

Wasserstoffnetze 2030 & 2050: für ein klimaneutrales Deutschland

Webinar am 08.12.2021

Deutschland braucht ein überregionales Wasserstoffnetz

Motivation

Energiewende „vom Ende her denken“

Erstes Zukunftsbild der FNB: „Visionäres Netz“ (noch ohne Netzsimulation)

Weiterentwicklung zum H2-Netz 2050 auf Grundlage einer detaillierten Netzplanung

→ Erlaubt belastbare Aussagen zur Größe des potenziellen H2-Netzes und dessen Kosten

Inputparameter/Szenario

Grundlage für konsistente Auslegung der zukünftigen Netze für H2 und CH4 ist ein belastbares Energieszenario (hohe Detailtiefe mit Regionalisierung von Angebot und Nachfrage)

→ Weiterentwicklung des Energieszenarios TM 95 der dena Leitstudie mit Unterstützung des Beratungsunternehmens 4Management

→ Austausch mit relevanten Stakeholdern zu den Annahmen in den verschiedenen Sektoren

Vorgehen

Sichtung verfügbarer Studien

Erarbeitung eines Szenarios basierend auf einer ausgewählten Studiengrundlage

Austausch mit relevanten Stakeholdern zu den Annahmen in den verschiedenen Sektoren

Regionalisierung der Leistungen der verschiedenen Demand-Sektoren

Annahmen zum Supply

Regionalisierung der Importleistungen & PtG

Annahmen zur Nutzung der Speicher

Strömungsmechanische Simulation in unterschiedlichen Lastsituationen

Studien- und Szenarienübersicht

Neun Studien wurden primär ausgewertet



Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland
Fraunhofer-Institute (ISI / ISE)



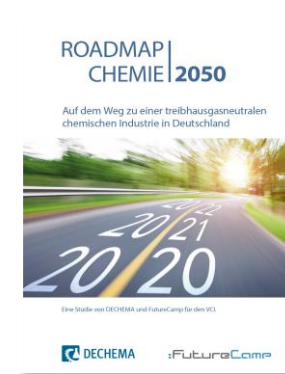
dena-Leitstudie Integrierte Energiewende
dena, ewi



Klimapfade für Deutschland
BCG, Prognos
(im Auftrag vom BDI)



IEK2050
BBH, Fraunhofer ISE
(im Auftrag vom BMVI und NOW)



Roadmap Chemie 2050
DEHEMA und Future Camp
(im Auftrag vom VCI)



Infrastructure Outlook 2050
Gasunie, TenneT



Der Wert der Gasinfrastruktur für die Energiewende in Deutschland
Frontier, IAEW, 4M, EMCEL
(im Auftrag vom FNB Gas)



Status und Perspektiven Flüssiger Energieträger in der Energiewende
Prognos, Fraunhofer UMSICHT, DBFZ
(im Auftrag von MWV)












Sektorkopplung
acatech, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften, Leopoldina

+ weitere Studien & Updates:

- E-Bridge
- NOW
- Fraunhofer
- dena
- Vergleich zwischen dena, BDI und Acatech

Übersicht Energieszenarien für Deutschland

33 Szenarien nach Technologien bzw. der in 2050 erreichten CO₂ Reduktion klassifiziert

I	Fraunhofer H ₂ -Roadmap DE	Szenario A Elektrifizierung aller Sektoren		Szenario B größere Anteile an stofflichen Energieträgern im Einsatz		
II	 Deutsche Energie-Agentur Leitstudie	Referenz Fortschreibung der aktuellen Situation	EL80 Elektrifizierung 80 % Klimaziel 2050	EL95 Elektrifizierung 95 % Klimaziel 2050	TM80 Technologiemix 80 % Klimaziel 2050	TM95 Technologiemix 95 % Klimaziel 2050
III		Referenz Fortschreibung der aktuellen Situation	Nationale Alleingänge 80 % Klimaziel 2050	Globaler Klimaschutz 80 % Klimaziel 2050	Nationale Alleingänge 95 % Klimaziel 2050	Globaler Klimaschutz 95 % Klimaziel 2050
IV	 Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie	S85 -85 % CO ₂ -Reduktion, Import synthetischer Kraftstoffe ab 2025		S90 -90 % CO ₂ -Reduktion, Import synthetischer Kraftstoffe ab 2025		S95 -95 % CO ₂ -Reduktion, Import synthetischer Kraftstoffe ab 2025
V		Referenz Invests / Technologien auf heutigem Niveau	Technologiepfad Zusätzliche Invests für Produktionstechnologien 225 TWh EE-Strom verfügbar für Produktion (2050)		Treibhausgasneutralität 2050 keine Restriktionen für Invests / Technologien frühere Verfügbarkeit alternativer Verfahren	
VI	  Taking power further	Local kein Energieaustausch mit anderen Ländern	National begrenzter Energieaustausch mit anderen Ländern		International global ausgerichtete Politik mit Schwerpunkt auf internationalem Energieaustausch („business as usual“)	
VII		“Nur Strom” Gasinfrastruktur wird nicht mehr benötigt	“Strom & Gasspeicher” Power-to-Gas-to-Power vorhanden, nur Gasspeicher werden benötigt		“Strom & Grünes Gas” Power-to-Gas-Anlagen, bestehende Gasinfrastruktur zum Energietransport genutzt	
VIII	 MINERALÖL WIRTSCHAFTS VERBAND e.V.	Referenz	PtX 80 2050 PtX-Einsatz, kein CCS, 80 % Klimaziel 2050		PtX 95 2050 PtX- und CCS-Einsatz, 95 % Klimaziel 2050	
IX	 DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN	Metaanalyse von sechs Szenarien (Studien 2013 – 2015, u.a. Prognos, Fraunhofer, Umweltbundesamt – UBA)				

Steigende Wasserstoffnachfrage

: Betrachtung „95 %“ Szenarien



Übersicht Energieszenarien für Deutschland

Auswahl des Szenarios dena TM95 als Basis – notwendige Anpassungen

Es gab zum Zeitpunkt der Studie kein veröffentlichtes Szenario, das aus Sicht der FNB direkt als Basis für die weitere Arbeit hätte dienen können

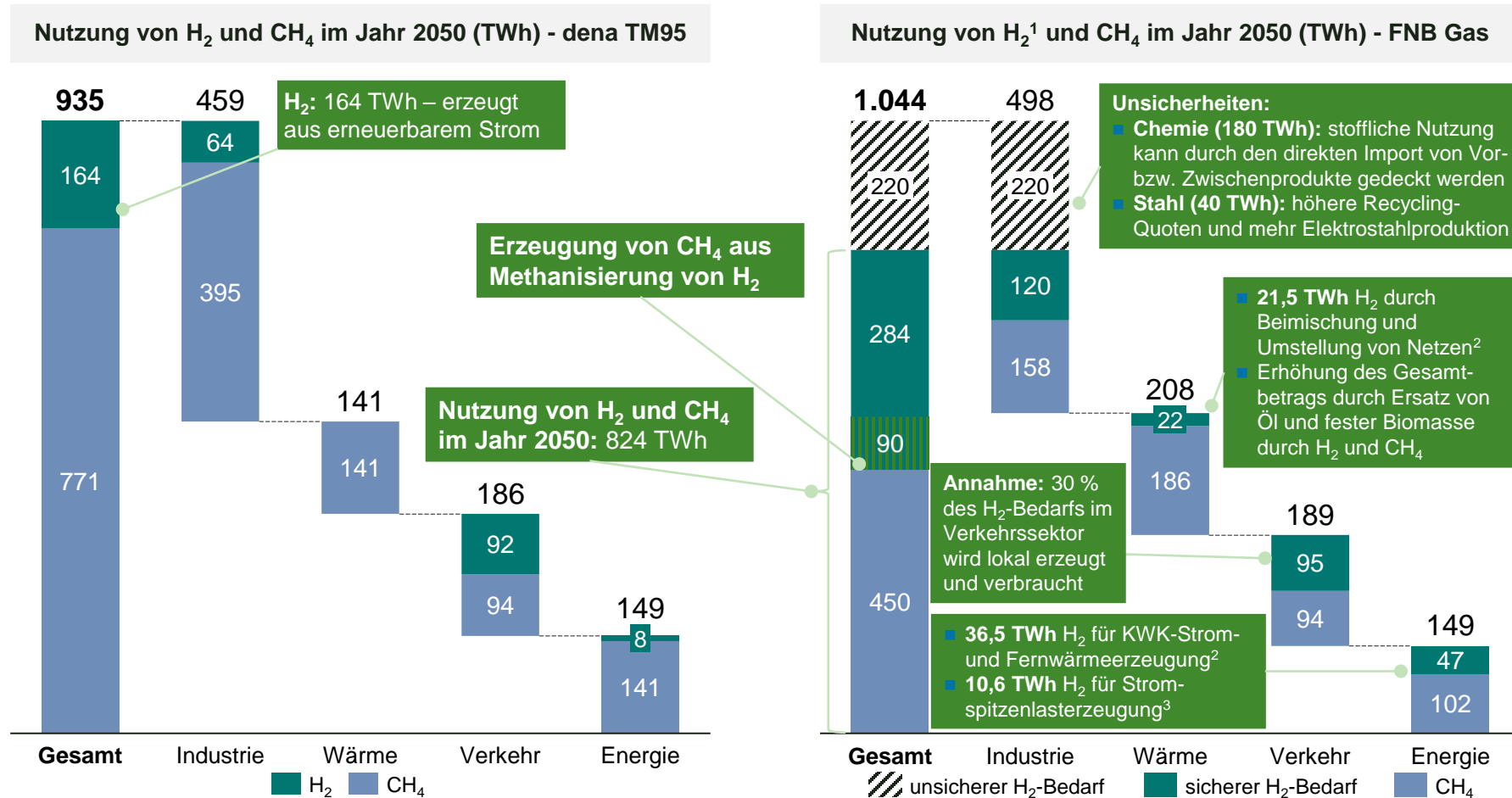
- dena LS II, LFS BMWi waren nicht veröffentlicht
- dena LS I TM95 adressiert sehr wichtige Aspekte eines zukünftigen Energiesystems
 - Hohe Klimaziele (95%)
 - Dekarbonisierte Gase spielen eine wichtige Rolle im Energiesystem (Technologiemix)
 - Das Energiesystem kann vergleichsweise kostengünstig realisiert werden, da das Stromsystem auf deutlich niedrigere Energiemengen/Leistung ausgelegt werden muss
 - Die Akzeptanz des Systems könnte höher sein, da es mit geringerem Netzausbau und weniger Auswirkungen bei den Endanwendern verbunden ist (insbesondere im Wärmemarkt)
 - „Realistische“/Resiliente Annahmen bei der Umsetzbarkeit von Maßnahmen (z.B. Sanierungsrate)

dena LS I TM95 ist aus aktueller Sicht zu adjustieren:

- Hoher Einsatz von grünem Methan: Präferierte Lösung sollte ein direkter Einsatz von Wasserstoff sein. Eine Umwandlung in CH₄ (Methanisierung) sollte vermieden werden
- Quellen für grünes Methan sind unsicher (nicht spezifiziert in dena) – die Annahme eines Wasserstoff-Imports ist belastbarer
- Die Existenz eines EU Wasserstoff Backbones sollte unterstellt werden für den Import (per Pipeline) von Wasserstoff aus dem erweiterten EU-Raum.
- dena LS I TM95 unterstellt die Nutzung von fossilen Energieträgern in nicht energetischer Anwendung (*feedstock*), was aber keine langfristige Speicherung des Kohlenstoffs darstellt

Kernaussagen aus dem zugrundeliegenden Szenario (FNB Gas: dena/4M)

Angenommener Bedarf von H₂ und CH₄ in 2050: 824 TWh

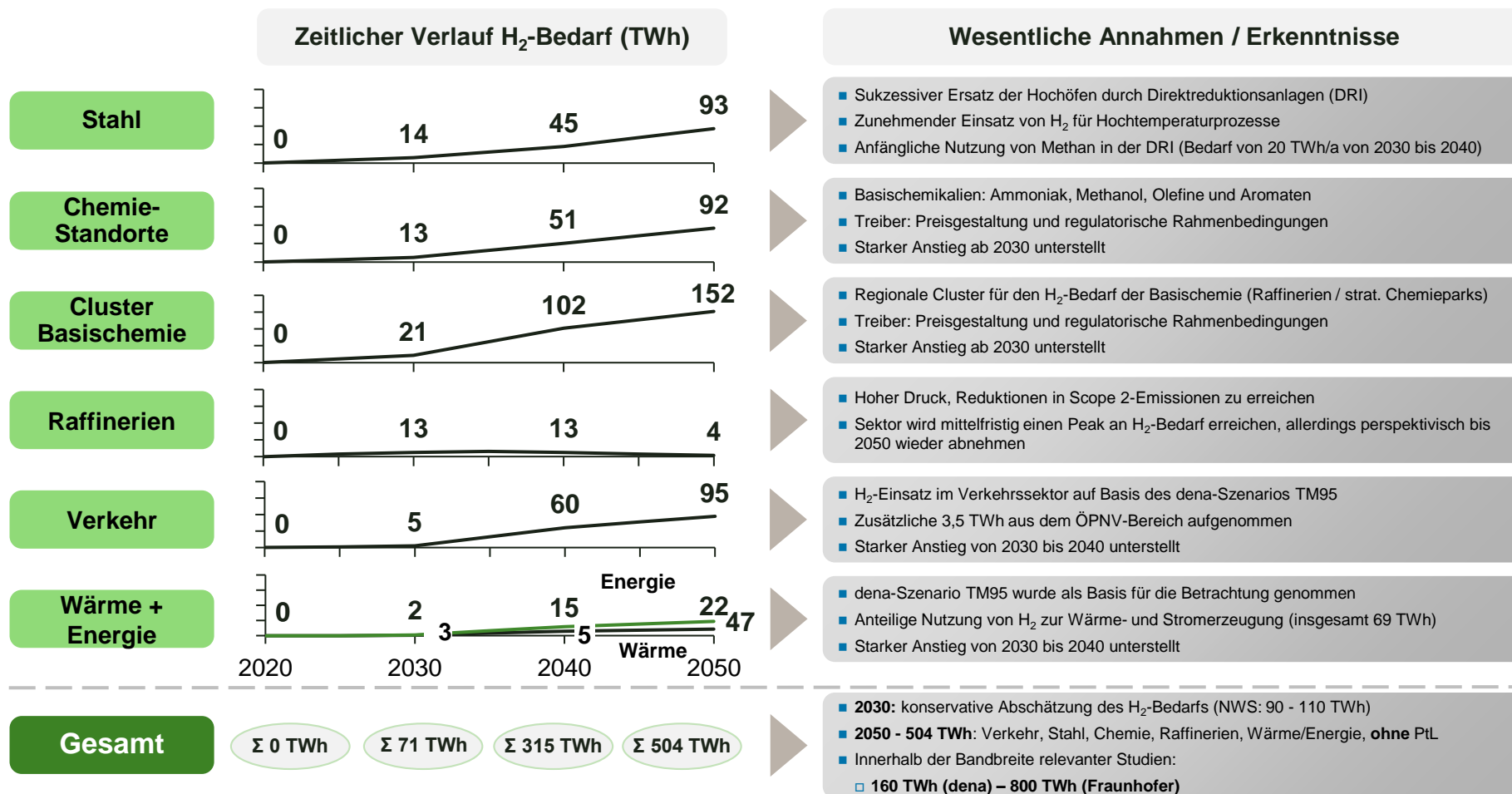


1. H₂-Gesamtmenge (504 TWh) wird für die Netzplanung berücksichtigt; 2. 58 TWh H₂ wurden im Wärmesektor regionalisiert (36,5 TWh H₂-Primärenergie für Fernwärme + 21,5 TWh durch Beimischung und Umstellung von Netzen); 3. 10,6 TWh H₂ wurden im Energiesektor zur Stromspitzenlastherzeugung regionalisiert; Quelle dena TM95: [dena Leitstudie Integrierte Energiewende, Gutachterbericht, Juni 2018](#)

Kernaussagen aus dem zugrundeliegenden Szenario (FNB Gas: dena/4M)

H2-Bedarf steigt signifikant auf 504 TWh in 2050 an

Der zeitliche Verlauf des Anstiegs pro Sektor wird in Abhängigkeit spezifischer Erkenntnisse bzw. Annahmen unterschiedlich ablaufen.



Quellen: [dena Leitstudie Integrierte Energiewende, Gutachterbericht, Juni 2018](#); [Fraunhofer Wasserstoff-Roadmap für Deutschland, Oktober 2019](#); NWS: [Nationale Wasserstoffstrategie](#)

Einordnung zur dena LS II (TN100)

H2-Jahresmenge der beiden Studien nicht so weit auseinander

- dena LS II setzt konsequent auf Effizienz und H2 (Kraftwerke, Haushalt)
- Unterschiede in der Aufteilung
- dena LS II belastend für das H2-Netze durch die H2-Kraftwerke (50-70 GW_el)
- **Aber:** Kaum noch Einsatz von Methan in der LS II – Leitungen ggf. zusätzlich nutzbar beim H2-Netz

[TWh]	dena TN100 2030	2035	2040	2045	2050	dena LS I TM95/4M/FNB 2050
Wasserstoff	66	133	289	458	469	504
Industrie (inkl. stofflicher Nutzung)	51	94	138	191	192	340
Verkehr	9	19	37	59	75	95
Haushalte & GHD	6	20	45	79	79	22
Umwandlungs- sektor	0	0	68	130	123	47
PtG – Leistung (GW_el)					23	63
Kraftwerke (H2) (GW_el)					54	KWK 9 + 6

Wasserstoffnetz 2050: für ein klimaneutrales Deutschland

H₂-Netz 2050

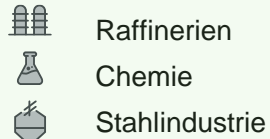
Erläuterungen zum Netz:

- Länge: ca. 13.300 km
- Davon umgestellte Gasleitungen: ca. 11.000 km
- Investitionskosten bis 2050: ca. 18 Mrd. Euro

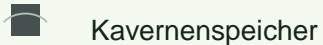
Erläuterungen zum Szenario:

- Prognostizierter H₂-Bedarf: 504 TWh
- Spitzenabnahme: ca. 110 GWh/h

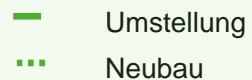
Verbrauchsschwerpunkte



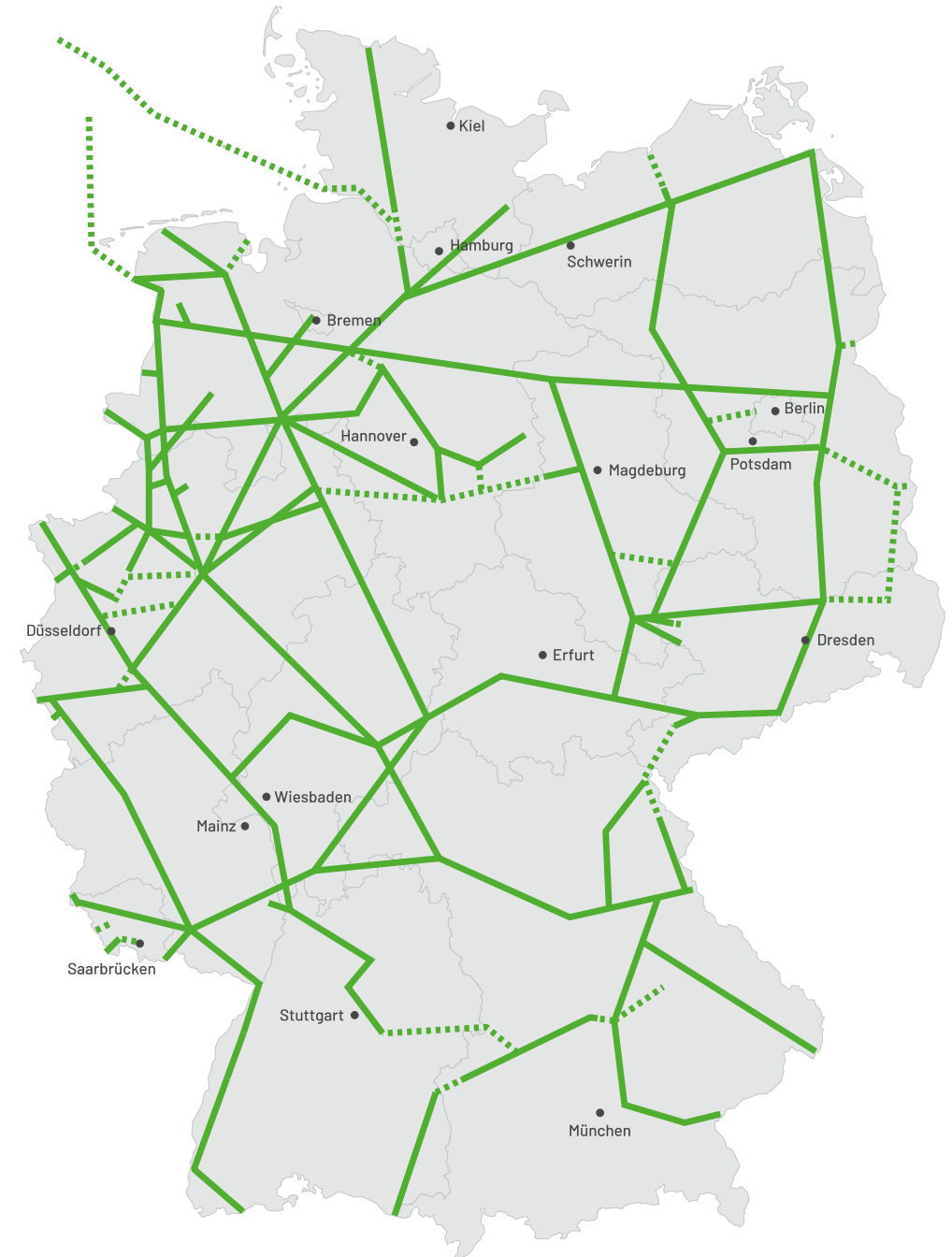
Speicherung



H₂-Netz 2050



Bei den Karten handelt es sich um eine schematische Darstellung von Leitungstrassen, in denen auch mehrere Leitungen parallel verlaufen können. Leitungstrassen, in denen sowohl umgestellte Leitungen als auch Neubauleitungen parallel verlaufen, werden als Umstellungen dargestellt. Alle Werte in Heizwert (Hi) dargestellt.



Verbrauchsschwerpunkte




Verbrauchsschwerpunkte

Raffinerien: 3,6 TWh



Chemie: 243,4 TWh

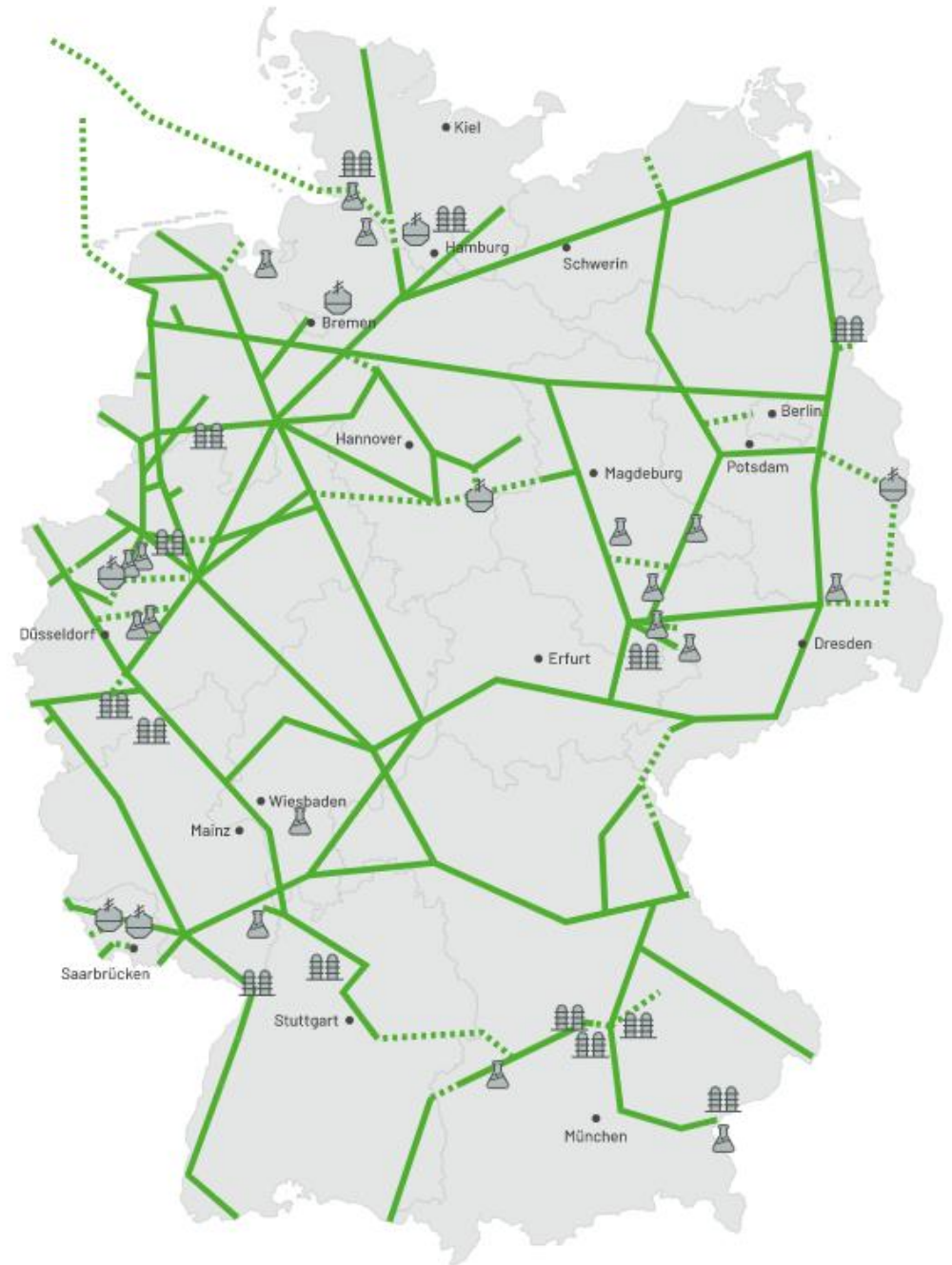
Stahlindustrie: 93,2 TWh

Verbrauchsschwerpunkte

-  Raffinerien
-  Chemie
-  Stahlindustrie

H₂-Netz 2050

-  Umstellung
-  Neubau



Verkehr

nach Regierungsbezirken (NUTS-2-Regionen)

Bedarf: **89,4 TWh**

- **H₂-Bedarf für 80 % PKW sowie leichte Nutzfahrzeuge, LKW zwischen 3,5 und 12 t und ÖPNV** anhand des Bestands an Fahrzeugen je Fahrzeugtyp und Zulassungsbezirk verteilt
- Cluster in Ballungsräumen sowie in West-, Süd- und Ostdeutschland (z.B. Sachsen)
- **H₂-Bedarf für 20 % PKW sowie LKW > 12 t:** Verteilung anhand der Anzahl an Tankstellen an Autobahnen je Stadt-/Landkreis
- Entsprechend hoher Bedarf entlang der Autobahnen deutschlandweit
- Aggregation der beiden H₂-Bedarfe des Verkehrssektors auf Stadt-/Landkreisebene
- Höhere Bedarfe in Ballungsräumen sowie verteilte Bedarfe quer durch Deutschland (insbesondere entlang der Autobahnen)

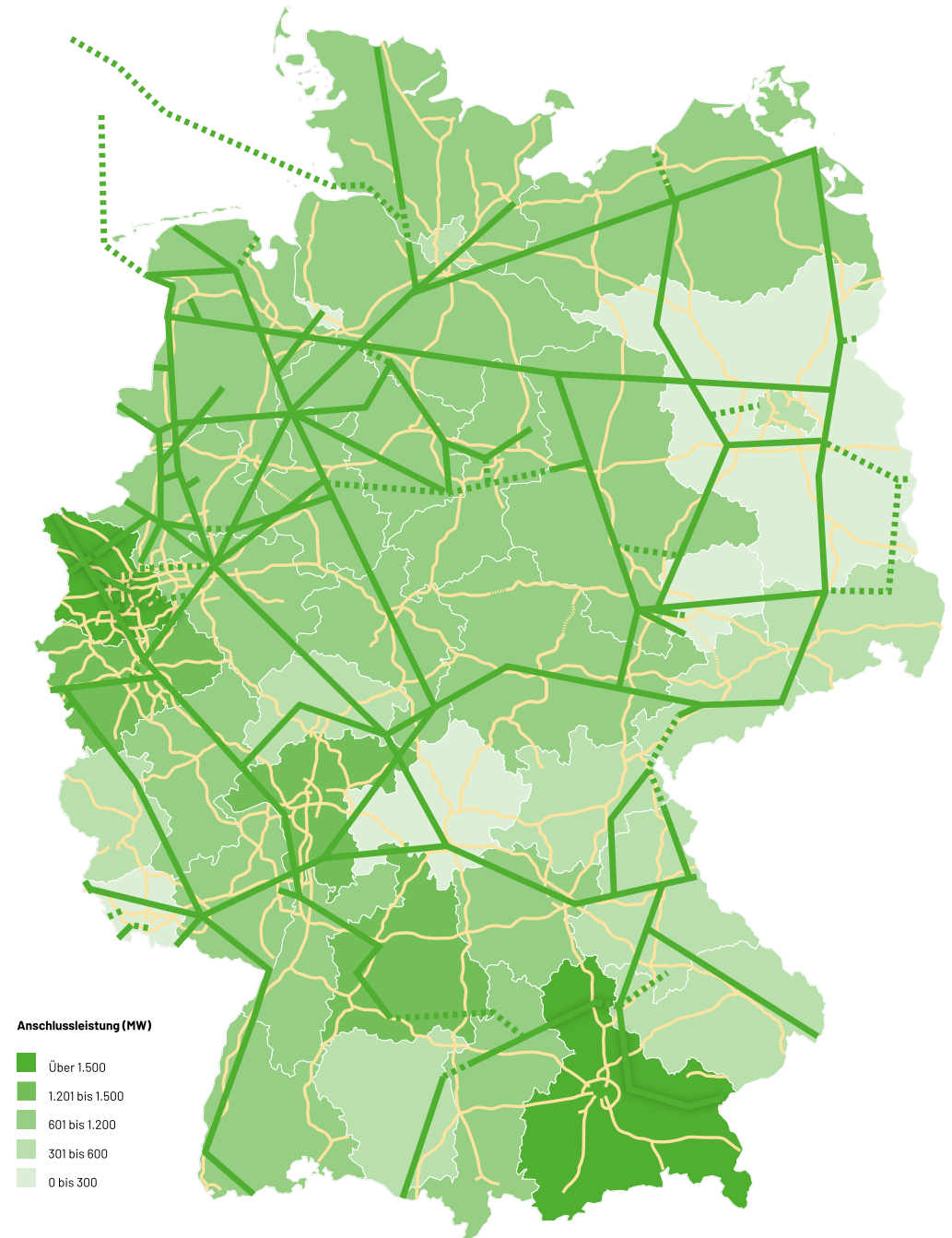
Verbrauchsschwerpunkte

Autobahnen

H₂-Netz 2050

Umstellung

Neubau



Wärme

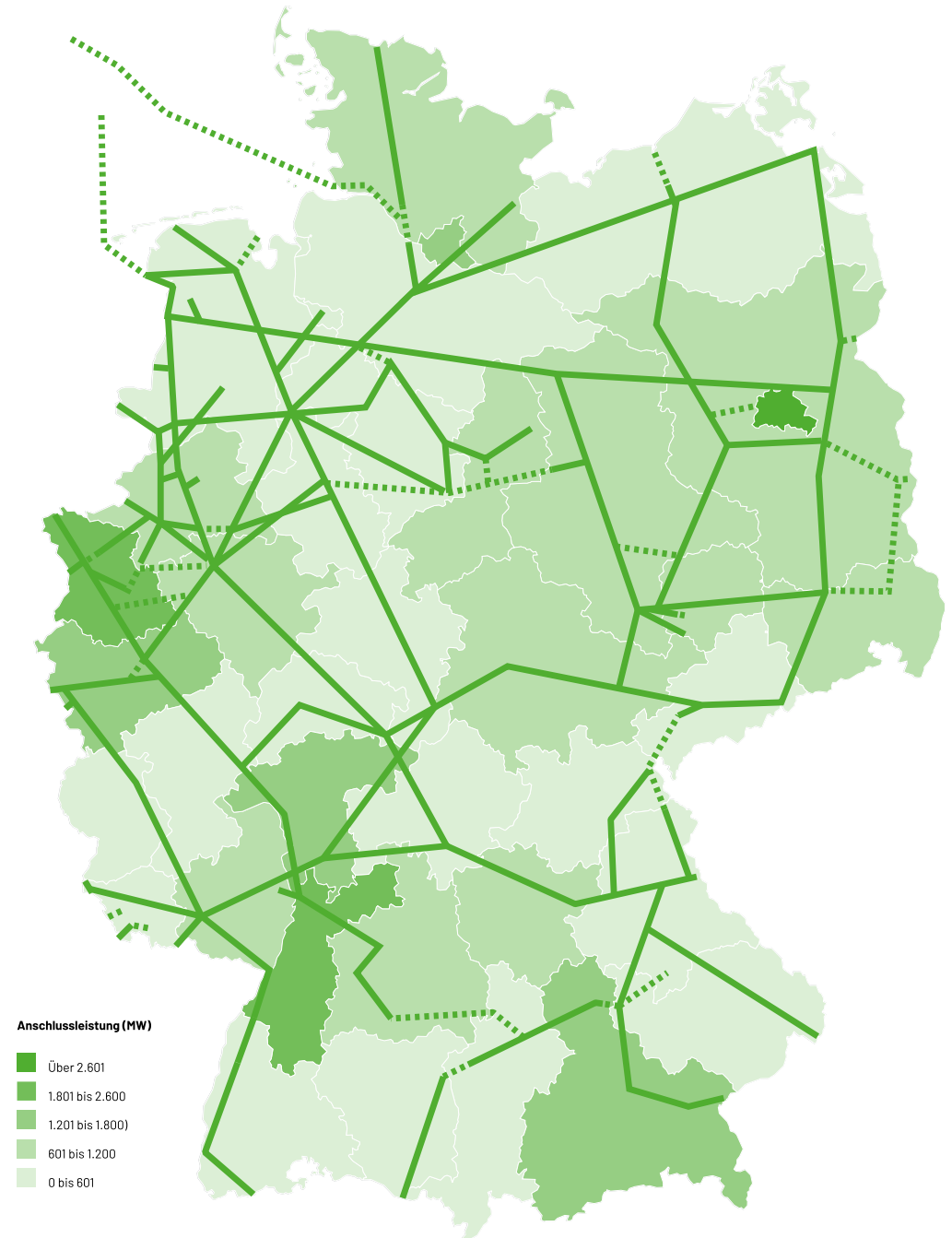
nach Regierungsbezirken (NUTS-2-Regionen)

Bedarf: 58 TWh (Beimischung, KWK/Fernwärme, Umstellung auf H2)

- H2-Bedarfsdichte für Fernwärme 2050 (MWh/km², Gesamt: 36,5 TWh) Basis: AGFW-Hauptbericht 2018
- H₂-Einsatz zur Fernwärme- und Stromerzeugung (KWK-Anlagen)
H₂-Bedarf insb. in (Groß-)Städten und Ballungsräumen (z.B. NRW)
- H2-Beimischung & Umstellung 2050 (MWh/km², Gesamt: 21,5 TWh) Proportionale Verteilung zur Bevölkerungsdichte pro Stadt-/ Landkreis
- Cluster u.a. in NRW, Rhein-Main, Hannover, München und Hamburg
- Aggregation der H2-Bedarfe des Wärmesektors auf Stadt-/Landkreisebene
- Höhere Bedarfe in (Groß-)Städten, Ballungsräumen und Regionen wie z.B. Saarland und Sachsen

H₂-Netz 2050

- Umstellung
- ... Neubau



Gegenüberstellung von H₂-Bedarf und Erzeugung

Leistungsbedarf soll durch gesicherte (nicht volatile) Erzeugung und Speicher vollständig abgedeckt werden.

Bereich / Sektor	H ₂ -Bedarf 2050 (TWh)	Vollbenutzungsstunden (h/a)	H ₂ -Anschlussleistung 2050 (GW)
Stahl (Hochofen)	83,9	8.700	9,6
Stahl (Elektrostahl)	9,3	8.700	1,1
Chemie-Standorte	91,5	8.700	10,5
Cluster Basischemie	151,7	8.700	17,4
Raffinerien	3,6	8.700	0,4
Verkehr *	95,0	3.000	31,7
Wärme	58,0	2.100	27,6
Energie	10,6	840	12,6
Gesamt	504		111



H₂-Import

- **42 GW** gesicherte Erzeugung in 2050
- Erzeuger-Länder: Niederlande, Frankreich, Norwegen, Russland



Kavernenspeicher in DE

- **69 GW** Speicherleistung durch Umstellung deutscher Kavernenspeicher in 2050

* Davon werden 89,4 TWh über die Netze und 5,6 TWh über Tankfahrzeuge bereitgestellt

Einspeiseschwerpunkte

Power to Gas

nach Regierungsbezirken (NUTS-2-Regionen)

Jahresmengen: 164 TWh
Installierte Leistung: 63 GW_{el} Leistung

Regionalisierung von PtG-Anlagen in Deutschland im Jahr 2050

- PtG-Regionalisierung anhand eines Investitionsmodells abgebildet¹
- PtG-Aufteilung stark konzentriert an EE-Standorten, aber auch an Verbrauchsstandorten
- Ergebnisse aus Studien:
 - Optimierung stark getrieben von Auswirkungen im Stromsystem
 - Einsatz von PtG erfolgt orientiert an EE-Erzeugung
 - Nutzungsstunden der PtG Anlagen können stark von Flexibilitätselementen auf der Stromseite profitieren
- Regionalisierung der PtG-Anlagen im Jahr 2050 als Verteilungsschlüssel für PtG-Regionalisierung 2030 genutzt

Erzeugungsschwerpunkte



Power-to-Gas (Erzeugung)

H₂-Netz 2050

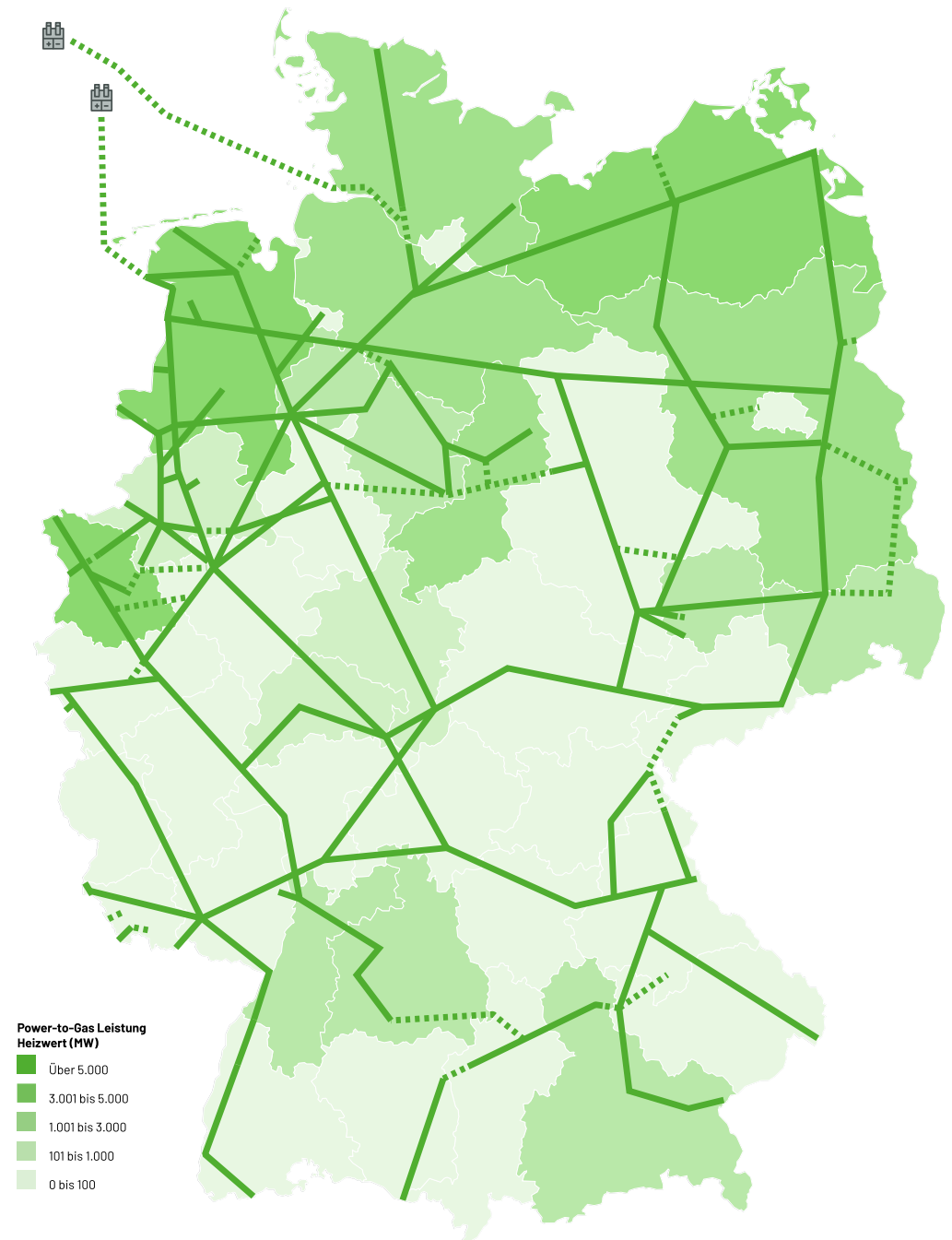


Umstellung



Neubau

1: [Gasunie und TenneT, Studie „Infrastructure Outlook – Pathways to 2050“, Februar 2019](#)






Kavernenspeicher

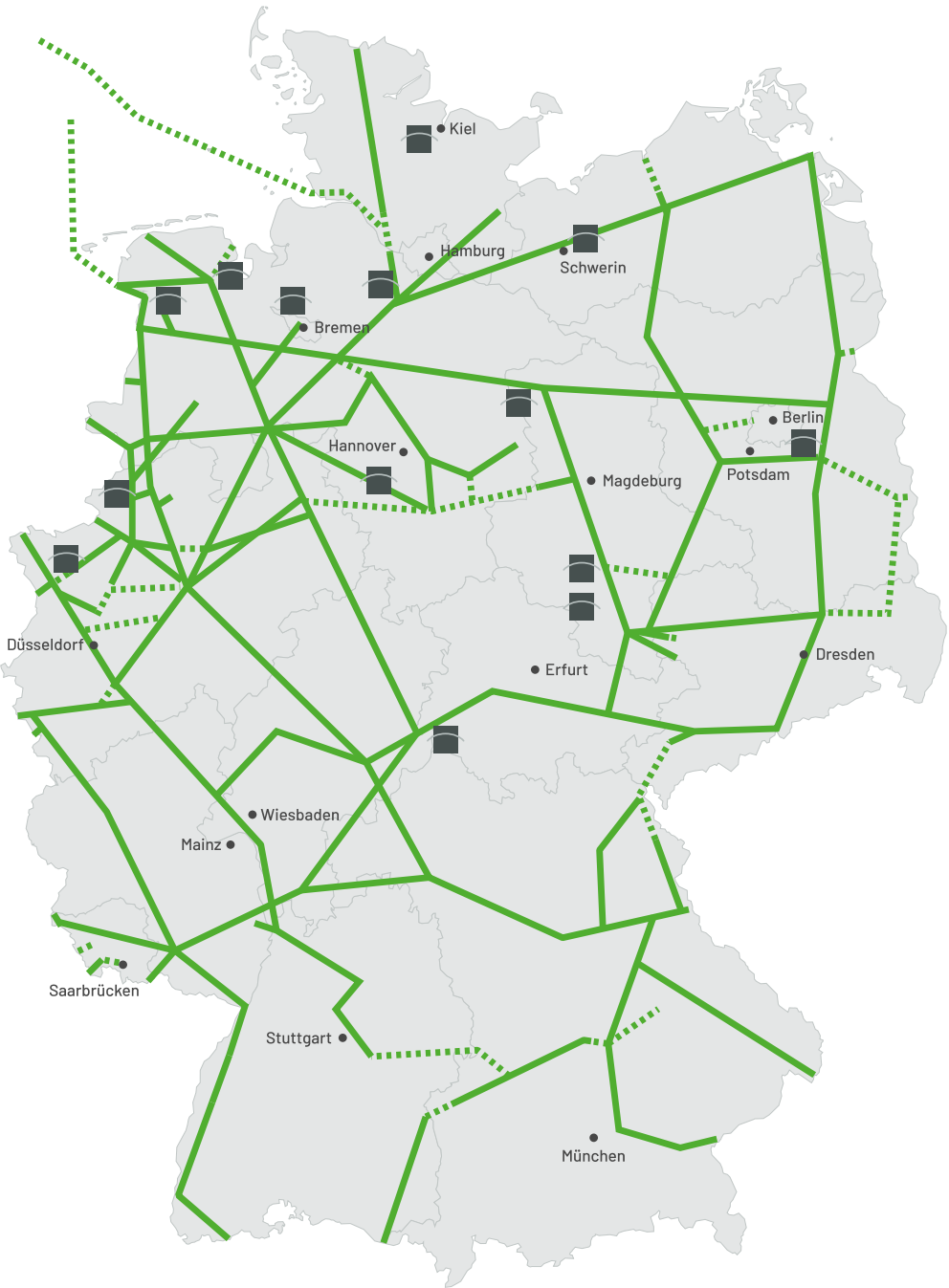
Ausspeicherleistung: 69 GW

Einspeicherleistung: 23 GW

Arbeitsgasvolumen: 10,6 Mrd. Nm³ (= 32 TWh)

Speicher in dem Umfang notwendig allein zur Bereitstellung der Leistung

Speicher	H ₂ -Netz 2050
 Kavernenspeicher	 Umstellung
	 Neubau



H2 für Deutschland

Importe

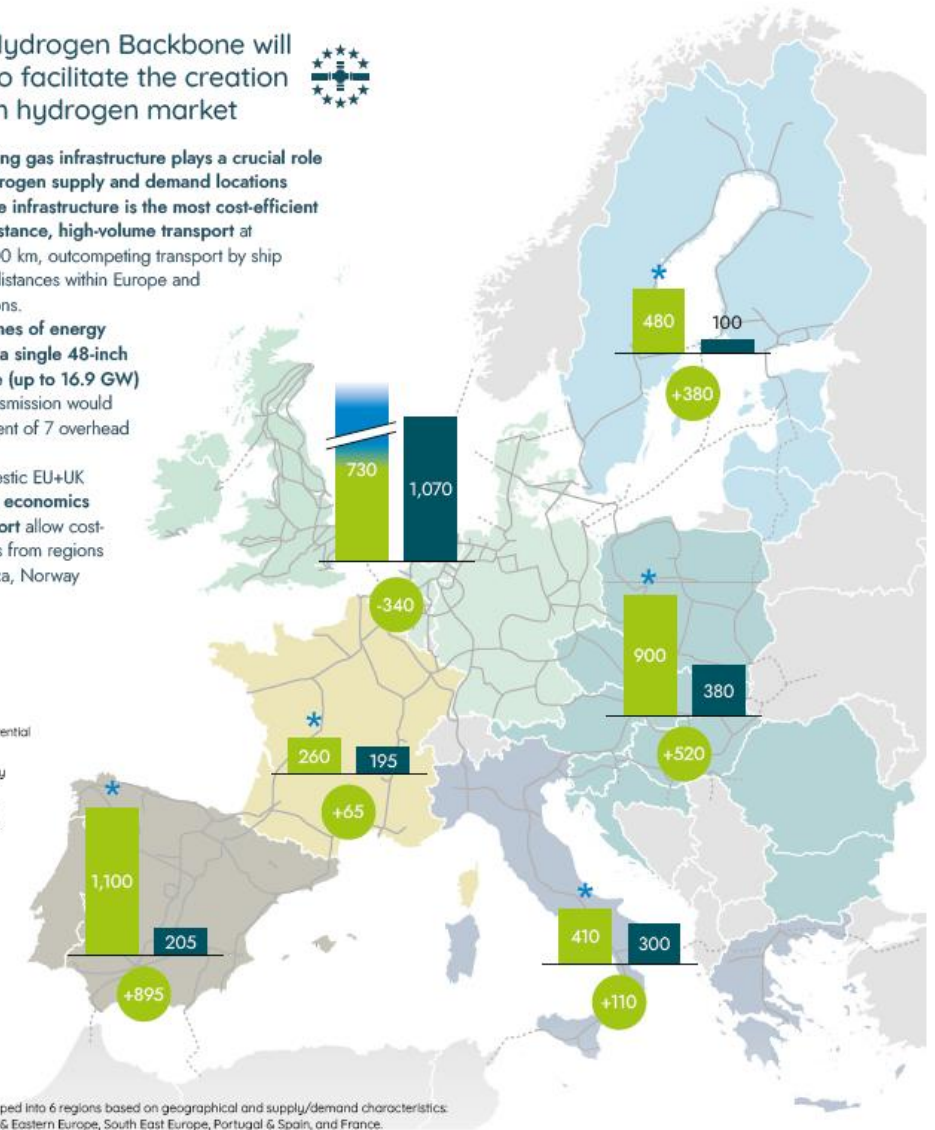
- Deutschland wird H2 importieren (voranging über Leitungen)
- 4M/FNB Potential über vorhandene Studien plausibilisiert
- Austausch mit Nachbarländern zu den angesetzten Kapazitäten
- Noch nicht verfügbar war der EHB:
- EHB June 2021 – Analysing future demand, supply, and transport of hydrogen

A European Hydrogen Backbone will be essential to facilitate the creation of a European hydrogen market



- Repurposed existing gas infrastructure plays a crucial role in connecting hydrogen supply and demand locations
- Hydrogen pipeline infrastructure is the most cost-efficient option for long-distance, high-volume transport at €0.11-0.21/kg/1,000 km, outcompeting transport by ship for all reasonable distances within Europe and neighbouring regions.
- To transport volumes of energy corresponding to a single 48-inch hydrogen pipeline (up to 16.9 GW) through power transmission would require the equivalent of 7 overhead transmission lines.
- In addition to domestic EU+UK supply, **favourable economics of pipeline transport** allow cost-competitive imports from regions such as North Africa, Norway and Ukraine.

- Green hydrogen supply potential from dedicated renewables
- Blue hydrogen supply potential
- Hydrogen demand
- Difference between supply potential and demand
- ★ Additional blue hydrogen supply potential available

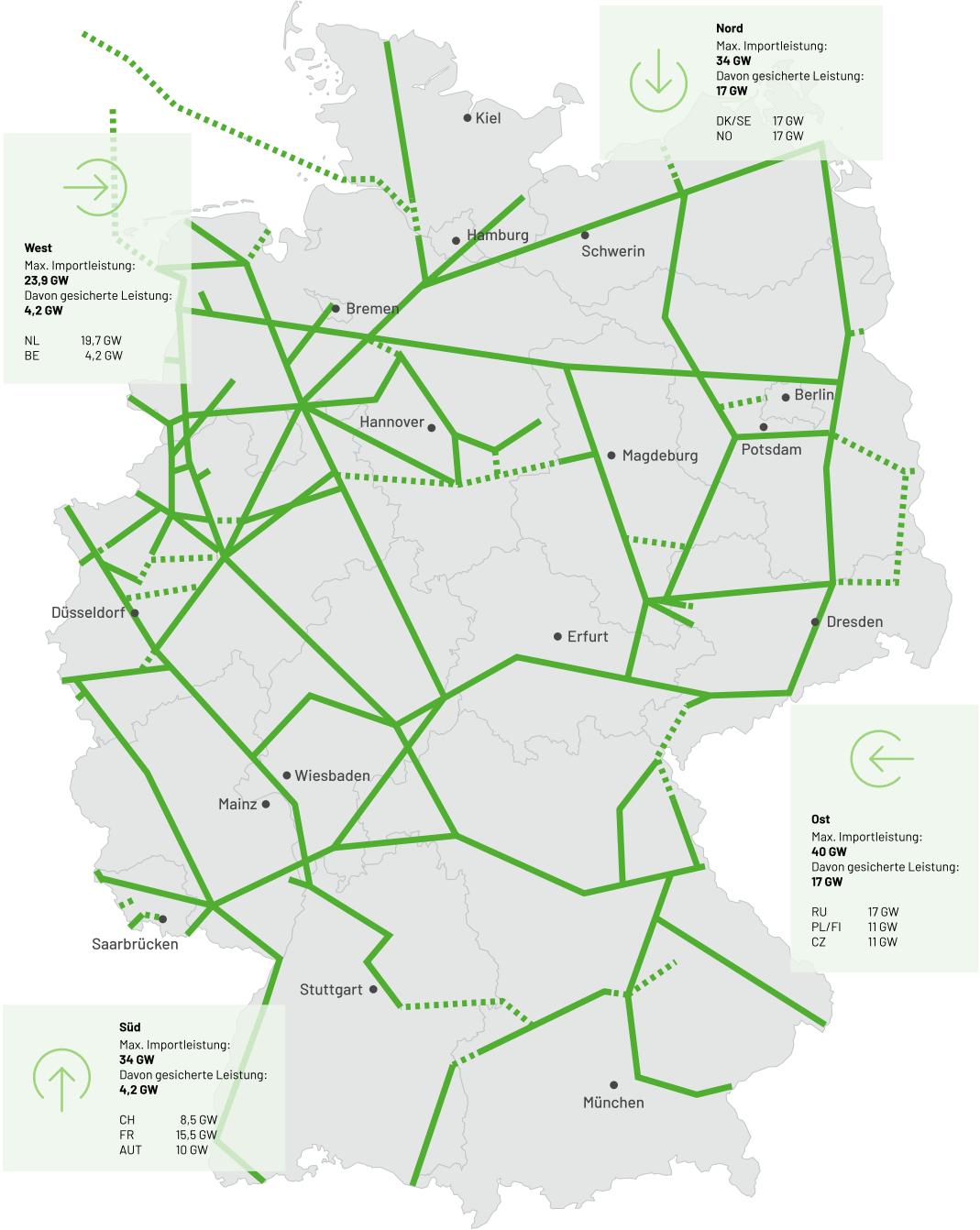


EU countries and UK are grouped into 6 regions based on geographical and supply/demand characteristics: North Sea, Baltic Sea, Central & Eastern Europe, South East Europe, Portugal & Spain, and France.

Importe

Nord		
Max. Importportleistung:	34 GW	
Davon gesicherte Leistung:	17 GW	
DK/SE:	17 GW	
NO:	17 GW	
Ost		
Max. Importportleistung:	40 GW	
Davon gesicherte Leistung:	17 GW	
RU:	17 GW	
PL/FI:	11 GW	
CZ:	11 GW	
Süd		
Max. Importportleistung:	34,0 GW	
Davon gesicherte Leistung:	4,2 GW	
CH:	8,5 GW	
FR:	15,5 GW	
AUT:	10 GW	
West		
Max. Importportleistung:	23,9 GW	
Davon gesicherte Leistung:	4,2 GW	
NL:	19,7 GW	
BE:	4,2 GW	

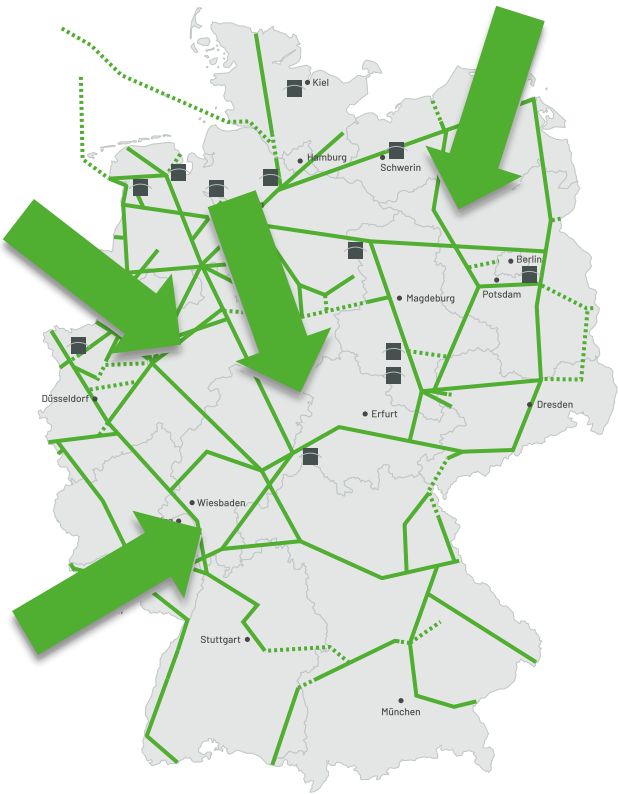
Importe	H ₂ -Netz 2050
<div>→</div> Importe nach Himmelsrichtungen	<div>—</div> Umstellung
	<div>...</div> Neubau



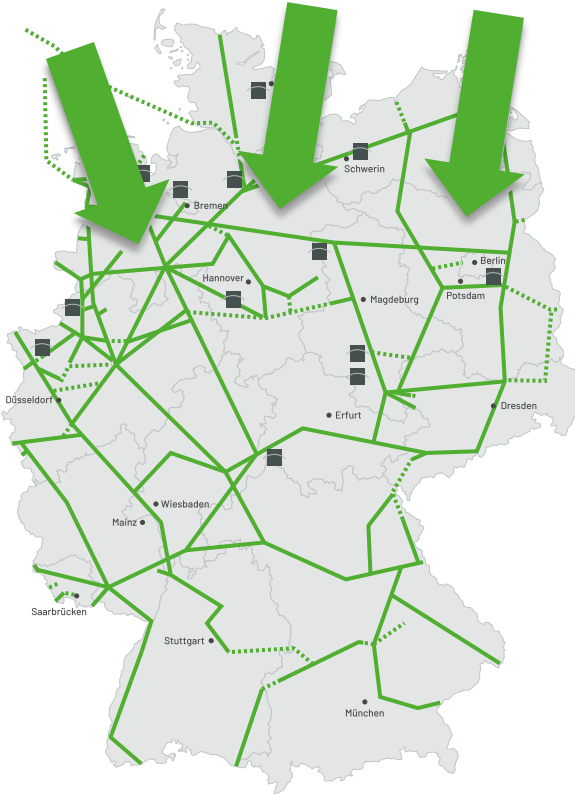
Lastszenarien

Lastszenarien

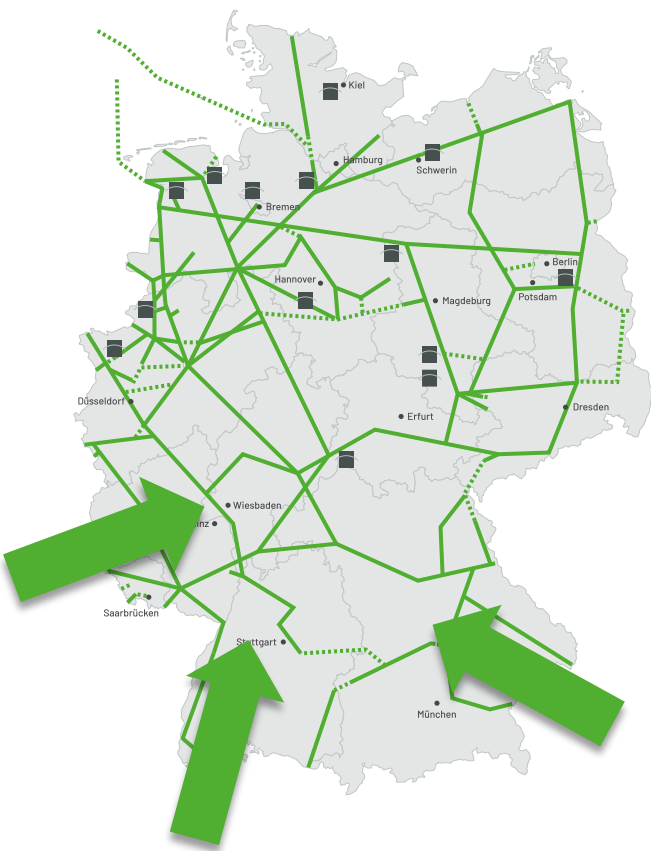
Dunkelflaute



Wind Nord



Sonne Süd



Wasserstoffnetz 2030: Aufbruch in ein klimaneutrales Deutschland

H₂-Netz 2030 (1)




Erläuterungen zum Netz:

- Länge: ca. 5.100 km
- Davon umgestellte Gasleitungen: ca. 3.700 km
- Investitionskosten bis 2030: ca. 6 Mrd. Euro


Erläuterungen zum Szenario:

- Entwickelt auf Basis der dena Leitstudie I (TM95)
- Prognostizierter H₂-Bedarf: 71 TWh
- Spitzenabnahme: ca. 10 GWh/h



Verbrauchsschwerpunkte

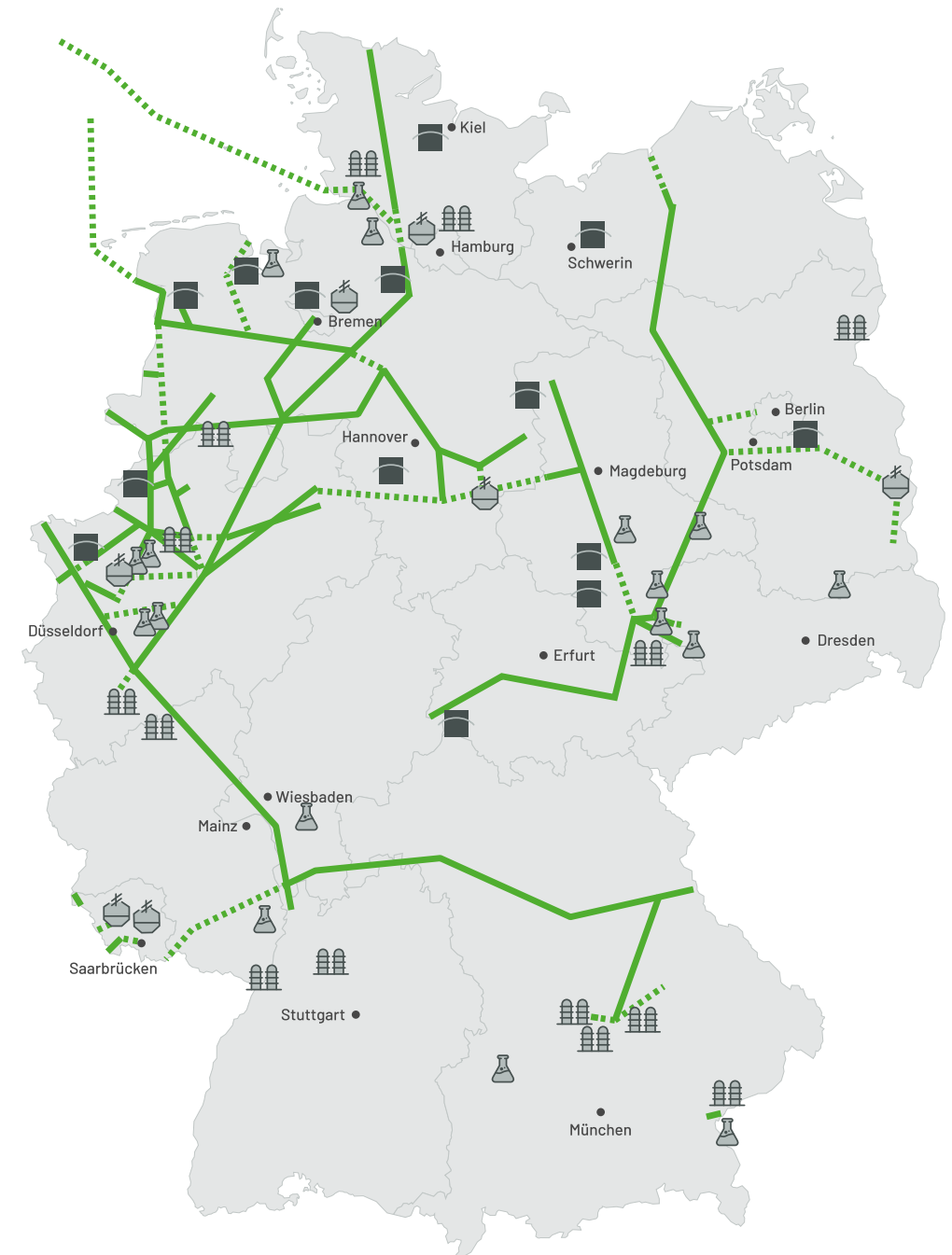
-  Raffinerien
-  Chemie
-  Stahlindustrie

Speicherung

-  Kavernenspeicher

H₂-Netz 2030

-  Umstellung
-  Neubau



Bei den Karten handelt es sich um eine schematische Darstellung von Leitungstrassen, in denen auch mehrere Leitungen parallel verlaufen können. Leitungstrassen, in denen sowohl umgestellte Leitungen als auch Neubauleitungen parallel verlaufen, werden als Umstellungen dargestellt. Alle Werte in Heizwert (Hi) dargestellt.

H₂-Netz 2030 (2)

Erläuterungen zur Regionalisierung:




Exit:

- Hauptsächlich Industrie (Wärme und Verkehr sind regionale Modellregionen)


Entry:

- PtG (Schleswig-Holstein und Niedersachsen)
- Import: Dänemark, Niederlande, Frankreich (Transit aus Spanien/Portugal), Norwegen
- **Kavernenspeicher:** Größtenteils angebunden



Verbrauchsschwerpunkte

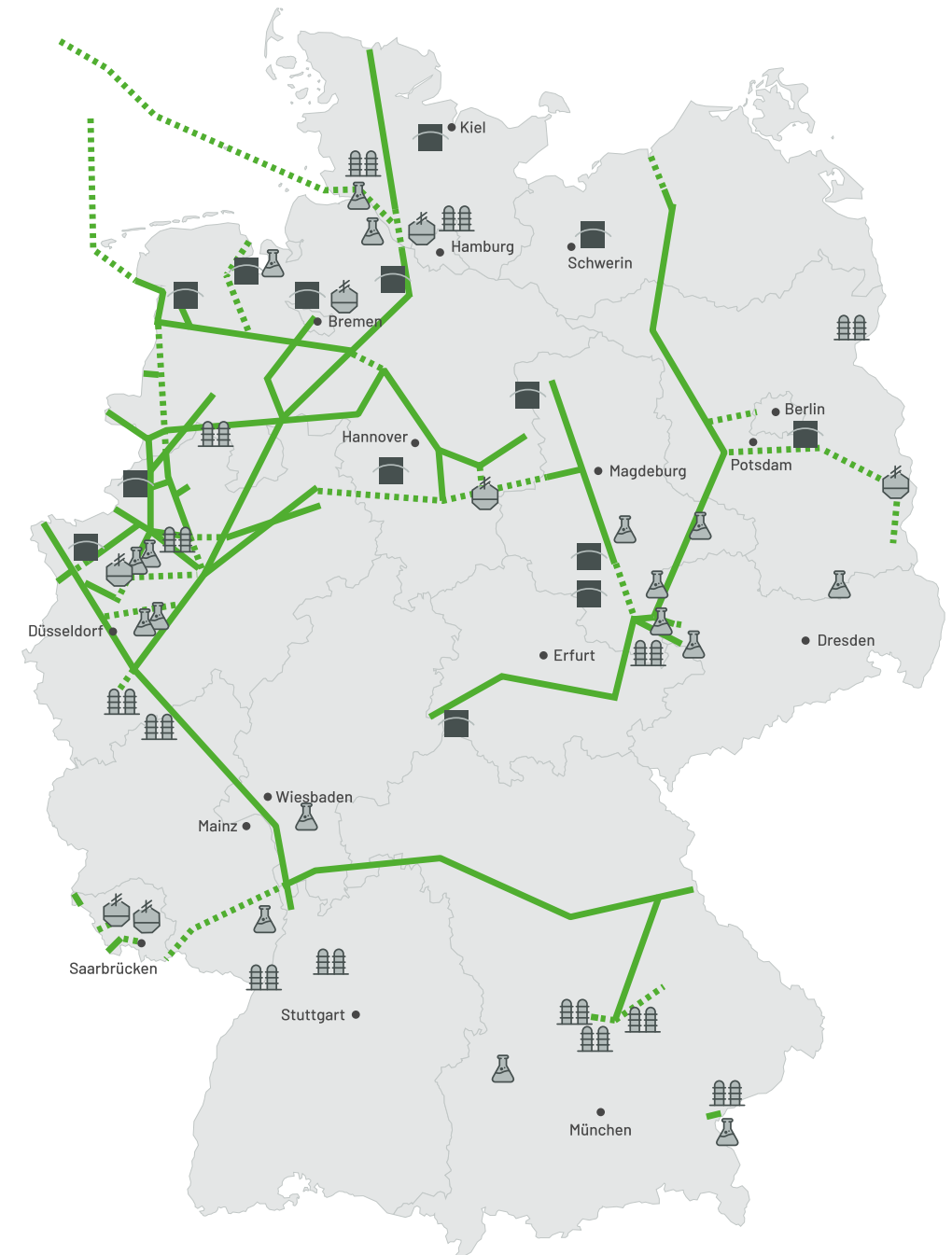
-  Raffinerien
-  Chemie
-  Stahlindustrie

Speicherung

-  Kavernenspeicher

H₂-Netz 2030

-  Umstellung
-  Neubau



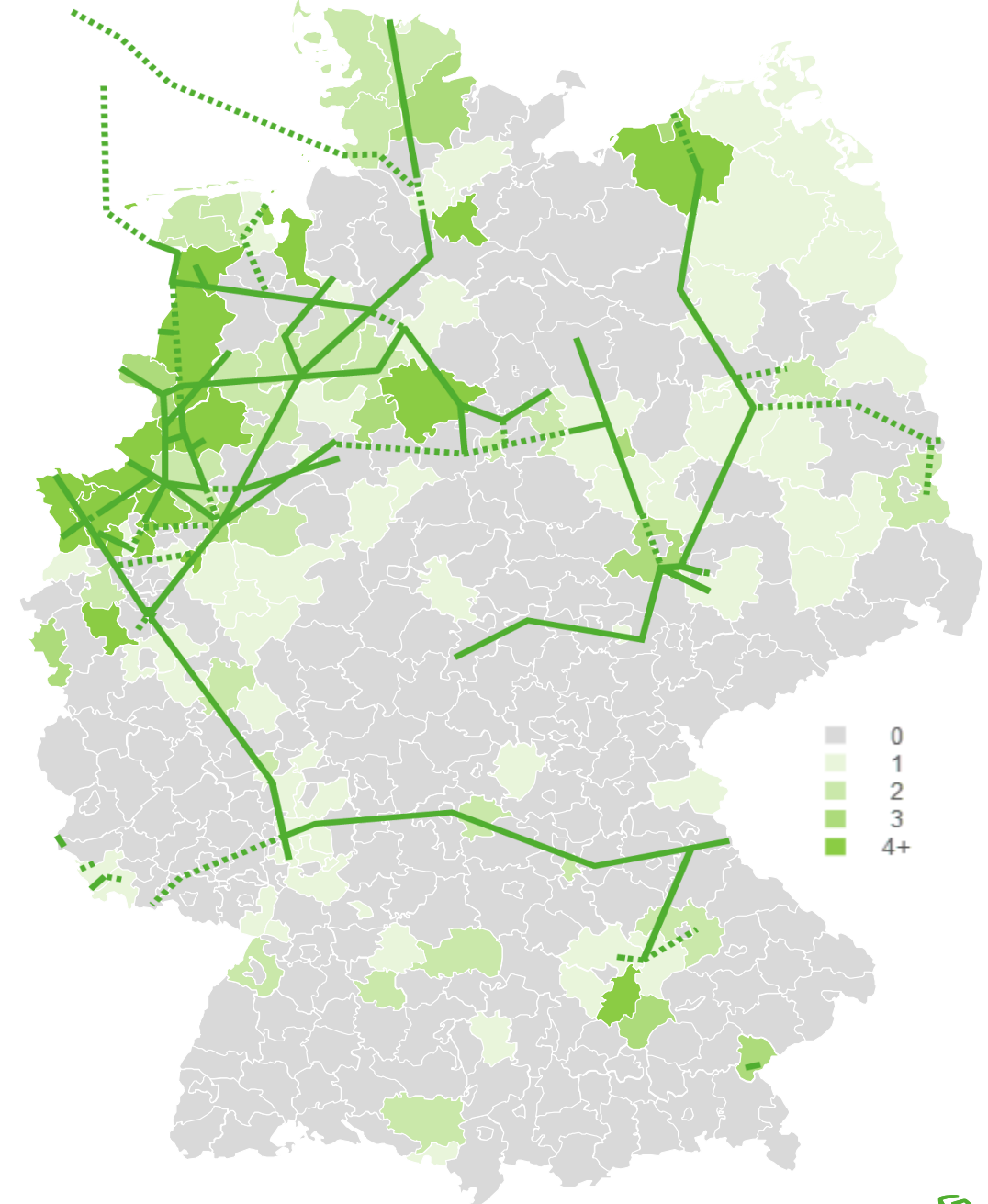
Bei den Karten handelt es sich um eine schematische Darstellung von Leitungstrassen, in denen auch mehrere Leitungen parallel verlaufen können. Leitungstrassen, in denen sowohl umgestellte Leitungen als auch Neubauleitungen parallel verlaufen, werden als Umstellungen dargestellt. Alle Werte in Heizwert (Hi) dargestellt.

H2-Netz 2030 vs. WEB

Szenariobasiertes H2-Netz 2030 passt gut zur Lage der gemeldeten Projekte

- In MOUs gemeldete Ausspeisemengen für 2032: **165 TWh_{th}** => deutlich über dem szenarienbasierten Ansatz
- Überlegungen aus den szenarienbasierten Betrachtungen des FNB liefern hierfür einen guten Ausblick
- Bis 1. Oktober 2021 wurden für mehr als 250 Projekte aus der Marktabfrage WEB ein MoU abgeschlossen

Anzahl der MoU pro Kreis



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Vereinigung der
Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V.

Georgenstraße 23 / D-10117 Berlin

Telefon +49 30 9210 23 50

Telefax +49 30 9210 23 543

info@fnb-gas.de

www.fnb-gas.de