

Kurzinfo Power-to-X-Technologien

BUND-Leitlinien für die nachhaltige und klimaschützende Wasserstoffnutzung

Wasserstoff als Energieträger wird als "Öl des 21. Jahrhunderts" angepriesen. Bei diesem Hype wird oft vernachlässigt, dass seine Herstellung große Mengen an Strom verbraucht. Es besteht außerdem die Gefahr, dass beim Import von Wasserstoff globale Abhängigkeitsstrukturen verstärkt werden und dadurch u.a. die Wasserknappheit insbesondere in Ländern des globalen Südens zunimmt. Zusätzlich müssen wir uns fragen, welche Industrien zukunftsfähig sind und welche Geschäftsmodelle, die auf Wasserstoff als neuen Energieträger setzen, in einer sozial und ökologisch transformierten Wirtschaft nicht mehr haltbar sind. Deshalb wollen wir hier Leitlinien für eine nachhaltige und klimaschützende Wasserstoffnutzung zusammenfassen.

Energieträger der Zukunft?

Mit Wasserstoff (H₂) kann Energie gespeichert, umgewandelt oder durch Verbrennung zu hohen Temperaturen freigesetzt werden. Es ist ein extrem leichtes Gas, das durch Zugabe von Kohlenstoff auch weiterverarbeitet werden kann, etwa zu Grundstoffen für verschiedene Industrien oder zu synthetischen Kraftstoffen. Bei diesen Verfahren wird von sogenannten Power-to-X-Technologien gesprochen, da diese durch Strom (Power) betrieben werden und dessen Energie in zahlreiche flüssige oder feste Endprodukte (dem X) umwandeln. Der Wasserstoff-Hype wirft viele Fragen auf: Welchen Beitrag kann grüner Wasserstoff zum Klimaschutz leisten? Wie lässt er sich nachhaltig produzieren und welche Mengen sind in den verschiedenen Sektoren wie Verkehr, Wärme, Strom und Industrie notwendig? Und ebenso wichtig: Durch welche Klimaschutzalternativen kann der Energiebedarf insgesamt auf ein Minimum reduziert werden?

Der BUND arbeitet an Antworten auf diese Fragen und hat bereits zahlreiche Forderungen an eine grüne Wasserstoffstrategie formuliert. Klar ist: Die Einführung wasserstoffbasierter Technologien und Produkte wird Jahrzehnte dauern. Nur wenn heute die Grundlagen für eine nachhaltige Nutzung gelegt werden, wird der Einsatz von Wasserstoff und Power-to-X-Verfahren (z.B. die Umwandlung von Strom in gasförmige oder flüssige Energieträger) dem weltweiten Klimaschutz und der globalen Entwicklung nutzen. Für die politische Regulierung sollten dabei fünf Leitlinien zentral sein:

1. Der zusätzliche Stromverbrauch für Power-to-X (P2X) muss durch zusätzliche Kapazitäten an erneuerbaren Energien gedeckt werden – über die bisherigen Ausbaupfade zur Realisierung der Klimaschutzziele hinaus. Alternativ kann erneuerbarer Strom aus Stromspitzen eingesetzt werden, wenn es für diesen keine effizientere Nutzung gibt, zum Beispiel durch Power-to-Heat-Anlagen. Die Direktwandlung von Strom in Heizwärme (PtH) darf aber nur ergänzend zu

anderen Heizsystemen erfolgen, wenn es keine anderen Alternativen der Stromnutzung gibt und darf keine strukturellen Wirkungen entfalten.ⁱ

2. Grüner Wasserstoff wird langfristig ein seltenes und kostbares Gut bleiben. Er sollte nur in Bereichen eingesetzt werden, wo keine klima- und umweltschonendere Alternative absehbar ist. Grüner Wasserstoff muss energieeffizient erzeugt, transportiert und genutzt werden.
3. Steigender Wasserbedarf durch Elektrolyseure darf nicht zu lokaler Wasserknappheit führen. Bei Nutzungskonflikten muss die solare Trinkwassererzeugung, durch den regenerativen Betrieb von Entsalzungsanlagen, immer Vorrang vor der erneuerbaren Wasserstoffherzeugung haben.
4. Wenn Power-to-X eine Zukunftstechnologie sein sollen, muss sie auch durch zukunftsweisende, d.h. klimaneutrale Strom- und Kohlenstoffquellen (im Falle der Methanisierung) gespeist werden.
5. Die Nutzung grünen Wasserstoffs muss zum Fortschritt des globalen Klimaschutzes beitragen. Wasserstoff und darauf basierende Power-to-X-Produkte müssen deshalb zuerst der Energiewende und den Klimaschutzplänen im Erzeugerland dienen. Die Zusätzlichkeit des erneuerbaren Stroms muss als globales Prinzip verstanden werden, das nicht durch das Ausweichen auf Importe umgangen werden kann.

Keine Farbenblindheit - nur grüner Wasserstoff hilft dem Klimaschutz

Von einer klimaneutralen Wasserstoffzukunft ist Deutschland noch weit entfernt. Heute werden hierzulande jährlich etwa 55 Terawattstunden (TWh) *grauer Wasserstoff* stofflich genutzt, die überwiegend auf der Basis von Erdgas hergestellt werden. Dieser graue Wasserstoff soll in Europa nach den Plänen des norwegischen Konzerns Equinor schrittweise durch *blauen Wasserstoff* ersetzt werden. Das bei der Erdgasreformierung freiwerdende CO₂ soll dabei aufgefangen (capture) und anteilig in der Erde gespeichert (storage) werden. Dieses Verfahren ist als Carbon Capture and Storage (CCS) bekannt und wird heute oft auch als Carbon Capture and Offshore Storage (CCOS) bezeichnet, sofern die Speicherung unter dem Meer erfolgen soll. Blauer Wasserstoff bleibt dabei eine fossile Energiequelle: Bei Förderung und Transport wird durch Leckagen klimaschädliches Methan freigesetzt und auch die Herstellung erfolgt nicht emissionsfrei, wird doch in der Regel nur ein Bruchteil der dabei entstehenden Emissionen abgeschieden und gelagert. Der BUND lehnt die CCS-Technik grundlegend ab aufgrund energetischer Ineffizienz und Gefährdungen des Grundwassers und anderer Umweltschädigungen.

Grüner Wasserstoff (H₂) wird hingegen durch Elektrolyseverfahren gewonnen, die durch Strom aus zusätzlichen, das heißt über die Ausbauziele hinaus installierte erneuerbaren Energien angetrieben werden. In einem Elektrolyseur wird Wasser (H₂O) in seine Einzelteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Anstatt mit blauem Wasserstoff nur eine weitere fossile Übergangstechnologie einzuführen, setzt der BUND auf den unmittelbaren Einstieg in die Nutzung grünen Wasserstoffs. Um die Klimaziele zu erreichen, muss die Einführung des grünen Wasserstoffs aber so gestaltet werden, dass insbesondere der Kohle- und Atomausstieg in Deutschland und Europa nicht gefährdet wird. Im Elektrolyseverfahren werden etwa 30 Prozent des eingesetzten Stroms verbraucht. Aufgrund der erheblichen Umwandlungsverluste von Strom entlang der Power-to-X-Prozesskette erscheint es klimapolitisch – heute und in absehbarer Zukunft – kontraproduktiv, diese anteilig mit erneuerbaren Energien aus dem regulären Strommix zu betreiben. Beispielsweise wird bei der Herstellung synthetischer Kraftstoffe erst ab einem erneuerbaren Stromanteil von über 80 Prozent weniger CO₂ freigesetzt als bei rein fossilen Kraftstoffenⁱⁱ. Die Erzeugung von synthetischen Kraftstoffen durch Kohlestrom ist daher kein Gewinn, sondern eine ernste Gefahr für den Klimaschutz.

CO2-Nutzung – Kohlenstoffquellen müssen klimaneutral und zukunftsweisend sein

Durch den Einsatz von CO₂ kann Wasserstoff zu Kohlenwasserstoffen weiterverarbeitet werden. Durch dieses Verfahren erschließen sich für Power-to-X-Technologien eine Vielzahl von Anwendungsgebieten – bis hin zur Herstellung von Kosmetikprodukten. Neben der Herkunft des erneuerbaren Stroms stellt sich deshalb die zentrale Frage nach den Quellen für das benötigte CO₂. Aus Sicht des BUND muss unbedingt vermieden werden, dass der CO₂-Ausstoß, zum Beispiel aus veralteten Industrieanlagen oder Kohlekraftwerken, verlängert wird. Deren CO₂-Emissionen würden dabei zwar abgeschieden und einmalig weiterverwendet, aber sie würden letztlich emittiert werden, nur nicht am Industrieschornstein, sondern am Autoauspuff oder bei der Plastikherstellung und -verwitterung. Wenn Power-to-X eine Zukunftstechnologie sein soll, dann muss sie auch aus zukunftsweisenden Kohlenstoffquellen gespeist werden. Als klimaneutrale CO₂-Quellen kommen nur Biomasse und das sogenannte Direct-Air-Capture (DAC) infrage, bei dem CO₂ direkt aus der Luft gefiltert werden. Das bei Biogasanlagen derzeit nicht genutzte CO₂ kann für die Erzeugung von Power-to-X-Energieträgern, insbesondere Methan genutzt werden, wenn es abgetrennt und einer mit Wasserstoff aus einer örtlichen Elektrolyse synthetisiert wird.ⁱⁱⁱ Dabei ist aber zu bedenken, dass die Mengenpotenziale nachhaltiger Biomasse stark beschränkt sind und für den Betrieb von DAC-Anlagen zusätzlicher Platz genutzt und weitere Energie verbraucht wird. Kurzfristig kann es ein Ansatz sein, das verfügbare nachhaltige Biomasseangebot in industriellen Punktquellen zu konzentrieren, z.B. in der Nähe der Raffinerien für grünes Kerosin. Langfristig müssen die nötigen Flächen für DAC-Anlage und die zu ihrem Betrieb notwendigen erneuerbaren Energien ausgewiesen werden.

Prioritäten setzen, effizient erzeugen und nutzen – zukünftige Anwendungsgebiete für Power-to-X-Energieträger

Grüner Wasserstoff sollte nur dort eingesetzt werden, wo keine anderen günstigeren und effizienteren Klimaschutzmaßnahmen existieren. Für alle Sektoren gilt dabei die Steigerung der Energieeffizienz als eine der notwendigen Voraussetzungen, um Power-to-X-Technologien klimafreundlich einzusetzen. Dabei soll sowohl die Erzeugung des Wasserstoffs in Elektrolyseuren eine höhere Energieeffizienz erhalten, die Abwärme sollte genutzt werden und die Nutzung der Power-to-X Energieträger sollte ebenso mit hoher Energieeffizienz erfolgen. Dies gilt auch für Energieverluste und Wärmeaufwendungen beim Transport des Wasserstoffs mittels der LOHC-Technik^{iv}. Welchen Klimaschutzbeitrag können die Power-to-X-Energieträger in den verschiedenen Anwendungsfeldern leisten?

Strom – Potenzial erneuerbarer Energien in Deutschland ausschöpfen

Im Stromsektor können Wasserstoff oder erneuerbares Methan als Speichermedien genutzt werden, um mittels Speicherung und Rückverstromung Zeiten zu überbrücken, in denen aktuell nicht ausreichend Wind weht oder Sonne scheint. Unter Nutzung der bestehenden Gasinfrastruktur können mit grünem Gas betriebene Stromerzeuger (Gasturbinen, GuD-Kraftwerke, Motorenkraftwerke) den Bedarf an gesicherter Stromleistung garantieren. So weit wie möglich sollte die Rückverstromung mittels KWK erfolgen. Sicherung der Stromversorgung, Minderung des Stromnetzausbaus und Beitrag zur lokalen Wärmewende können so verbunden werden.

Sie bieten somit eine Perspektive für den vollständigen Erdgasausstieg. Mit dem Ausbau der Sektorenkopplung ist ein Anstieg der Stromnachfrage insbesondere für Elektromobilität und Heizung mit Wärmepumpen zu erwarten. Szenarien der OTH Regensburg, die mit einem Kohleausstieg bis 2026 rechnen, gehen dabei mindestens von einer Verdoppelung der Stromnachfrage in Deutschland (heute

etwa 520 TWh) aus – selbst bei starker Steigerung der Energieeffizienz^v. In der Zukunft würden demnach etwa 25 Prozent des Stroms in Power-to-X-Anwendungen fließen. Ähnliches Ergebnis zeigt das Suffizienz-Szenario der Studie *Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem*^{vi}, bei der die synthetischen Energieträger nur bei 230 TWh liegen. Je geringer der Bedarf an synthetischen Energieträgern ist, umso eher können diese größtenteils in Deutschland erzeugt werden und problematische Importe mit neuen Abhängigkeiten und Umweltbelastungen in anderen Ländern vermieden werden. Der BUND geht davon aus, dass durch Stromeinsparungen der Zusatzbedarf weitgehend kompensiert werden kann.^{vii}

Verkehr – Vorfahrt für die direkte Elektrifizierung

Wasserstoff oder synthetische Kraftstoffe im Straßenverkehr sind keine Alternativen zur direkten Stromnutzung, da sie aufgrund der Umwandlungsverluste bei Herstellung, Umwandlung bzw. Verbrennung zu einer deutlich schlechteren Energiebilanz führen. Im Vergleich zur direkten Stromnutzung in batterieelektrischen Fahrzeugen wird bei der Nutzung synthetischer Kraftstoffe für die gleiche Kilometerleistung fünf bis sieben Mal so viel Strom benötigt. Synthetische Kraftstoffe verschärfen also gegenüber elektrischen Antrieben die Herausforderungen beim Ausbau erneuerbarer Energien. Sie benötigen außerdem zentralisierte Kohlenstoffquellen zur Herstellung der synthetischen Kohlenwasserstoffe und schaffen damit voraussichtlich neue Abhängigkeiten von Kohlekraftwerken oder fossilen Industrieprozessen.

Im Gegensatz zum Straßenverkehr wird im Luft- und Schiffsverkehr die direkte Stromnutzung in überschaubarer Zeit keine Rolle spielen. Deshalb sind hier die gegenüber der direkten Stromnutzung zusätzlichen, hohen Umwandlungsverluste hinzunehmen. Beim Flugverkehr kann aber durch die verbleibenden Nicht-CO₂-Effekte (Rußemissionen, Bildung von Wasserdampf, Kondensstreifen und Schleierwolken aus Eis) maximal ein geringer THG-Minderungseffekt angesetzt werden. Für den von deutschen Flughäfen startenden, nicht zu verlagernden internationalen Luftverkehr sollte bis 2030 eine Beimischungsquote von 10 Prozent festgelegt werden. Diese muss mit einem klaren Fahrplan zur Erzeugung zusätzlichen erneuerbaren Stroms und Produktion grünen Kerosins unterlegt sein. Andernfalls birgt eine Abnahmequote die Gefahr, eine große Nachfrage nach Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen hervorzurufen, die nicht nachhaltig und klimafreundlich zu decken ist.

Wärme – Kostenfalle grünes Gas

Auch im Wärmesektor kann es in Einzelfällen nötig sein, anteilig auf erneuerbares Gas zurückzugreifen. Zum Beispiel bei der Erzeugung von Prozesswärme mit besonders hohen Temperaturen. Des Weiteren stellt grünes Gas eine Quelle für KWK-Anlagen in Fern- und Nahwärmenetzen in Städten dar. Diese Anlagen werden insbesondere in Verbindung mit Wärmespeichern in Zeiten negativer Residuallast betrieben. Power-to-Gas kann eine ambitionierte Politik für Energieeinsparung und -effizienz im Gebäudebereich aber nicht ersetzen, sondern nur ergänzen. Das liegt zum einen an der auch perspektivisch begrenzten Verfügbarkeit von grünem Gas und der daraus resultierenden Nutzungskonkurrenz mit anderen Sektoren. Zum anderen werden synthetische Gase noch mindestens bis zum Jahr 2050 deutlich teurer sein als die meisten Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudesektor. Die volkswirtschaftlichen Mehrkosten des Power-to-X-Einsatzes gegenüber einer Steigerung der Sanierungsrate auf 2,2 Prozent würden voraussichtlich zwischen vier und acht Milliarden Euro betragen.^{viii} Der Verzicht auf Sanierung und der Einstieg in eine grüne Gasversorgung hilft folglich nicht dabei, bezahlbaren Wohnraum für Mieter*innen zu sichern. Oberste Priorität hat die Senkung des Heizenergieverbrauchs durch Maßnahmen der Energieeffizienz (Dämmung, Wärmerückgewinnung) in allen Anwendungsbereichen. Hierzu ist eine Offensive der Energieberatung erforderlich.^{ix} Ein deutlich

gesenkter Wärmebedarf kann dann über Wärmenetze oder Einzelanlagen weitgehend durch Solarthermie^x gedeckt werden.^{xi} Vielversprechend sind Ansätze bei denen die Power-to-X-Technologien ein Zusammenspiel von Methanisierung, KWK-Anlagen und Rückgewinnung des CO₂ im Gebäude oder Bezirk bewirken.^{xii}

Industrie – Power-to-X nur bei sinkendem Energieverbrauch machbar

Die nachhaltige Erzeugung von Power-to-X-Produkten wird dadurch erschwert, dass die Kostenfaktoren in die entgegengesetzte Richtung wirken und möglichst großskalige Anlagen und einen kontinuierlichen Betrieb vorteilhaft erscheinen lassen. Ambitionierte Nachhaltigkeitsstandards werden oft als Hürde für eine schnelle Markteinführung von Power-to-X-Technologien gesehen und sind dem Vorwurf ausgesetzt, ein *lock-in* fossiler Industrieprozesse zu bewirken, d.h. Investitionen in grüne Produktionsprozesse zu verzögern. Deswegen gilt auch für den BUND, die Markteinführung grünen Wasserstoffs muss schnellmöglich starten und der Ausbau erneuerbarer Energien massiv beschleunigt werden. Es scheint gewiss, dass grüner Wasserstoff eine wesentliche Rolle in der Industrie spielen wird, um beispielsweise chemische Grundstoffe, die bislang durch Erdgas oder Mineralöl erzeugt werden, erneuerbar herzustellen. Sinnvolle Anwendungsbereiche sind unter anderem die Herstellung von Ammoniak, Methanol und synthetischem Naptha; die Direktreduktion von Stahl und die Bereitstellung von Prozesswärme.

Durch mehr Energieeffizienz, langlebige und recycelbare Produkte und den Einsatz nachwachsender Rohstoffe gilt es dabei den Energiebedarf und den Einsatz von Power-to-X-Energieträgern so gering wie möglich zu halten. Wie wichtig diese Maxime ist, zeigen die vorliegenden Transformationsszenarien für die chemische Industrie. Im Auftrag des Verbands der chemischen Industrie (VDI) wurde die *Roadmap Chemie 2050* erstellt. Diese hat einen zusätzlichen Strombedarf für Power-to-X-Prozesse von 628 TWh errechnet. Nach diesem Szenario würde allein die chemische Industrie im Jahr 2050 mehr Strom verbrauchen als Deutschland heute insgesamt.^{xiii} Eine alternative Berechnung der OTH Regensburg setzt diesen Wert mit 467 TWh Strom fast ein Drittel niedriger an. Suffizienz und Effizienz erweisen sich hier als Schlüsselfaktoren, um die Importabhängigkeit der Industrie drastisch zu reduzieren oder sogar zu vermeiden. Der BUND schätzt, dass der Strombedarf für den Ersatz des fossilen nicht-energetischen Verbrauchs in der chemischen Industrie, durch Suffizienz der Anwendung, Vermeidung, längerer Nutzung, Recycling und Nutzung nachwachsender Rohstoffe sogar auf 100-150 TWh Strom gesenkt werden kann. Auch hier zeigt sich, dass Maßnahmen der Energieeffizienz und Suffizienz nachhaltiger sind, sowohl aufgrund geringerer Kosten als auch geringerm Ausbaubedarf erneuerbarer Energien.

Wasserstoff als Chance für den europäischen Energie-Binnenmarkt

Grundsätzlich erscheint der Import von grünem Wasserstoff aus BUND-Sicht nur dann legitim, wenn dieser in dem engen Rahmen erfolgt, der in Deutschland bei hohen Anforderungen an Energieeffizienz und -suffizienz noch erforderlich ist. Bei Importen müssen dabei strenge Nachhaltigkeitskriterien eingehalten werden und dies durch Herkunftsnachweise belegt wird. Dazu gehört insbesondere, dass vor Ort keine Nutzungskonflikte um den Wasser- und Flächenverbrauch entstehen: Zum Beispiel sollte ein lokaler Bedarf nach solaren Entsalzungsanlagen nicht mit einer ebenfalls solaren Wasserstoffproduktion konkurrieren müssen. Außerdem müssen erneuerbare Energien zuerst zur Verdrängung von Kohle, Gas und Öl im Erzeugerland dienen, weil das für den Klimaschutz zweifelsfrei vorteilhafter ist. Von diesem Ziel sind selbst sogenannte „sweet spots“ wie Marokko, das nur etwa 15 Prozent seines Stroms erneuerbar erzeugt, noch weit entfernt. In Niger, das kürzlich eine

Wasserstoffpartnerschaft mit Deutschland unterzeichnete, liegt dieser Wert sogar nur bei 2,5 Prozent. International muss dabei ebenso gelten, dass nur zusätzlicher erneuerbarer Strom für Power-to-X-Anwendungen genutzt werden darf. Außerdem muss sichergestellt werden, dass der Export von Power-to-X-Produkten dem sozialen Wohlstand im Erzeugerland dient und keine autoritären Regime unterstützt werden. Von Beginn an muss gesichert werden, dass hohe Standards von Transparenz, Wahrung der Menschenrechte und Vermeidung von Korruption eingehalten werden. Unter diesen Bedingungen wird es noch Jahrzehnte dauern, bis überhaupt große Mengen grünen Wasserstoffs nach Deutschland importiert werden können, bei denen diese Anforderungen an Nachhaltigkeit, die SDG-Ziele und demokratische Governance eingehalten werden. Der Fokus muss deshalb auf der weiteren Integration der europäischen Energiemärkte liegen: Der Handel mit grünem Wasserstoff sollte vorrangig in Europa etabliert und dort mit verbindlichen Nachhaltigkeitsstandards aufgebaut werden.

Unsere Forderungen an die Politik

- Der Ausbau erneuerbaren Stroms muss drastisch beschleunigt werden. Für die Erzeugung grünen Wasserstoffs in Deutschland müssen zusätzliche Windräder und Solaranlagen installiert werden – über den bislang geplanten Ausbau zur Erreichung der Klimaziele hinaus. Das **Ausbauziel für 2030 muss mindestens auf 75 Prozent angehoben werden**, um überhaupt in den nächsten Jahren eine klimaförderliche Wasserstoffstrategie in Deutschland einführen zu können.
- Ein mindestens um die Hälfte reduzierter Energiebedarf bei bestehenden Anwendungen und ein **deutlicher Anstieg der Energieeffizienz** muss als Grundvoraussetzung für die Nutzung grünen Wasserstoffs gelten. Nur durch effizientes Herstellen, effizientes Verbrauchen sowie suffizientes Leben und Wirtschaften wird der Bedarf an zusätzlichem erneuerbarem Strom nachhaltig und klimafreundlich zu decken sein.
- Die **Anwendungsbereiche für grünen Wasserstoff sollten politisch reguliert und priorisiert werden**. Eine eventuelle Förderung muss sich am größtmöglichen Klimaschutzbeitrag und dem nachhaltigen Ressourceneinsatz orientieren.
- Die lokale Energiewende in Deutschland als „Gemeinschaftswerk“^{xiv} vornehmlich in Bürger*innenhand sowie in und außerhalb Europas muss Vorrang vor dem Export bzw. Import grünen Wasserstoffs haben, da dessen Herstellung und Transport vergleichsweise ineffizient sind. **Für Importe müssen strenge Nachhaltigkeitskriterien und verlässliche Herkunftsnachweise gelten**, diese müssen zuerst im Rahmen des europäischen Binnenmarkts entwickelt und kontrolliert werden – u.a. durch die Errichtung entsprechender Nachweissysteme durch die EU.
- Eine **Reform von Steuern, Abgaben, Umlagen** muss darauf abzielen, die Sektorenkopplung in Gang zu bringen. Es müssen ökonomische und regulatorische Anreize zur flexiblen Nutzung von Überschussstrom und zur Erzeugung von zusätzlichen Kapazitäten erneuerbarer Energien entstehen, die durch bestehende Fördersysteme nicht geschaffen würden. Während der Strom für Sektorenkopplung und Eigenverbrauch erneuerbarer Energie durch Streichung der Stromsteuer vergünstigt werden muss, müssen der CO₂-Preis für die fossilen Konkurrenzprodukte drastisch erhöht werden.^{xv}
- Die Markteinführung grünen Wasserstoffs muss in **Kohärenz mit ambitionierten Klimaschutzszenarien** geschehen, die Treibhausgasneutralität im Einklang mit dem Weltklimavertrag von Paris deutlich vor 2050 anstreben. Der Kohle- und Atomausstieg darf nicht gefährdet werden.

ⁱ Vgl. BUND Standpunkt Stromeinsatz zu Heizzwecken. Verfügbar unter: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/standpunkt/stromeinsatz_zu_heizzwecken_standpunkt.pdf

-
- ⁱⁱ Öko-Institut (2019): Kein Selbstläufer: Klimaschutz und Nachhaltigkeit durch PtX. Verfügbar unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Impulspapier-soz-oek-Kriterien-e-fuels.pdf>
- ⁱⁱⁱ Vgl. Projekt der Fa. Viessmann. <https://www.viessmann-newsroom.de/unternehmen/grunes-licht-fur-erste-industrielle-power-to-gas-anlage-im-schweizerischen-dietikon>
- ^{iv} Siehe dazu: <https://www.hydrogenious.net/index.php/de/hydrogenious-2/lohc-technology/>
- ^v Siehe dazu u.a. die Ergebnisse des Kopernikus-Satellitenprojekts Systemanalyse und -integration Power-to-X im Kontext von erneuerbarer Elektrizität als Primärenergie (SPIKE). Zusammenfassung ist online verfügbar unter: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cite.201900167>.
- ^{vi} Fraunhofer ISE (2020): Wege zu einem klimaneutralen System. Online verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem.pdf>
- ^{vii} Vgl. BUND Position Nr. 66 Zukunftsfähige Energiepolitik: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/bund/position/zukunftsaehige_energieversorgung_position.pdf
- ^{viii} Siehe hierzu: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2017/Heat_System_Benefit/143_Heat_System_benefits_WEB.pdf
- ^{ix} Die derzeitigen Beratungszahlen müssten etwa um den Faktor 5-10 erhöht werden, durch eine Pflicht zur Erstellung von Sanierungsfahrplänen für alle Gebäude.
- ^x Z.B. mit kombinierten PV-Thermiekollektoren verbunden mit Eisspeichern und effizienten Wärmepumpen.
- ^{xi} BUND Standpunkt Solarthermie und BUND Position Nr. 66 Zukünftige Energieversorgung
- ^{xii} Bisher nur realisiert durch www.exytron.de.
- ^{xiii} VCI (2019): Roadmap Chemie
- ^{xiv} Gemeinschaftswerk Energiewende – Bericht der Ethikkommission „Sichere Energieversorgung“, Berlin 2014
- ^{xv} Siehe Pos. 66 – Eine Senkung der EEG-Umlage finanziert durch den Bundeshaushalt wäre kontraproduktiv und ruft die Gefahr herauf, das EEG als Beihilfe zu kippen. Sinnvoll wäre hingegen die Streichung der Besonderen Ausgleichsregelung für Industrie und Großverbraucher.