

Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe

Fragen und Antworten

Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe werden in der zukünftigen Energieversorgung eine wichtige Rolle spielen – das zeigte spätestens die Veröffentlichung der Nationalen Wasserstoffstrategie im Sommer 2020. Wie und in welchen Sektoren gasförmige oder flüssige Stoffe, die mit Hilfe von Strom hergestellt werden, konkret eingesetzt werden sollten und in welchem Ausmaß dies geschehen soll, darüber gibt es jedoch weit weniger Einigkeit.

Was versteht man unter strombasierten Kraftstoffen? In welchen Sektoren lassen sie sich sinnvoll einsetzen? Wie können sie möglichst nachhaltig produziert werden? Ist es sinnvoll, strombasierte Kraftstoffe zu nutzen, um die Emissionen des Verkehrssektors zu senken?

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Öko-Instituts arbeiten zu vielen Fragen rund um die Rolle von Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen in unserer zukünftigen Energieversorgung. Im Mittelpunkt steht dabei stets die Frage, wie diese möglichst nachhaltig produziert und mit bestmöglicher Klimaschutzwirkung eingesetzt werden können. Darüber hinaus beraten die Expertinnen und Experten verschiedene Bundesministerien zu verschiedenen Maßnahmen und Instrumenten der Wasserstoffherstellung und -nutzung.

Nachfolgend gibt das Expertenteam Antworten auf wichtige und häufig gestellte Fragen zu Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen.

Die Fragen im Überblick

Wo liegt die Zukunft von Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen? Eine aktuelle Einschätzung des Öko-Instituts	2
Produktion und Markt	
1. Was sind die Unterschiede zwischen grünem, grauem, blauem und türkisem Wasserstoff?	3
2. Was sind strombasierte Kraftstoffe und wie werden sie hergestellt?	4
3. Wo wird Wasserstoff bzw. werden strombasierte Kraftstoffe in Deutschland bereits produziert und eingesetzt?	5
4. Welche Mengen an strombasierten Kraftstoffen werden in Deutschland bis 2050 benötigt?	5
5. Wie lange dauert es, um strombasierte Kraftstoffe in industriellem Maßstab für den Verkehrssektor zur Verfügung zu stellen?	5
Effizienz und Nachhaltigkeit	
6. Wie sollten Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe gefördert werden?	6
7. Welche Rolle wird der Import von Wasserstoff in Zukunft spielen?	6
8. In welchen Sektoren können Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe sinnvoll eingesetzt werden?	7

- 9. Wann lohnen sich die Produktion und der Einsatz von Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten? 7
- 10. Wie effizient ist die Herstellung von Energieträgern aus Strom? 8
- 11. Ist der Einsatz von E-Fuels sinnvoll, um die Emissionen des Verkehrssektors zu senken? 9

Wo liegt die Zukunft von Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen? Eine aktuelle Einschätzung des Öko-Instituts

Für eine klimaneutrale Zukunft wird Deutschland Wasserstoff und andere strombasierte Kraftstoffe brauchen. So sind nach einer Schätzung des Öko-Instituts bis 2050 voraussichtlich mehrere Hundert Terrawattstunden solcher Stoffe notwendig. Doch wo sollten diese sinnvollerweise eingesetzt werden? Darüber gibt es sehr kontroverse Diskussionen.

Neben erneuerbaren Energien, Energieeffizienz und Elektrifizierung wird [klimafreundlicher und nachhaltiger Wasserstoff](#) die vierte Säule der Energiewende sein. Er kann die drei anderen Säulen unterstützen und ergänzen. Dafür muss er jedoch zielführend und mit einem übergreifenden Blick auf die Potenziale aller energieverbrauchenden Sektoren eingesetzt werden.

Einen sinnvollen Einsatz können Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe in all jenen Bereichen finden, die nur schwer zu elektrifizieren sind, Wasserstoff als stofflichen Input oder die Hochtemperaturwärme benötigen. So könnten sie zum Beispiel für den Luft- und Schiffsverkehr oder auch für industrielle Prozesse geeignet sein, etwa in der Stahlindustrie. Zum Klimaschutz tragen Sie jedoch nur bei, wenn bei ihrer Herstellung bestimmte Nachhaltigkeitskriterien beachtet werden. So lohnt es sich unter anderem erst dann fürs Klima, Strom in Wasserstoff oder andere Kraftstoffe umzuwandeln, wenn dieser Strom zu sehr hohen Teilen aus erneuerbaren Quellen stammt. Wichtig ist zudem, dass dieser Strom zusätzlich zu bestehenden Ausbaupfaden der erneuerbaren Stromerzeugung bereitgestellt wird.

Aus Sicht der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Öko-Instituts sind strombasierte Kraftstoffe hingegen im Verkehrs- oder Gebäudesektor nicht besonders gut aufgehoben. So braucht es im Verkehrssektor zunächst vor allem eine Vermeidung von Verkehr sowie seine Verlagerung auf den Fuß- und Radverkehr sowie öffentliche Verkehrsmittel. Mit Blick auf Antriebssysteme sollte aus Sicht des Öko-Instituts zudem eine höhere Effizienz bestehender Systeme und die Elektrifizierung im Fokus stehen. Denn: Durch diese Maßnahmen ließen sich die Emissionen des Verkehrs bereits um über 80 Prozent senken. Im Gebäudesektor sollten hingegen vor allem Sanierungsmaßnahmen angegangen werden – so etwa die Dämmung von Dächern und Wänden oder hochisolierende Fenster und Türen. Auch hier sollte also eine Verringerung des Verbrauchs im Fokus stehen.

Für eine nachhaltige und zukunftsorientierte Nutzung von Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen ist zudem eine konsistente und rechtzeitige politische Steuerung unverzichtbar. Sie muss Kosten und technische Herausforderungen dieser Stoffe betrachten, transparent bewerten und daraus zukunftsfähige Lösungen ableiten. Hierfür ist die im Juni 2020 beschlossene Nationale Wasserstoffstrategie ein wichtiger Schritt. In den nächsten Jahren wird es darum gehen, ihn mit Leben zu füllen und die beschlossenen Investitionen in Höhe von insgesamt neun Milliarden Euro in die richtige Richtung zu lenken: für Wasserstoff und andere strombasierte Kraftstoffe, die wirklich dabei helfen, Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

Produktion und Markt

1. Was sind die Unterschiede zwischen grünem, grauem, blauem und türkischem Wasserstoff?

Grüner Wasserstoff wird vollständig mit Hilfe von erneuerbarem Strom und Wasser erzeugt – bei der so genannten Elektrolyse entstehen dabei Wasserstoff (H₂) sowie Sauerstoff (O₂). Grüner Wasserstoff wird mittel- und langfristig die zentrale Rolle für die Wasserstoffversorgung übernehmen. Hierfür braucht es jedoch ein starkes Wachstum der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland, Europa und weiteren Ländern sowie erhebliche Kostensenkungen für die Elektrolyseurtechnologie.

Grauer Wasserstoff wird hingegen aus fossilen Energieträgern gewonnen. Das bei entstehende CO₂ gelangt in die Atmosphäre – er ist daher aus klimapolitischer Sicht keine Option für die zukünftige Energieversorgung.

Auch **blauer Wasserstoff** wird direkt aus fossilen Energieträgern wie Erdgas gewonnen. Das dabei entstehende CO₂ wird jedoch abgeschieden und gespeichert. **Türkiser Wasserstoff** schließlich wird durch die thermische Spaltung von Methan (Erdgas) hergestellt. Bei diesem Prozess entsteht als Restprodukt fester Kohlenstoff, der genutzt oder gelagert werden kann. Wird er gespeichert, kann türkiser Wasserstoff klimaneutral sein. Blauer und türkiser Wasserstoff sind daher aus Sicht des Öko-Instituts interessante Optionen für die kurz- bis mittelfristige Verfügbarkeit von klimafreundlichem Wasserstoff.

Die Farben des Wasserstoffs

Herstellung, Kosten und zukünftige Entwicklung für den Klimaschutz

	Kostenentwicklung	Ziele aus Klimaschutzsicht bis 2030
<p>Grüner Wasserstoff</p> <p>Strom aus zusätzlichen erneuerbaren Energien → → O₂, H₂</p> <p>Elektrolyse</p>	<ul style="list-style-type: none"> • erneuerbarer Strom ↘ • Elektrolyse ↘↘ • Auslastung der Elektrolyse → • internationaler Transport ↗ <p>heute: 100 € pro Megawattstunde (MWh) ▶ 2030: 70 €/MWh ▶ 2050: 50 €/MWh</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Kosten senken ▶ Mengen ausbauen ▶ Zertifizierungssystem für Nachhaltigkeit aufbauen
<p>Blauer Wasserstoff</p> <p>Erdgas → → H₂, CO₂ unterirdisch gespeichert</p> <p>Dampfreformierung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erdgas → • Investitionskosten Dampfreformierung bzw. Pyrolyse → • CO₂-Entsorgung → • CO₂-Preis ↗ <p>heute: 50 €/MWh ▶ 2030: 60 €/MWh ▶ 2030: 70 €/MWh</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mengen ausbauen für kurz- und mittelfristige Verfügbarkeit ▶ Zertifizierungssystem für Nachhaltigkeit aufbauen
<p>Türkiser Wasserstoff</p> <p>Erdgas → → H₂, C als fester Kohlenstoff gespeichert</p> <p>Pyrolyse</p>	<p>heute: 50 €/MWh ▶ 2030: 60 €/MWh ▶ 2030: 70 €/MWh</p>	
<p>Grauer Wasserstoff</p> <p>Erdgas → → CO₂ in die Atmosphäre abgegeben, H₂</p> <p>Dampfreformierung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erdgas → • CO₂-Preis ↗ • Dampfreformierung → <p>heute: 40 €/MWh ▶ 2030: 45 €/MWh</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ nicht nutzen

2. Was sind strombasierte Kraftstoffe und wie werden sie hergestellt?

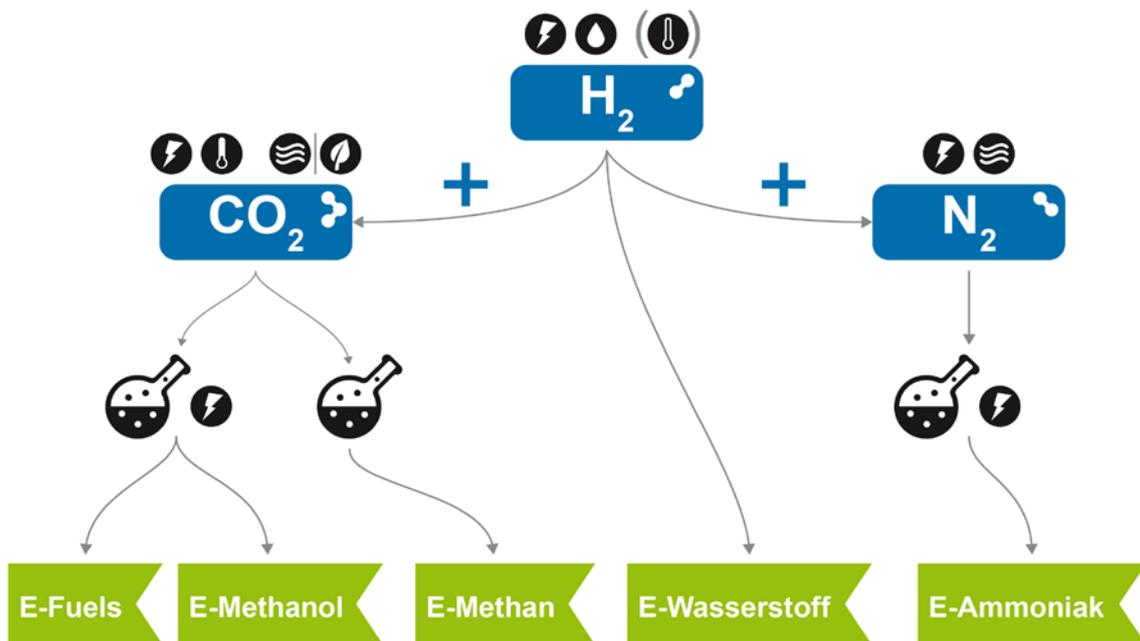
Für strombasierte Kraftstoffe gibt es viele unterschiedliche Beziehungen. Sie werden häufig PtX- oder auch Power-to-X-Stoffe beziehungsweise Power-to-Gas-Stoffe sowie PtL- oder auch Power-to-Liquid-Stoffe genannt. Darunter versteht man entweder gasförmige oder flüssige Kraftstoffe, die mit Hilfe von Strom hergestellt werden.

Zur Herstellung von strombasierten Kraftstoffen wird in einem ersten Schritt bei der so genannten Elektrolyse aus reinem Wasser (H₂O) und Strom, Wasserstoff (H₂) sowie Sauerstoff (O₂) gewonnen. Der Wasserstoff kann direkt genutzt werden, muss für die Speicherung und Verteilung aber unter zusätzlichem Energieaufwand verdichtet oder sogar verflüssigt werden.

Aus Wasserstoff können in einem weitere Prozessschritt, der so genannten Synthese, flüssige oder gasförmige Energieträger wie Methan oder auch E-Fuels wie Diesel oder synthetisches Kerosin gewonnen werden. Unter E-Fuels versteht man synthetische Kraftstoffe, die in Verbrennungsmotoren genutzt werden können. Auch eine Weiterverarbeitung des Wasserstoffs zu Kunststoffen und Chemikalien ist möglich.

Für all diese Endprodukte wird Kohlenstoff in Form von Kohlendioxid (CO₂) verwendet. Die Prozessschritte gehen jeweils mit zusätzlichem Energieaufwand einher, darüber hinaus entstehen entlang der gesamten Prozesskette erhebliche Umwandlungsverluste (siehe Grafik).

Power-to-X: Überblick Ausgangsstoffe, Prozesse und PtX-Produkte
Wie aus Strom Brennstoffe und chemische Grundstoffe entstehen



Zufuhr von:

Strom
 Wasser
 Luft
 Niedertemperaturwärme
 Hochtemperaturwärme
 nachhaltige Biomasse

Syntheseprozess



QUELLE: ÖKO-INSTITUT 2019, CC BY-SA 2.0

3. Wo wird Wasserstoff bzw. werden strombasierte Kraftstoffe in Deutschland bereits produziert und eingesetzt?

Bislang wird klimafreundlicher Wasserstoff hierzulande noch nicht in großem Maßstab produziert oder eingesetzt. Anwendungen gibt es heute vor allem im Industriesektor. Zudem bestehen erste Pilot- sowie Demonstrationsanlagen, erste privatwirtschaftliche Akteure arbeiten an kommerziellen Anlagen, die im kleinen Maßstab zu Beginn der 2020er Jahre in Betrieb gehen sollen.

Derzeit setzt etwa die petrochemische Industrie Wasserstoff ein. Dieser wird jedoch nicht über Elektrolyse, sondern in verfahrenstechnischen Prozessen aus Erdgas gewonnen. Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Ammoniak- und Methanolherstellung. Erste Projekte zum Ersatz durch strombasierten Wasserstoff aus Elektrolyseuren laufen. Neue Anwendungen wie beispielweise die Stahlproduktion können für klimafreundlichen Wasserstoff in diesem Jahrzehnt hinzukommen.

Im Fahrzeugsektor sind Wasserstoff oder andere synthetische Kraftstoffe auf Basis von Wasserstoff – die so genannten E-Fuels – zu finden. Viele Fahrzeughersteller sind im Pkw-Bereich weitestgehend aus der Wasserstofftechnologie – also Brennstoffzellenfahrzeugen – ausgestiegen und konzentrieren sich Fernverkehr-Lkw, die ab der zweiten Hälfte der 2020er Jahre zum Einsatz kommen könnten.

4. Welche Mengen an strombasierten Kraftstoffen werden in Deutschland bis 2050 benötigt?

Nach Schätzungen des Öko-Instituts wird Deutschland in einem fast treibhausgasneutralen Energiesystem 2050 voraussichtlich mehrere Hundert Terrawattstunden strombasierte Kraftstoffe benötigen. Welche Mengen tatsächlich benötigt werden, ist davon abhängig, welchen Beitrag Effizienz- und Suffizienzmaßnahmen leisten konnten, in welchem Umfang Biomasse eingesetzt werden kann und wie hoch der Elektrifizierungsgrad dann ist – zum Beispiel durch die Nutzung von Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen. Die [Studie „Wasserstoff sowie wasserstoffbasierte Energieträger und Rohstoffe“ des Öko-Instituts](#) zeigt: Die Spanne für die Nachfrage nach wasserstoffbasierten klimaneutralen Stoffen in Deutschland liegt in Klimaschutzszenarien, die sektorübergreifend eine 95-prozentige Treibhausgasminderung bis zum Jahr 2050 gegenüber 1990 erreichen, bei 200 bis 900 Terawattstunden (TWh) pro Jahr im Jahr 2050. Mittlere Szenarien weisen eine Nachfrage von rund 400 TWh pro Jahr an wasserstoffbasierten Stoffen für das Jahr 2050 auf.

5. Wie lange dauert es, um strombasierte Kraftstoffe in industriellem Maßstab für den Verkehrssektor zur Verfügung zu stellen?

Aus Sicht vieler Expertinnen und Experten wird es mindestens acht bis zehn Jahre dauern, bis strombasierte Kraftstoffe in industriellem Maßstab verfügbar sind. Das ist auf Planungs- und Beteiligungsprozesse, die Skalierung der Technologie sowie die Etablierung einer Transportinfrastruktur zurückzuführen, aber auch auf die Rahmenbedingungen für Investitionen. Nachhaltige strombasierte Kraftstoffe erfordern zudem den zusätzlichen Ausbau erneuerbarer Energien.

Bei idealem Verlauf der Entwicklung werden bis 2030 hierzulande aus technischer Sicht Mengen von rund 30 Petajoule (PJ) jährlich für möglich gehalten. Zum Vergleich: Der deutsche Verkehrssektor nutzte 2018 inklusive des Schiffs- und Flugverkehrs 2.700 PJ an Kraftstoffen.

Der Aufbau einer Produktionsanlage in industriellem Maßstab braucht jedoch Planungs- und Beteiligungsprozesse, eine Skalierung der bislang nicht im Industriemaßstab vorhandenen Teilprozesse,

die Etablierung einer Transportinfrastruktur sowie nicht zuletzt: Investitionen. Bislang sind die Rahmenbedingungen hierfür jedoch noch unsicher (Stand: August 2020), da die Umsetzung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie RED II der EU in deutsches Recht noch nicht abgeschlossen ist und die Kriterien für die Berechnung der Treibhausgasbilanz und den Strombezug für die Herstellung von PtX-Stoffen noch nicht festgelegt sind. Erst Ende 2021 werden die Anforderungen feststehen, die Produktionsanlagen erfüllen müssen, damit PtX-Stoffe als nachhaltige Kraftstoffe definiert und gefördert werden. Das Öko-Institut rechnet nicht mit nennenswerten Investitionen vor diesem Zeitpunkt, da eine große Anlage zur Produktion von strombasierten Kraftstoffen mehrere Milliarden Euro an Investitionen benötigt.

Die Herstellung von nachhaltigen strombasierten Kraftstoffen braucht auch deshalb Zeit, weil hierfür zusätzliche erneuerbare Energien benötigt werden und die Ausbaugeschwindigkeit der Anlagen begrenzt ist. So bräuchte man für 30 PJ eine zusätzliche Strommenge von 15 bis 18 Terrawattstunden. Aus technischer Sicht ist der Aufbau von Produktionskapazitäten für Wasserstoff in Industrieanwendungen mit geringeren technischen Herausforderungen verbunden und könnte somit schneller geschehen.

Effizienz und Nachhaltigkeit

6. Wie sollten Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe gefördert werden?

Geeignete Förderprogramme sollen die Kosten für die Technologien zur Herstellung von Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen so stark senken, dass sie mittelfristig einen Beitrag zum Klimaschutz in Deutschland leisten können. Eine transparente und nachhaltige Förderung ist für die entsprechenden Anlagen unverzichtbar.

Eine transparente Förderung, mit der Technologien zur Herstellung von Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen weiterentwickelt und zur Marktreife gebracht werden können, sollte sich an zwei wesentlichen Faktoren orientieren: Wie gut ist eine einzelne Anlage ohne zusätzliche Belastung in das Stromnetz integrierbar? Und: Welchen Beitrag leistet sie, um Treibhausgasemissionen zu vermeiden? Zudem müssen konkrete Kriterien festgelegt werden, nach denen sich eine Förderung richtet – so etwa die Reaktion der Anlage auf die Einspeisung von erneuerbarem Strom sowie der Standort im Netz vor den gängigen Netzengpässen. Diese sollten nicht verstärkt werden. Eine Förderung sollte auch das klare Ziel verfolgen, mittelfristig die spezifischen Investitionskosten der Herstellungstechnologien zu senken.

7. Welche Rolle wird der Import von Wasserstoff in Zukunft spielen?

Ohne Importe wird es nicht gehen: Für den Aufbau einer nachhaltigen Wasserstoffwirtschaft sind große Mengen erneuerbare Energien erforderlich. Da die Potenziale für erneuerbare Stromerzeugung hierzulande begrenzt sind, sind schon heute Wasserstoffpartnerschaften etwa mit verschiedenen Staaten in Planung.

Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe können nur dann zum Klimaschutz beitragen, wenn sie hauptsächlich auf der Grundlage erneuerbarer Energien hergestellt werden. Doch dies erfordert viele Ressourcen und große Flächen. Da es jedoch in Deutschland schon heute schwer ist, Akzeptanz für den Ausbau der erneuerbaren Energien zu bekommen, wird erwartet, dass strombasierte Stoffe in Zukunft in großem Umfang aus dem Ausland importiert werden. Während Wasserstoffimporte aus Europa und dem nahen Umfeld Europas erwartbar sind, wird die Herstellung

strombasierter Kraftstoffe in Europa vermutlich teurer sein als der Import etwa aus Nordafrika, Australien, Chile oder dem Mittleren Osten. Die [Nationale Wasserstoffstrategie](#) sieht daher den Aufbau von Wasserstoff-Partnerschaften mit möglichen Importländern vor (Stand: Juni 2020).

Aus Sicht des Öko-Instituts sind mit Blick auf Wasserstoffimporte rechtzeitige Abstimmungen mit möglichen Lieferländern und der vorausschauende Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur notwendig. Der Ausbau von Wasserstoffimporten muss etwa Anforderungen an die Wasser- und Flächennutzung berücksichtigen, damit sie nicht zu einer Verschärfung der Situation in Ländern mit Wassermangel führt und keine illegale Landnahme geschieht. Zudem dürfen Wasserstoffpartnerschaften die Klimaschutzstrategien der Exportländer nicht beeinträchtigen. Es ist unverzichtbar, einheitliche Nachhaltigkeitskriterien festzulegen – etwa durch europäische Importstandards oder internationale Zertifikate – sowie ein Nachhaltigkeitsmonitoring zu etablieren.

8. In welchen Sektoren können Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe sinnvoll eingesetzt werden?

Grundsätzlich können Wasserstoff und andere strombasierte Kraftstoffe fossile Brenn- und Kraftstoffe wie Erdgas oder Produkte aus Rohöl ersetzen. Sie sollten jedoch vor allem in jene Anwendungen gelenkt werden, die auch langfristig keine oder nur begrenzte Alternativen haben werden, um Klimaneutralität zu erreichen. In den anderen Anwendungsbereichen darf eine Strategie zur Einführung von Wasserstofftechnologien aus Sicht des Öko-Instituts wichtige Maßnahmen etwa für mehr Effizienz oder Elektrifizierung nicht verzögern.

Für einen kostengünstigen Klimaschutz sollten zunächst alle wirksamen Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs ergriffen werden – so etwa die Dämmung von Gebäuden oder auch die direkte Nutzung von Strom in Elektrofahrzeugen. Strombasierte Stoffe sind im Wärmebereich sowie im Verkehr aus Kosten- und Effizienzgründen derzeit nicht sinnvoll. Denkbar sind lediglich Nischen-Wärmeanwendungen in Bestandsgebäuden, die sich nur schwer sanieren lassen.

Im Flug- und Schiffsverkehr sowie bei Hochtemperaturanwendungen in der Industrie kann der Einsatz von strombasierten Stoffen jedoch sinnvoll sein. Also überwiegend dort, wo die direkte Stromnutzung nicht oder nur schwer möglich ist. Aus Sicht des Öko-Instituts können strombasierte Kraftstoffe etwa in der Stahlproduktion, aber auch als Langzeit-Stromspeicher wirksam eingesetzt werden. Zusätzlich nutzt die chemische Industrie bereits heute Wasserstoff etwa für die Herstellung von Ammoniak, Methanol und Ethylen. Diese Produktionsprozesse lassen sich ohne Weiteres auf nachhaltigen Wasserstoff umstellen.

9. Wann lohnen sich die Produktion und der Einsatz von Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen aus Nachhaltigkeitsgesichtspunkten?

Nur wenn Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe mit zusätzlichem erneuerbarem Strom und CO₂ aus der Luft oder der nachhaltigen Biomassenutzung hergestellt werden, wirken sie positiv auf den Klimaschutz. Daher braucht es von Anfang an verbindliche und ambitionierte Nachhaltigkeitsregeln für ihre Produktion.

Die [Analyse „Die Bedeutung strombasierter Kraftstoffe für den Klimaschutz in Deutschland“](#) zeigt: Strombasierte Stoffe können unter bestimmten Voraussetzungen zum Klimaschutz beitragen. So lohnt es sich erst dann fürs Klima, Strom in solche Stoffe umzuwandeln, wenn dieser Strom zu sehr hohen Teilen aus erneuerbaren Quellen stammt. Darüber hinaus muss der benötigte erneuerbare Strom zusätzlich zu den bestehenden Ausbaupfaden der erneuerbaren Energien bereitgestellt und

die erneuerbaren Kapazitäten müssen ausgebaut werden, um Wasserstoff und strombasierte Kraftstoffe klimafreundlich herzustellen. Wird diese Voraussetzung nicht erfüllt, kann die Herstellung von Wasserstoff und strombasierten Kraftstoffen in einem Stromsystem mit fossiler Stromproduktion wie beispielsweise in Deutschland zu höheren Treibhausgasemissionen führen als die heutige Produktion aus fossilem Erdgas.

[Wird Wasserstoff aus Erdgas hergestellt](#), muss das in der Produktion entstehende CO₂ zudem gespeichert oder als fester Kohlenstoff langfristig gebunden werden, um zum Klimaschutz beizutragen.

Für eine klimafreundliche Produktion von strombasierten Kraftstoffen muss man mittelfristig zudem CO₂ nutzen, das aus der Luft oder der nachhaltigen Nutzung von Biomasse stammt. Das unterstreicht auch das [Impulspapier „Kein Selbstläufer: Klimaschutz und Nachhaltigkeit durch PtX“](#). Nutzt man CO₂ aus anderen Quellen – etwa aus Industrieprozessen mit fossilen Rohstoffen – geht bei diesen der Anreiz verloren, die CO₂-Emissionen in diesen Industrieprozessen zu reduzieren. Indirekt könnte die Herstellung von strombasierten Kraftstoffen so Mehremissionen in anderen Bereichen verursachen und das Potenzial für den Klimaschutz würde erheblich sinken.

Darüber hinaus verbraucht die Wasserstoffherstellung weitere Ressourcen – so Wasser, metallische Rohstoffe und Flächen für den Bau von Elektrolyseanlagen. Auch hier sind detaillierte Anforderungen notwendig, um eine nachhaltige Produktion zu gewährleisten.

Gefördert werden sollten strombasierte Kraftstoffe aus Sicht des Öko-Instituts daher nur, wenn von Anfang an sichergestellt ist, dass sie wirklich Treibhausgase reduzieren und weiteren Nachhaltigkeitskriterien genügen.

10. Wie effizient ist die Herstellung von Energieträgern aus Strom?

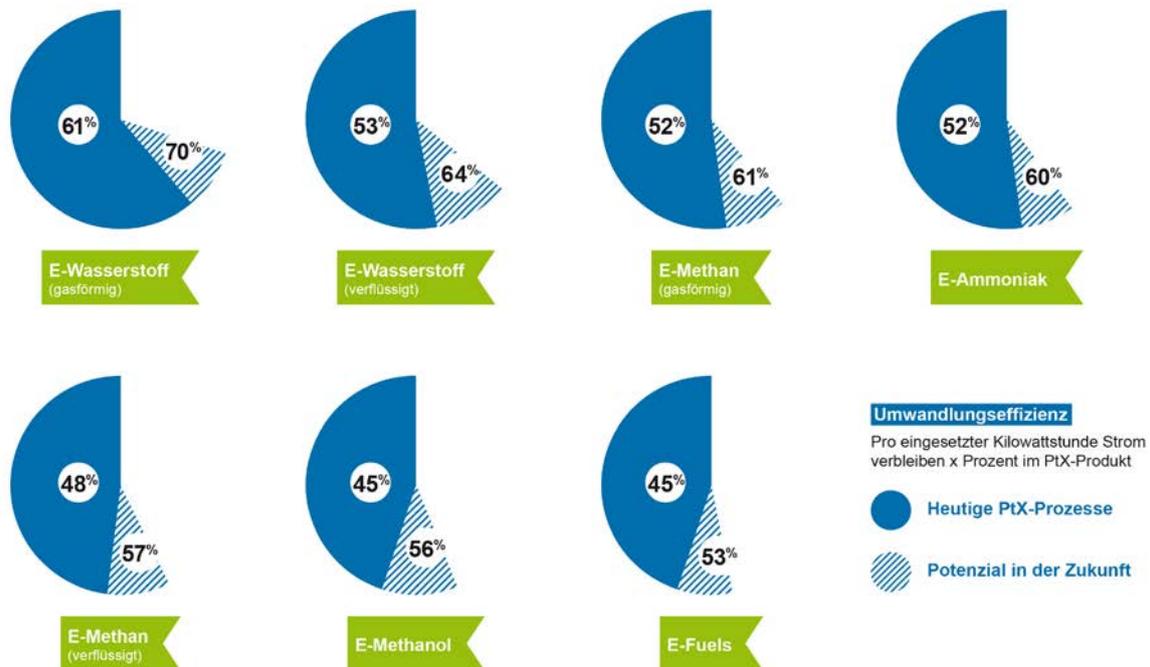
Bei der Herstellung von strombasierten Kraftstoffen geht ein großer Teil der eingesetzten Energie verloren. So ist die direkte Stromnutzung etwa in batterieelektrischen Fahrzeugen oder Wärmepumpen weitaus effizienter – und wird dies auch perspektivisch bleiben.

Bei der Herstellung und Speicherung von gasförmigem, grünem Wasserstoff steht nach heutigem Stand der Technik nur rund 60 Prozent des Energiegehalts des eingesetzten Stroms zur Verfügung. Bei verflüssigtem, grünem Wasserstoff, bei gasförmigem E-Methan sowie bei E-Ammoniak sinkt der verbleibende Energiegehalt auf knapp über 50 Prozent. Wird das E-Methan verflüssigt, sind es nur noch 48 Prozent und bei E-Methanol und bei flüssigen E-Fuels sind es jeweils rund 45 Prozent des eingesetzten Stroms, die energetisch zur Verfügung stehen.

Perspektivisch wird die Effizienz bei der Herstellung von gasförmigen oder flüssigen Energieträgern aus Strom zwar steigen, doch die direkte Stromnutzung wird effizienter bleiben. Bei gasförmigem E-Wasserstoff erwartet das Öko-Institut ein Umwandlungspotenzial von 70 Prozent, bei verflüssigtem E-Wasserstoff von 64 Prozent. Die übrigen strombasierten Stoffe weisen auch bei technischen Verbesserungen höhere Umwandlungsverluste auf, so dass das Öko-Institut beispielsweise für flüssige E-Fuels auch langfristig von Umwandlungsverlusten von rund 50 Prozent ausgeht.

Power-to-X: Wie viel vom Strom übrig bleibt

Effizienz bei der Herstellung von Energieträgern aus Strom heute und in Zukunft



QUELLE: ÖKO-INSTITUT 2019, CC-BY-SA 2.0

11. Ist der Einsatz von E-Fuels sinnvoll, um die Emissionen des Verkehrssektors zu senken?

Im Vergleich zu elektrischen Antrieben ist der Einsatz von E-Fuels – also strombasierten synthetischen Kraftstoffen, die in Verbrennungsmotoren genutzt werden können – deutlich teurer und ineffizienter. Und auch die Vermeidung und Verlagerung von Verkehr ist ein deutlich sinnvollerer Mittel, um die Emissionen des Verkehrssektors wirksam zu senken. Aus Sicht des Öko-Instituts lohnt es sich daher nicht, E-Fuels als zentrale Klimaschutzmaßnahme im Individualverkehr zu nutzen. Im Luftverkehr und der Seeschifffahrt sind sie eine technische Klimaschutzoption, für das Erreichen der langfristigen Klimaschutzziele benötigt wird.

Die Nutzung von E-Fuels ist in vielen Fällen die teuerste Option für Klimaschutz im Verkehrssektor. Im Vordergrund für mehr Klimaschutz im Verkehr sollte daher stehen, Verkehr zu vermeiden und zu verlagern – so etwa auf den Fuß- und Radverkehr sowie auf öffentliche Verkehrsmittel – sowie die Effizienz bestehender Antriebssysteme zu steigern und den Verkehr zu elektrifizieren. Hierdurch ließen sich die Emissionen des Verkehrssektors bereits um mehr als 80 Prozent senken. Für den Flugverkehr und die Seeschifffahrt sind strombasierte Kraftstoffe aus Sicht des Öko-Instituts jedoch die Voraussetzung, um die langfristigen Klimaschutzziele zu erreichen. Daher fordern die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, dass die Politik klare Anreize setzt, damit gezielt Kraftstoffe für diese Bereiche entwickelt werden.

Die Kostenvorteile für Elektrofahrzeuge ergeben sich vor allem aus den deutlich effizienteren Antriebssystemen sowie den hohen Umwandlungsverlusten bei der Herstellung der strombasierten

Kraftstoffe. Insgesamt wird bei der direkten Nutzung von Strom im Vergleich zu E-Fuels sogar bis fünf Mal weniger Strom für dieselbe Wegstrecke verbraucht. Die höhere Effizienz hat das Öko-Institut in der [Analyse „Kurzstudie über den Stand des Wissens und die mögliche Bedeutung von E-Fuels für den Klimaschutz im Verkehrssektor“](#) verdeutlicht. Die Effizienznachteile der verbrennungsmotorischen Fahrzeuge lassen sich aus Kostensicht auch nicht dadurch ausgleichen, dass erneuerbarer Strom an globalen Gunststandorten bei der Herstellung strombasierter Kraftstoffe potenziell zum Einsatz kommen kann. Dies gilt insbesondere für Fahrzeuge mit hohen Fahrleistungen und Energieverbräuchen wie bei Fernverkehr-Lkw.

Weitere Informationen

[Informationsportal „Nachhaltiger Wasserstoff“ des Öko-Instituts](#)

[Infografiken des Öko-Instituts zum Thema Wasserstoff](#)

[Studie „Wasserstoff sowie wasserstoffbasierte Energieträger und Rohstoffe – eine Überblicksuntersuchung“ des Öko-Instituts](#)

Weitere Studien, Vorträge, Pressemitteilungen und Blogbeiträge im [Informationsportal](#).

Kontakt zum Öko-Institut

Dr. Felix Chr. Matthes

Forschungskordinator Energie- und Klimapolitik
im Institutsbereich Energie & Klimaschutz
Öko-Institut e.V., Büro Berlin
Tel.: +49 30 405085-330
E-Mail: f.matthes@oeko.de

Peter Kasten

Senior Researcher im Institutsbereich
Ressourcen & Mobilität
Öko-Institut e.V., Büro Berlin
Tel.: +49 30 405085-349
E-Mail: p.kasten@oeko.de

Christoph Heinemann

Senior Researcher im Institutsbereich
Energie & Klimaschutz
Öko-Institut e.V., Geschäftsstelle Freiburg
Tel.: +49 761 45295-228
E-Mail: c.heinemann@oeko.de

Mandy Schoßig

Leiterin Öffentlichkeit & Kommunikation
Pressestelle
Öko-Institut e.V., Büro Berlin
Tel.: +49 30 405085-334
E-Mail: m.schoessig@oeko.de
