

# ***Energiegase: Methan, Biogas, Wasserstoff, Synthesegase.***

Von den Versorgungsgrundlagen der klassischen Gaswirtschaft bis zu den H<sub>2</sub>-Innovationen zum Erreichen der Pariser Klimaziele und der Resilienz-Anforderungen des Green Deals

## **Teil 1 - Intro**

Prof. Dr. Gerald Linke  
CEO Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches

**Regelsetzer:**  
notifiziert,  
staatsentlastend, im  
EnWG-verankert



Technisch-  
wissenschaftlicher  
**Institutsverbund**



**Zertifizierer**  
& TSM-Prüfer



**Bildungs-  
Institution** für  
Qualifikation und  
Weiterbildung



## Mitglieder



**13351**

Mitglieder gesamt



**2128**

Versorgungsunternehmen



**1364**

Unternehmen



**269**

Behörden



**9590**

Personen

**Wir stehen für 66.000 Beschäftigte und mehr als 1 Mio. km Leitungsnetz.**

| Chapter | Theme                                                      |
|---------|------------------------------------------------------------|
| 1       | Introduction                                               |
| 2       | Natural Gas Production & Trading                           |
| 3       | Biogas, Biomethane, Syngas                                 |
| 4       | Hydrogen, Part I                                           |
| 5       | Hydrogen, Part II                                          |
| 6       | Pipelines & Pipeline Design   Infrastructure Components    |
| 7       | Pipeline Operation – Safety, Maintenance, Asset Management |

| Chapter | Theme                                                                         |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 8       | Compressor Stations   Gas Storage   Metering   OR                             |
| 9       | End Use Appliances                                                            |
| 10      | LNG & LNG Transport                                                           |
| 11      | Innovations & Future Energy Systems<br>Methane Emissions & Climate Protection |
| 12      | Summary                                                                       |
| 13      | Test                                                                          |

# Teil 1 - Einleitung

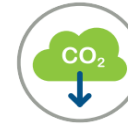
- Erdgas ist ein natürlicher Energieträger
- Von allen Fossilen hat Erdgas die geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen und verbrennt nahezu ruß-/partikelfrei
- Strom aus Erdgas hat ca. 1/3 des „carbon footprints“ von Braunkohle
- Erdgas sorgt mit einem globalen Anteil von ca. 23% für bezahlbare, nachhaltige und verlässliche Energie
- Erdgas ist nicht toxisch und besteht überwiegend aus Methan
- Erdgas kann gespeichert werden und bietet daher Flexibilität bei Nachfrageschwankungen

Global wird Erdgas als wichtiger Baustein einer zukünftigen und nachhaltigen Versorgung gesehen

## The Ideal Fuel to Energize Growing Cities



**Air Pollution:** nearly zero Sulphur Dioxide, low Nitrogen Oxide, and no Particulate Matter emissions



**GHG Emissions:** 40%-50% less than coal and 20% less than oil

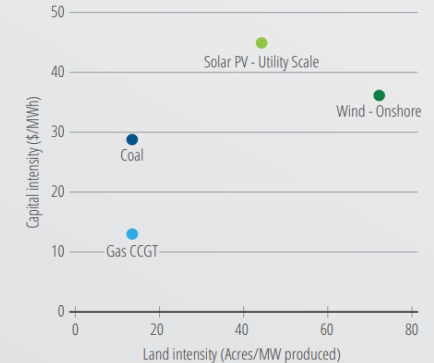


**Heat Intensity:** The most heat intensive and highest efficiency hydrocarbon fuel source



**Scalability:** Ease of adding customers once infrastructure is developed

Land requirements for power generation

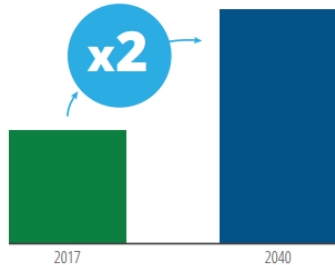


## Aufgrund des Energiehunger ist der Erdgasmarkt ein Wachstumsmarkt

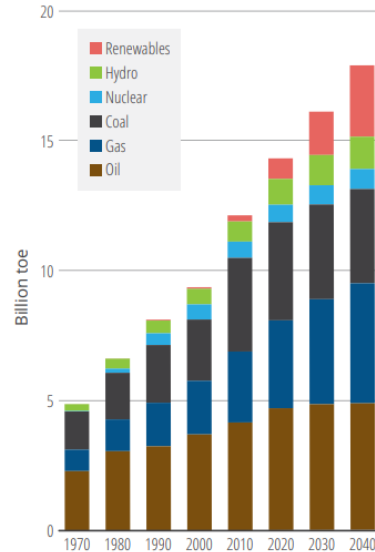
**The world will need increasingly more energy, and large efficiency improvements will be necessary to achieve sustainability.**

Efficiency gains will result in a slower pace of energy consumption growth; than in the previous decades, but that still means energy consumption increases by about a third in the next 20 years. Without deliberate policies, coal will continue to supply a significant part of it.

**Increase in global GDP, 2017-2040**



**World Primary Energy Demand by Fuel**



## Erdgas erfüllt die Anforderungen an Bezahlbarkeit

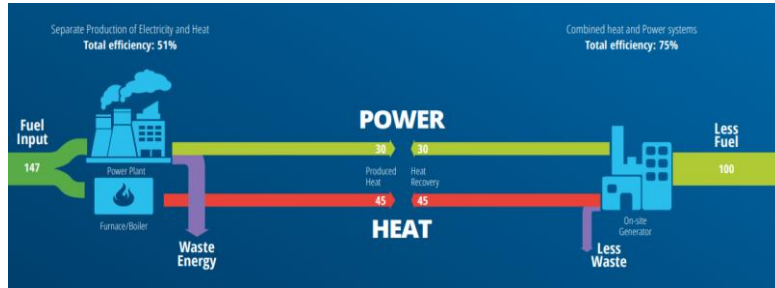


Quelle: IGU 2019

# Erdgas im europäischen und deutschen Kontext

In Europa stehen Effizienzgewinne und der Ausbau der Erneuerbaren oben auf der politischen Agenda

Erdgas und effiziente Anwendungen wie „Co-Generation“ punkten hierbei durch ihre relativen Vorteile gegenüber Kohle



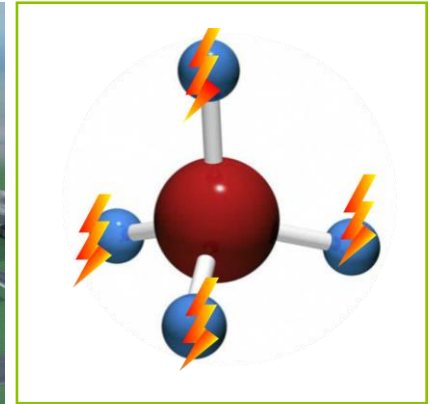
Methan (Hauptbestandteil von Erdgas) kann auch erneuerbar hergestellt werden – als Biogas



Mit dem Ausbau der fluktuierenden Erneuerbaren (PV & Wind) kommt Gas aber auch eine neue Rolle zu, nämlich als Flexibilitätsoption und als Energiespeicher (P2G)



Power booster



**Molectron:** Synthetisch erzeugtes Gas als kleinste Stromspeichereinheit

Die versorgungskritischen Zustände infolge des Ukraine-Russland-Konfliktes des Jahres 2022f beschleunigen die Transformationsbestrebungen hin zu grünen Gasen

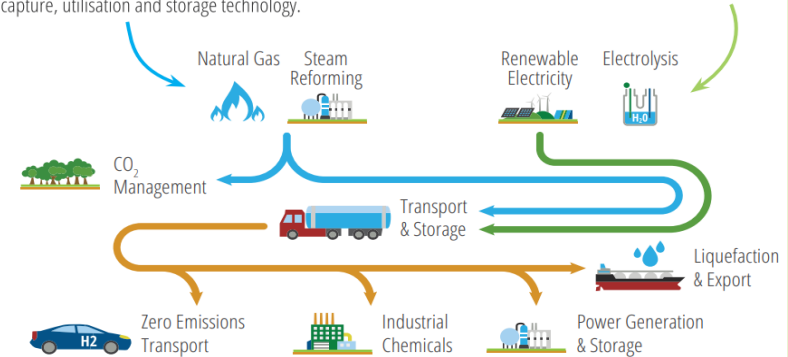
- Mit der Zunahme des nicht-integrierbaren Stroms aus EE (und der einhergehenden Umkehrung von Primär- und Sekundärenergien-Quellen) bekommt Erdgas Konkurrenz in Form von elektrolytisch erzeugtem Wasserstoff
- Zeitgleich benötigt der Wasserstoff eine Infrastruktur zum Transport und zur Verteilung
- Erdgas selbst kann aber auch als Ausgangsstoff der Wasserstoffproduktion dienen
- Damit ergeben sich neue Perspektiven für eine Gaswirtschaft, die auf beide Produkte setzt
- Es tun sich Fragen auf, in welcher Mengenrelation  $\text{CH}_4$  und  $\text{H}_2$  stehen sollten, um die Anforderungen des energiewirtschaftlichen Dreiecks abzubilden, Fragen der Beimischung und Fragen zum volkswirtschaftlichen Optimum der  $\text{CO}_2$ -äquivalenten Gesamtemissionen

## Die Vorlesung zeichnet mögliche Pfade einer Erdgas-Wasserstoff-Wirtschaft auf

**Hydrogen** is a versatile energy carrier that can have a great variety of uses across the entire energy sector.

**Blue Hydrogen** is made from natural gas through the process called steam methane reforming (SMR). Through this process, hydrogen is separated from  $\text{CO}_2$ , which is then captured and stored, or used in other ways combined, with carbon, capture, utilisation and storage technology.

**Green Hydrogen** is produced using renewable generation through electrolysis, with water and renewably generated electricity as feedstock resource.



# Teil 2 - Erdgasproduktion und Handel

## Erdgasflamme



## Erdgaszusammensetzungen

**Tabelle 2:** Typische Erdgaszusammensetzungen nach DVGW Richtlinie G260 [13]

| Bezeichnung            | Einheit            | Russ.-<br>Erdgas H | Nordsee-/<br>Erdgas H | Dänemark/<br>Erdgas H | Holland/<br>Erdgas L | Deutschland<br>Erdgas L | Biogas H | Biogas H<br>+LPG |
|------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|----------|------------------|
| Methan                 | Mol-%              | 96,96              | 88,71                 | 90,07                 | 83,64                | 86,46                   | 96,15    | 90,94            |
| Stickstoff             | Mol-%              | 0,86               | 0,82                  | 0,28                  | 10,21                | 10,24                   | 0,75     | 0,69             |
| Kohlenstoff-<br>dioxid | Mol-%              | 0,18               | 1,94                  | 0,60                  | 1,68                 | 2,08                    | 2,90     | 2,68             |
| Ethan                  | Mol-%              | 1,37               | 6,93                  | 5,68                  | 3,56                 | 1,06                    |          |                  |
| Propan                 | Mol-%              | 0,45               | 1,25                  | 2,19                  | 0,61                 | 0,11                    |          | 5,00             |
| Butane                 | Mol-%              | 0,15               | 0,28                  | 0,90                  | 0,19                 | 0,03                    |          | 0,50             |
| Pentane                | Mol-%              | 0,02               | 0,05                  | 0,22                  | 0,04                 | 0,01                    |          |                  |
| Hexane +<br>höhere KW  | Mol-%              | 0,01               | 0,02                  | 0,06                  | 0,07                 | 0,01                    |          |                  |
| Sauerstoff             | Mol-%              | < 0,001            | < 0,001               | < 0,001               | < 0,001              | < 0,001                 | 0,2      | 0,19             |
| Gesamt-<br>schwefel    | mg/m <sup>3</sup>  | < 3                | < 5                   | < 3                   | < 3                  | < 3                     | < 3      | < 3              |
| Brennwert              | MJ/m <sup>3</sup>  | 40,3               | 41,9                  | 43,7                  | 36,8                 | 35,4                    | 38,3     | 41,9             |
| Brennwert              | kWh/m <sup>3</sup> | 11,2               | 11,6                  | 12,1                  | 10,2                 | 9,8                     | 10,6     | 11,6             |
| Normdichte             | kg/m <sup>3</sup>  | 0,74               | 0,81                  | 0,81                  | 0,83                 | 0,81                    | 0,76     | 0,83             |
| Wobbeindex             | MJ/m <sup>3</sup>  | 53,1               | 52,9                  | 55,0                  | 46,0                 | 44,7                    | 50,0     | 52,3             |
| Wobbeindex             | kWh/m <sup>3</sup> | 14,8               | 14,7                  | 15,3                  | 12,8                 | 12,4                    | 13,9     | 14,5             |
| Methanzahl             | –                  | 90                 | 79                    | 72                    | 88                   | 97                      | 102      | 76               |

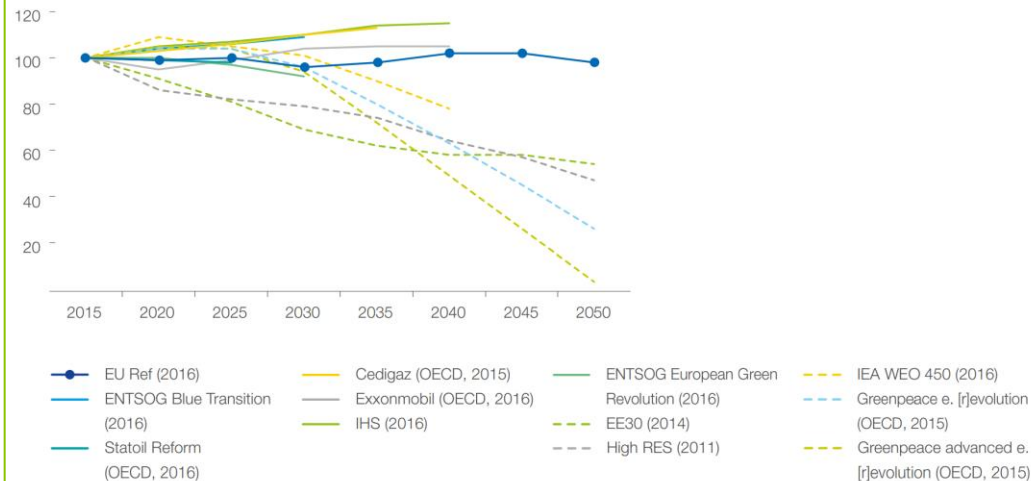
Achim Zajc & Thomas Ryll, gwf-Gas + Energie, 10/2016

## Erdgasabsatz

| Erdgas-<br>verbrauch<br>2017 | Mrd. m³/a | Trend    | Anteil an<br>Gesamt-<br>primär-<br>Energie |
|------------------------------|-----------|----------|--------------------------------------------|
| global                       | 3 670     | +2%/a    | 23%                                        |
| EU                           | 448       | +/- 0%/a | 24%                                        |
| D                            | 96        | +/- 0%/a | 24%                                        |

### Erdgas-Nachfrageprognosen<sup>1</sup> für die EU und OECD-Europa (indiziert mit 2015 = 100)

Quelle: Prognos (2017)

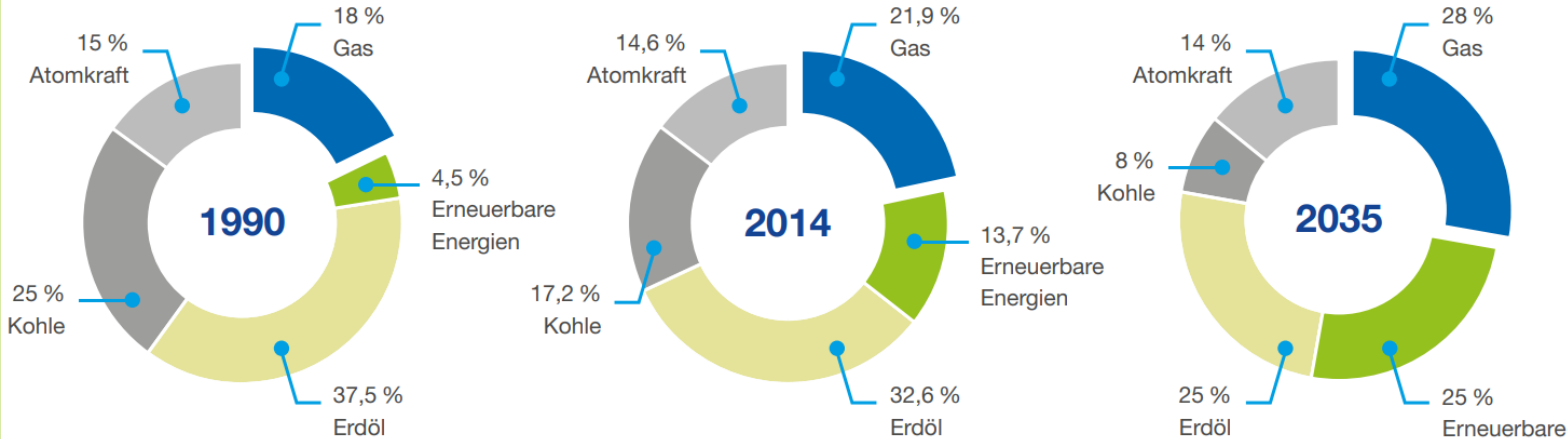


## Global werden Erdgas und Erneuerbare die Energieträger der Zukunft sein

### Wachsender Anteil von Erdgas und erneuerbaren Energien am EU-Energiemix

#### Primärenergiemix in der EU nach Quelle

Quelle: IEA, World Energy Outlook 2016



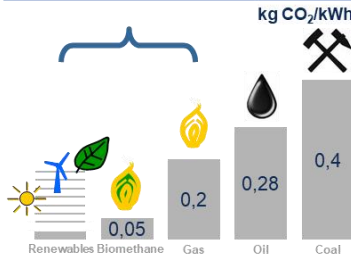
# Erneuerbare und Erdgas bestehen durch ihren niedrigen Carbon-Footprint

Strom aus Erdgas hat mit deutlich unter 600 g CO<sub>2</sub> pro erzeugter kWh einen klaren Vorteil gegenüber anderen Fossilen

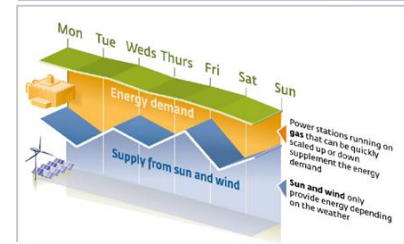


Erdgas und Erneuerbare ergänzen sich gut für eine sichere Versorgung. Erdgas selbst ist auf dem Weg der Dekarbonisierung

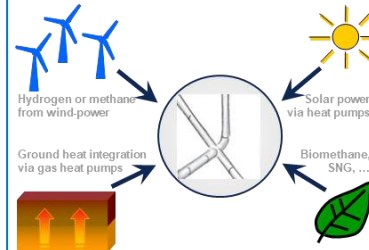
## Team with lowest emissions



## Fluctuation meets flexibility



## Gas integrates renewables



## Gas renews itself

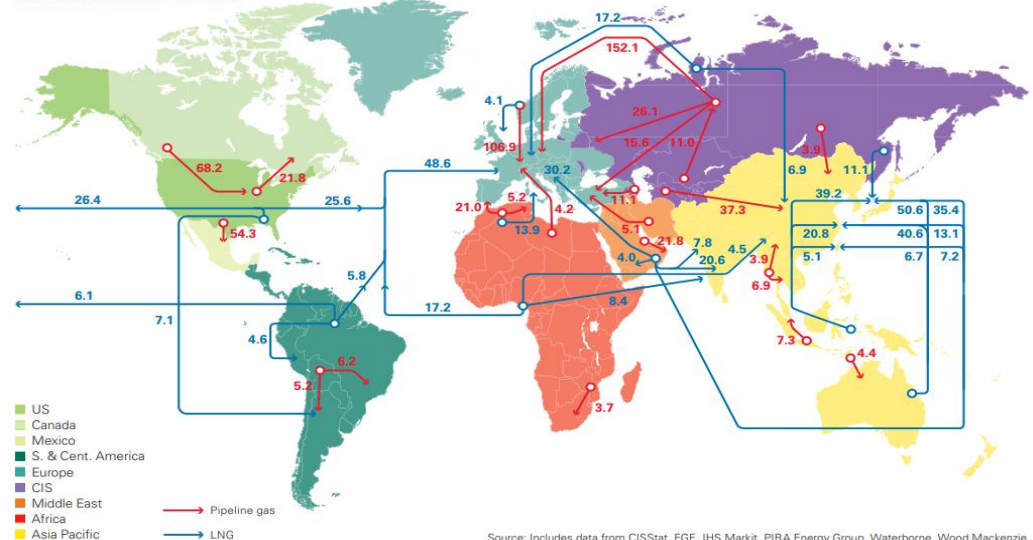


- Biomethane (from maize, silage)
- SNG (wood, straw)
- Methane (from waste via algae)
- Hythane (H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>)
- Syn. Methane  
(4H<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> → CH<sub>4</sub> + O<sub>2</sub>)

## Pipelines versus LNG

- 1/3 des Erdgasbedarfes wird cross-border gehandelt
- 1/2 des cross border trade erfolgt durch Pipelines, 1/2 durch LNG
- Damit wird 1/6 des Erdgasbedarfes heute in Form von LNG angeliefert

**Major trade movements 2020**  
Trade flows worldwide (billion cubic metres)



# Das Europäische Gasnetz ist gut ausgebaut und sichert Gasliquidität (1/3)

Dennoch wurde das Netz in den letzten Jahren weiter ausgebaut. Projektbeispiel:

## OPAL

ca. 480 km DN 1400/PN 100 from Greifswald to Olbernhau (Erzgebirge), Invest: ca. 1 bn. €

## Gazelle

ca. 160 km DN 1400/PN 84, from Brandov/Olbernhau (Erzgebirge) to Waidhaus (Bayerischer Wald), Invest: ca. 400 mln €

## NEL (Nord Europäische Erdgasleitung)

ca. 440 km DN 1400/PN100, invest: ca. 1 bn. €, continuation from Greifswald to the region around Bremen (Rehden), from there connections in direction of **Benelux, France, UK**  
Commissioning: 2012 – 2013  
Dimensioning: ca. 440 km DN 1400 PN 100



[Interaktive Karte | Energy-Charts](#)



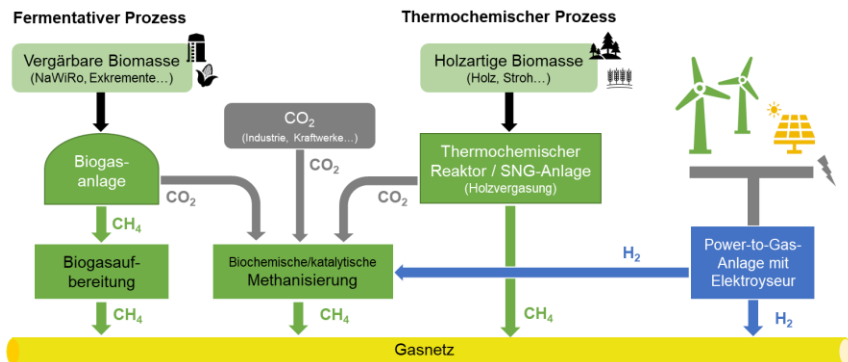
1. IGU: Global Gas Report, 2024  
[Global Gas Report 2024 Edition – IGU](#)
2. IEA: Gas market Report, Qx-2024
3. bdew: Monatlicher Erdgasverbrauch in Deutschland – Vorjahresvergleich  
[Monatlicher Erdgasverbrauch in Deutschland - Vorjahresvergleich | BDEW](#)
4. AGEB (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen):  
[Berichte » AG Energiebilanzen e. V. \(ag-energiebilanzen.de\)](#)
5. DVGW: Die Transformation zu Neuen Gasen hat begonnen, 2024:  
[transformatonspfad-neue-gase-rueckenwind.pdf \(dvgw.de\)](#)



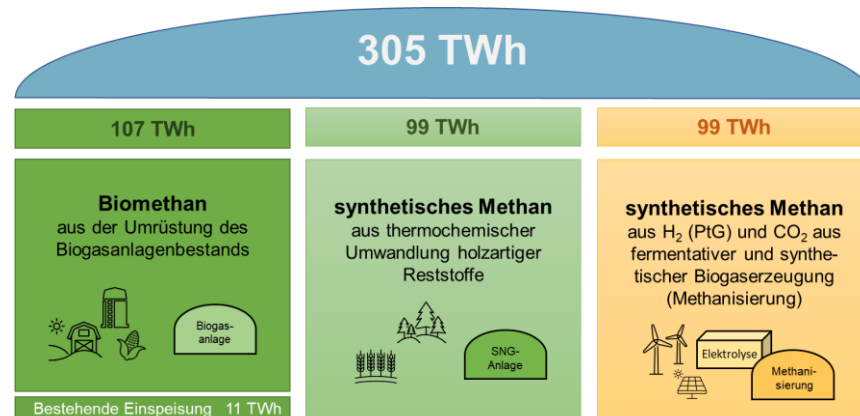
# Teil 3 - Biogas

## 3 Maßnahmen zur Biomethansteigerung

1. Biomethaneinspeisung an Einzelanlagen
2. Biomethaneinspeisung mit Sammelleitungen
3. Kombination von Biogasanlagen mit Power-to-Gas-Anlagen

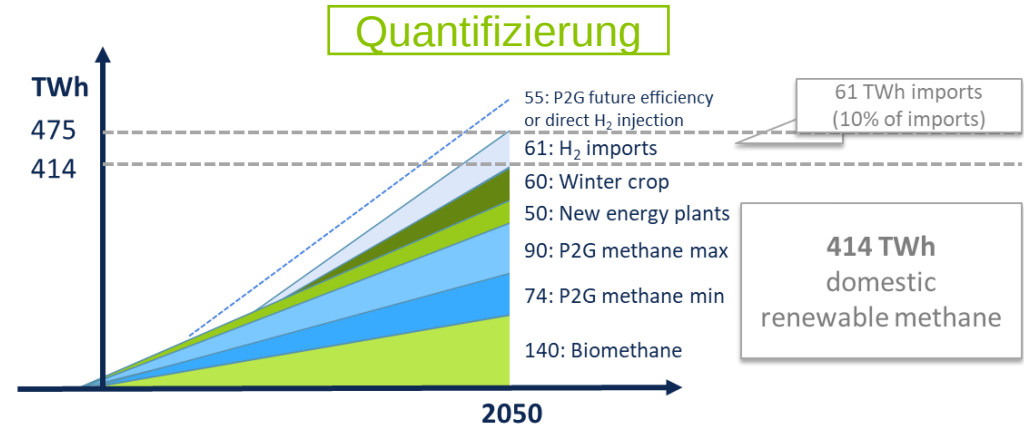


## Quantifizierung des Potenzials



## Abschätzungen des DVGW in einer Studien-Serie mit dem Titel *Energie-Impuls*

- 2018 wurde vom DVGW das Gesamtpotenzial von heimischen erneuerbaren Gasen mit ca. 414 TWh abgeschätzt
- Neben dem Biomethanpotenzial wurde die Mengen aus methanisiertem Wasserstoff ermittelt, der infolge von Überschussproduktionen zwangsläufig anfällt
- Die dazu nötige P2G-Anlagenleistung wurde mit 40 GW ermittelt



P2G = Power to Gas

# Das Grüngaspotenzial spielt zur Überprüfung der Erreichbarkeit von Klimazielen mit Gas eine wichtige Rolle

Der **Energie-Impuls** besteht aus 3 „Switchen“. Im sog. „Content Switch“ wird Biogas berücksichtigt, um den nächsten Dekarbonisierungsschritt durchzuführen

|                | Power Sector                                                                                     | Heat Sector                                                                                                        | Transport Sector                                                                                      |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fuel Switch    | <br>Coal → Gas  | <br>Oil → Gas                     | <br>Diesel → CNG/LNG |
| Content Switch | <br>Natural Gas | <br>Natural Gas → Biogas / Syngas | <br>Hydrogen         |
| Modal Switch   | <br>Power2Gas   | <br>CHP<br>F-Cell<br>Efficiency   | <br>e-fuels          |

In Summe ist eine Dekarbonisierung von - 80% möglich

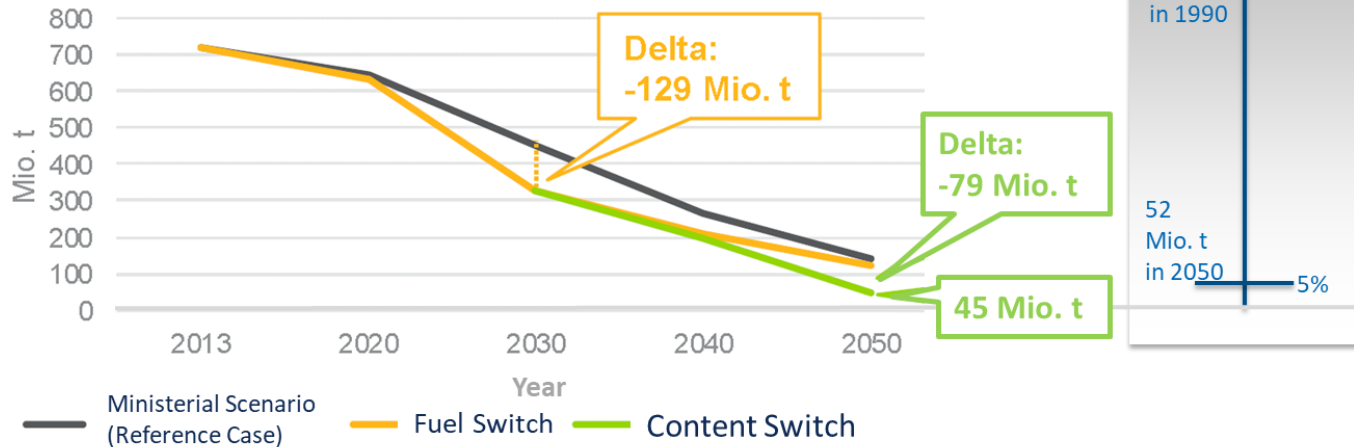
|                                                                                                                                                                                                     | Strom<br>327 Mio. t CO <sub>2</sub><br>(in 2016) <sup>1</sup> | Wärme<br>260 Mio. t CO <sub>2</sub><br>(in 2016) <sup>1</sup>          | Mobilität<br>165 Mio. t CO <sub>2</sub><br>(in 2016) <sup>1</sup> | CO <sub>2</sub> -Einsparung /<br>Switch |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Fuel-Switch</b><br>Ablösung von Kohle und Öl durch Gas<br>                                                     | Kohle → Erdgas<br>-124 Mio. t CO <sub>2</sub>                 | Erdöl → Erdgas<br>-25 Mio. t CO <sub>2</sub>                           | Diesel und Benzin → Erdgas<br>-39 Mio. t CO <sub>2</sub>          | -188 Mio. t CO <sub>2</sub>             |
| <b>Content-Switch</b><br>Steigerung des Anteils grüner Gase <sup>2</sup><br>                                      | Rückverstromung<br>-12 Mio. t CO <sub>2</sub>                 | Haushalte und Industrie<br>-57 Mio. t CO <sub>2</sub>                  | Schwerlastverkehr<br>-14 Mio. t CO <sub>2</sub>                   | -83 Mio. t CO <sub>2</sub>              |
| <b>Modal-Switch</b><br>Sektorenübergreifende Verbindung der Infrastrukturen und Erhöhung der Energieeffizienz<br> | Power-to-Gas<br>-114 Mio. t CO <sub>2</sub>                   | Effizienzsteigerung + Kraftwärmekopplung<br>-91 Mio. t CO <sub>2</sub> | Schwerlastverkehr<br>-58 Mio. t CO <sub>2</sub>                   | -263 Mio. t CO <sub>2</sub>             |
| <b>CO<sub>2</sub>-Einsparung/Sektor</b><br>                                                                        | -250 Mio. t CO <sub>2</sub>                                   | -173 Mio. t CO <sub>2</sub>                                            | -111 Mio. t CO <sub>2</sub>                                       | -534 Mio. t CO <sub>2</sub>             |

# Das Erreichen der Pariser Klimaziele und die Klimaneutralität sind mit Energiegasen möglich

Berücksichtigt man weitere Effizienzgewinne, ist eine - 95%ige Dekarbonisierung denkbar

Aktuelle Überlegungen des DVGW gehen dahin, durch den Zubau von CO<sub>2</sub>-Senken die vollständige **Klimaneutralität** anzustreben

CO<sub>2</sub> emissions from power, heat (incl industry), transport

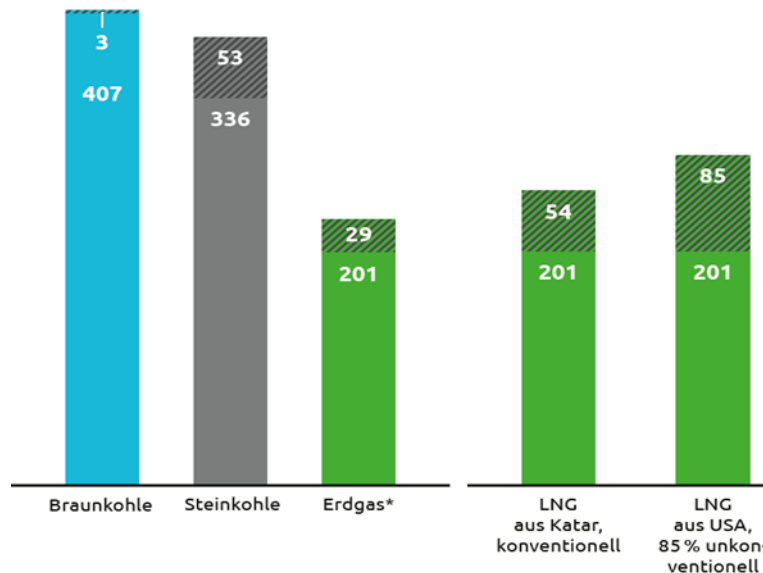


# Zur Bewertung der Klimarelevanz von Gasen bedient man sich der Methode der sog. CO<sub>2</sub>-Äquivalenzermittlung

## CO<sub>2</sub>-Äquivalent

- Erdgas emittiert bei seiner vollständigen Verbrennung ca. 200 g/kWh
- Bei der Förderung und dem Antransport aus den Lieferländern wird Energie benötigt, die zu ca. weitere 18 g CO<sub>2</sub>-Emissionen pro kWh führen
- Auch andere Emissionen wie etwa Methanfreisetzungen an Kleinstleckagen lassen sich in ihrer Klimawirksamkeit in sog. CO<sub>2</sub>-Äquivalente umrechnen. So kommen ca. weitere 11 g/kWh hinzu
- Mit Vorkettenemissionen hat in Deutschland konsumiertes Erdgas daher etwa einen Footprint von 230 g/kWh

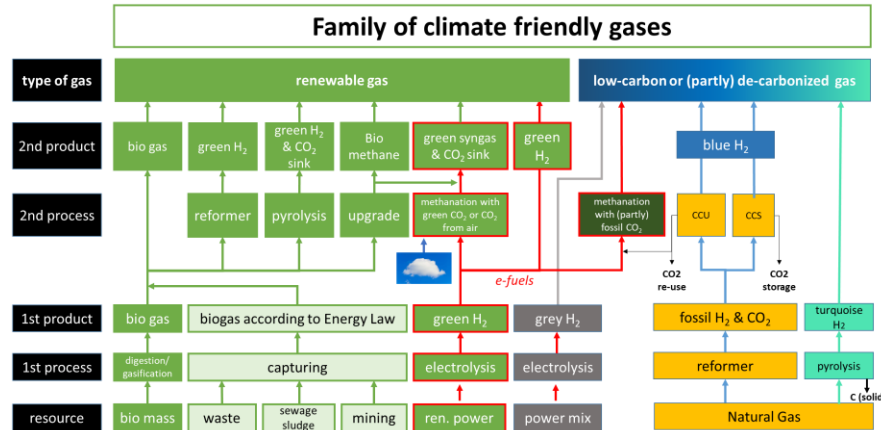
## Treibhausgasemissionen von Erdgas und anderen fossilen Energieträgern in Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kilowattstunde



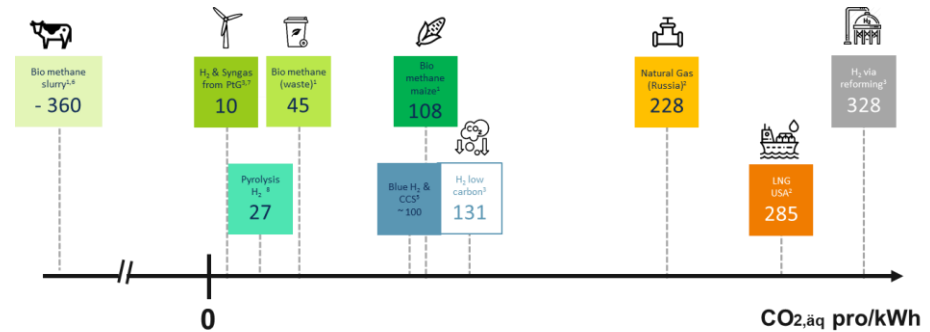
Sources: emissions from combustion: UBA (2019), Pre-chain coal: ifeu (2015), Pre-chain natural gas: DBI (2016)

# Mit der Methode der sog. CO<sub>2</sub>-Äquivalenzermittlung erschließt sich das gesamte Spektrum der klimafreundlichen Gase

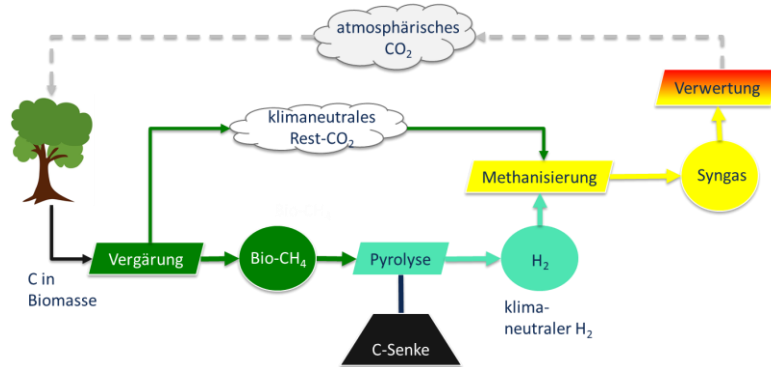
## Erzeugungspfad klimafreundlicher Gase



## CO<sub>2</sub>-Footprint verschiedener Gase



Befreit man das ohnehin schon klimaneutrale Biogas vom Kohlenstoff, etwa in einem Pyrolyse-Prozess, bei dem CO<sub>2</sub>-frei Wasserstoff hergestellt wird, so lassen sich auf diesem Wege CO<sub>2</sub>-Senken kreieren



Andere Verfahren – wie etwa die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Extraktion – sind wesentlich ineffizienter und teurer



Mit Direct Air Capture-Anlagen wird CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre abgeschieden (© Climeworks, Julia Dunlop).



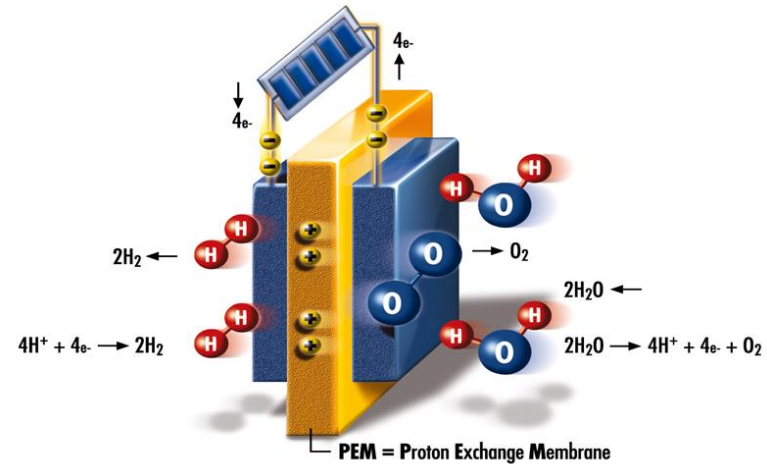
1. Frank Graf et al: Biogas Erzeugung, Aufbereitung, Einspeisung. gwf Verlag, ISBN 978-3-8356-3363-6, 2013
2. Erweiterte Nutzung Erneuerbarer Gase: Forschungsbericht G 202114 09/2023: [DVGW-Forschungsbericht G 202114: Nutzung erneuerbarer Gase \(wvgw.de\)](#)
3. Vielversprechende Zukunftsoptionen für Biogas: Ergebnisse des DVGW-Forschungsprojekt ENEVEG: [0124schaffert.pdf \(dvgw.de\)](#)
4. [DVGW e.V.: Biogas und Biomethan](#)

# Teil 4 u. 5 - Wasserstoff

## Energieträger Wasserstoff

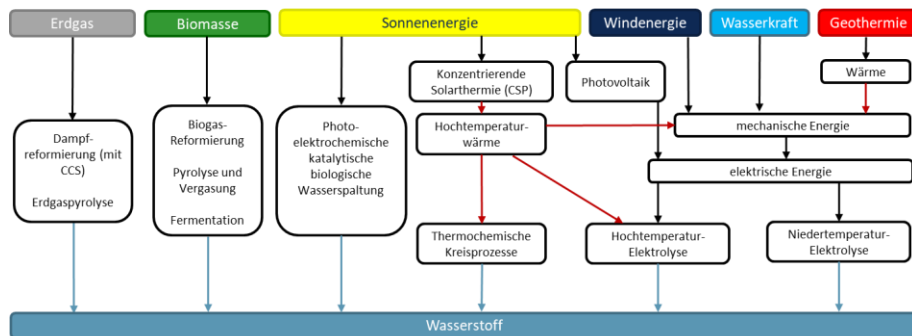
- Wasserstoff ist keine Energiequelle
- Wasserstoff ist ein Energieträger
- Er steht gegenwärtig im Zentrum der Überlegungen zur Dekarbonisierung der Gaswirtschaft und als Speicher für erneuerbaren Strom
- Dabei wird  $H_2$  elektrolytisch aus Strom gewonnen
- Im Zusammenspiel der Volatilität des aus PV und Wind gewonnenen erneuerbaren Stroms und des stetig wachsenden Anteils der Erneuerbaren ist Wasserstoff zum neuen Hoffnungsträger geworden, Überproduktionen zwischenspeichern und den Ausbau der EE fortsetzen zu können

## PEM-Elektrolyse



# Wasserstoff kann auf verschiedene Arten erzeugt werden. Für den Ausbau der Sektorenkopplung ist jedoch die P2G-Erzeugung mittels Elektrolyse zentral

## Verschiedene Herstellungsverfahren von Wasserstoff

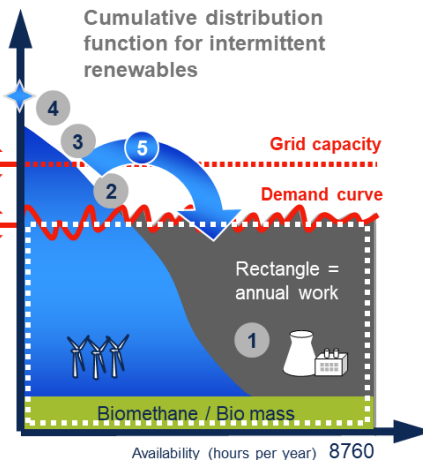


## P2G als Lösung des supply-demand mismatch der Erneuerbaren Energien

Installed (⚡) and available power from wind & PV

Network expansion  
Load management

Cumulative distribution function for intermittent renewables



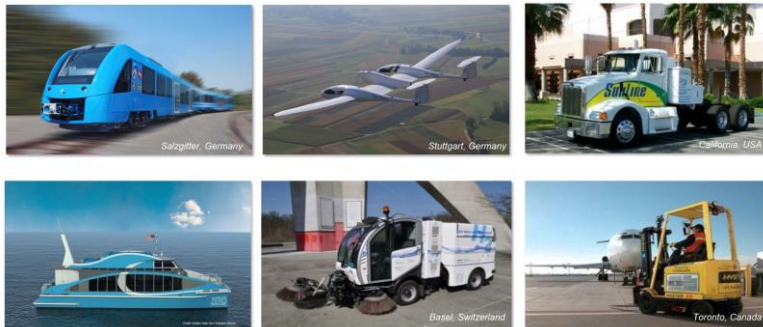
- 1 Conventional generation increasingly uneconomic, but still indispensable
- 2 Load management flexibility fully utilized
- 3 Transmission capacity insufficient
- 4 Oversupply: plants to be shut down
- 5 Energy storage

# Für einen verstärkten Ausbau einer Wasserstoffwirtschaft sprechen viele Gründe (1/2)

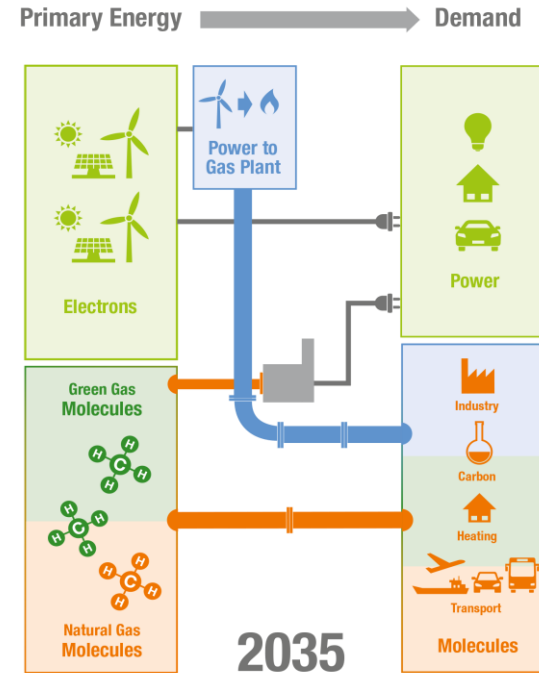
Mehr grüner Wasserstoff senkt den durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Footprint von Gas



H<sub>2</sub>-basierte Anwendung sind hoch-effizient, denkt man z.B. an Brennstoffzellenfahrzeuge



Wir werden auch zukünftig Gase benötigen (z.B. für Hochtemperaturprozesse, in mobilen Anwendungen oder zur stofflichen Nutzung)

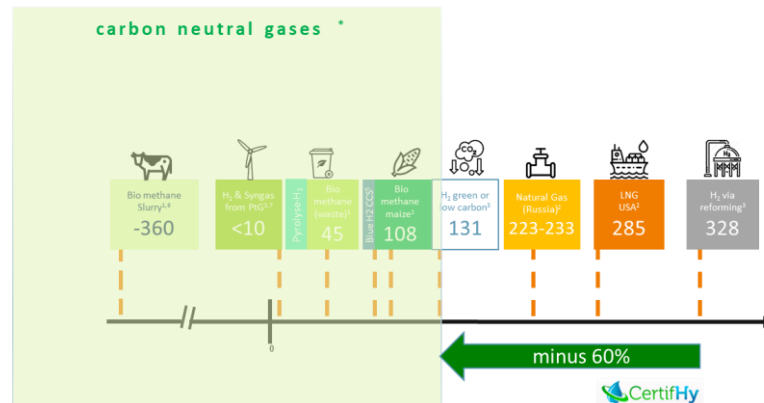


## Farbenlehre

In der Öffentlichkeit wird der Wasserstoff gemäß seiner Herkunft/Erzeugungsart in Farben eingeteilt:

- Grauer Wasserstoff wird aus Erdgas über Steamreforming hergestellt
- Grüner Wasserstoff stammt aus EE-Strom und wird z.B. mittels Elektrolyse gewonnen
- Blauer Wasserstoff unterscheidet sich vom grauen dadurch, dass das entstehende CO<sub>2</sub> gespeichert und wiederverwendet wird (CCS & CCU)
- Türkiser Wasserstoff entsteht im Pyrolyseprozess aus Erdgas ohne das CO<sub>2</sub> gebildet wird. Der im Methan enthaltene Kohlenstoff fällt als Feststoff emissionsfrei aus

Die Farbenlehre hat nur begrenzten Nutzen. Wissenschaftlich ist dagegen die Differenzierung der Gase gemäß ihrem CO<sub>2</sub>-Footprint



Der DVGW schlägt vor, alle Gase mit einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von < 131 g/kWh als klimaneutral zu bezeichnen und ihren Ausbau zu fördern

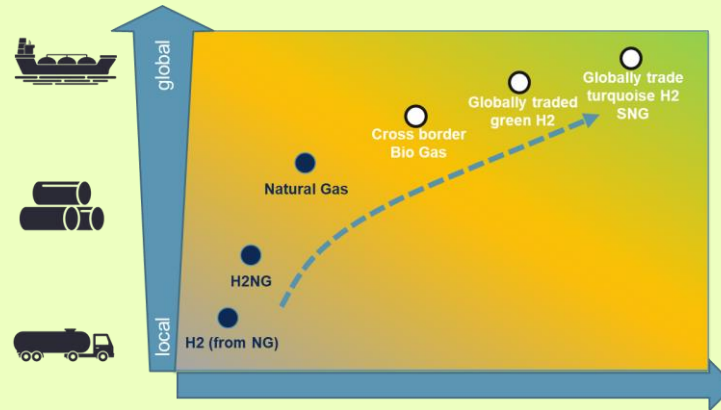
## Heute

Wasserstoff wird aufgrund seines heutigen geringen Marktanteils in Trailern zum Kunden transportiert oder vor Ort aus Erdgas oder mittels Elektrolyse erzeugt

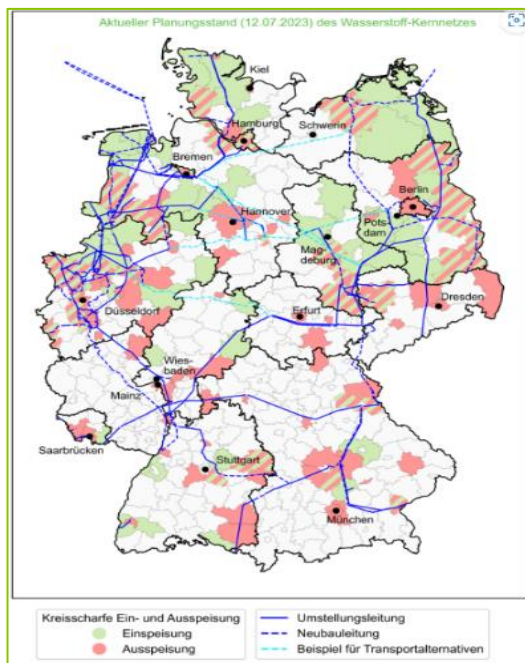


## Morgen

Damit Wasserstoff so wie Erdgas eine signifikante energiewirtschaftliche Bedeutung erlangen kann, bedarf es des Ausbaus der leitungsgebundenen Transportinfrastruktur



## Deutsches Wasserstoff-Kernnetz

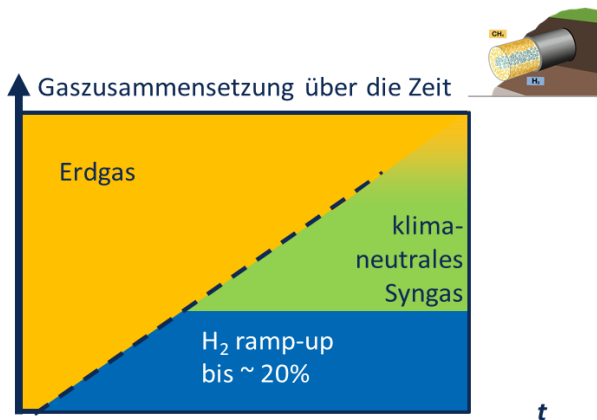


## BMWK-Pressekonferenz zum H2-Kernnetz 14. November 2023



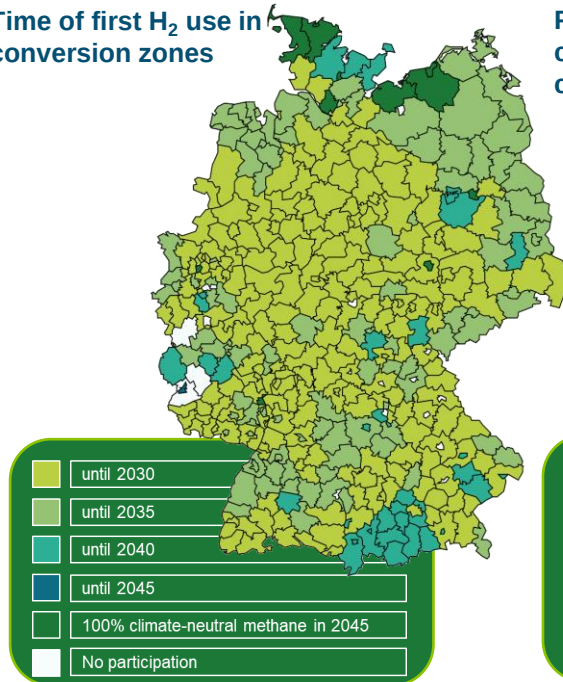
# Ob durch Aufbau eines Rein-Wasserstoffnetzes oder durch H<sub>2</sub>-Beimischung zum Erdgas, es bedarf eines weitgehenden Umbaus der Gaswirtschaft

## Überlegungen zur H<sub>2</sub>-Beimischung vor allem im Verteilnetz

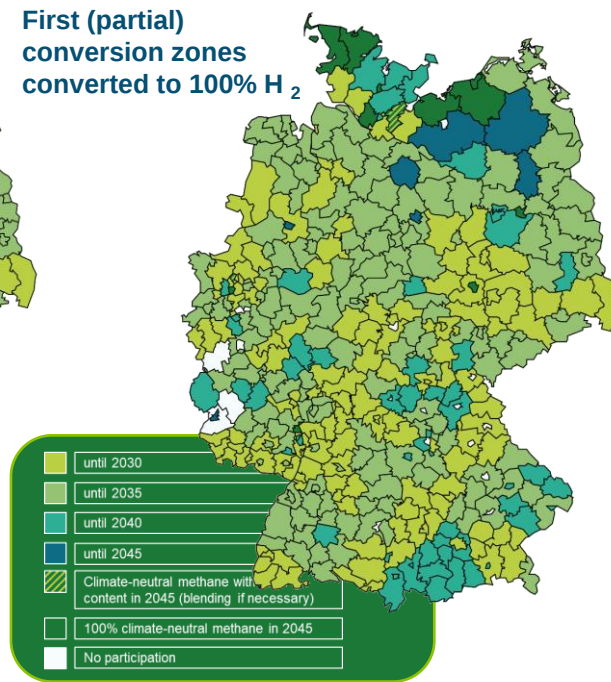


## Pläne zur Beimischung oder Komplettumstellung auf H<sub>2</sub> aus der Initiative H2vorOrt: Der Gebietstranf.-Plan 2024

Time of first H<sub>2</sub> use in conversion zones



First (partial) conversion zones converted to 100% H<sub>2</sub>



**Dennoch werden in D Groß-Feldversuche durchgeführt, um die problemlose Einspeisung und Nutzung von 20/80-H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-Gemischen unter Beweis zu stellen**



Einspeiseanlagen in Schopisdorf bei Berlin zur Versorgung von ca. 350 Haushalten mit einem H<sub>2</sub>-Erdgasgemisch (20/80)

**top agrar** WIKI Landwirtschaft

### Innovationsprojekt: 20 Prozent Wasserstoff im Gasnetz

In einem Teilerlass im Zusammenhang mit dem Fläming (Sachverhalt: Amdorf) werden dem Empfänger der kommenden Herperiode entsprechende Hinweise zur Verfügung gestellt. Das Gemeinschaftsprüfungsausschuss des Deutschen Vereins der Ingenieure (DVI) hat sich mit dem Sachverhalt auseinandergesetzt und festgestellt, dass es technisch möglich ist, die in der Herperiode festgelegte Wassermenge zu 100 Prozent als bislang in den Technischen Regeln des DVGW vorgesehen, zu liefern. Der Sachverhalt ist demnach als Vorfall für den nächsten Einlass zu betrachten. Der Empfänger der kommenden Herperiode sollte sich demnach mit dem Sachverhalt auseinandersetzen und die entsprechenden Vorkehrungen treffen, um die Wassermenge zu 100 Prozent zu liefern. Der Sachverhalt ist demnach als Vorfall für den nächsten Einlass zu betrachten.

Von Mike Fliske  
Gentix – Es ist geschafft. Der Flaming, von Wolfgang Mückens, wird vom Bundesrat in die Energiewirtschaftsfähige Energieliste aufgenommen. Freitags gab die Verantwortlichen des Energieministeriums Anson und des Deutschen Vereins für Gas- und Wasserwirtschaft (DVGW) bekannt, dass die Flaming-Phase der Carcosa-Pandemie bürgerversammelnden und die Möglichkeit für die Einwohner, direkt Fragen an die Verantwortlichen zu stellen, durch den Einsatz des Konzeptes "Gentix" reichlich. "Alle Kunden haben mitgemacht", sagte sich Anson-Technikminister Scholz. "Es war ein großer Erfolg", sagte er. "Es war ein großer Erfolg", sagte er. "Es war ein großer Erfolg", sagte er.

## Stoff geheizt

... begonnen / Testanlage mit Ergebnissen für ...  
... der Wasseroft-Beheizung im Gusszeit. Dahinter verbleibt sich ein ...  
... tragender der Zukunft.

... ausen der Corosa-Panzen-  
... sammlungen und die  
... der Einwohner, direkt Fra-  
... menten auszuweisen zu stellen.  
... des Konzepts erfolgt  
... Kunden haben  
... nicht sich Avacore-Techni-  
... der Konstruktion.

Sachsen-Anhalt mit Vorentwerfer  
... Sachsen-Anhalt nimmt beim Thema  
... Wasserstoff bereits jetzt eine Vorentwer-  
... ein, auf die wir sehr stolz sein könn-  
...", grüßt Wunsch- und Land-  
... schaftsminister Sven Schulze (CDU)  
... den Gedanken auf. Denn das Thema  
... Energie, sei es durch Wind- und Sonnen-  
... Kraft, ist ein zentraler Bestandteil der

# Wieviel Rein-Wasserstoff kann man dem Erdgas beimischen? Detailbetrachtungen (5/5)

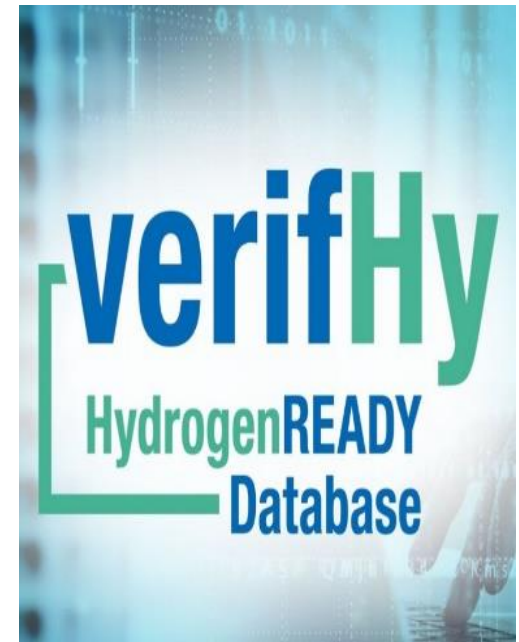
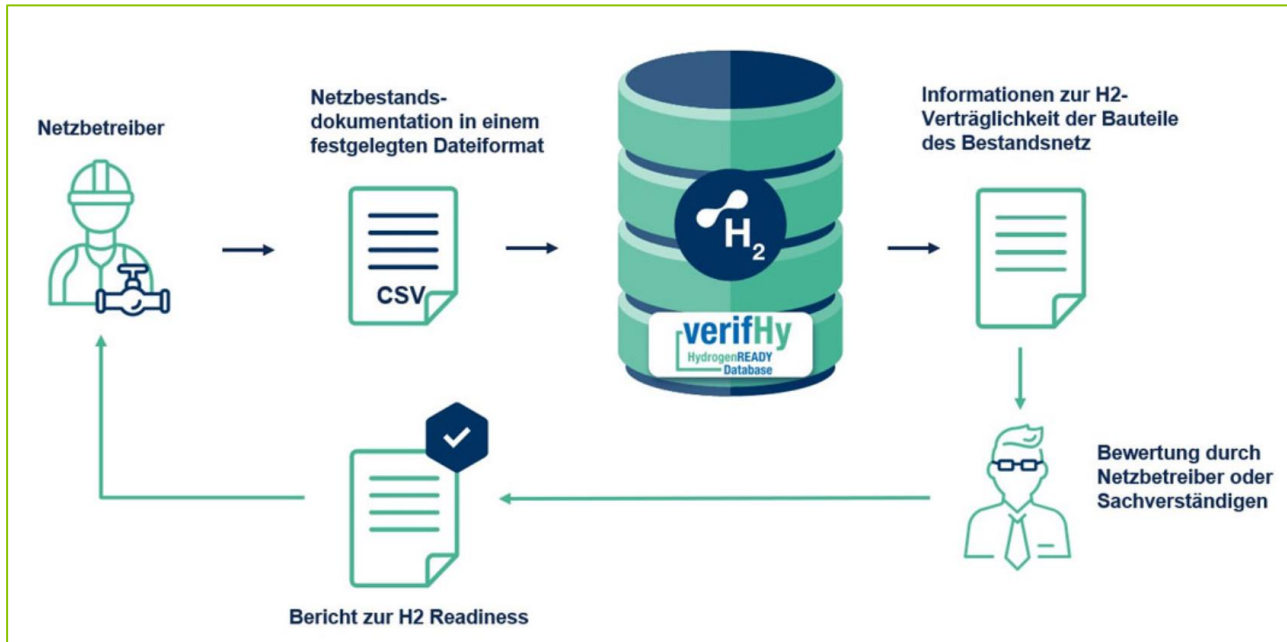
## Heizen mit 100% Wasserstoff: Beispiel Hohenwart



Seit September 2023 erfolgreich in der Umsetzung

# Wieviel Rein-Wasserstoff kann man dem Erdgas beimischen? VerifHy

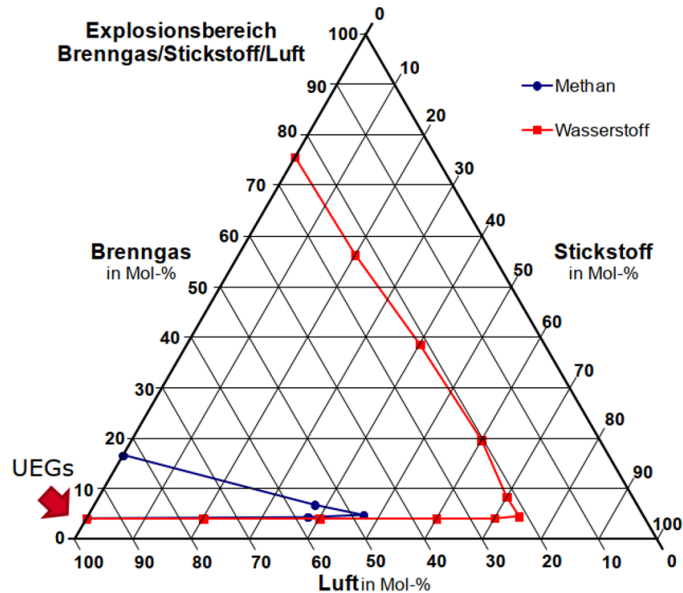
Auskunft über alle in einer Infrastruktur verbauten Komponenten und deren H<sub>2</sub>-Readiness gibt das Produkt VerifHy



# Wasserstoff und Erdgas haben unterschiedliche Stoffeigenschaften

Wasserstoff hat weitaus größere Explosionsgrenzen und nur 1/3 des volumetrischen Energieinhalts von Erdgas

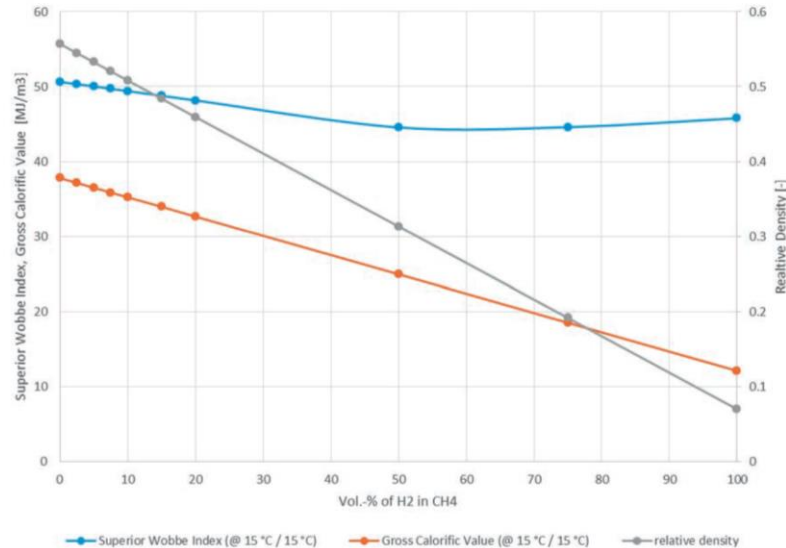
Aber  $\text{H}_2\text{-CH}_4$ -Gemische mit einem Wasserstoffanteil unter 30% verhalten sich dennoch erdgasähnlich



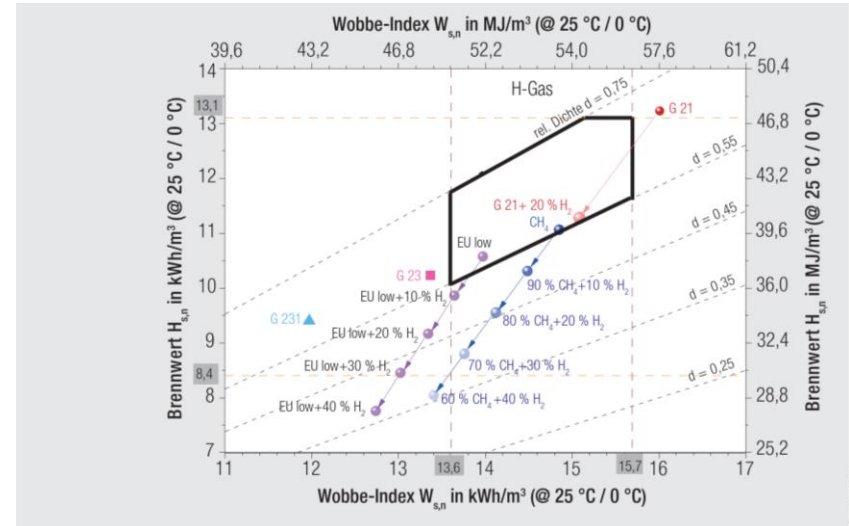
| Kennwert                                   |            | Unit                    | Methan<br>$\text{CH}_4$ | Russ.<br>Gas | Russ.<br>Gas<br>+10%<br>$\text{H}_2$ | Russ.<br>Gas +<br>20% $\text{H}_2$ | Wasser-<br>stoff<br>$\text{H}_2$ | Bio-<br>Methan     |
|--------------------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Brennwert<br>(25/0)                        | $H_{sv}$   | $\text{MJ/m}^3$         | 11,06                   | 11,19        | 10,42                                | 9,65                               | 3,54                             | 10,64              |
| relative Dichte                            | d          | -                       | 0,555                   | 0,574        | 0,523                                | 0,473                              | 0,070                            | 0,587              |
| Wobbe Index<br>(25/0)                      | $W_{sv}$   | $\text{kWh/m}^3$        | 14,85                   | 14,76        | 14,40                                | 14,03                              | 13,43                            | 13,88              |
| Luftbedarf                                 | $O_{2min}$ | $\text{m}^3/\text{m}^3$ | 9,57                    | 9,67         | 8,94                                 | 8,21                               | 2,39                             | 9,19               |
| Zündtemperatur                             | $T_{ign}$  | $^{\circ}\text{C}$      | 645                     | 640          | 629 <sup>1)</sup>                    | 618 <sup>1)</sup>                  | 530                              | 530                |
| Untere<br>Zündgrenze                       | $C_{lu}$   | Vol.-%                  | 5                       | 4            | 4                                    | 4                                  | 4                                | 4                  |
| Obere<br>Zündgrenze                        | $C_{iu}$   | Vol.-%                  | 14                      | 16           | 22 <sup>1)</sup>                     | 27 <sup>1)</sup>                   | 73                               | 15                 |
| Max. Flammen-<br>geschwindigkeit<br>Adiab. | $u_{max}$  | $\text{m/sec}$          | 43                      | 43           | 43                                   | 44                                 | 346                              | 43                 |
| Verbrennungs-<br>temperatur                | t          | $^{\circ}\text{C}$      | 1922                    | 1940         | 1945 <sup>1)</sup>                   | 1951 <sup>1)</sup>                 | 2086                             | 1930 <sup>1)</sup> |
| Methanzahl                                 | MN         | -                       | 100                     | 90           | 82                                   | 73                                 | 0                                | 100                |

# Insbesondere haben Wasserstoff und Erdgas einen fast gleichen Wobbeindex\*

## Brennwert, Wobbeindex und relative Dichte von Wasserstoff-Erdgasgemischen



## Gasparameterveränderung unter Wasserstoffbeimischung



\*Der Wobbeindex ist das Verhältnis aus Brennwert zur Wurzel der relativen Dichte:  $W_s = \frac{H_s}{\sqrt{d}}$

# Der geringe Unterschied im Wobbeindex\* von Wasserstoff und Erdgas hat positive Konsequenzen:

Aufgrund des instationären Energietransports in Fernleitungen (Darcy-Weißbach) ändert sich die Transportkapazität für H<sub>2</sub> nur gering

$$p_1^2 - p_2^2 = \lambda \cdot \frac{L}{D^5} \cdot \frac{16}{\pi^2} \cdot \rho_{Luft} \cdot \frac{T_m}{T_n} \cdot p_n \cdot \left( \frac{1}{W_s} \right)^2 \cdot K_m \cdot \dot{Q}^2$$

Hierbei stehen  $p_1$  und  $p_2$  für die Ein- und Ausgangsdrücke einer Rohrfernleitung,  $L$  für die Länge,  $D$  für den Durchmesser und  $\dot{Q}$  für den Energiestrom

Da die Brennerleistung vom Wobbeindex abhängt, sollte jeder Gasbrenner grundsätzlich auch mit H<sub>2</sub> betrieben werden können

Nozzle or burner tip



Power:  $P = \dot{V} \cdot H_s$        $\dot{V} = A \cdot w$

$$= A \cdot w \cdot H_s$$
$$= A \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \cdot H_s$$
$$= A \cdot \underbrace{\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{Luft}}}}_{= \text{const}} \cdot \frac{H_s}{\sqrt{d}}$$

Bernoulli equation simplification: no friction and incompressible ( $\rho_1 = \rho_2$ )

$$\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{w_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{w_2^2}{2}$$
$$w = w_2 = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$
$$d = \frac{\rho}{\rho_{Luft}}$$

\*Der Wobbeindex ist das Verhältnis aus Brennwert zur Wurzel der relativen Dichte:  $W_s = \frac{H_s}{\sqrt{d}}$

# Für Wasserstoff wird es in jedem Fall vielfältige Anwendungsfälle geben DVGW

Fuel cell boat in Hamburg



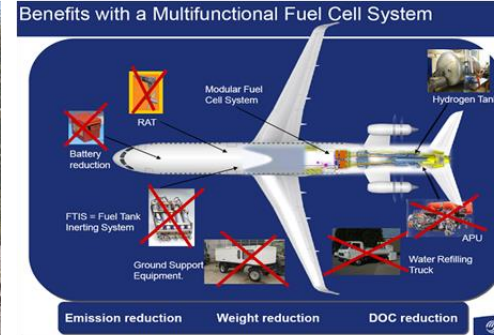
Source: Alster Touristik GmbH

Fuel cell trains in Niedersachsen



Source: Alstom (2017)

Concepts of fuel cell planes



Source: Airbus

## Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge



Quelle: Deutz, 2020

## Wasserstoffbetriebenes Heizgerät



Quelle: Viessmann, 2020

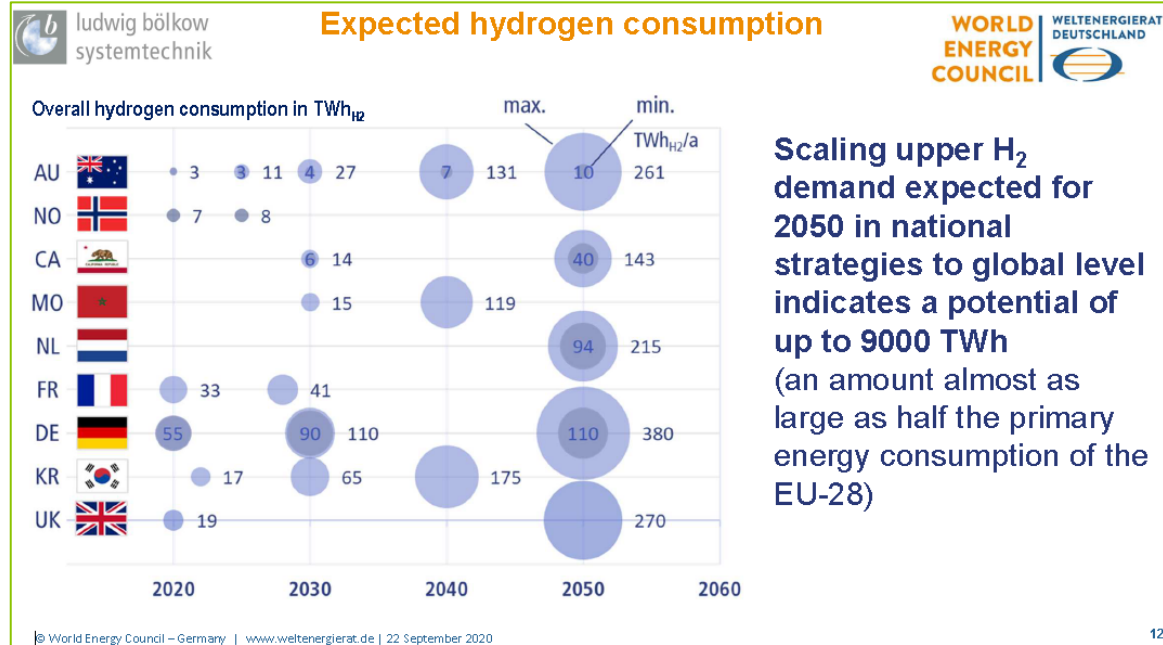
# Der internationale Run auf den Wasserstoff hat längst begonnen

In 2022 hat insbesondere das US-amerikanische Inflation Reduction Act die Europäer alarmiert

Durch eine Globalisierung des Wasserstoffhandels wird es eine Neusortierung der Energie-Import- und Exportländer geben

Studie des World Energy Councils unter Beteiligung des DVGW von 9/2020

<https://www.weltenergierat.de/international-hydrogen-strategies/>



Scaling upper H<sub>2</sub> demand expected for 2050 in national strategies to global level indicates a potential of up to 9000 TWh (an amount almost as large as half the primary energy consumption of the EU-28)

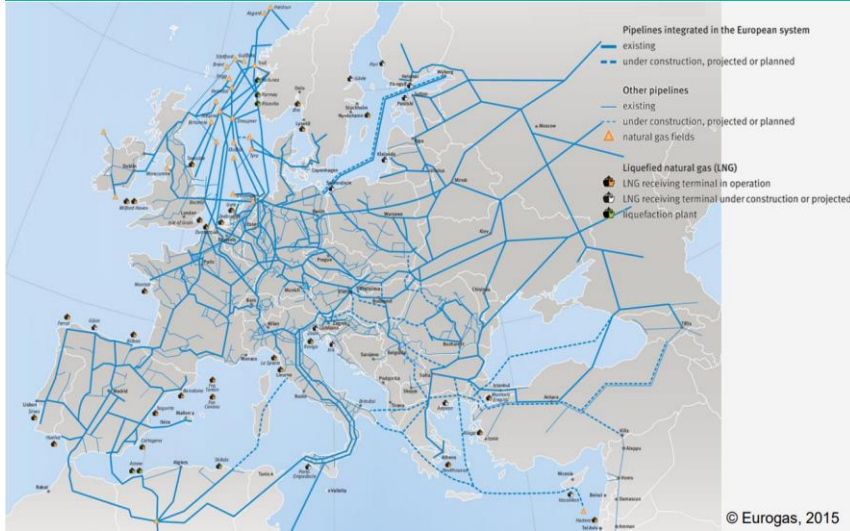


1. Gerald Linke: Will Hydrogen Be a New Natural Gas? Hydrogen Integration in Natural Gas Grids. Annual review of Chemical and Biomolecular Engineering, 2024: [annurev-chembioeng-100522-110306.pdf](https://annurev-chembioeng-100522-110306.pdf) ([annualreviews.org](https://annualreviews.org))
2. Thomas Schmidt: Wasserstofftechnik – Grundlagen, Systeme, Anwendung, Wirtschaft. Hanser-Verlag (3. überarbeitete Auflage), 2024 ISBN 978-3-446-47912-8
3. DVGW, Reihe „Zeit für einen Stoffwechsel“:  
DVGW e.V.: G - Klimafreundliche Gase
  1. Klimafreundliche Gas. Mehr als genug Potenzial
  2. Das Gasnetz- Rückgrat der Wasserstoffwelt
  3. Wasserstoff verkleinert den CO2-Fußabdruck – auf vielen Wegen
  4. Wasserstoff vor Ort. Für Wärme und mehr.
  5. Größtenteils bereits H2-ready: Netze, Speicher, Komponenten
  6. Wasserstoff: Bedarf und Beschaffungswege
  7. Genug Wasserstoff – oder verringern Gesetze das Potenzial?
4. DVGW-Forschung: Wasserstoff-Forschungsprojekte, 2024  
<https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/wasserstoff-forschungsprojekte-dvgw-2024.pdf>



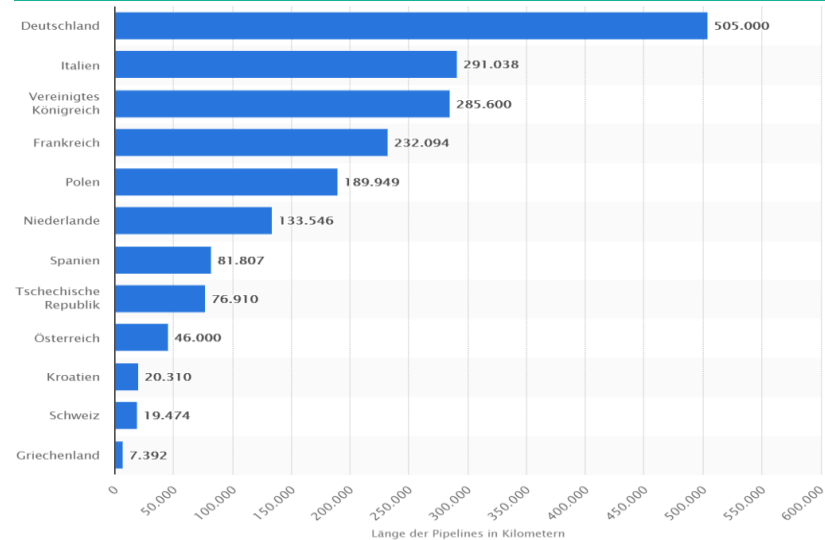
# Teil 6 - Pipelines & Pipeline Design, Sicherheit

## Das EU-Pipelinesnetz sorgt für eine Inter-Konnektivität und liquide Gasmärkte



**Doch der Wegfall der östlichen Netzversorgung (via Russland) erzwingt schnelle Ersatzmaßnahmen, d.h. den LNG-Ausbau in 2022, 2023 und darüber hinaus**

## Das Pipelinesnetz in D hat eine ungefähre Länge von einer halben Millionen km



# The European Natural Gas Pipeline Infrastructure

1970

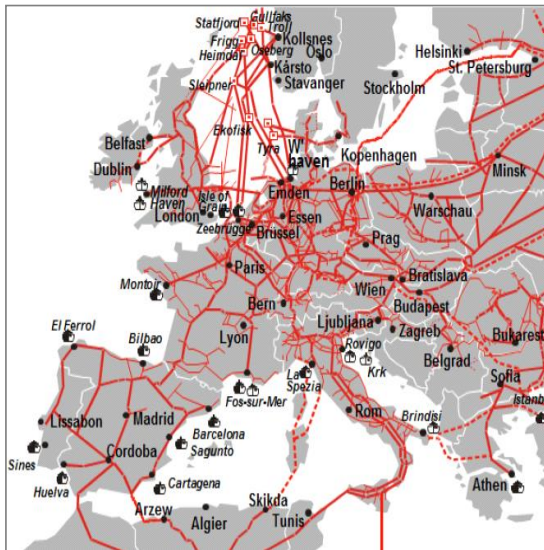
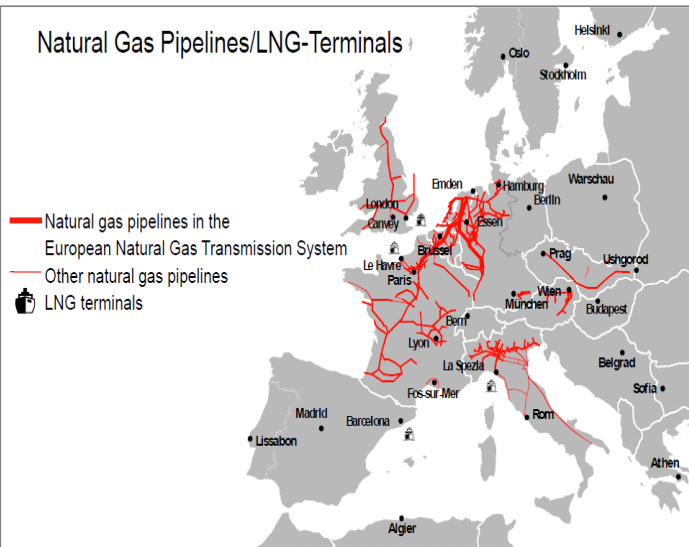
2011

Today

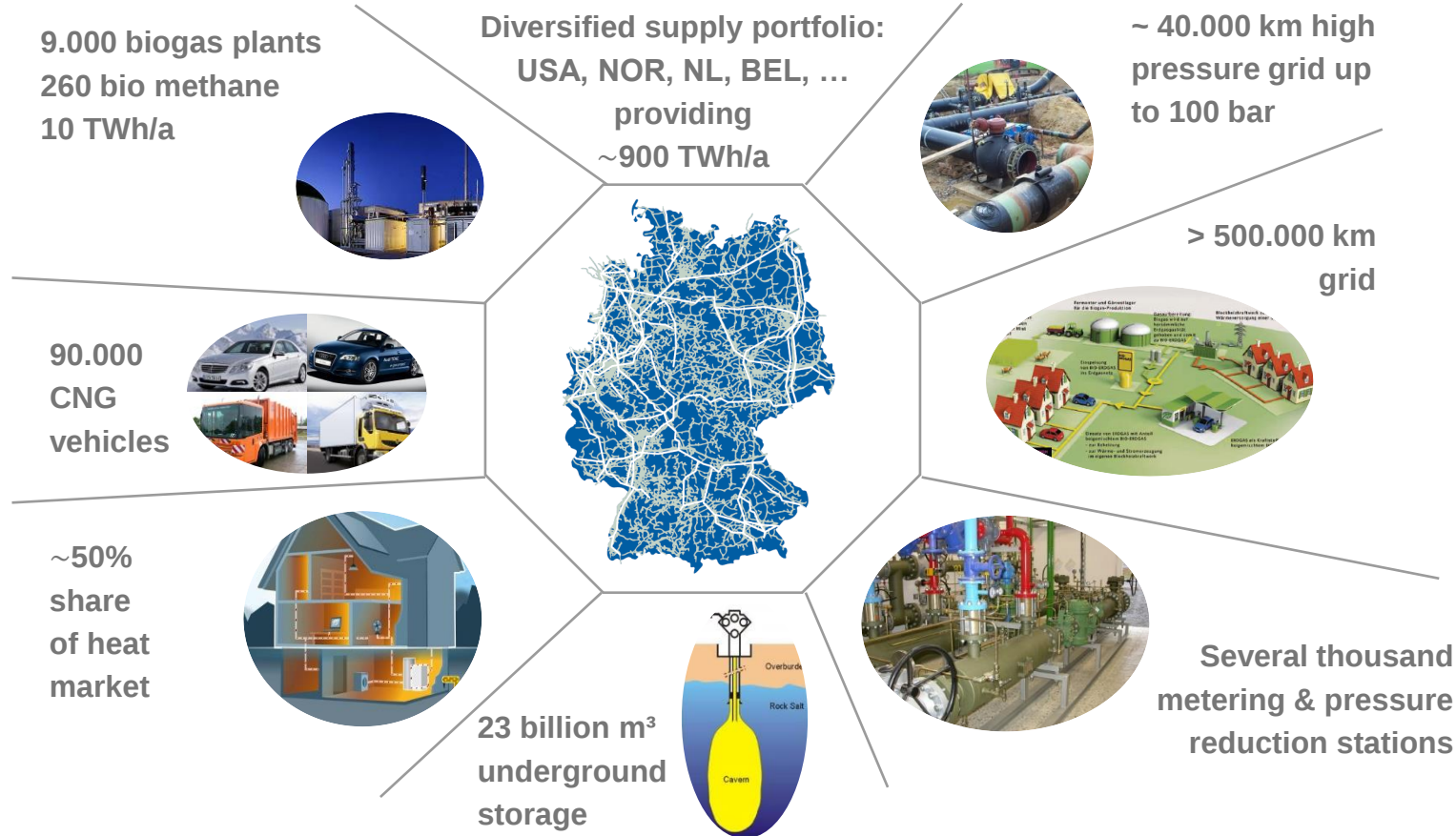
Development of the natural gas infrastructure over decades. Left side: 1970, right side: 2011 (Source: E.ON Ruhrgas AG)

Quelle: GIE, 2022

## Natural Gas Pipelines/LNG-Terminals



# The German Natural Gas Pipeline Infrastructure

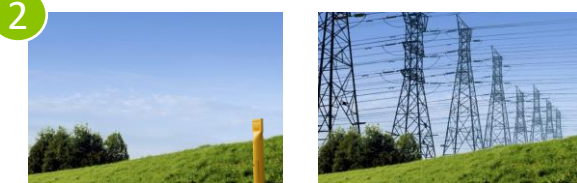


Größter  
Pipelinemarkt  
weltweit,  
größte EU-  
Infrastruktur,  
größte EU-  
Speicher,  
...

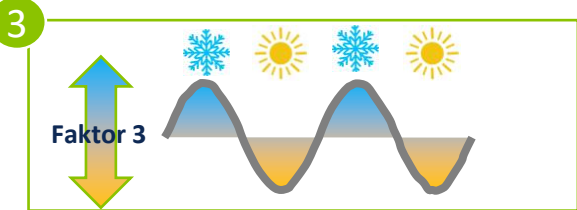
aber bis 2022  
kein einziges  
LNG-Terminal  
in Deutschland

|   |              |               |                                                                                   |
|---|--------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | <b>Strom</b> | ca. 500 TWh/a |  |
|   | <b>Gas</b>   | ca. 900 TWh/a |  |

Das Erdgasnetz transportiert doppelt so viel Energie pro Jahr wie das Stromnetz



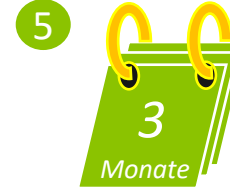
Eine Erdgasleitung hat eine Kapazität von etwa 8 Hochspannungsstrassen



Das Gasnetz kann extreme Lastspitzen bewältigen (Winter/Sommer-Schwankung)



Jeder 2. Haushalt hat einen Gasanschluss.



Netz und Speicher bieten eine Energiereichweite von 3 Monaten

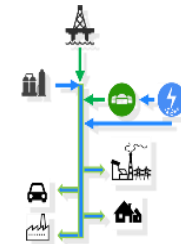
## 6 Das Verteilnetz

- versorgt 20 Mio. Wärmekunden
- beliefert 1,8 Mio. Industriebetriebe
- speist 75% der gesamten Gasenergie aus
- hat einen Wiederbeschaffungswert von 270 Mrd. € und eine Länge von 0,5 Mio. km

## 7 Reiner Wasserstoff



## Beimischung von Wasserstoff



Leitungen erlauben den Transport unterschiedlicher Energiegase

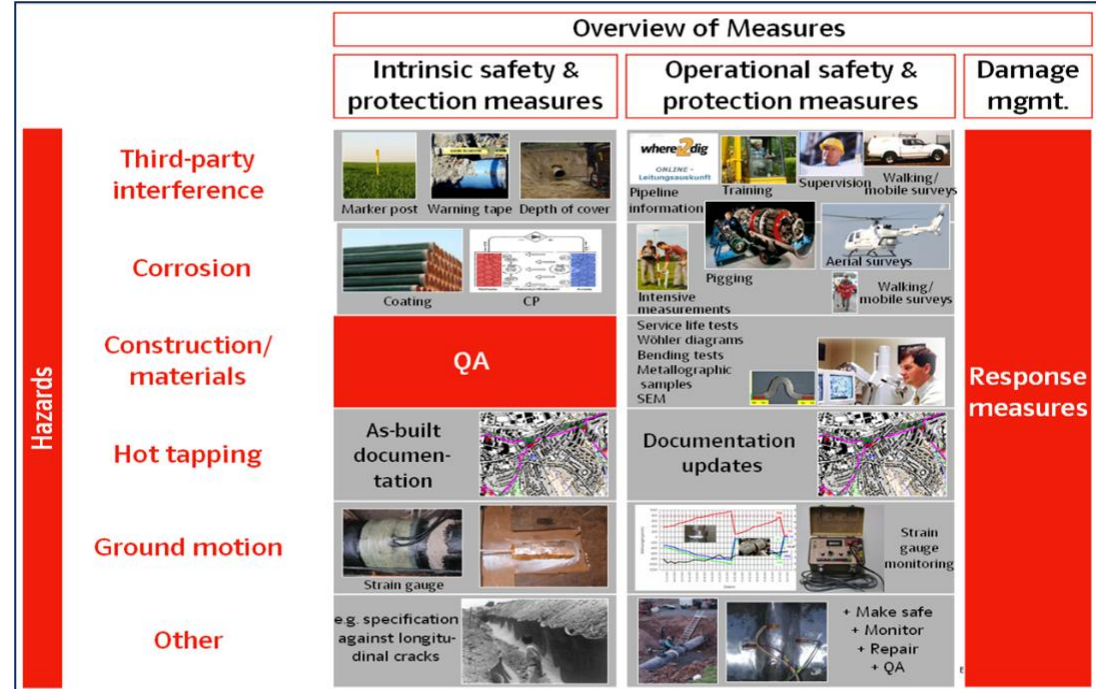
Der Bau nach dem DVGW-Regelwerk garantiert ein Höchstmaß intrinsischer Sicherheit, denn Belastungen aus Betriebsbedingungen und Einwirkungen des Umfeldes werden in der Designphase berücksichtigt.

Das Regelwerk beinhaltet wirksame Auslegungen und Präventionsmaßnahmen gegen:

- Äußere Einwirkungen
- Korrosion und Alterung
- Erkennen von Material- und Baufehlern (→ Stresstest)
- Bodenbewegungen und
- Sonderlasten

Auch sekundäre Sicherheitsmaßnahmen während der Betriebsphase (Überwachung und Schadensdetektion) sind im Regelwerk verankert, genauso wird Anforderungen an die Bereitschaft von Entstörungspersonal und die Vorhaltung von Betriebsmitteln.

Durch die Gas- & Wasserstatistik (GaWa) des DVGW erfolgt ein stetiges Monitoring der Sicherheitskennzahlen und ein Vergleich mit internationalen Benchmarks.



Die Wanddicke wird nach der Kesselformel bestimmt, die man z.B. in EN 1594 oder DVGW 463 findet

## 7.2 Wall thickness determination

### 7.2.1 Straight pipe

For normal load conditions the minimum wall thickness for straight pipe is calculated as follows:

$$T_{\min} = \frac{DP \times D}{20 \times f_o \times R_{t0,5}(\theta)} \quad (1)$$

where

$T_{\min}$  is the calculated minimum wall thickness, in millimetres (mm);

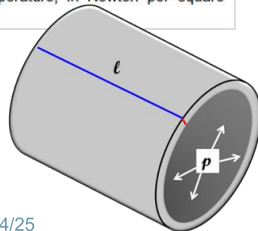
$DP$  is the design pressure, in bar;

$D$  is the outside diameter of the pipe, in millimetres (mm).

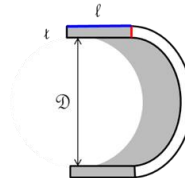
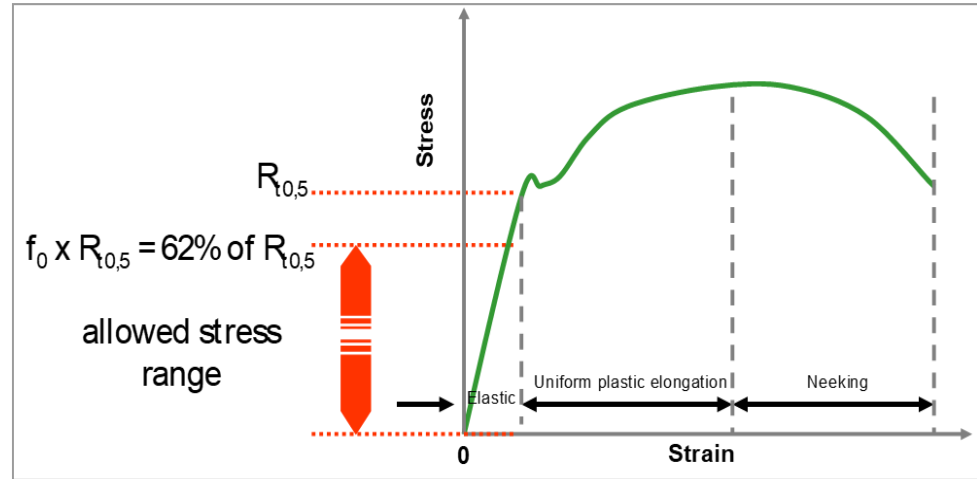
If  $D_i$  is preset,  $D$  shall equal  $D_i + 2 T_{\min}$ ,  $D_i$  being the inside diameter in millimetres (mm);

$f_o$  is the design factor;

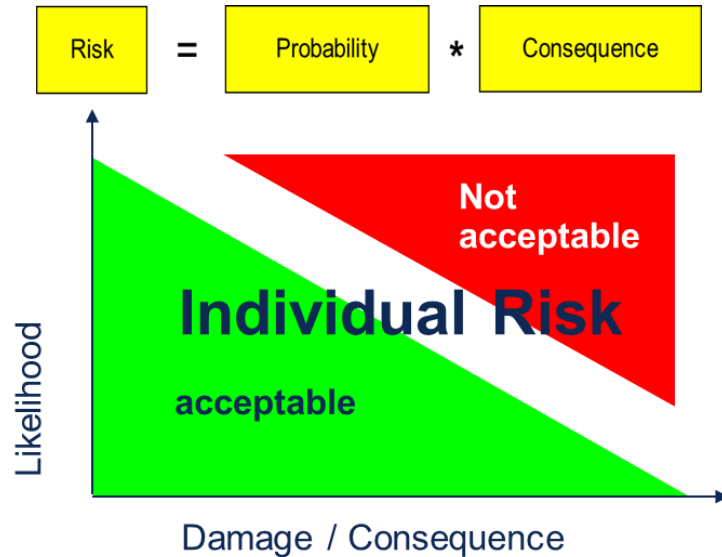
$R_{t0,5}(\theta)$  is the specified minimum yield strength at the design temperature, in Newton per square millimetre (N/mm<sup>2</sup>).



Der Sicherheitsfaktor von 1,6 (oder der reziproke Wert – **Designfaktor** genannt – von 0,62) bietet Sicherheit gegen die Streckgrenze und Reserve gegen stochastische Zusatzbelastungen



In einigen anderen Ländern bestimmt ein von der Leitung hypothetisch ausgehendes Risiko im Falle eines Vollbruches das Design, d.h. im Wesentlichen die zu wählende Wanddicke



In sog. **Quantitative Risikostudien** wird dieses Risiko rechnerisch aus der Versagenswahrscheinlichkeit des Rohrkörpers, aus der Zündwahrscheinlichkeit und aus den Letalitätsfolgen infolge der Wärmestrahlung ermittelt

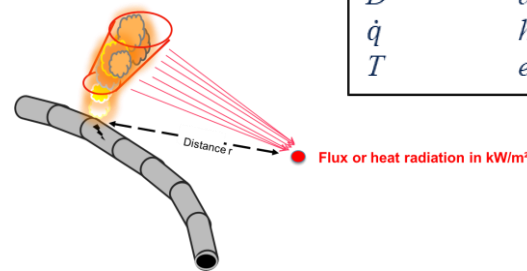
$$R = Leth \cdot P$$

$$P = P_{failure} \cdot P_{ignition}$$

$$Leth = f(D)$$

$$D = \int_0^T (\dot{q}(t))^{4/3} \cdot dt$$

| Symbol    | meaning        |
|-----------|----------------|
| $R$       | risk           |
| $Leth$    | lethality      |
| $P$       | probability    |
| $D$       | dosage         |
| $\dot{q}$ | heat radiation |
| $T$       | exposure time  |



Die führende Größe für das so ermittelte Risiko ist letztendlich der Massenstrom

Risikokonturen werden damit durch  $p \cdot D^2$  skaliert

Heat radiation  
[kW/m<sup>2</sup>]

$$\dot{q}_0 = \frac{0.05 \cdot m_{g,Mol}^{0.2} \cdot \dot{m}_0 \cdot H_u}{\rho \cdot \frac{273}{T}} \cdot \frac{1}{4\pi \cdot r^2}$$

Ref.:

- [1] Methods for the calculation of physical effects CPR 14 E (TNO Yellow Book), TNO 1992
- [2] Sicherheit von Erdgas-Hochdruckleitungen (Rahmenbericht der Schweizerischen Erdgaswirtschaft), 1997

The mass flow is proportional to  $p \cdot D^2$

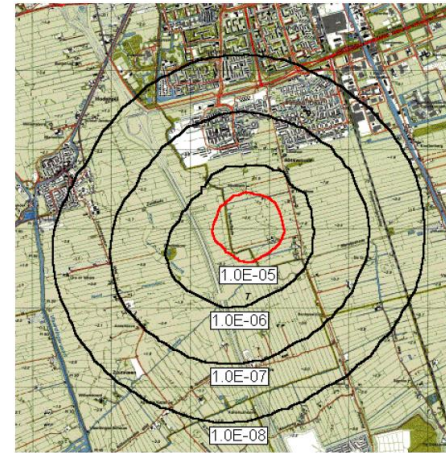


Figure 6.8 Presentation of the Individual Risk contours. Shown are the Individual Risk contours  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$  and  $10^{-8} \text{ y}^{-1}$  of a fictive plant.



1. K. Homann et al.: Handbuch der Gasversorgungstechnik: Logistik – Infrastruktur – Lösungen, gwf-Verlag, 2017, ISBN: 978-3-8356-7299-4 (print) oder 7298-7 (ebook)
2. J. Mischner et al.: Gas2energy.net: System Planing Fundamentals of the Gas Supply, DIV-Verlag, 2016, ISBN 978-3-8356-7274-1 (print) oder 7273-4 (ebook)
3. G. Cerbe: Grundlagen der Gastechnik: Gasbeschaffung – Gasverteilung – Gasverwendung, Hanser-Verlag, 2016, ISBN 978-3-446-44965-7 (print) oder 44966-4 (ebook)
4. Schmidt & Müller.Kirchenbauer: Technische Sicherheit beim Transport von gasförmigem Erdgas durch erdverlegte Gashochdruckleitungen, KIT (Karlsruher Institute of Technology), ite-verlag (gas supply), 2014

# Teil 7 - Pipeline Operation – PIMS, Schadensstatistik

# Inspektion, Wartung und Instandhaltung von Leitungen

Leitungen sind verschiedenen Einwirkungen und Alterungseffekten ausgesetzt

## Baggerschaden



## Inneneinschluss



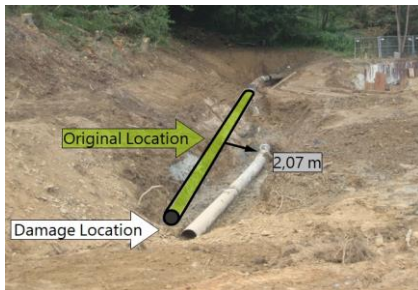
## Flächenkorrosion



## Disbonding



## Bodenbewegung



## Blitzschlag



## Mantelrohrkorrosion



## Bauteilverformung



# Zur Defektermittlung kommen verschiedene Inspektionsverfahren zum Einsatz

## Leitungsbegehung



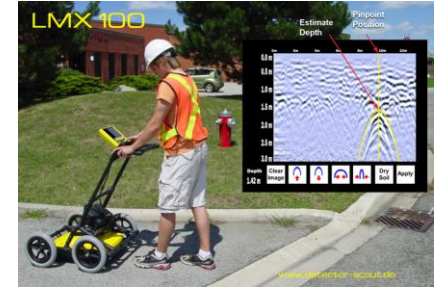
## Befliegung



## Methandetektion



## Bodenradar



## Molchung



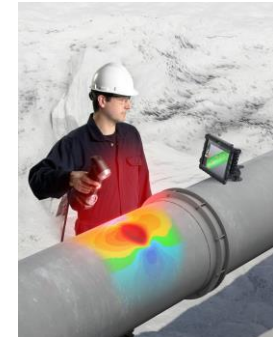
## Intensivmessung



## Ultraschall



## HandySCAN®

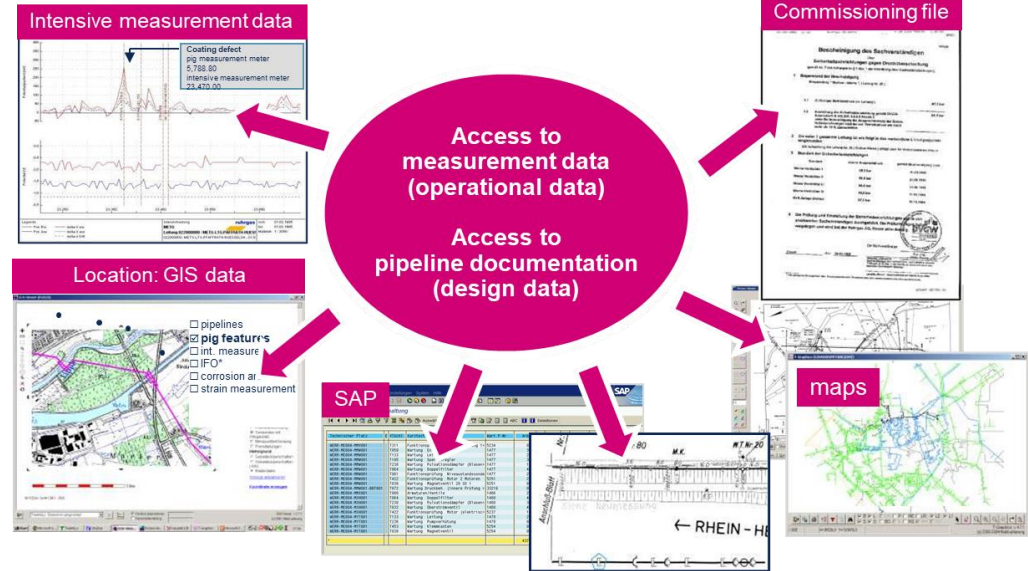
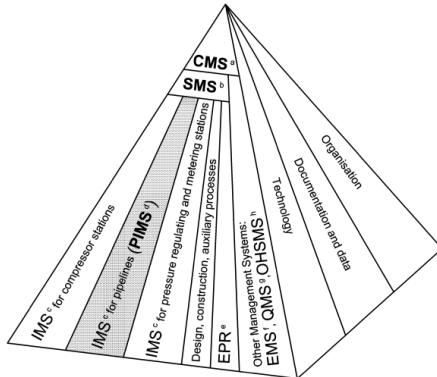


# Das Planungsschema aus Defektermittlung, Bewertung und zyklischen Wiederholung nennt man PIMS

PIMS steht für Pipeline Integrity Management System

In einem IT-gestütztem PIMS fließen Stamm- und Bewegungsdaten (Zustandsmessdaten) ein

PIMS ist Bestandteil eines Company Management Systems





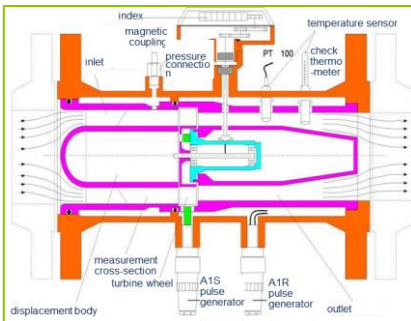
1. K. Homann et al.: Handbuch der Gasversorgungstechnik: Logistik – Infrastruktur – Lösungen, gwf-Verlag, 2017, ISBN: 978-3-8356-7299-4 (print) oder 7298-7 (ebook)
2. J. Mischner et al.: Gas2energy.net: System Planing Fundamentals of the Gas Supply, DIV-Verlag, 2016, ISBN 978-3-8356-7274-1 (print) oder 7273-4 (ebook)
3. G. Cerbe: Grundlagen der Gasteknik: Gasbeschaffung – Gasverteilung – Gasverwendung, Hanser-Verlag, 2016, ISBN 978-3-446-44965-7 (print) oder 44966-4 (ebook)
4. EGIG (European Gas Incident Data Group): Reports: [Reports > EGIG](#)
5. DVGW: Datenerfassung mit GaWaS (Gas- und Wasserstatistik): [DVGW e.V.: Datenerfassung mit GaWaS](#)

# Teil 8 - Gasmessung, Gasverdichterstationen, Speicherung und Bezugsoptimierung

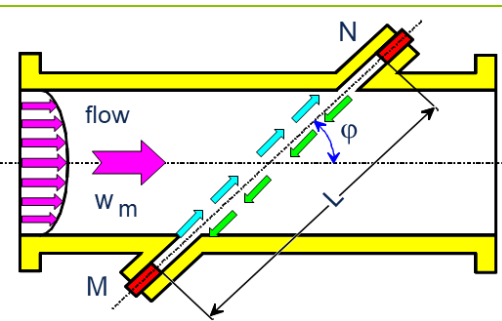
# Gasmessung: Energie wird in kWh/Zeiteinheit abgerechnet

Es i.d.R. einer Volumenstrommessung & einer Analyse der Gaszusammensetzung

## Turbinenradzähler



## Ultraschallzähler



## Drehkolbenzähler



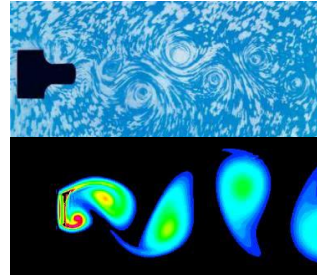
## Balgengaszähler



## Blende



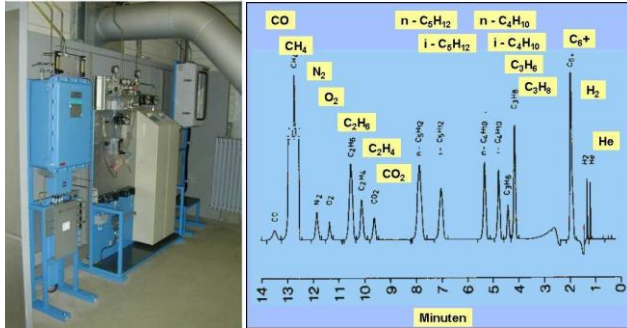
## Vortex-Meter



## Corioliszähler



## Chromatograph liefert die Gaszusammensetzung und den BW



## Druck- und Temperatur-messungen in Ergänzung zur Volumen(strom)messungen



Aus der Chromatographie und den thermodynamischen Größen (p, T, V) lässt sich der exakte Energieinhalt berechnen

### Gasabrechnung – ganz genau

Für die Umrechnung von dem Betriebsvolumen auf das Normvolumen wird die Zustandszahl (z) benötigt. Sie ist abgeleitet aus der allgemeinen Gleichung für reale Gase. Hierbei werden die ermittelten Größen Gasdruck und Gastemperatur zu Normtemperatur und Normdruck ins Verhältnis gesetzt.

$$z = \frac{V_n}{V_b} = \frac{T_n}{T} \cdot \frac{p}{p_n}$$

z = Zustandszahl  
 $V_n$  = Normvolumen (m³)  
 $V_b$  = Betriebsvolumen (m³)  
 $T_n$  = Normtemperatur = 273,15 (K)  
 $p_n$  = Normdruck = 1013,25 (mbar)  
 $T$  = Gastemperatur =  
 $15^\circ\text{C} + 273,15\text{ K} = 288,15\text{ K}$   
 $p$  =  $p_{\text{atm}} + p_{\text{st}}$  (mbar)  
 $p_{\text{atm}}$  = Luftdruck am Gaszähler (mbar)  
 $p_{\text{st}}$  = 1016 - 0,12 x H (mbar)  
 $H$  = mittl. geodätische Höhe (m)  
 $p_{\text{st}}$  = Überdruck vor dem Gaszähler (mbar)

### Beispielrechnung:

Familie Mustermann, Musterstraße 1, 66777 Musterstadt

### Gasverbrauch

|              |                     |         |
|--------------|---------------------|---------|
| Anfangsstand | vom 19.09.2004      | 1657 m³ |
| Endstand     | vom 13.09.2005      | 5180 m³ |
| Verbrauch =  | 5180 m³ - 1657 m³ = | 3523 m³ |

### Zustandszahl

Höhenlage der Musterstraße 1: H = 130 (m)

$p_{\text{atm}}$  = 22 mbar  
 $p_{\text{st}}$  = 1016 - 0,12 x 130 = 1000,40 mbar  
 $p$  = 1022,40 mbar

$$\text{Zustandszahl } z = \frac{273,15\text{ K}}{288,15\text{ K}} \cdot \frac{1022,40\text{ mbar}}{1013,25\text{ mbar}} = 0,957$$

### Brennwert

(Mittelwert im Abrechnungszeitraum 19.09.04 – 13.09.05)  
 Brennwert = 11,14 kWh/m³

### Abrechnung

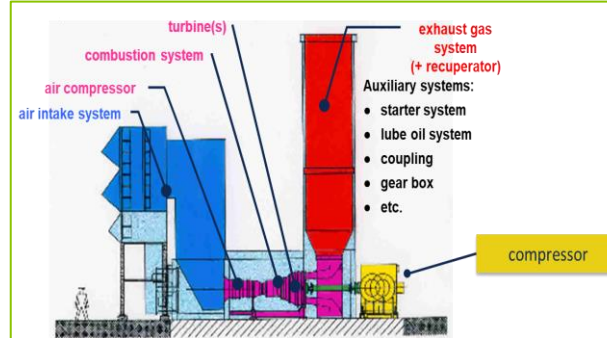
Umrechnungsfaktor = Zustandszahl • Brennwert  
 = 0,957 • 11,14 kWh/m³  
 = 10,66 kWh/m³

Thermische Energie = Gasverbrauch • Umrechnungsfaktor  
 = 3523 m³ • 10,66 kWh/m³  
 = 37555 kWh

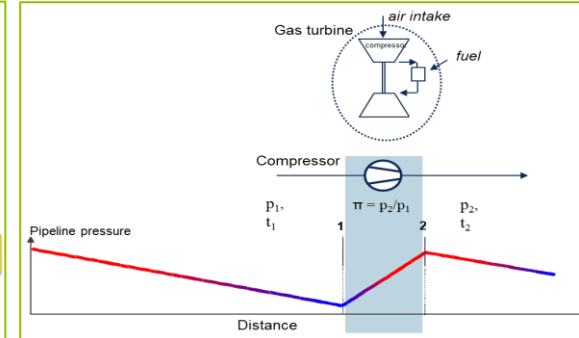
In Verdichterstationen wird das Gas in den Ferntransportleitungen erneut beschleunigt und dadurch verdichtet, um so weiter transportiert werden zu können



Dabei wird der eigentliche Verdichter meist durch eine Gasturbine angetrieben, die mit Brenngas aus der Pipeline mitversorgt wird



Prinzipbild: Der entlang der Leitung abfallende Druck erzeugt den Volumenstrom (Darcy-Weißbach). In der Station ist das Druckniveau wieder anzuheben



## Verschiedene Verdichtermarken:

- Borsig
- SOLAR
- Nuovo Pignone

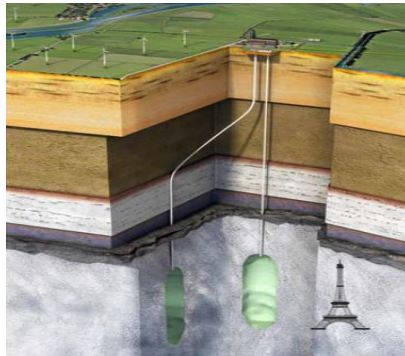


## Verschiedene Maschinen:

- Gasgetriebene Turbine (Solar)
- Gasbetriebener Kolbenverdichter
- E-betriebener Verdichter
- Verdichtung durch Expansionsantrieb

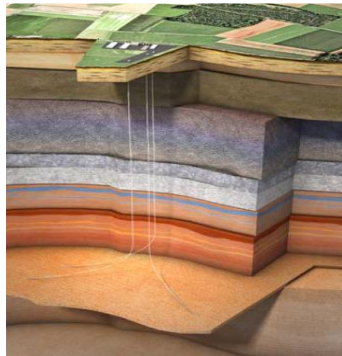


## Kavernenspeicher



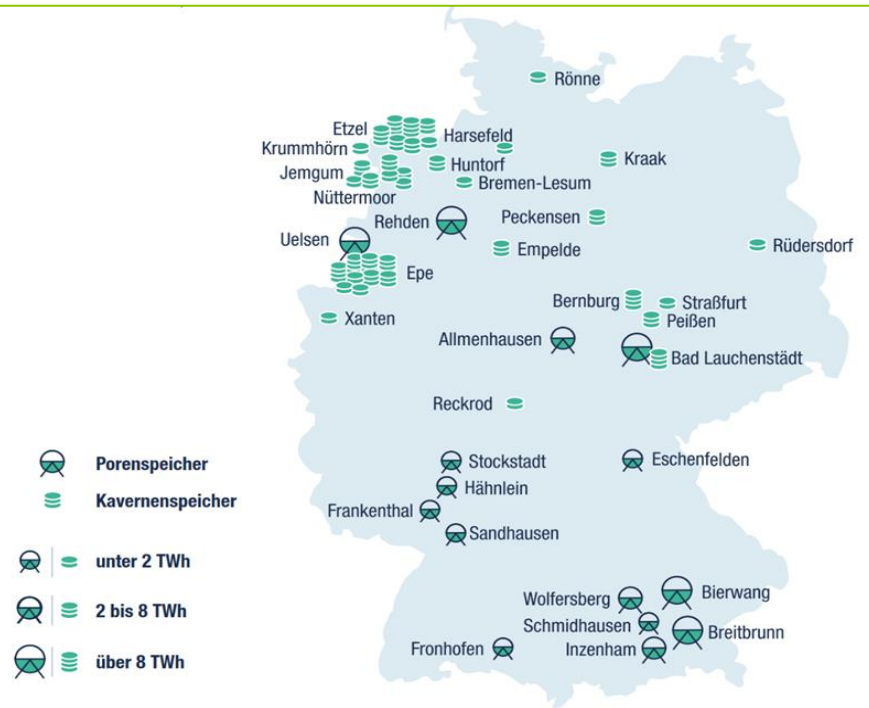
- Größe: 3 – 2.100 Mio. m<sup>3</sup> Arbeitsgas
- Tiefe: 500 – 1.800 m
- Hohe Einspeise- und Entnahmerate
- Flexible Fahrweise möglich
- natürliche oder künstlich durch Aussalzung von Steinsalz oder durch Bergbau geschaffene unterirdische Hohlräume

## Porenspeicher



- Größe: 15 – 4.400 Mio. m<sup>3</sup> Arbeitsgas
- Tiefe: 350 – 2.900 m
- Niedrige Einspeise- und Entnahmerate
- Saisonaler Ausgleich
- Untertagegasspeicher in ausgeförderten Erdgas- oder Erdöllagerstätten sowie in Aquiferstrukturen

## Speicherverteilung in Deutschland



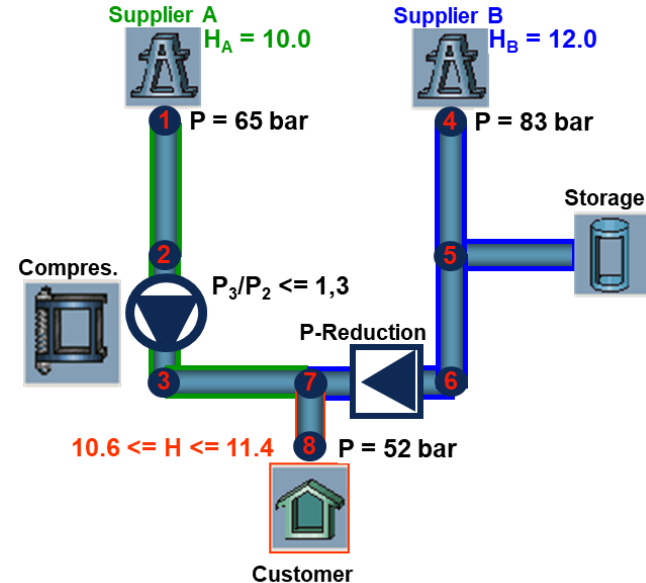
Bei der Optimierung minimiert man die Gesamt-Gasbezugskosten für einen längeren Zeitraum

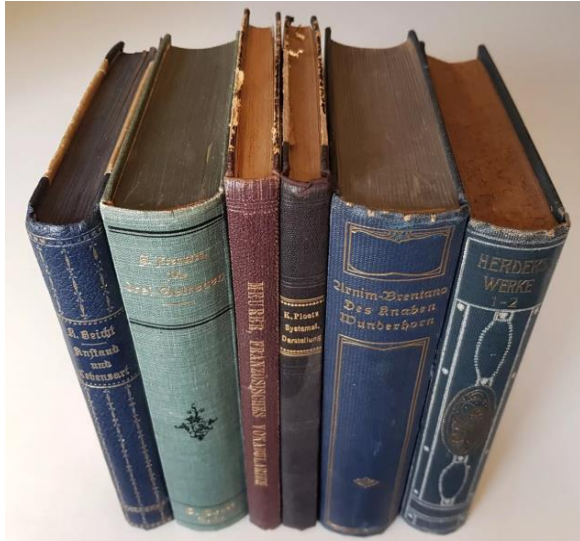
$$\min \sum_{i,j,n} c_{source_i,t_n} \cdot Q_{source_i \rightarrow gas\_inlet_j}(t_n)$$

Dazu benötigt man

- Annahmen zum Gasabsatz und den Bezugskosten der alternativen Anbieter
- Vertragsoptionen (z.B. Min Pay, Preisstaffeln)
- Leitungskapazitäten und Transportkosten
- Speicheroptionen (Mengen, Leistungen, Preise)
- die komplette Netz-Topologie
- einen Optimizer (OR-Rechner)

Einfaches Bezugs- und Netzmodell der Vorlesung zur Veranschaulichung der Einkaufsoptimierung





1. U. Wernekinck: Gasmessung und Gasabrechnung, Vulkan-Verlag, 2009
2. Wikipedia: Lineare Optimierung: [Lineare Optimierung – Wikipedia](#)
3. Gunter Dueck: Das Sinflutprinzip – Ein Mathematik-Roman, 2006, ISBN 978-3-540-33873-4

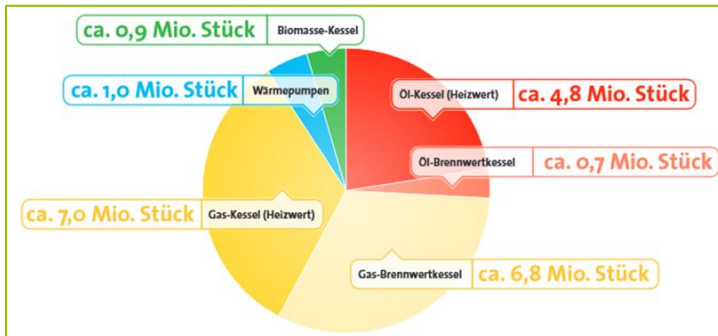


# Teil 9 - Gas in der Endanwendung

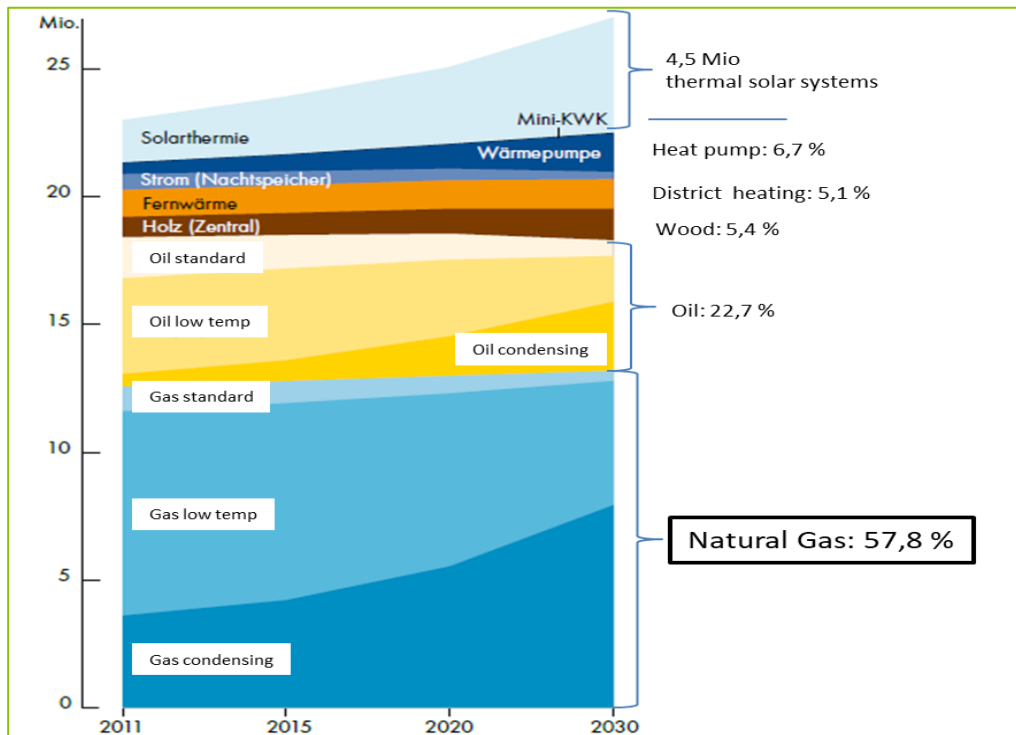
In D wird Erdgas zur Industrierversorgung und für die Wärmebereitstellung im Gewerbe und Haushalten eingesetzt



14,7 der ca. 21,2 Mio. Wärmeerzeuger im Bestand werden mit Gasen betrieben



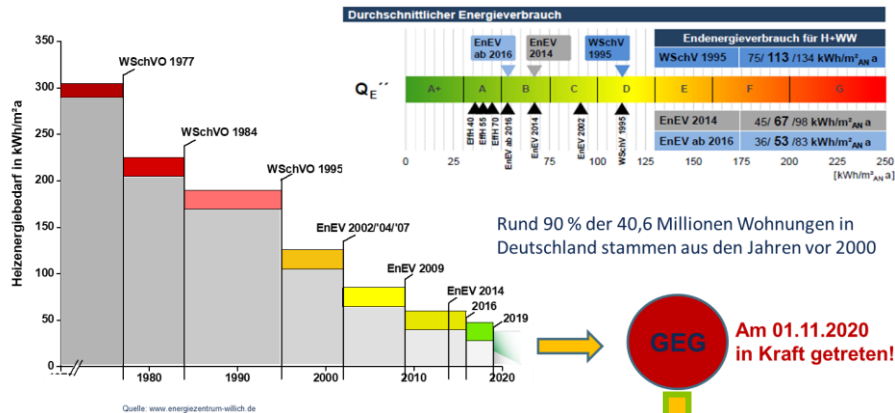
Gas wird auch in der Fernwärme oder in Mini-KWK eingesetzt



Source: Shell BDH Hauswärme-Studie May 2013, Scenario Trend (constant replacement quota)

Die Effizienzanforderungen im Wärmesektor – vor allem für Neubauten - steigen stetig

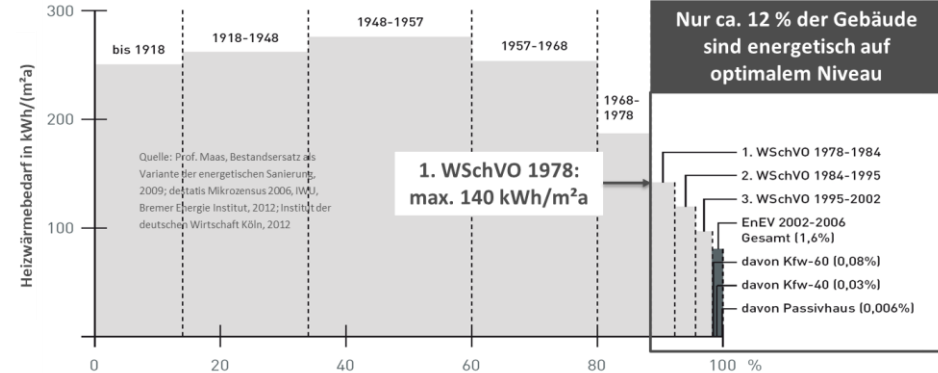
Aber der durchschnittliche Heizbedarf im Bestand ist nach wie vor hoch



Verschärfung des Gebäude-Energie-Gesetzes in 2023



Der energetische Zustand des Gebäudebestandes in Deutschland hinkt den Ansprüchen und Zielen weit hinterher.



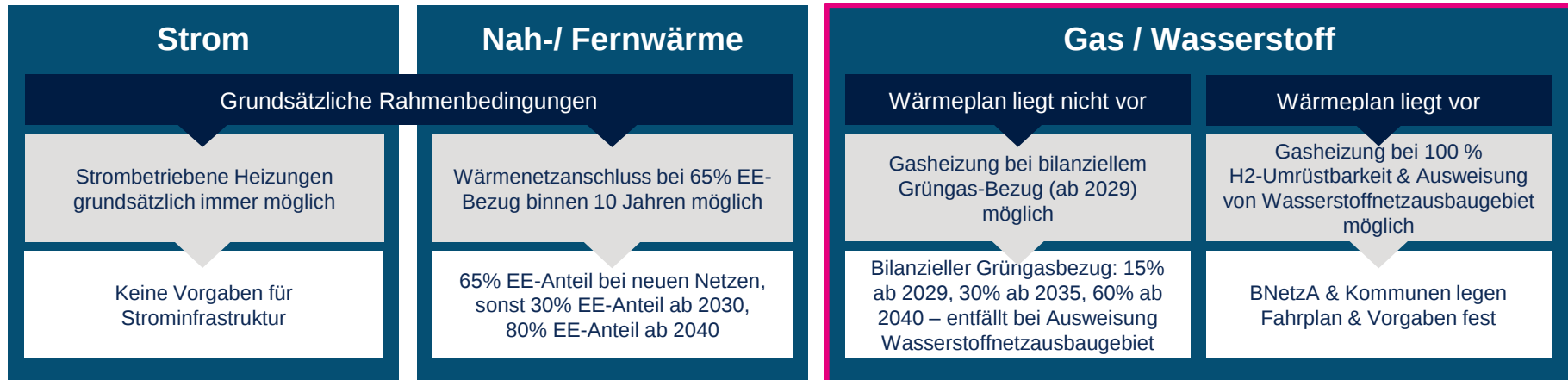
Durchschnittlicher Heizwärmebedarf für Ein-/Zweifamilienhäuser 172 kWh/m²a, für kleinere Mehrfamilienhäuser 145 kWh/m²a (inkl. WW-Bereitung).

### Gebäudeenergiegesetz (GEG)

- Ab 2024 soll „möglichst jede neu eingebaute Heizung zu 65 % mit Erneuerbaren Energien betrieben werden“ (KoaA 23.03.2023)
- Enthält Vorgaben für Heizungstausch (inkl. Beratungspflicht), mit Auswirkungen insb. auf die Gas- & Wärmeversorgung
- Gilt im Neubau ab 2024, im Bestand spätestens ab 2026 bzw. 2028 (je nach Größe der Kommune / Deadline des WPG)

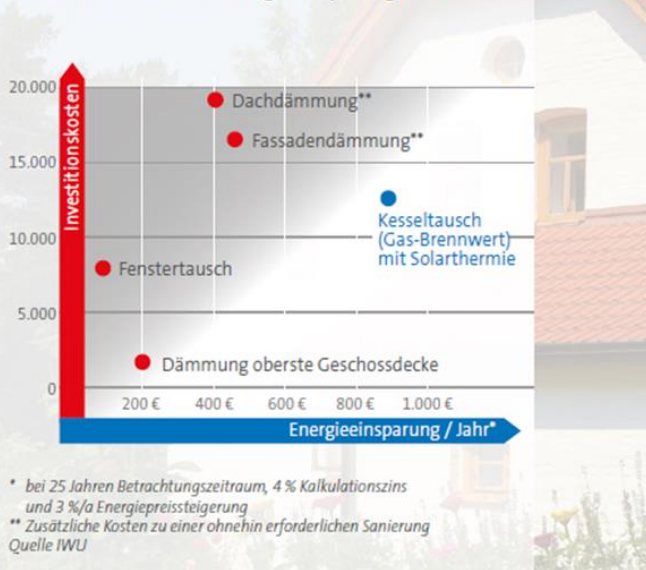
### Wärmeplanungsgesetz (WPG)

- Kommunen müssen bis Mitte 2026 (> 100.000 EW) bzw. Mitte 2028 (< 100.000 EW) einen Wärmeplan vorlegen
- Wärmepläne weisen verschiedene Gebiete (insb. Wärme- & Wasserstoffgebiete) aus & schaffen Planungssicherheit bei Heizungstausch
- Aktualisierung der Wärmepläne spätestens alle fünf Jahre



Unter allen Optionen ist die Gaskesselmodernisierung die effizienteste zur Minderung des Energiebedarfes

Beispiel für ein Einfamilienhaus Baujahr 1958 – 1968  
Investitionskosten und Energieeinsparung/Jahr in €



Nach dem neuen Gebäudeenergiegesetz (GEG) ist eine „Modernisierung“ mit Biogas zulässig. Sollte auch Wasserstoff in Betracht kommen, ergeben sich weitere CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale

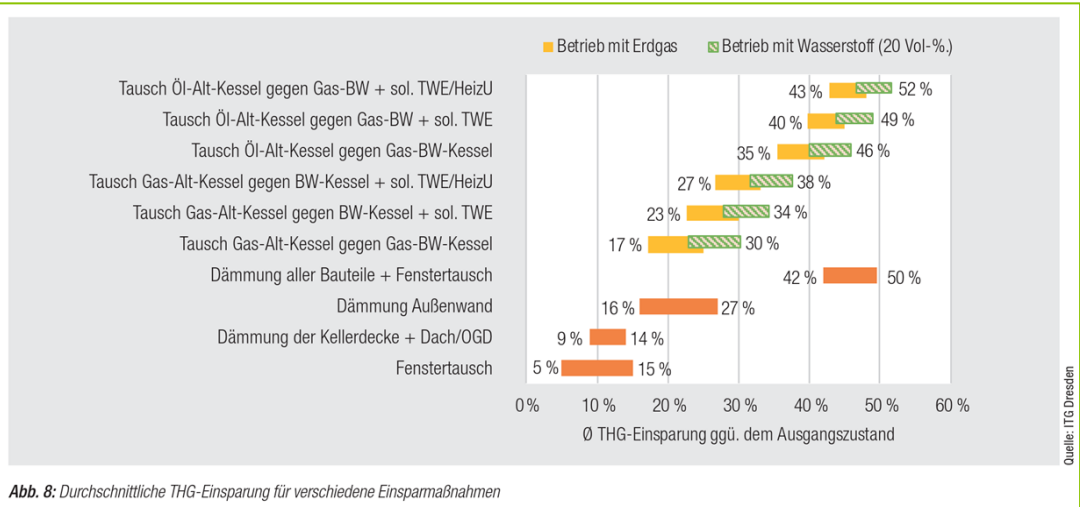
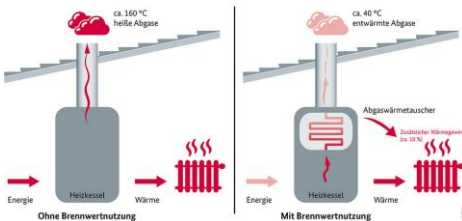
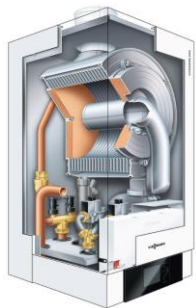


Abb. 8: Durchschnittliche THG-Einsparung für verschiedene Einsparmaßnahmen

# Gasgeräte zum Heizen ... und zur Stromerzeugung

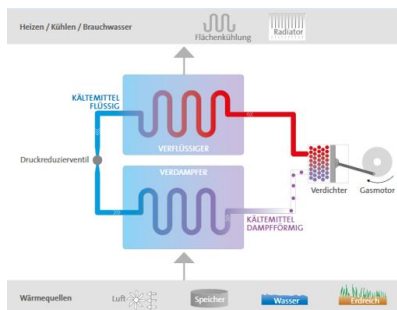
## Typen und Wirkprinzip

### Brennwertgerät



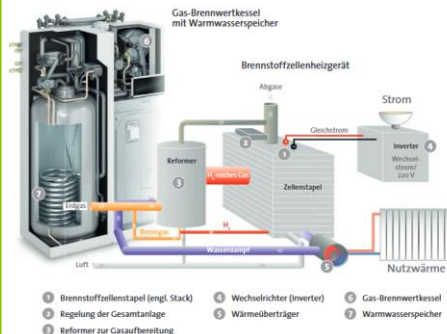
Abwärmerückgewinnung

### Gaswärmepumpe



Einkopplung Umgebungswärme

### Brennstoffzelle



Elektro-chemische Verbrennung

### Mini-KWK



- motorisch
- oder auf BZ-Basis

motorisch, elektr.-chem.

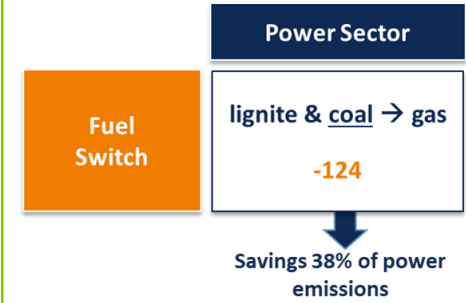
Erdgas spielt (noch) im Strommarkt eine geringere Rolle. Nur 13% des Absatzes werden zur Stromerzeugung genutzt.

Das ändert sich aber durch den Kohleausstieg. Der Zuwachs an EE-Strom kann die Lücke nicht schnell genug füllen. Außerdem stehen 23 GW Gaskraftwerke bereit, um die (Braun-)Kohlelücke zu schließen.

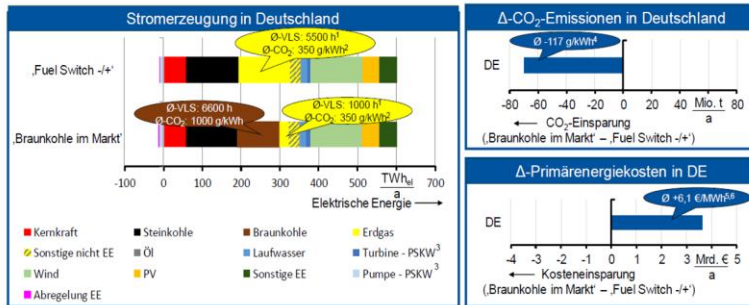
RWTH Aachen-Studie zum Fuel-Switch zu Erdgas

Nach dem *Energie-Impuls* des DVGW liefert der Fuel-Switch von Kohle zu Gas Emissions-einsparungen von 124 Mio. t/a.

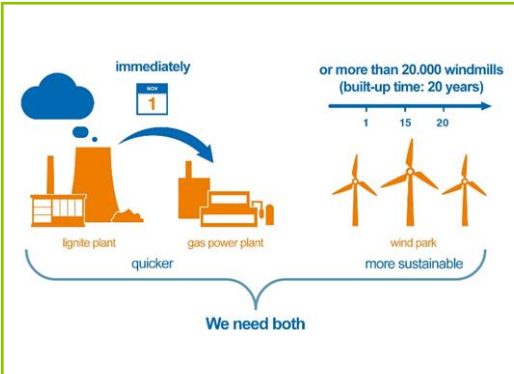
Das sind CO<sub>2</sub>-Reduktionen um 38%.



## Ergebnisse Strommarkt – Veränderung der Stromerzeugung und CO<sub>2</sub>-Emissionen

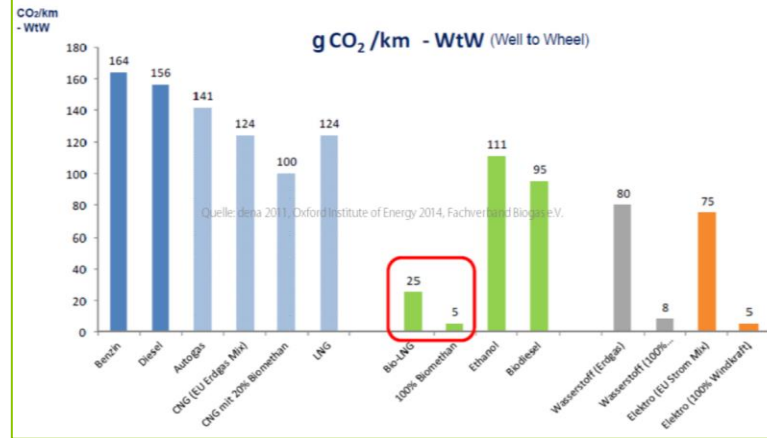
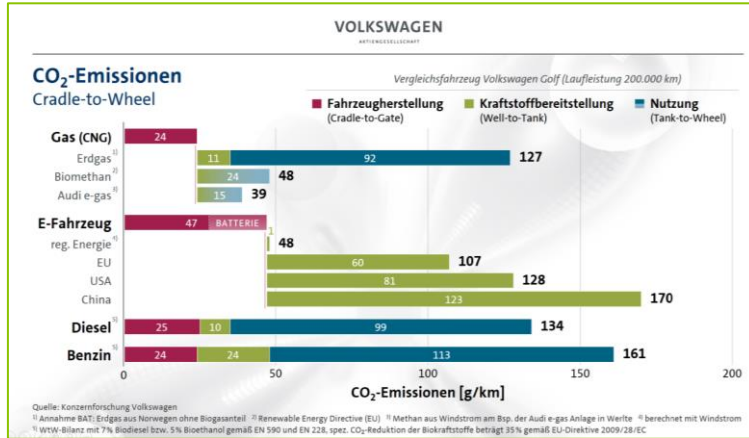


Die Versorgungslücke könnte nur nach einer 20-jährigen Bauzeit (und mit ambitionierten Zubauraten) durch Windenergie geschlossen werden. Damit ginge aber kostbare Zeit für Klimaschutz verloren.



Erdgas hat im PKW-Segment nur einen Anteil von 4 %, obwohl die Emissionsvorteile erheblich sind – selbst gegenüber E-Mobilität

Erdgas – in Form von LNG – ist aber im LKW-sektor und maritim auf Expansionskurs und hat mit Bio-LNG weitere Zukunftsperspektiven





1. DVGW: Praxis der Gasinstallation. Der Kommentar zur Technischen Regel für Gasinstallationen – DVGW-TRGI 2018, wvgw-Verlag, 2018, ISBN 978-3-89554-218-3
2. Gebäudeenergiegesetz (GEG), 2024: [GEG - nichtamtliches Inhaltsverzeichnis \(gesetze-im-internet.de\)](#)
3. DVGW: Heizen mit Wasserstoff, 2023: [heizen-mit-h2.pdf \(dvgw.de\)](#)

## GEG - Neubau

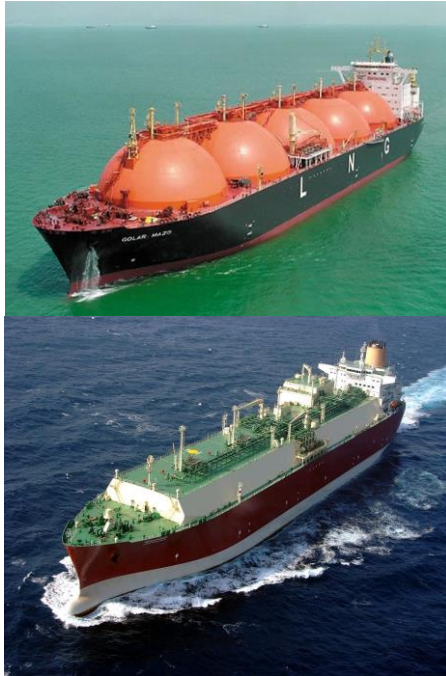


# Teil 10 - LNG & Small Scale LNG

# LNG – flüssiges Erdgas

Die Energiedichte von LNG entspricht der von CNG bei ca. 600 bar

1/3 des cross-border gehandelten Erdgases, wird als LNG per Schiff transportiert



## Moss Design (Golar Mazon):

- Kugeltanks mit einem Durchmesser von 30-40 m
- Kapazität: 135.000 m<sup>3</sup> LNG
- Länge: ca. 290 m
- Breite: ca. 47 m
- Tiefgang: ca. 10,5 m

## Membrane Design (Mesaimeer)

- heute überwiegend gebaut, da höhere Ladekapazität im Vergleich zu Kugeltanks bei gleicher Schiffsgröße möglich
- Kapazität 216.000 m<sup>3</sup> LNG (Q flex)
- (Q max. 265.000 m<sup>3</sup> LNG)
- Länge: ca. 350 m
- Breite: ca. 54 m
- Tiefgang: ca. 12 m

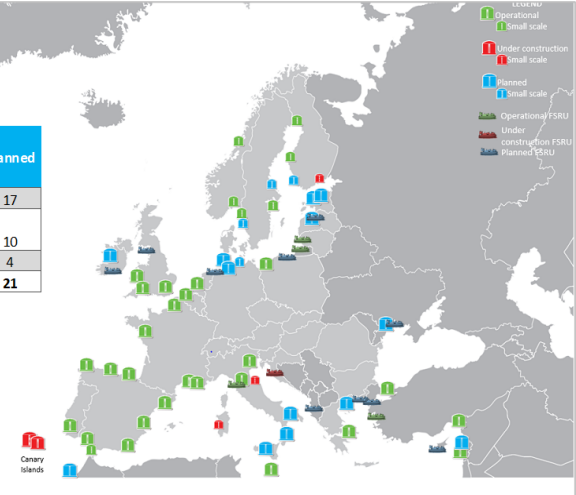
Zeitgleich zum Pipeline-Ausbau findet auch der Zubau weiterer Re-Gasifizierungsanlagen in der EU statt

Number of LNG import terminals by type

|                  | operational | under construction (excl. expansions) | planned |
|------------------|-------------|---------------------------------------|---------|
| Large-scale      | 29          | 3                                     | 17      |
| FSRUs and others | 7           | 1                                     | 10      |
| Small-scale      | 7           | 3                                     | 4       |
| Total            | 36          | 6                                     | 21      |

Annual regasification capacity of LNG import terminals (billion m<sup>3</sup>(N)/year)

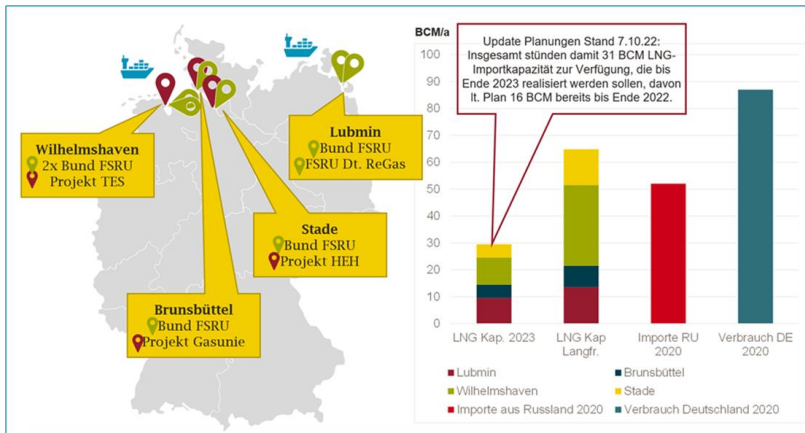
|                    | EU 28 | Europe |
|--------------------|-------|--------|
| operational        | 212   | 241    |
| under construction | 9     | 9      |
| planned            | 108   | 140    |



# LNG – flüssiges Erdgas

Ab 2022 auch in Deutschland das entscheidende Thema zur Wahrung der Versorgungssicherheit

Die neuen LNG-Lieferungen über die FSRU in Wilhelmshaven und Lubmin sind bereits realisiert; Brunsbüttel kam in 2023 ans Netz



## Bildmaterial zu den neuen FSRU in Deutschland



Die FSRU "Neptune", die in Lubmin als schwimmendes LNG-Terminal zum Einsatz kommt (oben) und Skizze zum LNG-Terminal Brunsbüttel mit Option zum H2-Hub

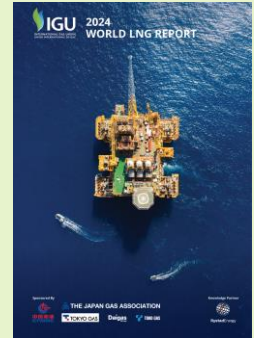


Inbetriebnahme Hoeg Esperanza (WHV) am 17.12.2022





## 1. IGU: 2024 World LNG Report: 2024 World LNG Report – IGU

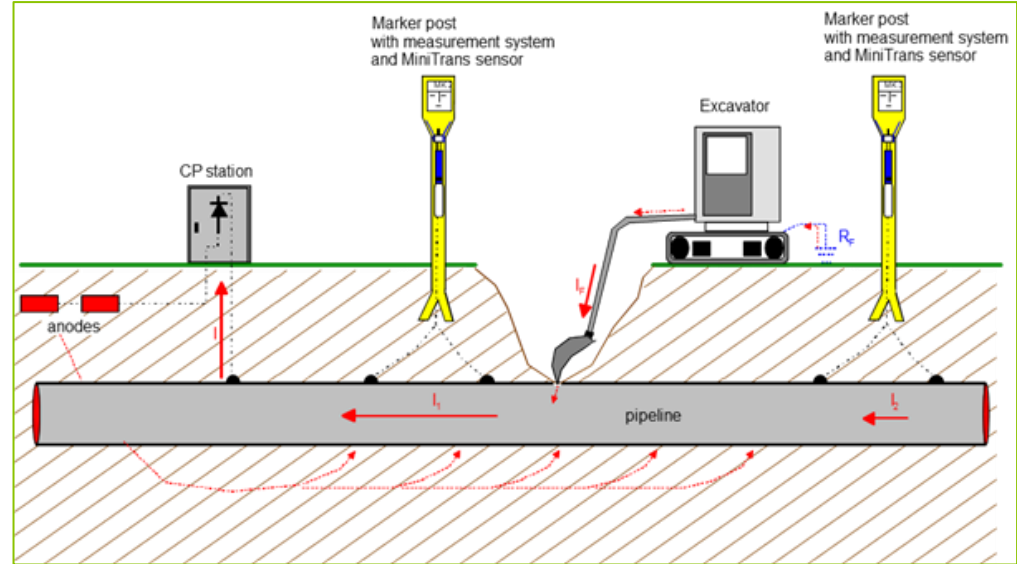


# Teil 11a - Innovationen

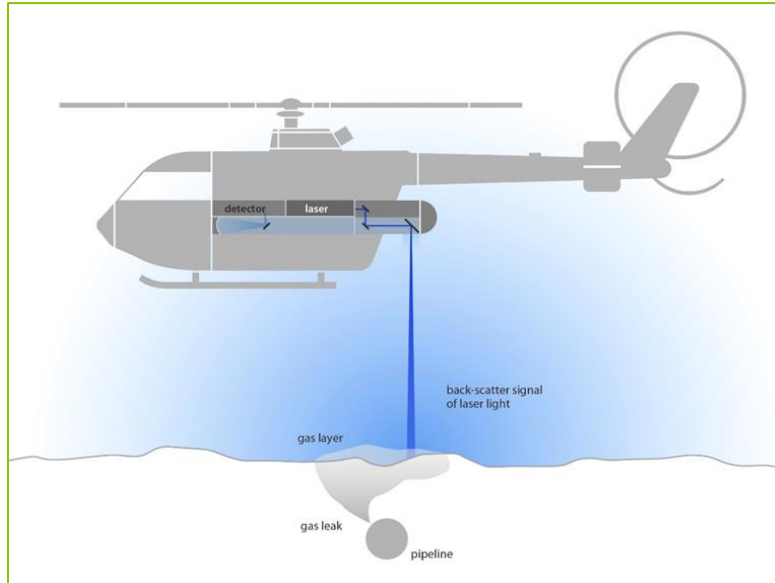
## Gaskameras zur Methanerkennung



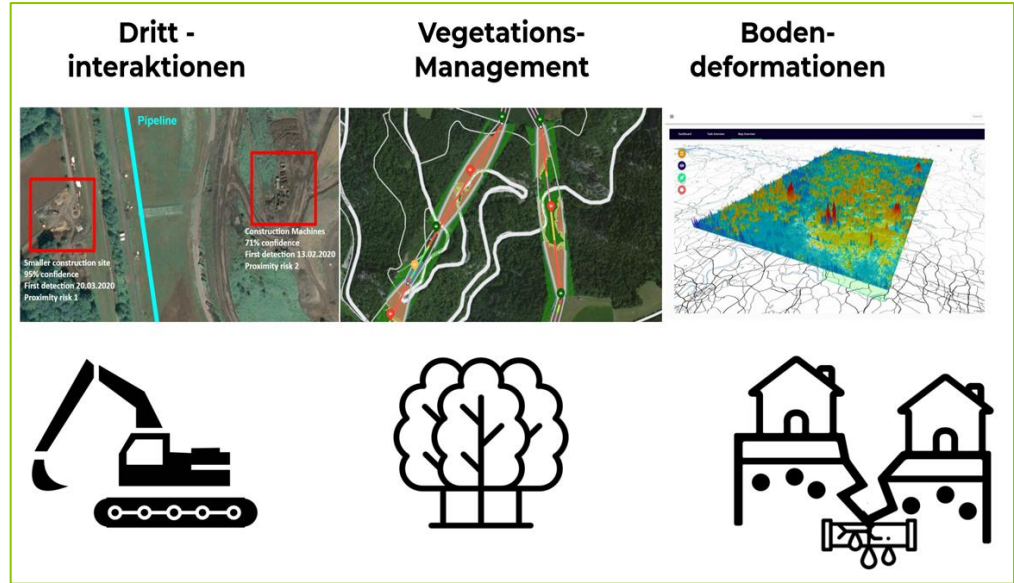
## PipeMon® zur Baggerdetektion



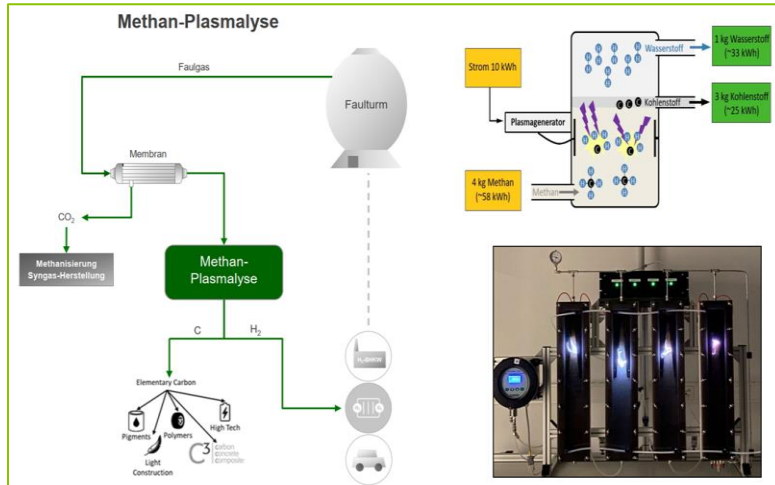
## CHARM® zur Methanmessung



## Live-eo zum Leitungsmonitoring



## Methan-Plasmalyse



Quelle/Verfahren: Graforce 10/2020

## 100%-H<sub>2</sub>-Lösungen im Wärmemarkt

### Wasserstoffbetriebene Heizungs-Kessel

- Remeha HYDRA: Seit 2019 im Feldtest, komplett CO<sub>2</sub>-neutral
- Viessmann 100 % Hydrogen ready: Arbeitet zunächst auf Erdgasbasis und kann relativ einfach umgerüstet werden, Serienstart: 2024



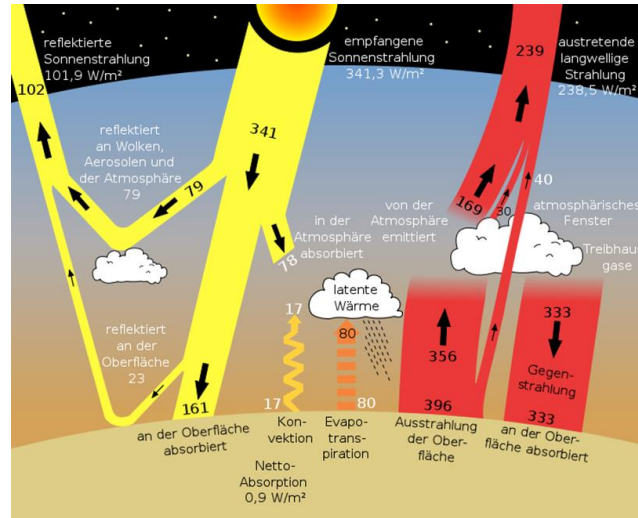
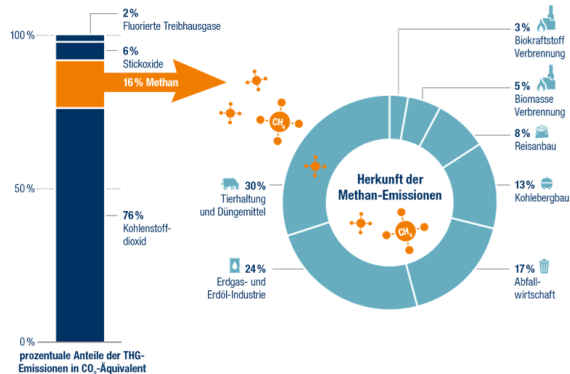
# Teil 11b – Methanemissionen

## Klimaschutz und Resilienz

- Methan ist nach  $\text{CO}_2$  einer der größten Treibhausgas-Kontributoren
- Um seine Wirkung zu messen, findet eine Umrechnung in sog.  $\text{CO}_2$ -Äquivalente statt
- Auf globaler Ebene ist die Erdöl-/Erdgaswirtschaft nach der Tierhaltung und Düngeproduktion mit ca. 24% der zweitgrößte Methanemittent

- Anthropogene Aktivitäten leisten einen Beitrag zur globalen Erwärmung, indem durch Treibhausgasemissionen der Anteil der Gegenstrahlung/ Rückstrahlung erhöht wird. Dies bewirkt eine allmähliche Erwärmung der Erdatmosphäre
- Im Pariser Klimaabkommen wurde eine Begrenzung dieses Effektes auf  $+1,5^\circ$  vereinbart
- Daraus lässt sich pro Land ein verbleibendes Carbon Budget ableiten, das für Deutschland bei ca. 10 Mrd. t  $\text{CO}_2$  liegt

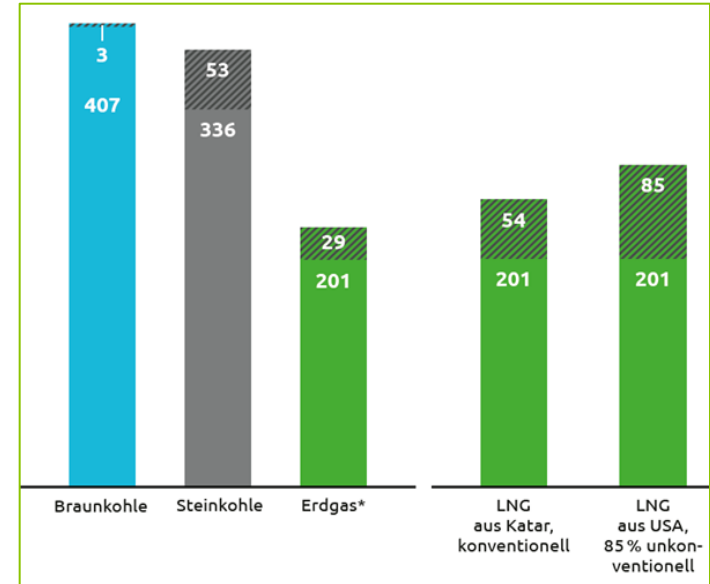
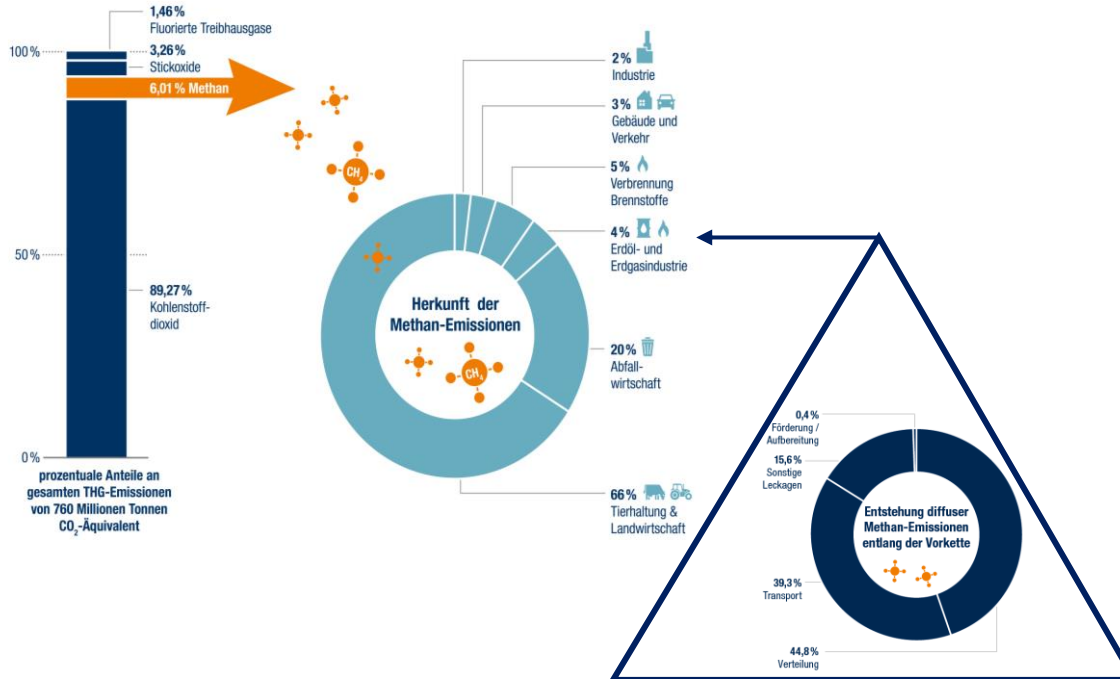
Anteil von Methan an globalen, anthropogenen THG-Emissionen (2012) und Herkunft der Methan-Emissionen



Quelle: Trenberth, Fasullo and Kiehl (2009): *Earth's global energy budget*. In: Bulletin of the American Meteorological Society, preprint Kiehl and Trenberth 2009, based on Kiehl and Trenberth 1997

- In D sind 4% des methanbedingten Anteils von 6% am Anteil der Klimagase auf die Energiewirtschaft zurückzuführen, d.h. insgesamt nur 0,24%
- Dies schließt die komplette Vorkette mit ein

In absoluten Zahlen: Die gesamten Erdgasemissionen in der Lieferkette betragen 18 g<sub>CO<sub>2</sub>äq</sub> für die während der Produktion und des Transports benötigte Energie und 11 g<sub>CO<sub>2</sub>äq</sub> Methanemissionen entlang der Transportkette, einschließlich der Herkunft und des gesamten Lebenszyklus des Gases (DBI 2016).



- D konnte in den zurückliegenden Jahren seine diffusen Methanemissionen der Erdgasinfrastruktur deutlich senken ↓
- Weiteres Potenzial liegt in innovativen Detektionsverfahren und der gezielten Methanvermeidung →

## Leak Detection And Repair (LDAR)

- Maßnahmen sind Teil des DVGW-Regelwerks
- Einführung neuer Methoden zur Emissionsreduzierung



## Weiterbildung von technischem Personal

- Durch BALSibau konnten etwa Leitungsschäden im Rahmen von Tiefbauarbeiten deutlich reduziert werden



## Investitionen in die Gasinfrastruktur

- Milliarden schwere Investitionen in die Gasinfrastruktur
- Überarbeitung von Instandhaltungsregeln im Regelwerk

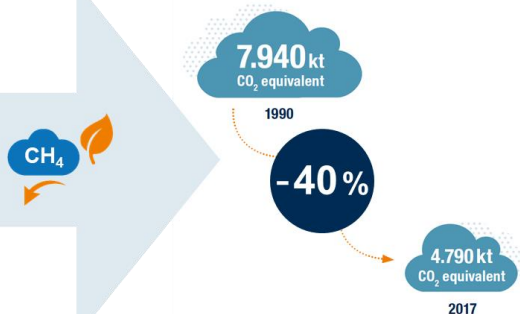


## Austausch von Graugussleitungen

- Substituiert durch moderne Leitungsmaterialien wie PE
- Signifikanter Rückgang von Unfällen / Methanemissionen



## Diffuse Methanemissionen\* der deutschen Erdgasinfrastruktur



Quelle: UNFCCC, Greenhouse Gas Inventory Data, Fugitive methane emissions from natural gas.

\* Methanemissionen die durch Produktion, Aufbereitung, Transport, Speicherung und Verteilung in die Atmosphäre emittiert wurden



**CH<sub>4</sub> Airborne Remote Monitoring (CHARM):**  
Detektion von Methanschlupf mittels laser-basiertem Screening von Leitungen aus der Luft



**Teppichsonden und Sniffer:**  
Erfassung von Leckagestellen durch bewährte Methoden, die bereits Teil des DVGW-Regelwerks sind.



**CH<sub>4</sub> AR-Brille:**  
In der Entwicklung: Detektion von Methanschlupf durch die Augmented-Reality-Technologie

## Detektion



**Mobile Verdichter:**  
Umpumpen von Gas in andere Leitungssysteme während Reparaturarbeiten



**Mobile Fackeln:**  
Gezieltes Abfackeln von Gas während Ausblasevorgängen



**Vakuum-Pumpen:**  
Vermeidung von Spülemissionen bei der Inbetriebnahme von Leitungen

## Reduktion

## Grundprinzipien

Auch im zukünftigen Energiesystem müssen die drei Aspekte des energiewirtschaftlichen Dreiecks ausgewogen sein:

- Versorgungssicherheit
- Wirtschaftlichkeit
- Umweltverträglichkeit

Diese können aber durch energiepolitische Vorgaben (z.B. Subventionen) verzerrt werden. So hat Deutschland in den letzten 30 Jahren eine Förderkulisse für EE gesehen, die die Privathaushalte belastet und weitere Probleme generiert hat (Volatilität der Erzeugung, steigende Strombezugskosten, Netzausbaubedarf).

Dabei wurde mit geschätzten 500.000.000.000 € etwa 40% des Stroms auf EE umgestellt. Doch liegt der Gesamtanteil an EE bei ca. 17%. Die installierte Leistung der ca. 30.000 Windanlagen betrug in D Ende 2020 ca. 55 GW, mit einer Einspeisung von 132 TWh (Bh = 2400 h = 0,27 JBh).

## Zieldreieck der Energiewirtschaft



## Weiter so?

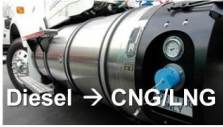
Ein „Weiter so!“ kann es daher nicht geben.

Selbst beim Klimaschutz kann die Maßgabe nicht der eingleisige Ausbau des erneuerbaren Stroms sein. Stattdessen geht es jetzt um die Senkung des CO<sub>2</sub>-Äquivalents aller Energieträger – insbesondere der der Moleküle.

Der DVGW hat deshalb einen Energie-Wende-Fahrplan, der seinen Fokus auf die Moleküle legt und die Möglichkeiten von Gasen in den Mittelpunkt stellt, entwickelt:

1. Andere Fossile sollen im ersten Schritt durch Erdgas substituiert werden
2. Erdgas ist im zweiten Schritt selbst zunehmend erneuerbar herzustellen (Biogas, Wasserstoff) oder durch neue klimaneutrale Energiegase (pyrolytischen Wasserstoff, Synthesegase) zu ersetzen
3. Um das Effizienzoptimum zu erreichen, sind Strom- und Gas-Systeme gemeinsam zu planen und zu verzahnen (Sektor-Kopplung / Sektor-Integration)

## Energie-Wende-Fahrplan des DVGW: Der *Energie-Impuls*

|                | Power Sector                                                                                       | Heat Sector                                                                                                  | Transport Sector                                                                                        |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fuel Switch    | <br>Coal → Gas  | <br>Oil → Gas             | <br>Diesel → CNG/LNG |
| Content Switch | <br>Natural Gas | <br>→ Biogas / Syngas     | <br>Hydrogen         |
| Modal Switch   | <br>Power2Gas   | <br>CHP F-Cell Efficiency | <br>e-fuels          |

## Potenzial und Grenzen des *Energie-Impulses*

- Der Energie-Impuls zeigt einen Dekarbonisierungspfad bis ca. 50 Mio. t/a Restemissionen auf
- Vergleichbare Studien verifizieren, dass die Annahme einer Zwei-Energieträgerwelt, die dem Energie-Impuls zu Grunde liegt, also eine Kombination aus EE-Strom und (teil-)dekarbonisierten Gasen, zu einem volkswirtschaftlichen Optimum führt. Anders ausgedrückt: Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten sind am niedrigsten.
- Dennoch ist zum Erreichen einer vollständigen „Klimaneutralität“ noch mal nachzulegen. Es bedarf also weiterer Anstrengungen.
- Hier kommt der bislang nicht mit berücksichtigte „blaue“ und „türkise“ Wasserstoff ins Spiel.
- Daneben sind die CO<sub>2</sub>-Senken, die die Gaswirtschaft darbieten kann (Pyrolyse von Biogas), mit zu berücksichtigen und die Vorteile von carbon cycling weiter in die Planung zu integrieren.



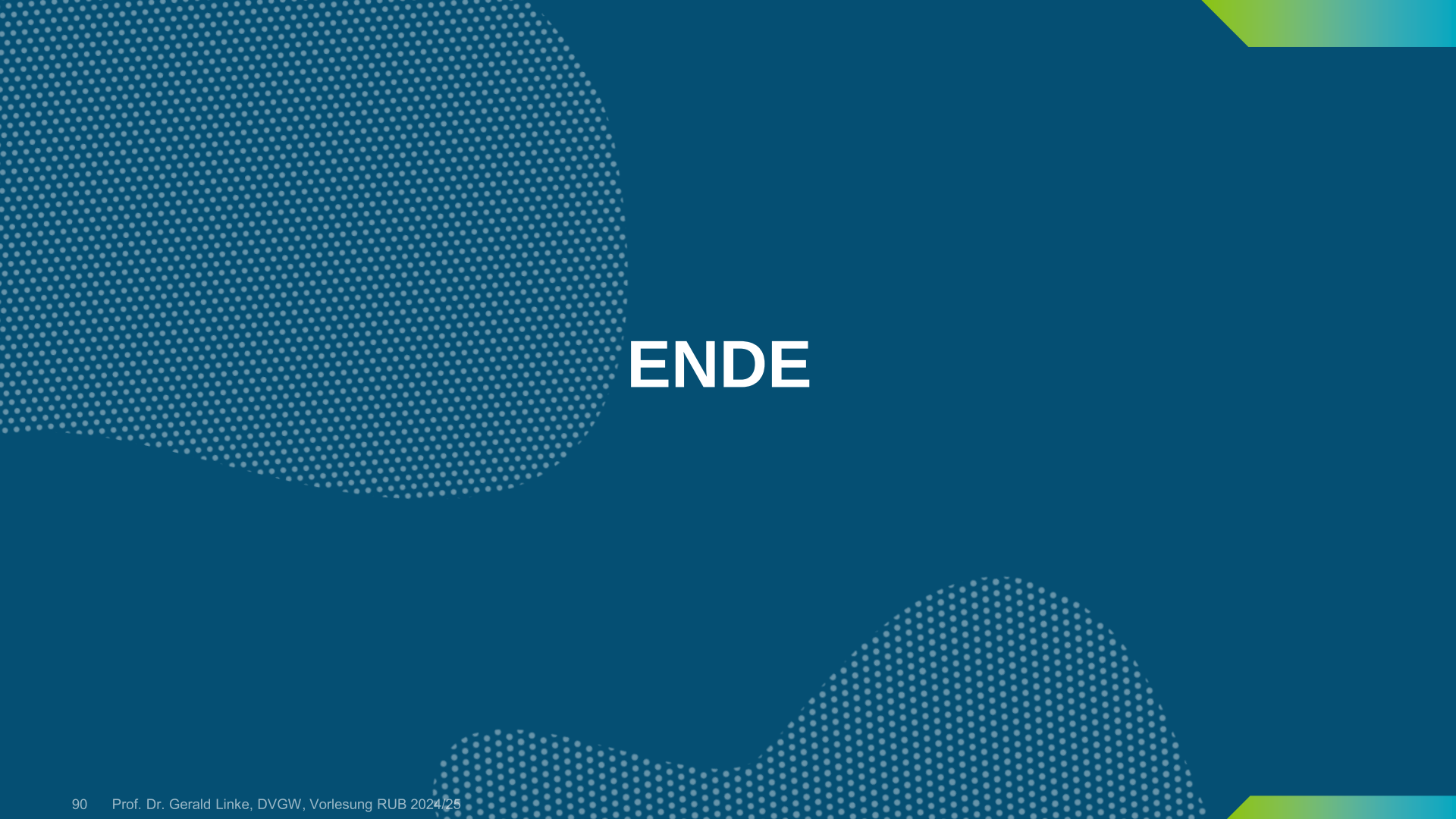
## Der nächste Schritt: Aufbau einer Erdgas-Wasserstoff-Wirtschaft



Prof. Dr. Gerald Linke  
CEO DVGW



+49 228 91 88-700  
linke@dvgw.de



# ENDE