

Grüne Moleküle – ein Baustein für Klimaschutz und Versorgungssicherheit? Möglich, wenn wir wollten ..

Dr. Christoph Gatzen

05. April 2022

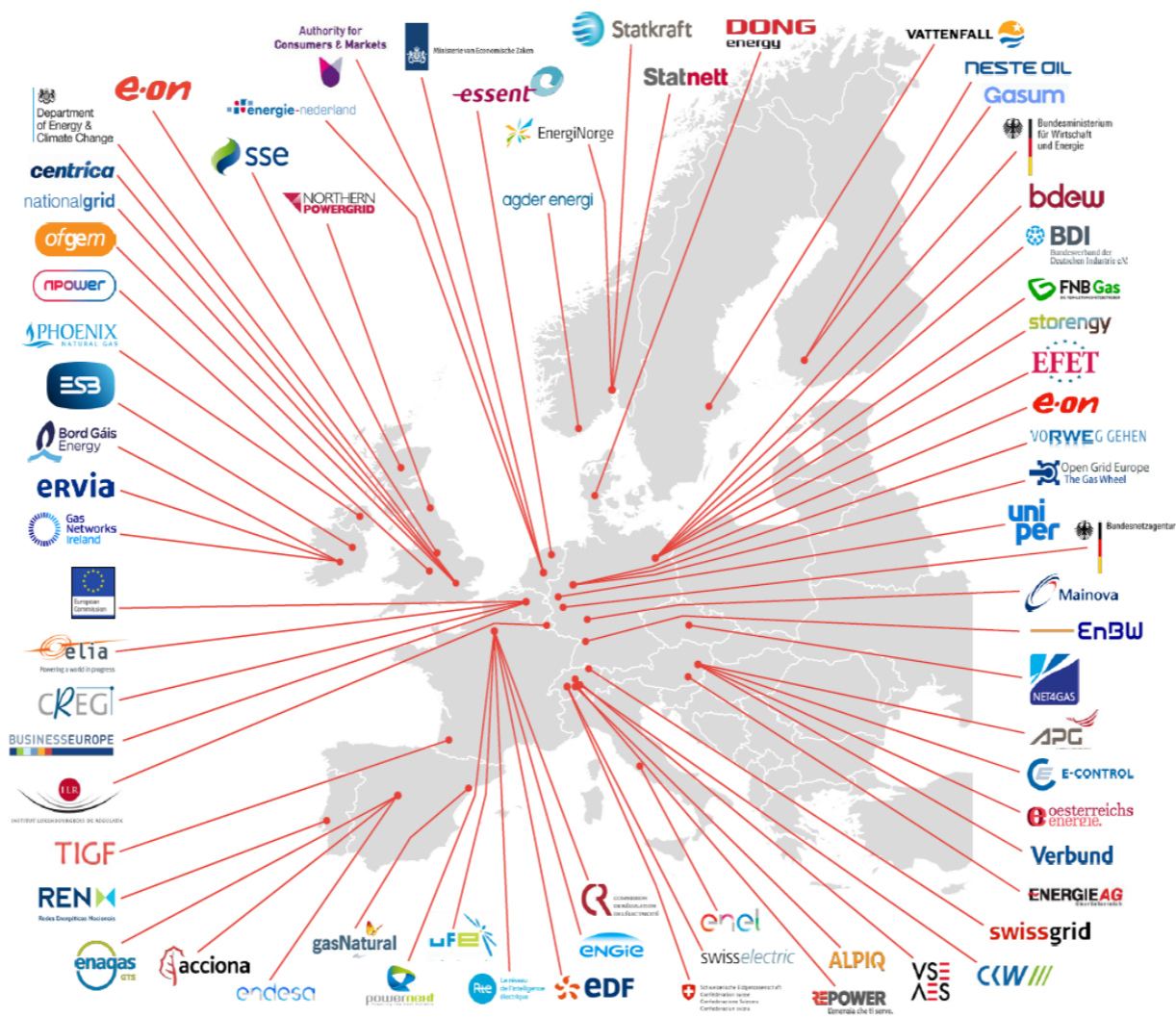


Frontier ist eine sektorübergreifende ökonomische Beratung...



... und Energie ist eine unserer wichtigsten Sektorexpertisen.

Frontier hat im Energiesektor für viele führende Akteure gearbeitet...

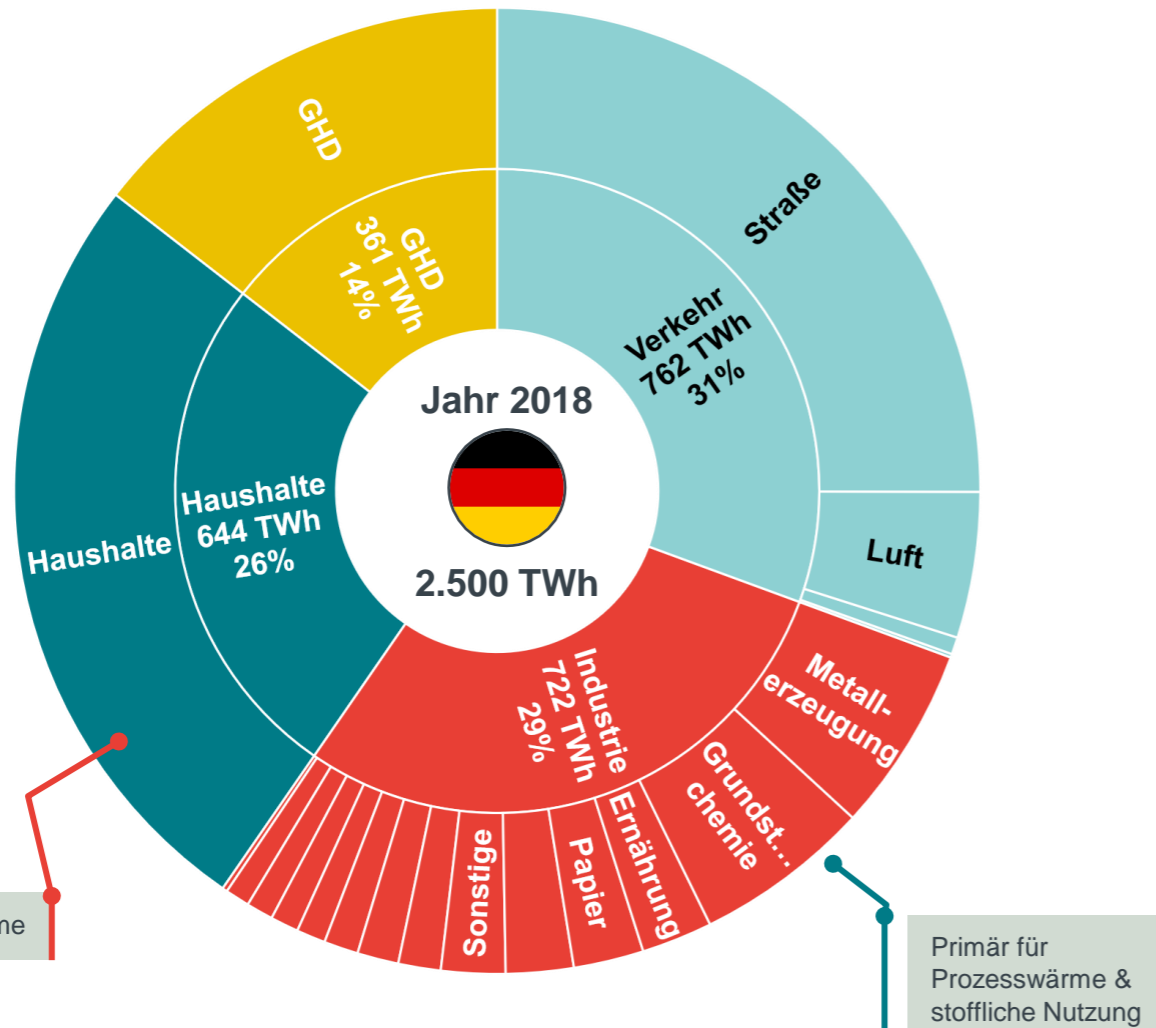


...aus dem privaten sowie öffentlichen Bereich.

Die Herausforderung:

Die deutsche Klimaneutralität soll in einem Zeitraum von **23 Jahren** erreicht werden.

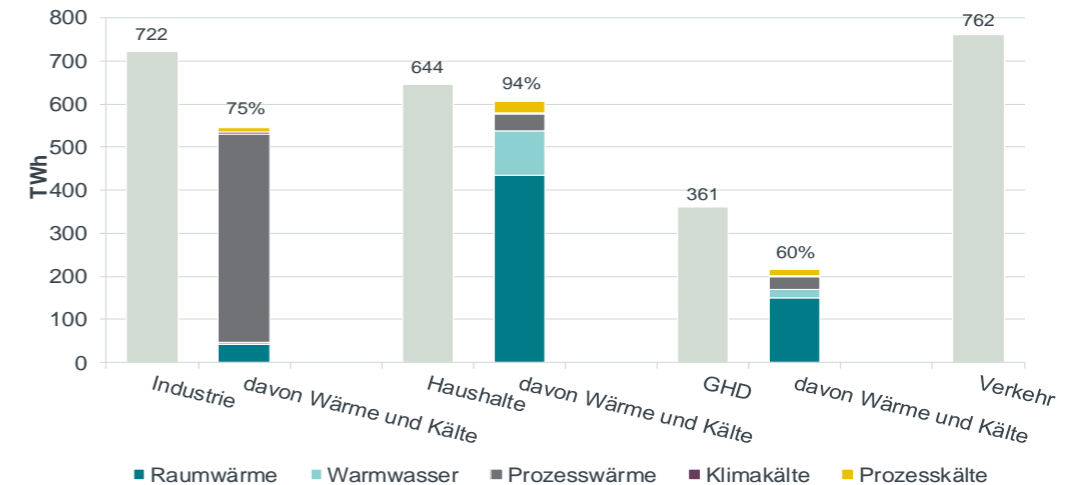
Endenergiebedarf nach Sektor*



Der sogenannte "Wärmemarkt" umfasst je nach Definition 700 – 1400 TWh/a

1. Enge Definition: **Raumwärme, Warmwasser und Klimakälte** von **Haushalten** sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (**GHD**) – **700 TWh** Endenergieverbrauch
2. Mittlere Definition: 1. Definition **zzgl. Raumwärme, Warmwasser und Klimakälte der Industrie** – **760 TWh**
3. Weite Definition: 2. Definition **zzgl. Prozesswärme- und Prozesskältebedarf** – **1400 TWh**

Anteil Wärmebedarf am Endenergieverbrauch in Deutschland in 2018

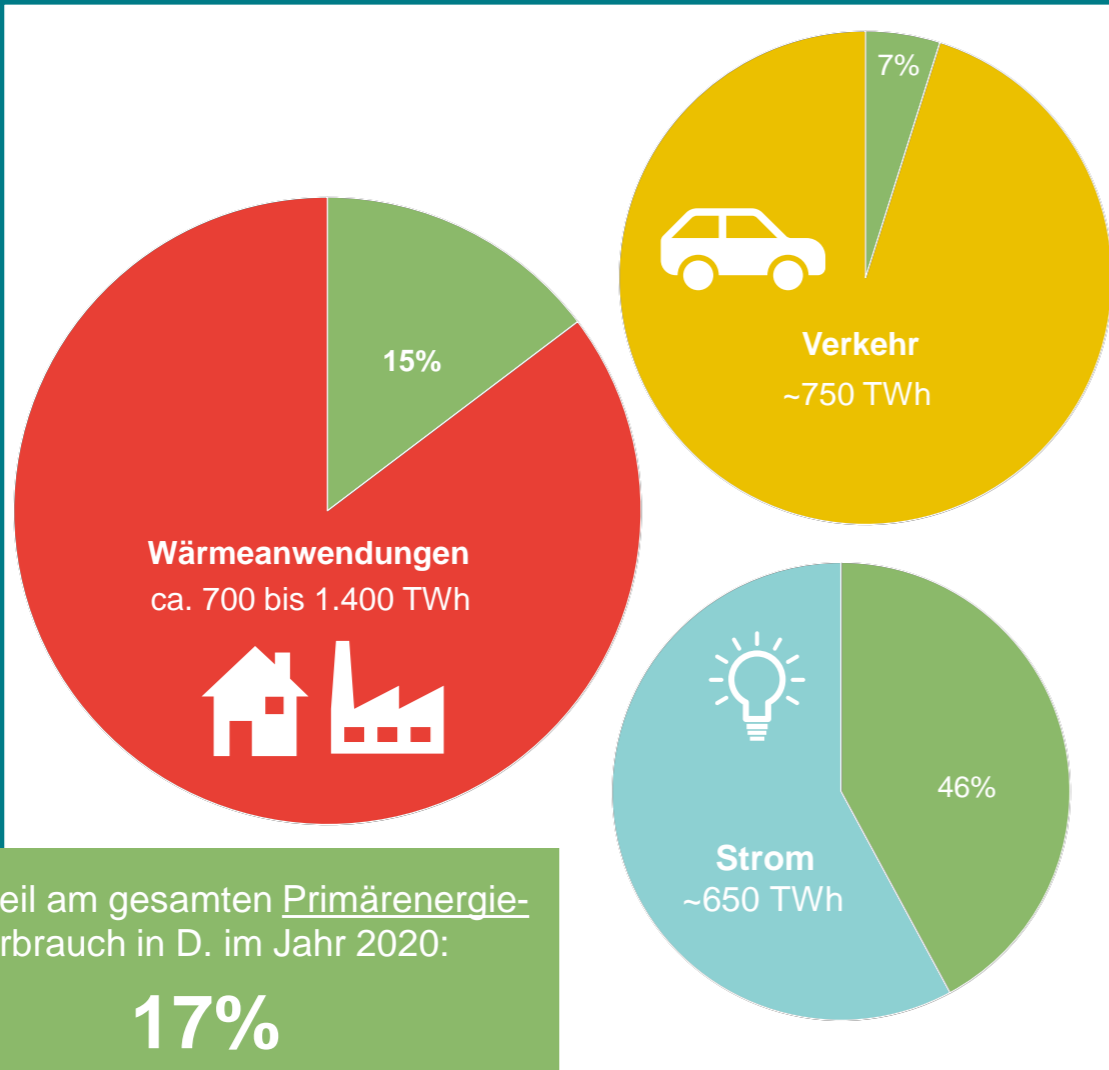


Quelle: Frontier Economics, basierend auf Energiebilanz 2018, AG Energiebilanzen (2020)

Quelle: Frontier Economics basierend auf BMWi (2020b)

Die Ziele sind ambitioniert und das Erreichte (z.B. EE Anteil am Gesamtenergiemarkt - nicht nur Strom) wird häufig überschätzt ..

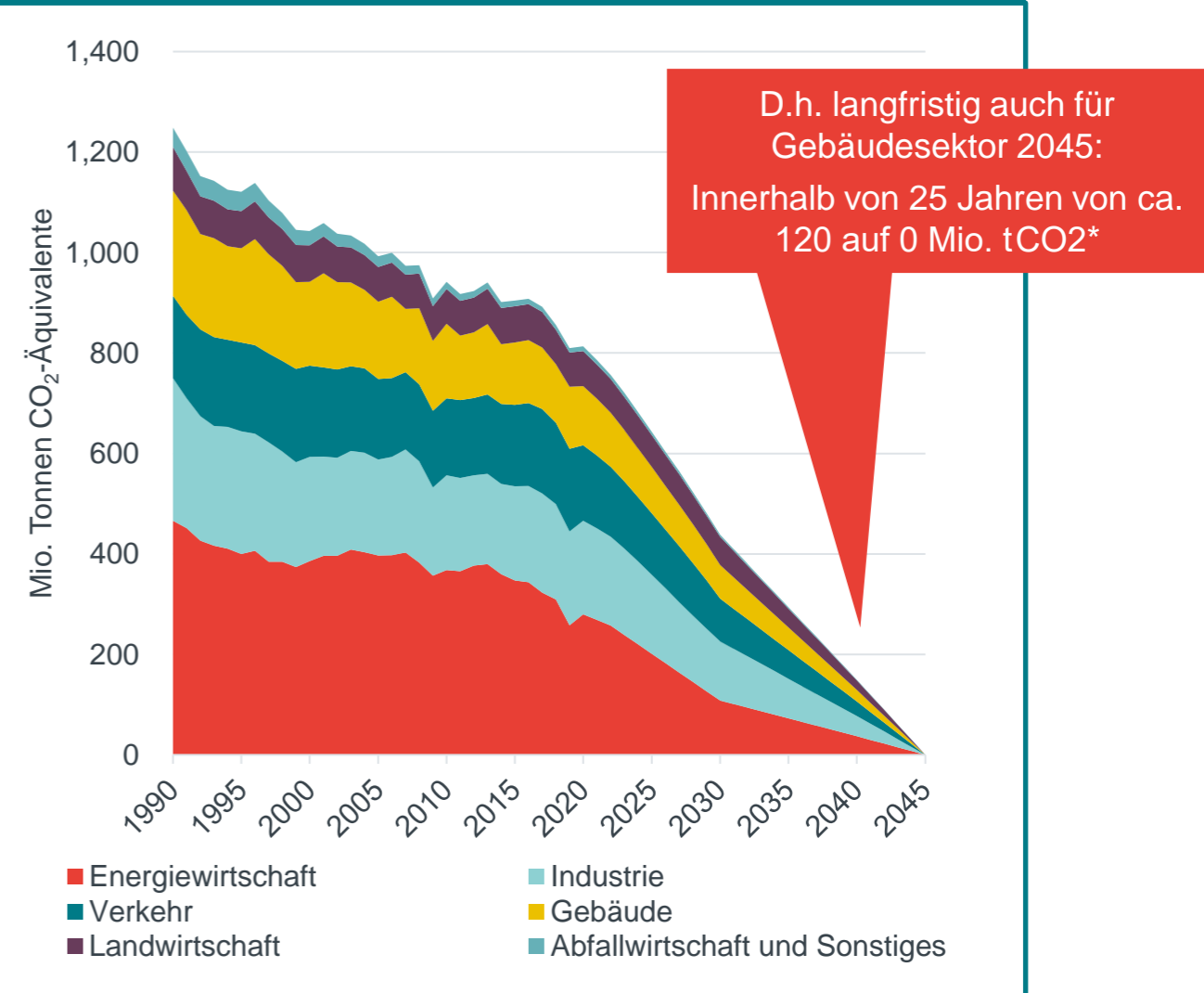
Wärmeanwendungen stellen damit insgesamt fast die Hälfte des Endenergiebedarfs in Deutschland (2020) ...



EE-Anteil am gesamten Primärenergie-verbrauch in D. im Jahr 2020:

17%

Emissionen für Gebäuwärme sollen in nächsten 10 Jahren so stark sinken, wie in den letzten 30 Jahren!

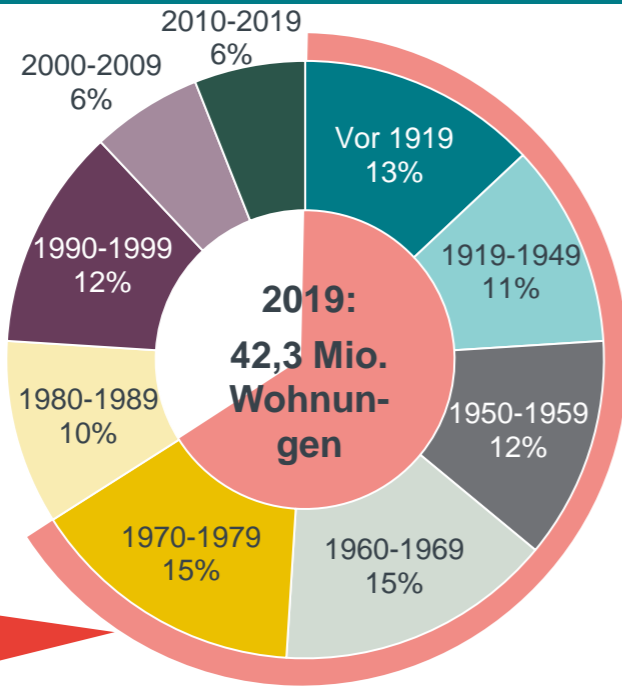


Auch im Gebäudebereich gibt es sehr heterogene Anwendungsfälle und viele verschiedene, praktische Herausforderungen zu bewältigen

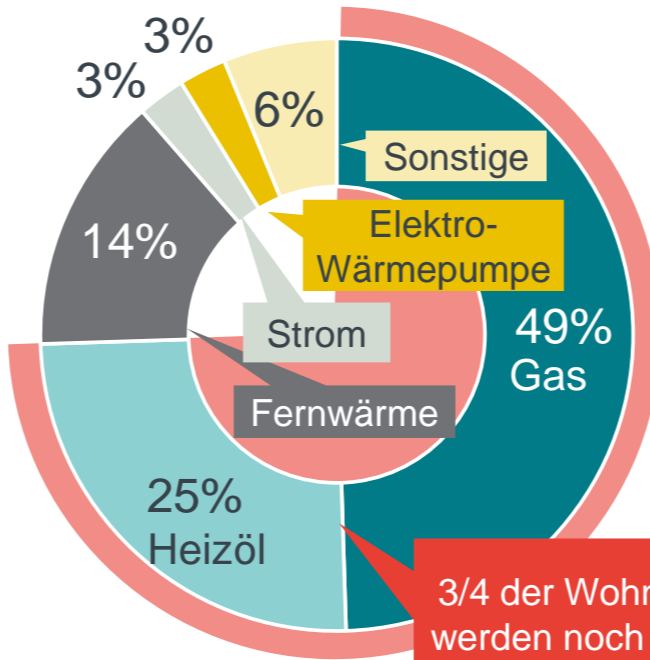


Heute ca. 19 Mio. Heizungen, davon gut 1 Mio. Wärmepumpen

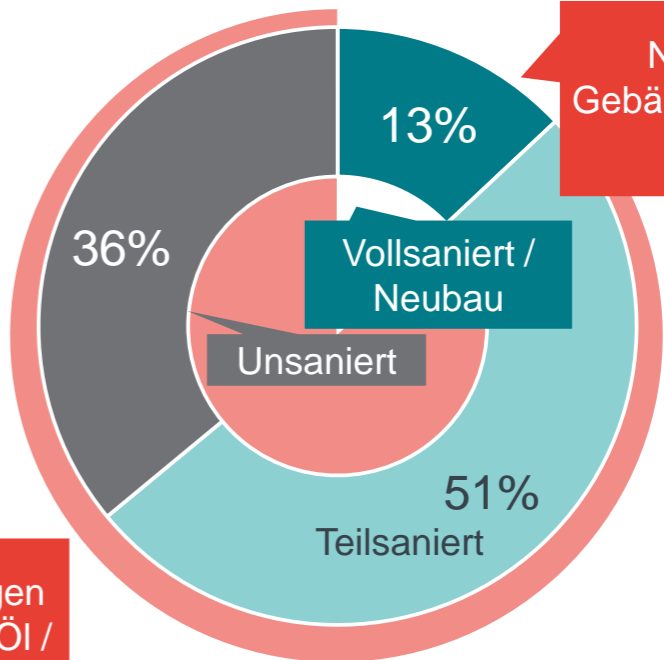
Aktuelle Sanierungsrate: ~1% p.a.



2/3 der Wohnungen vor 1980 gebaut (1. Wärmeschutzverordnung von 1977)



3/4 der Wohnungen werden noch mit Öl / Gas beheizt



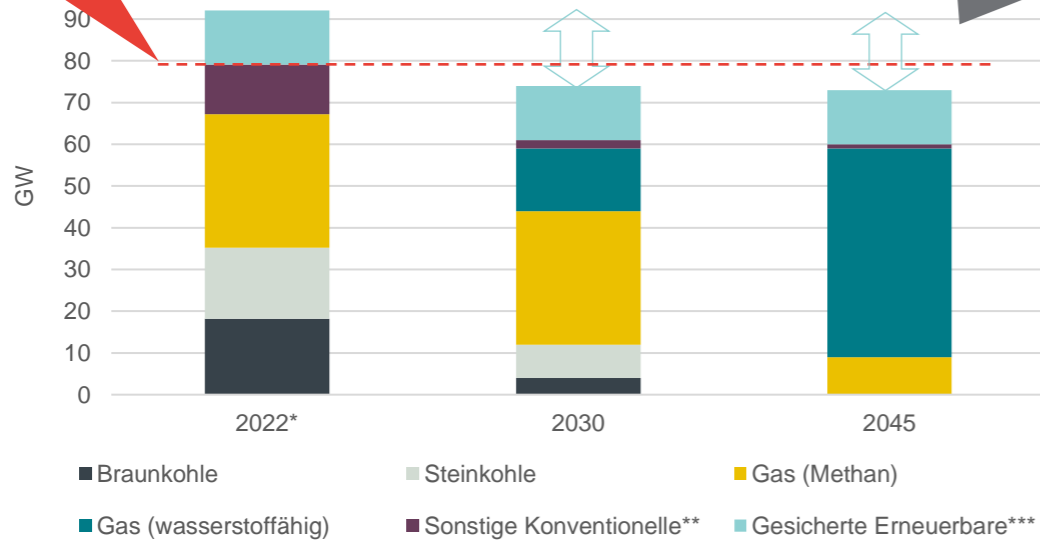
Nur jedes 8. Gebäude vollsaniert / Neubau

Herausforderung: Bewahrung der **Versorgungssicherheit** bei Kernenergie- und Kohleausstieg und gleichzeitiger Elektrifizierung von Industrie, Mobilität und Wärmemarkt...

Stromspitzenlast 2018 (Werktag im Winter)

Potenzielle Entwicklung der gesicherten Kraftwerksleistung in Deutschland

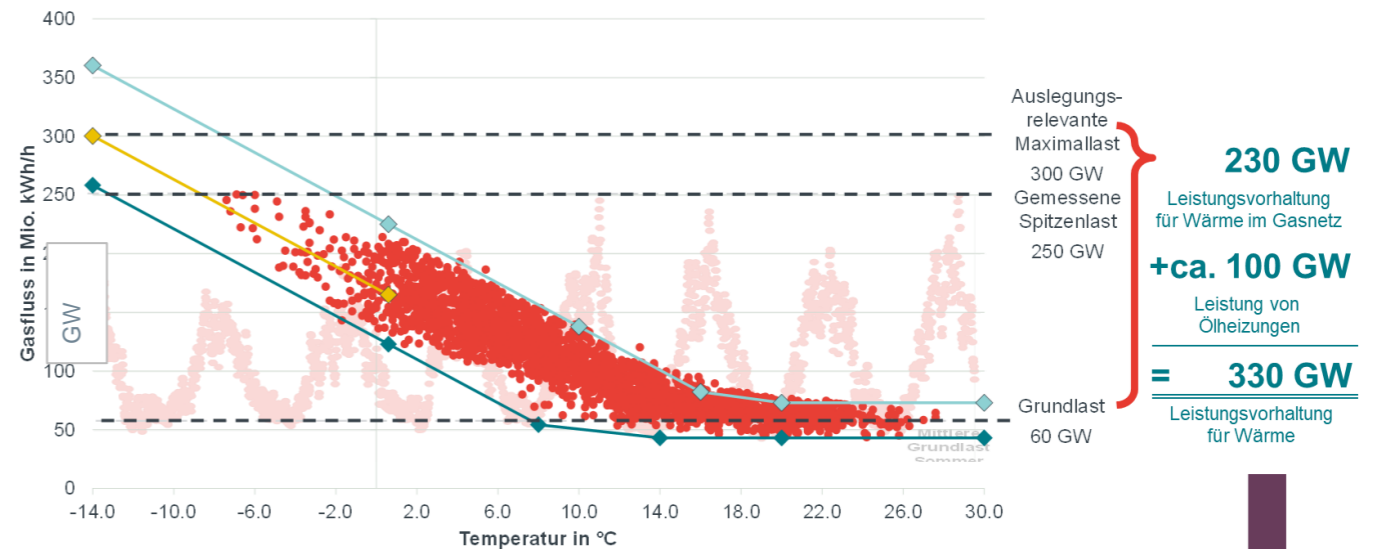
Differenz zw. gesicherte Leistung und Nachfragespitze müsste durch Importe, Industrieflex., Wind & Speicher gedeckt werden.



* nach ÜNBs (2020), ** umfasst Kernenergie, *** Biomasse und Laufwasser.

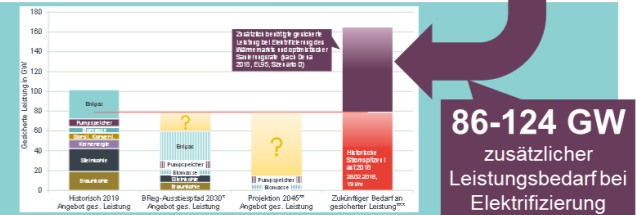
- Ausstieg aus der Kernenergie und der Kohleverstromung:
 - Bis 2030 gehen gesicherte Kapazitäten i. H.v. 36 GW vom Stromnetz (ca. 1/3 der gesicherten Leistung)
 - Bis 2045: Vollständiger Ausstieg Deutschlands aus allen fossilen und nuklearen Erzeugungstechnologien

Thermische Leistungsspitze im **Wärmemarkt** (Leistungsvorhaltung aus Gas und Ölheizungen) liegt heute bei **mehr als 300 GW thermisch!**



Wäre vollständige Elektrifizierung mit Wärmepumpen eine Option?

Aktuelle Spitzenlast im Stromnetz: **80GW**
Zukünftige gesicherte Leistung?

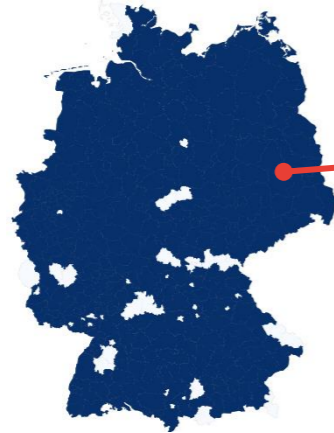


86-124 GW zusätzlicher Leistungsbedarf bei Elektrifizierung

Quelle: dena (2021) dena-Leitstudie, Aufbruch Klimaneutralität, ÜNBs (2020) Leistungsbilanz 2018-2022.

Große Herausforderungen auch bei den Stromnetzen: Die z. T. bereits bestehende Infrastruktur für grüne Gase ist elementar, um das Stromsystem nicht zu überfordern

Gasinfrastruktur ist vorhanden und kann für Wasserstoff umgerüstet werden ...

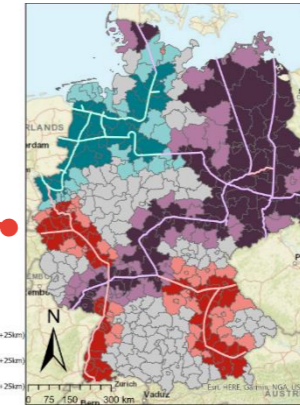


Per **Gasnetz** versorgte Landkreise **heute**

359 von 401 Städten oder Kreisen (LK) haben heute einen bereits existierenden Gasnetzanschluss

Per **Hydrogen Backbone** versorgbare Landkreise

2030: 59 LK
2035: 187 LK
2040: 283 LK



Strominfrastruktur muss erheblich ausgebaut werden ...

Netzausbaukosten NEP 2035 von **75 – 80 Mrd. €** für D.

... Kapazitätserweiterung von **+16-18 GW** (2 GW pro HGÜ), die ...

↳ ... ca. **1,6 bis 6 Mio. Wärmepumpen** (à 9 bzw. 3 kW@100%) entspricht¹, **ODER**

↳ ... ca. **1.5 Mio. Wallboxen** à 11 kW entspricht@100% Gleichzeitigkeit¹

Zum Vergleich ...

Investitionskosten für gesamtes **West-Europ. H₂-Backbone 2040** ca. 27 – 64 Mrd. €

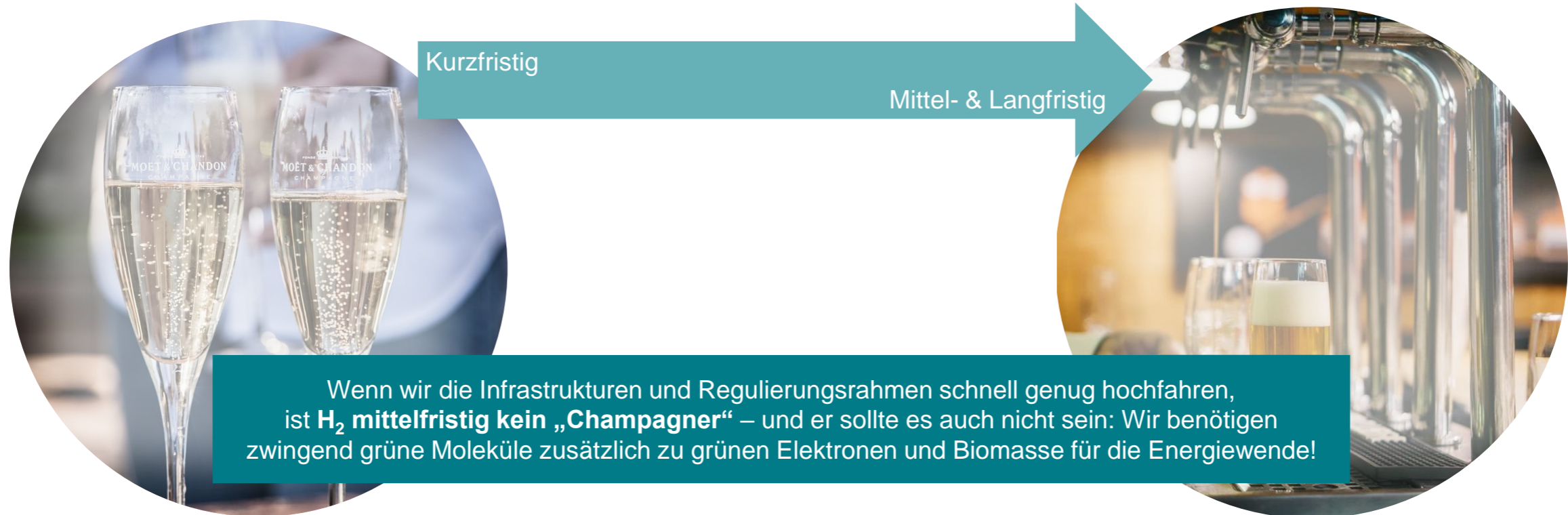
... entspricht ca. **1,5 Wasserstoff-Pipelines** (jeweils ca. 7 – 13 GW pro Pipeline)

Mehr als 11 Mio. Haushalte alleine in BY und BW

Masterplan Ladeinfrastruktur: **Ca. 7 – 10 Mio. Ladepunkte** in DE, 2 – 3 Mio. in BY und BW²

... darüber hinaus müssen **Versorgungssicherheit** und **Umsetzbarkeit** (z. B. Netzausbau) berücksichtigt werden

Grüne Moleküle werden als Baustein der Energiewende dringend benötigt – wie schnell kann ein Markthochlauf gelingen?



Quelle: <https://unsplash.com/photos/1w8GFi871tg>

Quelle: https://unsplash.com/photos/_fLgxjACz5k

Aus Systemsicht ist es in vielen Sektoren optimal, eine Mischstrategie auszubauen, anstatt eine vollständige Elektrifizierung anzustreben. Ein Schlüsselsektor ist dabei der **Wärmesektor**.

Mit welchen Grüngasmengen können wir für Deutschland mittel- bis langfristig rechnen?

In unserer Studie betrachten wir **verschiedene Szenarien** des potenziellen **Grüngasangebotes für Deutschland**, um robuste Korridore definieren zu können

Hohe Unsicherheit
erfordert
Szenarienansatz

- Angebot ist neben den technischen Randbedingungen und Potenzialen auch stark vom politischen Willen/Akzeptanz abhängig - auch aktuelle und zukünftige regulatorische Rahmenbedingungen sind treibend
- Ebenso braucht es eine zuverlässige Nachfrage nach Grüngasen in Deutschland (hier kann z.B. der Wärmemarkt eine Art *Market Maker* Funktion einnehmen)

3 Szenarien
(„Cases“) definiert

- Wir adressieren die Unsicherheit bezüglich des Grüngasangebotes durch das Betrachten von **drei Szenarien je Grüngasart** – pessimistisch, base case und optimistisch.
- Diese konsolidieren wir in eine gesamte Grüngas Merit Order für DE – bestehend aus grünem H2, blauem H2, türkischem H2 und Biomethan – jeweils aus einheimischer Produktion und Importen

Robustheit der
Ergebnisse

- Wir stellen die Quellen der Grüngase und die zugrunde liegenden Annahmen detailliert dar – so kann man die Robustheit der Ergebnisse erkennen (wenn z. B. eine Quelle aus politischen oder sonstigen Gründen wegfallen sollte)

Aktuell noch vorhandene regulatorische Lücken (auch für mögliche Verwender) werden ausgeblendet – ebenso Fragen der innerdeutschen Verteilung oder Investitionen in Endanwendungen. Frage ist: **Welches Angebot wäre möglich, wenn wir wollten und auch den passenden Rahmen schaffen?**

Folgende Grüngase haben wir uns grundsätzlich angeschaut bzw. sind in den folgenden Ausführungen enthalten (szenarioabhängig und abhängig vom Stichjahr)

Grüner Wasserstoff	<ul style="list-style-type: none">▪ Wasserstoff aus Elektrolyse zusätzlicher EE-Anlagen im In- und Ausland
Blauer Wasserstoff	<ul style="list-style-type: none">▪ Wasserstoff aus Methan-Dampfreformierung (“SMR”) mit Carbon Capture (CCS oder CCU) im In- und Ausland
Türkiser Wasserstoff	<ul style="list-style-type: none">▪ Wasserstoff aus Pyrolyse im In- und Ausland
Biomethan	<ul style="list-style-type: none">▪ Umrüstung und Neubau von Biomethananlagen im Inland▪ SNG Route (“Holzvergasung”) im Inland▪ Importe von Biomethan
Nicht enthalten sind bisher u.a.	<ul style="list-style-type: none">▪ Wasserstofflieferungen per Schiff aus weit entfernten Ländern▪ Wasserstoff aus Kernenergie▪ Wasserstoff aus Floating Offshore Windanlagen (weit vor der Küste)

Für den Hochlauf von grünem Wasserstoff treffen wir szenariospezifische Annahmen zu Importländern, der jeweiligen EE-Potenzialnutzung, sowie den Exportquoten nach DE

Grüner H2	2030			2045		
	Pessimistisch	Base case	Optimistisch	Pessimistisch	Base case	Optimistisch
Geplante Projekte DE	5 GW Elektrolyse	10 GW Elektrolyse	15 GW Elektrolyse	25 GW Elektrolyse***	40 GW Elektrolyse***	60 GW Elektrolyse***
Nachbarländer	3% RES Potenzial für H2, davon 15% nach DE	3% RES Potenzial für H2, davon 15% nach DE	3% RES Potenzial für H2, davon 15% nach DE	9% RES-E Potenzial für H2, davon 15% nach DE	9% RES-E Potenzial für H2, davon 15% nach DE	9% RES-E Potenzial für H2, davon 15% nach DE
Andere europ. Länder		3% RES Potenzial für H2, davon 8% nach DE	3% RES Potenzial für H2, davon 8% nach DE		9% RES-E Potenzial für H2, davon 10% nach DE	9% RES-E Potenzial für H2, davon 10% nach DE
MENA			3% RES Potenzial für H2, davon 8% nach DE			9% RES-E Potenzial für H2, davon 10% nach DE
Länder mit beschleunigtem Ausbau	2 Prozentpunkte RES Potenzial mehr für H2	2 Prozentpunkte RES Potenzial mehr für H2	2 Prozentpunkte RES Potenzial mehr für H2	4 Prozentpunkte RES-E Potenzial mehr für H2	4 Prozentpunkte RES-E Potenzial mehr für H2	4 Prozentpunkte RES-E Potenzial mehr für H2
Länder mit Gasnetzvorteil	5 Prozentpunkte Produktion mehr für DE	5 Prozentpunkte Produktion mehr für DE	5 Prozentpunkte Produktion mehr für DE	5 Prozentpunkte Produktion mehr für DE	5 Prozentpunkte Produktion mehr für DE	5 Prozentpunkte Produktion mehr für DE
	Baseline Kostenannahmen*		Optimistische Kostenannahmen*	Baseline Kostenannahmen*		Optimistische Kostenannahmen*

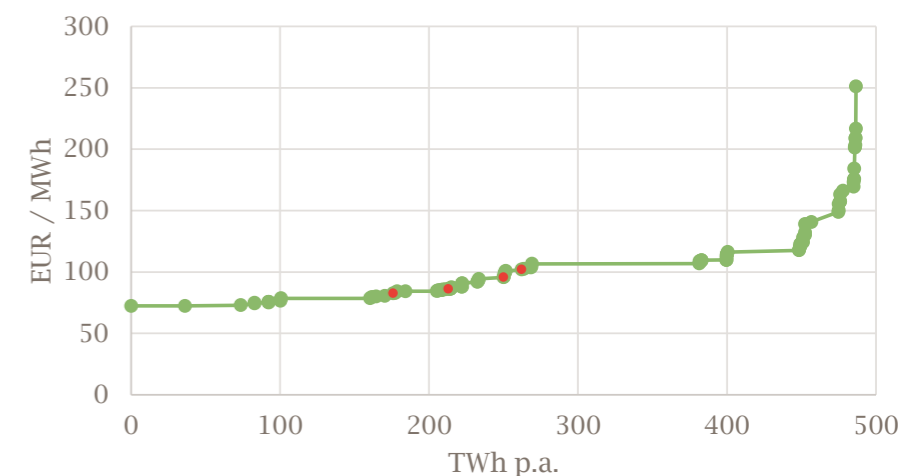
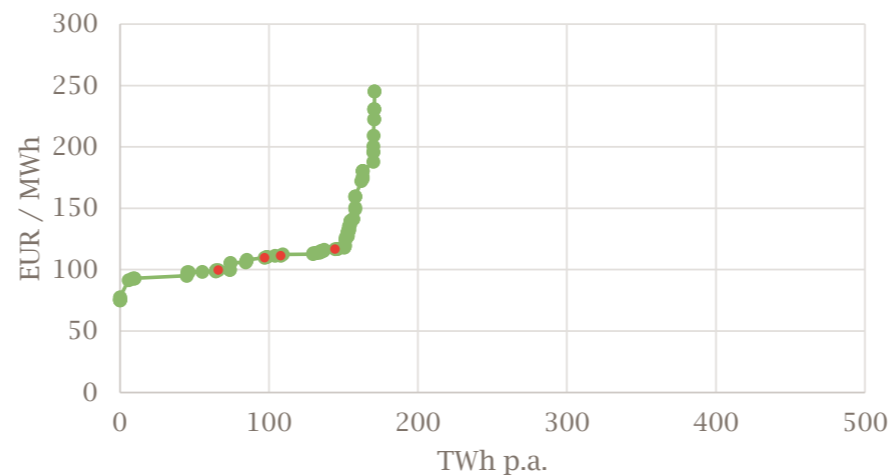
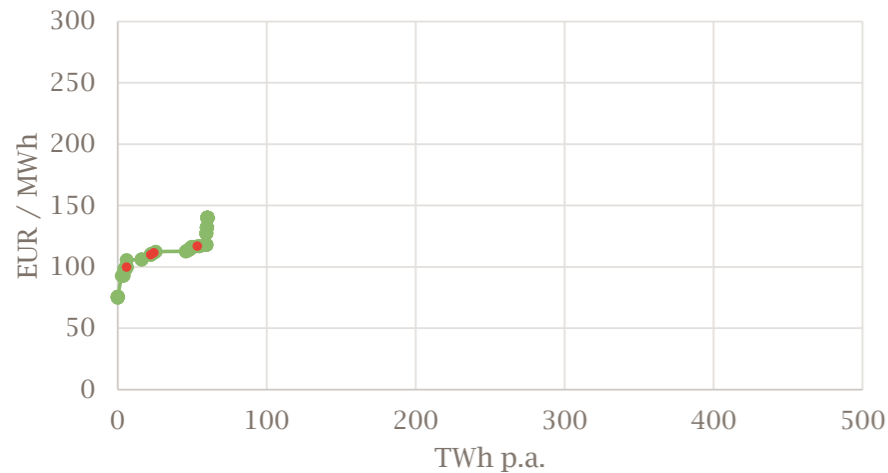
* Kostenannahmen von Brändle et al.

** RES Potenziale berücksichtigen limitierte Flächennutzung.

*** 2045-Elektrolysekapazitäten in DE orientieren sich an Fraunhofer ISE (2019), Agora (2020) und dena (2021)

Der resultierende Korridor für das Angebot von grünem Wasserstoff in der mittleren Frist ist sehr breit und maßgeblich von politischen Bestrebungen abhängig

Indikative Angebotskurve für grünen Wasserstoff 2030 in Deutschland, nach Szenario



— Pessimistisch: Grüner Wasserstoff • Lokale Produktion

— Base case: Grüner Wasserstoff • Lokale Produktion

— Optimistisch: Grüner Wasserstoff • Lokale Produktion

Quelle: DVGW & Frontier Economics (2022)

- **Mittelfristig (2030)** variiert das potenzielle Angebot von grünem Wasserstoff stark nach **politischer Ambition** – selbst das pessimistische Szenario ist kein *business as usual case*, sondern erfordert erhebliche Investitionen und politischen Willen.
- Im *base case* stehen in Deutschland potenziell knapp **170 TWh grüner Wasserstoff** “frei Grenze” zur Verfügung, davon gut **25 TWh aus inländischer Produktion**. Ein Großteil davon kann für **weniger als 150 EUR / MWh** bezogen werden (exkl. Verteilung in Deutschland).
- Im *optimistischen* Szenario stehen **mehr als 250 TWh** grüner Wasserstoff für **weniger als 100 EUR / MWh** zur Verfügung.

Außerdem treffen wir Annahmen für das Angebot von **Biomethan** und **blauem u. türkisen Wasserstoff** – letzteres ist maßgeblich abhängig von polit. Willen bzw. Technologiereife

2030			
Biomethan	Pessimistisch	Base case	Optimistisch
Umrüstung Biogasanlagen	27 TWh*	63 TWh**	63 TWh**
SNG-Route	22 TWh**	22 TWh**	22 TWh**
Zusätzliche Biogasanlagen		17 TWh***	28 TWh***
Importe			60 TWh****

* Matschoss et al. (2020), ** DVGW (2021), *** Europäische Kommission, CE Delft (2017), Differenz 2020-2030 DE, im base case zu 60%, **** Überschlag: 17% EU Produktion (DVGW (2021)) + 20% Ukraine + Belarus (Navigant (2019)).

Blauer / Türkiser H2	Pessimistisch	Base case	Optimistisch
Produktion + Angebot blauer H2		100 TWh*	100 TWh*
Produktion + Angebot türkiser H2		20 TWh**	50 TWh**

*, **, Abschätzung nach Industriegesprächen und Market-Readiness, abhängig von politischem Willen.

Entspricht vier
Großanlagen (à 1 GW
und 5000 Volllaststunden)

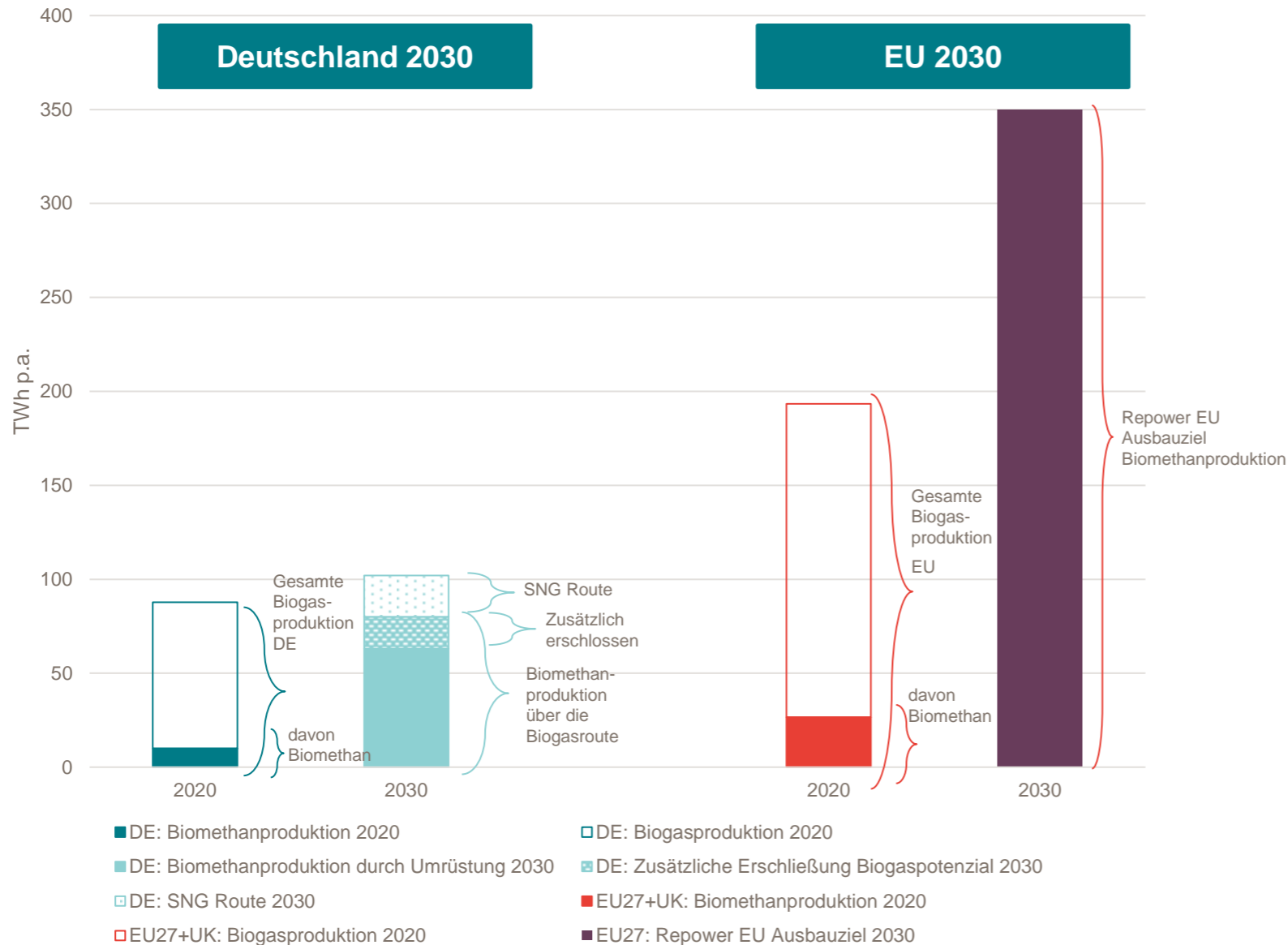
2045			
Biomethan	Pessimistisch	Base case	Optimistisch
Umrüstung Biogasanlagen	27 TWh*	63 TWh**	63 TWh**
SNG-Route	59 TWh**	59 TWh**	59 TWh**
Zusätzliche Biogasanlagen		32 TWh**	53 TWh**
Importe			120 TWh***

* Matschoss et al. (2020), ** DVGW (2021), *** Europäische Kommission, CE Delft (2017), Differenz 2020-2030 DE, im base case zu 60%, **** Überschlag: 17% EU Produktion (DVGW (2021)) + 20% Ukraine + Belarus (Navigant (2019)).

Blauer / Türkiser H2	Pessimistisch	Base case	Optimistisch
Produktion + Angebot blauer H2		150 TWh*	200 TWh*
Produktion + Angebot türkiser H2		50 TWh**	100 TWh**

*, **, Abschätzung nach Industriegesprächen und Market-Readiness, abhängig von politischem Willen.

Die EU Ausbauziele für Biomethan 2030 sind ambitioniert – Deutschland wird dabei eine wichtige Rolle spielen...

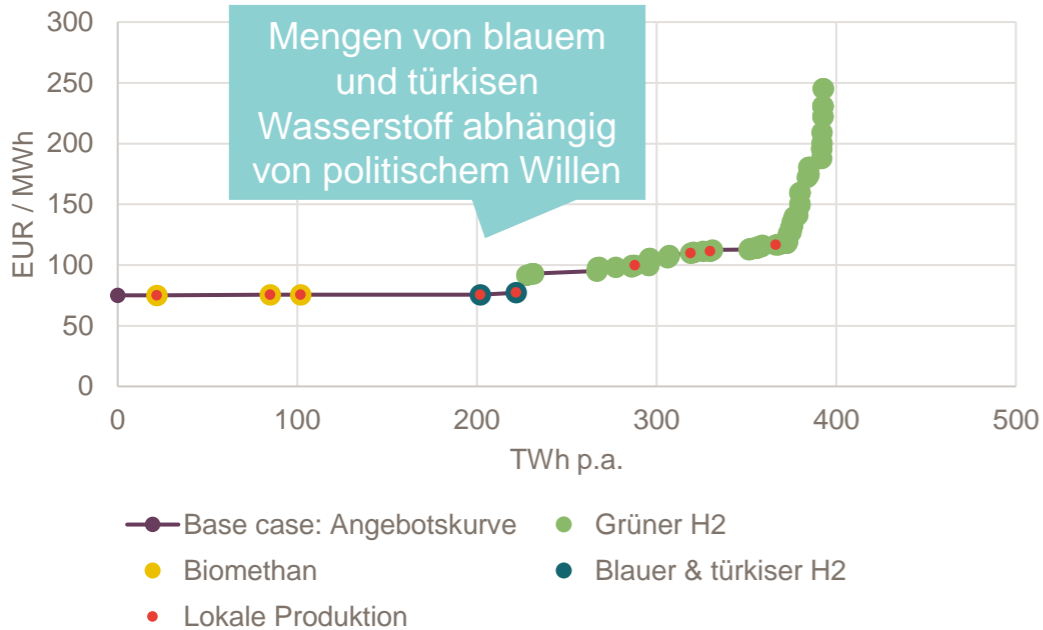


- In Deutschland sind die **Biogaspotenziale** durch die historische EEG-Förderung bereits relativ **stark ausgenutzt**.
- Aufgrund Förderablaufs liegt ein großes Potenzial in der **Umrüstung von bereits bestehenden Biogasanlagen** zur Biomethanveredelung. Der prognostizierte Zuwachs durch zusätzlich erschlossene Biogasanlagen ist relativ kleiner.
- Zusätzlich wird **Biomethanproduktion über die SNG Route** erwartet – diese Vergasung von Holzabfallstoffen findet heute noch kaum Anwendung.

- Relativ zur heutigen Biogasproduktion ist der erwartete Anstieg an Biomethanproduktion unserer Studie in DE geringer als das Ausbauziel der EU.
- In diesem Falle würde Deutschland knapp **29% des europäischen Biomethans** produzieren (vgl. 45% der heutigen Biogasproduktion).

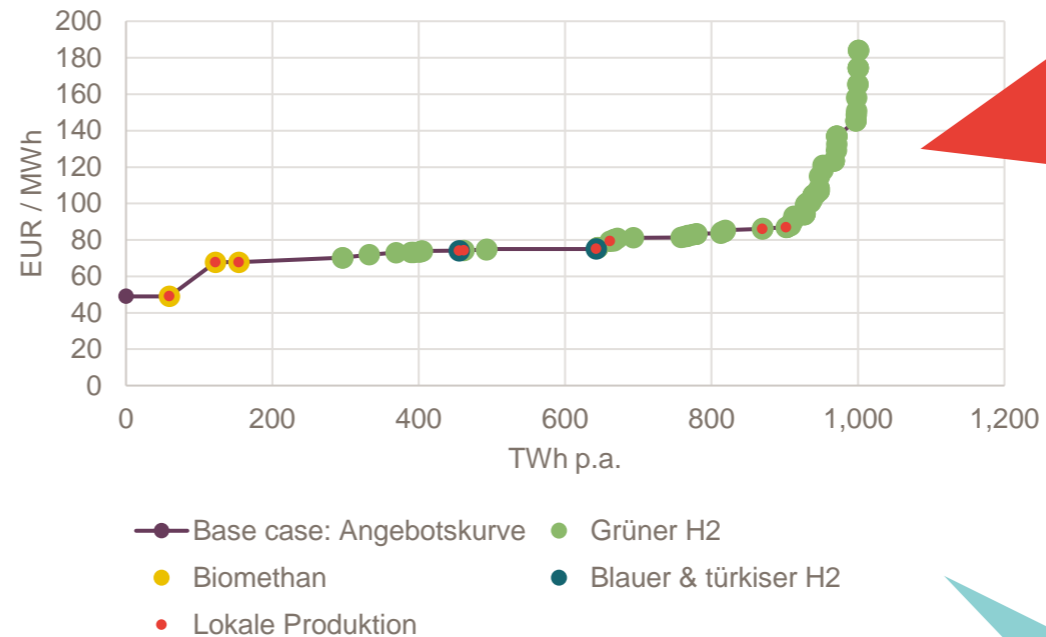
Fazit - Wasserstoff (und andere grüne Gase) wären mittel- und langfristig in Deutschland und Europa verfügbar, wenn gewollt und der Rahmen stimmt

Indikative Angebotskurve für grüne Gase 2030 in D. (base case)



Quelle: DVGW & Frontier Economics (2022)

Indikative Angebotskurve für grüne Gase 2045 in D. (base case)

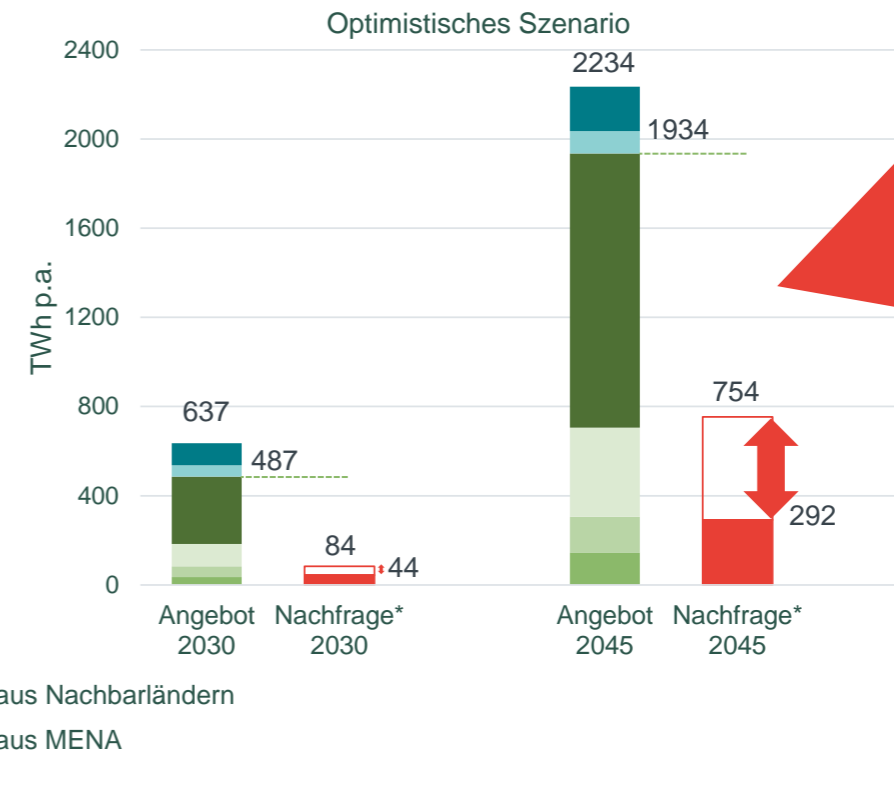
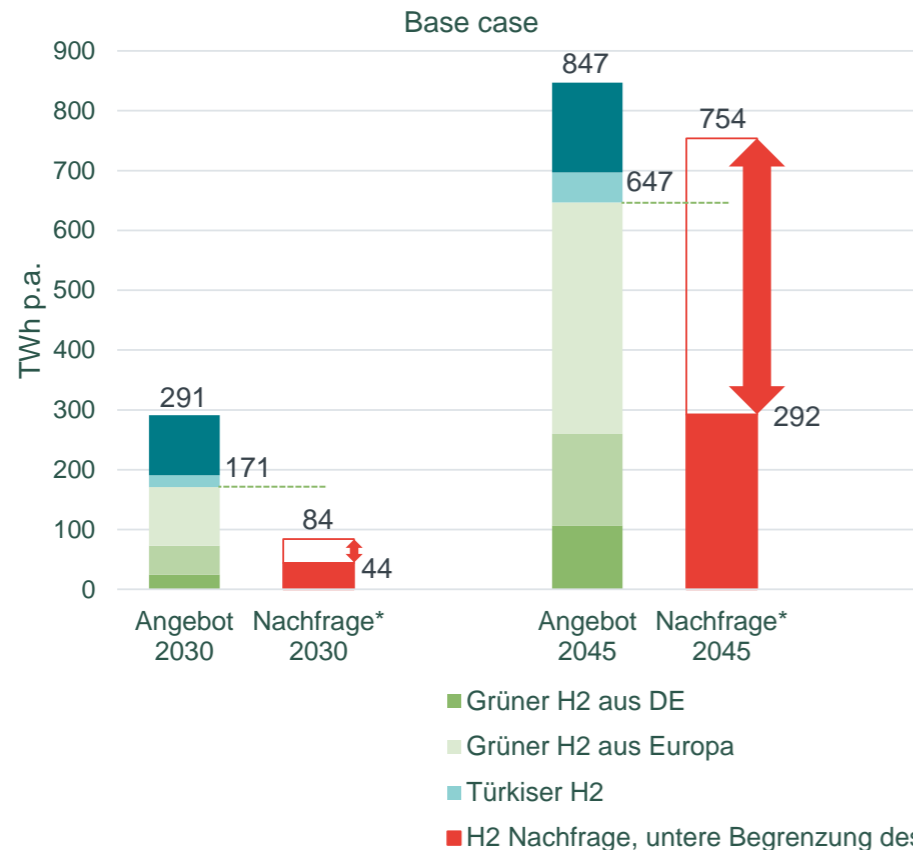


Neben den Mengen braucht es in D. für den Markthochlauf auch ein verlässliche Vergütung der „grünen Eigenschaft“, Netze und Speicher sowie wasserstoff(blend)-fähige Endanwendungen bei den Endkunden.

Ein schneller Hochlauf vom Wasserstoffmarkt verringert außerdem die **Abhängigkeit von Erdgasimporten**.

- Mittelfristig (2030) stehen **blauer Wasserstoff** und **Biomethan** als **Brückentechnologien** zur Verfügung – potenziell ist auch **türkiser Wasserstoff** (via Pyrolyse) schon verfügbar. Hier ist vor allem der **politische Wille** entscheidend.
- Langfristig werden **größere Mengen grüner Wasserstoff zu niedrigeren Kosten** zur Verfügung stehen – aber auch blauer und türkiser Wasserstoff können weiterhin einen Beitrag leisten.

Das Angebot an klimafreundlichem Wasserstoff kann ausreichend sein, um auch hohe Wasserstoffnachfrageszenarien bedienen zu können



Zum Vergleich:
 Eine H2 Importleitung (48 Zoll, 80 bar) kann ca. 90 TWh/a H2 importieren (ca. 13 GW Leistung). Ein Terminal (10 BCM H2) würde via H2 ca. 35 TWh/a importieren können (mehr wenn via Ammoniak)

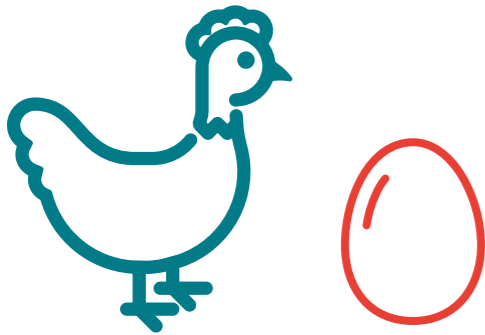
2030

In der **mittleren Frist** können wir bei Technologieoffenheit und Mitdenken eines globalen H2 Marktes die erwartete H2 Nachfrage in D. decken (Nachfrage entnommen aus Ariadne Meta-Studie (2021)),

2045

In der **langen Frist** können sehr hohe Mengen klimafreundlichen Wasserstoffs für D. zur Verfügung stehen – diversifizierter Zugang zu großen Mengen ist langfristig gegeben - es kommt dann im Vergleich der "Farben" und "Quellen" vor allem auf die Kosten an.

Politisches Handeln ist wichtig, um ein Henne-Ei Problem beim Markthochlauf zu verhindern – da wichtigste: ein klares, **langfristiges Commitment zu Grüngasen**



Um ein Henne-Ei Problem zu vermeiden (Fehlkoordination zwischen Angebots- und Anwendungsseite), müssen politisch **klare und verlässliche Rahmenbedingungen** schnell geschaffen werden (für **H2 Produzenten, Importeure, Infrastrukturbetreiber u. Endanwender**).

Dies betrifft z.B. die Zertifizierung von klimafreundlichen Gasen, sowie klare Richtlinien zur Verwendung.

Ein technologieoffener Ansatz ist dabei ein *Accelerator*, welcher den Markthochlauf klimafreundlicher Gase beschleunigt.

Klare Preissignale für CO2 Emissionen in allen Sektoren.

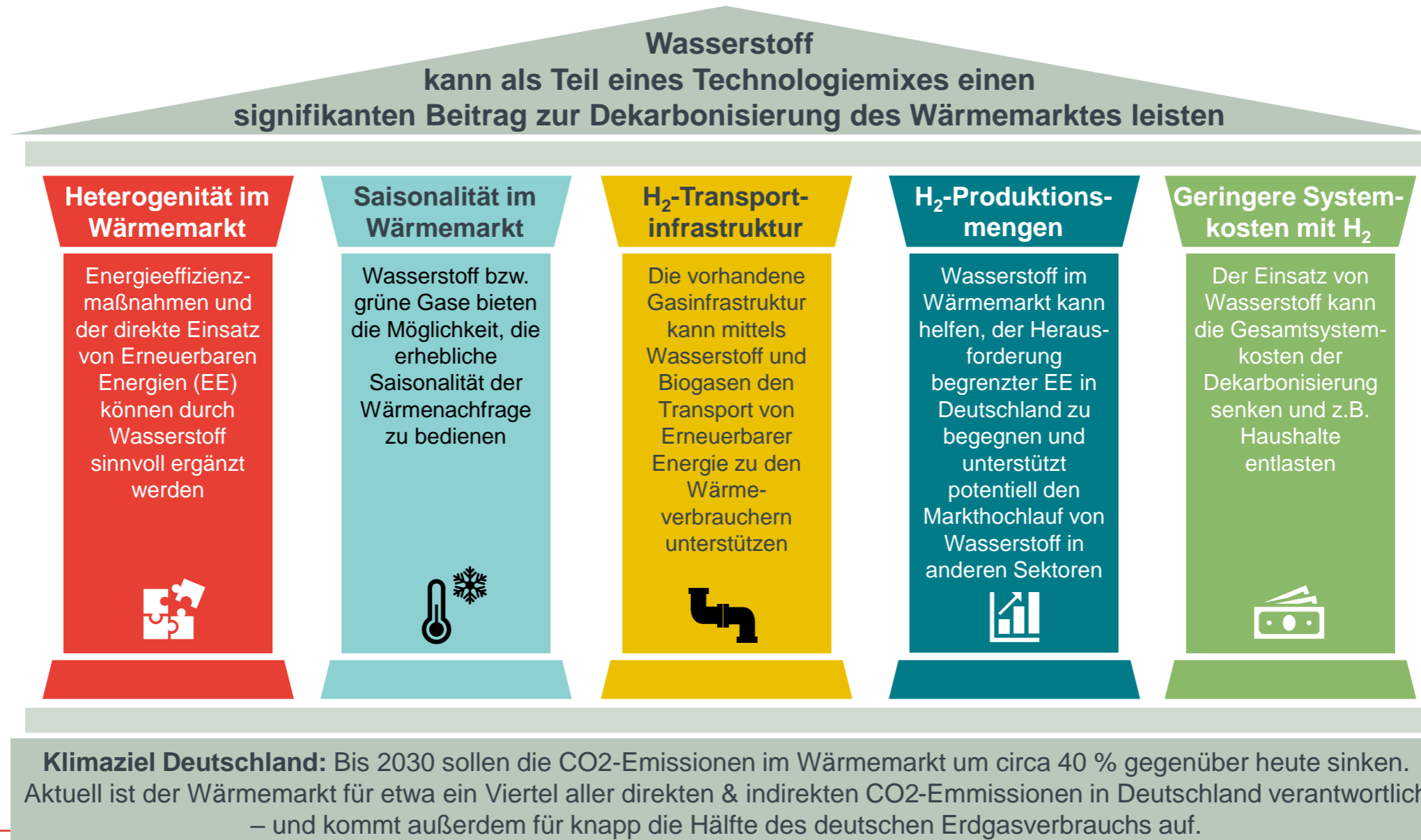
Der schnelle Umbau / Zubau von Verteilinfrastrukturen ist notwendig.

Wenn dies sichergestellt wird, dann ..

Langfristiges Commitment zu klimaneutralen Gasen erforderlich

- .. können Biomethan und blauer / türkiser Wasserstoff in der mittleren Frist als Brückentechnologien im Grüngasmarkt funktionieren. Realistische Wasserstoffnachfragen könnten dabei auch verstärkt durch grünen Wasserstoff gedeckt werden – jedoch zu höheren Kosten.
- In der langen Frist sind grüner (und ggf. türkiser) Wasserstoff zu vergleichsweise günstigen Gestehungskosten* verfügbar und je nach CO2 Preis günstiger als blauer H2. Dabei wird Deutschland weiterhin als Energieimporteur agieren.

Die „Wärmewende“ wird nur bei einem Einsatz aller Optionen gelingen – Wasserstoff wird **AUCH** Teil des Technologiemicx sein!





Frontier Economics Ltd ist Teil des Frontier Economics Netzwerks, welches aus zwei unabhängigen Firmen in Europa (Frontier Economics Ltd, mit Büros in Brüssel, Dublin, Köln, London & Madrid) und Australien (Frontier Economics Pty Ltd, mit Büros in Melbourne & Sydney) besteht. Beide Firmen sind in unabhängigem Besitz und Management, und rechtliche Verpflichtungen einer Firma erlegen keine Verpflichtungen auf die andere Firma des Netzwerks. Alle im hier vorliegenden Dokument geäußerten Meinungen sind die Meinungen von Frontier Economics Ltd.