

# Durchführbarkeitsstudie für eine Dänisch-Deutsche Wasserstoffinfrastruktur

Energinet und Gasunie haben im April eine Durchführbarkeitsstudie "Pre-feasibility Study for a Danish-German Hydrogen Network" [1] für eine Wasserstoffpipeline (100 %) zwischen Dänemark und Deutschland veröffentlicht. Diese high-level Studie adressiert technische Aspekte einer Wasserstoffverbindung (mögliche Ausbaustufen, benötigte Ausbauten und abgeschätzte Kosten), geht aber auch auf den möglichen Nutzen einer Verbindung für die beiden Länder ein: Dänemark bietet ein hohes Potenzial für die Erzeugung von grünem Wasserstoff und Deutschland wird zukünftig klimaneutralen Energieimport benötigen – eine Pipeline kann Angebot und Nachfrage verbinden, um dadurch die Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft voran zu bringen. In diesem Übersichtsartikel werden die Ergebnisse der Studie vorgestellt, ergänzt um die aktuellen Entwicklungen beim „Thema Wasserstoff“ mit Bezug für eine Verbindung der beiden Länder.

## Übersicht über die Ergebnisse der Energinet/Gasunie Studie

Im Folgenden wird eine Übersicht der Aussagen der Studie in den verschiedenen Themenbereichen gegeben.

### Wasserstoff-Exportpotenzial von Dänemark

Die rasche Entwicklung der erneuerbaren Energien stellt neue Anforderungen an die künftige Energieinfrastruktur Dänemarks. Um einen wachsenden Anteil an erneuerbaren Energien effektiv zu integrieren und gleichzeitig die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, muss die Integration von Sektoren wie Strom, Gas, Verkehr und Wärme erleichtert werden. Power-to-X hat das Potenzial, einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung von Sektoren, die nicht oder nur schwer direkt mit Strom versorgt werden können, zu leisten, darunter Hochtemperaturprozesse in der Industrie, Schwerlastverkehr an Land sowie Luft- und Schifffahrt.

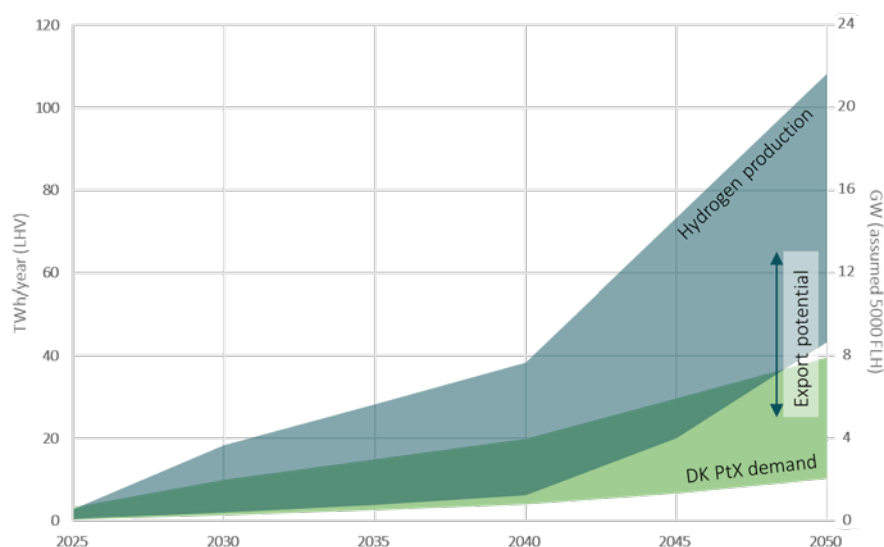
Dänemark verfügt über ein erhebliches Potenzial für die Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff aus Sonnen- und Windenergie und damit für die Erzeugung von auf Wasserstoff aufbauenden Folgeprodukten wie Ammoniak, Methanol oder synthetischen Brennstoffen (zusammengefasst als „PtX“). Die Nachfrage nach Wasserstoff in Dänemark ist zurzeit noch relativ begrenzt. Selbst bei einer steigenden Nachfrage im Land wird erwartet, dass das Angebot an Wasserstoff die Nachfrage kurz- und längerfristig übersteigen wird. Infolgedessen könnte Dänemark zu einem Exporteur von Wasserstoff werden.

In der Studie wird das Exportpotenzial von Dänemark für Wasserstoff auf der Basis der Prognose der dänischen Energieagentur (DEA – Energistyrelsen, [2, 3]) abgeschätzt. Die DEA hat im Jahr 2020 erstmalig Prognosen für die dänische Produktion von Wasserstoff bzw. PtX sowie für die nationale Verwendung von PtX-Produkten veröffentlicht. Die zukünftige Entwicklung der Erzeugung sowie der Nutzung von PtX werden als Korridore mit einer Bandbreite für die künftige Entwicklung angegeben, so dass sich für das dänische Exportpotenzial Prognosen im Bereich von 2-15 TWh, 3-22 TWh und 5-28 TWh in den Jahren 2030, 2035 und 2040 ergeben (dies entspricht einer Erzeugungsleistung von etwa 0,5-3 GW, 1-4 GW und 1-6 GW unter der Annahme von 5.000

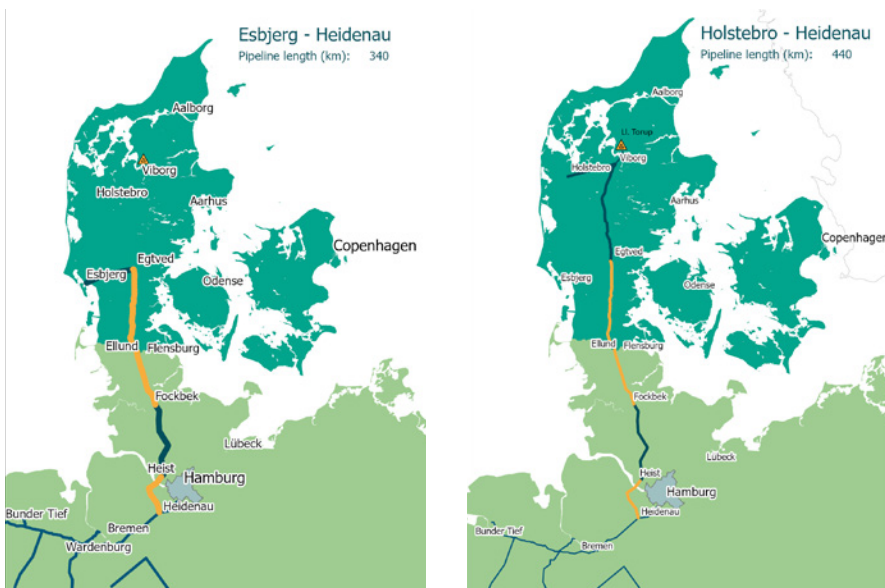
Volllaststunden). Die Abschätzung des Potenzials ist dabei vermutlich eher vorsichtig. Nach öffentlichen Ankündigungen könnten in Dänemark bereits bis 2030 insgesamt ca. 4,5 GW Elektrolyseur-Kapazität aufgebaut werden (Bild 1).

### Bedarf nach erneuerbarem Wasserstoff in Deutschland

Deutschland könnte ein potenzieller Abnehmer von Wasserstoff aus Dänemark sein. Im Gegensatz zur begrenzten Nachfrage nach Wasserstoff in Dänemark verwendet die deutsche Industrie bereits erhebliche Mengen an Wasserstoff aus fossilen Quellen, und es wird erwartet, dass die Nachfrage nach erneuerbarem Wasserstoff stark ansteigen wird. Erneuerbarer Wasserstoff wird dabei nicht nur



**Bild 1:** Dänisches H<sub>2</sub>-Exportpotenzial basierend auf der PtX-Prognose (Demand und Supply) der Dänischen Energieagentur [2] und Energinet-Simulationen (LHV = Lower Heating Value / Heizwert, FLH = Full Load Hours / Nutzungsstunden)



**Bild 2:** Übersicht über die beiden betrachteten Wasserstoffverbindungen zwischen Dänemark und Deutschland mit Start in Esbjerg bzw. Holstebro.

- = Als Neubau geplante Wasserstoffleitung
- = Auf den Transport von Wasserstoff umgestellte Leitung
- = H<sub>2</sub> Leitungsnetz aus dem Netzentwicklungsplan Gas 2020-2030

den „fossil erzeugten“ Wasserstoff in bestehenden Anwendungen ersetzen, sondern es kommen auch Anwendungen in neuen Sektoren dazu (z. B. Einsatz in der Stahlerzeugung oder auch verstärkt im Verkehr). Die nationale Wasserstoffstrategie beziffert die Nachfrage nach Wasserstoff bereits im Jahr 2030 auf 90-110 TWh [4]. Dies übersteigt bei weitem die Menge an erneuerbarem Wasserstoff (14 TWh), die in Deutschland mit der in der Strategie bis 2030 vorgesehen Elektrolyseleistung von 5 GW erzeugt werden kann so dass die Einfuhr von Wasserstoff notwendig für die Deckung des Wasserstoffbedarfs in Deutschland sein würde. Die Rolle von Wasserstoff - oder allgemeiner von erneuerbaren Gasen - im zukünftigen Energiesystem wird in verschiedenen Energiestudien (z. B. in den Szenarien der „Leitstudie“ der dena oder in der Studie „Klimaneutrales Deutschland“ der AGORA) recht unterschiedlich gesehen. In aktuelleren Studien kristallisieren sich für Wasserstoff klare „no-regret“ Bereiche heraus, die übereinstimmend als zukünftige Einsatzbereich von Wasserstoff angesehen werden. In der Durchführbarkeitsstudie wurde versucht, eine Übersicht der zentralen Argumente für oder gegen den

Einsatz von Wasserstoff in den verschiedenen Sektoren zu geben.

Wichtig Entwicklung in neueren Studien ist, dass davon ausgegangen wird, dass zukünftig ein grenzüberschreitendes Netz für den Transport von Wasserstoff existieren wird. Verschiedene Netzbetreiber haben national aber auch in Kooperation international erste Visionen für nationale Wasserstoffnetze entwickelt, die zusammen ein erstes visionäres europäisches Netz ergeben (The European Hydrogen Backbone [5]). In der Studie wird ein kurzer Überblick zum Stand der Planungsaktivitäten in Deutschland gegeben.

**Technische Planung & betrachtete Ausbauvarianten**

In der Studie werden Prämissen für die technische Planung festgelegt und kurz begründet. Es wird z. B. davon ausgegangen, dass vorhandenen Leitungen auf den Transport von Wasserstoff umgestellt werden können. Bei Verdichterstationen wird dagegen ein Neubau eingepplant. Es werden Kostensätze für die unterschiedlichen Maßnahmen (Neubau von Leitungen, Umstellung von Leitungen sowie Neubau von Verdichterstationen) festgelegt.

In der Studie wird davon ausgegangen, dass ein paralleles System für Methan und Wasserstoff noch lange Zeit nebeneinander bestehen wird, auch im Jahr 2050, wenn das Methannetz auf 100 % grünes Gas umgestellt sein wird.

In der Studie werden in Dänemark zwei mögliche Standorte (Esbjerg, Holstebro) für den Aufbau zur Wasserstoffherzeugung und somit als Ausgangspunkt für eine relevante Transportverbindung betrachtet. Planerischer Endpunkt in Deutschland ist jeweils Heidenau (südlich von Hamburg), da hier eine Verbindung zum im Netzentwicklungsplan Gas 2020-2030 geplanten Wasserstoffnetz realisiert werden kann (Bild 2).

Die Studie zeigt, dass ein Wasserstoffnetz zwischen Dänemark und Deutschland in Ausbaustufen errichtet werden kann, um einem steigenden Bedarf an Transportkapazitäten Rechnung tragen zu können. Eine 340 km lange Pipeline, die Esbjerg und Heidenau verbindet, kann in einer ersten Phase bis zu 2,5 GWh/h Wasserstoff ohne den Einsatz von Verdichterstationen transportieren. Später kann die Kapazität durch den Zubau von Verdichterleistung auf bis zu 8,6 GWh/h erhöht werden. Die Studie zeigt durch die Betrachtung verschiedener Verdichtervarianten, dass der Standort von Verdichterstationen großen Einfluss auf die Kosten und die realisierbare Transportkapazität des Systems hat.

Die Kosten der Wasserstoffverbindung hängen insbesondere von der für die realisierte Transportkapazität benötigten Verdichterleistung, der Länge des Systems und den Möglichkeiten der Wiederverwendung der bestehenden Gasinfrastruktur ab. Im 2,5 GWh/h Szenario ohne Verdichtung zwischen Esbjerg und Heidenau, werden Investitionen (CAPEX) von rund 390 Mio. € benötigt. Die Kapazität kann auf bis zu 8,6 GWh/h erhöht werden durch den Bau einer Verdichterstation in Ellund. In diesem Szenario werden die Investitionen auf rund 670 Mio. € abgeschätzt, wobei etwa 40 % der Kosten (280 Mio. €) auf die Verdichterstation entfallen. Durch die Wiederverwendung bestehender Gasleitungen werden erhebliche Kosteneinsparungen erzielt. In dieser Studie

wird gezeigt, dass je nach Startpunkt in Dänemark 50-60 % der Wasserstoffverbindung zwischen Dänemark und Deutschland durch bestehende Gaspipelines realisiert werden können.

Wasserstofftransportsysteme in großem Maßstab und über große Entfernungen sind technisches Neuland. Für die Kostenbestimmung in dieser Studie wurden vereinfachende Annahmen getroffen. Die Kostenschätzungen sind als indikativ zu verstehen.

Es wurde auch ein Vergleich mit dem Transport von Wasserstoff per Lkw und Schiff angestellt, wobei man zu dem Schluss kam, dass der Transport von Wasserstoff in Pipelines - für die in dieser Studie angenommenen Mengen und Entfernungen - hinsichtlich der Kosten als auch hinsichtlich der Logistik die klar zu bevorzugende Option ist.

Der Wert eines Leitungssystems steigt mit höherer Nachfrage nach Transportkapazitäten, trotzdem könnte ein anfängliches System mit bis zu ~2,5 GWh/h die Entstehung eines (Insel)-Wasserstoffmarktes in einem nördlichen Cluster zwischen Dänemark und Norddeutschland auf kostengünstige Weise unterstützen, selbst wenn dieses System anfänglich nicht ausgelastet sein sollte und noch keine komplette Vernetzung realisiert werden konnte. Gemäß den Wasserstoffnetzplanungen im Netzentwicklungsplan Gas 2020 könnte Hamburg bereits im Jahr 2025 in ein Wasserstoffnetz in Deutschland integriert sein.

### Kernaussagen der Studie

Die Studie trifft die folgenden Kernaussagen zur Realisierbarkeit einer Wasserstoffverbindung zwischen Dänemark und Deutschland

1. Eine Wasserstoffverbindung zwischen Dänemark und Deutschland kann relativ schnell realisiert werden. Die Entwicklung hängt vom Bedarf des Wasserstoffmarktes ab.
2. Das Design der Wasserstoffverbindung ist skalierbar. Eine erhebliche Kapazität kann bereits durch eine reine Netzverbindung realisiert werden. Je nach Entwicklung der Wasserstoffnachfrage kann die Kapazität der

Pipeline durch die Installation von Verdichterleistung erhöht werden.

3. Die Wiederverwendung bestehender Pipelines senkt die Kosten erheblich und sollte wenn möglich genutzt werden.
4. Um einen kosteneffizienten und rechtzeitigen Ausbau des Wasserstoffnetzes zu gewährleisten, sollte es so konzipiert und gebaut werden, dass es den längerfristigen Prognosen für die Wasserstoffnachfrage entspricht.

### Aktuelle Entwicklungen

Wasserstoff ist ein hochdynamisches Thema und seit Veröffentlichung der Studie haben Entwicklungen stattgefunden, die die Motivation für die Entwicklung einer Wasserstoffverbindung zwischen Dänemark und Deutschland unterstützen.

### Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032

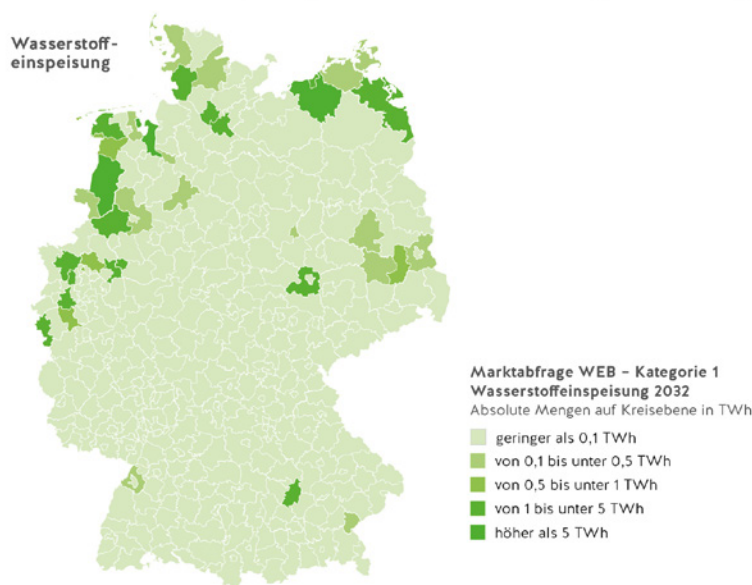
Am 21.06.2021 haben die deutschen Fernleitungsnetzbetreiber (FNB) den Szenariorahmen für den Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032 [6]) veröffentlicht, der als wichtige Eingangsgröße für die Auslegung eines zukünftigen Wasserstoffnetzes in Deutschland die Ergebnisse der

von den FNB durchgeführten Marktabfrage Wasserstoffabfrage für Erzeugung und Bedarf (WEB) enthält. An der WEB haben sich über 500 Projekte beteiligt, die in Summe einen erheblichen Kundenbedarf an Transportleistungen über ein Wasserstoffnetz darstellen. In Schleswig-Holstein liegen z. B. relevante Anteile der gemeldeten Wasserstoffeinspeisung, so dass ein Aufbau einer bis zur dänischen Grenze reichenden Wasserstoffinfrastruktur relevant wird, allein zur Erfüllung der Anforderungen nach der WEB des NEP 2022 (Bild 3).

### European Hydrogen Backbone

Im Juni 2021 hat die Initiative European Hydrogen Backbone an der die Mehrheit der europäischen Fernleitungsnetzbetreiber mitwirken eine Studie veröffentlicht, in der sie europaweit das Angebot sowie den Bedarf nach erneuerbarem Wasserstoff untersucht haben [7, 8]. Die Basis dieser dritten Studie im Rahmen der EHB Kooperation war ein einheitliches Energiemodell für die beteiligten Länder Europas, das insbesondere die unterschiedlichen regionalen Potenziale für die Erzeugung von erneuerbarem Strom und darauf basierend erneuerbarem Wasserstoff untersucht hat. Diese Studie

Gemeldete WEB-Wasserstoffeinspeisungen im Jahr 2032 für die Projekte der Kategorie 1



Quelle: Fernleitungsnetzbetreiber

**Bild 3:** Projekte zur Wasserstoffeinspeisung für 2032 aus der Marktabfrage der FNB für den Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032 („Kategorie 1“ = Projekte relevant für die Fernleitungsebene)

FIGURE 27

Green hydrogen supply potential from dedicated renewables per major EU and UK region in 2030, 2040, and 2050 (in TWh)

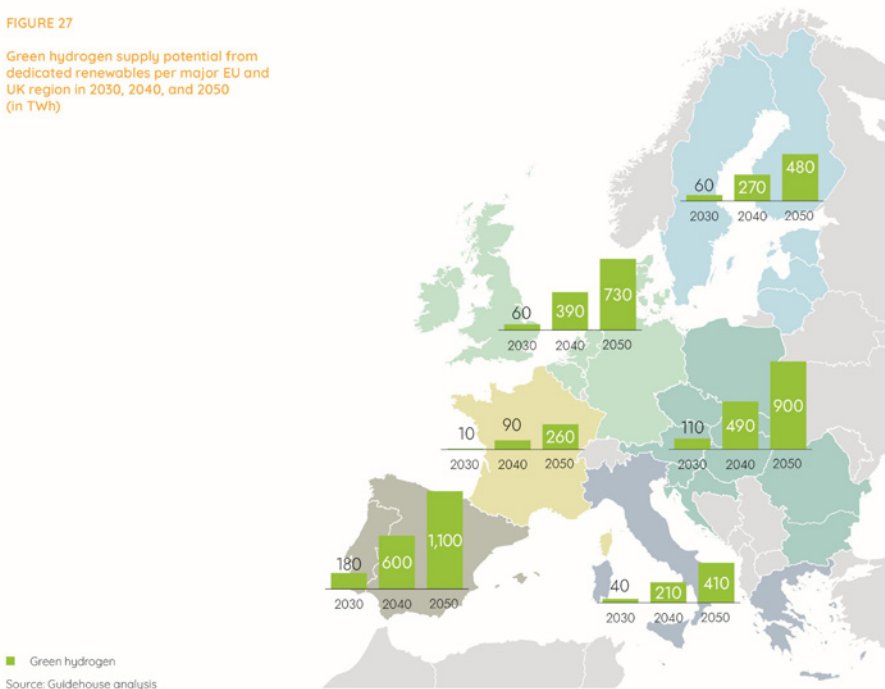


Bild 4: Regionales Erzeugungspotenzial von grünem Wasserstoff.

bestätigt in einer einheitlichen Betrachtungsweise die Einschätzung, dass Dänemark und der skandinavische Raum sich im europäischen Wasserstoffmarkt zum Exporteur von Wasserstoff entwickeln kann und Deutschland seinen Wasserstoffbedarf aus Dänemark aber auch anderen Regionen Europas decken kann.

**HyPerLink – das IPCEI Projekt der Gasunie Deutschland**

Das Bundeswirtschaftsministerium und das Bundesverkehrsministerium haben am 28.05.2021 eine Auswahl von 62 Wasserstoff-Großprojekten vorgestellt, die im Rahmen eines gemeinsamen europäi-

schen Wasserstoffprojekts (sog. Wasserstoff-IPCEI - Important Projects of Common European Interest) staatlich gefördert werden sollen.

Die Förderung der deutschen Vorhaben erfolgt im Rahmen eines europäischen Projekts (IPCEI Wasserstoff) gemeinsam mit bis zu 22 europäischen Partnerländern. Die verschiedenen nationalen Projekte sollen so miteinander vernetzt werden, dass alle Länder voneinander profitieren und gemeinsam eine europäische Wasserstoffwirtschaft aufgebaut werden kann. Die Projekte der Vorauswahl müssen von der Europäischen Kommissi-

on noch beihilferechtlich genehmigt werden, was im Laufe des Jahres erfolgen soll.

Das Projekt HyPerLink der Gasunie Deutschland ist eines der 62 national ausgewählten Projekte. Gasunie will mit dem Projekt HyPerLink vor 2030 eine Wasserstoffinfrastruktur von der niederländischen Grenze bis in die Industrieregionen um Hamburg und Hannover realisieren. Die Erweiterung des Systems bis zur dänischen Grenze ist von der Gasunie als sinnvolle zweite Ausbaustufe im Antrag zum Projekt enthalten.

**Marktdialog zur Nachfrage nach Wasserstoffinfrastruktur in Dänemark**

Die dänische Energiebehörde und Energinet haben im Zeitraum Juli bis August einen Marktdialog durchgeführt, um die Nachfrage nach einer Wasserstoffinfrastruktur in Dänemark zu ermitteln. Die Ergebnisse des Marktdialogs sollen in die Arbeit der dänischen Energiebehörde und in die zukünftige Netzplanung für Strom und Gas bei Energinet einfließen.

Als unabhängiges staatliches Unternehmen, das für die gesamte Energieinfrastruktur in Dänemark verantwortlich ist, hat Energinet die gesetzliche Aufgabe, Entwicklungen im Energiesektor zu erleichtern und zu unterstützen, um damit für den Aufbau einer klimaneutralen Energieversorgung beizutragen. Die Bedarfsermittlung für Strom- und Gasinfrastrukturen wird nach bereits etablierten Verfahren durchgeführt, deckt jedoch nicht den potenziellen Bedarf an Wasserstoffinfrastrukturen ab. Der Dialog ist der erste Versuch, den Bedarf an Wasserstoffinfrastrukturen in Dänemark für Flexibilitäts-, Speicher- und/oder Transportzwecke zu ermitteln. Auch grenzüberschreitende Infrastrukturen in den Nachbarländern werden in Betracht gezogen.

Alle Marktteilnehmer (Hersteller, Projekt-Entwickler, Händler und Kunden), die an der Entwicklung eines Marktes für PtX- und Wasserstoff arbeiten, waren aufgerufen, sich an dem Dialog zu beteiligen.

Drei Aspekte wurden im Marktdialog adressiert. Der erste Teil der Abfrage bezog sich auf die geschäftlichen Aspekte

**Gasunie**  
Gasunie ist ein europäisches Energieinfrastrukturunternehmen. Das Hochdruck Fernleitungsnetz der Gasunie ist eines der größten in Europa und besteht aus über 15.000 km Leitungen in den Niederlanden und Deutschland.  
Gasunie ist davon überzeugt, dass CO<sub>2</sub>-neutrale Gase (Biomethan, synthetisches Erdgas (SNG) und insbesondere Wasserstoff) eine entscheidende Rolle bei der Erreichung der EU-Klimaziele spielen werden.  
Gasunie will die Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft durch den Aufbau einer eigenen Transportinfrastruktur für Wasserstoff vorantreiben.  
Gasunie Deutschland ist einer von 16 Gasfernleitungsnetzbetreibern in Deutschland. GUD arbeitet beim Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur eng mit den deutschen und den europäischen Fernleitungsnetzbetreibern zusammen.

der Projekte und fragte Informationen zur Herkunft des Wasserstoffs, den erwarteten Endanwendungen und den Projektstatus ab. Der zweite Teil befasste sich mit der Nachfrage nach Wasserstoffinfrastruktur und dem potenziellen Nutzen für das betreffende Projekt. In diesem Teil wurden auch technische Fragen zur Wasserstoffqualität und zum erwarteten Eingangs- und Ausgangsdruck gestellt. Im dritten Teil ging es um mögliche Auswirkungen des Projektes auf das Stromnetz und den Strommarkt.

Der Dialog ist ein erster Versuch, Erkenntnisse über den Infrastrukturbedarf zu gewinnen, und die eingereichten Antworten sind nicht verbindlich. Die aggregierten Ergebnisse des Dialogs werden in einem Bericht zusammengefasst und dem Markt zur Verfügung gestellt.

### Energinet

Energinet ist ein unabhängiges staatliches Unternehmen, welches dem dänischen Ministerium für Klima, Energie und Versorgungswirtschaft unterstellt ist. Das Kerngeschäft von Energinet besteht in der Planung, Instandhaltung und Entwicklung des dänischen Energiesystems für Strom und Gas. Hierbei liegt der Schwerpunkt darauf, kosteneffiziente Möglichkeiten zu finden, mit denen weiter steigende Anteile erneuerbarer Energien bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der hohen Versorgungssicherheit in das System integriert werden können.

Mit Blick auf die europäischen Klimaziele sieht Energinet die Notwendigkeit einer koordinierten und ganzheitlichen Planung der Energieinfrastruktur für Strom und Gas, einschließlich der Einbindung neuer Energieträger wie Wasserstoff.

Energinet schätzt die Arbeit der europäischen Netzbetreiber und arbeitet aktiv mit ihnen zusammen bei der Identifikation von möglichen künftigen grenzüberschreitenden Wasserstoffnetzen, welche das Ungleichgewicht zwischen der Erzeugung von ‚erneuerbarem‘ Wasserstoff und dem Wasserstoffbedarf in Europa überbrücken sollen.

### Literatur:

- [1] Energinet & Gasunie (April 2020): Pre-feasibility Study for a Danish-German Hydrogen Network: <https://www.gasunie.de/uploads/fckconnector/8813f5f0-bd85-5fde-9e84-4509ec7a3a2c>
- [2] DEA 1 (The Danish Energy Agency/Energistyrelsen). (August 2020): Analyseforudsætninger til Energinet: <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/analyseforudsætninger-til-energinet>
- [3] DEA 2 (The Danish Energy Agency/Energistyrelsen). (Januar 2021): Technology Data. Energy Transport: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology\\_data\\_for\\_energy\\_transport.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_for_energy_transport.pdf)
- [4] BMWi (Juni 2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie: <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html>
- [5] Guidehouse (April 2021): Extending the European Hydrogen Backbone (Supported by Gas for Climate): [https://gasforclimate2050.eu/sdm\\_downloads/extending-the-european-hydrogen-backbone/](https://gasforclimate2050.eu/sdm_downloads/extending-the-european-hydrogen-backbone/)
- [6] FNB Gas (Juni 2021): Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Gas 2022-2032: <https://www.fnb-gas.de/netzentwicklungsplan/szenariorahmen/szenariorahmen-2022/>
- [7] Guidehouse (Juni 2021): Analysing future demand, supply, and transport of hydrogen (Supported by Gas for Climate): [https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/06/EHB\\_Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen\\_June-2021\\_v3.pdf](https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/06/EHB_Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen_June-2021_v3.pdf)
- [8] Guidehouse (Juli 2020). The European Hydrogen Backbone. (Supported by Gas for Climate). [https://gasforclimate2050.eu/sdm\\_downloads/european-hydrogen-backbone/](https://gasforclimate2050.eu/sdm_downloads/european-hydrogen-backbone/)

### Kontakt:

**Tine Lindgren**  
Energinet  
Chefingenieurin Systemperspektive  
TIL@energinet.dk

**Dr. Malte Grunwald**  
Gasunie  
Wasserstoff Team - Langfriststudien  
malte.grunwald@gasunie.de



### Ihr Kontakt zur Redaktion

**Volker Trenkle**

Telefon +49 201 82002-53, Telefax +49 201 82002-40, E-Mail: [v.trenkle@vulkan-verlag.de](mailto:v.trenkle@vulkan-verlag.de)