



GREENPEACE ENERGY EG

BLAUER WASSERSTOFF

LÖSUNG ODER PROBLEM DER ENERGIEWENDE?

FAKTEN, HINTERGRÜNDE, ARGUMENTE

Januar 2020



Mein Strom. Mein Gas.
Meine Entscheidung.

WASSERSTOFF VON GRÜN BIS GRAU – EINE FARBENLEHRE

1. GRÜNER WASSERSTOFF wird aus erneuerbaren Energien hergestellt und ist so frei von CO₂-Emissionen. In Elektrolyse-Anlagen (**Elektrolyseuren**) wird mit regenerativ erzeugtem Strom Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt.

Bei der Elektrolyse unterscheiden Experten die alkalische (AEL)-Elektrolyse, PEM-Elektrolyse (Proton Exchange Membrane Electrolysis) und SOEC-Elektrolyse (Solid Oxide Electrolysis).

Das Interesse an Grünem Wasserstoff steigt weltweit stark an. Seit dem Jahr 2000 gingen etwa 230 zumeist kleinere Anlagen mit bis zu 10 Megawatt (MW) Leistung in Betrieb. Für die nahe Zukunft wird mit Anlagen bis 100 MW und einer sprunghaft steigenden Zahl neuer Elektrolyseur-Projekte gerechnet. Optimistische Szenarien schätzen die globale Produktion von Grünem Wasserstoff auf **275 Millionen Tonnen im Jahr 2050**.



PEM-Elektrolyseur im fränkischen Haßfurt (© Greenpeace Energy eG)

2. GRAUER WASSERSTOFF dominiert heute den Markt. Er wird aus Erdgas oder Kohle hergestellt. Die gängigsten Verfahren dafür sind die **Dampfreformierung** (Steam Reforming/SMR) und die **autotherme Reformierung** (ATR).

SMR ist ein chemisches Verfahren, bei dem Erdgas erhitzt wird und mit Wasserdampf reagiert. Es ist aktuell das kostengünstigste Verfahren. Allerdings werden dabei große Mengen CO₂ freigesetzt. Zudem fallen in der Lieferkette für Erdgas erhebliche CO₂- und Methanemissionen an (siehe: „Blauer Wasserstoff – der Grundstoff ist fossiles Erdgas“).

Die **autotherme Reformierung** (ATR) ist eine Kombination aus Dampfreformierung und partieller Oxidation (POX). Die Umwandlung von Erdgas in Wasserstoff (Reformierung) erfolgt mit einer Mischung von Luft und Wasserdampf. Auch hierbei fallen große Mengen CO₂ an, die sich aber besser abscheiden lassen als bei SMR.

Bei beiden Verfahren ist der Energieverlust relativ hoch: **20 bis 35 % der Energie gehen bei der Produktion verloren.** Hinzu kommen Verluste für die aufwendige Erdgas-Bereitstellung.

Als „**Grauer Wasserstoff**“ wird das Gas auch bezeichnet, wenn es per Elektrolyse aus „Graustrom“ von der Börse hergestellt wird, der auch fossil produzierten Strom enthält. Solcher Wasserstoff ist beim aktuellen deutschen Strommix mit höheren CO₂-Emissionen belastet als die aus Erdgas hergestellte Variante.

3. BLAUER WASSERSTOFF wird als bessere Alternative zu Grauem Wasserstoff propagiert.

Hergestellt wird er wie Grauer Wasserstoff aus Erdgas in **SMR- oder ATR-Anlagen**. Ein großer Teil des anfallenden CO₂ wird dabei abgeschieden und unterirdisch eingelagert (CCS/Carbon Capture and Storage). Durch die CO₂- und Methanemissionen bei Förderung und Transport des Erdgases ist Blauer Wasserstoff dennoch mit einem erheblichen CO₂-Fußabdruck belastet.

4. TÜRKISER WASSERSTOFF wird per **Methanpyrolyse** (Methane Splitting) aus Erdgas hergestellt. Das Verfahren befindet sich noch in der Pilotphase. Dabei wird Erdgas thermisch in einem Hochtemperaturreaktor in seine Bestandteile Wasserstoff und Kohlenstoff zerlegt.

Das Verfahren ist weniger energieeffizient als SMR, dafür wird beim Produktionsprozess kein CO₂ freigesetzt. Der Kohlenstoff fällt in fester Form an und lässt sich weiter nutzen (wobei dann je nach Einsatz später CO₂ frei werden kann). Wie bei allen erdgasbasierten Verfahren treten auch hier in der Erdgas-Lieferkette erhebliche CO₂- und Methanemissionen auf.

HAUPTOPTIONEN FÜR PRODUKTION, TRANSPORT UND SPEICHERUNG VON WASSERSTOFF

PRODUKTIONSOPTIONEN FÜR WASSERSTOFF

QUELLE	Strom + Wasser	Erdgas	Kohle	Biomasse
WASSERSTOFF-PRODUKTION	Elektrolyse	Reformierung	Vergasung	Vergasung oder Biogas-Reformierung
DEKARBONISIERUNGS-MASSNAHME	Strom (CO ₂ -frei o. CO ₂ -arm)	Carbon capture and storage (CCS)	Carbon capture and storage (CCS)	keine = neutral CCS = negativ

Quelle: Aarnes (2018)

WOFÜR BRAUCHEN WIR WASSERSTOFF – UND WIE VIEL?

Damit die Energiewende gelingt und der Energiebedarf in allen Sektoren erneuerbar abgedeckt werden kann, brauchen wir in Deutschland zukünftig **neben viel grünem Strom (959 TWh) auch erhebliche Mengen an grünem Wasserstoff – bis zu 1089 TWh.**

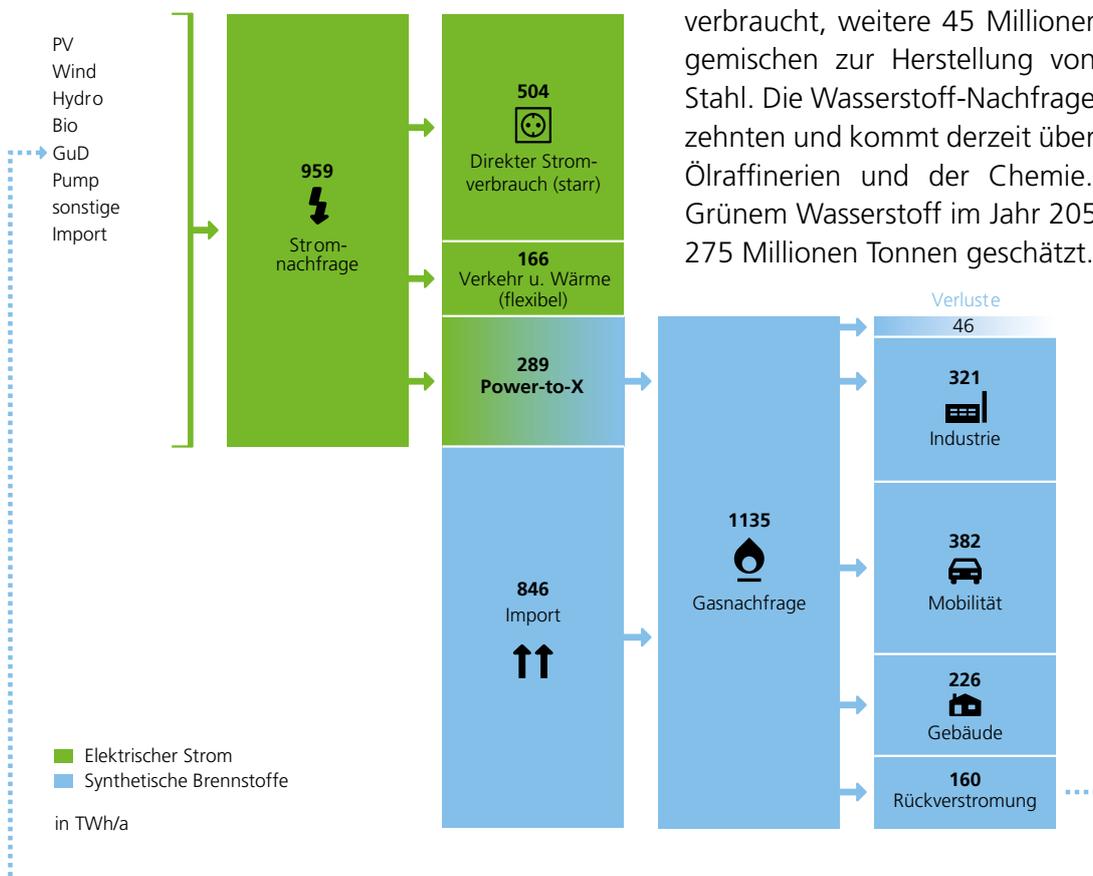
Wasserstoff ist äußerst vielseitig: Er kann in Brennstoffzellen, als Basis für synthetische Kraftstoffe, als Brennstoff für Wärme und zur Langzeitspeicherung von erneuerbarem Strom genutzt werden. Er dient zudem als Rohstoff für wichtige chemische Produkte.

Wasserstoff gilt damit als Schlüssel gerade für solche Bereiche, in denen hohe Temperaturen oder eine hohe Energiedichte gefragt ist. Bereiche also, die sich mit Strom nur schwer oder nur zu sehr hohen Kosten klimaverträglich umgestalten lassen – zum Beispiel in der Stahlbranche, dem Flugverkehr oder der Containerschifffahrt.

STEIGENDE NACHFRAGE

Schon heute ist Wasserstoff wichtig in der globalen Energie- und Industrielandschaft.

Jährlich werden 70 Millionen Tonnen als reines H₂ verbraucht, weitere 45 Millionen Tonnen in Gasgemischen zur Herstellung von Methanol oder Stahl. Die Wasserstoff-Nachfrage wächst seit Jahrzehnten und kommt derzeit überwiegend aus den Ölraffinerien und der Chemie. Der Bedarf an Grünem Wasserstoff im Jahr 2050 wird auf bis zu 275 Millionen Tonnen geschätzt.



Nachfrage nach grünem Strom und Gas im vollständig erneuerbaren deutschen Energiesystem.

Quelle: Wuppertal Institut, Energy Brainpool (2019).

WOHER KOMMT KÜNFTIG UNSER WASSERSTOFF?

DAS POTENZIAL VON GRÜNEM WASSERSTOFF

Experten erwarten, dass in Deutschland in einem System mit 100 Prozent erneuerbaren Energien **Elektrolyseure mit einer installierten Leistung von 107 bis 115 GW_{el}** (elektrische Leistung) Grünen Wasserstoff aus Wind- und Solarenergie produzieren werden – wirtschaftlich und ohne Förderung.

In der Endausbaustufe produzieren diese Elektrolyseure in Deutschland jährlich zwischen **182 und 243 Terawattstunden (TWh) Wasserstoff. Das deckt rund ein Viertel des deutschen Bedarfs an grünen Gasen.** Der Rest wird aus dem Ausland importiert. Im Vergleich zu den heutigen fossilen Importen erhöht sich die deutsche Energieautarkie dadurch von aktuell rund 30 auf gut 50 Prozent.

Zunächst müssen jedoch die Kosten für Elektrolyseure durch industrielle Serienfertigung gesenkt und die Wirkungsgrade erhöht werden. Für beides sehen Experten große Potenziale.

IMPORT VON GRÜNEM WASSERSTOFF

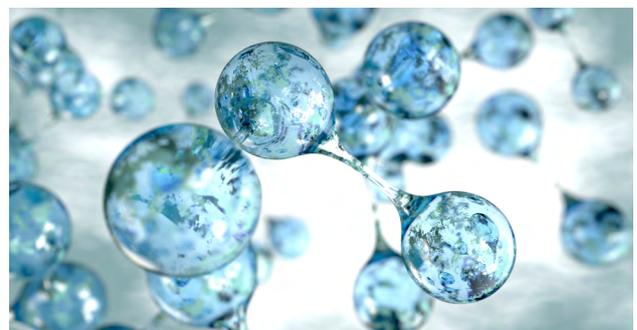
Für Deutschlands Wasserstoffversorgung dürften **Importe** eine wichtige Rolle spielen – in einem Energiesystem mit 100 Prozent erneuerbaren Energien nach Expertenschätzung in einer Dimension von **846 bis 906 TWh**. Grüner Wasserstoff wird idealerweise in Ländern mit sehr niedrigen Gesteuerungskosten für Solar- oder Windstrom produziert – beispielsweise in Nordafrika. Auch europäische Standorte weisen sehr günstige Bedingungen auf. Der Import von Grü-

nem Wasserstoff gleicht das Problem aus, dass hierzulande nicht genügend erneuerbarer Strom für den gesamten deutschen Wasserstoffbedarf verfügbar sein dürfte.

Auch wenn der Import von Wasserstoff Potenzial bietet, entstehen beim Transport zusätzliche Kosten und Emissionen. Zudem ist ein starker **Heimatmarkt** eine Voraussetzung für die Entwicklung einer wettbewerbsfähigen Elektrolyseur-Produktion in Deutschland – und damit für die **Exportchancen in einem künftigen milliardenschweren globalen Zukunftsmarkt.**

IMPORT VON GRAUEM UND BLAUEM WASSERSTOFF

Blauer Wasserstoff wird voraussichtlich in Ländern mit sehr niedrigen Gaspreisen produziert – wie am Persischen Golf, wo das anfallende CO₂ dann aber auch sicher eingelagert werden müsste. Der Import von Blauem Wasserstoff könnte hierzulande Akzeptanzprobleme von CCS (Verpressung von CO₂ im Untergrund) entschärfen. Für den Transport müsste der Wasserstoff jedoch energieaufwändig gekühlt und komprimiert werden.



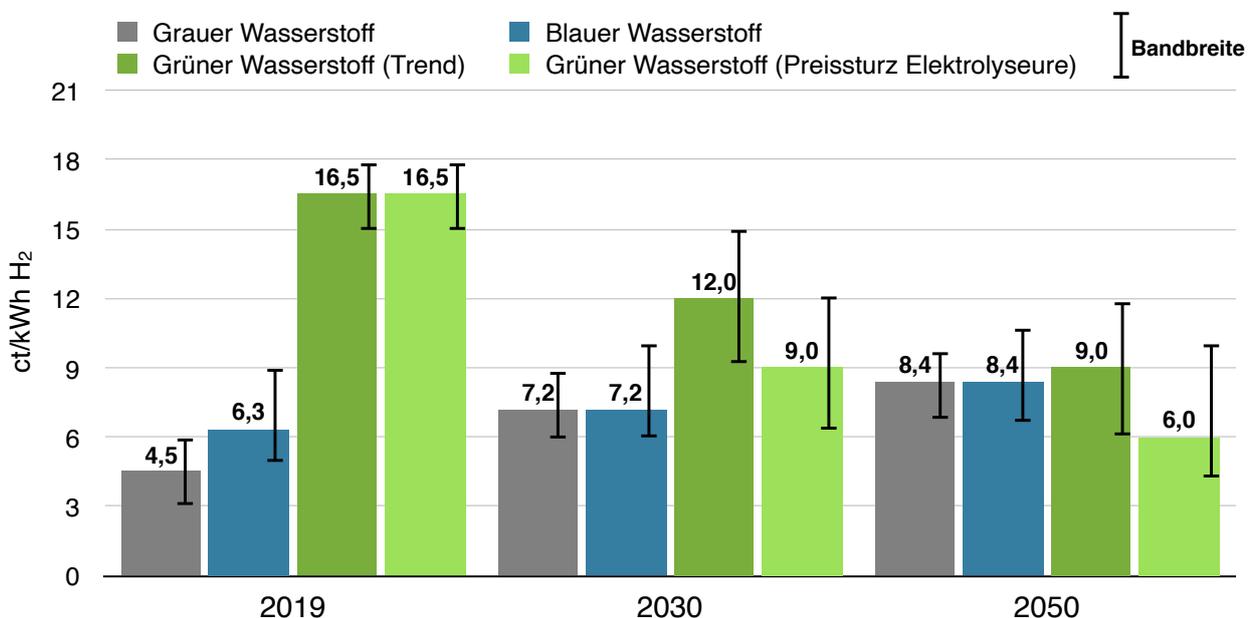
WAS KOSTET WASSERSTOFF – HEUTE UND IN ZUKUNFT?

DIE KOSTEN FÜR GRÜNEN WASSERSTOFF

Die Kosten der gängigen Elektrolyse-Verfahren fallen derzeit rasant. Dank weiterer Verbesserungen und Innovationen werden sowohl bei den Kosten wie auch bei der Effizienz der Elektrolyse **sprunghafte Fortschritte** erwartet. Praktisch alle Marktexperten rechnen in den kommenden Jahren mit schnell und stark fallenden **Kosten für Grünen Wasserstoff**.

Grüner Wasserstoff kann laut der **Internationalen Energie Agentur (IEA)** in Europa schon 2030 preislich mit Blauem Wasserstoff und sogar mit Grauem Wasserstoff konkurrieren (ohne CCS, aber mit Kosten für CO₂-Emissionszertifikate). Die Internationale Energieagentur rechnet für Grünen Wasserstoff mit Kosten von 2 bis 4 \$/kgH₂ im Jahr 2030 – unter günstigen Bedingungen sogar darunter.

PRODUKTION VON WASSERSTOFF: KOSTEN UND KOSTENTRENDS (in ct/kWh H₂*)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Fachliteratur in Kap. 2
 Annahmen für 2030: CO₂ Preis 100 €/t; Erdgaspreis stabil;
 Annahmen für 2050: wie 2030 plus Carbon Import Tax von 100 €/t CO₂
 *Zur Umrechnung: 1 €/kg H₂ = 3,0 ct/kWh H₂

Die **Kosten für Blauen Wasserstoff** liegen 2030 nach Zahlen der IEA bei 1,5 bis 3 $\$/\text{kgH}_2$ und damit auf einem ähnlichen Niveau wie Grauer Wasserstoff (1 bis 2 $\$/\text{kgH}_2$). Für Letzteren fallen demnach zusätzliche CO_2 -Kosten von durchschnittlich 40 \$ pro Tonne an.

Nach Analysen der IRENA (International Renewable Energy Agency) wird **Grüner Wasserstoff dann konkurrenzfähig zu Blauem Wasserstoff**, wenn die Strombezugskosten durchschnittlich unter 20 €/MWh liegen. Da die Investitionskosten für Elektrolyseure wie auch die Stromkosten bis 2050 stark gefallen sein dürften, kann Grüner Wasserstoff dann in den meisten Fällen kostengünstiger hergestellt werden als Blauer Wasserstoff.

An den besten Standorten wird Grüner Wasserstoff bereits in 3 bis 5 Jahren wettbewerbsfähig sein.

IMPORTKOSTEN VON WASSERSTOFF

In einem System mit 100 Prozent erneuerbaren Energien kostet der **Import** von grünem Wasserstoff die deutsche Volkswirtschaft jährlich zwischen 54 und 76 Mrd. Euro.

Dafür entfallen Kosten in ähnlicher Höhe für die Importe von Öl (Importquote 98 %) und Erdgas (Importquote 94 %). Deren CO_2 -Emissionen verursachen zusätzlich hohe Folgekosten.

Der Thinktank **Agora Energiewende** schätzt die **Importpreise für Grünen Wasserstoff** auf rund 3,30 €/kg H_2 im Jahr 2030 und auf 2,90 €/kg im Jahr 2050 (davon 1,35 €/kg allein für den Transport). Der Import kostet dann voraussichtlich ähn-

lich viel wie die Produktion im Inland. Die **IEA** geht von deutlich höheren Importkosten aus: Für 2030 könnten sie für Wasserstoff aus Nordafrika bei 6 bis 9 $\$/\text{kgH}_2$ liegen.

Billiger wäre laut **IEA** der **Import von Blauem Wasserstoff** vom Persischen Golf. Aufgrund niedriger Gaspreise und CCS-Optionen könnten die Kosten hier 2030 bei 2,6 $\$/\text{kgH}_2$ liegen.

TRANSPORTKOSTEN VON WASSERSTOFF

Egal welche Farbe: **Wasserstoff zu transportieren, ist sehr teuer**. Im Durchschnitt erhöht allein der Schifftransport die Gesamtkosten um 50 bis 150 %.

Zudem gehen beim Transport 15 bis 25% der Energiemenge verloren.

Wasserstoff für den Tankertransport zu **verflüssigen, verschlingt viel Energie** und ist technisch aufwändig. Die Kosten liegen im internationalen Durchschnitt bei etwa 1 $\$/\text{kgH}_2$. Verflüssigten Wasserstoff per Tankschiff über eine Distanz von 500 km zu transportieren, kostet weitere 1 bis 2 $\$/\text{kgH}_2$. Wenn er über Seehäfen importiert wird, führt dies zu hohen inländischen Vertriebskosten in Deutschland.

FAZIT: Die heimische Wasserstoffproduktion dürfte letztlich günstiger sein als der Import aus Nordafrika, dem Nahen Osten oder Übersee.

BLAUER WASSERSTOFF – AUFBRUCH IN DIE SACKGASSE?

Je höher die CO₂-Preise, desto kleiner wird der Preisunterschied von Blauem zu Grauem Wasserstoff. Denn die CO₂-Abscheidung bei Blauem Wasserstoff spart zukünftig Kosten für Zertifikate in Höhe von 50 bis 100 €/t CO₂. Auf der anderen Seite erhöht das Abscheiden und Lagern von CO₂ (bei ausreichend hohen Abscheidungsraten von 90 %) die Kosten von Blauem Wasserstoff um 30 bis 50 %.

Blauer Wasserstoff birgt Risiken:

- ▶ Die schwankenden, langfristig kaum prognostizierbaren Erdgaspreise führen bei Blauem Wasserstoff zu erheblichen **Investitionsrisiken**. Hinzu kommen die Preise (nicht Kosten) für CCS: knappe Lagerkapazitäten wie auch der Aufwand für den CO₂-Transport dürften den Preis bestimmen.
- ▶ Eine komplexe **Wertschöpfungskette** von der Erdgasversorgung über die H₂-Produktion bis zu Transport und Speicherung von CO₂ muss **koordiniert und synchronisiert** werden. Jede Verzögerung an einer Stelle erhöht potenziell auch an anderen Stellen die Kosten.
- ▶ **Endlagerstätten für CO₂** oder neue CO₂-Pipelines könnten insbesondere in Deutschland auf **lokalen Widerstand** stoßen.
- ▶ CCS stellt grundsätzlich nur eine Übergangslösung dar, da die Speichermöglichkeiten begrenzt sind.

▶ In Deutschland sind die **Speicherkapazitäten für CO₂ sogar sehr begrenzt**. Das führt zu rasant steigenden Kosten. Werden CO₂-Speicher z.B. in Norwegen genutzt, fallen wiederum Transportkosten an.

▶ **CCS-Speicher sind zudem Endlager** und müssen über Jahrhunderte überwacht werden, um CO₂-Leckagen zu verhindern. Früher oder später liegt die **Haftung bei den Steuerzahler*innen**.

▶ Eine landesweite Infrastruktur für Blauen Wasserstoff inklusive der CCS-Entsorgung aufzubauen, dauert Jahrzehnte. **Bis dahin dürften Alternativen wie Grüner Wasserstoff bereits kostengünstiger** sein – und wegen geringerer Risiken auch attraktiver.

FAZIT: Die Investition in zwei parallele Infrastrukturen für Blauen und Grünen Wasserstoff ist volkswirtschaftlich nicht sinnvoll. Die deutsche Politik muss hier eine Entscheidung treffen, bei der klimapolitische Erwägungen und eine Risikoabschätzung zugrunde gelegt werden. Blauer Wasserstoff erscheint derzeit als die für Deutschland klimapolitisch wie auch wirtschaftlich riskantere Option.

GRAUER, BLAUER UND GRÜNER WASSERSTOFF – DIE CO₂-BILANZ

GRAUER WASSERSTOFF: HOHE CO₂-EMISSIONEN

Derzeit werden jährlich 115 Millionen Tonnen aus Erdgas bzw. Kohle hergestellter Wasserstoff verbraucht. 70 Millionen Tonnen werden in reiner Form genutzt, weitere 45 Millionen Tonnen in Gasmischen. Zur Herstellung werden allein 205 Milliarden Kubikmeter Erdgas verbraucht. **Pro Kilogramm Grauer Wasserstoff aus Erdgas fallen 13,3 Kilogramm CO₂ an** (inklusive Förderung und Transport des fossilen Gases). Insgesamt gelangen durch Grauen Wasserstoff derzeit 830 Millionen Tonnen CO₂ in die Atmosphäre.

BLAUER WASSERSTOFF: ALLES ANDERE ALS KLIMANEUTRAL

SMR-Anlagen zur Herstellung von Blauem Wasserstoff scheiden durchschnittlich 65 % des bei der Produktion entstehenden CO₂ ab. Bei neueren ATR-Anlagen sind bis zu 90 % möglich. Auch hier

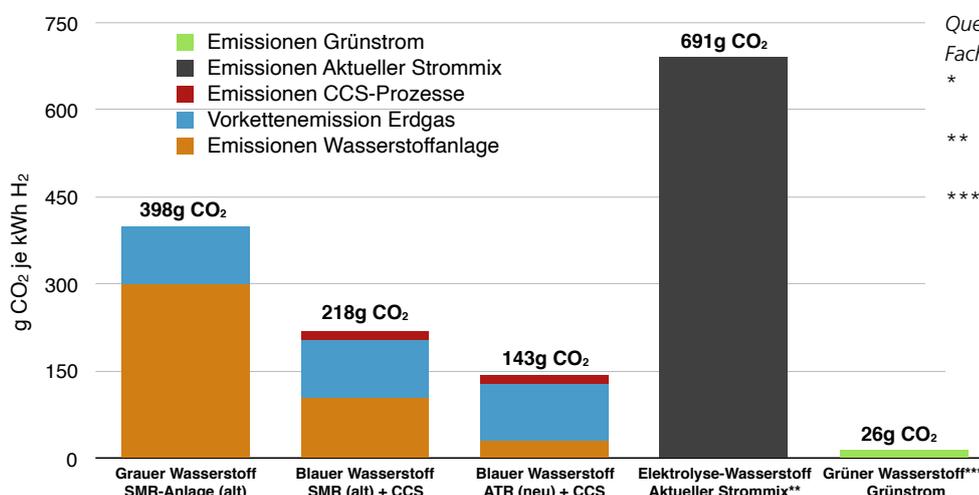
entweichen mindestens 10 % des im Erdgas enthaltenen CO₂ in die Atmosphäre. Transport und Einlagerung von CO₂ verursachen weitere Emissionen. Insgesamt entstehen so **pro kg Blauer Wasserstoff 5 bis 7 kg CO₂** (143 bis 218 gCO₂/kWh). Blauer Wasserstoff ist also keineswegs klimaneutral.

GRÜNER WASSERSTOFF: OHNE EMISSIONEN

Die Produktion von **Wasserstoff aus erneuerbaren Energien verursacht keine CO₂-Emissionen**, lediglich bei der Herstellung z.B. von Windkraftanlagen fällt eine geringe Menge an. (Wie hoch der Anteil bei der Herstellung von SMR- bzw. ATR-Anlagen ist, ist weitgehend unbekannt bzw. nicht erforscht.)

FAZIT: Nur Grüner Wasserstoff ist eine wirklich klimaverträgliche Option.

DURCHSCHNITTliche EMISSIONEN DER WASSERSTOFFPRODUKTION (in g CO₂ je kWh H₂*)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Fachliteratur in Kap.3

* Zur Umrechnung: 1 kg H₂ = 33,3 kWh (Hu)

** Deutscher Strommix 2018 mit durchschnittlich 474 gCO₂/kWh

*** Emissionswerte für Grünen Wasserstoff inklusive Bau und Installation der Wind-/Solarstrom-Anlagen

BLAUER WASSERSTOFF – DER GRUNDSTOFF IST FOSSILES ERDGAS

ERDGAS: PROBLEMATISCHE BASIS

Blauer Wasserstoff wird fast ausschließlich aus Erdgas hergestellt. Das ist nicht nur schlecht für seine Klimabilanz. Kaum vorhersehbare Preisschwankungen bei Erdgas führen auch zu erheblichen **Investitionsrisiken für Produzenten von Blauem Wasserstoff**.

EMISSIONEN IN DER VORKETTE

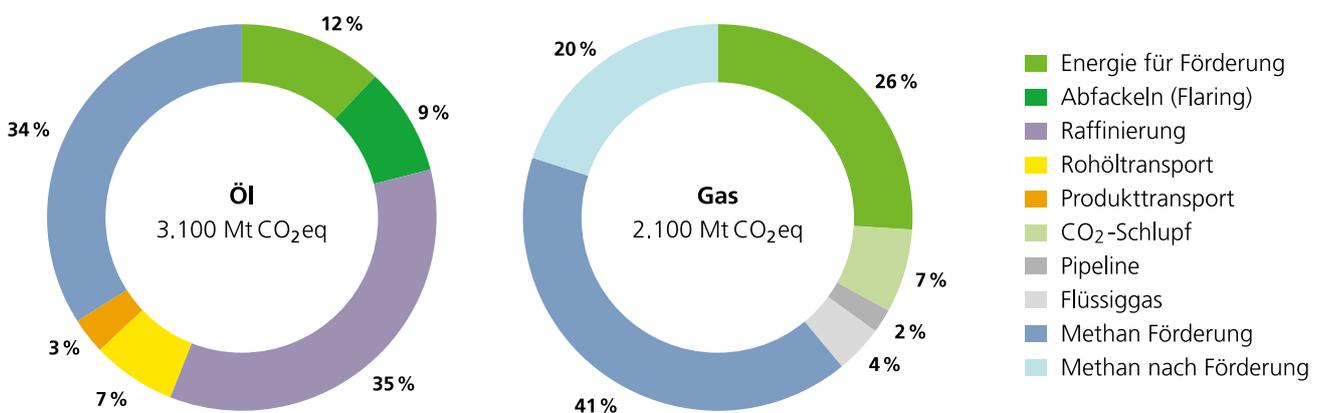
Erdgas ist laut IEA weltweit die am schnellsten wachsende Quelle von Treibhausgasen. Sie fallen nicht erst beim Verbrennen an. Schon Förderung, Aufbereitung, Transport und Verteilung von Erdgas verursachen erhebliche CO₂-Emissionen – insgesamt rund **25 % der Erdgas-Gesamtemissionen**. Die IEA beziffert sie auf **2,1 Gigatonnen (Gt) CO_{2eq} jährlich**.

Der zunehmende energieintensive Transport von verflüssigtem Erdgas (LNG), die boomende klimaschädliche Erdgasproduktion in den USA (Fracking/Schiefergas) und neue Erkenntnisse über Umfang und Folgen des Flarings (Abfackeln von Erdgas) verschärfen die klimapolitische Problematik.

Hinzu kommen erhebliche **Methanemissionen bei der Erdgasförderung** (siehe Grafik unten). Methan ist der Hauptbestandteil von Erdgas und (je nach Zeithorizont) bis zu 100-mal klimaschädlicher als CO₂.

Auf diese Vorketten-Emissionen haben die Produzenten von Blauem Wasserstoff kaum Einfluss.

AUFSCHLÜSSELUNG DER TREIBHAUSGAS-EMISSIONEN BEI ÖL UND GAS, 2017



Förderung, Verarbeitung und Transport von Öl und Gas sind verantwortlich für fast 15 Prozent der Treibhausgasemissionen des globalen Energiesektors.

Quelle:IEA (2018)

BLAUER WASSERSTOFF – CCS UND CCUS

CCS/CCUS

CCS steht für **Carbon (Dioxide) Capture and Storage**, also die Abscheidung und Speicherung von CO₂ im Untergrund. Das soll dadurch dauerhaft der Atmosphäre entzogen werden. Das „U“ in CCUS steht für Usage, also die (in Ausnahmefällen mögliche) Nutzung des CO₂ in der Chemie.

OHNE CCS KEIN BLAUER WASSERSTOFF

Blauer Wasserstoff ist untrennbar mit CCS verbunden. SMR-Anlagen mit CCS können **maximal 65 %** des bei der Produktion entstehenden CO₂ **abscheiden, ATR-Anlagen bis zu 90 %** – und dies bei geringeren Kosten. Ein Praxistest steht zwar noch aus. Der Trend weist aber bereits in Richtung ATR.

STATUS QUO BEIM CCS

Weltweit werden derzeit pro Jahr etwa 30 Millionen Tonnen CO₂ abgetrennt und eingelagert. Das ist etwa ein Tausendstel der CO₂-Emissionen des globalen Energiesektors.

Im September 2019 zählte die IEA nur zwei aktive CCS-Projekte im Kraftwerksbereich und 17 Projekte in der Industrie. **Für die Produktion von Blauem Wasserstoff sind bislang ganze zwei nennenswerte CCS-Projekte** in den USA und in Kanada bekannt.

CCS-Projekte sind komplex und teuer. Etwa zwei Drittel von ihnen wurden **wegen unvorhergesehener Probleme vorzeitig beendet**. Auch klimapolitisch halten sie oft weniger als versprochen: Ausgerechnet bei zwei vermeintlichen CCS-Vorzeigeprojekten in den USA und Kanada wird gerade mal ein Drittel der CO₂-Emissionen abgeschieden.

GEPLANTE PROJEKTE

In Europa sind drei neue große CCS-Projekte geplant: Acron (UK, Betrieb geplant ab Anfang der 2020er Jahre), Northern Lights (Norwegen) und Porthos/H-Vision bei Rotterdam (bei beiden Betrieb geplant ab Mitte der 2020er Jahre).

RISIKEN

Das abgeschiedene CO₂ muss **für Jahrtausende sicher** im Porenraum von unterirdischen Gesteinsschichten gespeichert werden. Diese sollten mindestens 800 Meter tief liegen. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hält die geologischen Risiken für beherrschbar, andere Wissenschaftler sehen das kritischer.

Problematisch ist in jedem Fall, dass die vorhandenen Speicher in der EU nur Kapazitäten für 104 Gigatonnen (Gt) CO₂ haben (davon etwa 17 Gt in Deutschland). Bei den derzeitigen CO₂-Emissionen der EU von etwa 3,2 Gt pro Jahr wäre **das CCS-Potenzial der EU (inklusive Norwegen) bei vollständiger Einlagerung nach 24 Jahren erschöpft**. Diese Knappheit dürfte die CCS-Preise steil nach oben gehen lassen.

Wenn die Lagerstätten für CO₂ aus Blauem Wasserstoff genutzt werden, fehlen wiederum Kapazitäten für die **Einlagerung von „negativen Emissionen“**, wenn der Atmosphäre CO₂ entzogen wird. Das kann aus klimapolitischen Gründen notwendig werden, wenn die CO₂-Emissionen nicht ausreichend gesenkt werden, um die Erder-

wärmung einzudämmen. **Blauer Wasserstoff würde diese Option behindern.**

FAZIT: CCS ist keine Lösung, die Blauen Wasserstoff zu einer langfristig sinnvollen Option macht.

GROSSE CCS-/CCUS-PROJEKTE WELTWEIT



Quelle: IEA (2019)

DIE BILANZ: WIE CO₂-FREI IST BLAUER WASSERSTOFF WIRKLICH?

Trotz CCS entstehen bei der Produktion von **Blauem Wasserstoff** CO₂-Emissionen, insbesondere in der Vorkette bei Förderung und Transport von Erdgas. Selbst bei effizienten CCS-Verfahren liegen die **Gesamtemissionen** im Schnitt bei 5,61 kgCO₂/kgH₂ – also **143g CO₂/kWh**.

Neuere Untersuchungen gehen zudem von deutlich höheren Methan-Emissionen von Schieferöl- und Schiefergasquellen aus als bisher vermutet.

Hinzu kommen die Restemissionen bei der Produktion von Blauem Wasserstoff. Selbst die besten CCS-Anlagen fangen nicht das gesamte CO₂ ein.

Weitere CO₂-Emissionen entstehen, wenn das Klimagas über Hunderte Kilometer zu geeigneten

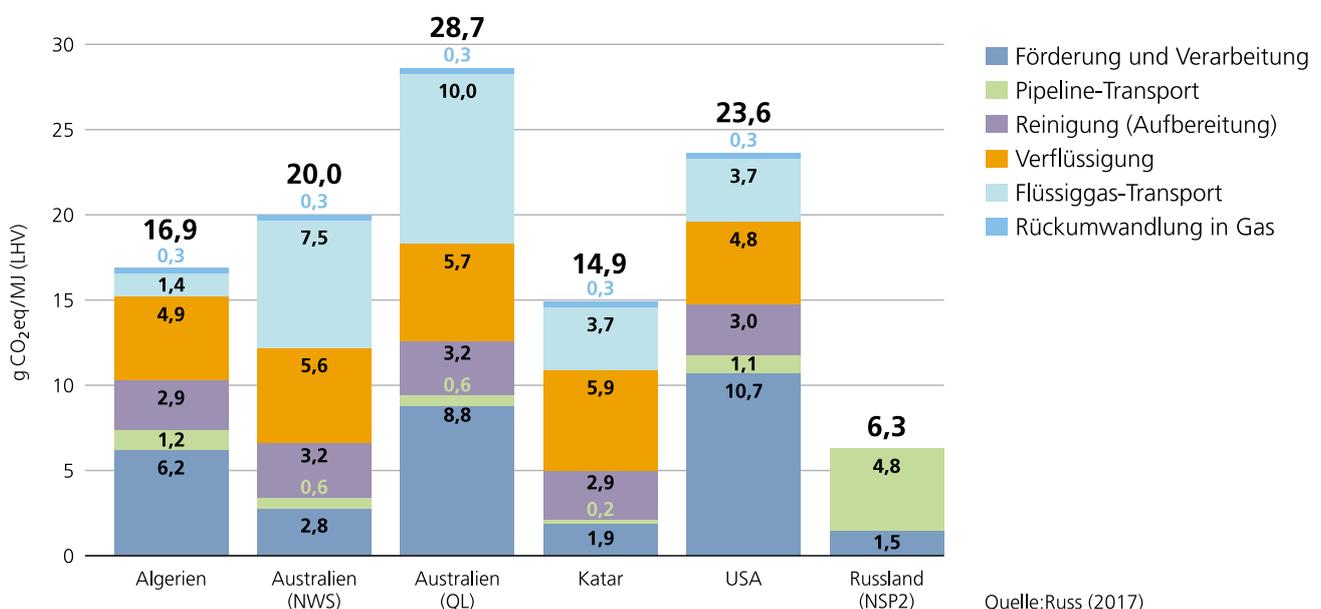
Speicherstätten transportiert werden muss. Zusätzlich kann beim Transport auch das noch wesentlich klimaschädlichere Methan entweichen.

Völlig ungeklärt ist noch, ob und in welchen Mengen Treibhausgase über die Jahrhunderte aus den Speicherstätten entweichen.

Zudem verursacht auch der zu erwartende **Transport von Blauem Wasserstoff** aus dem Nahen Osten, vom Persischen Golf, aus Nordafrika oder Australien erhebliche CO₂-Emissionen.

FAZIT: Blauer Wasserstoff ist weit davon entfernt, klimaneutral zu sein.

TREIBHAUSGASEMISSIONEN DURCH PIPELINE- UND LNG-TRANSPORTE NACH MITTELEUROPA



UNSERE POSITION ZU BLAUEM UND GRÜNEM WASSERSTOFF

Deutschland wird für eine vollständige Energiewende neben grünem Strom (rund 950 TWh im Jahr) auch **erhebliche Mengen an erneuerbaren Gasen benötigen**: rund 1.100 TWh im Jahr. Wegen seiner schlechten Klimabilanz **scheidet Grauer Wasserstoff hier aus** (siehe: „Grauer, Blauer und Grüner Wasserstoff – die CO₂-Bilanz“). Auch **Blauer Wasserstoff ist mit dem 1,5-Grad-Ziel von Paris nicht kompatibel**: Er wird wie die graue Variante aus Erdgas gewonnen, das CO₂ dabei abgefangen und im Untergrund verpresst (Carbon Capture and Storage, CCS). Doch verbleiben erhebliche CO₂- und Methan-Emissionen aus Förderung, Transport und Verarbeitung des Erdgases sowie für das CCS-Verfahren.

Nur per Elektrolyse aus erneuerbarem Strom gewonnener **Grüner Wasserstoff ist klimaneutral** und somit eine sinnvolle, wenn auch preislich aktuell noch nicht konkurrenzfähige Option.

SINNVOLLE NUTZUNG VON GRÜNEM WASSERSTOFF

Erneuerbarer Strom sollte möglichst direkt genutzt werden, um den Energieverbrauch in den Sektoren Mobilität, Wärme und Industrie effizient zu decken. Wichtig sind auch Lastverschiebung, Speicher und andere Flexibilitätsoptionen, um den Verbrauch dem fluktuierenden Stromangebot vor allem aus Wind und Sonne anzupassen. Elektrolyseure, die erneuerbaren Strom in grünen Wasserstoff umwandeln, haben im Vergleich dazu einen schlechteren Wirkungsgrad. **Grüne Gase sollten deshalb erst zum Einsatz kommen, wenn die anderen Optionen ausgeschöpft sind.**

Voraussetzung für die Klimaschutz-Wirkung von grünem Wasserstoff (und allen anderen Maßnahmen zur Elektrifizierung von Energieverbräuchen) ist ein **schneller Zubau erneuerbarer Energien, insbesondere von Windkraft- und Solaranlagen.**

RAHMENPARAMETER EINES DEUTSCHEN STROMSYSTEMS MIT 100 PROZENT ERNEUERBAREN ENERGIEN

	Installierte Kapazität in GW	Fixkosten pro Jahr in EUR/kW	Gesamtkosten in Mio. EUR
Wind onshore	179	74	13.330
Wind offshore	34	178	6.066
Photovoltaik	263	43	11.387
Wasserkraft inkl. Pumpspeicher	15	212	3.072
Biomasse	7	205	1.495
Gaskraftwerke	48	47	2.263
sonstige	8	63	519
Elektrolyseure (Sz. 1 2)	107 115	40	4.280 4.600
Gasverbrauch Stromsektor	160 TWh_{th}	60 90 EUR/MWh_{th}	9.608 14.407 Mio. EUR

Quelle: Energy Brainpool / Greenpeace Energy

Beim aktuellen Stand der Energiewende ist ein begrenzter, **zielgenauer Marktanschub für Elektrolyseure sinnvoll**, der auf einen energiewendedenlichen und volkswirtschaftlich vorteilhaften Einsatz der Technologie fokussiert. **Elektrolyseure laufen nur dann energiewendedenlich, wenn sie Strom in Zeiten mit besonders hohem Erneuerbaren-Anteil verbrauchen**. Dann heben sie auch gezielt den Marktwert insbesondere von Windkraft- und Solaranlagen, was wiederum das EEG-System entlastet.

Laut Analysen von Energy Brainpool sind **3.000 Betriebsstunden jährlich ein praxisgerechter Wert**, der sowohl Wirtschaftlichkeit als auch Konzentration auf Stunden mit hohem Anteil erneuerbarer Energien gewährleistet. Ein Marktanschubprogramm sollte Elektrolyseure über jeweils zehn Jahre für diese jährlich 3.000 Stunden von Abgaben, Steuern und Umlagen auf den Strombezug befreien – oder eine Förderung in entsprechender Höhe gewährleisten. Dies würde einen Investitionsschub auslösen und bei den Elektrolyseur-Produzenten zum Aufbau einer Serienfertigung führen, wodurch wiederum die Preise für Elektrolyseure und Grünen Wasserstoff rasch und deutlich sinken.

Mit steigendem Erneuerbaren-Anteil am Strommix sollten auch die Elektrolyseur-Kapazitäten wachsen. In einem System mit 100 Prozent erneuerbaren Energien können in Deutschland **bis zu 115 GW an Elektrolyseuren wirt-**

schaftlich betrieben werden. Sie produzieren dann gut ein Viertel des deutschen Bedarfs an grünen Gasen; der Rest wird aus dem Ausland importiert.

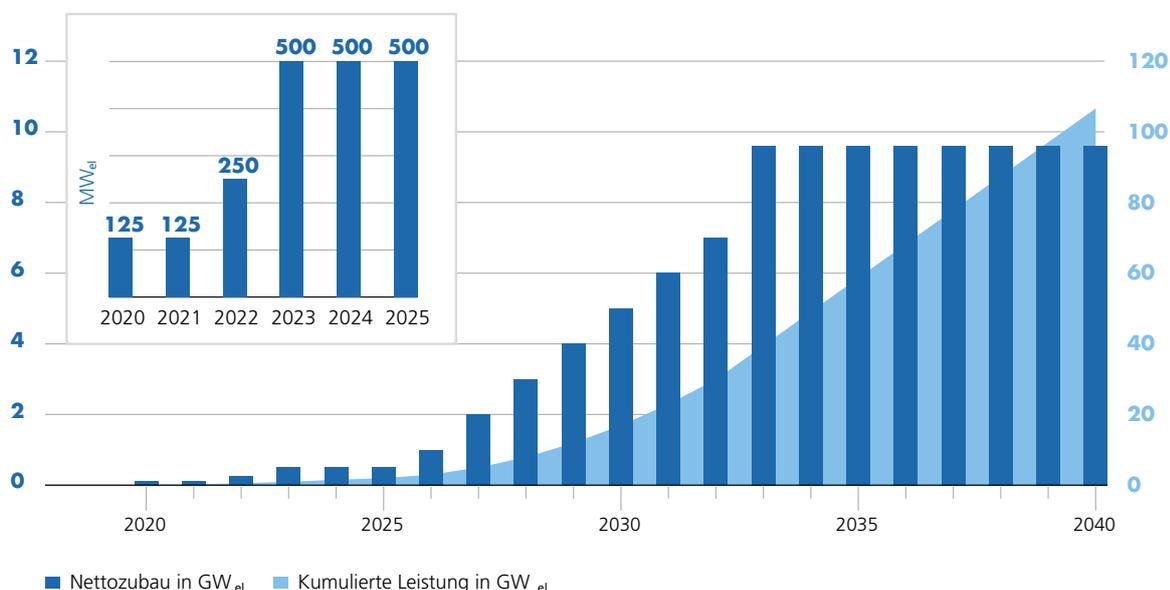
Der Aufbau einer heimischen Elektrolyseur-Flotte ist industriepolitisch sinnvoll, da Deutschland so die **Technologieführerschaft verteidigen und Exportchancen nutzen** kann. Zudem verbleibt ein künftig relevanter Teil der energiewirtschaftlichen Wertschöpfung im Land. Da die Elektrolyseure gezielt die zu besonders niedrigen Preisen angebotenen erneuerbaren Strommengen nutzen, wird auch die **Energieversorgung insgesamt kostengünstiger**.

Eine Nationale Wasserstoff-Strategie sollte folgende Maximen berücksichtigen:

- ▶ Schneller Ausbau der erneuerbaren Energien als Voraussetzung für den Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft.
- ▶ Zunächst moderater Elektrolyseur-Ausbau, der sich in der zweiten Hälfte der 2020er-Jahre steigert.
- ▶ Marktanschub-Förderung, die sich auf eine energiewendedenliche Fahrweise der Elektrolyseure fokussiert.

Mehr in der Broschüre „Erneuerbar in allen Sektoren“ (2019) und auf www.greenpeace-energy.de

GREENPEACE ENERGY-VORSCHLAG EINES ZUBAUPFADES FÜR WINDGAS-ELEKTROLYSEURE



BLAUER WASSERSTOFF

Broschüreneerstellung:

Greenpeace Energy eG

Hongkongstraße 10
20457 Hamburg

Redaktion: Michael Friedrich (verantwortlich)

Tel.: 040 - 808 110 655

Fax: 040 - 808 110 679

E-Mail: michael.friedrich@greenpeace-energy.de

www.greenpeace-energy.de

Texte: Kristina Simons / ahnenenkel.com

Foto: smirkdingo / istockphoto

Grafiken: Carsten Raffel / usota.com

Layout: Adrienne Rusch / dieprojektoren.de

Stand: Januar 2020

Für Greenpeace Energy als deutschlandweit engagierte Genossenschaft steht verantwortliches und nachhaltiges Handeln seit jeher vor dem finanziellen Gewinn. Das Unternehmen versorgt rund 180.000 Kundinnen und Kunden, darunter rund 12.000 Geschäftskunden, mit sauberem Strom und dem innovativen Gasprodukt *proWindgas*. Organisiert ist Greenpeace Energy als Genossenschaft mit mehr als 26.500 Mitgliedern. Deren Einlagen sorgen für eine solide Eigenkapitalbasis, die die Unabhängigkeit sichert. Die Genossenschaftsmitglieder sind nicht nur die Firmeninhaber, sondern gleichzeitig auch Kunden, was für gleichgerich-

tete Interessen sorgt: an einer ökologisch ausgerichteten Geschäftspolitik, die nicht auf Profitmaximierung setzt. Zudem planen, bauen, finanzieren und betreiben wir über die Tochtergesellschaft Planet energy selbst Anlagen. Das Engagement von Greenpeace Energy geht aber noch weiter: Wir reden mit, wenn es darum geht energiepolitische Rahmenbedingungen zu schaffen. Wir erproben neue Konzepte zum Beispiel zur Elektromobilität oder zu Produktion und Einsatz von grünen Gasen. Wir setzen uns mit Forschungsprojekten dafür ein, Innovationen zu fördern und den Weg in eine saubere Energiezukunft zu ebnen.



Mein Strom. Mein Gas.
Meine Entscheidung.