



**Energienetze im Kontext der Energiewende – Herausforderungen und Handlungsbedarf zur Erreichung von Klimaneutralität bis 2045**

14. Niedersächsische Energietage – Fachforum 1

Sebastian Willemsen | Hannover | 23.11.2022

# Consentec GmbH in Aachen

## Unternehmensberatung mit Fokus auf Energiewirtschaft

### Unternehmen

- Gegründet 1999 als Spin-Off des Instituts für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (IAEW) der RWTH Aachen
- Aktuell: 22 MitarbeiterInnen
  - überwiegend mit Universitätsabschluss im Bereich Ingenieurs- und Wirtschaftsingenieurwesen
- Geografischer Einsatzbereich liegt innerhalb Europas und insbesondere in Deutschland, Österreich und der Schweiz
- Auftraggeber: u. a. Ministerien, Regulatoren, Energieversorger, Netzbetreiber und Industrieunternehmen
- Unabhängig von Instituten, industriellen Unternehmen oder Verbänden

### Kerngeschäft

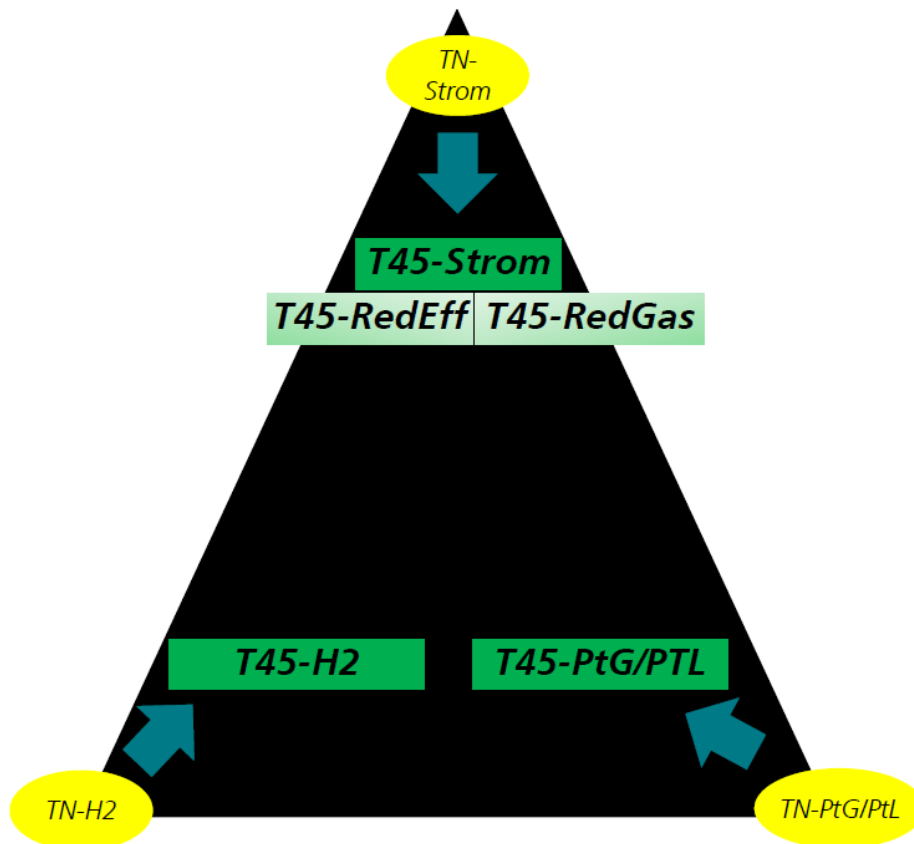
- Netz- und Systemintegration von erneuerbaren Energien
- Marktmechanismen und Marktdesign
- Systemanalysen
- Versorgungssicherheit
- Netzplanung, Netzbetrieb und Asset Management
- Regulatorische Fragestellungen

# Agenda

- **Kurzvorstellung Langfristszenarien**
- Studie: Regionalisierung der LFS für Niedersachsen
- Fazit

# Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland

## Methodik & Szenariodesign: Erkenntnisgewinn durch Vergleich und Lernen



### Zentrale Fragestellung

- Welche techno-ökonomischen Wirkungen haben bestimmte Pfade zur Dekarbonisierung des Energiesystems?

### Vorgehensweise

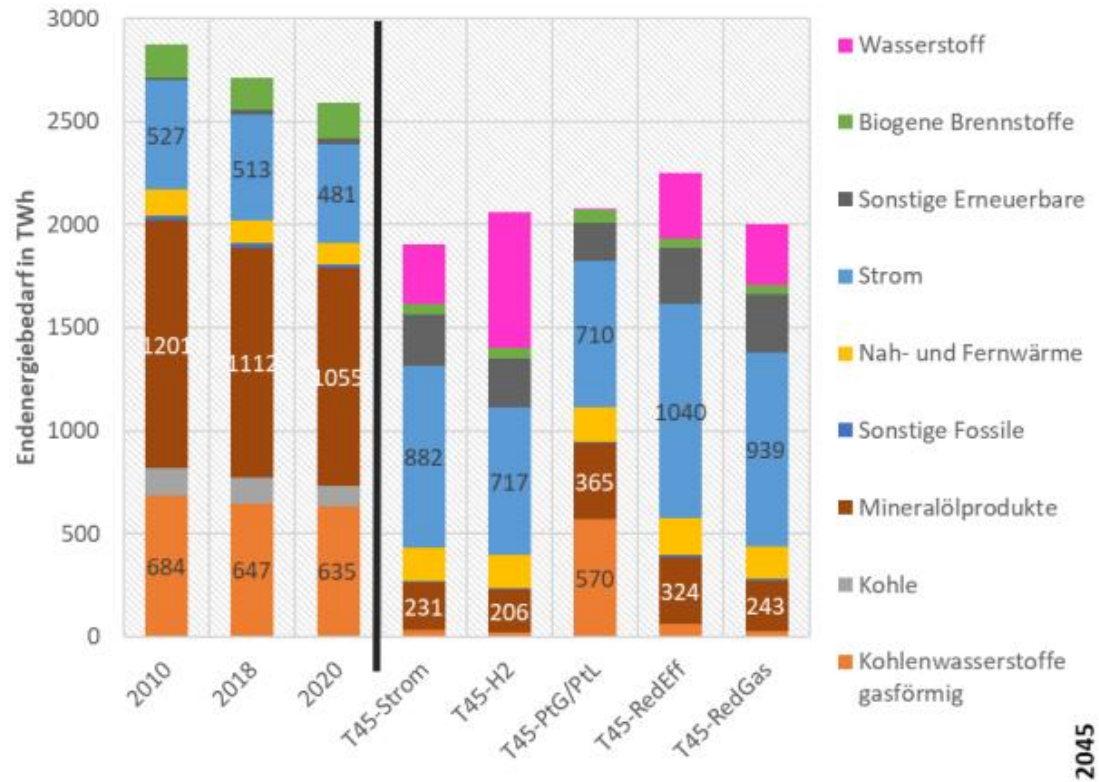
- Vergleich der Dekarbonisierung des Energiesystems durch
  - sehr starken Stromeinsatz (Szenario *TN-Strom*)
  - sehr starken Einsatz von Wasserstoff (Szenario *TN-H2-G*)
  - sehr starken Einsatz von synthetischen Kohlenwasserstoffen (Szenario *TN-PtG/PtL*)
- Modellierung der Transformationspfade bis 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

# Endenergienachfrage inkl. stofflicher Nutzung

## Strom in allen Szenarien zentraler Energieträger



### Ergebnisse

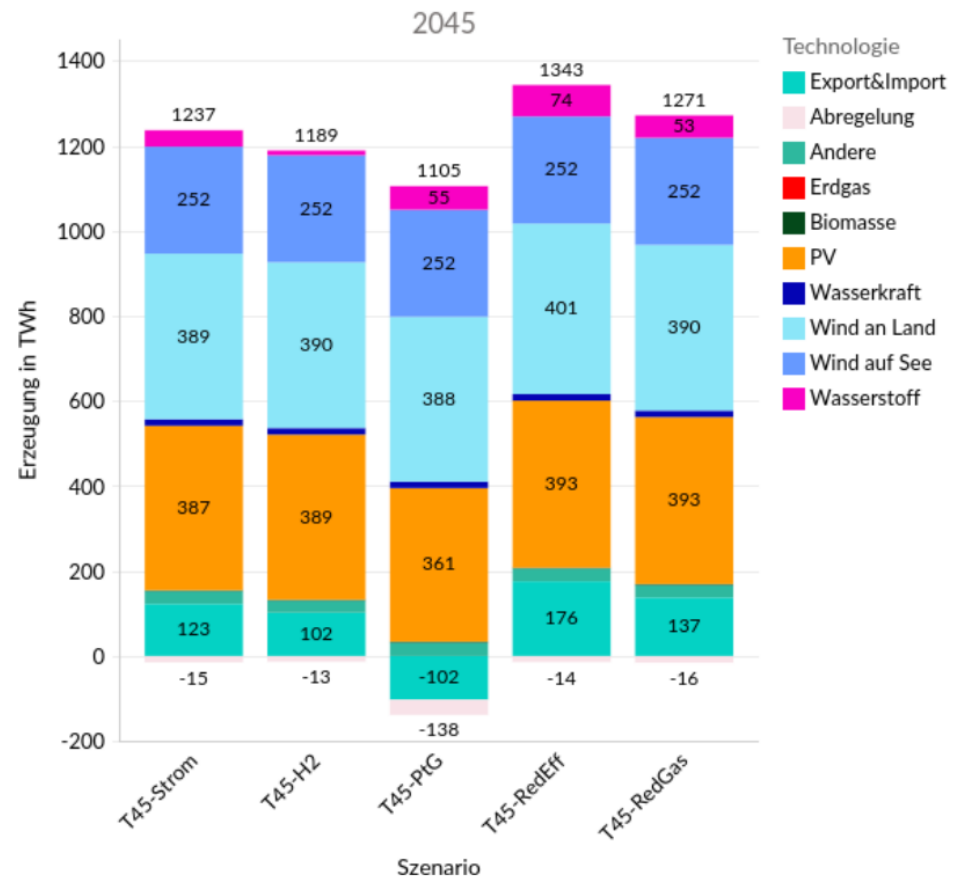
- Strombedarf 2045 zwischen 710-1040 TWh
- Wasserstoffbedarf 2045 zwischen 1 (289)-655 TWh
- Deutlicher Rückgang Kohlenwasserstoffe

### Einordnung

- Korridore der Szenarien werden kleiner
- Nah- und Fernwärme in allen Szenarien mit Aufwuchs
- Hoher Strom- und Wasserstoffbedarf in allen Szenarien (außer T45-PtG/PtL)
- Wasserstoffbedarf erhöht den Strombedarf auf der Erzeugungsseite zusätzlich
- Die Versorgungsaufgabe auf der Angebotsseite wird herausfordernder

# Stromerzeugung in Deutschland: Szenariovergleich

## Stromerzeugung Deutschland 2045: Ausbauziele für Erneuerbare dominieren das System



### Ergebnisse

- Im Grundsatz sehen die Stromsysteme in allen Szenarien strukturell gleich aus; im Detail gibt es jedoch Abweichungen
- Die Stromerzeugung in 2045 variiert zwischen ca. 1100 und 1340 TWh (höchste Werte im Szenario T45-RedGas und T45-Strom, niedrigste im Szenario T45-PtG)
- Deutschland importiert im Jahr 2045 nennenswert Strom in allen Szenarien mit Ausnahme des T45-PtG (hier Export)
- Wasserstoffrückverstromung stabilisiert das Stromsystem in allen Szenarien

### Einordnung

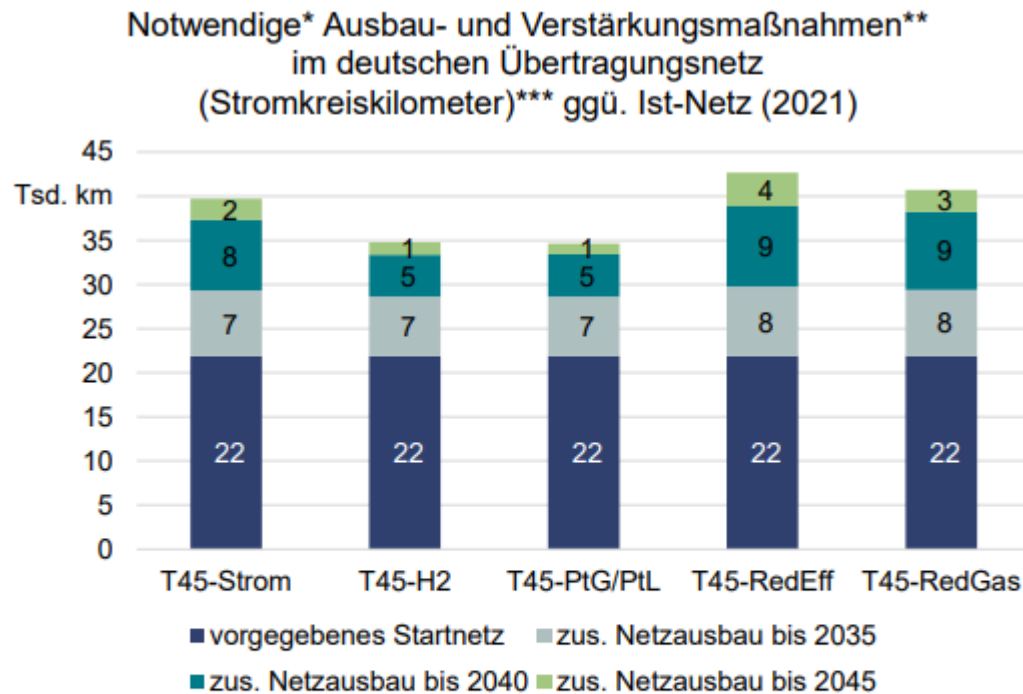
- Politische Ziele definieren den Stromerzeugungsmix in Deutschland
- Wasserstoff hat eine Rolle im Stromsystem
- Deutschland ist weiterhin ein Stromimporteur (mit Ausnahme des T45-PtG)

### Schlussfolgerungen

- Verbindungen des deutschen Stromnetzes ins europäische Ausland sind essentiell
- Das Stromsystem wäre für das Szenario T45-PtG überdimensioniert

# Kurzübersicht – Übertragungsnetz Strom

## Weiterer Übertragungsnetzausbau erforderlich



\* Die Ermittlung des Netzausbaus erfolgt in dieser Studie primär im Hinblick auf das Ziel der Ermittlung kostenoptimierter Szenarien sowie zum Vergleich der Szenarien in Bezug auf die Anforderungen an das Übertragungsnetz. Die durchgeführten Berechnungen ersetzen keine detaillierte Netzausbauplanung.

\*\*Zusätzlich zu den hier dargestellten Ausbau- und Verstärkungsmaßnahmen bei Stromleitungen erfolgt in den Szenarien zusätzlich ein Zubau / Einsatz von Phasenschiebertransformatoren und Netzboostern.

\*\*\*dargestellt sind Stromkreis-km, nicht Trassen-km

### Ergebnisse

- Über den bereits geplanten Ausbau hinaus muss das deutsche Übertragungsnetz bis 2045 weiter deutlich verstärkt und ausgebaut werden
- Die zusätzlich erforderlichen Maßnahmen übersteigen den bisher geplanten Ausbau (Startnetz: bestätigter NEP2035(V2021)) um 60% bis 100%

### Einordnung

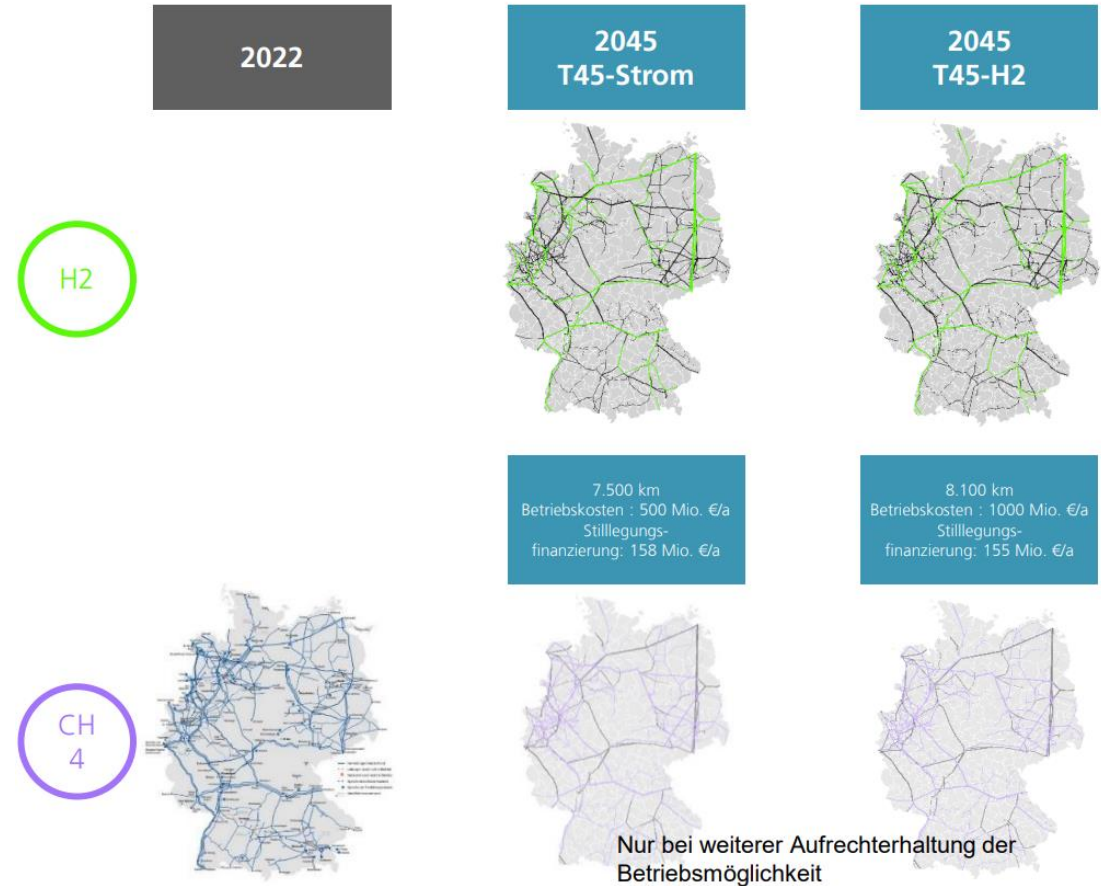
- Der hauptsächliche Teil der Ausbau- und Verstärkungsmaßnahmen erfolgt in allen Szenarien bis 2035

### Schlussfolgerungen

- Der Ausbau des Stromübertragungsnetzes ist ein wichtiger Baustein in allen untersuchten Szenarien
- In allen Szenarien ist erheblicher zusätzlicher Ausbau bereits bis 2035 erforderlich (ca. 1/3 zusätzlich zu Planungen nach bestätigtem NEP)

# Kurzübersicht – Fernleitungsnetz Gas

## Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur ist zentral



### Ergebnisse

- Unterschiedliche Netztopologien für H2 und CH4 je nach Szenario
- Ausbau des Wasserstoffnetzes in mehreren Stufen bei kontinuierlicher Reduktion der Erdgasinfrastruktur
- Etwas ausgedehnteres Wasserstoffnetz 2045 im T45-H2

### Einordnung

- Das Wasserstoffnetz wird hauptsächlich aus der bestehenden Erdgas-Infrastruktur umgewidmet
- Beachtung separater Transportaufgaben für H2 und CH4
- Verknüpfung des Strom- und Wasserstoffnetzes über Elektrolyse- und Rückverstromungs-Standorte
- Umfang des Wasserstoffnetzes v.a. bedingt durch Standorte für Elektrolyse & H2-Nachfrage und Handelsflüsse

### Schlussfolgerungen

- Umstellung i. W. auf Basis vorhandener Netzinfrastruktur möglich und zügig anzugehen
- Europäische Koordination unter Berücksichtigung von Erzeugungs-, Import- und Nachfrageregionen sinnvoll



# Zusammenfassung & zentrale Erkenntnisse\*

## Resilienz für Versorgung und Zielerreichung ist zentral

- Geschwindigkeit im Ausbau der Erneuerbaren Energien und der Transportnetze
- Energietransportnetze müssen robuster werden
  - Ein Großteil der Energieversorgung in Deutschland und Europa wird leitungsgebunden sein
  - Deutschland wird weiterhin Energie importieren und hat nur begrenzten Einfluss auf die tatsächliche Entwicklung der potentiellen Energieexporteure
  - Wasserstoffspeicher sind zentral für den saisonalen Ausgleich und sollten eher großzügig ausgebaut werden
  - Die Dimensionierung von Transportnetzen für Strom- und H2 sollte Ansprüchen an die Resilienz genügen
- Vorstellung detaillierter Ergebnisse in aktueller Webinarreihe (Hinweise zur Anmeldung siehe [www.langfristszenarien.de](http://www.langfristszenarien.de))

Webinare

**Gesamtüberblick:**  
 15.11.2022 12-14:00 Uhr  
**Industrie:**  
 16.11.2022 10-11:30 Uhr  
**Gebäude:**  
 17.11.2022 13-14:30 Uhr  
**Energieangebot:**  
 22.11.2022 10-12:30 Uhr  
**Verkehr:**  
 21.11.2022 10-11:30 Uhr  
**Strom-, Gas- und Wasserstoffnetze:**  
 24.11.2022 10-12:00 Uhr

\* Teil-Ausschnitt aus zentralen Erkenntnissen der T45-Szenarien (hier: Fokus auf Energienetze)

Quelle: [www.langfristszenarien.de](http://www.langfristszenarien.de) (Folien zum Überblickswebinar vom 15.11.2022)

# Agenda

- Kurzvorstellung Langfristszenarien
- **Studie: Regionalisierung der LFS für Niedersachsen**
- Fazit

# Regionalisierung der „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ (LFS 3) für das Land Niedersachsen

## Durchgeführte Arbeiten und Vorab-Einordnung

### Gasfernleitungsnetze

- **Regionalisierung:** Exakte Auswertung der Netzentwicklung (H2/CH4) für Niedersachsen (leitungsscharfe Zuordnung)
- **Einordnung:** Grundsätzliche Einordnung von Szenarioeffekten und Auswirkungen auf Bedarfe
- **Szenarien:** TN-Strom, TN-H2-G, TN-PtG/PtL

### Stromübertragungsnetze

- **Regionalisierung:** Exakte Auswertung der Leitungsausbauten für Niedersachsen (leitungsscharfe Zuordnung)
- **Einordnung:** Detaillierte Auswertung von (stdl.) Last-Einspeise-Charakteristiken und Netzbelastungen (technische Analyse)
- **Szenarien:** TN-Strom, TN-H2-G, TN-PtG/PtL, Variante TN-RedÜNetz

### Vorab-Einordnung der Ergebnisse / Disclaimer

- Szenarienbetrachtungen der LFS zielen insbesondere auf einen **Vergleich zwischen verschiedenen Szenarien** ab
- regionalisierte Netzausbau-Ergebnisse ermöglichen eine Einschätzung von Mengengerüsten und Kosten, stellen aber **keine konkrete Netzplanung** dar

# Regionalisierung der „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland“ (LFS 3) für das Land Niedersachsen

## Durchgeführte Arbeiten und Vorab-Einordnung

- **Regionalisierung:** Exakte Auswertung der Netzentwicklung (H2/CH4)

### Gasf

Für Regionalisierung der LFS untersuchte TN-Szenarien:

- Vor Klimaschutznovelle gerechnet (Zielvorgabe: THG-Neutralität 2050)
- Szenario TN-Strom erreicht jedoch bereits die aktuellen Gesamt-minderungsziele für die Jahre 2030 (-65%) und 2040 (-88%). Entwicklung letzter Dekade müsste weiter beschleunigt werden, um bereits 2045 Treibhausgasneutralität zu erreichen
- In den Szenarien TN-H2-G und TN-PtG/PtL werden die neuen Gesamt-minderungsziele für 2030 und 2040 verfehlt. Dies gilt insbesondere für das Szenario TN-PtG/PtL.
- Eine Erreichung der Ziele wäre innerhalb der Logik der Szenarien nur durch schnellere Diffusion von Wasserstoff bzw. synthetischen Kohlenwasserstoffen möglich. Dies wäre mit zusätzlichen Kosten und im Falle von Wasserstoff mit der Umstellung der Endgeräte verbunden. Zusätzlicher Bedarf:
  - TN-PtG/PtL: 2030: + ca. 90 TWh PtG; 2040: + ca. 250 TWh PtG
  - TN-H2-G: 2030: + ca. 60 TWh H2; 2040: + ca. 80 TWh H2
- Die prinzipiellen Erkenntnisse der Analyse zur Regionalisierung der Ergebnisse für Niedersachsen sind nach unserer Ansicht jedoch auch nach der aktuellen Verschärfung der Klimaziele gültig.

### Strom

### Vorab Ergebnisse / Disclaimer

- Regionalisierte Netzausbau-Ergebnisse ermöglichen eine Einschätzung von Mengengerüsten und Kosten, stellen aber **keine konkrete Netzplanung** dar

# Ergebnisse der LFS 3: Fernleitungsnetze Gas

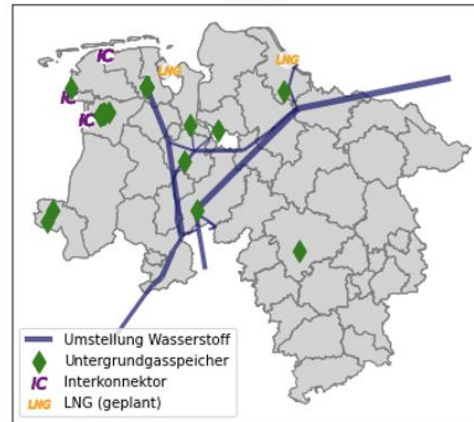
## Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur und Rückbau der Erdgasnetze in allen Szenarien

Wasserstoff

- Zuwachs vor allem durch Umwidmung
- Wasserstoffnetz im TN-H2 Szenario am ausgeprägtesten, insbesondere bei flächendeckendem Einsatz in der Wärme
- ausgewählte Interkonnektoren und ein Großteil der Kavernenspeicher werden umgewidmet

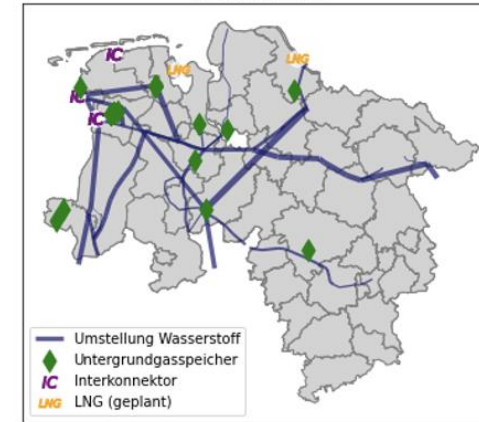
TN-PtX 2050

H2 PtX



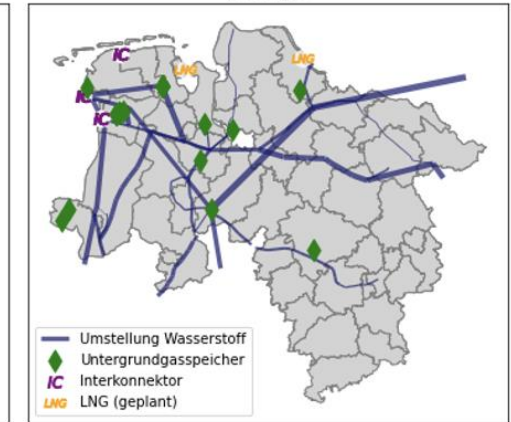
TN-Strom 2050

H2 Intermediate



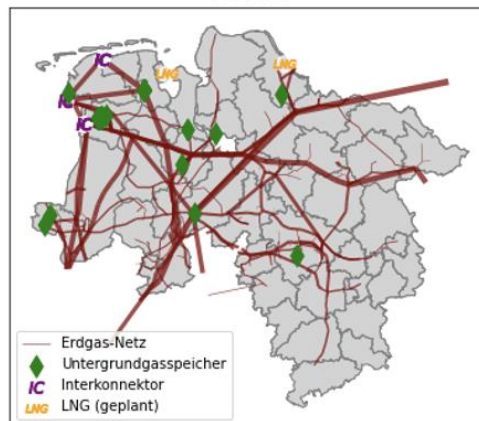
TN-H2 2050

H2 Target

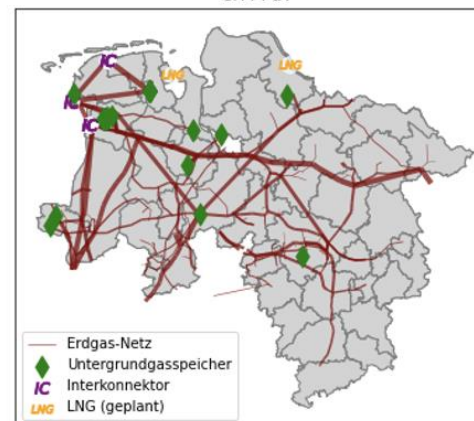


Erdgas

DE 2018



CH4 PtX



- Methannachfrage stark rückläufig in TN-H2 und TN-Strom, Umwidmung und Stilllegung der Infrastruktur
- Umstellung auf synthetische Kohlenwasserstoffe in TN-PtX, daher kaum Umwidmung/Stilllegung
- 2050 keine Erdgasnetze benötigt in TN-H2 und TN-Strom
- Gastransit theoretisch weiter möglich

# Schlussfolgerungen zu regionalisierten Netzausbaubedarfen: Fernleitungsnetze Gas

## Niedersachsen in einer Vorreiterrolle mit besonderen Herausforderungen

### Power-to-Gas/Liquid-Szenario

- Kaum Umwidmung/Stilllegung
- Gasnetze weiter für synthetische Kohlenwasserstoffe verwendet
- Netzbetrieb am günstigsten, aber hohe Energieverluste und Kosten für die PtX-Produktion

### Stromszenario

- Wasserstoff als Energiespeicher und Rohstoff v.a. in der Industrie
- Starker Rückgang der Gasnetze
- 2050 etwa 1/3 der Netze weiter für Wasserstoff in Betrieb
- Netzbetrieb teurer als PtX-Szenario aber günstiger als H2-Szenario

### Wasserstoffszenario

- Großteil der Gasnetze umgewidmet, Rückgang insgesamt
- Kosten auf Grund hoher variabler Betriebskosten für H2 am höchsten
- bei flächendeckendem H2-Bedarf für Wärme H2-Netze noch kostenintensiver

### Besondere Rolle Niedersachsens

- starker Ausbau der Elektrolyse (H2-Produktion) – NDS in Vorreiterrolle (45-70 % im Jahr 2030, 20-40 % im Jahr 2050)
- Jedoch im Vgl. zu DE durchschnittliche H2-Nachfrage aus Niedersachsen → auch Produktion für den Rest Deutschlands
- Großteil der umzuwiddenden Speicher und Interkonnektoren in Niedersachsen

### Herausforderungen

- hohe Erdgasimporte aus Norwegen (Dornum/Emden) sowie LNG über Stade und Wilhelmshaven
- Netz sollte aufgrund der Erkenntnisse der LFS unbedingt mit H2 im Blick geplant werden, alle Zubauten H2-ready sein

# Ergebnisse der LFS 3: Übertragungsnetz Strom

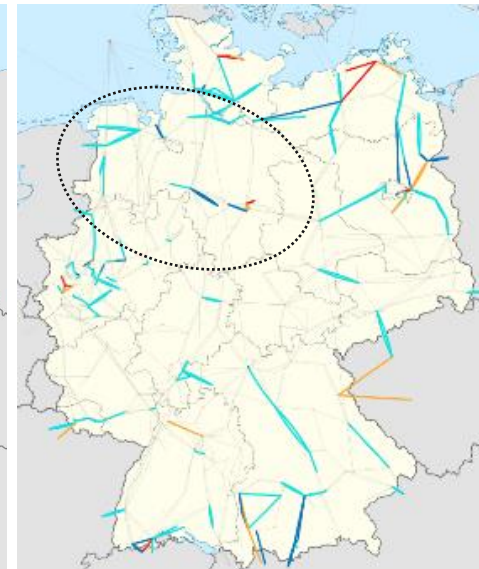
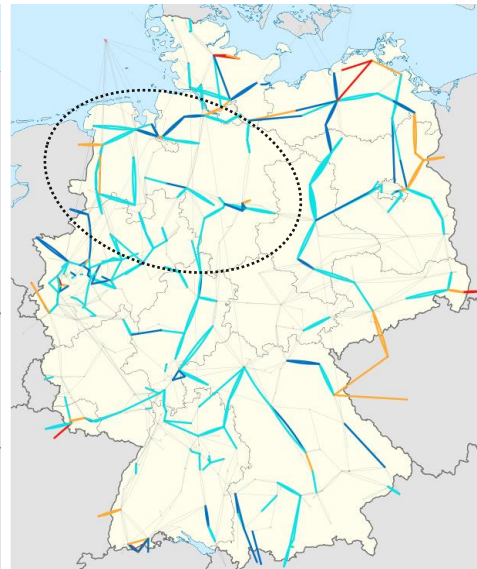
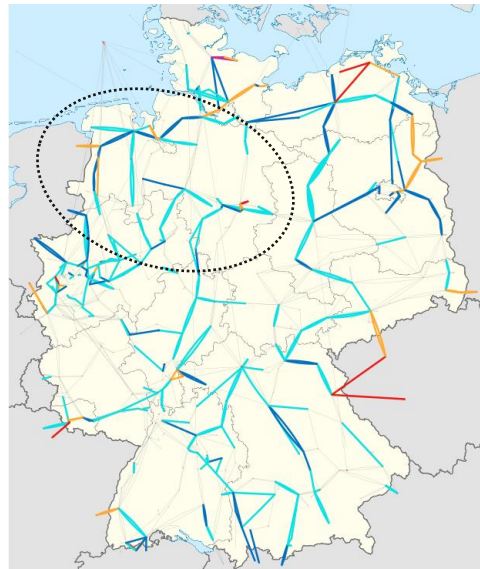
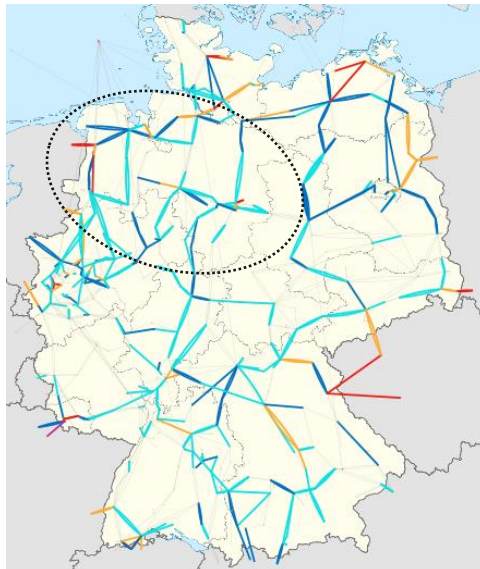
Maximale Leitungsauslastungen als erster Indikator: In allen Szenarien ist Stromübertragungsnetzausbau in Niedersachsen zu erwarten

TN-Strom

TN-H<sub>2</sub>-G

TN-PtG/PtL

TN-RedÜNetz

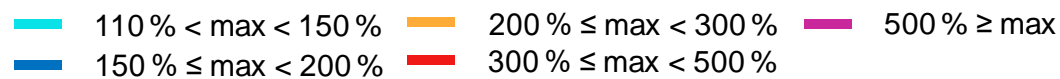


**Ausbaubedarfe DE  
2020 – 2050**  
(Stromkreise in km):

TN-Strom:	40 Tkm
TN-H <sub>2</sub> -G:	35,8 Tkm
TN-PtG/PtL:	33,8 Tkm
TN-RedÜNetz:	25 Tkm

Davon jeweils 19 Tkm als  
vorgegebener  
Mindestzubau (Startnetz  
anhand BBPIG / TYNDP)

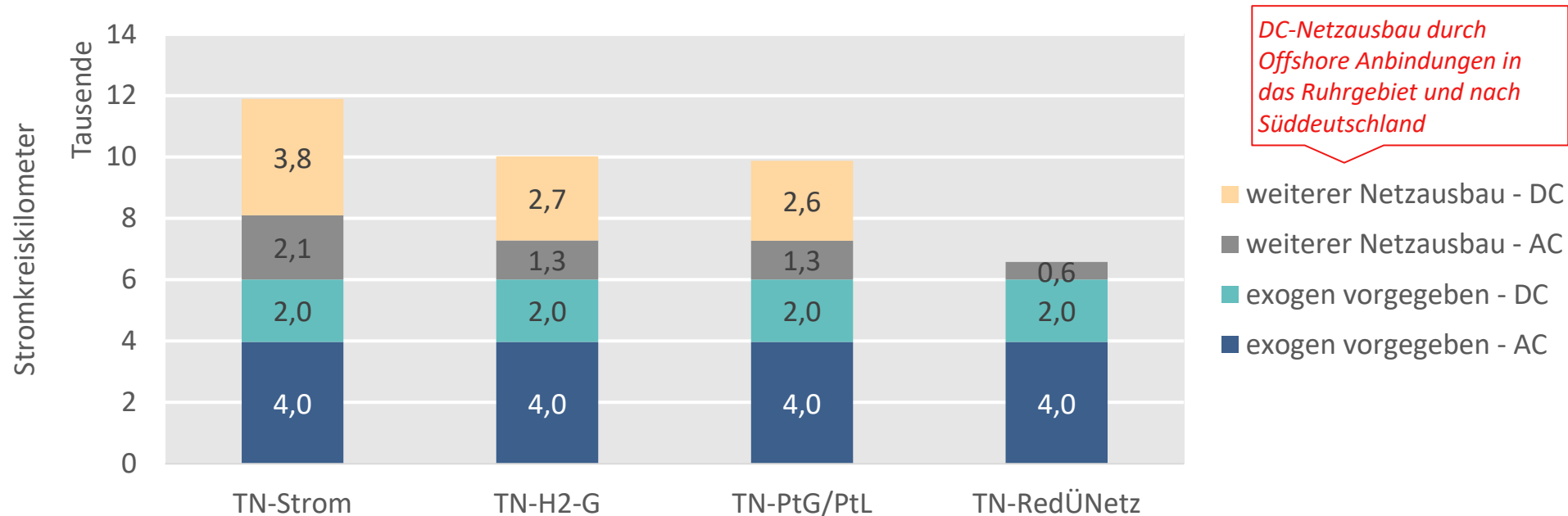
max. Belastung in (n-1)-Fall



→ Deutliche Unterschiede zwischen den Szenarien auch in Niedersachsen zu erkennen

# Ergebnisse der LFS 3: Übertragungsnetz Strom

Das Land Niedersachsen ist überdurchschnittlich von Netzausbau „betroffen“



DC-Netzausbau durch Offshore Anbindungen in das Ruhrgebiet und nach Süddeutschland

**Ausbaubedarfe DE 2020 – 2050**  
(Stromkreise in km):

**Startnetz:**

Alle Szenarien:	19.000
Anteil Niedersachsen:	32 %

**Zusätzlich zum Startnetz:**

<u>TN-Strom:</u>	21.000
Anteil Niedersachsen:	29 %
<u>TN-H2-G:</u>	17.000
Anteil Niedersachsen:	24 %
<u>TN-PtG/PtL:</u>	15.000
Anteil Niedersachsen:	26 %
<u>TN-RedÜNetz:</u>	6.000
Anteil Niedersachsen:	8 %

- Vorgegebener Netzausbau: Fast ein Drittel des Netzausbaubedarfs Deutschlands liegt in Niedersachsen
- Der weitere Netzausbau bis 2050 wird zu großen Teilen durch die Anbindung von Offshore Windenergie verursacht



# Schlussfolgerungen zu regionalisierten Netzausbaubedarfen: Übertragungsnetz Strom

## Niedersachsen hat eine entscheidende Rolle im Transformationsprozess zur THG-Neutralität

### Einordnung Niedersachsens in Szenarienkontext

- Bis 2050 erfolgt ein starker Zubau von Windenergieanlagen in NDS, anteilig 18 % am gesamter Wind Onshore Leistung in DE (zzgl. Offshore)
- Windoffshore-Anbindung hauptsächlich in Norddeutschland (auch wenn Anbindung tlw. ins Ruhrgebiet und nach Süddeutschland erfolgt)
- Elektrolyseure sind ebenfalls in großen Teilen in NDS angesiedelt
- Handelskapazitäten steigen bis 2050 stark an

### Netzausbaubedarfe in Niedersachsen

- NDS ist überproportional von Netzausbaubedarfen „betroffen“
  - Ca. 1/3 der dt. Startnetzmaßnahmen (bestätigter NEP bis 2030)
  - Ca. 1/4 der darüber hinaus für DE innerhalb der Szenarien endogen ermittelten Ausbauten bis 2050
- Ohne Modellierung einer DE-Regionalisierung („DE 1“ bis „DE 6“) wie in LFS könnten Netzausbaubedarfe noch höher ausfallen

### Treiber für Netzausbau in Niedersachsen

- Einspeisungen von Wind Offshore / Onshore mit daraus resultierendem Transportbedarf
- Importe / Handelskapazitäten Nordsee (und NL / DK) -> „Durchleitung“
- Elektrolyseure wirken hingegen eher Netzausbau-verringern (auch durch Annahme / Voraussetzung systemdienlicher Standort- und Einsatzentscheidungen)

# Agenda

- Kurzvorstellung Langfristszenarien
- Studie: Regionalisierung der LFS für Niedersachsen
- **Fazit**

# Energienetze im Kontext der Energiewende – Herausforderungen und Handlungsbedarf zur Erreichung von Klimaneutralität bis 2045

## Fazit

### Herausforderungen Deutschland / Europa

- Geschwindigkeit im Ausbau der Erneuerbaren Energien und der Transportnetze zentral
- Energietransportnetze müssen robuster werden

### Rolle von Niedersachsen

- NDS ist überdurchschnittlich von Anpassungsbedarfen der Infrastrukturen betroffen, sowohl für Stromübertragungs-, als auch für Gasfernleitungsnetze (insbes. H2)
- Treiber insbes. hohe Stromeinspeisungen durch Windenergieanlagen und Importe, aber auch hohe Stromnachfragen z.B. durch Elektrolyseure (und daraus resultierend H2-Transportbedarfe)

### Mögliche Lösungsansätze

- Energietransportachsen resilient ausgestalten, dazu auch Flexibilität zwischen Strom- und Wasserstoffinfrastrukturen schaffen
- Breites Technologieportfolio optimal nutzen
- Standortwahl beeinflussen und systemdienlichen Betrieb ermöglichen
- Beschleunigte und vereinfachte Genehmigungsverfahren
- Technische Randbedingungen in EE-geprägtem System sicherstellen



# consentec

Consentec GmbH  
Grüner Weg 1  
52070 Aachen  
Deutschland

Tel. +49 241 93836-0  
Fax +49 241 93836-15  
info@consentec.de  
[www.consentec.de](http://www.consentec.de)