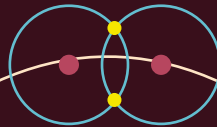


acatech

# HORIZONTE

## Wasserstoff



Was ist Wasserstoff, und warum ist das Thema wichtig?

Was ist heute schon möglich?  
Wo wollen wir hin?

Wasserstoff ja, aber woher und wohin? Der globale Blick

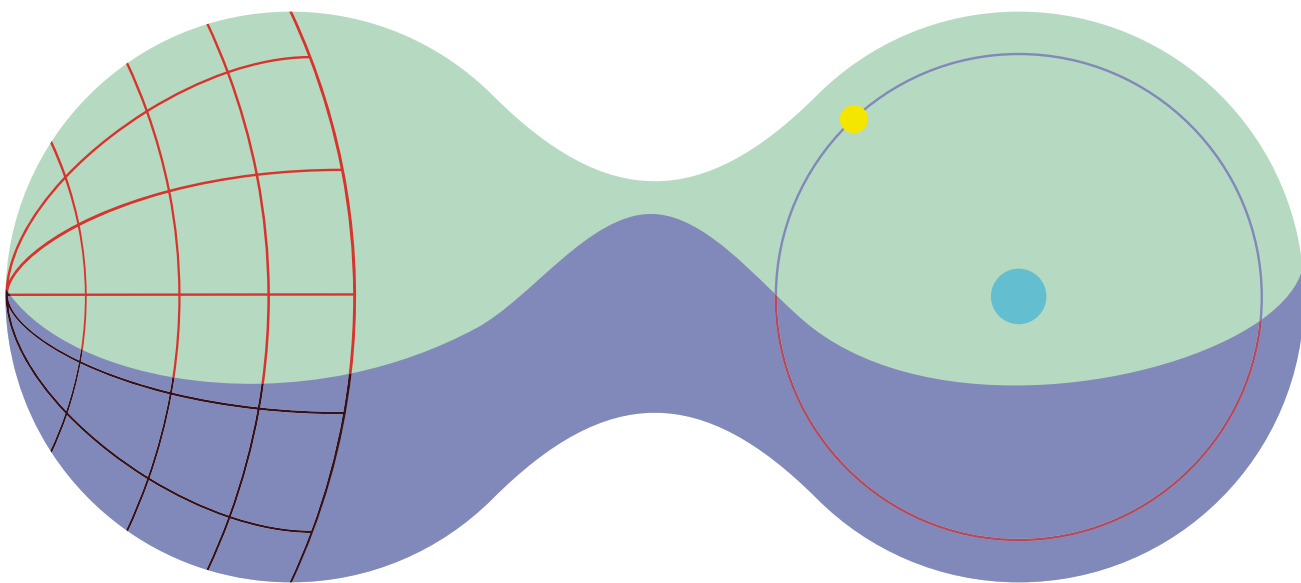
Was sollte noch passieren?

Die acatech HORIZONTE machen interessierten Menschen aktuelle Technikthemen zugänglich. Jede Ausgabe ist einem Technikfeld gewidmet, das neue Horizonte eröffnet, wirtschaftlich bedeutend ist und gesellschaftlichen Wandel ermöglicht. Diese Technikfelder bereiten die acatech HORIZONTE auf – fundiert, anschaulich und auf dem neuesten Stand der Forschung. Sie klären die Faktenbasis und nehmen gesellschaftliche, volkswirtschaftliche und politische Fragen sowie Gestaltungsoptionen in den Blick.

acatech **HORIZONTE**

**Wasserstoff**





# Inhalt

<b>Acht Kernbotschaften</b>	<b>4</b>
<b>1 Was ist Wasserstoff, und warum ist das Thema wichtig?</b>	<b>6</b>
Warum ist Wasserstoff so wichtig? Betrifft mich das überhaupt?	8
<b>2 Was ist heute schon möglich? Wo wollen wir hin?</b>	<b>16</b>
Wasserstoff in der Industrie	19
Mit Wasserstoff Energie speichern und transportieren	23
Wasserstoff für die Welternährung	29
Klimafreundliche Mobilität: Wasserstoff und Strom im Tandem	32
<b>3 Wasserstoff ja, aber woher und wohin? Der globale Blick</b>	<b>36</b>
<b>4 Was sollte noch passieren?</b>	<b>44</b>
Markt und Staat auf dem Weg zur Wasserstoffwirtschaft	45
Es grünt so grün	46
Wissenschaft kommunizieren	48
Klimaneutraler Wohlstand für die Gesellschaft	49
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>50</b>
<b>Mitwirkende</b>	<b>52</b>

# Acht Kernbotschaften

- 1.** Wasserstoff gibt es seit ungefähr drei Minuten nach dem **Big Bang**; es ist das häufigste Element im Universum. Wasserstoff auf der Erde ist meist nicht *rein*, sondern *gebunden*, etwa in Form von Wasser.
- 2.** Wollen wir Wasserstoff nutzen, müssen wir ihn in *reine Form umwandeln*. Wirklich **klimafreundlich** ist er erst, wenn wir dafür erneuerbare Energien wie Wind und Sonne nutzen. Hier spricht man vom berühmten grünen Wasserstoff.
- 3.** Wasserstoff betrifft uns alle: Er ist ein wichtiger **Schlüssel** für die **Energiewende** und die **Klimaziele**. Er ist *die* Chance, um fossile Energieträger wie Erdgas, Kohle und Erdöl ein für alle Mal hinter uns zu lassen.
- 4.** Die Möglichkeiten sind riesig: Wir können Wasserstoff nutzen, um erneuerbare Energie von A nach B zu bringen, in Zukunft klimafreundlichen Stahl herzustellen, Güter sauberer zu bewegen oder klimafreundlicher zu fliegen. Er ist daher auch ein **Schlüssel** für die **Zukunft der europäischen Industrie**.
- 5.** Grüner Wasserstoff hat den Vorteil, dass man ihn überall herstellen kann, wo es große verfügbare Flächen, Wind und Sonne gibt. Davon haben allerdings Europa und besonders Deutschland nicht genug, deshalb sind wir auf **Importe angewiesen**.

6. **Zugleich haben wir *jetzt* die Gelegenheit, nach jahrzehntelanger Abhängigkeit von Erdöl und Erdgas die **Energielandkarte neu zu gestalten**. Das bedeutet, neue **vertrauensvolle Energiepartnerschaften** auf Augenhöhe mit möglichst vielen verschiedenen Regionen der Welt zu schließen und die **Energieimporte über verschiedene Routen zu diversifizieren**.**
7. **Wasserstoff kann nicht nur helfen, die Klimaziele zu erreichen. Er ist zugleich eine riesige Business Opportunity**, von der alle Länder profitieren können. Europa ist *gerade noch* im Rennen, noch stehen wir an der technologischen **Spitze**. Wir müssen unser **Knowhow** halten und im Rennen bleiben, sobald **Wasserstoff** durch die Decke geht: Der Wettlauf gegen die Zeit hat begonnen.
8. **Wenn wir<sup>a</sup> es richtig anpacken, können wir in den kommenden Jahren aus Europa Spitzentechnologie und Knowhow exportieren und klimafreundlichen Wasserstoff importieren, während im globalen Süden mehr Jobs, Fortschritt und umweltgerechter Wohlstand entstehen. Wasserstoff ist somit auch eine wirkliche Chance, Wohlstand gerechter auf der Welt zu verteilen.**

---

**a** Wer ist mit „wir“ gemeint? In der vorliegenden HORIZONTE-Ausgabe finden sich aus Gründen der Verständlichkeit häufig „wir“-Formulierungen, wie „wir müssen loslegen“ oder „wir stehen an der technologischen Spitze“. Das ist im politischen Diskurs ebenfalls üblich und erleichtert das Lesen und Diskutieren. Gleichzeitig können „wir“-Formulierungen auch kritisch betrachtet werden: So könnte der (Fehl-)Eindruck entstehen, dass alle Akteure von Politik, Wirtschaft, Gesellschaft bis hin zu den Nationalstaaten per se an einem gemeinsamen Strang ziehen würden, wenn es um die Bewältigung globaler Herausforderungen geht. In der Realität einer dezentralen Marktwirtschaft haben Unternehmen wirtschaftliche Interessen und handeln nicht zwingend im Interesse des Gemeinwohls. Auch auf globaler Ebene gibt es Eigeninteressen der Nationalstaaten. Das „wir“ könnte zu einem idealisierten Blick auf die Umsetzbarkeit von Reform- und Transformationsprozessen führen, etwa im Bereich Energiewende und Klimaziele. Natürlich ist in diesen Kontexten ein „wir“ ebenso erstrebenswert wie möglich; es zu erreichen, erfordert jedoch große Anstrengung und wird nicht immer gelingen. Diese Differenzierung klarzustellen, ist uns wichtig, denn Ziel der acatech ist es, unabhängig, faktenbasiert und gemeinwohlorientiert Politik und Gesellschaft zu informieren.

# 1

## Was ist Wasserstoff und warum ist das Thema wichtig?

Willkommen in der faszinierenden Welt des Wasserstoffs. Warum sprechen alle darüber? Betrifft mich das überhaupt als normale\*r Bürger\*in? Welches Potenzial hat Wasserstoff für Umwelt und Klima? Erfahrt mehr darüber in unserem ersten Kapitel dieser HORIZONTE-Ausgabe.





Habt ihr eine Vorstellung, woher der ganze Hype um das Thema Wasserstoff kommt? Wissenschaftler\*innen<sup>b</sup> und Politiker\*innen aus aller Welt zerbrechen sich in letzter Zeit den Kopf darüber, die Medien berichten davon und die Wirtschaft will ihn so rasch wie möglich herstellen und nutzen. Dabei gibt es das Element Wasserstoff schon sehr lange; es ist sogar **älter als die Geschichte der Menschheit!** Wasserstoff wird heute **heiß diskutiert**, immer mehr Länder überlegen sich sogar eigene Wasserstoffstrategien, denn er spielt eine ganz bedeutende Rolle für unsere Zukunft. So einfach ist das aber nicht, wir befinden uns erst am Anfang. Noch sind **viele Fragen zu klären**. Unser **erstes Schaubild** zeigt, was wir meinen, wenn wir über Wasserstoff sprechen.

### **Warum ist Wasserstoff so wichtig? Betrifft mich das überhaupt?**

Die Möglichkeiten, klimafreundlichen Wasserstoff einzusetzen, sind riesig: Damit können wir erneuerbare Energien von A nach B bringen, in Zukunft klimafreundlichen Stahl herstellen, mithilfe von klimafreundlich produziertem Dünger für die Welternährung sorgen oder Güter sauberer bewegen (siehe Kapitel 2). Sprechen wir von Wasserstoff, meinen wir also eine ganze **Familie klimafreundlicher Technologien und Lösungen**, die einen **möglichst geringen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck hinterlassen**.

Wasserstoff wird damit zu einem **Schlüssel** für die **Energiewende** und die **Klimaziele**. Er ist *die* Chance, um **fossile Energieträger** wie Erdgas, Kohle und Erdöl **ein für alle Mal hinter uns zu lassen**. Zugleich ist er ein Schlüssel für die **Zukunft der europäischen Industrie**, also auch für unsere Arbeitsplätze. So viel steht also fest: Wasserstoff **betrifft uns alle**.

„Wasserstoff ist kein Hype-Thema, sondern notwendig, um die Energieversorgung zu sichern und die Klimaziele zu erreichen. Ich sehe keine Zukunft ohne Wasserstoff.“

„Die größte Lücke in der aktuellen Diskussion ist die Herausforderung der Größe: Die Mengen, die wir an Wasserstoff brauchen, sind gigantisch.“

### **Europäischer Green Deal: auf dem Weg zum ersten klimaneutralen Kontinent?**

Bestimmt habt ihr schon einmal vom europäischen Green Deal gehört. Das ist eine Art Fahrplan in eine nachhaltige EU-Wirtschaft. Dabei geht es um eine neue Strategie, die **Europa zu einem umweltschonenden, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaftsmodell** verhelfen soll, das für alle gerecht und inklusiv gestaltet ist. Keine leichte Aufgabe! Das ehrgeizige Ziel lautet, **bis 2050 treibhausgasneutral** und damit erster klimaneutraler Kontinent der Welt zu werden. Deutschland geht sogar einen Schritt weiter und will es bis 2045 schaffen. Übrigens: Als Teil des Green Deals hat die EU im Jahr 2020 eine eigene **Wasserstoffstrategie** formuliert.<sup>1</sup>

Bestimmt fragt ihr euch jetzt: Wo stehen wir heute? Relativ am Anfang. Im Schaubild **Was ist ein Elektrolyseur?** ist zu sehen, dass die Technologie, Wasserstoff in reiner Form herzustellen, kein Hexenwerk ist. Dennoch müssen wir zunächst die **Infrastruktur teils komplett neu bauen**, darunter Elektrolyseure, Wasserstoffterminals und Pipelines, um die **benötigten riesigen Mengen<sup>c</sup> an Wasserstoff** herzustellen<sup>2</sup> und zu transportieren (siehe Kapitel 2, Schaubild **Mit Wasserstoff Energie speichern und transportieren**). Außerdem brauchen wir dafür **zahlreiche Rohstoffe** (siehe Kapitel 3, Schaubild

Wo finden wir die Rohstoffe für einen Elektrolyseur?) und gigantische Mengen an erneuerbaren Energien. Vor allem in Europa sind hierfür neue Partnerschaften mit anderen Regionen der Welt zu knüpfen, die viele Rohstoffe, Wind, Sonne und ungenutzte Flächen haben, denn davon gibt es in Deutschland und Europa nicht genug (siehe Kapitel 3). Bis wir diese Infrastruktur haben und wir Wasserstoff in großen Mengen herstellen und weltweit transportieren, brauchen wir vermutlich **ein Jahrzehnt**. Das Ziel, das alle Länder erreichen wollen, ist die **Wasserstoffwirtschaft** (siehe Kapitel 4).

„Die Energiewende ist eigentlich keine schwierige Aufgabe. Wir machen uns bloß das Leben schwer, weil wir alles im Detail planen möchten. Wir können aber nicht so lange forschen, bis wir alles verstehen, wir haben beim Smartphone auch nicht beim iPhone X angefangen. Wir müssen einfach anfangen.“

Viel Zeit haben wir nicht; der **Klimawandel wartet nicht**. Schon jetzt erleben wir weltweit immer häufiger Extremwetter wie Hitzewellen, Überflutungen und Dürren. Wir müssen **jetzt loslegen** und so schnell wie möglich voranschreiten. Die gute Nachricht: Jede Tonne CO<sub>2</sub>, die wir heute einsparen, müssen wir später nicht aus der Atmosphäre entnehmen. Die **Kosten**, die wir heute für die **Energiewende** und den Aufbau der **Wasserstoffwirtschaft aufwenden, sparen wir uns später**, wenn der Schaden so groß ist, dass wir die **Folgen des Klimawandels** nicht mehr reparieren können.

### Henry Cavendish entdeckt die „brennbare Luft“

Im 18. Jahrhundert wollte der britische Adlige Henry Cavendish wissen, was passiert, wenn Metalle mit Säure reagieren. Bei seinem Experiment entstand ein **Gas, das sehr gut brannte**. Er nannte das Gas deshalb **„brennbare Luft“**. Wisst ihr, was diese brennbare Luft war? Richtig geraten, es handelte sich um Wasserstoff! Cavendish konnte nachweisen, dass bei der **Verbrennung von Wasserstoff nur Wasser entsteht**. Wasserstoff wird aber heute so wichtig, weil bei der Verbrennung **Energie frei wird, die wir nutzen können**. Im Vergleich zu Erdöl, Erdgas oder Kohle kommt dabei am Ende **kein umweltschädliches CO<sub>2</sub> raus, sondern Wasser**.

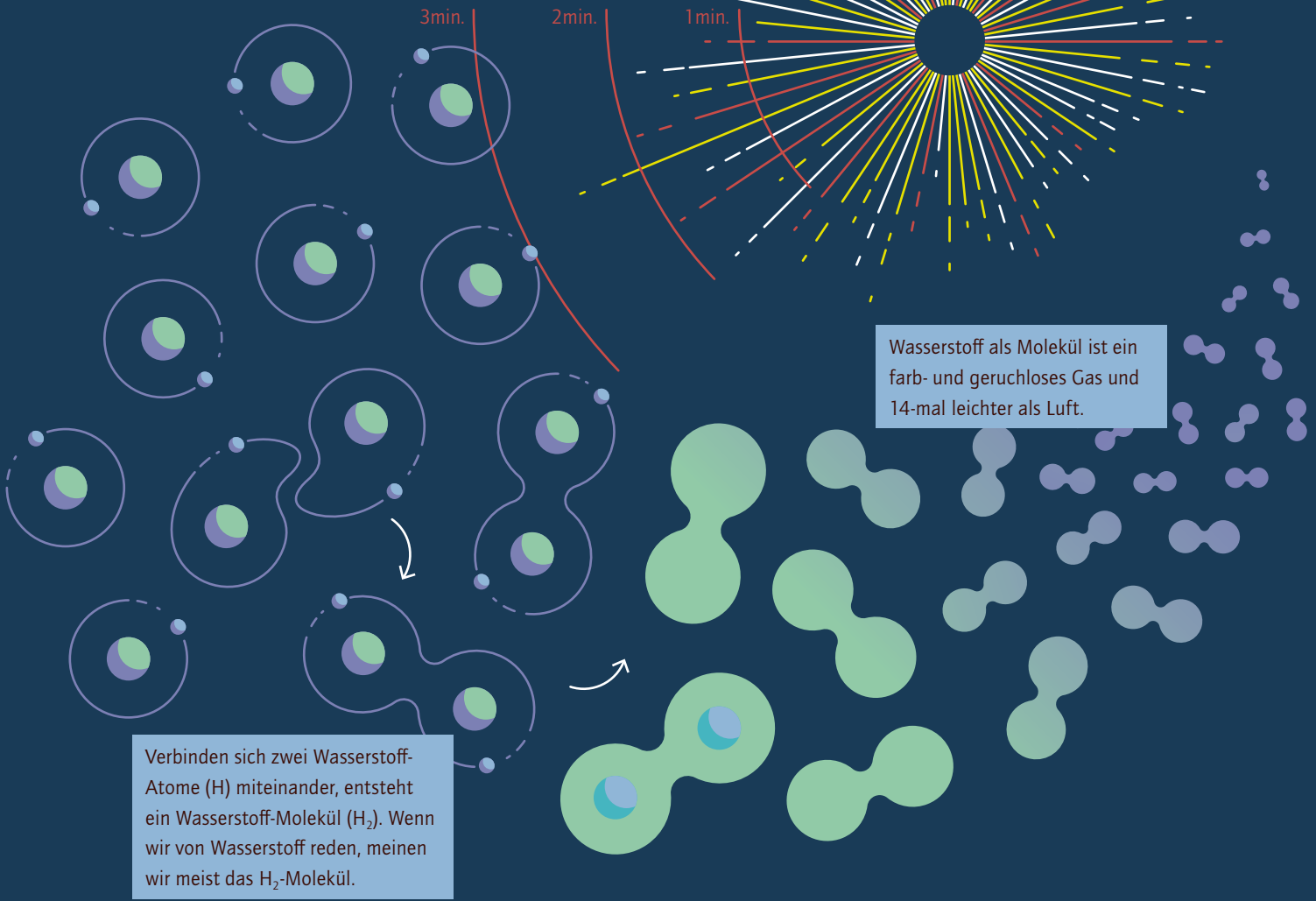
### Fun Fact: Energiewende

Wusstet ihr, dass der Begriff Energiewende aus Deutschland kommt? Das Wort erschien zum ersten Mal im Jahr 1980. Seitdem haben andere Länder den Begriff übernommen. So heißt es auf Englisch „The German Energiewende“ oder auf Portugiesisch „A Energiewende alemã“. Deutschland steht vor der Herausforderung, **gleichzeitig aus Atomenergie und fossilen Energien auszusteigen**. Als Industrieland ist das eine **besonders schwierige Aufgabe**. Umso wichtiger wird der Wasserstoff!

- b** Bei acatech legen wir Wert auf Diversität und wollen alle Menschen gleichermaßen ansprechen. In dieser HORIZONTE-Ausgabe verwenden wir deshalb Formulierungen, die ohne Verweis auf das Geschlecht auskommen, und lassen durch ein Sternchen zwischen weiblicher und männlicher Endung Platz für alle Gender.
- c** Was sind riesige Mengen? Laut Berechnungen zur Wasserstoffstrategie der deutschen Bundesregierung haben wir bis 2030 einen geschätzten Bedarf von 90 – 110 Terawattstunden (rund 3,4 Millionen Tonnen) Wasserstoff im Jahr. Noch ist unklar, wie viel davon nach Deutschland zu importieren ist. Studien errechneten, dass pro Jahr zwischen 50 und 90 Prozent des deutschen Bedarfs an Wasserstoff und seinen Syntheseprodukten wie Ammoniak oder Methan aus anderen Ländern eingekauft werden muss.<sup>2</sup>

## Was ist Wasserstoff?


Das Element Wasserstoff (H) gibt es seit ungefähr drei Minuten nach dem Big Bang. Es ist das häufigste Element des Universums.



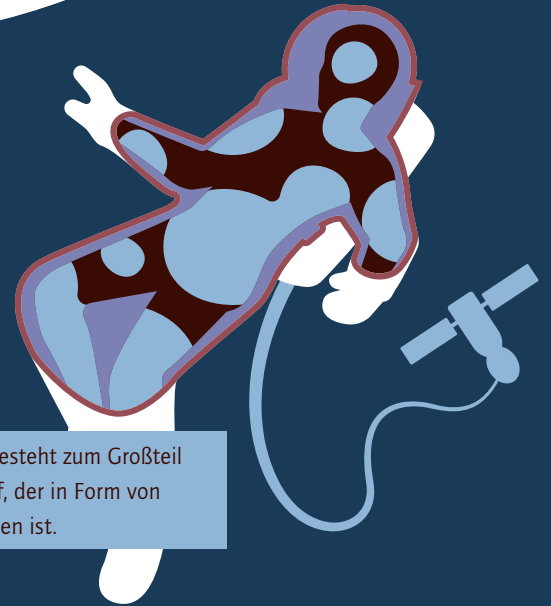
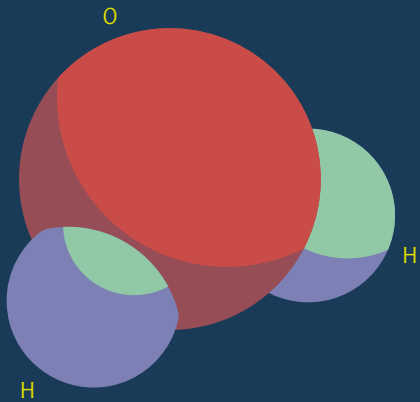
Wasserstoff als Molekül ist ein farb- und geruchloses Gas und 14-mal leichter als Luft.

Verbinden sich zwei Wasserstoff-Atome (H) miteinander, entsteht ein Wasserstoff-Molekül (H<sub>2</sub>). Wenn wir von Wasserstoff reden, meinen wir meist das H<sub>2</sub>-Molekül.

Quelle: eigene Darstellung

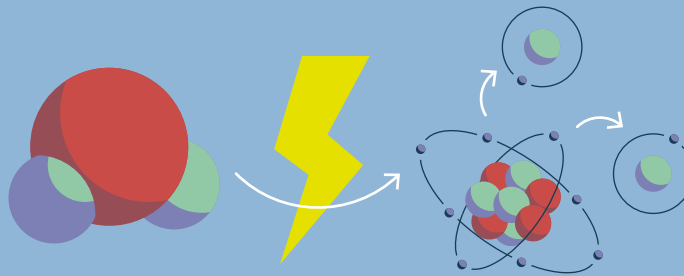


Wasserstoff auf der Erde gibt es meist nicht rein, sondern gebunden – etwa zusammen mit Sauerstoff (O) in Wasser (H<sub>2</sub>O).

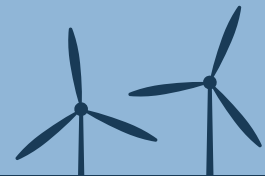


Unser Körper besteht zum Großteil aus Wasserstoff, der in Form von Wasser gebunden ist.

Wollen wir Wasserstoff nutzen, müssen wir ihn erst aus dem Wasser gewinnen. Dafür spaltet man Wasser in seine Bestandteile: Wasserstoff und Sauerstoff. Dafür ist Strom nötig.



Nur, wenn der Strom aus erneuerbaren Energien kommt, spricht man von grünem, klimafreundlichem Wasserstoff.



## Keine ideale Welt im energiepolitischen Dreieck: Wir, die Bevölkerung, sind gefragt

Wäre es nicht schön, wenn wir alle drei Ziele, **Umwelt- und Klimaverträglichkeit, Versorgungssicherheit und Bezahlbarkeit, gleichzeitig und gleich gut** erfüllen könnten? Die Theorie des energiepolitischen Dreiecks erklärt, wie es leider in der Realität aussieht: Je mehr wir uns einem Ziel annähern, umso mehr entfernen wir uns von einem anderen. Setzen wir auf Umweltverträglichkeit, also auf klimafreundlichen Wasserstoff, müssen wir mehr bezahlen, denn Wasserstoff ist aktuell teurer als fossile Energien. Diese wiederum bringen uns näher an das Ziel der Bezahlbarkeit, aber weiter weg von der Umweltverträglichkeit, denn sie stoßen CO<sub>2</sub> aus. Auch die Versorgungssicherheit ist im Falle eines Krieges oder politischer Instabilität nicht gesichert, wenn wir uns immer nur nach den günstigsten Preisen richten. Ein letztes Beispiel: Erhöhen wir den Anteil der erneuerbaren Energien, nähern wir uns zwar dem Ziel der Umweltverträglichkeit, entfernen uns aber vom Ziel Versorgungssicherheit, da uns Wind und Sonne nicht immer zur Verfügung stehen, wenn wir sie gerade brauchen.

Es gibt also **keine Ideallösung**. Wir müssen **zwischen diesen drei Zielen abwägen**. Welchen Weg wir gehen wollen, ist eine **politische Entscheidung**, und die dürfen wir **alle gemeinsam mitgestalten**. Schließlich ist **Politik ein Spiegel der Gesellschaft**: Als **Wähler\*innen** und **Bürger\*innen** können wir viel bewirken. So hat etwa die **Fridays-for-Future**-Bewegung dazu beigetragen, dass die Themen **Energiewende** und **Klimaziele weit oben auf der politischen Agenda** politischer Parteien von Ländern auf der ganzen Welt und sogar der Vereinten Nationen stehen. Dies ist ein Beispiel dafür, wie eine Gruppe (junger) **Menschen** eine weltweit politische Bewegung lostritt und das **politische Geschehen mitgestaltet**.

Genauso wichtig ist es, dass Politiker\*innen die gesamte **Bevölkerung informieren** und in diese **Abwägungen einbeziehen**, um Akzeptanz zu schaffen, wenn es etwa um den Bau von neuen Windparks oder Solaranlagen geht. Denn **erst wenn die Gesellschaft mitgeht und aktiv mitgestaltet, wird die Energiewende gelingen**.

Übrigens, Wasserstoff ist nicht nur grün, sondern bunt, wie das folgende Schaubild *Die Wasserstoff-Farbenlehre: eine typisch europäische Diskussion?* illustriert.

Wasserstoff gilt erst als **grün** und klimafreundlich, wenn wir ihn mithilfe von erneuerbaren Energien in einem Elektrolyseur herstellen. Ein anderer Weg ist zum Beispiel ein sogenannter Dampfreformer. Erhitzt man darin Steinkohle, Braunkohle oder Erdgas mit Wasser, entsteht Wasserstoff. Hier spricht man von **schwarzem, braunem oder grauem** Wasserstoff. Der Nachteil: Es entsteht klimaschädliches CO<sub>2</sub>. **Blauer** oder **türkiser** Wasserstoff funktionieren genauso, der Unterschied ist, dass kein CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangt, sondern weiterverwendet oder als fester Kohlenstoff im Untergrund gelagert wird. **Weißer** Wasserstoff, auch natürlicher Wasserstoff genannt, kommt in natürlichen Lagerstätten in molekularer Form vor, davon gibt es aber relativ wenig. Beim **pinken Wasserstoff** wird Wasserstoff mithilfe von Atomkraftenergie hergestellt. Nutzt man als Ausgangsstoff Biomasse wie Bioabfall, spricht man von **orangem** Wasserstoff.

„Der Weg zum grünen Wasserstoff ist bunt.“

Biotechnolog\*innen arbeiten an weiteren Verfahren, die noch in der Testphase sind. So können in Zukunft sogenannte Cyanobakterien über die Photosynthese aus Wasser Wasserstoff produzieren. Dabei handelt es sich um ein klimafreundliches Verfahren, das zudem wenige Ressourcen verbraucht.

**Wasserstoff** ist ein geruchs- und farbloses Gas, welches man unterschiedlich herstellen kann. Im Sprachgebrauch kennzeichnen wir die Herstellungsarten mit Farben.

**Was lief bisher?** Wasserstoff wird seit vielen Jahren mithilfe fossiler Energien wie Kohle und Erdgas produziert. Das hinterlässt einen großen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und schadet der Umwelt.

**Das Ziel:** Die Klimaziele erreichen. Deutschland und Europa setzen dafür langfristig auf grünen Wasserstoff aus erneuerbaren Energien.

**Das Problem:** Wir brauchen viele Jahre, bis wir die Infrastruktur haben und die benötigten gigantischen Mengen herstellen können.

**Der Weg:** Brückenlösungen, etwa blauer Wasserstoff aus Erdgas, bei dem CO<sub>2</sub> nicht in die Atmosphäre geht, sondern gespeichert wird. So können wir in der Übergangsphase den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Schritt für Schritt reduzieren.

**Gut zu wissen:** Nicht alle Länder diskutieren darüber, ob Wasserstoff pink, türkis, blau oder grün ist. Hauptsache Wasserstoff! In Europa wird die Farbenlehre heiß diskutiert.

Steinkohle

Braunkohle

Erdgas

Natürliches Vorkommen

Kernenergie

Bioenergie

Methanpyrolyse\*

Erdgas + CCS / CCU\*\*

Erneuerbare Energien

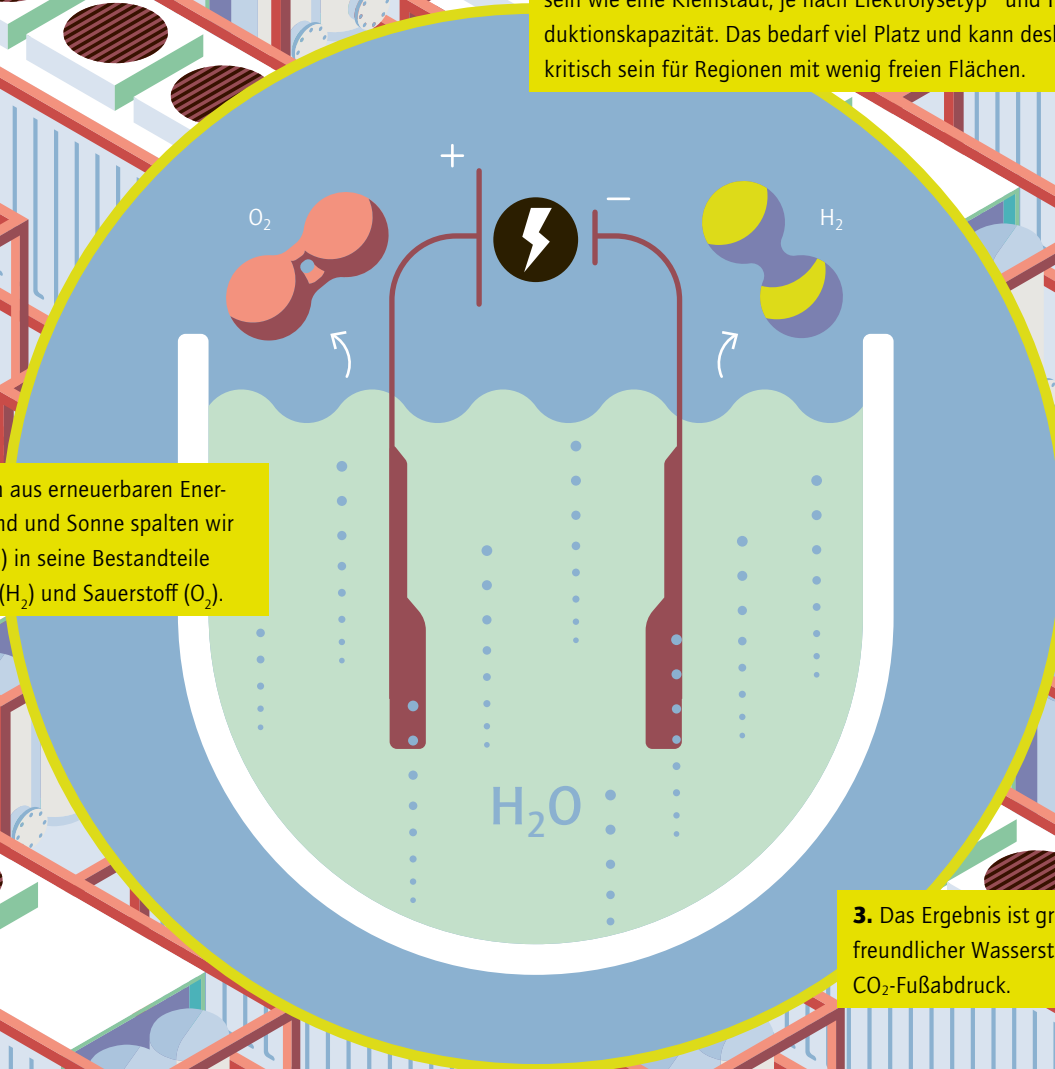
\*Bei türkischem Wasserstoff spaltet man das Methan aus Erdgas in Wasserstoff und festen Kohlenstoff.

\*\*Bei blauem Wasserstoff spaltet man Erdgas in Wasserstoff und CO<sub>2</sub>. Das CO<sub>2</sub> wird gespeichert oder wiederverwendet, sodass es nicht in die Atmosphäre gelangt (CCS / CCU = Carbon Capture Storage / Utilization).

## Was ist ein Elektrolyseur?

**1.** Elektrolyseur: stellt Wasserstoff her. In Zukunft bestehen große industrielle Anlagen aus mehreren Elektrolyseuren, Tanks, Pipelines, Wind- und Solarparks, und können so groß sein wie eine Kleinstadt, je nach Elektrolysetyp\* und Produktionskapazität. Das bedarf viel Platz und kann deshalb kritisch sein für Regionen mit wenig freien Flächen.

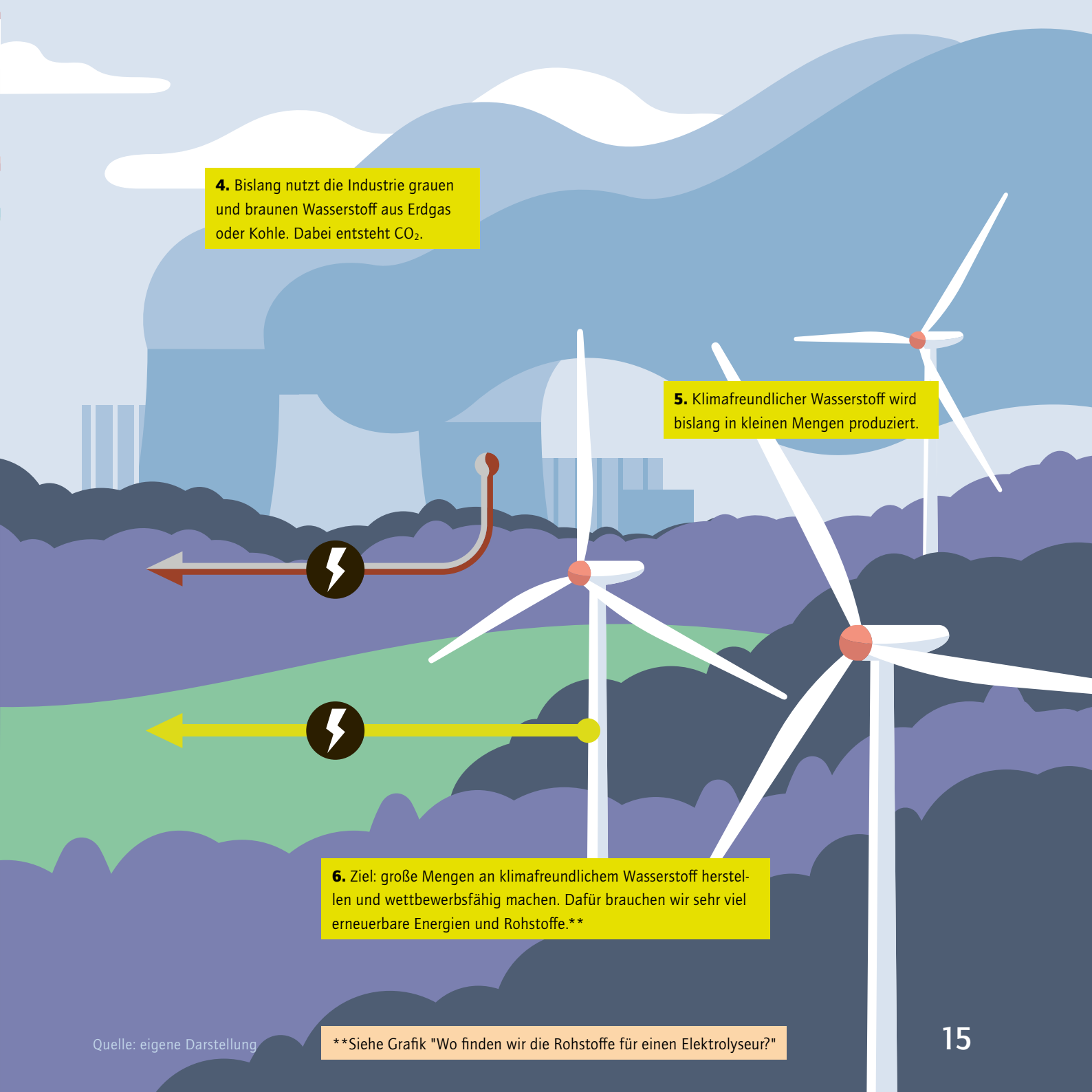
**2.** Mit Strom aus erneuerbaren Energien wie Wind und Sonne spalten wir Wasser ( $H_2O$ ) in seine Bestandteile Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ).



**3.** Das Ergebnis ist grüner, klimafreundlicher Wasserstoff, ohne  $CO_2$ -Fußabdruck.

\*Wir zeigen beispielhaft den alkalischen Elektrolyseur. Dies ist eine von mehreren Technologien. Es wird auch an anderen Elektrolyseuren geforscht, die alle ihre Stärken und Schwächen haben.





**4.** Bislang nutzt die Industrie grauen und braunen Wasserstoff aus Erdgas oder Kohle. Dabei entsteht CO<sub>2</sub>.

**5.** Klimafreundlicher Wasserstoff wird bislang in kleinen Mengen produziert.

**6.** Ziel: große Mengen an klimafreundlichem Wasserstoff herstellen und wettbewerbsfähig machen. Dafür brauchen wir sehr viel erneuerbare Energien und Rohstoffe.\*\*

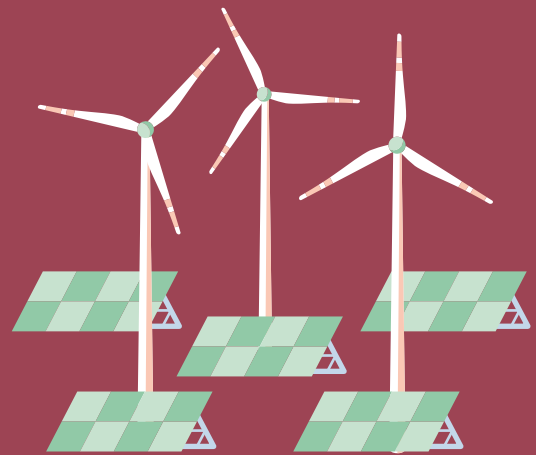
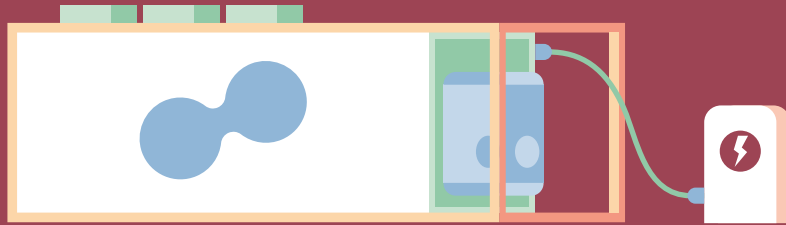
# 2

## Was ist heute schon möglich? Wo wollen wir hin?

Egal ob als Rohstoff für die Industrie, als Energiespeicher oder im Verkehr: Am klimafreundlichen Wasserstoff kommen wir nicht vorbei. Was ist heute technisch möglich? Wo liegen die Hürden und wo wollen wir hin? Kapitel 2 illustriert anhand von vier Bereichen, wo Wasserstoff heute und in Zukunft zum Einsatz kommen kann. Das nachfolgende Schaubild zeigt die vier Bereiche.



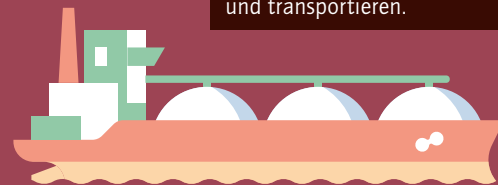
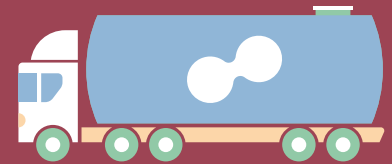
## Wo kommt Wasserstoff heute und in Zukunft überall zum Einsatz?



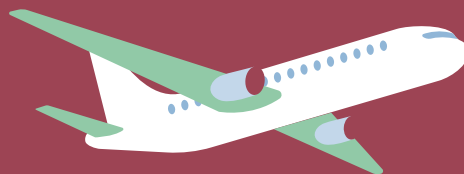
Wasserstoff in der Industrie



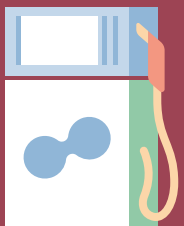
Mit Wasserstoff Energie speichern und transportieren.



Wasserstoff als Rohstoff für Düngemittel:  
Unersetzlich für die Welternährung



Klimafreundliche Mobilität:  
Wasserstoff und Strom im Tandem



## Wasserstoff in der Industrie

Wasserstoff ist das älteste Element im Universum. **Seit etwa hundert Jahren nutzt der Mensch Wasserstoff** – allerdings bislang fast keinen klimafreundlichen Wasserstoff. Am häufigsten setzt die Industrie grauen Wasserstoff aus Erdgas ein. Dabei nutzt sie Wasserstoff als **Rohstoff**, um etwa Stahl, Zement, Düngemittel für die Landwirtschaft, Kunststoffe oder Klebstoffe für Elektrogeräte herzustellen. Außerdem erzeugt die Industrie mit Wasserstoff Prozesswärme, zum Beispiel um Metalle oder Kunststoffe zu schmelzen. Der Haken: Bei **grauem Wasserstoff entsteht CO<sub>2</sub>**, welches schädlich für das Klima ist.

Wollen wir die **Klimaziele** erreichen, kommen wir somit am klimafreundlichen Wasserstoff, der keinen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck hinterlässt, nicht vorbei. Dazu müssen wir einen **großen Teil unserer Industrie**, die noch von **fossilen Energien** wie Kohle, Erdgas oder Erdöl abhängt, komplett auf den Kopf stellen. Vor allem Länder wie Deutschland, Japan, China oder die USA, die besonders stark von der Industrieproduktion abhängen, brauchen Wasserstoff in sehr großen Mengen, um ihre Fabriken am Laufen zu halten. Somit wird Wasserstoff zu einem **wichtigen Schlüssel für das Überleben der deutschen und europäischen Industrie**, also auch für unsere Arbeitsplätze und unseren Wohlstand (siehe Kapitel 4).

Die **Stahlbranche**, die noch größtenteils Kohle verwendet und deshalb einen besonders großen Hebel hat, hat die **Potenziale von klimafreundlichem Wasserstoff erkannt**: Sie arbeitet auf Hochtouren daran, ihr gesamtes **Produktionsmodell umzustellen** und **Europa fit für die grüne Zukunft** zu machen. Einen Überblick geben die nachfolgenden Schaubilder **Wasserstoff als Rohstoff in der Industrie** und **Wie sieht die Stahlproduktion der Zukunft aus?**.

„Öl und Gas müssen  
im Boden bleiben!  
Solange man noch sehr  
viel Geld damit  
verdienen kann, wird  
das aber schwierig.  
Je schneller wir also  
loslegen, umso rascher  
wird Wasserstoff  
wettbewerbsfähig und  
fossile Energien  
weniger rentabel.“

## Wasserstoff als Rohstoff in der Industrie

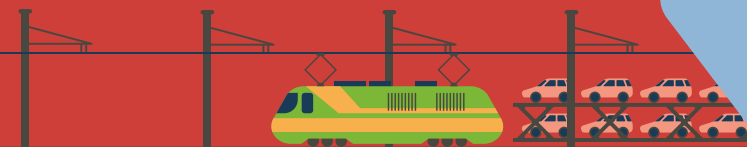
**1.** Die deutsche Industrie macht nahezu ein Viertel der deutschen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus, vor allem in den Bereichen Stahl und Chemie. Das Potenzial, diese Sektoren klimafreundlich zu gestalten, ist also riesig.



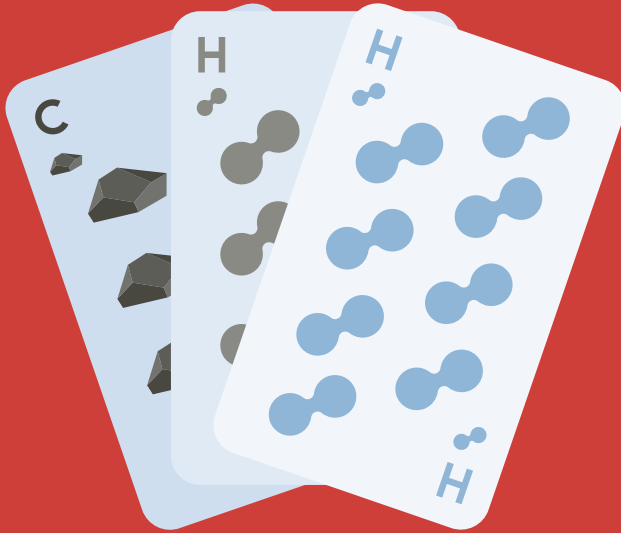
**2.** Stahl wird überall gebraucht: auf dem Bau, in Schienen, Zügen, Autos und Windrädern.



**3.** Bislang war die Stahlindustrie nicht sauber: Über 200 Jahre lang hat man Kohle verbrannt, um aus Eisenerz Stahl zu machen.



**4.** Heute können wir Kohle durch Wasserstoff ersetzen, der zunächst auch grauer oder blauer Wasserstoff aus Erdgas sein kann. Ziel ist es, den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck Schritt für Schritt zu reduzieren und bis 2045 ausschließlich klimafreundlichen Wasserstoff herzustellen.



**6.** Was noch? Komplette neue Produktionsanlagen, die mit Wasserstoff funktionieren. Das bedeutet Investitionen, die Milliarden kosten.



**5.** Was brauchen wir? Gigantische Mengen an Wasserstoff aus erneuerbaren Energien, die wir größtenteils importieren müssen. Dafür brauchen wir teils neue Häfen, Schiffe und Pipelines.



**7.** Und nun? So schnell wie möglich die Technologie skalieren, damit klimafreundlicher Stahl aus Europa wettbewerbsfähig wird.

## Wie sieht die Stahlproduktion der Zukunft aus?

Im traditionellen Hochofen erhitzt man Kohle und Eisenerz. Das Ergebnis: Roheisen, womit man Stahl herstellt. Das Verfahren nutzen wir seit über 200 Jahren. Der Nachteil: Wir pusten  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre.

Dabei entsteht kein klimaschädliches  $\text{CO}_2$  mehr, sondern klimafreundliches  $\text{H}_2\text{O}$ , das als Wasserdampf entwindet. Das finale Ergebnis: klimafreundlicher Stahl!

Im Hochofen der Zukunft wird dem Eisenerz ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), also dem Rohstoff für Stahl, nicht mehr Kohle, sondern Wasserstoff beigemischt. Um das Eisen zu schmelzen, wird künftig auch grüner Strom verwendet.

Doch so einfach ist das alles nicht! Das Verfahren für eine komplett  $\text{CO}_2$ -freie Stahlproduktion soll ab 2045 in der Industrie eingesetzt werden. Bis dahin arbeitet die Industrie mit Brückenlösungen, um den Einsatz von Kohle und somit den  $\text{CO}_2$ -Fußabdruck Schritt für Schritt zu reduzieren.



## Mit Wasserstoff Energie speichern und transportieren

Grüner Strom aus Sonne und Wind ist eine großartige Lösung, um die Klimaziele zu erreichen. Will man ihn **direkt nutzen**, stößt er jedoch an seine **Grenzen**, denn Wind und Sonne stehen dem Menschen nicht auf Abruf zur Verfügung, wann immer wir sie gerne hätten.

Bestimmt fragt ihr euch: Warum lässt sich **grüner Strom nicht einfach in Batterien speichern**? Das funktioniert teilweise, etwa im Akku eines Handys oder eines E-Autos. Wenn wir aber die Klimaziele erreichen und alle Sektoren, also Industrie, Verkehr oder Wärme, komplett umbauen und klimafreundlich machen wollen, brauchten wir sehr viele, sehr große Batterien mit vielen verschiedenen Rohstoffen aus aller Welt. Das wäre nicht bezahlbar und würde sich auf die Umwelt auswirken.

Hier kommt **Wasserstoff ins Spiel**. Damit können wir nämlich **Strom zwischenspeichern und von A nach B bringen**, um ihn später wieder in Strom umzuwandeln oder als Rohstoff in der Industrie einzusetzen – wo und wann wir ihn brauchen. Das macht uns zeitlich viel flexibler. Strom, den wir nicht sofort verbrauchen, geht nicht verloren. Wir können uns also **Wasserstoff metaphorisch als eine Art „Batterie“<sup>d</sup> vorstellen**, wie die beiden folgenden Schaubilder **Mit Wasserstoff Energie speichern und transportieren** im Überblick darstellen.

„Ob das Schiff zweitausend oder zwanzigtausend Kilometer fährt, macht keinen großen Unterschied, weil es mit Wasserstoff fährt.“

Allerdings gibt es einen Nachteil: Wenn wir Strom in Wasserstoff umwandeln und später wieder zurück, verlieren wir bei jedem Schritt einen Teil der gespeicherten Energie. **Forschende** arbeiten deshalb an der Frage, **wie wir Wasserstoff effizienter nutzen** können. Sobald wir genügend Wasserstoff und die globale Infrastruktur dazu haben, wird die Frage nach der Effizienz vermutlich nicht mehr so wichtig sein. Denn **erneuerbare Energien** haben den **gewaltigen Vorteil, dass sie uns nahezu unendlich zur Verfügung stehen**.

Unser Ziel ist daher eine klimaneutrale Zukunft, in der sich **Wasserstoff und Strom mit ihren Vor- und Nachteilen im Tandem ergänzen**.

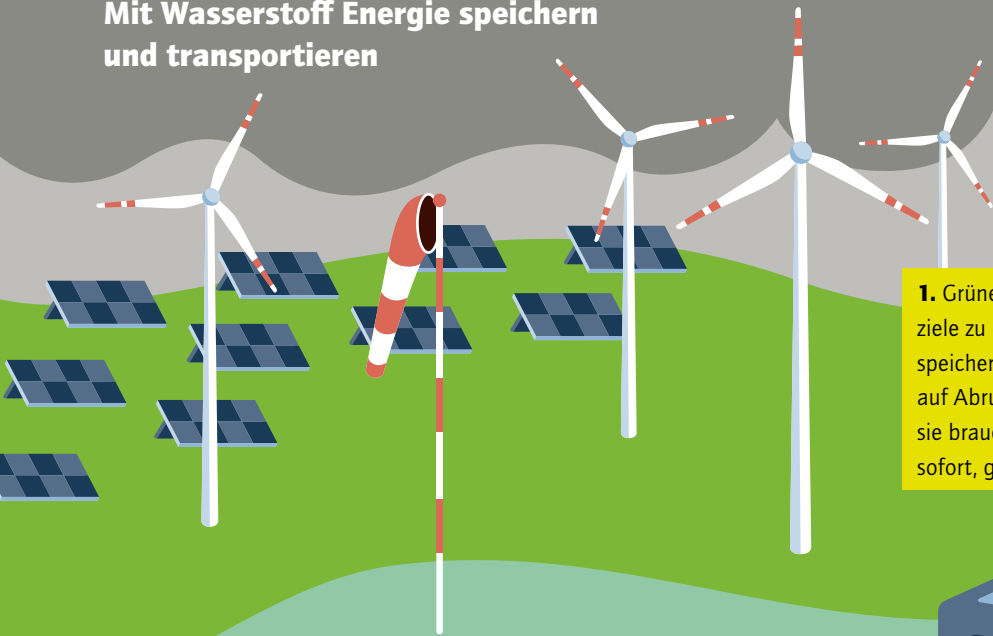
### Wie bringen wir den Wasserstoff nach Deutschland?

Deutschland wird den Bedarf an Wasserstoff voraussichtlich nur durch Importe aus EU- und Nicht-EU-Ländern decken können. Welche Optionen sind für den Transport von Wasserstoff geeignet? Welche Vor- und Nachteile haben sie? Welche Hemmnisse stehen dem Aufbau von Handelsbeziehungen entgegen? Diesen Fragen ist eine Arbeitsgruppe des Akademien-Projekts Energiesysteme der Zukunft (ESYS) nachgegangen, die acatech koordiniert. Neugierig? Dann werft einen Blick in die Analyse „Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030.“<sup>2</sup>



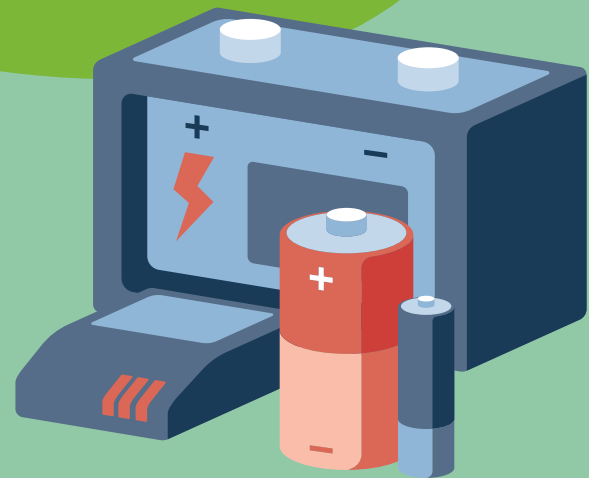
<sup>d</sup> Dies ist nur eine Metapher, um sich Wasserstoff besser vorstellen zu können. Genau genommen, ist eine Batterie ein Energiespeicher, Wasserstoff ist ein Energieträger. Bei einer Batterie kann ich den gespeicherten Strom direkt nutzen, wenn ich die Batterie an eine Verbraucherquelle anschließe. Möchte ich die in Wasserstoff gespeicherte Energie einsetzen, muss ich den Wasserstoff zunächst „wandeln“, zum Beispiel in einer Brennstoffzelle. Man sagt auch, dass es sich bei Wasserstoff um einen chemischen Speicher handelt.

## Mit Wasserstoff Energie speichern und transportieren

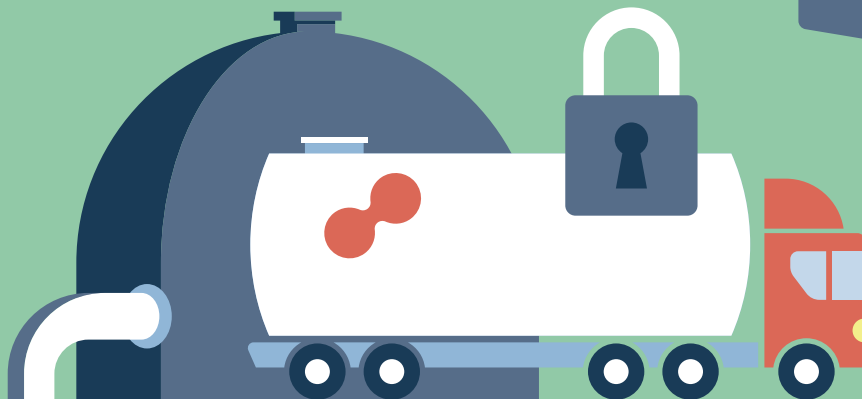


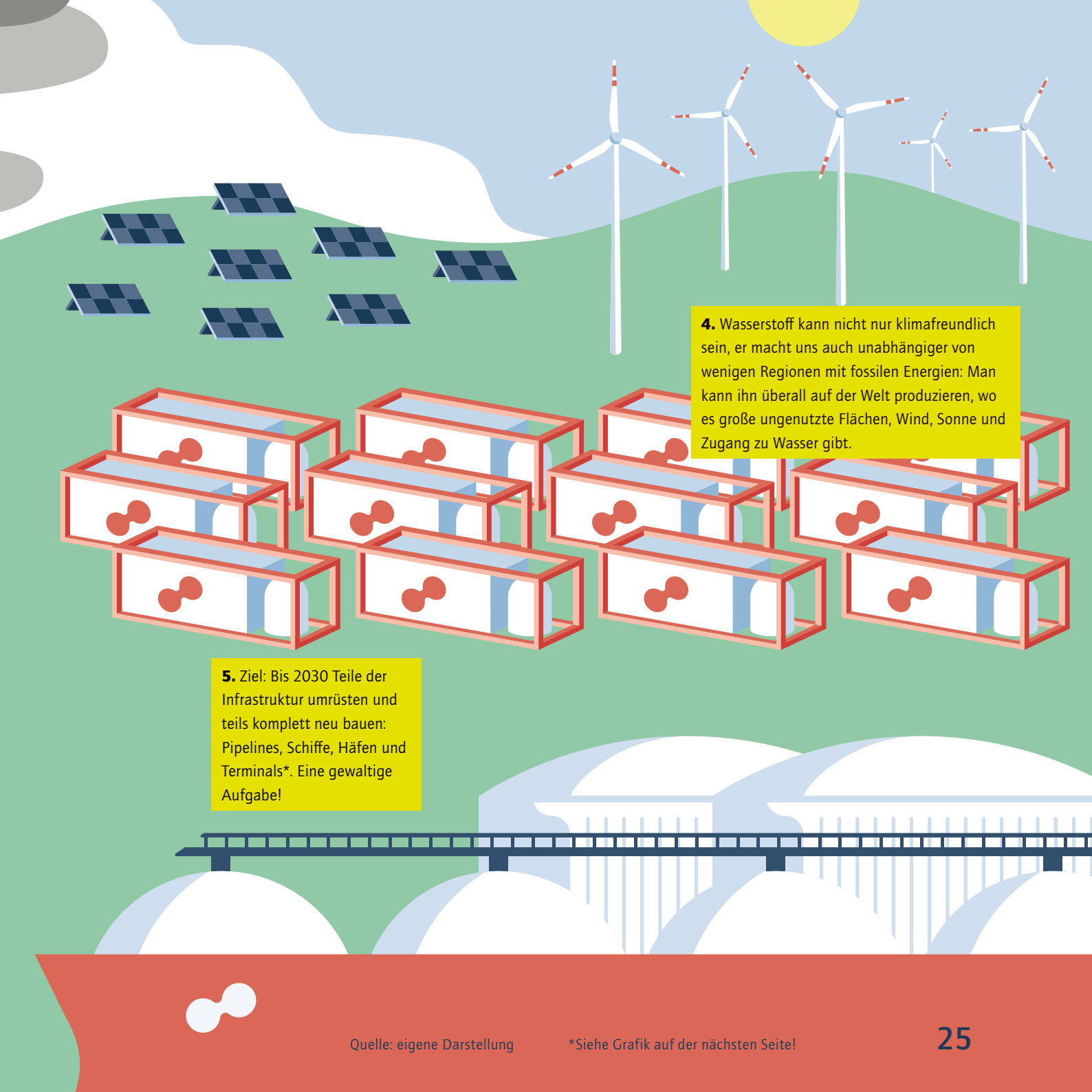
**1.** Grüner Strom ist wichtig, um die Klimaziele zu erreichen, lässt sich aber schwer speichern: Wind und Sonne stehen nicht auf Abruf zur Verfügung, wann immer wir sie brauchen. Nutzen wir den Strom nicht sofort, geht er verloren.

**2.** Warum nicht Batterien? Das funktioniert teilweise, etwa im Akku eines Handys. Möchten wir die durch Erdgas und Kohle rund um die Uhr verfügbare Energie durch erneuerbaren Strom ersetzen, wären so viele Batterien nötig, dass es nicht machbar wäre.



**3.** Hier kommt Wasserstoff ins Spiel: Er kann Energie zwischenspeichern und von A nach B bringen, um sie später wieder in Strom umzuwandeln oder als Rohstoff einzusetzen, wo und wann immer wir ihn brauchen.





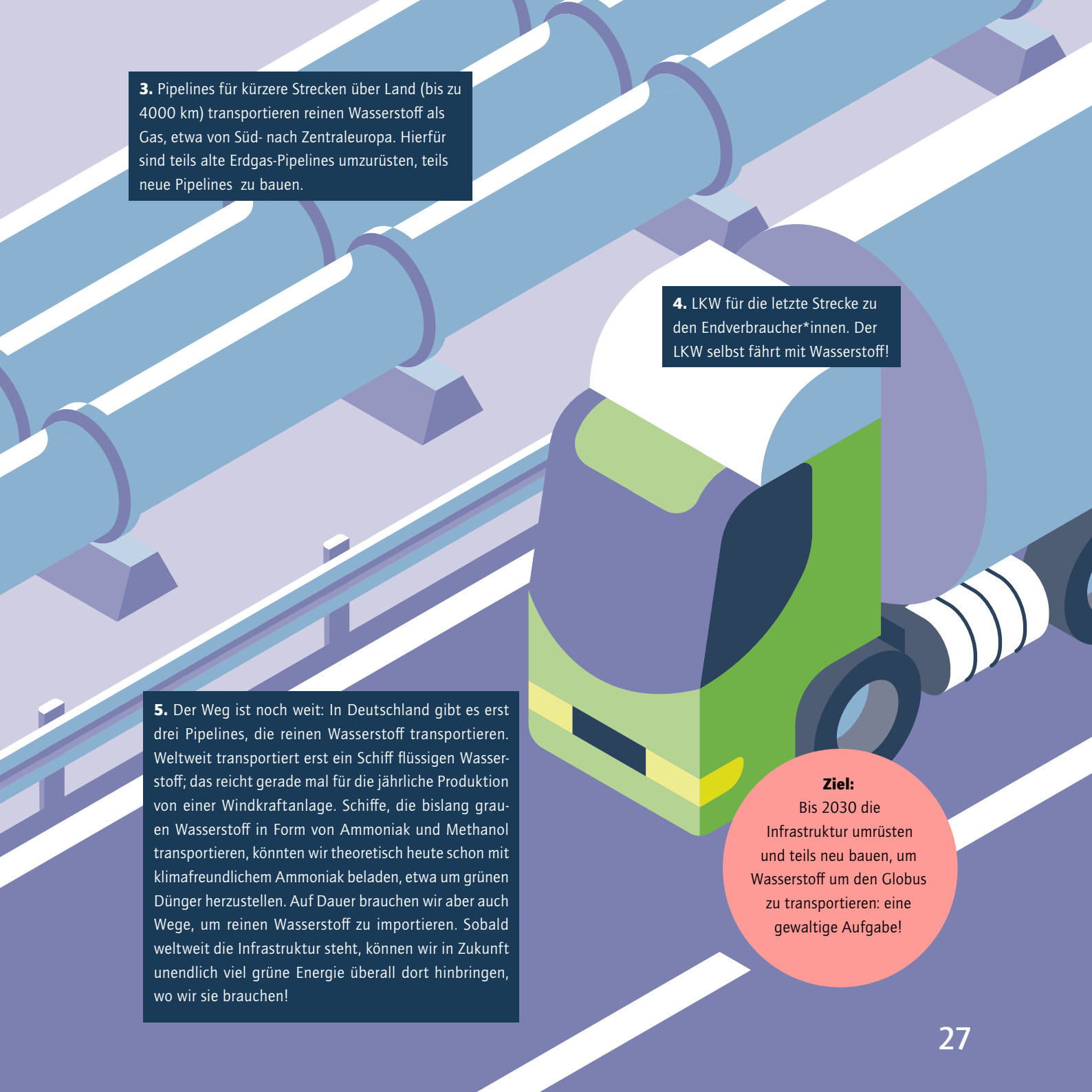
**4.** Wasserstoff kann nicht nur klimafreundlich sein, er macht uns auch unabhängiger von wenigen Regionen mit fossilen Energien: Man kann ihn überall auf der Welt produzieren, wo es große ungenutzte Flächen, Wind, Sonne und Zugang zu Wasser gibt.

**5.** Ziel: Bis 2030 Teile der Infrastruktur umrüsten und teils komplett neu bauen: Pipelines, Schiffe, Häfen und Terminals\*. Eine gewaltige Aufgabe!

## Mit Wasserstoff Energie speichern und transportieren

2. Häfen & Terminals: inländische Verteilung von Wasserstoff

1. Schiffe für lange Strecken, die Wasserstoff in Flüssigform gekühlt auf  $-253^{\circ}\text{C}$  oder umgewandelt in klimafreundliches Ammoniak oder Methanol transportieren. Das Schiff selbst fährt mit Wasserstoff, etwa von Australien, Südamerika oder Afrika bis Europa! Es gibt mehrere Lösungen, Wasserstoff per Schiff zu transportieren, mit Vor- und Nachteilen. Wir brauchen einen Technologie-Mix.



**3.** Pipelines für kürzere Strecken über Land (bis zu 4000 km) transportieren reinen Wasserstoff als Gas, etwa von Süd- nach Zentraleuropa. Hierfür sind teils alte Erdgas-Pipelines umzurüsten, teils neue Pipelines zu bauen.

**4.** LKW für die letzte Strecke zu den Endverbraucher\*innen. Der LKW selbst fährt mit Wasserstoff!

**5.** Der Weg ist noch weit: In Deutschland gibt es erst drei Pipelines, die reinen Wasserstoff transportieren. Weltweit transportiert erst ein Schiff flüssigen Wasserstoff; das reicht gerade mal für die jährliche Produktion von einer Windkraftanlage. Schiffe, die bislang grauen Wasserstoff in Form von Ammoniak und Methanol transportieren, könnten wir theoretisch heute schon mit klimafreundlichem Ammoniak beladen, etwa um grünen Dünger herzustellen. Auf Dauer brauchen wir aber auch Wege, um reinen Wasserstoff zu importieren. Sobald weltweit die Infrastruktur steht, können wir in Zukunft unendlich viel grüne Energie überall dort hinbringen, wo wir sie brauchen!

**Ziel:**  
Bis 2030 die Infrastruktur umrüsten und teils neu bauen, um Wasserstoff um den Globus zu transportieren: eine gewaltige Aufgabe!



„Erneuerbare Energien sind wie Flatrates. Solarenergie deckt das Zehntausendfache des Energiebedarfs des Menschen. Nur die Technologie hat uns bislang gefehlt.“

### **Wasserstoff für die Welternährung**

Schon seit Tausenden von Jahren düngen die Menschen Felder mit Gülle oder Mist, damit die Pflanzen besser wachsen. Auch heute müssen wir Ackerböden düngen, um die **wachsende Weltbevölkerung zu ernähren**. Als Dünger setzen wir teilweise immer noch Mist ein, zusätzlich stellen wir in großen Mengen **synthetischen Dünger** her. Aber warum müssen wir immer mehr düngen?

Einer der wichtigsten Dünger basiert auf **Stickstoff**. Stickstoff ist notwendig, damit Obst, Gemüse, Getreide oder Reis wachsen. Wir finden ihn zu großen Anteilen in der Luft; **Pflanzen können diesen Luftstickstoff jedoch nicht direkt aufnehmen**. Stickstoff gibt es aber auch im Boden, und diesen können die Pflanzen über ihre Wurzeln aufnehmen. In der Natur wachsen Pflanzen dort, wo sie nach dem Absterben auch verrotten. Dadurch kann der in der **Pflanze** gespeicherte Stickstoff wieder in den Boden gelangen; die neue Pflanzengeneration nimmt diesen **Stickstoff wieder über ihre Wurzeln** auf: Das ist der **Kreislauf der Natur**. Dies ist in der **Landwirtschaft jedoch nicht der Fall**. Hier **erntet der Mensch Pflanzen, bevor sie verrotten**. Da Ackerböden durch die Pflanzen Stickstoff verlieren und kein neuer Stickstoff auf natürliche Weise durch die verrotteten Pflanzen hinzukommt, **müssen wir Stickstoff über Düngemittel hinzufügen**. Nur so können Pflanzen auch in Zukunft wachsen.

Wirklich, nur so? Nicht ganz. Wir stehen vor der Frage, **wie wir unsere Landwirtschaft und Ernährung in Zukunft anpassen**. Dazu gehört, dass wir **nachhaltiger konsumieren**, weniger Essen wegwerfen und dadurch **weniger Flächen** brauchen. So müssten wir auch **nicht immer alle Flächen abernten**, könnten teilweise die **Pflanzen in ihrem natürlichen Kreislauf belassen** und Düngemittel reduzieren.

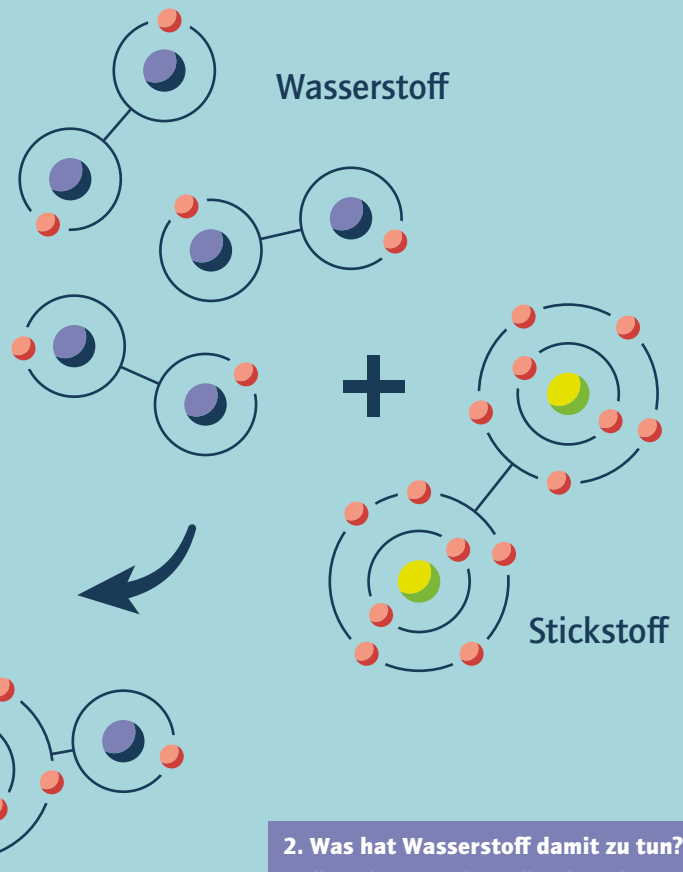
Was hat das mit Wasserstoff zu tun? Ganz am Anfang der **Düngerherstellung steht Ammoniak**, eine Stickstoffverbindung aus **Wasserstoff** und elementarem Stickstoff. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts gelang es den deutschen Chemikern Fritz Haber und Carl Bosch im sogenannten Haber-Bosch-Verfahren aus Wasserstoff und Luftstickstoff Ammoniak herzustellen. Damit konnte der Mensch mehr Pflanzen ernten und so die wachsende Bevölkerung ernähren. **Ammoniak** und folglich auch **Wasserstoff** sind also ein **wichtiger Bestandteil unserer heutigen Nahrungsversorgung**.

Wo liegt das Problem? Seit dem 20. Jahrhundert bis heute stellen wir **Ammoniak meist mithilfe von Wasserstoff aus Erdgas oder Kohle** her und pusten damit sehr viel CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre. Da wir nicht auf Ammoniak verzichten können, weil unsere Landwirtschaft sehr stark von dem Dünger abhängig ist, ist es wichtig, Ammoniak möglichst klimafreundlich herzustellen. Auch hier ist also **klimafreundlicher Wasserstoff unsere einzige Option**.

Einen Überblick liefert das nachfolgende Schaubild **Wasserstoff als Rohstoff für Düngemittel: unersetzlich für die Welternährung**.

## Wasserstoff als Rohstoff für Düngemittel: unersetzlich für die Welternährung

Um die wachsende Weltbevölkerung zu ernähren, brauchen wir Pflanzendünger für die Landwirtschaft. Auch hier kommt Wasserstoff ins Spiel: Er ist wichtiger Rohstoff in der Herstellung von Dünger. Wie Pflanzen, Wasserstoff, Dünger und letztlich unsere Nahrungsmittelversorgung zusammenhängen, erklären wir hier.



### 2. Was hat Wasserstoff damit zu tun?

Wollen wir Dünger herstellen, brauchen wir Wasserstoff: Im Haber-Bosch-Verfahren wird aus Wasserstoff und Stickstoff aus der Luft Ammoniak ( $NH_3$ ). Ammoniak ist das Startprodukt der Düngerherstellung.

### 1. Was ist Dünger?

Damit Pflanzen wie Getreide oder Mais auf den Feldern wachsen, brauchen sie bestimmte Nährstoffe. Der wichtigste Nährstoff ist Stickstoff ( $N_2$ ), der in der Landwirtschaft in Form von Dünger auf die Felder ausgebracht wird.

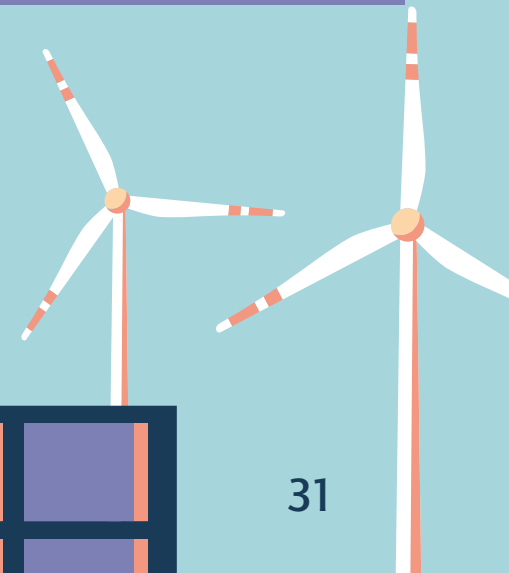




**3.** Momentan verbrauchen wir die Hälfte des in Europa produzierten Wasserstoffs, um Dünger herzustellen. Wir brauchen also riesige Mengen an Wasserstoff, um genug Dünger und damit genügend Nahrung für die Bevölkerung zu produzieren.



**4.** Seit den letzten hundert Jahren bis heute wird Dünger mit Wasserstoff aus Erdgas oder Kohle hergestellt, und das ist schlecht für die Umwelt: Pro Tonne Ammoniak entstehen zwei Tonnen CO<sub>2</sub>! Verwenden wir jedoch klimafreundlichen Wasserstoff, kann das Klima aufatmen.



„Wasserstoff wird Teil unseres Alltags: Ich kann mir vorstellen, dass wir künftig Obst und Gemüse kaufen, welches ein Wasserstoff-LKW zum Supermarkt bringt. Der LKW wird mit grünem Stahl produziert, der wiederum mit Wasserstoff aus grünem Strom gemacht wird.“

## **Klimafreundliche Mobilität: Wasserstoff und Strom im Tandem**

Verkehr hinterlässt einen erheblichen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Batterien in E-Autos sind eine Lösung, um emissionsfrei zu fahren, sie stoßen jedoch an ihre Grenzen: Ein Lastwagen, ein Schiff oder ein Flugzeug brauchten so große und schwere Batterien, dass diese nicht wirklich weit fahren oder fliegen könnten und dafür sehr große Mengen an Rohstoffen nötig wären. Das derzeit leichteste Elektroflugzeug hat eine Batterie, die sechzig Prozent des Gesamtgewichts ausmacht. Mit diesem Flugzeug können maximal neun Passagiere knapp sechshundert Kilometer weit fliegen, somit könnte es Strecken wie Los Angeles - San Francisco oder London - Paris schaffen.<sup>3</sup>

Hier kommt erneut Wasserstoff ins Spiel: Er kann **Strom aus erneuerbaren Energien speichern** und im **Auto oder Flugzeug aus Wasserstoff wieder Strom machen**. Aus dem Auspuff kommen keine klimaschädlichen Abgase, sondern praktisch nur Wasser.

Wasserstofffahrzeuge und Wasserstofftankstellen gibt es bereits in mehreren Ländern, darunter Korea, China, USA, Japan, Frankreich oder auch Deutschland. Die Technologie funktioniert, aber wir stehen noch am Anfang. Dabei geht es nicht um die Frage, ob **Wasserstoff oder Batterie, wir brauchen nämlich beide**. Denn nur so können wir Mobilität nachhaltiger machen und die Klimaziele erreichen. Das Schaubild **Klimafreundliche Mobilität: Wasserstoff und Strom im Tandem** gibt einen Überblick.

### Wie viel Wasserstoff benötigt ein Wasserstoffbus?

Die deutsche Bundesregierung rechnet bis 2030 mit einem jährlichen Wasserstoffbedarf von 90 – 110 Tera-wattstunden. Mit dieser Zahl können wohl nur wenige etwas anfangen. Deshalb ein fiktiver Vergleich: Mit dieser Wasserstoffmenge könnte theoretisch die gesamte deutsche Busflotte sieben bis acht Jahre lang fahren.<sup>9</sup> In der Realität ist jedoch noch unklar, wie viel Wasserstoff in welche Sektoren fließen wird, etwa in die Industrie oder Mobilität.

### Ist Wasserstoff gefährlich?

Wasserstoff kann, wie alle brennbaren Gase, explodieren. Speichert und transportiert man Gas, ist die Sicherheit mitzudenken. Damit eine Pipeline oder ein Gastank bei einem Unfall nicht platzen, gibt es Sicherheitsventile, damit der Wasserstoff abgelassen wird und nicht explodiert. Versuche mit **Wasserstoffautos zeigen, dass Wasserstoff nicht gefährlicher ist als fossile Energieträger**. Auch die chemische Industrie hat jahrelange Erfahrung mit Wasserstoff, auf die Industrie und Wissenschaft jetzt beim klimafreundlichen Wasserstoff aufbauen können.

### Sozial gerechte Energiewende für alle?

Wie können wir den **Klimawandel bekämpfen und die Energiewende sozial gerecht** gestalten, also so, dass die **Lebensbedingungen und Chancen für alle Menschen** in der Gesellschaft annähernd gleich sind? Im besten Fall werden dabei die Perspektiven und die unterschiedlichen Voraussetzungen aller Menschen einbezogen. Relevante Unterschiede können sich entlang vieler Dimensionen ergeben. Beispiele sind **Geschlecht, ethnische Zugehörigkeit, Alter, Religion, Behinderung oder sexuelle Orientierung**. Im Kontext von Klimawandel, Energie und Wasserstoff spricht beispielsweise die **EU-Kommission** direkt die **Gleichberechtigung von Frauen** an, indem sie in ihrem Europäischen Green Deal die unterschiedlichen Lebensverhältnisse von Männern und Frauen berücksichtigt.

Denn Frauen und Männer sind von den Maßnahmen gegen den Klimawandel nicht in gleichem Maße betroffen. So weisen **Frauen ein höheres Risiko** auf, unter **Energiearmut** zu leiden. Denn Frauen haben öfter Schwierigkeiten, die Rechnungen für ihre Energiekosten wie Strom oder Gas zu bezahlen, vor allem weil sie häufig immer noch weniger verdienen als Männer.<sup>4</sup> Mit steigenden Energiepreisen aufgrund des Krieges in der Ukraine (Stand September 2022) und der **Umstellung auf erneuerbare Energien**, die derzeit teurer sind als fossile, wird dieser **Gendergap noch größer**. Es ist richtig, dass die Politik bei der Umstellung auf eine Wasserstoffwirtschaft diese Ungleichheiten verantwortungsvoll mitdenkt.

Der Gendergap bei der Energiearmut ist aber bei Weitem nicht alles: In den Führungsetagen von Energiekonzernen sitzen vornehmlich Männer.<sup>5</sup> Weltweit leiten Männer 94 Prozent der Minister\*innenposten, die für nationale Energiepolitik zuständig sind. Nur vier Länder der Europäischen Union hatten 2019 Energieministerinnen.<sup>6</sup>

Gut, dass die EU das schon auf dem Schirm hat. Insbesondere hat sie eine **Strategie für die Gleichstellung der Geschlechter**<sup>7</sup> entwickelt und mit konkreten Maßnahmen unterlegt, die sie bis 2025 umsetzen will.

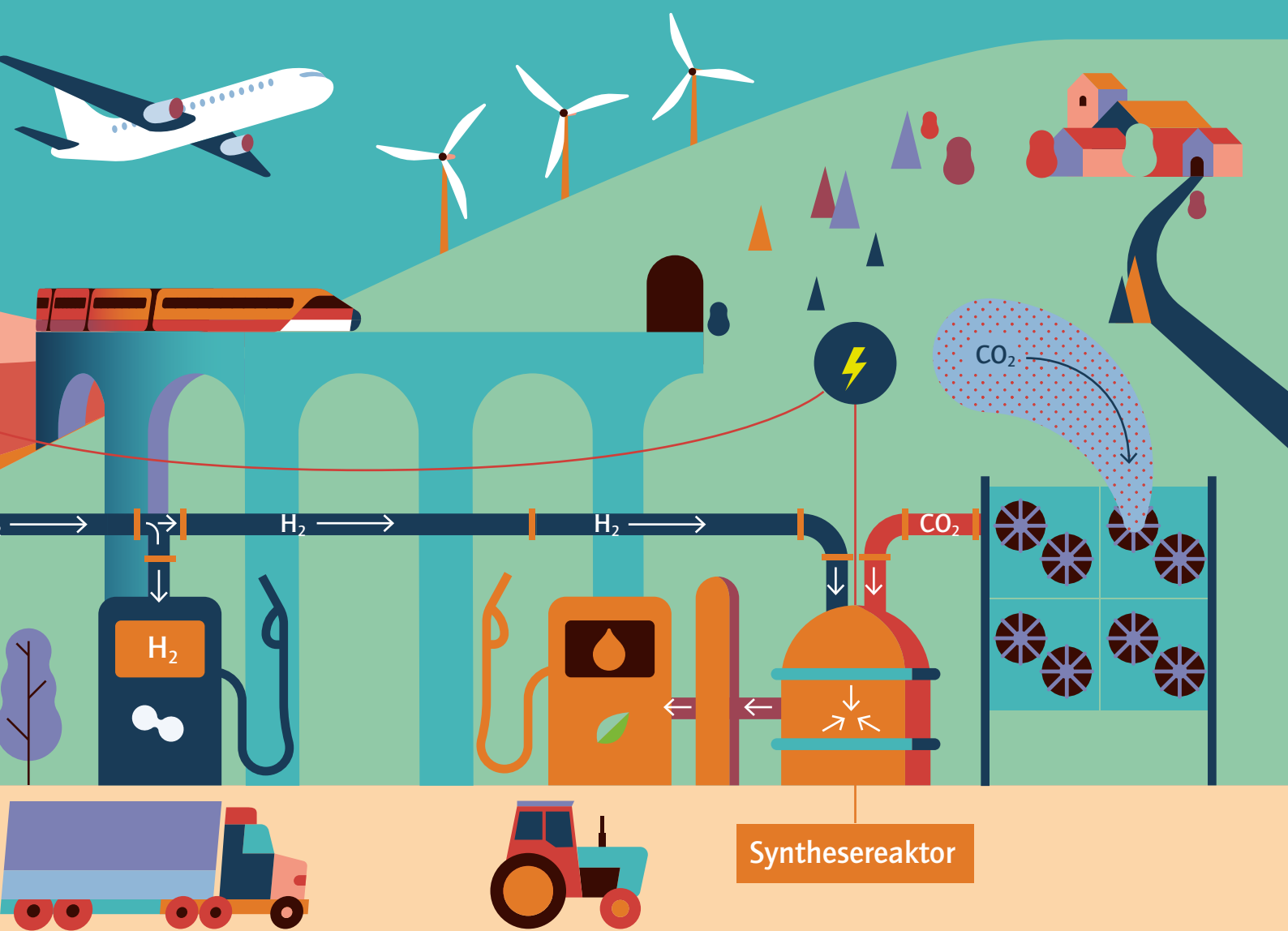
## Klimafreundliche Mobilität: Wasserstoff und Strom im Tandem

Verkehr hinterlässt einen erheblichen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Mobilität kann aber auch klimafreundlicher sein. Auch hier ist Wasserstoff ein Schlüssel.



**1.** Batterien sind eine Lösung, um emissionsfrei zu fahren, stoßen aber an ihre Grenzen: Schwere Fahrzeuge, Züge, Schiffe oder Flugzeuge brauchen so große Batterien, dass sie nicht weit fahren oder fliegen könnten.

**2.** Wasserstoff kommt zur Rettung: Er wird im Elektrolyseur aus Wasser gewonnen und später im Auto, LKW oder Flugzeug wieder in Wasser umgewandelt; dabei wird Energie freigesetzt. Das passiert in einer Brennstoffzelle. Die Vorteile: weniger Lärm, weniger Verschleißteile, keine Abgase.



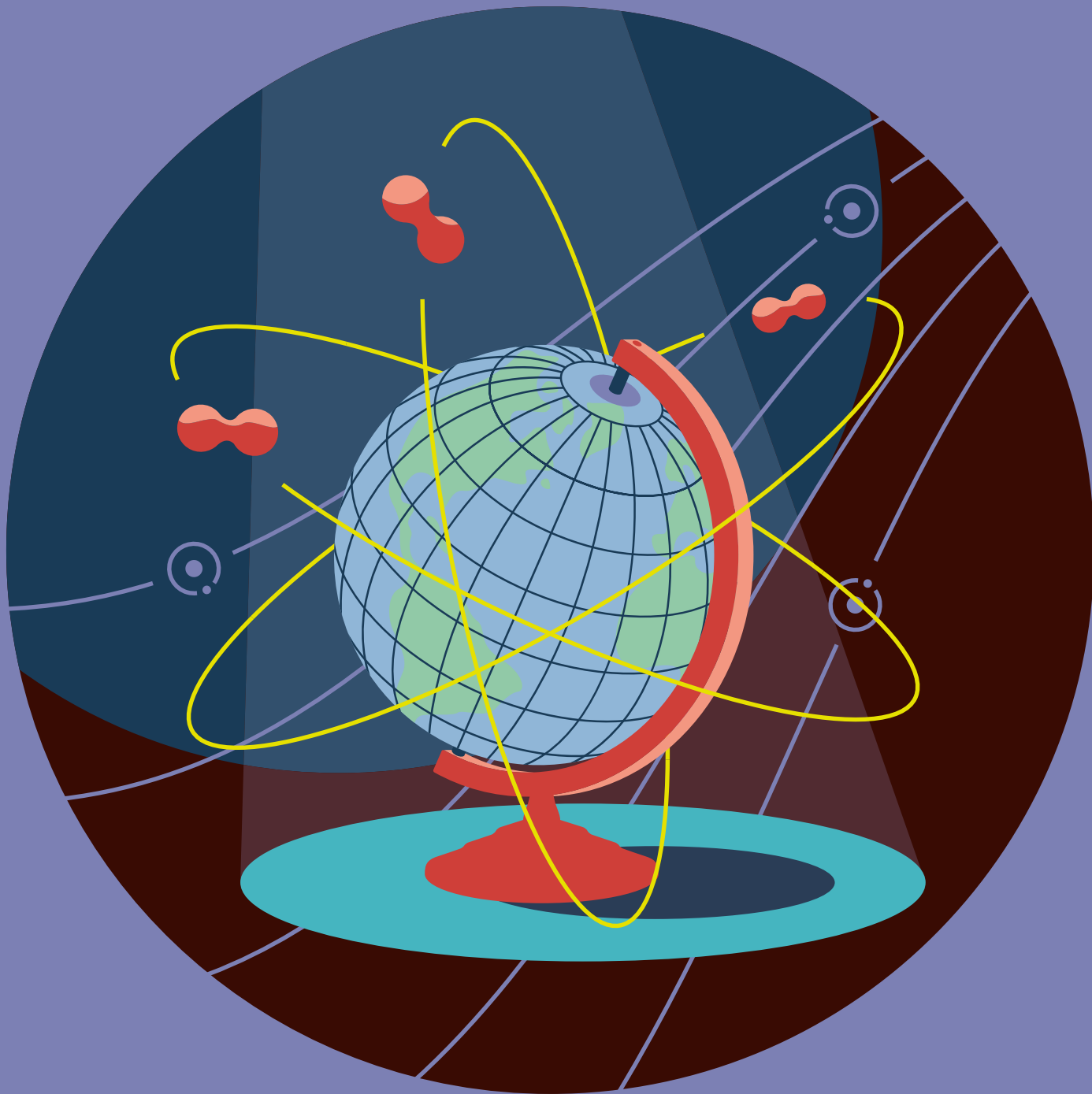
Synthesereaktor

**3.** Mischt man in einem Synthesereaktor Wasserstoff mit  $CO_2$ , das aus der Atmosphäre abgegriffen wird, kann man damit klimaneutrales E-Fuel machen. Vorteil: Es funktioniert auch mit herkömmlichen Dieselaufos und Benzinern. Nachteil: Das abgegriffene  $CO_2$  landet wieder in der Atmosphäre.

# 3

## Wasserstoff ja, aber woher und wohin? Der globale Blick

Viele Länder haben die Potenziale von Wasserstoff für Umwelt und Industrie längst erkannt. Woher soll aber der Wasserstoff kommen und wer bekommt diesen zuerst, bis genug für alle da ist? Kapitel 3 gibt einen Überblick.



„Studien zufolge könnten wir mit nur zwei Prozent der Landfläche Australiens mithilfe von Solar- und Windenergie riesige Mengen an klimafreundlichem Wasserstoff herstellen.<sup>8</sup> Das würde theoretisch reichen, um den Bedarf Deutschlands sogar mehrfach zu decken.“

**Wasserstoff funktioniert nur global:** Wir können uns in Europa noch so sehr bemühen und unser Leben auf klimafreundliche Lösungen umstellen. **Erst wenn alle Regionen und Länder mitziehen** und **global den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck mindern**, werden wir die **Klimaziele erreichen**. CO<sub>2</sub> macht nicht vor Ländergrenzen halt. Wenn nur einige Länder auf klimafreundlichen Wasserstoff setzen, während andere weiterhin Erdöl, Kohle und Erdgas verbrennen, ist dem Klima wenig geholfen.

Wir sitzen also **alle im selben Boot** und sind aufeinander angewiesen: So werden wir in **Europa** und vor allem in Deutschland **klimafreundlichen Wasserstoff aus anderen Regionen importieren** müssen, da wir ihn nicht ausreichend selbst herstellen können. Warum? Unsere **Industrie hat einen sehr hohen Bedarf** an Wasserstoff, gleichzeitig leben viele Menschen auf vergleichbar **wenig Fläche**. Diese wird nicht ausreichen, selbst wenn wir auf jedem freien Feld und jedem Dach Wind- und Solaranlagen bauen.

Wir sind deshalb auf **Regionen mit viel Sonne, Wind und freien Flächen angewiesen** wie Australien, Afrika, Südamerika oder Südeuropa, um nur einige zu nennen. Gleichzeitig birgt das auch eine Chance für alle Seiten: Indem wir in den nächsten Jahren neue **Wasserstoffprojekte in unterschiedlichen Regionen der Welt aktiv fördern**, entstehen in diesen Regionen im Idealfall auch neue Jobmöglichkeiten im Bereich erneuerbare Energien und umweltfreundliche Technologien. Dabei müssen wir aber auf **gute und gerechte Umwelt- und Arbeitsbedingungen** achten. Wir dürfen dabei keine neuen Konflikte kreieren, indem wir etwa in einem Wüstenstaat Wasser für den Elektrolyseprozess nutzen, und den Menschen vor Ort nicht mehr genug Wasser zum Trinken oder für die Landwirtschaft bleibt.



Wenn wir es aber richtig anpacken, können wir in den kommenden Jahren **aus Europa Spitzentechnologie und Knowhow exportieren** und **klimafreundlichen Wasserstoff importieren**, während **im globalen Süden<sup>f</sup> mehr Jobs und Wohlstand** entstehen, ein **Win-Win** für alle. Gelingt es uns zudem, die richtigen **Investitionsmöglichkeiten** und **Anreize** zu schaffen, wird sich idealerweise für die Länder im globalen Süden eine **umweltschonende Entwicklung ebenso lohnen wie aktuell eine Entwicklung mit fossilen Energien**. Ziel ist eine **Energiepartnerschaft auf Augenhöhe**; eine Partnerschaft, von der beide Seiten gleichwertig profitieren.

Und noch eine gute Nachricht: Wasserstoff ist nicht nur ein wichtiger Baustein, um die Klimaziele zu erreichen und neue Jobs zu schaffen. Er macht uns im **Vergleich zu fossilen Energien** auch **unabhängiger von den wenigen Ländern**, die auf Vorkommen von Erdgas und Erdöl sitzen. Denn **Wasserstoff aus erneuerbaren Energien** können wir, die Weltgemeinschaft, **überall auf der Welt produzieren**, wo es viele freie Flächen, Wind und Sonne gibt.

Wir stehen also vor der riesigen Chance eines Neustarts: Nach jahrzehntelanger Abhängigkeit von Erdöl und Erdgas haben wir jetzt die Möglichkeit, die **Energielandkarte neu zu gestalten**, indem wir neue langfristige und **vertrauensvolle Energiepartnerschaften** mit vielen Regionen der Welt schließen und die **Energieimporte über verschiedene Routen diversifizieren**. Die Diversifizierung ist wichtig, weil wir im Falle eines Krieges, einer Pandemie, politischer Instabilität oder Rohstoffengpässen immer einen Plan B brauchen, um nicht von heute auf morgen mit Energieknappheit dazustehen (siehe Kapitel 1, Kasten **Keine ideale Welt im energiepolitischen Dreieck**).

„Aus geopolitischer Sicht haben wir eine riesige Chance, um die Vernetzung mit anderen Regionen der Welt komplett neu zu denken.“

Wo liegt also das Problem, warum funktioniert das alles noch nicht? Obwohl es **theoretisch unendlich viel Wind und Sonne** auf der Welt gibt, **haben wir den Wasserstoff noch nicht**. Zunächst müssen wir nämlich die **globale Infrastruktur umrüsten und teils komplett neu bauen**, um Wasserstoff herzustellen, ihn zu speichern und zu transportieren (siehe Kapitel 2, Schaubild **Mit Wasserstoff Energie speichern und transportieren**). Deshalb sollten wir **jetzt loslegen!** Nur diejenigen, die jetzt auf den Wasserstoff-Zug aufspringen, spielen bei der Entstehung des zu erwartenden **gigantischen neuen Wasserstoffmarktes** mit.

„Wie verteilen wir den Wasserstoff? Dort, wo am meisten CO<sub>2</sub> eingespart wird, oder dort, wo der beste Preis bezahlt wird? Die Frage ist, was hilft dem Planeten am schnellsten?“

Die Frage, woher in den nächsten Jahren der Wasserstoff kommt und wohin er geht, können wir noch nicht beantworten: **Welche Länder und Regionen es als Erstes schaffen, an den Wasserstoff zu kommen und vom Wasserstoffmarkt zu profitieren, ist noch offen**. Länder wie Australien, Japan, Südkorea oder China haben das enorme Potenzial von Wasserstoff für Umwelt und Industrie längst erkannt und schreiten in großen Sprüngen voran. Auch sehen diese Länder die Wasserstoff-Farbenlehre flexibler als Europa (siehe Kapitel 1, Schaubild **Die Wasserstoff-Farbenlehre – eine typisch europäische Diskussion?**). Das macht es für sie auch leichter, jetzt schon loszulegen und in Wasserstoffprojekte zu investieren, die etwa auf Kohle, Erdgas oder Atomenergie basieren, selbst wenn diese nicht wirklich klimafreundlich sind. Hauptsache Wasserstoff! **Wasserstoff wird somit zu einem geostrategischen Thema: Kooperation mit anderen Regionen ist wichtig; gleichzeitig müssen wir sicherstellen, dass alle einen gerechten Anteil des Wasserstoffkuchens bekommen.**

---

**f** Der Begriff globaler Süden ersetzt den bisherigen (vielleicht als wertend empfundenen) Begriff der Schwellen- und Entwicklungsländer. Der globale Norden steht dagegen für die Industrieländer.

## Elektrolyseure: Kapazitäten und Rohstoffbedarfe

Wie viel Wasserstoff kann Deutschland bis 2030 selbst erzeugen? Welche Auswirkungen hat der russische Angriffskrieg auf die Ukraine möglicherweise auf die deutsche Elektrolyseurproduktion? Denn viele Rohstoffe, die für die Produktion von Elektrolyseuren benötigt werden, kommen aus Russland. Mehr darüber erfahrt ihr in den Studien **Rohstoffe für die Elektrolyseur-Produktion**<sup>9</sup> und **Wie groß sind die Kapazitäten der Elektrolyse?**<sup>10</sup> Die Studien haben acatech und DECHEMA gemeinsam im Projekt Wasserstoff-Kompass herausgearbeitet; die Ergebnisse fließen in die Wasserstoff-Roadmap der Bundesregierung ein.<sup>11</sup> Ziel der Roadmap ist es, in einem Dialogprozess Daten und Fakten zu bündeln, um so Fortschritte bei Wasserstoffinnovationen aufzuzeigen.

Neben den Rohstoffen für den Bau von Elektrolyseuren ist für die Herstellung von Wasserstoff vor allem eines nötig – **Wasser**. Das wirft die Frage auf: **Kann die Wasserstoffwirtschaft zu einer Knappheit von Wasser führen?** Hier hilft ein Vergleich weiter: Wollen wir die Mengen an grünem Wasserstoff herstellen, die sich Deutschland bis 2030 zum Ziel gesetzt hat, entspricht das lediglich 0,2 Promille der Menge an Wasser, die vom Rhein in die Nordsee fließt.<sup>h</sup>

Sind diese Zahlen für euch schwer vorstellbar? Kein Problem, das Wichtige ist nämlich: Im Vergleich zu Atom-, Gas-, und Kohlekraftwerken, verbraucht die Elektrolyse nur einen Bruchteil des Wassers. **Fallen in Zukunft also fossile Energien weg, sparen wir gesamt gesehen sogar Wasser!** Anders sieht es in Regionen aus, die schon heute unter Wassermangel leiden. Meerwasser lässt sich zwar entsalzen, doch das kostet zusätzlich Energie und kann sich negativ auf die Umwelt auswirken.

Hinzu kommt: Wollen wir Wasserstoff herstellen, entnehmen wir zwar zunächst Wasser, etwa aus dem Grundwasser oder einem Fluss. Sobald wir aber den Wasserstoff nutzen, um Energie freizusetzen, etwa in einem Auto oder in einer Fabrik, kommt dabei reiner Wasserdampf raus. **Das Wasser geht also nicht verloren**, es wandert in die Atmosphäre und landet später in Form von Regen wieder im Fluss oder im See.

„Beim Aufbau der Wasserstoffwirtschaft geht es um Kooperationen mit vertrauensvollen Partnern, nicht nur um Kaufen und Verkaufen.“

Das Schaubild **Wo finden wir die Rohstoffe für einen Elektrolyseur?** gibt euch eine Idee, in welchen Regionen der Welt wir die Rohstoffe finden, um Elektrolyseure<sup>9</sup> zu bauen. Das Schaubild zeigt auch, dass viele der Elektrolyseprojekte **nicht in Europa entstehen**, obwohl **ein Großteil der weltweiten Elektrolysefirmen aus Europa** kommen. Das liegt auch daran, dass die Projekte dort hingehen, wo es am meisten **erneuerbare Energien** gibt, und damit auch den günstigsten grünen Strom.

In Zukunft könnte es zudem passieren, dass **ganze Industriezweige vermehrt dort hinwandern**, wo es nicht nur viel erneuerbare Energien gibt, sondern auch wichtige **Rohstoffe**, die wir bislang nach Europa importieren, wie etwa Eisenerz für die Stahlproduktion. Was konkret zu tun ist, erfahrt ihr in Kapitel 4.

„Wenn es um erneuerbare Energien und Rohstoffe geht, sind andere Regionen im Vorteil. Die Gefahr besteht, dass wir auch unseren Vorsprung im technologischen Knowhow verlieren und die Industrie abwandert. Wir müssen also schnell sein: Die Welt wartet nicht auf Europa.“

## Mit Urban Mining Rohstoffe sauber recyceln

**Elektrolyseure, Windkraft- und Solaranlagen oder Batterien** für E-Autos: Überall brauchen wir **Rohstoffe**. Die Ressourcen der Erde sind jedoch endlich. Gehen wir mit ihnen verschwenderisch um, wird unser Planet auf Dauer nicht mitspielen. Dennoch hat heute vieles nach kurzer Zeit ausgedient und landet im Müll. Genau hier setzt Urban Mining an: **Anstatt immer mehr Rohstoffe abzubauen**, können wir die bestehenden **Sekundärrohstoffe**, die in den **Städten und Siedlungen bislang ungenutzt** bleiben, **wieder verwenden**. Neugierig geworden? Erfahrt mehr darüber in unserer HORIZONTE-Publikation *Urban Mining*.<sup>12</sup>

Immerhin landet nicht alles im Müll. So recyceln wir heute schon Rohstoffe wie etwa Platin, welches man für Autokatalysatoren oder Elektrolyseure braucht. Schließlich ist Platin ein edles, wertvolles Metall, das rund sechzig Mal so viel wie Silber kostet. Übrigens: Metalle wie Gold, Silber und Platin verlieren beim Recycling kein bisschen an Qualität und lassen sich deshalb **unendlich oft recyceln!**



- g** Es gibt verschiedene Elektrolysetechnologien, einige sind bereits auf dem Markt, andere noch in der Testphase. Je nach Elektrolyseur sind unterschiedliche Rohstoffe gefragt, die teils kritisch sind. Die Europäische Kommission definiert Rohstoffe als kritisch, wenn diese eine hohe wirtschaftliche Bedeutung haben, aber in Europa nicht ausreichend vorhanden sind und deshalb größtenteils importiert werden müssen.
- h** Eigene Berechnung

## Wo finden wir die Rohstoffe für einen Elektrolyseur?



Die Technologie\* für klimafreundlichen Wasserstoff haben wir bereits. Doch zunächst müssen wir Elektrolyseure herstellen und dafür brauchen wir viele verschiedene Rohstoffe, die es in Europa nicht gibt. Wie sauber wir diese Rohstoffe abbauen, transportieren und recyceln, wirkt sich auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck aus. Selbst grüner Wasserstoff ist also (noch) nicht hundertprozentig klimafreundlich. Das Schaubild zeigt einige dieser wichtigen Rohstoffe. Zudem zeigt es, dass grüner Wasserstoff meist nicht in Europa, sondern in anderen Regionen mit großen freien Flächen, viel Wind und Sonne hergestellt wird. Globale Kooperation ist also wichtiger denn je!

\*Siehe Grafik „Was ist ein Elektrolyseur?“.

\*\* Seltenerdelement

Quelle: eigene Darstellung nach acatech, DECHEMA 2022<sup>9</sup>, DERA 2022<sup>13</sup> und Wappler, Unguder, Lu, Ohlmeyer, Teschke, Lueke 2022<sup>14</sup>



**Auswahl an wichtigen, potentiell kritischen Rohstoffen für den Bau von Elektrolyseuren:**

- Palladium** (Russland, Südafrika, USA)
- Cer\*\*** (China, USA, Australien)
- Scandium** (China, Russland, Philippinen)
- Titan** (China, Japan, Russland)
- Nickel** (Indonesien, Philippinen, Russland)
- Iridium** (Südafrika, Russland)
- Platin** (Südafrika, Russland)
- Yttrium\*\*** (China, Myanmar)



**Auswahl an angekündigten Projekten für grünen / und weitere Arten / von sauberen (weißen, pinken, orangen, türkisen und blauen) Wasserstoff (2022):**

- /:** Kanada, USA, Kolumbien, Brasilien, Niederlande, Frankreich, UK, Norwegen, Finnland, Polen, Tschechien, Ungarn, Ukraine, Kasachstan, Ägypten, Mauretanien, Saudi Arabien, Oman, Namibia, Südafrika, Russland, China, Südkorea, Australien
- /:** Chile, Portugal, Spanien, Marokko, Italien, Deutschland, Neuseeland

# 4

## Was sollte noch passieren?



Was können Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft noch tun, um baldmöglichst in die Wasserstoffwelt zu starten? Das letzte Kapitel gibt einige Denkanstöße.

## Markt und Staat auf dem Weg zur Wasserstoffwirtschaft

In Kapitel 3 haben wir gesehen, dass ein Großteil der Wasserstoffprojekte in die Regionen wandert, wo es viele Rohstoffe, freie Flächen, Wind und Sonne gibt, und das ist meist außerhalb Europas. **Wer zurückbleibt** und nicht schnell genug ist, kann im schlimmsten Fall **ganze Industriezweige verlieren**: Es könnte passieren, dass die **Stahlindustrie** komplett in eine Region abwandert, wo es klimafreundlichen Wasserstoff in großen Mengen und auch den Rohstoff Eisenerz gibt, der für die Stahlproduktion nötig ist. So könnten Unternehmen Stahl **vor Ort produzieren, anstatt Rohstoffe und Wasserstoff** über weite Wege per Schiff und Pipeline **nach Europa zu importieren**. Gleiches könnte bei der **Chemieindustrie** passieren, die ebenso Wasserstoff als Rohstoff für Medikamente, Klebstoffe für die Elektronik oder Düngemittel benötigt und direkt vor Ort produzieren könnte, anstatt den Wasserstoff dafür zu importieren. Da es um sehr wichtige und **große Industriezweige** geht, an denen sehr viele Arbeitsplätze in ganz Europa hängen, steht sehr viel auf dem Spiel.

„Hinter dem Wasserstoff-Thema verbirgt sich die größte Business Opportunity des Jahrhunderts – ich schätze, das ist so viel wie bislang Öl und Gas zusammen.“

Dass sich die Industrielandschaft verändern wird, ist wohl nicht mehr aufzuhalten, dessen ist sich die europäische Industrie bewusst. Wichtig ist, dass **bedeutende Teile der Wertschöpfung hierbleiben und europäische Firmen weiterhin führend im Technologie-Knowhow sind**. Das haben viele Akteure in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft Europas verstanden, daher befindet sich **Europa bereits auf dem Weg in die Wasserstoffwirtschaft**. Wir dürfen aber keine Sekunde im **Wettlauf gegen die Zeit** verlieren.

**Noch** ist Europa technologischer Spitzenreiter im Bereich **Elektrolyse**.<sup>j</sup> Ein Großteil der Elektrolysefirmen weltweit stammt aus **Europa**. Aber: Die **wenigsten großen Wasserstoffprojekte** werden **in Europa umgesetzt**. Europäische Unternehmen sind zwar technologische Weltmarktführer und verkaufen überall hochwertige Elektrolyseanlagen. Allerdings können wir **nur begrenzt die eigenen Elektrolyseure in Europa aufstellen**, um Wasserstoff für den eigenen Bedarf zu produzieren. Stattdessen **müssen wir einen großen Anteil** des benötigten **Wasserstoffs importieren**.

Das liegt aber nicht nur an den in Europa begrenzten Flächen für erneuerbare Energien und den wenigen Rohstoffen, sondern auch an einer **starken Regulatorik**: Fachleute aus Industrie und Wissenschaft beklagen immer wieder, dass es derzeit sehr **kompliziert** ist, **in Europa in Wasserstoff zu investieren**. Die europäischen Regeln seien im weltweiten Vergleich weniger flexibel und sehr bürokratisch, sodass es für Investor\*innen und Unternehmen attraktiver sei, woanders hinzugehen, wo es unkomplizierter und schneller geht, eine Elektrolyseanlage aufzustellen und Wasserstoff zu produzieren. Europäische Politiker\*innen haben bereits einige wichtige Schritte gemacht, um die Regeln für grünen Wasserstoff zu vereinfachen, sodass europäische Herstellerfirmen auch wettbewerbsfähig bleiben. Und nun?

„Das, was uns bleibt, ist das Technologie-Knowhow, darauf müssen wir setzen.“

- 
- i** Wertschöpfung ist die in Wirtschaftszweigen oder Unternehmen erbrachte wirtschaftliche Leistung, also der Wert des dort hergestellten Produkts oder der dort bereitgestellten Leistung abzüglich des Wertes der dazu benötigten Vorleistungen.
- j** Fachleuten zufolge ist Europa derzeit (noch) Spitzenreiter in sämtlichen Bereichen der Elektrolyseproduktion: Technologie-Knowhow, geistiges Eigentum, Produktionskapazität, Transport, sicheres Handhaben von Großanlagen, Investitions- und Rechtssicherheit, Infrastruktur und sehr gut ausgebildete Fachkräfte.

## Es grünt so grün

Rohstoffe und freie Flächen können wir nicht herzaubern, aber die **Bedingungen anpassen** und **Unternehmen die Investitionssicherheit geben**, mit der ein **Wasserstoffmarkt auch in Europa floriert**. **Hier ist der Staat gefragt – auf nationaler und europäischer Ebene**. Was heißt das?

Vereinfacht gesagt, geht es darum, **grobe Regularien und Standards** festzulegen, **ohne es zu kompliziert zu machen und ohne alles im Detail zu planen**. Unternehmen müssen im bürokratischen Dschungel den Überblick behalten und die Sicherheit haben, dass sie den klimafreundlichen Wasserstoff, den sie mit teuren Anlagen produzieren, auch später verkaufen können. Nur so wird ein Unternehmen das Risiko eingehen, Millionen oder Milliarden Euro in Wasserstoff zu investieren.

„Die heutige Wirtschaft hat auch niemand genau geplant; genauso wenig können wir im Jahr 2023 die Wasserstoffwirtschaft für 2030 bis ins kleinste Detail planen.“

Was heißt grobe Regularien und Standards? Der Staat muss definieren, was überhaupt **grüner, klimafreundlicher Wasserstoff** ist, sozusagen die **„Grünheit“** standardisieren. Dabei geht es um den **gesamten CO<sub>2</sub>-Fußabdruck** von Wasserstoff, der bei **Produktion, Transport und Verbrauch** entsteht. Genauso wie wir Qualitätsstandards für Spielwaren und Nahrung definiert haben, müssen Unternehmen auch beim Wasserstoff wissen, nach welchen Kriterien sie diesen produzieren und verkaufen dürfen; Verbraucher\*innen müssen beim Kauf sehen können, ob diese Kriterien erfüllt sind. Hier kommt die Schwierigkeit: Diese Standards sollten am besten **weltweit gelten**. Es wäre wenig sinnvoll, wenn sich Firmen in jedem Land nach unterschiedlichen Standards richten, da würde niemand mehr den Überblick behalten und wir kämen in der Sache nicht voran. **Globale Kooperation** ist also auch hier wichtiger denn je.

„Der Weltmarkt für Wasserstoff muss so schnell wie möglich her. Dafür brauchen wir Standards für klimafreundlichen Wasserstoff, die weltweit akzeptiert werden. Das geht nicht mit Ellenbogen-Mentalität, sondern nur im Miteinander.“

Ergo: grobe Regulierung und Standards von „Grünheit“. Gleichzeitig braucht die Wirtschaft die Handlungsfreiheit und den Raum, damit sich unterschiedliche Elektrollysetechnologien auf dem Markt entwickeln. Niemand kann vorhersagen, wann welche Technologie die besseren Karten hat. Es ist deshalb immer schlauer, mehrgleisig zu fahren und technologieoffen zu bleiben. Nur dann hat Wasserstoff eine Chance, von der Pilotphase in die Skalierung zu gehen. Nur so erreichen wir das Ziel – die Wasserstoffwirtschaft.

„Technisch ist heute schon fast alles möglich. Wir sind super bei Pilotanlagen und Tests. Wir müssen uns jetzt sputen und das Scale-up schaffen.“



Wo brauchen wir den Staat noch? Beim **Boosten von Wasserstoffimporten** aus anderen Regionen. Der Staat muss es ermöglichen, dass genügend Wasserstoff nach Europa kommt und hier auch Fuß fasst.<sup>k</sup> **Europäische Politiker\*innen sind** bereits dabei, **weltweit Energiepartnerschaften zu knüpfen** (siehe Kapitel 3) – **auf Augenhöhe** und mit so vielen Ländern und Regionen wie möglich. Davon profitieren beide Seiten und wir alle haben im Fall eines Krisenfalls oder Engpasses immer einen Plan B. Wie sich der importierte Wasserstoff dann auf Industrie, Chemie, Verkehr und andere Sektoren verteilt, sollte sich von allein entwickeln. **Nur wenn die Politik flexibel bleibt und alle Technologien und Sektoren einschließt, kann ein Wasserstoffmarkt floriern.**

### **Auch die Kleinen brauchen Wasserstoff**

Fachleute rechnen **erst ab dem Jahr 2030 mit nennenswerten Mengen an klimafreundlichem Wasserstoff**. Bis dahin müssen wir uns gut überlegen, wie wir die begrenzten Mengen an Wasserstoff einsetzen, die wir in den nächsten Jahren in Europa selbst produzieren oder aus anderen Regionen importieren. Selbst wenn sich der Markt frei entwickeln soll, ohne dass der Staat zu sehr eingreift, müssen wir dafür sorgen, dass auch die kleinen und mittelständigen Unternehmen zum Zuge kommen. Denn sowohl große als auch kleinere Unternehmen und Start-ups sollen von staatlichen und europäischen Fördergeldern profitieren und in die Wasserstoffwirtschaft einsteigen. Wie großartig wäre es, wenn alle dieses **enorme Potenzial** nutzen können!

### **Fossile Energien ade, willkommen klimafreundlicher Wasserstoff**

**Das Ziel?** Wollen wir die Klimaziele erreichen, kommen wir am klimafreundlichen Wasserstoff nicht vorbei.

**Das Problem:** Noch kostet er mehr als fossile Energien oder grauer Wasserstoff, den wir mithilfe von Erdgas produzieren.

**Die kurzfristige Lösung:** CO<sub>2</sub> und Erdgas teurer machen, Anreize für klimafreundlichen Wasserstoff schaffen. So wird dieser rentabler.

**Langfristig:** Unternehmen schaffen es, Wasserstoff zu skalieren, sodass er auch ohne Anreize wettbewerbsfähig bleibt und fossile Energien für immer verdrängt.

„Die meisten Industrien brauchen Wasserstoff für die Erprobung ihrer Anlagen. Wenn wir diese Industrien jetzt vom Wasserstoff abschneiden, weil es noch zu wenig davon gibt, fehlt ihnen die Lernphase. Wenn der klimafreundliche Wasserstoff dann da ist, fehlt ihnen die Erfahrung, ihn zu nutzen.“

„Die Wirtschaft darf auch mal ins Risiko gehen. Technologien müssen den Point-of-no-return erreichen und durch die Decke gehen.“

**k** In der Aufbauphase des klimafreundlichen Wasserstoffmarktes kann es zusätzlich notwendig sein, dass die Politik Unternehmen unter die Arme greift, um die nötigen Investitionen in die Wasserstofftechnologie in Gang zu setzen.

„Bereits mittelfristig werden viele Dinge auch wieder deutlich günstiger. Beim klimafreundlichen Wasserstoff sehe ich in den nächsten Jahren extreme Kostenreduzierungen.“

### **Wissenschaft kommunizieren**

Forschen, forschen, forschen! Nur so gibt es **Fortschritt**, etwa in der Medizin oder in der Klimaforschung. Weltweit forschen Wissenschaftler\*innen an effizienteren Elektrolysetechnologien, die klimafreundlichen Wasserstoff herstellen, an den Rohstoffen, die wir für die Elektrolyseure brauchen, und an den Fragen, wie wir Wasserstoff effizient speichern und sicher transportieren können. Wissenschaft **produziert Wissen**; sie schafft die Basis für Innovationen und technologischen Fortschritt. Doch sie muss das produzierte Wissen auch mit der Gesellschaft teilen, also mit **Politik, Industrie und uns Bürger\*innen**, und **komplexes Wissen einfach und verständlich darstellen** und **für alle zugänglich** machen. Hier ist die Wissenschaftskommunikation gefragt. Woher sollen die Menschen sonst wissen, dass Wasserstoff für unsere Zukunft wichtig ist, welche Rolle er im Energiesystem spielen kann und was nun zu tun ist? Erst mit dem **Rückhalt der Bevölkerung**, die eine **neue Technologie versteht, akzeptiert und ihr vertraut**, hat die Energiewende eine Chance.

Wissenschaft leistet somit einen **Beitrag zur Demokratie**, in der alle Menschen informiert sind und auf **Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse gemeinsam Entscheidungen** über unsere Zukunft treffen.

„Die Energiewende gelingt erst, wenn **Wissenschaft, Wirtschaft, Politik kooperieren** und auch die **Gesellschaft mitgeht**.“

### **Mit Wissenschaft, Wirtschaft und Politik kooperieren: HySupply**

**Wasserstoff funktioniert nur im Miteinander.** Denn während der eine viel Sonne und Rohstoffe hat, hat der andere wiederum die Fachkräfte und das Technologie-Knowhow. Es ist also sinnvoll, dass unterschiedliche Länder miteinander kooperieren, **Expertise und Wissen austauschen**. Wenn die Bedingungen stimmen und man sich einig ist, entstehen im Idealfall **langfristige Energiepartnerschaften**.

Eines von vielen Beispielen ist das von acatech mitunterstützte Projekt HySupply. Hier erarbeiten **Expert\*innen** aus **Wissenschaft, Politik und Wirtschaft** aus **Deutschland und Australien** gemeinsam neues Wissen und ebnen so den Weg für eine vertrauensvolle **Energiepartnerschaft**. Mehr darüber erfährt ihr in der Studie „HySupply – Deutsch-Australische Machbarkeitsstudie zu Wasserstoff aus erneuerbaren Energien“.<sup>15</sup>



## **Klimaneutraler Wohlstand für die Gesellschaft**

Was kann ich denn als normale\*r Bürger\*in tun? Wir haben das große Glück, in einer Demokratie zu leben: Wann immer wir wollen, können wir uns **informieren**, uns eine **eigene Meinung bilden, mit diesem Wissen zur Wahl gehen und selbst entscheiden**. Das ist ein Luxus, den nicht viele Menschen auf der Welt genießen.

Und genau darum geht es: die eigene Perspektive erweitern, Wissen nutzen, global denken. **Wollen wir die Energiewende schaffen, die Klimaziele erreichen und in Zukunft auf einem lebenswerten Planeten leben?** Ja! Das geht nur, wenn wir **global denken und alle einbeziehen**. Es hilft unserem Planeten nicht, wenn nur einige Länder auf klimafreundlichen Wasserstoff setzen, während anderswo auf der Welt weiterhin Erdöl und Kohle für Industrie und Heizen verbrannt oder massiv Wälder abgeholzt werden.

„Als Kundschaft können wir verlangen, dass die Energiewende passiert. Das funktioniert, sonst gäbe es keinen Markt für Bio-Gemüse. Wenn wir verlangen, dass Autos nur noch mit grünem Stahl produziert werden, passiert das auch.“

Und nun? In Kapitel 3 haben wir gesehen, dass es beim Thema Wasserstoff nicht um Kaufen und Verkaufen geht, sondern um langfristige, vertrauensvolle Partnerschaften mit möglichst vielen Ländern der Welt. Es geht um die Frage, wie wir auch im **globalen Süden umweltgerechten Fortschritt und Entwicklung ermöglichen** und dabei den wachsenden **Wohlstand besser auf der Welt verteilen**. Das betrifft uns alle.

„Ich denke, dass Wasserstoff ein wesentlicher Bestandteil einer Zukunft ist, in der wir unsere Lebensqualität beibehalten können und gleichzeitig der Umwelt etwas Gutes tun.“

Hättet ihr zu Beginn dieser HORIZONTE-Ausgabe gedacht, dass es bei Wasserstoff um solch grundlegend wichtige Dinge geht? Ja, Wasserstoff ist das älteste Element im Universum und Wasserstoff ist mehr als reine Technologie. Wer sich mit Wasserstoff beschäftigt, kommt schnell zur philosophischen Frage: **Wie wollen wir in Zukunft leben?**

**Wasserstoff ist eine riesige Chance, die Energiewende zu schaffen, die Klimaziele zu erreichen und Wohlstand gerechter zu verteilen.** Dabei geht es darum, uns allen etwas zurückzugeben: saubere Luft zum Atmen, einen gesunden Planeten, mehr Erholung, mehr Zeit, mehr Lebensqualität, mehr **klimaneutralen Wohlstand**.

„Ich bin völlig überzeugt, dass wir in eine Wasserstoffwelt gehen.“

# Literaturverzeichnis

- 1 European Commission: *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe*, Brussels 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0301>
- 2 Staiß, F. et al.: *Optionen für den Import grünen Wasserstoffs nach Deutschland bis zum Jahr 2030: Transportwege – Länderbewertungen – Realisierungserfordernisse (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft)*, München 2022. <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/analyse/transportoptionen-wasserstoff-2030>
- 3 <https://www.eviation.com>
- 4 WECF e.V. Deutschland (Hrsg.), Bündnis Bürgerenergie (BBEn): *Frauen. Energie. Wende! Warum wir eine geschlechtergerechte Energiewende brauchen*, München 2020. [https://www.buendnis-buergerenergie.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/Broschueren/Frauen\\_energieWende\\_WECF\\_BBEn\\_2020.pdf](https://www.buendnis-buergerenergie.de/fileadmin/user_upload/downloads/Broschueren/Frauen_energieWende_WECF_BBEn_2020.pdf)
- 5 Elert, Nicole, PwC: PwC-Studie zeigt: Anteil weiblicher Führungskräfte in der Energiewirtschaft seit 2014 kaum gestiegen, 2018. <https://www.pwc.de/de/energiewirtschaft/pwc-studie-zeigt-anteil-weiblicher-fuehrungskraefte-in-der-energiewirtschaft-seit-2014-kaum-gestiegen.html>
- 6 Europäisches Parlament, Generaldirektion Interne Politikbereiche der Union, Feenstra, M., Clancy, J., *Women, gender equality and the energy transition in the EU*, Publications Office, 2019. <https://data.europa.eu/doi/10.2861/750279>
- 7 European Commission: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *A Union of Equality: Gender Equality Strategy 2020-2025*, Brussels 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0152&from=SV>
- 8 Paul J. Burke, Fiona J. Beck, Emma Aisbett, Kenneth G.H. Baldwin, Matthew Stocks, John Pye, Mahesh Venkataraman, Janet Hunt, Xuemei Bai: *Contributing to regional decarbonization: Australia's potential to supply zero-carbon commodities to the Asia-Pacific*, 2022, ZCEAP Working Paper 22-04, The Australian National University
- 9 acatech, DECHEMA (Hrsg.): Rohstoffe für die Elektrolyseurproduktion: Mögliche Engpässe aufgrund von Russlands Konfrontation mit dem Westen, Berlin 2022. [www.wasserstoff-kompass.de/news-media/dokumente/rohstoffbedarfe](http://www.wasserstoff-kompass.de/news-media/dokumente/rohstoffbedarfe)
- 10 acatech, DECHEMA (Hrsg.): *Elektrolyse in Deutschland: Kapazitäten, Zielsetzungen und Bedarfe bis 2030*, Berlin 2022. [www.wasserstoff-kompass.de/news-media/dokumente/erzeugungskapazitaeten](http://www.wasserstoff-kompass.de/news-media/dokumente/erzeugungskapazitaeten)
- 11 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): *Gemeinsame Pressemitteilung: Bundesregierung startet Wasserstoff-Kompass: Projekt H2-Kompass soll Fortschritte bei Wasserstoffinnovationen anzeigen*, 2021. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/06/20210602-Bundesregierung-startet-Wasserstoff-Kompass.html>

**12** acatech (Hrsg.): *Urban Mining (acatech HORIZONTE)*, München 2021. <https://www.acatech.de/publikation/acatech-horizonte-urban-mining/>

**13** DERA (Hrsg.): *Mineralische Rohstoffe für die Wasserelektrolyse. - DERA Themenheft 26 S.*, Berlin 2022. <https://www.deutsche-rohstoff-agentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA%20Themenheft-01-22.pdf>

**14** Mona Wappler, Dilek Unguder, Xing Lu, Hendrik Ohlmeyer, Hannah Teschke, Wiebke Lueke, *Building the green hydrogen market – Current state and outlook on green hydrogen demand and electrolyzer manufacturing*, International Journal of Hydrogen Energy, 2022, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.07.253>

**15** acatech: *HySupply – Deutsch-Australische Machbarkeitsstudie zu Wasserstoff aus erneuerbaren Energien*. <https://www.acatech.de/projekt/hysupply-deutsch-australische-machbarkeitsstudie-zu-wasserstoff-aus-erneuerbaren-energien/>

# Mitwirkende

## **Projektgruppe Wasserstoff**

Die Projektgruppe legte die Inhalte dieser Publikation fest. Die acatech Geschäftsstelle führte dazu Interviews mit den Expert\*innen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft. Das acatech Präsidium dankt der Projektgruppe sehr herzlich für ihre Mitarbeit und Teilnahme! Im Einzelnen waren das:

**Prof. Dr. Robert Schlögl**, Projektgruppenleiter, Präsident der Alexander von Humboldt-Stiftung, Direktor der Abteilung Anorganische Chemie am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft

**Prof. Dr. Christoph Schmidt**, Präsident RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung

**Martina Merz**, CEO Thyssen Krupp AG

**Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer**, Vorstandsmitglied DLR, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

**Dr. Wiebke Lüke**, Founder & Managing Director WEW GmbH

**Nikolas Iwan**, Geschäftsführer H2 MOBILITY

**Philip Green**, Australischer Botschafter in Deutschland

## **Interviewpartner**

**Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers**, Sprecher der Institutsleitung des IPEK, Institut für Produktentwicklung, Karlsruher Institut für Technologie

**Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer**, Institutsleiter Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung, Karlsruher Institut für Technologie

## **Storytelling, Text und Grafiken, Interviews, Recherchen:**

**Christina Müller-Markus**, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE, federführende Autorin

**Marco Mitrovic**, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

## **Mit Unterstützung durch**

**Dr. Sandra Fendl**, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

**Dr. Doerthe Winter-Berke**, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE

**Nardine Abdelmessih**, acatech Geschäftsstelle, HORIZONTE, Social Media Kommunikation

# acatech –

## Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

Weitere Informationen unter [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

# Bisherige Ausgaben





**HORIZONTE**  
Quantentechnologien

acatech

Warum sind Quanten wichtig?  
Grundlagen für das Verständnis der Quantentechnologien

Quantentechnologien der ersten und zweiten Generation  
Gestaltungsspielräume und Erwartungsmanagement

acatech  
DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

**HORIZONTE**  
Urban Mining

acatech

Was ist Urban Mining und wo stehen wir heute?  
Was ist heute schon und in Zukunft noch möglich?

Internationales Schlaglicht: Amsterdam und das Donut-Modell  
Von der Rhetorik zur Umsetzung: Kreislauf der Akteure

acatech  
DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

**HORIZONTE**  
Transformation der Mobilität

acatech

Was ist Mobilität und warum ist das Thema wichtig?  
Wodurch verändern sich Mobilität und Verkehr?

Von Kopenhagen bis Singapur: der globale Blick  
Wie geht es weiter?

acatech  
DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

**HORIZONTE**  
Biotechnologie

acatech

Was ist Biotechnologie, und warum ist das Thema wichtig?  
Unter dem Radar – wo Biotechnologie überall drinsteckt

Biotechnologie in Deutschland und anderswo  
Was sollte jetzt noch passieren?

acatech  
DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

**HERAUSGEBER:**

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

**ADRESSEN STANDORTE****Geschäftsstelle**

Karolinenplatz 4

80333 München

T +49(0)89 / 520309-0

F +49(0)89 / 520309-900

**Hauptstadtbüro**

Pariser Platz 4a

10117 Berlin

T +49(0)30 / 2063096-0

F +49(0)30 / 2063096-11

**Brüssel-Büro**

Rue d'Egmont / Egmontstraat 13

B-1000 Brüssel

T +32(0)2 / 2 13 81-80

F +32(0)2 / 2 1381-89

horizonte@acatech.de

<https://www.acatech.de/horizonte>

**Empfohlene Zitierweise:**

acatech (Hrsg.): Wasserstoff (acatech HORIZONTE), München 2023

**Redaktionelle Bearbeitung:**

Elisabeth Grenzebach

**Lektorat:**

Lektorat Berlin

**Layout, Satz, Illustrationen:**

Joseph & Sebastian – Grafikdesign, München

**Druck:**

Joh. Walch, Augsburg

**Geschäftsführendes Gremium des Präsidiums**

Prof. Dr. Ann-Kristin Achleitner, Prof. Dr. Ursula Gather,

Dr. Stefan Oschmann, Manfred Rauhmeier,

Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber,

Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner

Registergericht AG München VR 20 20 21

**Vorstand i. S. v. § 26 BGB:**

Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner,

Manfred Rauhmeier

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

• 2023

Mehr zu acatech HORIZONTE Wasserstoff,

inklusive Grafiken, finden Sie unter:

<https://www.acatech.de/projekt/acatech-horizonte-wasserstoff>

München 2023

acatech HORIZONTE

ISSN 2625-9605

DOI 10.48669/horizonte\_2023-1





Wasserstoff ist euch vielleicht noch vage aus den ersten Chemiestunden in Erinnerung. Verbrennt man ihn, wird Energie freigesetzt. Der Vorteil: Statt umweltschädlicher Gase entsteht dabei nur Wasser. Klimafreundlich hergestellt kann er helfen, fossilen Energieträgern wie Kohle und Erdgas ein für alle Mal den Rücken zu kehren und Industrie, Verkehr und Energieversorgung endlich nachhaltig zu gestalten.

Doch wie funktioniert das und welche Technologien gibt es bereits? Wo soll der Wasserstoff herkommen? Was ist in Zukunft vorstellbar und was muss noch passieren? Eure Neugierde ist geweckt und ihr wartet schon lange auf einen faktenbasierten und dennoch leicht verständlichen Überblick zum Thema Wasserstoff? Dann seid ihr hier genau richtig!