



Leopoldina  
Nationale Akademie  
der Wissenschaften

 acatech  
DEUTSCHE AKADEMIE DER  
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

 UNION  
DER DEUTSCHEN AKADEMIEN  
DER WISSENSCHAFTEN

Oktober 2021  
Impuls

# Wenn nicht jetzt, wann dann – wie die Energiewende gelingt

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina  
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften  
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

## Impuls

Die neue Bundesregierung hat die einmalige Chance, aber auch die Verpflichtung, der Klima- und Energiepolitik einen dringend benötigten Neustart zu geben. Dieser muss konsequent am Ziel der Treibhausgasneutralität ausgerichtet sein. Folgende Leitlinien sollten diesen Aufbruch prägen:

- Zuvorderst gilt es, den Klimaschutz beim nationalen politischen Handeln deutlich zu priorisieren. Lediglich die bisherigen Maßnahmen zu intensivieren, würde zu kurz greifen.
- Gleichzeitig sollte Deutschland die europäische und globale Zusammenarbeit verstärken und andere Länder auch finanziell beim Klimaschutz unterstützen.
- Dabei sollte der Blick stets dem gesamten System gelten: Sektorziele und nationale Ziele können zwar helfen, politische Verantwortungen aufzuzeigen. Die Energiewende kann jedoch nur gelingen, wenn sie zentral gesteuert und am Gesamtziel ausgerichtet wird.
- Wirksame Klimapolitik und Sozialverträglichkeit sind keine Gegensätze: die sozialen Folgen der Transformation lassen sich gezielt ausgleichen.
- Schließlich wird es darauf ankommen, transparent zu kommunizieren, welche Auswirkungen ein konsequenter Klimaschutz auf Haushalte und Unternehmen haben wird. Dabei gilt es zu bedenken: Ein ungebremster Klimawandel hätte ungleich dramatischere Konsequenzen.

Auf Grundlage dieser Leitlinien stellt das Impulspapier elf zentrale Handlungsfelder und konkrete Maßnahmen vor.



# Wie die Energiewende gelingen kann – 11 Handlungsfelder

## Verantwortung übernehmen und ganzheitliche Lösungen entwickeln

Um die Energiewende auf allen Ebenen voranzubringen, sollte sich Deutschland mit aller Kraft für den EU Green Deal einsetzen, weltweit ärmere Länder beim Klimaschutz unterstützen, relevantes Wissen gezielt zusammenführen, systematisch nutzen und erweitern, und mit den Beteiligten gemeinsam Lösungen entwickeln.

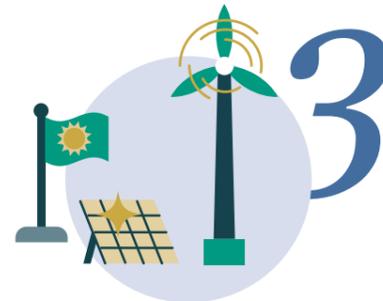


## Fossile Energien verdrängen

Der CO<sub>2</sub>-Preis sollte als zentrales Instrument zur Verdrängung fossiler Energieträger gestärkt werden. Gleichzeitig sollte der Staat den Aufbau notwendiger neuer Infrastrukturen, wie Wasserstoff- und Stromnetze, Ladestationen und Langzeitspeicher, intelligent kofinanzieren.

## Erneuerbare Energien schneller ausbauen

Um die Klimaziele zu erreichen, ist ein jährlicher Ausbau der Wind- und Photovoltaikanlagen von 15 bis 25 Gigawatt unabdingbar – etwa das Drei- bis Vierfache der letzten Jahre. Dafür müssen die Bundesländer ausreichend Flächen zur Verfügung stellen, das Planungs- und Genehmigungsrecht reformiert und Anwohner\*innen frühzeitiger eingebunden werden.



## Grünen Strom stärker in Wärme- und Verkehrssektor bringen

Um die Emissionen im Wärme- und Verkehrssektor zu senken, muss Strom wettbewerbsfähiger werden. Wichtigster Schritt dafür ist die Abschaffung der EEG-Umlage. Gleichzeitig müssen Speicher gebaut, Flexibilität belohnt sowie ökologisch und ökonomisch sinnvolle Energieeffizienzpotenziale genutzt werden.

## Stromversorgung fit für die Zukunft machen

Das Stromsystem der Zukunft ist vernetzter, dezentraler, flexibler und partizipativer. Für eine weiterhin sichere Stromversorgung ist es nötig, das System technisch und regulatorisch auf Erneuerbare-Energie-Anlagen auszurichten, die Stromnetze viel stärker auszubauen, die Netze zu digitalisieren und Langzeitspeicher zu errichten.



## Klimaneutrale Industrie auf den Weg bringen

Die Bundesregierung kann den notwendigen Wandel in der Industrie entscheidend voranbringen, indem sie: einen wirksamen CO<sub>2</sub>-Preis etabliert, CO<sub>2</sub>-Differenzverträge für Unternehmen einführt und eine internationale Allianz für den Klimaschutz anstrebt, die vor allem China und die USA mit einschließt.



## Wasserstoff: sinnvoll einsetzen, Chancen nutzen

Als Energieträger und Rohstoff spielt Wasserstoff eine Schlüsselrolle für eine klimaneutrale Weltwirtschaft. Um langfristig die Versorgung zu sichern, müssen binnen kürzester Zeit globale Märkte und Infrastrukturen aufgebaut, Partnerschaften auf Augenhöhe geschlossen und die Einsatzmöglichkeiten sinnvoll priorisiert werden.

## Bioenergie systemdienlich einsetzen

Eine umfassende Biomassestrategie muss sicherstellen, dass Biomasse dort eingesetzt wird, wo sie den größten Nutzen bringt, etwa in der Industrie und als flüssige Treibstoffe im Luft- und Schiffsverkehr. Statt Energiepflanzen sollten zukünftig Rest- und Abfallstoffe genutzt werden.



## Rohstoffe für die Energiewende sichern und nachhaltig nutzen

Um den hohen Rohstoffbedarf decken zu können, der durch die Energiewende entsteht, sollten der Rohstoffverbrauch zur Herstellung von Produkten gesenkt, neue Rohstoffquellen erschlossen und Recyclingquoten erhöht werden.

## Negative Emissionen: CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entnehmen

Um unvermeidbare Emissionen, vor allem aus der Landwirtschaft und Teilen der Industrie, auszugleichen, müssen Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Entnahme aus der Atmosphäre gesellschaftlich diskutiert, erforscht und in die Anwendung gebracht werden.



## Klimapolitik transparent und gerecht gestalten

Um Akzeptanz und Unterstützung für die Energiewende zu sichern, gilt es, Klimapolitik transparent zu kommunizieren, entstehende Belastungen ärmerer Haushalte aufzufangen und unterschiedliche Lebensrealitäten zu berücksichtigen.

## 1. Verantwortung übernehmen und ganzheitliche Lösungen entwickeln

### WARUM IST DAS WICHTIG?

Der Klimawandel ist eine existenzielle Bedrohung für die Menschheit, auf die die globale Gemeinschaft der Staaten bisher nicht angemessen reagiert. Sie hat sich zwar ambitionierte Klimaziele gesetzt, aber keine hinreichenden Weichen gestellt, um sie einzuhalten. Letzteres wird nur möglich sein, wenn Klimaschutz auf allen Ebenen als lebenswichtige und gemeinschaftliche Aufgabe **in das Zentrum des Entscheidens und Handelns** rückt: Bürger\*innen, Kommunen und Unternehmen, Bund, Länder und EU sowie nicht zuletzt die globale Staatengemeinschaft müssen an einem Strang ziehen, um diese Aufgabe zu bewältigen.

### WAS MÜSSEN WIR TUN?

**Europäisch und global koordinieren.** Die Energiewende braucht eine neue Entscheidungskultur. Die Bundesregierung selbst sollte die zentrale Verantwortung für dieses Projekt übernehmen. Dafür muss sie die notwendigen Strukturen schaffen, sich für eine ambitionierte Ausgestaltung und Umsetzung des European Green Deal einsetzen und **gemeinsam mit der EU** global handeln. Die europäischen Industrieländer haben einen erheblichen Teil der historischen Emissionen verursacht und haben daher nicht nur die Verpflichtung, sondern auch das **Potenzial, zu global wirksamen Lösungen beizutragen**. Möglich ist dies, indem Deutschland und die EU ärmere Länder beim Klimaschutz und bei der Anpassung an den Klimawandel unterstützen – mit innovativen Technologien, Infrastrukturen, Modelllösungen, Projekten und erheblichen finanziellen Mitteln. Eine wissenschaftsbasierte, unabhängige Monitoringkommission könnte den Fortschritt der globalen Energiewende evaluieren, einheitliche Bewertungsmaßstäbe einführen und übertragbare Best-Practice-Beispiele für politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Handlungsoptionen identifizieren.

**Entscheidungen gemeinsam treffen, lokales Handeln ermöglichen.** Nur eine globale Energiewende kann wirksam zum Klimaschutz beitragen. Konkrete Maßnahmen können und müssen jedoch **auf allen Ebenen** ergriffen und umgesetzt werden: vom Aufbau globaler und europäischer Märkte für erneuerbare Energien über überregionale und nationale Stromnetze bis hin zu neuen Anlagen und Effizienzmaßnahmen in Kommunen, Städten, Quartieren, Betrieben und Haushalten. Um die Mitgestaltung und Kreativität von Bürger\*innen und Unternehmen vor Ort zu fördern, sollten diese frühzeitig in Veränderungsprozesse eingebunden werden und **echte Möglichkeiten zur Mitbestimmung** bekommen.

**Heute in klimaneutralen Infrastrukturen investieren.** Ladesäulen für Elektroautos, Wasserstoff-Pipelines, intelligente Verteilernetze – das zukünftige Energiesystem braucht andere Infrastrukturen als das heutige. Der Staat sollte diesen **Wandel aktiv vorantreiben**, indem er den Ausbau klimaneutraler Infrastrukturen unterstützt sowie klimaschädliche Technologien und Infrastrukturen weder direkt noch indirekt fördert. Dabei darf nicht allein entscheidend sein, ob Infrastrukturen unter heutigen Bedingungen kurzfristig wirtschaftlich sind, sondern ob sie nötig sind, um die Klimaziele kosteneffizient zu erreichen. Das Ziel Klimaneutralität 2045 schränkt auch den **Spielraum für Brückentechnologien** drastisch ein, wie zum Beispiel Erdgas- statt Ölheizungen und Hybridfahrzeugen anstelle von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Diese senken zwar Emissionen gegenüber heute, nutzen aber weiterhin fossile Brennstoffe. Das Ziel, einen neuen Weltmarkt aufzubauen, verbunden mit dem Export der notwendigen Technologien wird zudem unterstützt, indem in Deutschland frühe Absatzmärkte geschaffen werden.

## Klimapolitik am Scheideweg

Vom Privathaushalt bis zur globalen Staatengemeinschaft – Klimaschutz muss höchste Priorität haben. Schlagen wir jetzt nicht den richtigen Weg ein, können wir die Pariser Klimaziele nur noch mit deutlich teureren Maßnahmen und schwierigeren Kompromissen erreichen.



### Was müssen wir tun?



Europäisch und global koordinieren



Entscheidungen gemeinsam treffen, lokales Handeln ermöglichen



Heute in klimaneutralen Infrastrukturen investieren

## 2. Fossile Energien verdrängen

### WARUM IST DAS WICHTIG?

Etwa 80 Prozent der Treibhausgasemissionen stammen aus der Verbrennung von Kohle, Erdölprodukten und Erdgas. Diese schnell zu verdrängen, ist der größte Hebel für effektiven Klimaschutz. Ein zentrales Instrument dafür ist der **CO<sub>2</sub>-Preis**, denn er macht den Einsatz fossiler Rohstoffe gegenüber klimaschonenden Alternativen weniger attraktiv. Zugleich braucht es **emissionsarme Alternativen**. Die Wirkung des CO<sub>2</sub>-Preises sollte daher durch weitere Maßnahmen gestützt und beschleunigt werden. Der Instrumentenmix sollte einfach und transparent sein, eine verlässliche und langfristige Planungsgrundlage bieten und regelmäßig daraufhin überprüft werden, ob er ausreicht, die Klimaziele zu erreichen.

### WAS MÜSSEN WIR TUN?

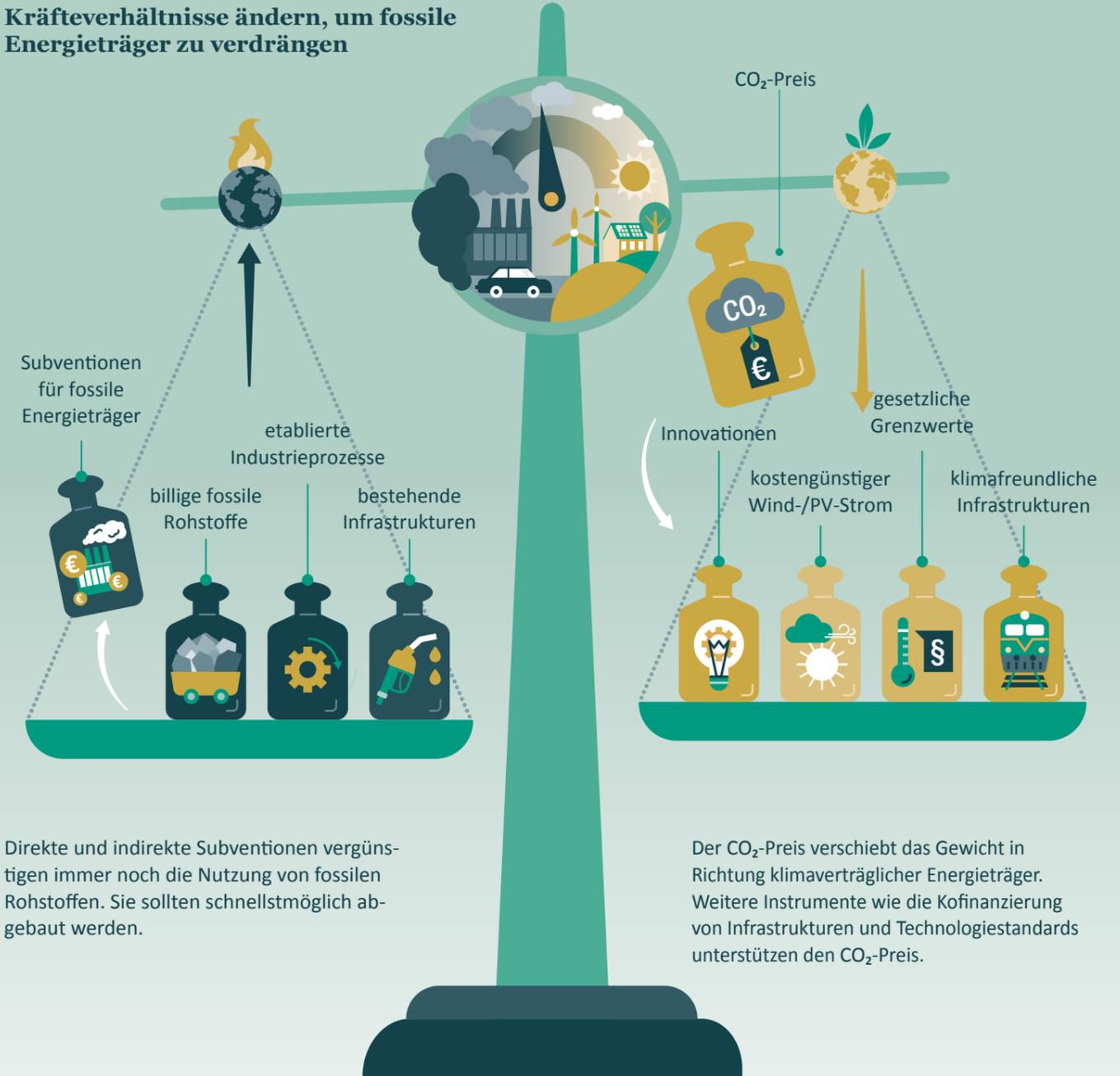
**Europäische Preissysteme aufeinander ausrichten.** Im Rahmen des Europäischen Emissionshandels (EU-ETS) unterliegen bisher Kraftwerke und die energieintensive Industrie einem EU-weiten CO<sub>2</sub>-Preis. Mit dem „Fit for 55“-Paket plant die EU-Kommission nun, ein zweites Handelssystem für Emissionen aus dem Gebäude- und Verkehrssektor einzuführen. Deutschland sollte darauf drängen, schon jetzt die **Zusammenlegung beider Emissionshandel** und den Übergang in ein **übergreifendes, EU-weites System** zu planen, um Erwartungen zu stabilisieren und eine langfristig effiziente Emissionsminderung zu erreichen. Die Gesamtmenge der CO<sub>2</sub>-Zertifikate muss den Klimazielen entsprechend festgelegt und die Berechnung transparent dargelegt werden.

**Nationale CO<sub>2</sub>-Bepreisung anpassen.** In Deutschland gibt es bereits seit 2021 einen CO<sub>2</sub>-Preis für Kraft- und Heizstoffe. Spätestens mit Einführung eines zweiten EU-Emissionshandels im Jahr 2026 muss allerdings über die Zukunft der deutschen CO<sub>2</sub>-Bepreisung nachgedacht werden, um Doppelbepreisungen zu verhindern. Da sich der CO<sub>2</sub>-Preis im neuen EU-Handelssystem an den neuen Klimazielen orientieren wird, dürfte er über dem bislang geplanten deutschen Preispfad liegen. Dieser sollte **deutlich angehoben werden**, um frühzeitige Investitionen in emissionsarme Technologien anzuregen und potenzielle Preissprünge beim Systemwechsel zu vermeiden.

**Subventionen für fossile Energieträger abbauen.** Direkte und indirekte Subventionen fossiler Energieträger senken die Energiepreise und **untergraben die Wirkung des CO<sub>2</sub>-Preises**. Diese Subventionen **sollten so schnell wie möglich abgeschafft** werden. Die EU plant bereits die Einführung einer Steuer auf Kerosin und eine Überarbeitung der Energiesteuerrichtlinie nach Umwelt- und Klimagesichtspunkten. Entsprechend sollten nationale Vergünstigungen, beispielsweise die Steuerbegünstigungen von Diesel und das Dienstwagenprivileg, abgeschafft werden.

**Wirksame staatliche Rahmenbedingungen setzen und CO<sub>2</sub>-Preis durch andere Instrumente ergänzen.** Weitere Instrumente sind erforderlich, um die Wirkung des CO<sub>2</sub>-Preises gezielt zu unterstützen. Insbesondere muss erreicht werden, dass Unternehmen und Bürger\*innen **nicht mehr in emissionsintensive Anlagen und Güter mit langer Lebensdauer investieren**, sondern in klimaneutrale Alternativen – auch wenn das zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht wirtschaftlich ist oder erscheint. Instrumente, die die Entwicklung und Einführung klimaschonender Alternativen fördern, können die Transformation der Wirtschaft effizient unterstützen, wenn sie bei Erreichung ihrer Ziele automatisch auslaufen. Gleiches gilt für eine staatliche Kofinanzierung klimafreundlicher Infrastrukturen, etwa von Wasserstoffleitungen, Schienen und Ladestationen für Elektrofahrzeuge. Technologiestandards wie die europäischen Flottenverbrauchsgrenzen für Neufahrzeuge und Gebäudestandards können den Übergang zu klimaschonenden Technologien unterstützen, bis der CO<sub>2</sub>-Preis ausreichend hoch ist.

## Kräfteverhältnisse ändern, um fossile Energieträger zu verdrängen



### Was müssen wir tun?



Europäische Preissysteme aufeinander ausrichten



Nationale CO<sub>2</sub>-Bepreisung anpassen



Subventionen für fossile Energieträger abbauen



Wirksame staatliche Rahmenbedingungen setzen, CO<sub>2</sub>-Preis durch andere Instrumente ergänzen

### 3. Erneuerbare Energien schneller ausbauen

#### WARUM IST DAS WICHTIG?

Bereits heute stammt knapp die Hälfte des in Deutschland erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energien. Doch für ein klimaneutrales Energiesystem muss grüner Strom den **gesamten Strombedarf** decken. Gleichzeitig wird der **Strombedarf stark wachsen**: Im Gebäude- und Verkehrssektor kommen zunehmend Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge zum Einsatz. Industrieprozesse werden große Mengen grünen Stroms benötigen, um fossile Rohstoffe zu ersetzen. Und auch die Herstellung klimaneutraler stofflicher Energieträger, zum Beispiel Wasserstoff für die Stahlherstellung, Kohlenwasserstoffe als Erdölersatz und synthetische Kraftstoffe für den Flug- und Schwerlastverkehr, braucht Strom. Vor allem **Solarenergie sowie Windenergie an Land und auf See** verfügen hierzulande noch über große ungenutzte und kostengünstige Potenziale, die es nun zu erschließen gilt. Da Wasserkraft, Bioenergie und Geothermie sie lediglich in kleinerem Umfang ergänzen können, müssen die Kapazitäten an Windenergie- und Photovoltaikanlagen bis 2045 auf das **Vier- bis Sechsfache** der heutigen ansteigen – selbst wenn in erheblichem Umfang grüne Energieträger importiert werden und große Fortschritte bei der Energieeffizienz gelingen.

#### WAS MÜSSEN WIR TUN?

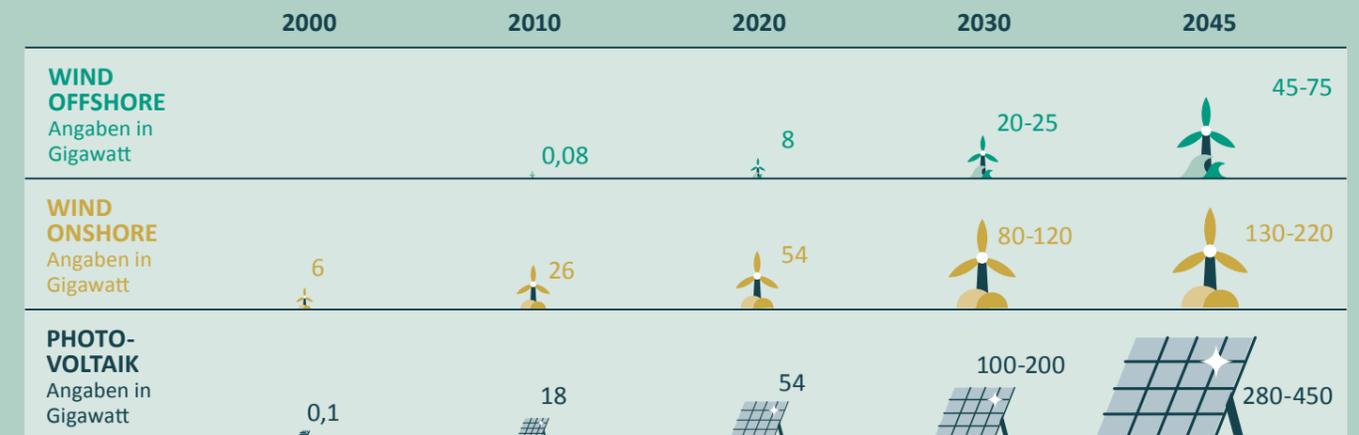
**Gesetzliche Ausbaukorridore deutlich erhöhen.** Für die neuen Klimaziele und die steigende Nachfrage nach grünem Strom im Wärme- und Verkehrssektor ist ein jährlicher Ausbau von 15 bis 25 Gigawatt notwendig. Das ist deutlich mehr als die 6 Gigawatt an Zubau aus dem Jahr 2019, erscheint aber grundsätzlich machbar: Deutschland hat in der Vergangenheit bereits bis zu 10 Gigawatt Wind- und Photovoltaikanlagen in einem Jahr zugebaut. Der erwartete Anstieg der Nachfrage nach grünem Strom muss sich in den **gesetzlich festgelegten Ausbaupfaden** widerspiegeln. Um die Ziele zu erreichen, sollten Bundesländer und Kommunen verpflichtet werden, zeitnah ausreichend Flächen für den Ausbau zur Verfügung zu stellen. Gleichzeitig sollten die nationalen Ziele in die europäische Gesamtstrategie eingebettet werden.

**Flächen klug nutzen.** Der Ausbau von Photovoltaik und Windenergie braucht Platz. Konzepte zur Doppelnutzung von Flächen **reduzieren den Flächenbedarf** und können **Flächenkonflikte entschärfen**. Möglich sind zum Beispiel Anlagen an Fassaden, auf Parkplatzüberdachungen oder auf bisher ungenutzten Dächern. Auch in der Landwirtschaft ist eine doppelte Nutzung möglich: Solarparks können platzeffizient als Anbau- oder Weideflächen angelegt werden oder als Biotope gestaltet sein und so die Artenvielfalt fördern.

**Anwohner\*innen aktiv einbeziehen.** Der Ausbau der erneuerbaren Energien steht und fällt mit der Unterstützung vor Ort. Sozialwissenschaftliche und verhaltensökonomische Analysen legen nahe: **Mehr Möglichkeiten zur Mitbestimmung**, ein **Ausgleich für Belastungen** und eine **finanzielle Beteiligung von Kommunen und Anwohner\*innen** tragen dazu bei, dass Menschen die Änderungen, die die Energiewende mit sich bringt, positiv annehmen und den Wandel aktiv mitgestalten.

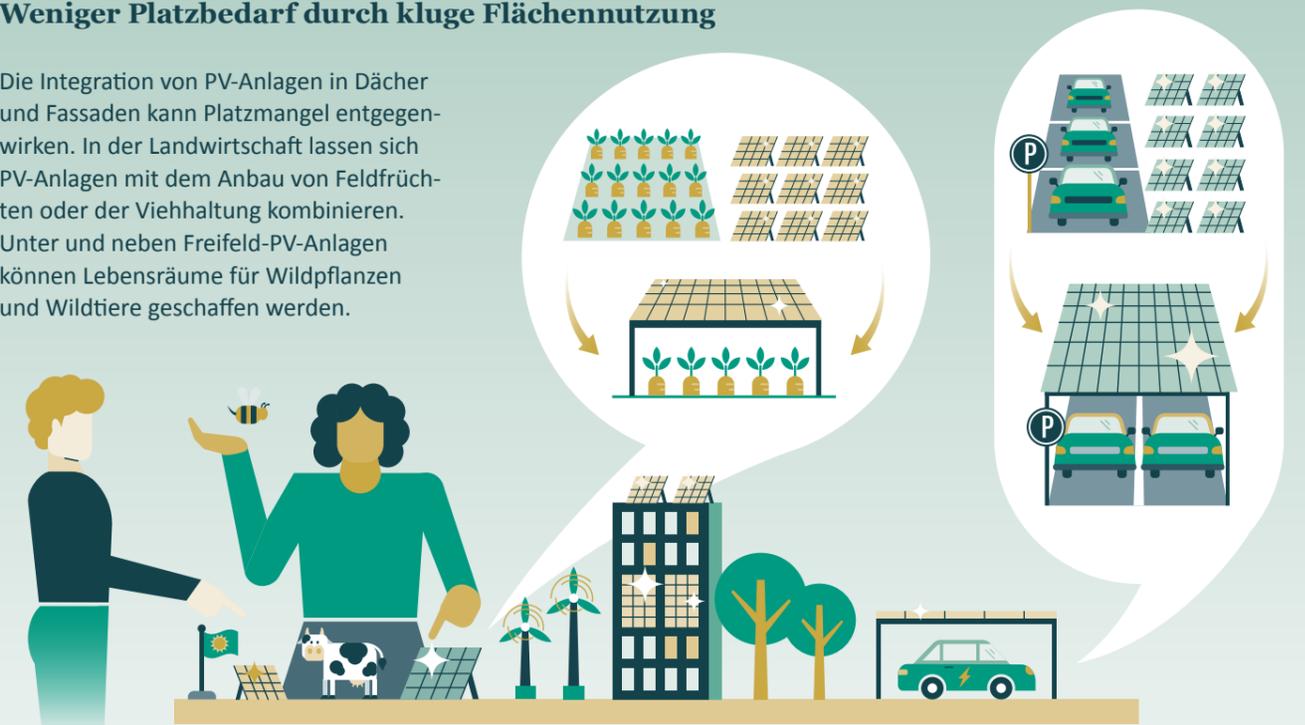
**Prozesse beschleunigen.** Im heutigen Tempo ist der bis 2030 erforderliche Ausbau nicht zu schaffen. Planungs- und Genehmigungsverfahren für Windkraftanlagen dauern aktuell **vier bis fünf Jahre**. Änderungen im Planungsrecht, frühes Einbinden der Bürger\*innen und zusätzliche Mitarbeiter\*innen in den zuständigen Planungs- und Genehmigungsbehörden sowie Gerichten können die Prozesse beschleunigen.

### Wind- und PV-Anlagen müssen auf den 4- bis 6-fachen Wert von heute ausgebaut werden, um die Klimaziele zu erreichen

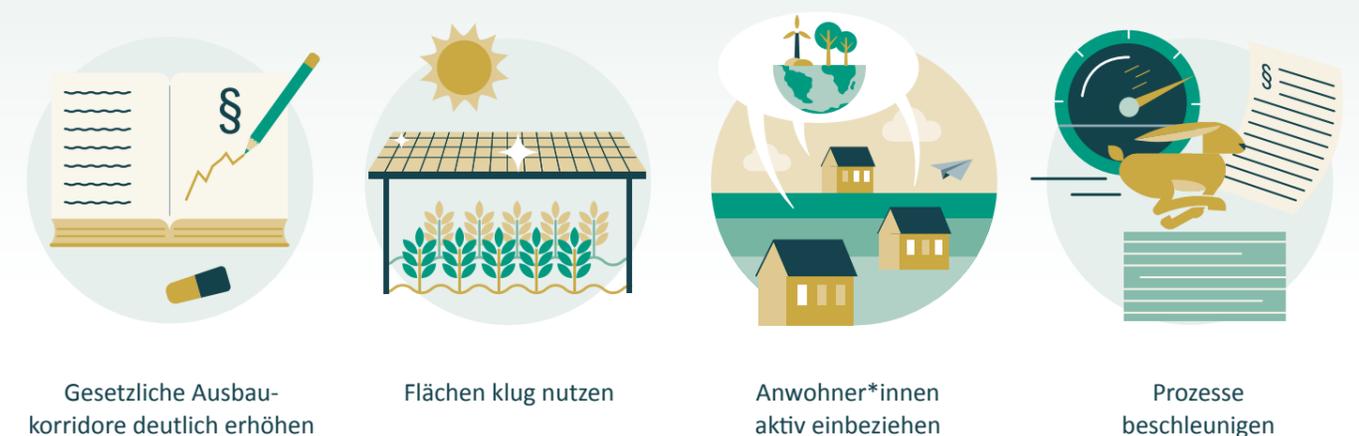


#### Weniger Platzbedarf durch kluge Flächennutzung

Die Integration von PV-Anlagen in Dächer und Fassaden kann Platzmangel entgegenwirken. In der Landwirtschaft lassen sich PV-Anlagen mit dem Anbau von Feldfrüchten oder der Viehhaltung kombinieren. Unter und neben Freifeld-PV-Anlagen können Lebensräume für Wildpflanzen und Wildtiere geschaffen werden.



#### Was müssen wir tun?



## 4. Grünen Strom stärker in Wärme- und Verkehrssektor bringen

### WARUM IST DAS WICHTIG?

Während die Emissionen in der Stromerzeugung durch den Ausbau von Photovoltaik- und Windanlagen gesunken sind, stagnieren sie im Wärme- und Verkehrssektor. Im nächsten Schritt muss grüner Strom auch in diesen Bereichen fossile Energieträger verdrängen („Sektorenkopplung“). Doch grüner Strom wird auch zukünftig nicht in unbegrenzten Mengen zur Verfügung stehen – weder in Deutschland noch in anderen Ländern. Deshalb ist es wichtig, Strom so effizient wie möglich zu nutzen. Da jeder Umwandlungsschritt Energie kostet, ist es meist effizienter, den Strom direkt zu nutzen, als ihn erst umzuwandeln (zum Beispiel in Wasserstoff). Beispielsweise verbrauchen Elektromotoren und Wärmepumpen wesentlich weniger Energie als Verbrennungsmotoren und konventionelle Heizungen. Durch den Einsatz dieser Technologien kann daher der langfristig durch grünen Strom zu deckende Gesamtenergieverbrauch reduziert werden. Ergänzt werden kann Strom – wo möglich und sinnvoll – durch Wärme aus Tiefengeothermie und Solarthermie.

### WAS MÜSSEN WIR TUN?

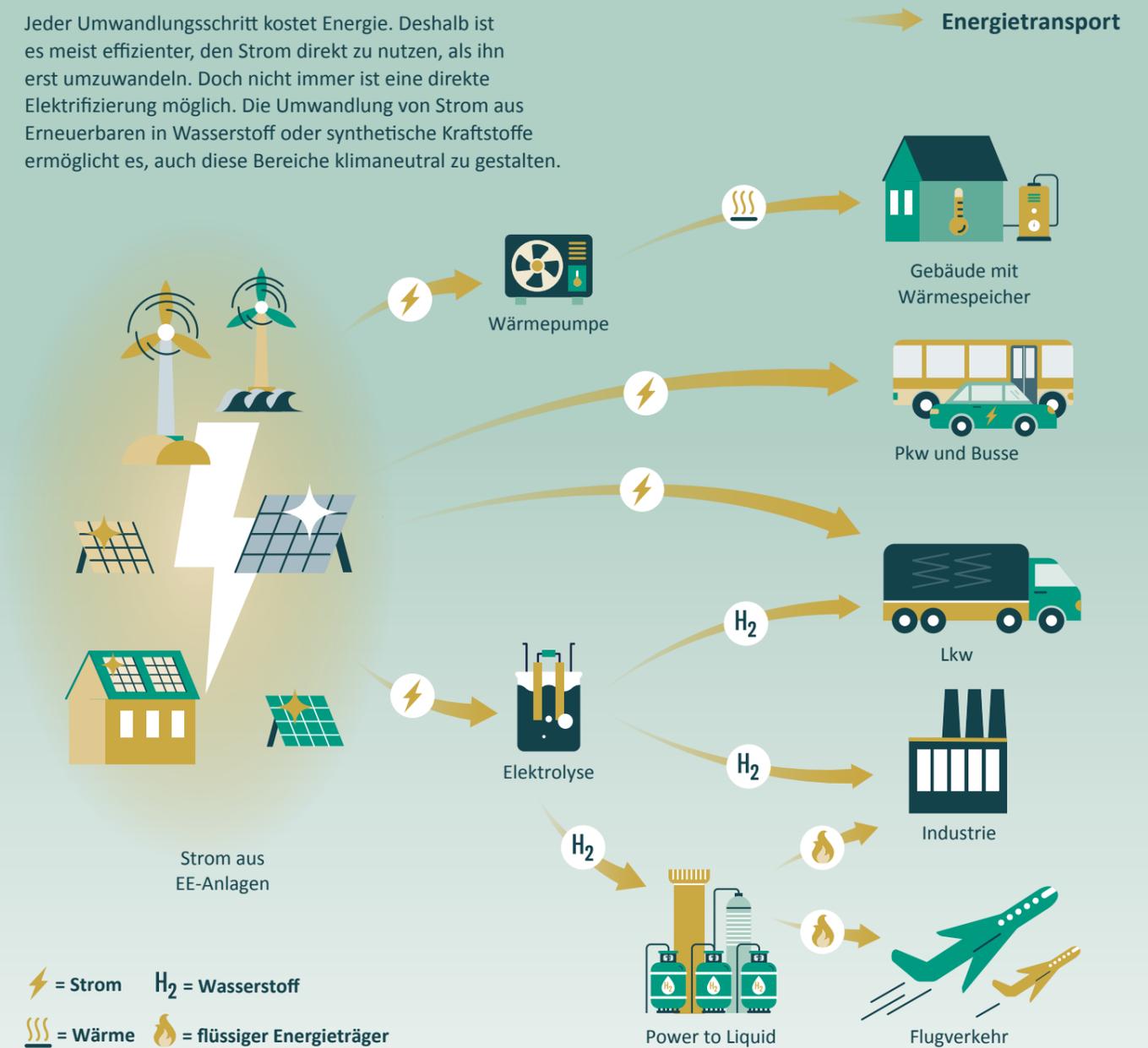
**Fairen Wettbewerb zwischen den Energieträgern herstellen.** Die Preise, die Haushalte und Unternehmen bezahlen, entscheiden mit darüber, welche Energieträger diese nutzen. Doch das Preissystem ist aktuell verzerrt: Beispielsweise ist Strom deutlich stärker mit Abgaben belastet als Heizöl und Erdgas. Nach der Einführung eines CO<sub>2</sub>-Preises für den Wärme- und Verkehrssektor durch den Brennstoffemissionshandel ist nun der wichtigste Schritt, die **EEG-Umlage abzuschaffen** und damit den Strompreis zu senken. Die Förderung von Erneuerbare-Energie-Anlagen sollte dann durch andere Finanzmittel des Staates gewährleistet werden. Dies kann mindestens zu großen Teilen durch die Einnahmen aus der deutschen und europäischen CO<sub>2</sub>-Bepreisung geschehen. Die nächste Bundesregierung sollte zudem prüfen, die **Stromsteuer zu senken**. Die Strompreissenkung fördert nicht nur die Nutzung von Strom; gleichzeitig entlastet sie Verbraucher\*innen und Unternehmen, und die komplizierten Ausnahmeregelungen der EEG-Umlage würden entfallen. Damit die Preisreform tatsächlich wirkt, sollten insbesondere private Haushalte ausführlich über die Kostenvorteile aufgeklärt werden: Nutzen Verbraucher\*innen Strom anstelle von fossilen Energien zum Heizen und in Fahrzeugen, ist dies für sie aufgrund steigender CO<sub>2</sub>-Preise in Zukunft meist günstiger.

**Elektroautos, Speicher und Wärmepumpen ausbauen.** Emissionsintensive Fahrzeuge und Heizungssysteme, die nach 2030 noch angeschafft werden, müssen vor Ende ihrer technischen Lebensdauer abgewrackt werden – denn in einem klimaneutralen Deutschland 2045 können nur noch klimaneutrale Technologien genutzt werden. Deshalb muss der Anteil von **Elektrofahrzeugen** und **Wärmepumpen** ab sofort stark wachsen. Gleichzeitig müssen **elektrische Speicher** und **Wärmespeicher** ausgebaut werden, um die schwankende Einspeisung der Erneuerbaren auszugleichen und so zur Versorgungssicherheit beizutragen. Der Staat kann durch **finanzielle Zuschüsse** bei großen Investitionen und durch gezielte **Kofinanzierung** der notwendigen Infrastrukturen dieses Wachstum fördern. Auch **nicht-monetäre Vorteile** wie eigene Fahrspuren und Parkplätze für Elektroautos können während des Übergangs zu klimaneutraler Mobilität hilfreich sein.

**Flexibilität belohnen.** Neben Speichern sind flexible Verbraucher wie Elektroautos und steuerbare Industrieanlagen notwendig, um die schwankende Einspeisung der Erneuerbaren auszugleichen: Sie können bevorzugt dann laden und arbeiten, wenn gerade viel Strom produziert wird. Die Technologien sind vorhanden, aber es fehlen **Geschäftsmodelle** und eine **ausreichende Digitalisierung**. Regulatorische Rahmenbedingungen sollten so angepasst werden, dass Anreize zur Bereitstellung von Flexibilität entstehen, etwa durch zeitabhängige Stromtarife.

## Grüner Strom für den Wärme- und Verkehrssektor

Jeder Umwandlungsschritt kostet Energie. Deshalb ist es meist effizienter, den Strom direkt zu nutzen, als ihn erst umzuwandeln. Doch nicht immer ist eine direkte Elektrifizierung möglich. Die Umwandlung von Strom aus Erneuerbaren in Wasserstoff oder synthetische Kraftstoffe ermöglicht es, auch diese Bereiche klimaneutral zu gestalten.



### Was müssen wir tun?



Fairen Wettbewerb zwischen den Energieträgern herstellen



Elektrofahrzeuge, Speicher und Wärmepumpen ausbauen



Flexibilität belohnen

## 5. Stromversorgung fit für die Zukunft machen

### WARUM IST DAS WICHTIG?

Die Stromversorgung wird **vernetzter, dezentraler, flexibler** und **partizipativer**: Wind und Sonne speisen unregelmäßig Strom in die Netze ein, Hausbesitzer\*innen, Landwirt\*innen und Bürgerenergiegesellschaften tragen mit eigenen Anlagen zur Stromerzeugung bei, und Strom soll innerhalb Europas zunehmend grenzüberschreitend gehandelt werden. Zudem steigt durch neue Verbraucher wie Elektroautos und Wärmepumpen die Nachfrage – der Strombedarf könnte sich dadurch verdoppeln. Dies alles stellt **neue Anforderungen** an die Infrastrukturen und den Strommarkt. Um weiterhin eine hohe Versorgungssicherheit zu garantieren und die Kosten möglichst gering zu halten, sind grundsätzliche Anpassungen des Stromsystems nötig.

### WAS MÜSSEN WIR TUN?

**Von den erneuerbaren Energien aus denken.** Bisher wurde versucht, die erneuerbaren Energien mittels Sonderregeln in das bestehende, von Kohle-, Erdgas- und Kernkraftwerken dominierte System zu integrieren. Da die erneuerbaren Energien mittlerweile fast die Hälfte der Stromerzeugung ausmachen, ist ein **Paradigmenwechsel** erforderlich: Das Gesamtsystem der Stromversorgung muss technisch, ökonomisch und rechtlich an die Anforderungen einer von Photovoltaik und Windkraft dominierten Stromerzeugung angepasst werden, um den Übergang zu 100 Prozent erneuerbaren Energien schnell und kostengünstig zu schaffen.

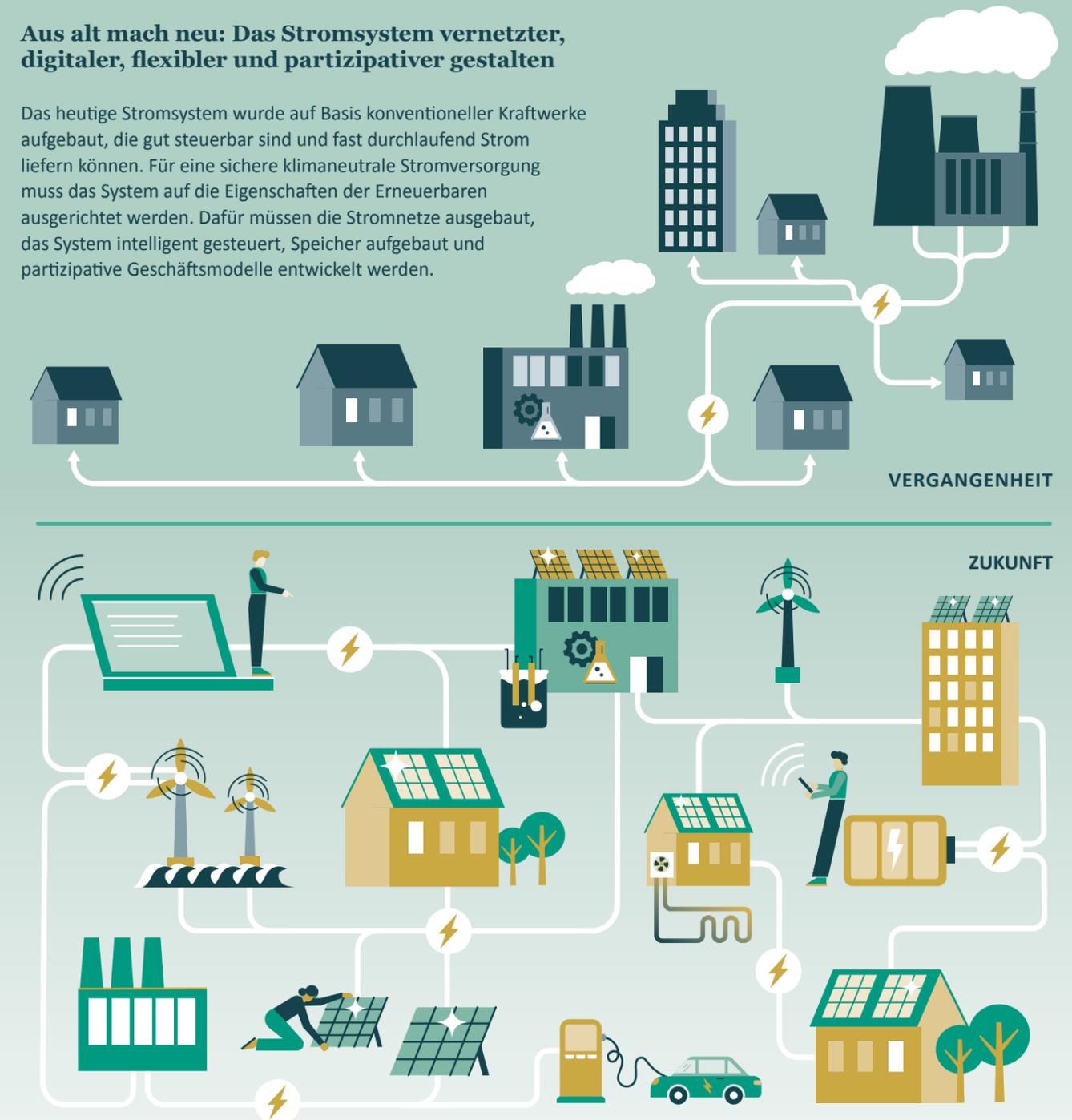
**Ausbau der Stromnetze vorantreiben.** Auch wenn künftig viele dezentrale Anlagen lokal Strom bereitstellen: Ohne Ausbau und Leistungssteigerung der Stromnetze auf allen Spannungsebenen wird die Energiewende nicht gelingen. Denn die Stromnetze müssen die räumlich und zeitlich variable und zunehmende Einspeisung verteilen und ausgleichen. Durch eine starke Vernetzung in Europa können auch regionale Unterschiede in der wetterbedingten Einspeisung genutzt werden, um alle Verbraucher mit Strom zu versorgen. Die **Netzausbauplanung** muss ab sofort konsequent auf das **Ziel der Klimaneutralität bis 2045** ausgerichtet sein. Das vermeidet wiederholte Nachsteuerungen beim Ausbaubedarf, die zu Vertrauensverlusten in der Bevölkerung führen.

**Digitalisierung voranbringen.** Um die vielen dezentralen Erzeugungsanlagen, Speicher und Verbraucher zu koordinieren, muss das Energiesystem digitaler werden. Digitalisierung ermöglicht es, **Stromerzeugung und verbrauch besser aufeinander abzustimmen** und so das **Stromnetz zu stabilisieren**. Gleichzeitig sind Strategien nötig, die das digitalisierte Energiesystem bestmöglich gegen Softwarefehler und Cyberangriffe sichern („Resilienz“) und durch effektiven Datenschutz verhindern, dass Verbraucher\*innen ausgespäht werden.

**Langfristige Investitionen ermöglichen und absichern.** Das Stromsystem der Zukunft benötigt mehr erneuerbare Energien sowie gleichzeitig Back-up-Kapazitäten und Langzeitspeicher, um Zeiten ohne ausreichenden Strom aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen zu überbrücken. Es ist umstritten, ob der heutige Strommarkt langfristig genügend Sicherheiten bietet, um Investitionen in die benötigten Anlagen zu gewährleisten. Diese Frage sollte mit Nachdruck untersucht werden, um bereits heute die Weichen für den **Strommarkt der Zukunft** zu stellen.

## Aus alt mach neu: Das Stromsystem vernetzter, digitaler, flexibler und partizipativer gestalten

Das heutige Stromsystem wurde auf Basis konventioneller Kraftwerke aufgebaut, die gut steuerbar sind und fast durchlaufend Strom liefern können. Für eine sichere klimaneutrale Stromversorgung muss das System auf die Eigenschaften der Erneuerbaren ausgerichtet werden. Dafür müssen die Stromnetze ausgebaut, das System intelligent gesteuert, Speicher aufgebaut und partizipative Geschäftsmodelle entwickelt werden.



### Was müssen wir tun?



Von den erneuerbaren Energien aus denken



Ausbau der Stromnetze vorantreiben



Digitalisierung voranbringen



Langfristige Investitionen ermöglichen und absichern

## 6. Klimaneutrale Industrie auf den Weg bringen

### WARUM IST DAS WICHTIG?

Rund ein Drittel der weltweiten Treibhausgasemissionen stammt aus der Industrie. Ein Großteil davon entsteht bei der Herstellung von Grundstoffen wie Stahl, Zement und Kunststoffen. Da Industrieanlagen viele Jahrzehnte in Betrieb sind, besteht hier ein besonders hohes Risiko, sich langfristig von emissionsintensiven Prozessen abhängig zu machen (Carbon Lock-in). Um die Emissionen der Industrie zu senken, ist ein Dreiklang erforderlich: (i) **Grundstoffbedarf senken** durch höhere Materialeffizienz sowie längere und intensivere Nutzung von Produkten; (ii) **Stoffkreisläufe schließen** im Sinne einer Circular Economy, zum Beispiel indem Produkte auf gute Trenn- und Wiederverwertbarkeit der Materialien hin entwickelt werden; (iii) **klimaneutrale Produktionsprozesse und Rohmaterialien etablieren** durch Elektrifizierung sowie grünen Wasserstoff und damit eigens hergestellten Kohlenwasserstoffen.

### WAS MÜSSEN WIR TUN?

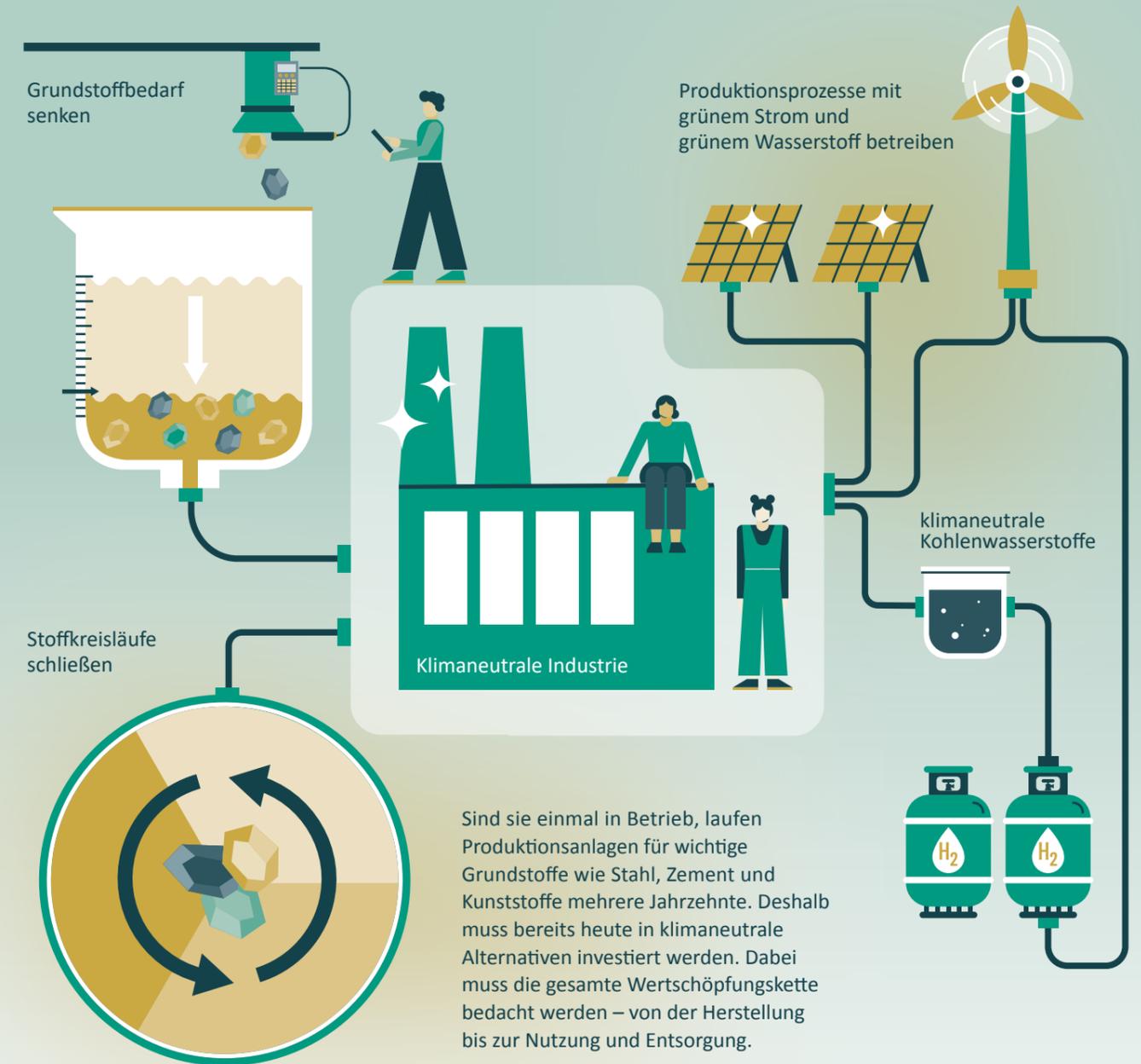
**Wettbewerbsfähigkeit klimaneutraler Produkte auf globalen Märkten sicherstellen.** Das „Fit for 55“-Paket stellt die EU-Kommission vor ein nur schwer aufzulösendes Dilemma: Sie muss klare Anreize für wirkungsvollen Klimaschutz in Europa setzen und zugleich Schutzmaßnahmen treffen, damit Industrieunternehmen ihre Produktion nicht in Länder mit weniger Klimaschutz verlagern (Carbon Leakage). Die Bundesregierung sollte vehement darauf drängen, möglichst rasch eine **Allianz für den Klimaschutz** zu schmieden, die die USA und China mit einbezieht. Die unilaterale Festlegung eines Grenzausgleichssystems seitens der EU wäre mit hohen Risiken behaftet.

**Investitionen durch CO<sub>2</sub>-Differenzverträge absichern.** Um den Markterfolg wichtiger klimaneutraler Produktionsprozesse zu gewährleisten, dürften die aktuellen und für die nähere Zukunft zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Preise im EU-Emissionshandel zu niedrig sein. Carbon Contracts for Difference (CCfDs) können sicherstellen, dass Unternehmen trotzdem schon jetzt **in klimaschonende Verfahren investieren**: Sie decken die Kostendifferenz zu herkömmlichen Verfahren vollständig ab und schaffen dadurch Investitionssicherheit. Dies ist dringend nötig, da zwischen 2020 und 2030 bei vielen bestehenden Anlagen große Reinvestitionen anstehen. Ein wichtiger Vorteil von CCfDs ist, dass die staatliche Unterstützung bei steigenden CO<sub>2</sub>-Preisen abnimmt: Im Falle ausreichend hoher CO<sub>2</sub>-Preise fließen automatisch keine Subventionen mehr.

**Circular Economy und klimafreundliche Materialien auf nationaler und EU-Ebene fördern.** Geschlossene Materialkreisläufe können auch diejenigen Emissionen und Umweltkosten verringern, die bisher kaum eingepreist werden. Es sind Maßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette erforderlich, um eine **Kreislaufwirtschaft und die Nutzung klimafreundlicher Materialien** zu fördern – von der Wahl der Grundstoffe über die Güterproduktion bis hin zur Abfallbehandlung. Beispiele hierfür sind Standards für Produktdesign durch die Eco-Design-Richtlinie der EU sowie Anreize durch Gebührenstrukturen für den Grünen Punkt und Pfandsysteme.

**Die notwendige Infrastruktur zeitgerecht entwickeln.** Eine klimaneutrale Industrie benötigt große Mengen an grünem Strom und grünem Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen und mit sicheren Transportinfrastrukturen. Für unvermeidbare Prozessemissionen, etwa aus der Zement- und Kalkindustrie, müssen CO<sub>2</sub>-Abscheidungs- und Transportinfrastrukturen aufgebaut und geeignete CO<sub>2</sub>-Lagerstätten erschlossen werden (Carbon Capture and Storage). Hierfür bedarf es frühzeitiger Änderungen im Genehmigungsrecht – zuvorderst aber einer gesellschaftlichen Diskussion über die in Deutschland umstrittene Technologie.

## Investitionen in die Zukunft: Die Basis für eine klimaneutrale Industrie schaffen



### Was müssen wir tun?



Wettbewerbsfähigkeit klimaneutraler Produkte auf globalen Märkten sicherstellen



Investitionen durch CO<sub>2</sub>-Differenzverträge absichern



Circular Economy und klimafreundliche Materialien auf nationaler und EU-Ebene fördern



Die notwendige Infrastruktur zeitgerecht entwickeln

## 7. Wasserstoff: sinnvoll einsetzen, Chancen nutzen

### WARUM IST DAS WICHTIG?

Wasserstoff ist für eine klimaneutrale Energieversorgung von großer Bedeutung: In Wasserstoff und seinen Syntheseprodukten (zum Beispiel Ammoniak, Methanol, synthetischem Kerosin und anderen Kohlenwasserstoffen) lässt sich Energie **aus Wind und Sonne speichern, transportieren und vielseitig verwenden** – auch in Bereichen, in denen grüner Strom nicht direkt eingesetzt werden kann. Diese Energieträger können außerdem aus fernen Ländern importiert werden, die bessere Wind- und Solarpotenziale haben. Dies wird erforderlich sein, denn auch in Zukunft wird Deutschland seinen Bedarf an Energie und an Kohlenwasserstoffen als Rohstoff, beispielsweise für die Produktion von Kunststoffen sowie Dünge- und Arzneimitteln, voraussichtlich nicht selbst decken können.

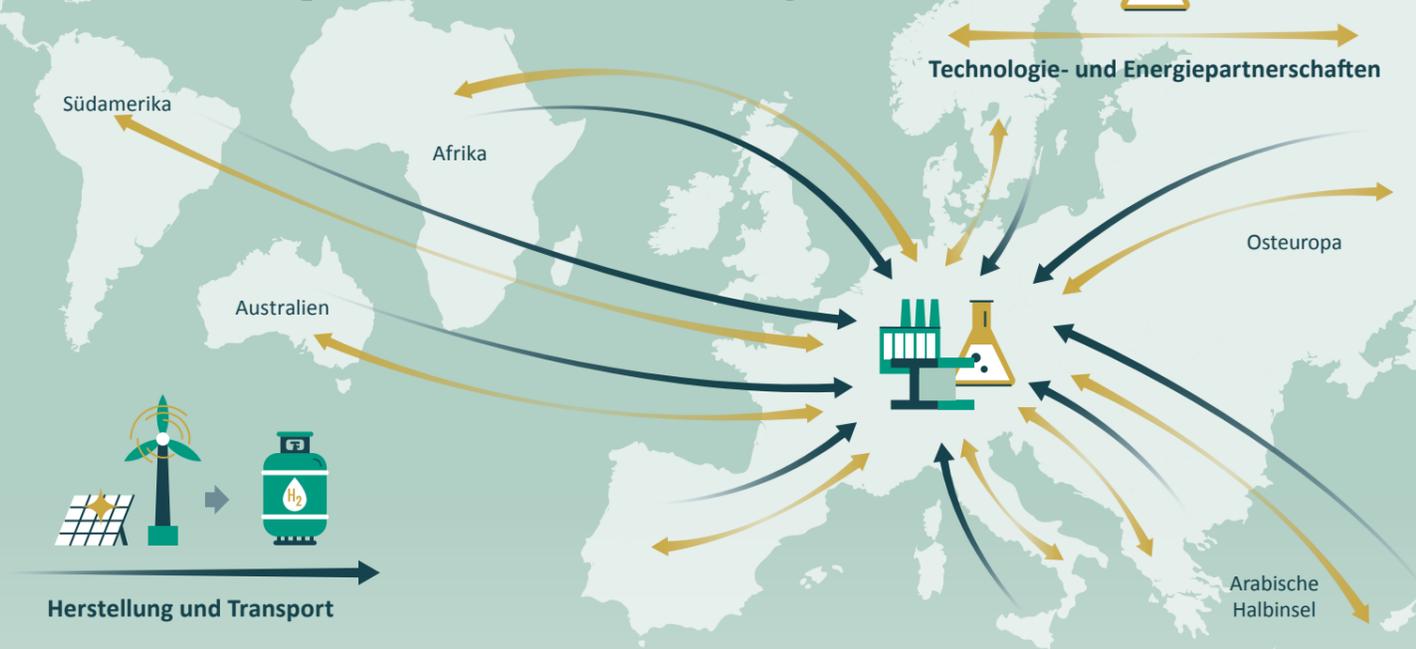
### WAS MÜSSEN WIR TUN?

**Mit Partnerländern auf Augenhöhe kooperieren, europäisch und global denken.** Um die Klimaziele zu erreichen, muss binnen weniger Jahre viel geschehen: **Globale Märkte und Wertschöpfungsketten** für klimaneutralen Wasserstoff – von der Erzeugung über den Transport bis hin zur Anwendung – müssen geschaffen und Regulierungen angepasst und neu eingeführt werden. Dabei ist wichtig, dass langfristige, **verlässliche Partnerschaften** für Wasserstoffimporte durch lokale Wertschöpfung auch der Bevölkerung in den Erzeugerländern nützen. Zugleich ist stets zu prüfen, ob erneuerbarer Strom zunächst vor Ort genutzt werden kann. Dem Klima wäre nicht geholfen, wenn mit grünem Strom Wasserstoff für den Export produziert wird, während Kohle- und Erdgaskraftwerke die lokale Stromversorgung übernehmen.

**Verfügbarkeit realistisch bewerten, Einsatzgebiete klar priorisieren.** Schon heute verbraucht Deutschland jährlich etwa 1,7 Millionen Tonnen Wasserstoff (rund 55 Terawattstunden). Dieser wird vorwiegend aus Erdgas gewonnen und vor allem in Raffinerien und der chemischen Industrie genutzt. Um allein diesen Bedarf mit grünem Wasserstoff zu decken, bräuchte es rund 85 Terawattstunden Strom – circa 15 Prozent der heutigen jährlichen Stromerzeugung in Deutschland. Soll grüner Wasserstoff künftig auch als Energieträger und Grundstoff in der Industrie dienen, sind weitaus größere Strommengen nötig. Angesichts des **enormen Strombedarfs** sind kurz- und langfristige Bedarfe und Potenziale **realistisch zu bewerten**. Die Hoffnung auf zukünftige Wasserstoffimporte darf die Elektrifizierung des Straßenverkehrs und der Wärmeversorgung sowie den Ausbau der erneuerbaren Energien und Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs nicht verzögern. Da grüner Wasserstoff und damit hergestellte Flüssigkraftstoffe zunächst nur **in begrenzten Mengen** verfügbar sein werden, sollten sie vornehmlich in Bereichen verwendet werden, in denen ein direkter Einsatz von Strom (noch) nicht möglich ist, etwa in der Stahlherstellung und im Flug- und Schiffsverkehr.

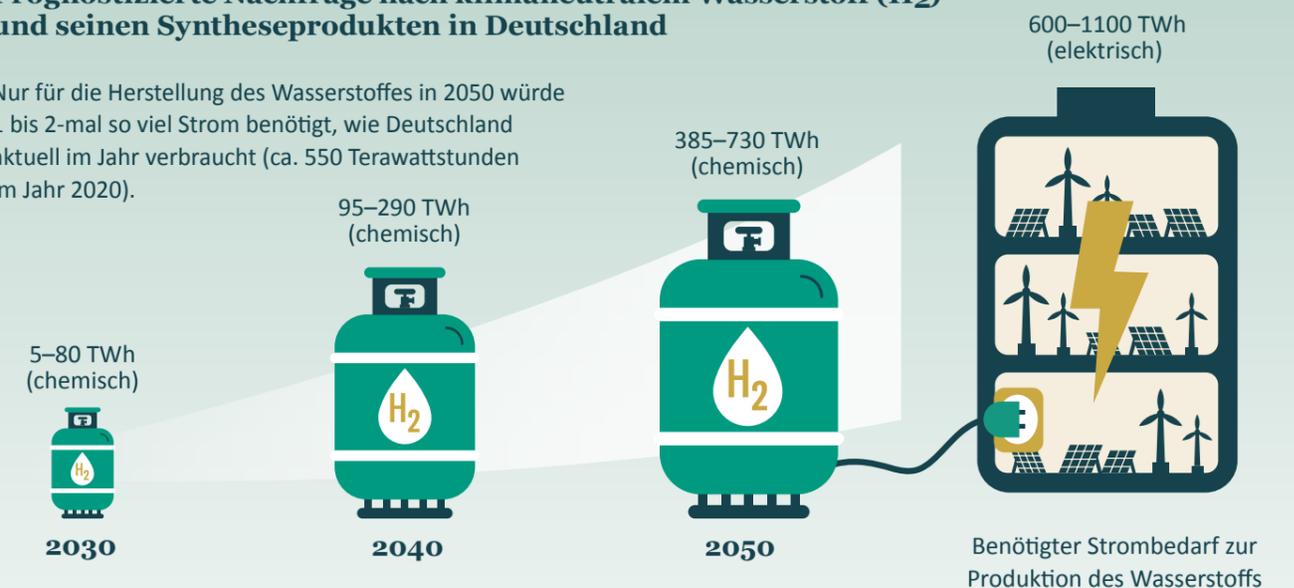
**Forschung und Entwicklung stärken, Infrastrukturen aufbauen.** Damit Wasserstofftechnologien den Sprung in die Anwendung schaffen, sollten **Forschung und Entwicklung** weiter vorangetrieben und große **Demonstrationsprojekte** aufgebaut werden. Gleichzeitig braucht es schnell Infrastrukturen für den nationalen und internationalen Transport und die Speicherung von Wasserstoff. Für diese erscheint eine geeignete **staatliche Unterstützung** unabdingbar. Eine besondere Rolle nehmen Anlagen ein, für die in den nächsten Jahren langlebige Investitionen anstehen und für die eine **Umstellung auf Wasserstoff voraussichtlich alternativlos** ist. Ein Beispiel ist die Stahlherstellung: Hier könnte für eine Übergangszeit auch Wasserstoff aus fossilen Rohstoffen genutzt werden, um langlebige Investitionen in konventionelle Technologien zu vermeiden. Ein entsprechender rechtlicher Rahmen muss den sukzessiven Übergang zu ausschließlich grünem Wasserstoff sicherstellen.

## Die deutsche Wasserstoffwirtschaft braucht internationale Kooperationen und Handelsbeziehungen



### Prognostizierte Nachfrage nach klimaneutralem Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und seinen Syntheseprodukten in Deutschland

Nur für die Herstellung des Wasserstoffes in 2050 würde 1 bis 2-mal so viel Strom benötigt, wie Deutschland aktuell im Jahr verbraucht (ca. 550 Terawattstunden im Jahr 2020).



### Was müssen wir tun?



Mit Partnerländern auf Augenhöhe kooperieren, europäisch und global denken



Verfügbarkeit realistisch bewerten, Einsatzgebiete klar priorisieren



Forschung und Entwicklung stärken, Infrastrukturen aufbauen

## 8. Bioenergie systemdienlich einsetzen

### WARUM IST DAS WICHTIG?

Biomasse ist der einzige erneuerbare Energieträger, der in stofflicher Form vorliegt. Sie kann zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie als Biokraftstoff dienen, nimmt aber auch in der Produktherstellung eine wachsende Rolle ein. Dort ersetzt Biomasse klimaschädliche Materialien und Ausgangsstoffe wie Erdöl, Beton oder Stahl. Doch der Anbau von Energiepflanzen wie Mais, Raps und Ölpalmen erfordert große Flächen und kann Böden, Gewässern und der Artenvielfalt schaden. Der Energieertrag pro Fläche ist zudem sehr viel geringer als bei Solarenergie. Die Ernährung der wachsenden Weltbevölkerung darf durch den Energiepflanzenanbau nicht zusätzlich gefährdet werden – gerade vor dem Hintergrund der zunehmenden Risiken für die Landwirtschaft durch den Klimawandel. Auch die energetische Nutzung von Holz trägt nur in manchen Fällen zum Klimaschutz bei. **Nachhaltig erzeugte Biomasse ist also nur in begrenzter Menge verfügbar** und sollte so genutzt werden, dass sie dem Gesamtsystem die größten Vorteile bringt.

### WAS MÜSSEN WIR TUN?

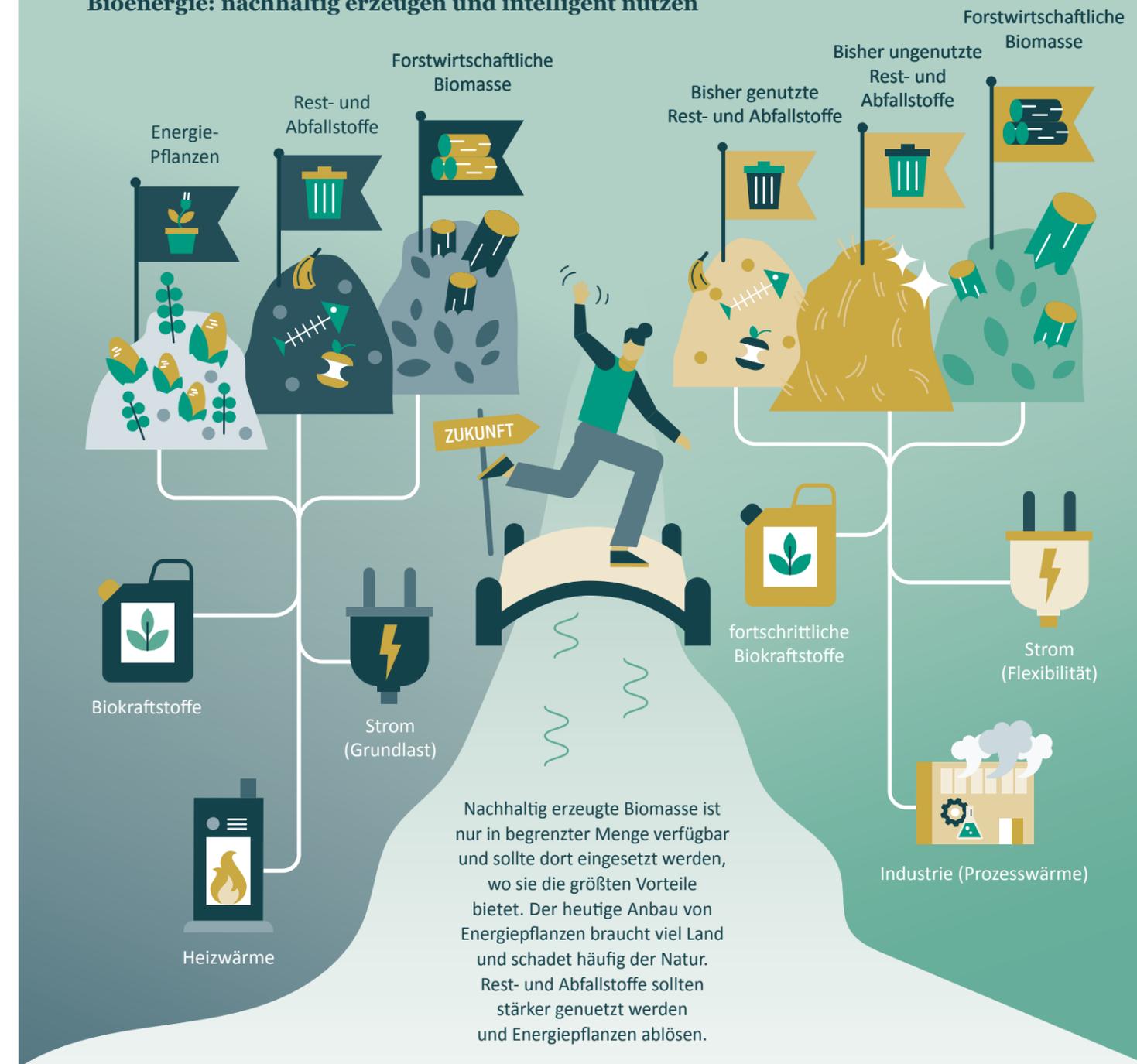
**Eine umfassende Bioenergiestrategie umsetzen.** Bioenergie wird heute unterschiedlich genutzt: Holz dient meist dem Heizen, landwirtschaftliche Biomasse („Energiepflanzen“) der Erzeugung von Biokraftstoffen und Biogas, das größtenteils zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt wird. Mit zunehmendem Ausbau der Wind- und Solarenergie sollten sich die Anwendungsbereiche von Bioenergie ändern, um die **Nutzung von grünem Strom sinnvoll zu ergänzen**. Eine umfassende Bioenergiestrategie sollte sicherstellen, dass Biomasse künftig dort Verwendung findet, wo ein direkter Einsatz von Wind- und Solarstrom nicht möglich ist, also in der **Industrie**, im **Flugverkehr** und zur **Stromerzeugung in Dunkelflauten** mit flexiblen Biogaskraftwerken.

**Auf Anbau-Biomasse verzichten, dafür Rest- und Abfallstoffe nutzen.** Bisher ungenutztes Restholz, Stroh und tierische Exkremente haben großes Potenzial: Sie können zunehmend für die **Energiegewinnung** eingesetzt werden und **Energiepflanzen schrittweise ersetzen**, ohne den Einsatz von Bioenergie insgesamt zu reduzieren. Das ermöglicht, die Vorteile der Bioenergie im Energiesystem zu nutzen, dabei aber die Risiken für Natur, Umwelt und Ernährungssicherheit gering zu halten.

**Globale Folgen der Bioenergienutzung in Deutschland beachten.** Die energetische Nutzung von Waldholz und Agrarrohstoffen ist ökologisch riskant und sollte nicht ausgeweitet werden. Denn eine **Intensivierung der Landnutzung erhöht den Druck auf Umwelt und Natur**. Da Holz und Agrarrohstoffe wie Pflanzenöle auf globalen Märkten gehandelt werden, kann sich deren Nutzung in Deutschland auf Ökosysteme weltweit auswirken. Deutschland sollte sich dafür einsetzen, global wirksame Instrumente für den Schutz der Wälder und eine klima- und naturverträgliche Landnutzung zu schaffen. Diese müssten neben Bioenergie auch alle anderen land- und forstwirtschaftlichen Produkte berücksichtigen. Bis solche Instrumente greifen, sollte Bioenergie nur sehr restriktiv genutzt werden.

**Bioenergie mit Carbon Capture and Storage (CCS) erproben.** Wird Bioenergie zur Energieversorgung von Industrieanlagen eingesetzt, kann das dabei entstandene CO<sub>2</sub> abgeschieden werden. Wird dieses zuvor von den Pflanzen aus der Atmosphäre aufgenommene CO<sub>2</sub> unterirdisch eingelagert (Carbon Capture and Storage, kurz: CCS), würde dies den **CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre verringern** („negative Emissionen“). Alternativ kann das CO<sub>2</sub> zum Beispiel auch dazu dienen, klimaneutrale synthetische Kraftstoffe oder Kohlenwasserstoffe für die industrielle Nutzung zu erzeugen.

## Bioenergie: nachhaltig erzeugen und intelligent nutzen



### Was müssen wir tun?



## 9. Rohstoffe für die Energiewende sichern und nachhaltig nutzen

### WARUM IST DAS WICHTIG?

Windräder, Solaranlagen, Speicher und Elektroautos: Sie alle bestehen aus verschiedenen Metallen wie Stahl und Kupfer, aber auch Seltenen Erden, Kobalt und Lithium. Viel stärker noch als bei Erdöl sind Deutschland und Europa bei manchen dieser Metalle auf Lieferungen aus einigen wenigen Ländern angewiesen. Lieferengpässe bei diesen Rohstoffen können den Aufbau einer klimafreundlichen Energieversorgung verzögern. Eine **aktive Rohstoffpolitik** sollte sicherstellen, dass die für die Energiewende benötigten Rohstoffe verfügbar sind. Einzelne Versorgungsengpässe lassen sich dabei leichter überbrücken, wenn die Rohstoffe aus verschiedenen Quellen bezogen werden. Gleichzeitig gilt es, durch alternative Produkte oder Herstellungsverfahren den Bedarf an kritischen Rohstoffen zu verringern.

### WAS MÜSSEN WIR TUN?

**Rohstoffverbrauch durch kluge Herstellung und Nutzung von Produkten reduzieren.** Der Verbrauch an Rohstoffen kann gesenkt werden, indem Produkte **langlebiger und reparaturfähiger hergestellt und effektiver genutzt** werden (zum Beispiel durch gemeinsame Nutzung wie Carsharing). Eine leichtere Bauweise und die Vermeidung von Materialverlusten bei der Fertigung erlauben es zudem, Produkte mit geringerem Rohstoffeinsatz herzustellen. **Intensive Materialforschung** kann dazu beitragen, kritische Rohstoffe durch leichter verfügbare Ressourcen zu ersetzen.

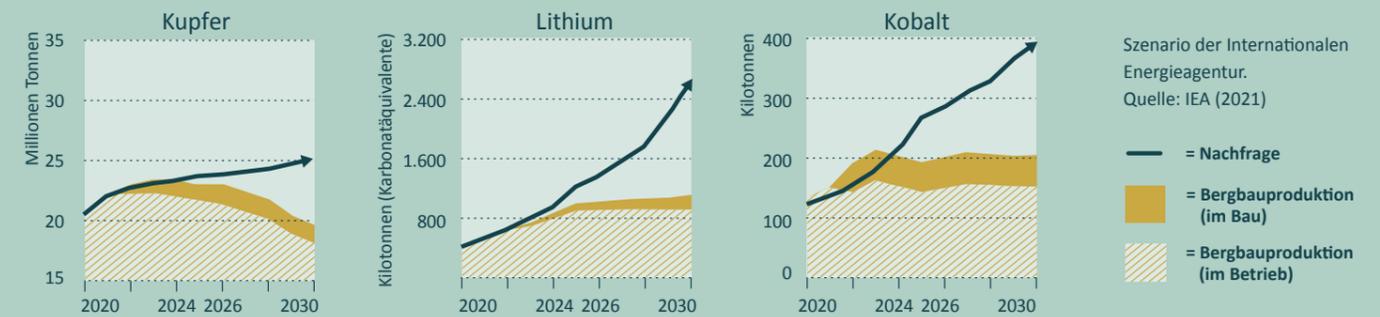
**Recycling verbessern.** Stahl, Aluminium und Kupfer werden schon heute bevorzugt aus Schrott gewonnen. Doch die Recyclingraten bei sogenannten Hightech-Rohstoffen wie Seltenen Erden, Indium oder Gallium sind noch sehr niedrig. Um den Importbedarf zu verringern, sollte die Bundesregierung eine Erhöhung der Recyclingraten anstreben. Der gesamte Lebenszyklus von Produkten sollte eine **effiziente Wiedergewinnung wertvoller Rohstoffe** ermöglichen und fördern: vom recyclingfähigen Produktdesign über verbraucherfreundlichere Sammelsysteme bis hin zu schärferen Ausfuhrkontrollen für Gebrauchsgüter, um die illegale Ausfuhr von Elektroschrott zu verhindern, und Vorschriften in der Abfallgesetzgebung für ein hochwertiges Recycling von Edel- und Sondermetallen.

**Europäische Rohstoffquellen erschließen.** Selbst im theoretischen Idealfall eines vollständigen Recyclings könnte dieses den steigenden Rohstoffbedarf nur teilweise decken – Bergbau bleibt erforderlich. **Den Bergbau in Europa wieder zu intensivieren**, kann die Abhängigkeit von politisch instabilen Ländern und Ländern mit großer Marktmacht verringern. Ein Schritt in diese Richtung ist die kürzlich beschlossene Änderung im deutschen Bergrecht, die die Förderung von Lithium in Deutschland erleichtert.

**Industrie bei der Rohstoffsicherung unterstützen, Umwelt- und Sozialstandards sicherstellen.** Deutschland sollte international auf offene und transparente Rohstoffmärkte hinwirken und mit Handelsabkommen sowie zwischenstaatlichen Verträgen privatwirtschaftliche Lieferbeziehungen flankieren. Auch strategische Investitionen in Rohstoffprojekte können die **Versorgungssicherheit verbessern**. Dabei ist es nicht nur ethisch geboten, **Umwelt- und Sozialstandards international zu erhöhen**, sondern dies ist auch Voraussetzung für einen fairen Wettbewerb. Dies gilt für Bergbau und Recycling gleichermaßen. Verbindliche Transparenzmechanismen können Unternehmen dazu verpflichten, ihre Produktionsbedingungen offenzulegen.

## Steigender Rohstoffbedarf durch die Energiewende

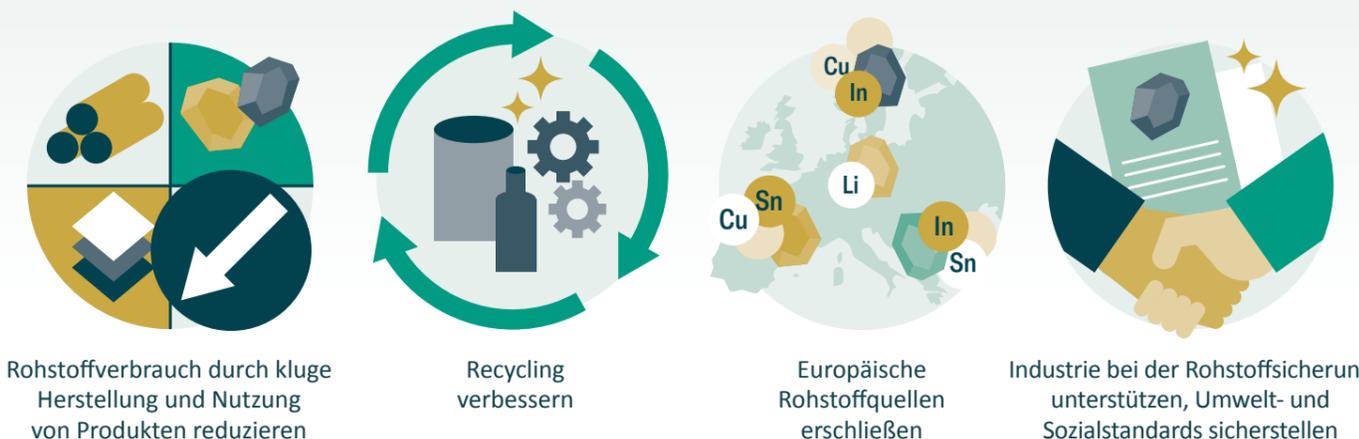
Der Umbau des Energiesystems bedeutet einen steigenden Bedarf an mineralischen Rohstoffen. Um diesen decken zu können, müssen in den nächsten 10 Jahren zusätzliche Bergbaukapazitäten aufgebaut werden. Die Berechnungen der internationalen Energieagentur (IEA) zeigen exemplarisch, wie sich der Bedarf für Energietechnologien wichtiger Rohstoffe entwickeln könnte.



## Die Energiewende mit aktiver Rohstoffpolitik fördern



### Was müssen wir tun?



## 10. Negative Emissionen: CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entnehmen

### WARUM IST DAS WICHTIG?

Selbst im bestmöglichen Fall ist absehbar, dass Landwirtschaft und einige Teile der Industrie auch im Jahr 2045 noch Treibhausgase ausstoßen. Diese auszugleichen ist sozusagen der Schlusssprint, um Klimaneutralität zu erreichen. Hierzu werden Verfahren benötigt, die CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entnehmen und permanent einlagern, in Vegetation und Boden binden oder in langlebigen Produkten speichern (zum Beispiel in Bauholz). Um die Erderwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, müssen laut Weltklimarat ab Mitte des Jahrhunderts sogar mehr Treibhausgase aus der Atmosphäre entfernt als noch ausgestoßen werden – man spricht dann von netto-negativen Emissionen.

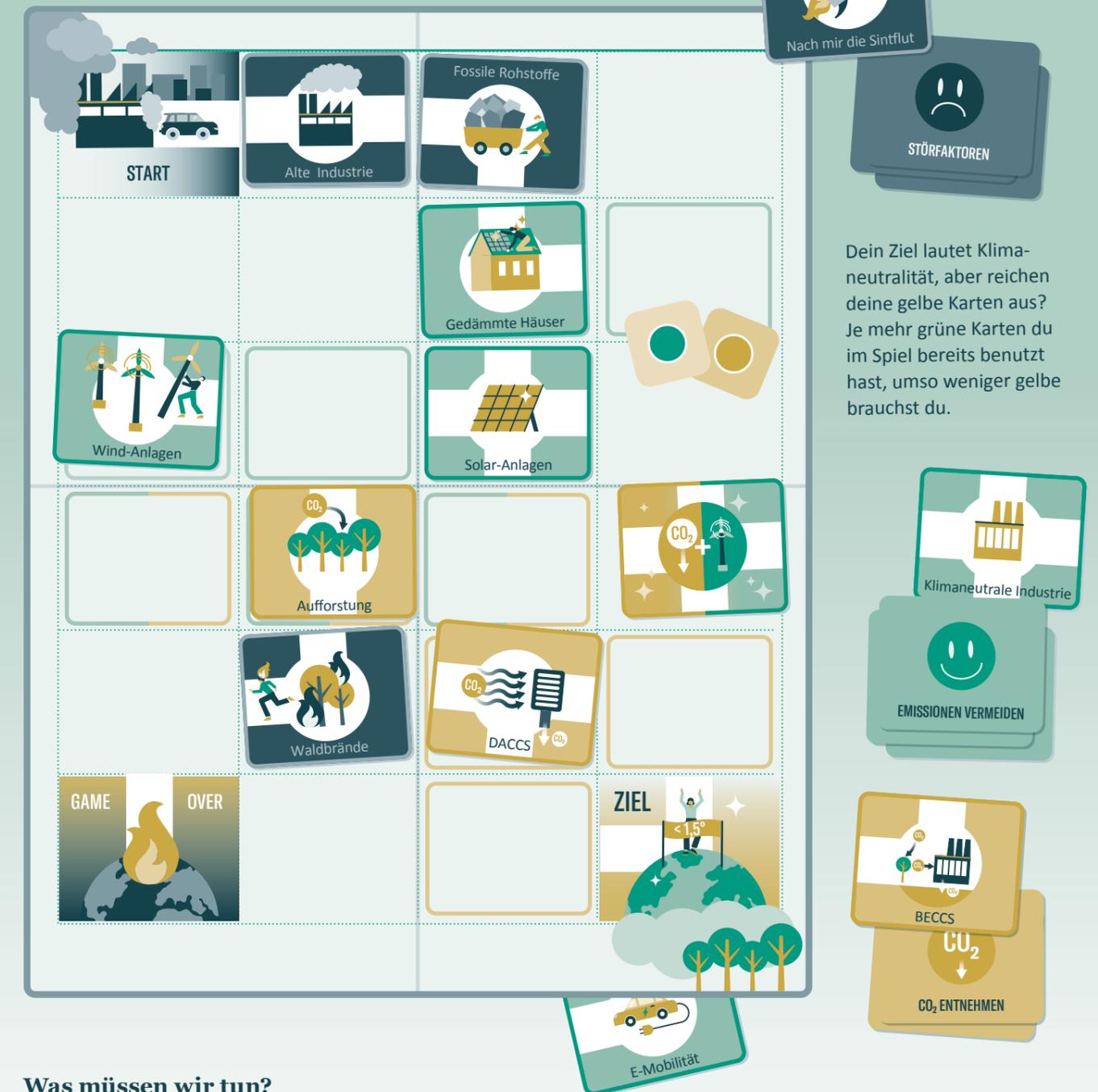
### WAS MÜSSEN WIR TUN?

**Rolle von CO<sub>2</sub>-Entnahme gesellschaftlich diskutieren und festlegen.** Es gibt verschiedene Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Entnahme. Die deutsche Politik setzt bisher in erster Linie auf sogenannte „**natürliche Senken**“, also auf Ökosysteme wie Wälder, die Kohlenstoff binden. Voraussichtlich werden die Potenziale in Deutschland aber nicht ausreichen, um langfristig netto-negative Emissionen zu erreichen. Zudem sind gerade Wälder durch den Klimawandel gefährdet, sodass nicht sicher ist, ob sie CO<sub>2</sub> permanent speichern können: Waldbrände, Dürren oder Schädlinge können Wälder so stark schädigen, dass der gebundene Kohlenstoff wieder in die Atmosphäre gelangt. Neben den natürlichen Senken werden **technische CO<sub>2</sub>-Entnahmeverfahren** diskutiert: So kann CO<sub>2</sub> aus Bioenergieanlagen abgeschieden oder direkt aus der Luft entnommen und anschließend in geologischen Lagerstätten dauerhaft gespeichert werden (Carbon Capture and Storage, kurz: CCS). Die langfristigen Potenziale und Kosten dieser Technologien sind allerdings noch unsicher. CCS ist in Deutschland umstritten, aber voraussichtlich notwendig, um die Klimaziele zu erreichen – wobei Abscheidung und Einlagerung des CO<sub>2</sub> auch in anderen Ländern erfolgen könnten, in denen grüne Energie günstiger und die Akzeptanz für CCS größer ist. Die Bundesregierung sollte eine **gesellschaftliche Debatte** anstoßen, die über 2045 hinausblickt und festlegt, welche Verfahren zur CO<sub>2</sub>-Entnahme ab wann zum Einsatz kommen sollen.

**CO<sub>2</sub>-Entnahmeverfahren erforschen und realisieren.** Die verschiedenen CO<sub>2</sub>-Entnahmeverfahren müssen weiter **erforscht, erprobt** und innerhalb der nächsten 10 bis 20 Jahre in den **Markthochlauf** gebracht werden. Da Potenziale, Kosten und Risiken der verschiedenen Verfahren noch nicht umfassend abzuschätzen sind, ist es sinnvoll, zunächst auf einen breiten Mix von Technologien zu setzen.

**Potenziale nicht überschätzen.** Wie viel CO<sub>2</sub> in den nächsten Jahrzehnten der Atmosphäre zu welchen Kosten tatsächlich entnommen werden kann, ist ungewiss. Die Vermeidung von Emissionen muss daher oberste Priorität haben, um die Abhängigkeit von unsicheren und noch unerprobten CO<sub>2</sub>-Entnahmetechnologien möglichst gering zu halten. Ein Ausgleich von Emissionen durch CO<sub>2</sub>-Entnahme aus der Atmosphäre sollte entsprechend nur für diejenigen Emissionen vorgesehen werden, die sich voraussichtlich nicht vermeiden lassen.

## Negative Emissionen: Die letzten Meter zur Klimaneutralität



### Was müssen wir tun?



Rolle von CO<sub>2</sub>-Entnahme gesellschaftlich diskutieren und festlegen



CO<sub>2</sub>-Entnahmeverfahren erforschen und realisieren



Potenziale nicht überschätzen

## 11. Klimapolitik transparent und gerecht gestalten

### WARUM IST DAS WICHTIG?

Die Energiewende kann nur gelingen, wenn die Bevölkerung sie mitträgt und aktiv unterstützt. Umfragen zeigen, dass ein Großteil der Bürger\*innen die Energiewende befürwortet und Klimaschutz sehr wichtig findet. Viele sind aber mit der Umsetzung unzufrieden, unter anderem weil sie die Verteilung der Lasten aus Klimaschutz und Energiewende als ungerecht und klimafreundliches Verhalten als strukturell erschwert empfinden. So fördert etwa die Verkehrspolitik die klimafreundliche Mobilität nicht ausreichend. Ziel der Klimapolitik muss sein, die aus der Transformation entstehenden Belastungen fair zu verteilen und ehrlich zu kommunizieren. Dabei sollten unterschiedliche Lebensrealitäten beachtet und sozialverträgliche Lösungen gesucht werden, die trotzdem die richtigen Signale für den Klimaschutz setzen.

### WAS MÜSSEN WIR TUN?

**Klimapolitik offen und transparent kommunizieren.** Energiewende und Klimaschutz bedeuten große Veränderungen für uns als Gesellschaft. Dazu gehören ein Wandel im Konsumverhalten und Alltag ebenso wie erhebliche Investitionen. Doch ohne sofortige und entschiedene Maßnahmen drohen langfristig deutlich höhere Kosten. Bereits in wenigen Jahren müsste die Politik aufgrund anhaltender Zielverfehlungen zu teureren Maßnahmen greifen und die individuelle Handlungsfreiheit stärker einschränken, um die Klimaziele noch erreichen zu können. Die Bundesregierung sollte einen **intensiven Diskurs** über die Größe der Herausforderung sowie über Kosten, Nutzen und Verteilungswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen anstrengen. Jede\*r Einzelne muss sich ein Bild davon machen können, was auf sie oder ihn durch die Maßnahmen zukommt.

**Einnahmen aus der CO<sub>2</sub>-Bepreisung gezielt einsetzen.** Eine faire Lastenteilung erfordert, dass diejenigen Bürger\*innen und Unternehmen, die die meisten Emissionen verursachen, entsprechend mehr dafür zahlen. Eine wichtige Grundlage dafür schafft die CO<sub>2</sub>-Bepreisung, die transparent ist und automatisch diejenigen stärker in die Pflicht nimmt, die einen hohen CO<sub>2</sub>-Ausstoß verursachen. Allerdings können die Belastungen aus CO<sub>2</sub>-Preisen und anderen Klimaschutzmaßnahmen ärmere Haushalte in Relation zu ihrem verfügbaren Einkommen stärker treffen. Einnahmen aus der CO<sub>2</sub>-Bepreisung können dazu genutzt werden, zum einen staatliche Klimaschutzmaßnahmen zu finanzieren und zum anderen Bürger\*innen und Unternehmen zu entlasten. Besonders sinnvoll erscheint die **Abschaffung der EEG-Umlage**: Der Strompreis sinkt, wodurch grüner Strom attraktiver wird und gleichzeitig Unternehmen sowie (insbesondere ärmere) Haushalte entlastet werden. Entlastungen sollten allerdings CO<sub>2</sub>-Preise nicht konterkarieren. So begünstigt eine höhere Pendlerpauschale beispielsweise Langstreckenpendler, die bereits heute zu mehr als 80 Prozent das Auto nutzen.

**Klimafreundliche Alternativen schaffen.** Für die Einzelne und den Einzelnen ist es oft schwierig, sich klimagerecht zu verhalten. Auf fossilen Energieträgern beruhende Verhaltensmuster sind lange eingeübt, während **attraktive und klimaschonende Alternativen** fehlen. Diese müssen aufgebaut werden, um neue Lebensmodelle zu ermöglichen – von einem gut ausgebauten, barrierefreien öffentlichen Nahverkehr über sichere und attraktive Radwege bis hin zur Option, im Homeoffice zu arbeiten. Dabei sind **unterschiedliche Lebensumstände** in Stadt und Land zu berücksichtigen, sodass für alle Menschen gute Lösungen entstehen. Ein Beispiel ist eine Fahrzeugmaut, die Autofahren in Städten mit gutem öffentlichen Nahverkehr verteuert, während sie Bürger\*innen auf dem Land nicht zusätzlich belastet. Ein weiteres Beispiel ist die Finanzierung der Gebäudeklimatisierung, für die Konzepte entwickelt werden müssen, die sowohl Mieter\*innen als auch Vermieter\*innen gerecht werden.

## Klimapolitik sozial gestalten



### Was müssen wir tun?



Klimapolitik offen und transparent kommunizieren



Einnahmen aus der CO<sub>2</sub>-Bepreisung gezielt einsetzen



Klimafreundliche Alternativen schaffen

## Quellenverzeichnis

### Mehr zum Thema

Viele der Aussagen und Einschätzungen in dem vorliegenden Impuls basieren auf den Ergebnissen der Stellungnahmen, Analysen, Impulspapieren, Materialien und weiterer Publikationen, die im Rahmen der Arbeit des Akademienprojekts ESYS über die letzten Jahre entstanden sind. Direkte Bezüge auf Projektergebnisse sind im folgenden Quellenverzeichnis ausgewiesen. Die vollständige Liste der Publikationen ist zu finden unter: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen>.

## 1 Verantwortung übernehmen und ganzheitliche Lösungen entwickeln

### Der Klimawandel ist eine existentielle Bedrohung für die Menschheit, (...)

Ranasinghe, R./Ruane, A.C./Vautard, R. et al.: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Kapitel 12. Climate change information for regional impact and for risk assessment*. URL: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter\\_12.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter_12.pdf) [Stand 21.09.2021].

### (...) auf die die globale Gemeinschaft der Staaten bisher nicht angemessen reagiert. Sie hat sich zwar ambitionierte Klimaziele gesteckt, aber keine hinreichenden Weichen gestellt, um sie einzuhalten

Climate action tracker: *Adressing global warming*, 2021. URL: <https://climateactiontracker.org/global/temperatures/> [Stand 07.10.2021].

So hat der Climate Action Tracker weltweit Gambia als einziges Land identifiziert, dessen Klimapolitik mit dem 1,5°C-Ziel des Pariser Klimaschutzabkommens vereinbar ist:

Climate action tracker.: *Adressing global warming*, 2021. URL: <https://climateactiontracker.org/countries/> [Stand 22.09.2021].

### (...) sich für eine ambitionierte Ausgestaltung und Umsetzung des European Green Deal einsetzen (...)

Europäische Union (EU): *Der europäische grüne Deal*. Brüssel, 11.12.2019. URL: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF) [Stand 21.09.2021].

Info-Seite der EU zum European Green Deal:

Europäische Kommission (EU): *Europäischer Grüner Deal*, 2021. URL: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_de](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de) (Stand 21.09.2021).

### Die europäischen Industrieländer haben einen erheblichen Teil der historischen Emissionen verursacht (...)

Summiert man die CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1751 bis 2019 auf, steht die EU hinter den USA an zweiter Stelle:

Hannah Ritchie: *Who has contributed most to global CO<sub>2</sub> emissions?*, 2019. URL: <https://ourworldindata.org/contributed-most-global-co2> [Stand 11.10.2021].

Eine Animation der Entwicklung der historischen Emissionen von 1850 bis 2021. Die EU-Länder sind hier nur einzeln aufgeführt:

CarbonBrief: *Analysis: Which countries are historically responsible for climate change?*, 2021. URL: <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change> [Stand 11.10.2021].

### Weiterführende Informationen siehe:

Zum Ziel Klimaneutralität 2045 in Deutschland

Die Bundesregierung: *Klimaschutzgesetz 2021, Generationenvertrag für das Klima*, 2021. URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672> [Stand 23. 09 2021].

*Klimaschutzgesetz KSG 2021*: Bundesanzeiger Verlag: *Erstes Gesetz zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes*, 2021. URL: [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger\\_BGBl&start=//\\*\[@attr\\_id=%27bgbl121s3905.pdf%27\]#\\_\\_bgbl\\_\\_%2F%2F\\*%5B%40attr\\_id%3D%27bgbl121s3905.pdf%27%5D\\_\\_1633640639297](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//*[@attr_id=%27bgbl121s3905.pdf%27]#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl121s3905.pdf%27%5D__1633640639297) [Stand 11.10.2021].

*Zusammenfassung der wichtigsten Punkte des Gesetzes*: Die Bundesregierung: *Klimaschutzgesetz 2021, Generationenvertrag für das Klima*, 2021. URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672> [Stand 11.10.2021].

## 2 Fossile Energien verdrängen

### Etwa 80 Prozent der Treibhausgasemissionen stammen aus der Verbrennung von Kohle, Erdölprodukten und Erdgas.

Die Aussage bezieht sich auf die energiebedingten Emissionen. In Deutschland machen die energiebedingten Emissionen etwa 85% der Treibhausgasemissionen aus, 98% davon sind CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Umweltbundesamt: *Energiebedingte Emissionen*, 02.06.2021. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen#energiebedingte-treibhausgas-emissionen> [Stand 28.09.2021].

Weltweit sind energiebedingte Emissionen für ca. 73% der Treibhausgasemissionen verantwortlich.

Our world in Data: *Emissions by sector*, 2021. URL: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector> [Stand 11.10.2021].

### Ein zentrales Instrument dafür ist der CO<sub>2</sub>-Preis (...)

Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung: *Aufbruch zu einer neuen Klimapolitik (Sondergutachten 2019, Kapitel IV.)*, 2019. URL: <https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/sondergutachten-2019.html> [Stand 28.09.2021].

Cramton, P. C./MacKay, D. J. C./Ockenfels, A. (Hrsg.): *Global Carbon Pricing: the Path to Climate Cooperation*, In: Cambridge, MA: MIT Press 2017.

Edenhofer, O./Flachsland, C./Kalkuhl, M./Knopf, B./Pahle, M.: *Optionen für eine CO<sub>2</sub>-Preisreform. MCC-PIK-Expertise für den Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung*, Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH, Berlin 2019. URL: [https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/B2.3\\_Publications/Working%20Paper/2019\\_MCC\\_Optionen\\_f%C3%BCr\\_eine\\_CO2-Preisreform\\_final.pdf](https://www.mcc-berlin.net/fileadmin/data/B2.3_Publications/Working%20Paper/2019_MCC_Optionen_f%C3%BCr_eine_CO2-Preisreform_final.pdf) [Stand 11.10.2021].

Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“ (Expertenkommission): *Stellungnahme zum zweiten Fortschrittsbericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2017*, Berlin: 2019. URL: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/ewk-stellungnahme.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/ewk-stellungnahme.pdf?__blob=publicationFile&v=4) [Stand 12.10.2021].

**Im Rahmen des Europäischen Emissionshandels (EU-ETS) unterliegen bisher Kraftwerke und die energieintensive Industrie einem EU-weiten CO<sub>2</sub>-Preis.**

Europäisches Parlament und Europäischer Rat: *Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003; in einer konsolidierten Fassung aus dem 2018 [Online]*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02003L0087-20180408&from=DE> [Stand 12.12.2021].

*Auch der Luftverkehr ist seit 2012 in den EU ETS einbezogen. Die EU unterstützt damit „die Bemühungen der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO), ein globales marktbasierendes Klimaschutzinstrument zur Minderung der internationalen Luftverkehrsemissionen zu etablieren“.*

Umweltbundesamtes: *Der europäische Emissionshandel*, 2021. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel> [Stand 12.12.2021].

*Erläuterungen, wie der EU ETS funktioniert, beispielsweise auf der Seite der Deutschen Emissionshandelsstelle:*

Umweltbundesamt: *Grundlagen*, 2017. URL: [https://www.dehst.de/DE/Europaeischer-Emissionshandel/EU-Emissionshandel-verstehen/Grundlagen/grundlagen-des-emissionshandels\\_node.html](https://www.dehst.de/DE/Europaeischer-Emissionshandel/EU-Emissionshandel-verstehen/Grundlagen/grundlagen-des-emissionshandels_node.html) [Stand 12.12.2021].

#### **Mit dem Fit for 55-Paket (...)**

Europäische Kommission: *Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. „Fit für 55“: Auf dem Weg zur Klimaneutralität – Umsetzung des EU-Klimaziels für 2030*, 2021. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=EN> [Stand 28.09.2021].

**In Deutschland gibt es bereits seit Anfang 2021 einen CO<sub>2</sub>-Preis für Kraft- und Heizstoffe.**

*Das Brennstoffemissionshandelsgesetz ist am 01. Januar 2021 in Kraft getreten.*

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: *Gesetz über einen nationale Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen (Brennstoffemissionshandelsgesetz – BEHG)*, 2019. URL: <https://www.gesetze-im-internet.de/behg/BjNR272800019.html> [Stand 10.12.2021].

*Siehe hierzu auch die Info-Seite des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit:*

*Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Fragen und Antworten zur Einführung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung zum 1. Januar 2021, 2020*. URL: <https://www.bmu.de/service/fragen-und-antworten-faq/fragen-und-antworten-zur-einfuehrung-der-co2-bepreisung-zum-1-januar-2021> [Stand 28.09.2021].

**Spätestens mit der Einführung des EU Emissionshandels für Kraft- und Heizstoffe im Jahr 2026 (...)**

*Die EU-Kommission hat ihre Pläne zur Einführung eines zweiten Emissionshandelssystems im Rahmen des „Fit-for-55“-Paktes veröffentlicht. Quellen s.o.*

**(...) bislang vorgesehenen deutschen Preispfad (für den CO<sub>2</sub>-Preis) liegen.**

*Das Brennstoffemissionshandelsgesetz wurde Ende 2019 auf Basis der damals gültigen nationalen und europäischen Klimaziele beschlossen. Die Klimaziele wurden seither sowohl auf nationaler Ebene durch die Änderung des Klimaschutzgesetzes sowie auf europäischer Ebene durch den European Green Deal und dem damit verbundenen Ziel der Klimaneutralität bis 2050 verschärft. Es ist davon auszugehen, dass der im BEHG vorgesehene Preispfad für die Erreichung der verschärften Klimaziele zu niedrig sein wird.*

**Direkte und indirekte Subventionen fossiler Energieträger senken die Energiepreise und untergraben die Wirkung des CO<sub>2</sub>-Preises.**

*Einen Überblick bietet beispielsweise die Info-Seite des Umweltbundesamtes zum Thema Umweltschädliche Subventionen:*

Umweltbundesamt: *Umweltschädliche Subventionen*, 2019. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/wirtschaft-umwelt/umweltschaedliche-subventionen#subventionen-nach-bereichen> [Stand 10.10.2021].

### **3 Erneuerbare Energien schneller ausbauen**

**Bereits heute stammt knapp die Hälfte des in Deutschland erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energiequellen**

Umweltbundesamt *Erneuerbare Energien in Zahlen*, 2021 URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#ueberblick> [Stand 28.09.2021].

**Vor allem Solarenergie sowie Windenergie an Land und auf See verfügen hierzulande noch über große ungenutzte und kostengünstige Potenziale, die es nun zu erschließen gilt.**

Verschiedene Studien untersuchen in hoher räumlicher Auflösung die Potenziale für Windenergie und Photovoltaik in Deutschland, z.B.:

Agentur für Erneuerbare Energien: *ERNEUERBARE ENERGIEN 2020 POTENZIALATLAS DEUTSCHLAND*, 2020 URL: [https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/319.Potenzialatlas\\_2\\_Auflage\\_Online.pdf](https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/319.Potenzialatlas_2_Auflage_Online.pdf) [Stand 11.10.2021].

*Diese Studie konzentriert sich auf die Vereinbarkeit von Energiewende und Naturschutzziele:*

Walter A./ Wiehe, J./ Schlömer, G./ Hashemifarad, A./ Wenzel, T./ Albert I./ Hofmann, L./ zum Hingst, J./ von Haaren, C: *Naturverträgliche Energieversorgung aus 100 % erneuerbaren Energien 2050 (BfN-Skripten 501)*, Bundesamt für Naturschutz, 2018. URL: <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript501.pdf> [Stand 11.10.2021].

*Diese Studie und ein Szenario mit starkem Windenergieausbau und ein Szenario mit starkem PV-Ausbau im Hinblick auf die Flächenauswirkung:*

WWF Deutschland: *ZUKUNFT STROMSYSTEM II Regionalisierung der erneuerbaren Stromerzeugung*, 2018. URL: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Stromsystem-II-Regionalisierung-der-erneuerbaren-Stromerzeugung.pdf> [Stand 11.10.2021].

*Potenziale für innovative Technologien, die eine Doppelnutzung von Flächen ermöglichen: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE): Integrierte Photovoltaik - Flächen für die Energiewende*, 2021. URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik.html> [Stand 11.10.2021].

**(...) müssen die Kapazitäten an Windenergie- und Photovoltaikanlagen bis 2045 auf das vier- bis sechsfache der heutigen ansteigen**

*Wie viel Wind- und Solarenergie benötigt wird, hängt unter anderem davon ab, wie sich der Energiebedarf entwickelt (durch Fortschritte bei der Energieeffizienz, Nachfrage nach Energiedienstleistungen und Faktoren wie z.B. die durchschnittliche Wohnfläche pro Person). Auch die Menge an Energie, die importiert wird (Strom aus dem europäischen Verbundnetz sowie klimaneutraler Wasserstoff und daraus hergestellte synthetische Brenn- und Kraftstoffe), wirkt sich auf den Ausbaubedarf in Deutschland aus. Es besteht auch ein gewisser Spielraum beim Verhältnis von Windenergie zu PV. Verschiedene Energieszenarien bilden unterschiedliche Wege ab, wie eine klimaneutrale Energieversorgung bis 2045 erreicht werden kann.*

Für die in der Abbildung gezeigten Ausbaupfade wurden Szenarien berücksichtigt, die Klimaneutralität bis 2045 oder 2050 und eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 65% gegenüber 1990 bis 2030 erreichen. Bei Szenarien, die Klimaneutralität erst bis 2050 erreichen, wurde angenommen, dass der Ausbauzustand von 2050 schon fünf Jahre früher erreicht wird.

Folgende Szenarien, die diese Kriterien erfüllen, wurden berücksichtigt:

- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut: *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann*. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. September 2021. URL: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045-vollversion/> [Stand 12.10.2021].
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut: *Klimaneutrales Deutschland*. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität, November 2020 URL: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland/> [Stand 12.10.2021].
  - nur Szenario KN2050, Szenario KNMin erfüllt das Ziel für 2030 nicht
- Fraunhofer ISE: *Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem 2050. Update unter einer Zielvorgabe von 65% CO<sub>2</sub>-Reduktion in 2030 und 100% in 2050* (Dezember 2020) URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem-Update-Zielverschaeerfung.pdf> [Stand: 12.10.2021].
  - Szenarien Referenz, Suffizienz, Beharrung
  - Das Szenario „Inakzeptanz“ wird in den abgebildeten Ausbaukorridoren nicht berücksichtigt. In diesem Szenario wird Windenergie mangels Akzeptanz kaum ausgebaut. Dies wird durch zusätzlichen PV-Ausbau kompensiert. Durch die niedrigeren Vollaststunden der PV ggü. der Windenergie ist die Summe aus installierter Wind- und PV-Leistung erheblich höher als in allen anderen Szenarien. Da aus der Abbildung nicht ersichtlich ist, welcher Windenergieausbau mit welchem PV-Ausbau einhergeht, wären die Werte hier missverständlich.
- Fraunhofer ISE: neue, noch unveröffentlichte Szenarien mit Klimaneutralität bis 2045 (Veröffentlichung Ende 2021 geplant). Entspricht einer Aktualisierung der zuvor genannten Szenarien.
- Consentec/Fraunhofer ISI et al.: *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3. Kurzbericht: 3 Hauptszenarien*. Studie im Auftrag des BMWi. Mai 2021 URL: [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2021/LFS\\_Kurzbericht.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2021/LFS_Kurzbericht.pdf) [Stand: 12.10.2021].
  - Von den drei Szenarien TN-Strom, TN-H2-G und TN-PtG/PtL erfüllt nur TN-Strom die Klimaziele 2030.
  - Daten zu den Ausbauzahlen siehe auch Lux, B/Sensfuß, F. et al: *Foliensatz „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Angebotsseite Treibhausgasneutrale Szenarien“*, 02.07.2021. URL: [https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS\\_Webinar\\_Angewandte\\_final.pdf](https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS_Webinar_Angewandte_final.pdf) [Stand: 11.10.2021].
- Umweltbundesamt: *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität RESCUE – Studie*. Reihe: Climate Change | 36/2019. November 2019. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/rescue> [Stand: 12.10.2021].

- nur das Szenario Green Supreme erfüllt das Klimaziel für 2030. In diesem Szenario wird angenommen, dass es kein Wirtschaftswachstum mehr gibt. Da Wirtschaftswachstum weiterhin politisch angestrebt wird, wäre es nicht konsistent sich bei der Festlegung der Ausbauziele für Windenergie und PV an diesem Szenario zu orientieren. Es wird daher in den abgebildeten Ausbaukorridoren nicht berücksichtigt. Das Szenario liefert aber interessante Ansätze, wie der Energiebedarf durch Energieeffizienz, konsequente Kreislaufwirtschaft und genügsamere Lebensstile reduziert werden kann.

**Für die neuen Klimaziele ist ein jährlicher Ausbau von 15 bis 25 Gigawatt notwendig.**

Dies errechnet sich aus den erforderlichen installierten Wind- und PV-Leistungen 2045 aus den o.g. zitierten Szenarien.

**Das ist deutlich mehr als die 6 Gigawatt an Zubau aus dem Jahr 2019.**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): *Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2019*. Berlin: s.n., 2020. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2019.html> [Stand 13.10.2021].

**Deutschland hat in der Vergangenheit bereits bis zu 10 Gigawatt Wind- und Photovoltaikanlagen in einem Jahr zugebaut.**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): *Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2019*. Berlin: s.n., 2020. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2019.html> [Stand 13.10.2021].

**Planungsverfahren- und Genehmigungsverfahren für Windkraftanlagen dauern aktuell vier bis fünf Jahre.**

Bundesverband Windenergie (BWE): *Planung von Windenergieanlagen*, 2020. URL: <https://www.windenergie.de/themen/mensch-und-umwelt/planung/> [Stand 11.10.2021].

## 4 Grünen Strom stärker in Wärme- und Verkehrssektor bringen

**Während die Emissionen in der Stromerzeugung durch den Ausbau von Photovoltaik- und Windanlagen gesunken sind, stagnieren sie im Wärme- und Verkehrssektor**

Im Jahr 2019 lagen die Emissionen im Verkehr auf fast exakt dem gleichen Niveau wie im Jahr 1990. Siehe hierzu:

Umweltbundesamt: *Emissionsquellen*, 2021. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen#energie-stationar> [Stand 11.10.2021].

Im Wärmebereich stagniert der Anteil der erneuerbaren Energien, während der Wärmebedarf in Gebäuden nur wenig gesunken ist. Als Folge sind auch in diesem Bereich die Emissionen nur wenig gesunken. Siehe hierzu:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): *Energie der Zukunft. 8. Monitoring-Bericht zur Energiewende, Berichtsjahre 2018 und 2019*, 2021. URL: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/achter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=32](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/achter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.pdf?__blob=publicationFile&v=32) [Stand 11.10.2021].

**Beispielsweise verbrauchen Elektromotoren und Wärmepumpen wesentlich weniger Energie als Verbrennungsmotoren und konventionelle Heizungen.**

acatech/Leopoldina/Akademienunion: *Sektorkopplung - Optionen für die nächste Phase der Energiewende*, 2017. URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/stellungnahme-sektorkopplung> [Stand: 11.10.2021].

**Beispielsweise ist Strom deutlich stärker mit Abgaben belastet als Heizöl und Erdgas.**

acatech/Leopoldina/Akademienunion (Hrsg.): *CO<sub>2</sub> bepreisen, Energieträgerpreise reformieren. Wege zu einem sektorenübergreifenden Marktdesign* (Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung), 2020. URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/stellungnahme-co2bepreisen> [Stand: 13.10.2021].

**Emissionsintensive Fahrzeuge und Heizungssysteme, die nach 2030 noch angeschafft werden, müssen vor Ende ihrer technischen Lebensdauer abgewrackt werden**

*Fahrzeuge haben im Durchschnitt Lebensdauern von ca. 10 Jahren, Heizungssysteme haben oft Lebensdauern zwischen 20 und 30 Jahren. Soll bis 2045 Klimaneutralität in Deutschland erreicht werden, können nach 2030 angeschaffte Fahrzeuge und Heizungssysteme, die fossile Energieträger nutzen, in der Regel nicht bis zum Ende ihrer Lebensdauer betrieben werden, da in dieser Zeit nur noch wenige Emissionen ausgestoßen werden können.*

**Technische Lebensdauer von Autos**

Statista: *Typische Lebensdauer von Autos in Deutschland nach Automarken*, 2014. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/316498/umfrage/lebensdauer-von-autos-deutschland/> [Stand: 28.09.21].

**Technische Lebensdauer von Heizungssystemen**

FOCUS Online: *Lebensdauer einer Heizung: Informationen zu Verschleiß und Haltbarkeit*, 2019. URL: [https://praxistipps.focus.de/lebensdauer-einer-heizung-informationen-zu-verschleiss-und-haltbarkeit\\_98439#:~:text=Heizungen%20-%20so%20lange%20ist%20die%20allgemeine%20Lebensdauer,kann%20sie%20auch%20l%C3%A4nger%20als%2030%20Jahre%20halten.](https://praxistipps.focus.de/lebensdauer-einer-heizung-informationen-zu-verschleiss-und-haltbarkeit_98439#:~:text=Heizungen%20-%20so%20lange%20ist%20die%20allgemeine%20Lebensdauer,kann%20sie%20auch%20l%C3%A4nger%20als%2030%20Jahre%20halten.) [Stand 28.09.2021].

## 5 Stromversorgung fit für die Zukunft machen

**Zudem steigt durch neue Verbraucher wie Elektroautos und Wärmepumpen die Nachfrage, der Strombedarf könnte sich dadurch verdoppeln.**

acatech/Leopoldina/Akademienunion: *Sektorkopplung - Optionen für die nächste Phase der Energiewende*, 2017. URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/stellungnahme-sektorkopplung> [Stand: 11.10.2021].

**Erneuerbare Energien machen mittlerweile fast die Hälfte der Stromerzeugung in Deutschland aus (...)**

Strom-Report: *DEUTSCHER STROMMIX: STROMERZEUGUNG DEUTSCHLAND BIS 2021*. URL: <https://strom-report.de/strom/> [Stand: 28.09.21].

## 6 Klimaneutrale Industrie auf den Weg bringen

**Rund ein Drittel der weltweiten Treibhausgasemissionen stammt aus der Industrie.**

*Zusammensetzung der globalen Emissionen siehe z.B.*

Hannah Ritchie: *Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?*, 2020. URL: <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector> [Stand: 11.10.2021].

Energiebedingte Emissionen in der Industrie, 24,2%, prozessbedingte Emissionen Zementherstellung und Chemikalien: 5,2% (2016).

*Zu der Entwicklung der Industrie-Emissionen in Deutschland siehe:*

Bundesumweltministerium [BMU], *Klimaschutz in Zahlen – Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik Ausgabe*, 2021. Berlin URL: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz\\_zahlen\\_2021\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz_zahlen_2021_bf.pdf) [Stand: 6.10.2021].

**Carbon Contracts for Difference (CCfDs) können sicherstellen, dass Unternehmen trotzdem schon jetzt in klimaschonende Verfahren investieren.**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [BMWi]: *Was sind eigentlich Carbon Contracts for Difference?* 2020. URL: <https://www.bmwi-energie.wende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/12/Meldung/direkt-erklart.html> [Stand: 07.10.2021].

**Dies ist dringend nötig, da zwischen 2020 und 2030 bei vielen bestehenden Anlagen große Reinvestitionen anstehen.**

Agora Energiewende: *Klimaneutrale Industrie - Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement*, 2020. URL: [https://static.agora-energie.wende.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung\\_Industrie/164\\_A-EW\\_Klimaneutrale-Industrie\\_Studie\\_WEB.pdf](https://static.agora-energie.wende.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung_Industrie/164_A-EW_Klimaneutrale-Industrie_Studie_WEB.pdf) [Stand: 07.10.2021].

**Beispiele hierfür sind Standards für Produktdesign durch die Eco-Design-Richtlinie der EU.**

Europäische Kommission: *Vorschriften und Anforderungen für Energieverbrauchskennzeichnung und Ökodesign*. URL: [https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/rules-and-requirements\\_de](https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/rules-and-requirements_de) [Stand: 07.10.2021].

**Eine klimaneutrale Industrie benötigt große Mengen an grünem Strom und grünem Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen und mit sicheren Transportinfrastrukturen.**

Agora Energiewende: *Klimaneutrale Industrie - Schlüsseltechnologien und Politikoptionen für Stahl, Chemie und Zement*, 2020, Seite 38. URL: [https://static.agora-energie.wende.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung\\_Industrie/164\\_A-EW\\_Klimaneutrale-Industrie\\_Studie\\_WEB.pdf](https://static.agora-energie.wende.de/fileadmin/Projekte/2018/Dekarbonisierung_Industrie/164_A-EW_Klimaneutrale-Industrie_Studie_WEB.pdf) [Stand: 07.10.2021].

## 7 Wasserstoff: sinnvoll einsetzen, Chancen nutzen

**Dies wird erforderlich sein, denn auch in Zukunft wird Deutschland seinen Bedarf an Energie und an Kohlenwasserstoffen als Rohstoff, beispielsweise für die Produktion von Kunststoffen sowie Dünge- und Arzneimitteln, voraussichtlich nicht selbst decken können.**

Eine Vielzahl von Energiesystemanalysen kommt zu dem Ergebnis, dass es Deutschland grüne Energieträger importieren muss, um die Umstellung auf eine klimaneutrale Energieversorgung schaffen zu können. Siehe dazu unter anderem:

acatech/Leopoldina/Akademienunion: *Sektorkopplung - Optionen für die nächste Phase der Energiewende* (Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung), 2017.

The Boston Consulting Group (BCG) und Prognos im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI), *Klimapfade für Deutschland*, 2018.

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), *dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe*, 2021.

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann Zusammenfassung*, im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, 2021.

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), Consentec GmbH, *Langfristszenarien 3 – Kurzbericht*, 2021.

**Schon heute verbraucht Deutschland jährlich etwa 1,7 Millionen Tonnen Wasserstoff.**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): *Dialogprozess Gas 2030 – Erste Bilanz*, 2019.

**Um allein diesen Bedarf mit grünem Wasserstoff zu decken, bräuchte es rund 90 Terrawattstunden Strom – circa 15 Prozent der heutigen jährlichen Stromerzeugung in Deutschland.**

Für die Umrechnung ist ein Wirkungsgrad von Elektrolyse von ca. 60% angesetzt. Da sich der Vergleich auf die nahe Zukunft bezieht, ist ein Wert im unteren Spektrum der prognostizierten Wirkungsgrade von Elektrolyseuren angenommen. Vergleiche hierzu bspw.

Pichlmaier, S./Hübner T./Kigle, S.: *Elektrolyse – Die Schlüsseltechnologie für Power-to-X*, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2021. URL: <https://www.ffe.de/publikationen/pressemitteilungen/892-elektrolyse-die-schlüsseltechnologie-fuer-power-to-x> [Stand 11.10.2021].

Im Jahr 2020 lag die Bruttostromerzeugung in Deutschland bei etwa 572 Terawattstunden.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, *Zahlen und Fakten: Energiedaten. Nationale und internationale Entwicklung*, Stand: 05.03.2021.

**Grafik: Prognostizierte Nachfrage nach klimaneutralem Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und seinen Syntheseprodukten in Deutschland**

Die in der Grafik gezeigten Werte orientieren sich an der „Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien“, die verschiedene Fraunhofer-Institute im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrates erstellt haben, Abbildung 25, Seite 38.

Wietschel, M./Zheng, L./Arens, M./Hebling, C./Ranzmeyer, O./Schaadt, A./Hank, C./Sternberg, A./Herke, S./Kost, C./Ragwitz, M./Herrmann, U./Pflüger, B.: *Metastudie Wasserstoff – Auswertung von Energiesystemstudien. Studie im Auftrag des Nationalen Wasserstoffrates*, 2021. Fraunhofer ISI, Fraunhofer ISE,

Fraunhofer IEG (Hrsg.). URL: [https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/Metastudie\\_Wasserstoff-Abschlussbericht.pdf](https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/Metastudie_Wasserstoff-Abschlussbericht.pdf) [Stand 11.10.2021].

Um die angegebenen Wasserstoffmengen in den zur Herstellung benötigten Strombedarf umzurechnen, wurde ein Wirkungsgrad von ca. 65% angenommen. Zwar ist davon auszugehen, dass Elektrolyseure in der Praxis künftig einen höheren Wirkungsgrad erreichen werden (siehe Quelle oben, Forschungsstelle für Energiewirtschaft). Jedoch wird Wasserstoff in weitere Syntheseprodukte umgewandelt, sinkt der Wirkungsgrad des Gesamtprozesses.

## 8 Bioenergie systemdienlich einsetzen

**Doch der Anbau von Energiepflanzen wie Mais, Raps und Ölpalmen erfordert große Flächen und kann Böden, Gewässern und der Artenvielfalt schaden.**

Klepper, G./Thrän, D.: *Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Potenziale – Technologien – Zielkonflikte*, 2019. URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/analyse/analyse-bioenergie> [Stand: 11.10.2021].

**Der Energieertrag pro Fläche ist zudem sehr viel geringer als bei Solarenergie.**

Wirth, H., Fraunhofer ISE: *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*, Freiburg: s.n., 2021.

Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende: *Vergleich der Flächeneffizienz zwischen den verschiedenen Technologien der Erneuerbaren Energie*, 2018. URL: <https://www.naturschutz-energiewende.de/fragenundantworten/147-vergleich-flaecheneffizienz-bioenergie-photovoltaik-windenergie/> [Stand: 11.10.2021].

**(...) Risiken für die Landwirtschaft durch den Klimawandel.**

World Scientific: *Agriculture and Food Systems to 2050. Global Trends, Challenges and Opportunities*, New Jersey: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2018.

**(...) Holz trägt nur in manchen Fällen zum Klimaschutz bei.**

Klepper, G./Thrän, D.: *Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Potenziale – Technologien – Zielkonflikte*, 2019, Abschnitt 2.2. URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/analyse/analyse-bioenergie> [Stand: 11.10.2021].

**(...) Holz dient meist dem Heizen (...) Biogas, das größtenteils zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt wird.**

Überblick über die Verwendung verschiedener Arten von Biomasse:

Klepper, G./Thrän, D.: *Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Potenziale – Technologien – Zielkonflikte*, 2019, Abb. 6. URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/analyse/analyse-bioenergie> [Stand 11.10.2021].

**Denn eine Intensivierung der Landnutzung erhöht den Druck auf Umwelt und Natur**

Klepper, G./Thrän, D.: *Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Potenziale – Technologien – Zielkonflikte*, 2019, Kap. 2.1. URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/analyse/analyse-bioenergie> [Stand 11.10.2021].

Alternativ kann das CO<sub>2</sub> auch genutzt werden, um zum Beispiel klimaneutrale synthetische Kraftstoffe oder Kohlenwasserstoffe für die industrielle Nutzung zu erzeugen.

Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung Potsdam: CO<sub>2</sub>: Vom Abfall zum Rohstoff, 2021. URL: <https://www.iass-potsdam.de/de/ergebnisse/dossiers/co2-vom-abfall-zum-rohstoff> [Stand 07.10.2021].

## 9 Rohstoffe für die Energiewende sichern und nachhaltig nutzen

**Windräder, Solaranlagen, Speicher und Elektroautos: Sie alle bestehen aus verschiedenen Metallen wie Stahl und Kupfer, aber auch Seltenen Erden, Kobalt und Lithium.**

Diese interaktive Grafik zeigt einen Überblick über wichtige Metalle und die Hauptabbauländer:

acatech/Leopoldina/Akademienunion: *Metalle für die Energiewende. Wege zu einer sicheren und nachhaltigen Versorgung.* URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/themen/metalle-fuer-die-energiewende> [Stand 29.09.2021].

Überblick, welche Metalle für welche Technologien benötigt werden:

Angerer, G. et al.: *Rohstoffe für die Energieversorgung der Zukunft: Geologie – Märkte – Umwelteinflüsse*, 2016, S. 59, Abb. 3.11. URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/analyse/rohstoffe-fuer-die-energieversorgung-der-zukunft> [Stand 11.10.2021].

**Viel stärker noch als bei Erdöl sind Deutschland und Europa bei manchen dieser Metalle auf Lieferungen aus einigen wenigen Ländern angewiesen**

acatech/Leopoldina/Akademienunion: *Metalle für die Energiewende. Wege zu einer sicheren und nachhaltigen Versorgung.* URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/themen/metalle-fuer-die-energiewende> [Stand 29.09.2021].

Ausführliche Analyse der Kritikalität verschiedener Metalle:

Angerer, G. et al.: „Rohstoffe für die Energieversorgung der Zukunft: Geologie – Märkte – Umwelteinflüsse“, 2016, S. 145 ff. URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/analyse/rohstoffe-fuer-die-energieversorgung-der-zukunft> [Stand 11.10.2021].

Detaillierte Informationen zur Länderkonzentration vieler Rohstoffe:

Deutsche Rohstoffagentur: *DERA Rohstoffliste 2021*, Berlin, 2021. URL: [https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA\\_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-49.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-49.pdf?__blob=publicationFile&v=4) [Stand: 11.10.2021].

**Stahl, Aluminium und Kupfer werden schon heute bevorzugt aus Schrott gewonnen... Recyclingraten bei sogenannten Hightech-Rohstoffen wie Seltenen Erden, Indium oder Gallium sind noch sehr niedrig.**

acatech/Leopoldina/Akademienunion: *Rohstoffe für die Energiewende*, 2016, Abb.3.25. URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/analyse/rohstoffe-fuer-die-energieversorgung-der-zukunft> [Stand: 11.10.2021].

**Selbst im theoretischen Idealfall eines vollständigen Recyclings könnte der steigende Rohstoffbedarf dadurch nur teilweise gedeckt werden**

acatech/Leopoldina/Akademienunion: *Rohstoffe für die Energiewende*, 2016, Abb. 3.27. URL: <https://energiesysteme-zukunft.de/publikationen/analyse/rohstoffe-fuer-die-energieversorgung-der-zukunft> [Stand: 11.10.2021].

## Grafik: Steigender Rohstoffbedarf durch die Energiewende

International Energy Agency: *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. World Energy Outlook Special Report.* 2021, S. 119, Szenarien für die Entwicklung der Nachfrage nach Kupfer, Lithium und Kobalt in der Abbildung. URL: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions> [Stand: 11.10.2021].

## 10 Negative Emissionen: CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entnehmen

**Selbst im bestmöglichen Fall ist absehbar, dass Landwirtschaft und einige Teile der Industrie auch im Jahr 2045 noch Treibhausgase ausstoßen.**

In Szenarien für ein klimaneutrales Deutschland wird von Restemissionen in Höhe von ca. 36 bis 63 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente ausgegangen:

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut: *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann.* Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. September 2021, Abb. 60. URL: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045-vollversion/> [Stand 12.10.2021].

Umweltbundesamt: *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität RESCUE – Studie*, 2019, Tab. 6.1. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/szenarien-konzepte-fuer-die-klimaschutz/rescue-wege-in-eine-ressourcenschonende#hintergrund> [Stand: 11.10.2021].

**Um die Erderwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, müssen laut Weltklimarat ab Mitte des Jahrhunderts sogar mehr Treibhausgase aus der Atmosphäre entfernt als noch ausgestoßen werden**

Masson-Delmotte, V./Zhai, P./Pörtner, H.-O./Roberts, D./Skea, J./Shukla, P.R./Pirani, A./Moufouma-Okia, W./Péan, C./Pidcock, R./Connors, S./Matthews, J.B.R./Chen, Y./Zhou, X./Gomis, M.I./Lonnoy, E./Maycock, T./Tignor, M./Waterfield, T. (eds.): *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019, Kap. Summary for Policy Makers C3. URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_High\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf) [Stand: 13.10.2021].

**Voraussichtlich werden die Potenziale [natürlicher Senken] in Deutschland aber nicht ausreichen, um langfristig einen Beitrag zu netto-negativen Emissionen zu leisten.**

Diese Studie geht z.B. davon aus, dass das heutige Niveau der natürlichen Senken von -27 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente langfristig nicht gehalten werden kann. Dem stehen 63 Millionen Tonnen unvermeidbare Restemissionen gegenüber:

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut: *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann.* Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. September 2021, S. 14. URL: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045-vollversion/> [Stand 12.10.2021].

**Zudem stehen gerade Wälder durch den Klimawandel unter erheblichen Druck**

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [BMEL]: *Waldbericht der Bundesregierung 2021*, 2021, Bonn. URL: <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/waldbericht2021.html> [Stand: 07.10.21].

**CCS ist in Deutschland umstritten, [...]**

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie. Analyse, Handlungsoptionen und Empfehlungen*, acatech POSITION, S. 41 f., München 2018.

**... aber voraussichtlich [ist CCS] notwendig, um die Klimaziele zu erreichen (...)**

*In diesem Szenario für ein klimaneutrales Deutschland 2045 wird der Einsatz von CCS so weit wie möglich minimiert. Dennoch ist es zum Erreichen negativer Emissionen sowie für eine klimaneutrale Zementindustrie unumgänglich.*

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut: *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann*. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. September 2021. URL: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045-vollversion/> [Stand 12.10.2021].

*Global kommt in allen Szenarien des IPCC, die das 1,5°C-Ziel erreichen, CCS zum Einsatz:*

Masson-Delmotte, V./Zhai, P./Pörtner, H.-O./Roberts, D./Skea, J./Shukla, P.R./Pirani, A./Moufouma-Okia, W./Péan, C./Pidcock, R./Connors, S./Matthews, J.B.R./Chen, Y./Zhou, X./Gomis, M.I./Lonnoy, E./ Maycock, T./Tignor, M./Waterfield, T. (eds.): *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019, Kap. Summary for Policy Makers C3. URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_High\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf) [Stand: 13.10.2021].

**Denn einige andere Länder verfügen über bessere Standortbedingungen für die Entnahme und Speicherung von CO<sub>2</sub> als Deutschland**

*Große CO<sub>2</sub>-Speicherpotenziale gibt es in Europa unterhalb der Nordsee in der exklusiven Wirtschaftszone Großbritanniens und unter der Norwegischen See:*

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.): *CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie. Analyse, Handlungsoptionen und Empfehlungen*, acatech POSITION, Abb. 11, München 2018.

Island und Norwegen treiben die Entwicklung von CCS voran und planen, CO<sub>2</sub> auch aus anderen Ländern zu importieren und einzulagern:

Záboji, N.: *CO<sub>2</sub> lässt sich bald nach Island verschiffen*, 2021. URL: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/klima-nachhaltigkeit/co2-island-will-kohlendioxid-im-untergrund-speichern-17305351.html> [Stand: 11.10.2021].

Stratmann, K.: *Norwegen buhlt um deutsches Kohlendioxid*, Berlin, 2021. URL: <https://www.handelsblatt.com/politik/international/klimaneutralitaet-norwegen-buhlt-um-deutsches-kohlendioxid/27010730.html?ticket=ST-10135827-XpVkoYMpDmg7oj0TV0Fq-ap6> [Stand: 11.10.2021].

**11 Klimapolitik transparent und gerecht gestalten****Umfragen zeigen, dass ein Großteil der Bürger\*innen die Energiewende befürwortet und Klimaschutz sehr wichtig findet. Viele sind mit der Umsetzung aber unzufrieden, (...)**

Agora Energiewende: *Akzeptanz und lokale Teilhabe in der Energiewende*, Berlin, 2021. URL: [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020\\_07\\_EE-Akzeptanz/182\\_A-EW\\_Akzeptanz-Energiewende\\_WEB.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_07_EE-Akzeptanz/182_A-EW_Akzeptanz-Energiewende_WEB.pdf) [Stand: 11.10.2021].

Kopernikus-Projekt Ariadne: *Soziales Nachhaltigkeitsbarometer der Energie- und Verkehrswende 2021*, 2021. URL: [https://snb.ariadneprojekt.de/sites/default/files/medien/dokumente/soziales\\_nachhaltigkeitsbarometer\\_2021.pdf](https://snb.ariadneprojekt.de/sites/default/files/medien/dokumente/soziales_nachhaltigkeitsbarometer_2021.pdf) [Stand 11.10.2021].

**So begünstigt eine höhere Pendlerpauschale beispielsweise Langstreckenpendler, die bereits heute zu mehr als 80 Prozent das Auto nutzen.**

Statistisches Bundesamt: *Pendlerpauschale: 88% der Berufspendlerinnen und -pendler nutzen das Auto*, 2021. URL: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/06/PD21\\_N038\\_73111.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/06/PD21_N038_73111.html) [Stand 12.10.2021].

**Empfohlene Zitierweise**

Bett, Andreas W./ Erlach, Berit/ Glotzbach, Ulrich/ Haucap, Justus/ Henning, Hans-Martin/ Kühling, Jürgen/ Lapac, Anja/ Matthies, Ellen/ Pittel, Karen/ Ragwitz, Mario/ Renn, Jürgen/ Sauer, Dirk Uwe/ Schmidt, Christoph M./ Spiecker genannt Döhmann, Indra/ Staiß, Frithjof/ Seiler, Annika / Stephanos, Cyril/ Umbach, Eberhard/ Weidlich, Anke: „Wenn nicht jetzt, wann dann – wie die Energiewende gelingt (Impuls)“, Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS), 2021, [https://doi.org/10.48669/ESYS\\_2021-1](https://doi.org/10.48669/ESYS_2021-1)

**Autor\*innen**

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer (ESYS-Direktorium | RWTH Aachen), Prof. Dr. Karen Pittel (ESYS-Direktorium | ifo Institut), Prof. Dr. Hans-Martin Henning (ESYS-Direktorium | Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE), Prof. Dr. Jürgen Renn (ESYS-Direktorium | Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte), Prof. Dr. Christoph M. Schmidt (ESYS-Direktorium | RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung), Prof. Dr. Indra Spiecker genannt Döhmann (ESYS-Direktorium | Goethe-Universität Frankfurt)

Prof. Dr. Andreas W. Bett (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE), Prof. Dr. Justus Haucap (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf), Prof. Dr. iur. Jürgen Kühling (Universität Regensburg), Prof. Dr. Ellen Matthies (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg), Prof. Dr. Eberhard Umbach (acatech), Prof. Dr. Mario Ragwitz (Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie), Prof. Dr. Frithjof Staiß (Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, ZSW), Prof. Dr. Anke Weidlich (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Nachhaltige Technische Systeme, INATECH)

Dr. Berit Erlach (ESYS-Koordinierungsstelle | acatech), Dr. Ulrich Glotzbach (ESYS-Koordinierungsstelle | acatech), Anja Lapac (ESYS-Koordinierungsstelle | acatech), Annika Seiler (ESYS-Koordinierungsstelle | acatech), Dr. Cyril Stephanos (ESYS-Koordinierungsstelle | acatech)

**Weitere Mitwirkende**

Christiane Abele (ESYS-Koordinierungsstelle | acatech), Dr. Munib Amin (E.ON), Prof. Dr. Christoph Böhringer (Carl von Ossietzky Universität Oldenburg), Prof. Dr. Tom Brown (Technische Universität Berlin), Dr. Peter Buchholz (Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR), Dr.-Ing. Frank-Detlef Drake (E.ON Group Innovation GmbH), Prof. Dr. Ottmar Edenhofer (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, PIK), Gabriel Ehren (ESYS-Koordinierungsstelle | acatech), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel (Technische Universität Braunschweig), Prof. Dr.-Ing. Manfred Fishedick (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH), Dr. Christian Hagelüken (Umicore AG & Co. KG), Prof. Dr. Anja Hentschel (Hochschule Darmstadt), Prof. Dr.-Ing. Jutta Hanson (Technische Universität Darmstadt), Dr. Patrick Jochem (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR), Prof. Gernot Klepper Ph.D. (Institut für Weltwirtschaft), Prof. Dr. Michèle Knodt (Technische Universität Darmstadt), Prof. Dr. Katharina Kohse-Höinghaus (Universität Bielefeld), Prof. Dr.-Ing. Thomas Kolb (Karlsruher Institut für Technologie, KIT), Prof. Dr. Wolfgang König (Technischen Universität Berlin), Prof. Dr. Jochen Kreusel (Hitachi Energy), Prof. em. Dr. Wolfgang Kröger (ETH Zürich), Leif Christian Kröger (acatech), Prof. Dr. Hans-Joachim Kumpel (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR (a.D.) | acatech), Prof. Dr. Andreas Löschel (Ruhr-Universität Bochum), Inga Michalek (ESYS-Koordinierungsstelle | acatech), Prof. Dr. Martin Muhler (Ruhr-Universität Bochum), Thorsten Müller (Stiftung Umweltenergierecht), Prof. Dr. Felix Müsgens (Lehrstuhl Energiewirtschaft

Brandenburgische Technische Universität), Prof. Dr. Karsten Neuhoff (DIW Berlin), Daniela Niethammer (ESYS-Koordinierungsstelle | acatech), Dr. Marion Ott (Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, ZEW), Prof. Dr. Johann-Christian Pielow (Ruhr-Universität Bochum), Dr. Mirko Schäfer (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Nachhaltige Technische Systeme, INATECH), Britta Seegebrecht (ESYS-Koordinierungsstelle | acatech), Christoph Stemmler (acatech), Philipp Stöcker (RWTH Aachen), Florentine Straub (ESYS-Koordinierungsstelle | acatech), Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, UFZ), Georg van de Braak (Amprion GmbH), Prof. Dr.-Ing. Hermann-Josef Wagner (Ruhr-Universität Bochum, Energiewirtschaft und Energiesysteme), Prof. Achim Wambach (Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, ZEW), Prof. Dr.-Ing. Friedrich-Wilhelm Wellmer (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR (a.D.)), Dr. Kirsten Westphal (Stiftung Wissenschaft und Politik), Prof. Dr. Kurt Wagemann (Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., DECHEMA), Prof. Dr. Hartmut Weyer (TU Clausthal), Prof. Dr. Frauke Wiese (Europa-Universität Flensburg), Dr. Jenny Winkler (Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI), Sven Wurbs (ESYS-Koordinierungsstelle | acatech)

**Visuelle Konzeption, Infografik und Illustration**

Ellery Studio

Creative Direction: Luca Bogoni

Illustrationen: Hannah Kristin Schrage, Julia Zimmermann, Gaja Vičič

Project Management: Martin Steffens

**Reihenherausgeber**

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. (Federführung)  
Koordinierungsstelle München, Karolinenplatz 4, 80333 München | [www.acatech.de](http://www.acatech.de)

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V.  
– Nationale Akademie der Wissenschaften –  
Jägerberg 1, 06108 Halle (Saale) | [www.leopoldina.org](http://www.leopoldina.org)

Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e. V.  
Geschwister-Scholl-Straße 2, 55131 Mainz | [www.akademienunion.de](http://www.akademienunion.de)

**DOI**

[https://doi.org/10.48669/ESYS\\_2021-1](https://doi.org/10.48669/ESYS_2021-1)

**Projektlaufzeit**

03/2016 bis 12/2023

**Finanzierung**

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen 03EDZ2016) gefördert.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## Das Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“

Mit der Initiative „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS) geben acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften Impulse für die Debatte über Herausforderungen und Chancen der Energiewende in Deutschland. Im Akademienprojekt erarbeiten mehr als 100 Fachleute aus Wissenschaft und Forschung in interdisziplinären Arbeitsgruppen Handlungsoptionen zur Umsetzung einer sicheren, bezahlbaren und nachhaltigen Energieversorgung.

### Kontakt:

Dr. Berit Erlach & Dr. Cyril Stephanos  
Leitung der Koordinierungsstelle „Energiesysteme der Zukunft“  
Pariser Platz 4a, 10117 Berlin  
Tel.: +49 30 206 30 96 - 0  
E-Mail: [erlach@acatech.de](mailto:erlach@acatech.de) | [stephanos@acatech.de](mailto:stephanos@acatech.de)  
web: [energiesysteme-zukunft.de](http://energiesysteme-zukunft.de)

Die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften unterstützen Politik und Gesellschaft unabhängig und wissenschaftsbasiert bei der Beantwortung von Zukunftsfragen zu aktuellen Themen. Die Akademiemitglieder und weitere Experten sind hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem In- und Ausland. In interdisziplinären Arbeitsgruppen erarbeiten sie Stellungnahmen, die nach externer Begutachtung vom Ständigen Ausschuss der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina verabschiedet und anschließend in der *Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung* veröffentlicht werden.

Deutsche Akademie der  
Naturforscher  
Leopoldina e. V.  
Nationale Akademie der  
Wissenschaften  
Jägerberg 1  
06108 Halle (Saale)  
Tel.: 0345 47239-867  
Fax: 0345 47239-839  
E-Mail: [politikberatung@leopoldina.org](mailto:politikberatung@leopoldina.org)  
Berliner Büro:  
Reinhardtstraße 14  
10117 Berlin

acatech – Deutsche Akademie  
der Technikwissenschaften e. V.  
Geschäftsstelle München:  
Karolinenplatz 4  
80333 München  
Tel.: 089 520309-0  
Fax: 089 520309-9  
E-Mail: [info@acatech.de](mailto:info@acatech.de)  
Hauptstadtbüro:  
Pariser Platz 4a  
10117 Berlin

Union der deutschen Akademien  
der Wissenschaften e. V.  
Geschwister-Scholl-Straße 2  
55131 Mainz  
Tel.: 06131 218528-10  
Fax: 06131 218528-11  
E-Mail: [info@akademienunion.de](mailto:info@akademienunion.de)  
Berliner Büro:  
Jägerstraße 22/23  
10117 Berlin