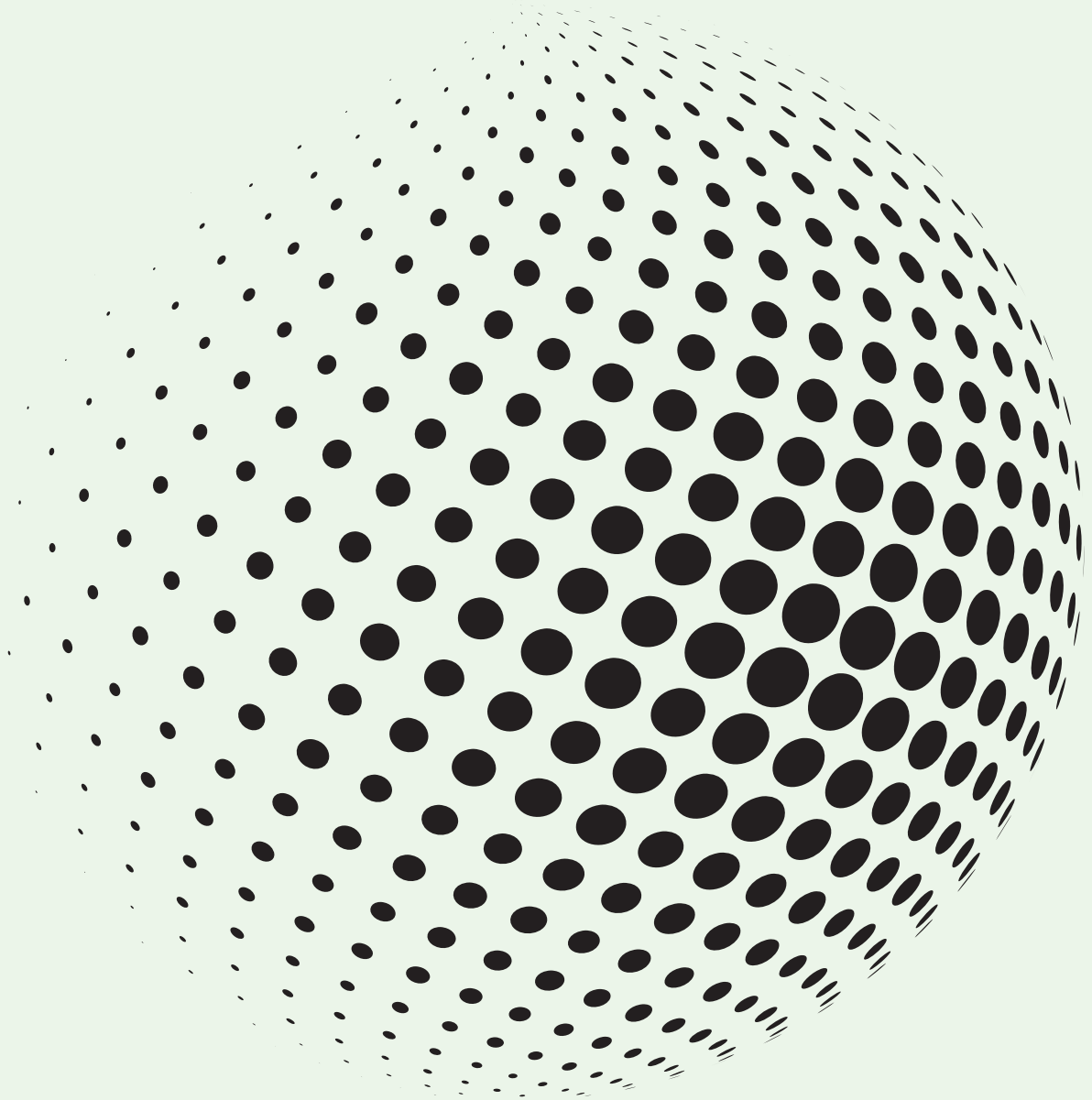




Swiss Power-to-X  
Collaborative  
Innovation Network

# Power-to-X – Schlüsseltechnologien für Versorgungssicherheit, Klimaschutz und Energiewende



Die Vielfalt der Power-to-X-Begriffe und ein Versuch,  
sie zu ordnen und zu definieren.

# Definitionen von Power-to-X

Power-to-X ist ein Konzept, bei dem Energie in molekulare, chemische Energieträger beziehungsweise «Produkte» (kurz «X») umgewandelt wird. In der Regel handelt es sich bei der Energie um elektrischen Strom (engl. power). Gelegentlich wird unter Power aber auch thermische Energie verstanden (z.B. Sun-to-Liquid). Zur Erzeugung der Produkte werden Wasser, Kohlenstoff oder Stickstoff benötigt, bei den Produkten kann es sich um Wasserstoff, Methan, Methanol, Ammoniak, synthetische Kraftstoffe, synthetisches Öl oder Kunststoffe handeln.

Power-to-X macht  
aus schlecht  
speicherbarer,  
leicht speicher-  
bare Energie

Dieser Prozess ermöglicht es – elektrische oder solare – Energie dauerhaft in chemischer Form und meist in vorteilhaften kleinen Volumina zu speichern sowie Energie über längere Distanzen einfach zu transportieren.

Es gibt aber noch weitere Anwendungen. In Finnland gibt es ein Startup, das mit Power-to-X Proteine als Fleischersatz produziert und gelegentlich bezeichnet man auch die Umwandlung von Strom in Wärme als Power-to-X-Prozess.

Kurz zusammengefasst kann man Power-to-X als die Umwandlung von schwer speicherbarer Energie in molekulare Energieträger oder in Wärme definieren, um eine einfachere Langzeit-Speicherbarkeit, Transporte über längere Strecken oder Speicherbarkeit in möglichst kleinen Volumina zu ermöglichen. All dies lässt sich mit Strom nur schwierig oder gar nicht erreichen.

Um die Verständlichkeit zu erleichtern, spricht man hin und wieder auch von der Umkehrung des Verbrennungsprozesses, wie in der folgenden Grafik dargestellt. Diese Formulierung kann eine Annäherung an den Begriff für Laien erleichtern, ist jedoch unvollständig.

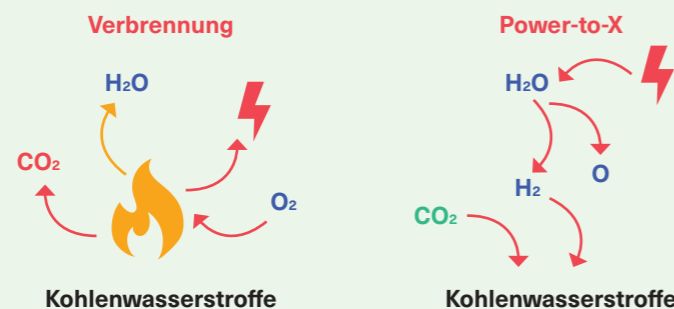


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung von Verbrennungs- und Power-to-X-Prozess

# Aspekte der CO<sub>2</sub>-Neutralität

CO<sub>2</sub>-neutral ist Power-to-X dann, wenn das Ergebnis einer Lebenszyklusanalyse der Prozesse ergibt, dass

1. sämtliche eingesetzte Energie aus erneuerbaren Quellen stammt und dies
2. nicht dazu führt, dass dafür an anderer Stelle fossile Energie eingesetzt wird sowie
3. wenn die Rohstoffe für die Herstellung der molekularen Energieträger keinen fossilen Kohlenstoff enthalten oder
4. wenn beim Einsatz von CO<sub>2</sub> als Rohstoff
  - 4.1 das CO<sub>2</sub> aus der Luft, aus biogenem Material oder aus unvermeidbaren Abgasen gewonnen wurde, unter
  - 4.2 der Voraussetzung, dass nicht spezifisch zum Zwecke dieser Gewinnung fossiler Kohlenstoff gefördert werden musste und dass der Prozess netto nicht zu einer Erhöhung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration beiträgt.

## Allgemeiner Sprachgebrauch für Power-to-X

Im Allgemeinen versteht man ausschliesslich CO<sub>2</sub>-neutrales Power-to-X als Power-to-X.

## Bedeutungen und Verwendung des Power-Begriffs

Der englische Begriff «Power» kann auf Deutsch mit verschiedenen Wörtern übersetzt werden, je nach Kontext: Macht, Kraft, Energie, Leistung, Befugnis, Stärke und Vermögen.

Im Zusammenhang mit Power-to-X-Technologien bezieht sich «Power» im allgemeinen Sprachgebrauch meist auf elektrische Energie oder Leistung. Denn bei Power-to-X geht es in der Regel darum, elektrische Energie/Leistung in andere Energieträger wie Wasserstoff und/oder synthetische Brenn- oder Kraftstoffe umzuwandeln.

Aufgrund der breiteren Definition des Begriffs Power als (allgemein) Energie oder Leistung können mögliche Übersetzungen von «Power-to-X» ins Deutsche auch bedeuten, Energie-zu-X, Leistung-zu-X oder Strom-zu-X.

Der Begriff «Power» wird also im Kontext von Power-to-X am besten mit «Energie» oder «Leistung» übersetzt. Aufgrund der Tatsache, dass man nicht nur mit elektrischer Energie, sondern zum Beispiel auch thermischer Energie (wie bei der Technologie von Synhelion) Wasser oder Wasser und Kohlenstoff oder Wasser und Stickstoff in molekulare Energieträger umwandeln kann, verwendet SPIN den Begriff «Power» in seinem ursprünglichen Sinne als Energie oder Leistung und nicht im enger gefassten Sinn nur als Elektrizität.

# Nutzen von Power-to-X

Power-to-X aus erneuerbaren Energiequellen dient dazu,

1. molekulare (chemische) Energieträger herzustellen,
  - 1.1 die in Bereichen verwendet werden können, in denen es schwierig bis unmöglich ist, fossile Brennstoffe durch Elektrizität zu ersetzen,
  - 1.2 die nicht auf biogene Kohlenstoffquellen angewiesen sind und damit
  - 1.3 deren beschränkte Verfügbarkeit umgehen sowie
  - 1.4 keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion darstellen,
2. bei ausreichender Produktionsinfrastruktur eine effizientere Nutzung und Speicherung von erneuerbaren Energien und den Ausbau des Flexibilitätspotenzials des Energiesystems zu ermöglichen,
3. einen komplementären Beitrag zur Defossilisierung des Energiesystems und zur Erreichung der Klimaziele zu leisten beziehungsweise neue Handlungsoptionen hierfür zu schaffen.

Power-to-X-Technologien sind deshalb eine vielversprechende Möglichkeit, um den Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung zu unterstützen und gleichzeitig die CO<sub>2</sub>-Emissionen effektiv zu reduzieren. Kommt dabei rezyklierter Kohlenstoff bzw. CO<sub>2</sub> zum Einsatz muss man korrekterweise von Defossilisierung statt von Dekarbonisierung sprechen.

## Der gordische Knoten der Power-to-X-Begriffe

Für die Produkte von Power-to-X gibt es aktuell noch eine Vielzahl meist identischer Begriffe, welche Laien schnell verwirren können (siehe nächste Seite).

Eine Bereinigung dieser Begriffe ist eine wichtige Voraussetzung zur Steigerung des Verständnisses und damit auch der Akzeptanz von Power-to-X durch Medien, Gesellschaft und Politik. Sie ist zudem unabdingbar für eine Versachlichung der Diskussion, damit alle auch vom Gleichen sprechen, wenn sie die gleichen Begriffe verwenden.

# Verwirrende Begriffe und Definitionen

## Beispiel Erdgas und Biogas

Erdgas und Biogas bestehen zum grössten Teil aus Methan. Wird Methan in Power-to-X-Anlagen aus Elektrizität und CO<sub>2</sub> hergestellt, so wird es als synthetisches Methan bezeichnet. Weitere Synonyme hierfür: synthetisches Erdgas oder Gas, erneuerbares Gas, e-NG usw. Allerdings bezeichnet man hin und wieder auch synthetisches Methan als Biogas. Wurde das für Power-to-X verwendete CO<sub>2</sub> aus unvermeidbaren industriellen Abgasen rezykliert, ist sich die Politik uneinig, ob das so produzierte synthetische Methan als erneuerbar bezeichnet werden darf. Stammt das CO<sub>2</sub> für Power-to-X aus biogenen Quellen, wird das synthetische Methan in der Regel nicht als Biogas bezeichnet, aber Ausnahmen bestätigen die Regel. Es herrscht ein grosses Durcheinander der Begriffe.

## Beispiel Brenn- und Treibstoffe

Bekannte Synonyme für mit Power-to-X hergestellte Brenn- und Treibstoffe sind: synthetischer Treibstoff, synfuel, eFuel, E-Fuel, Powerfuel, erneuerbarer Treibstoff, Biotreibstoff, Solar Fuel (Solartreibstoff), RFNBOs (Renewable Fuels of Non-Biological Origin), eMethanol, Electrofuels, Atmospheric Fuel (oder kurz aFuel) und andere. Der einfachste Brenn- und Treibstoff aus Power-to-X Anlagen ist Wasserstoff, der in einem Elektrolyseur durch Aufspalten von Wasser mittels Elektrizität hergestellt wird. Je nach Herkunft der Elektrizität werden dem Wasserstoff gewisse Farben zugeordnet (z.B. grün für erneuerbare Elektrizität). Wasserstoff wird nicht als synthetisch bezeichnet, weil er nicht aus Komponenten «zusammengebaut» wird. Hin und wieder wird auch mit Power-to-X hergestellter Wasserstoff als synthetisch bezeichnet.

## Beispiel Ammoniak

Auch Ammoniak kann ein Power-to-X-Produkt sein, wobei es dafür kein CO<sub>2</sub> benötigt, sondern Stickstoff (N<sub>2</sub>).

## Beispiel Methanol

Methanol kann ebenfalls ein Power-to-X Produkt sein, wofür CO<sub>2</sub> und Wasserstoff im konventionellen Verfahren verwendet wird oder neuere Verfahren ohne Wasserstoff-Elektrolyse zur Anwendung kommen

## Beispiel Hydriertes Pflanzenöl (Hydrotreated Vegetable Oil / HVO)

HVO wird als Biotreibstoff bezeichnet, weil der grösste Energieinput aus Biomasse stammt und nur ein kleinerer vom Wasserstoff. Wird jedoch mittels Elektrolyse produzierter Wasserstoff eingesetzt, spricht man hin und wieder auch von synthetischem Pflanzenöl, obwohl die Kohlenstoffquelle biogen ist. Weitere Begriffe: Green Molecules, Green Fuels, Susfuel, Bio Crude, Bio Oil, Syn Crude, Low Carbon Fuels, HEFA-SPK (Synthesized Paraffinic Kerosene From Hydroprocessed Esters And Fatty Acids), HEFA (Hydrierte Ester Und Fettsäuren / Hydroprocessed Esters And Fatty Acids).

# Synthetisch versus biogen

Es gibt zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Broschüre keine Einigkeit in der Fachwelt über eine klare Unterscheidung zwischen synthetischen und biogenen Energieträgern.

Eine Definition besagt, synthetische Treibstoffe seien solche, die durch chemische Umwandlung von nicht-fossilen und nicht biogenen Ausgangsstoffen hergestellt werden, wie z.B. mittels CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre.

Als biogene Treibstoffe werden dann solche bezeichnet, die aus Biomasse gewonnen werden, welche aus pflanzlichen oder tierischen Quellen stammt, wie z.B. Pflanzenölen, Algen, Tierfett oder biologischem Abfall.

Nach einer anderen Definition sind Treibstoffe auch dann als synthetisch zu bezeichnen, wenn die Kohlenstoffquelle biogen ist (z.B. Biogas), sofern bei der Umwandlung Prozesse zum Einsatz kommen, die es in der Natur in dieser Form nicht gibt oder wenn der grösste Teil der Prozessenergie durch künstlich erzeugten Wasserstoff eingebracht wird. Im Folgenden stellen wir eine Definition zur Unterscheidung beider Arten von Energieträgern vor, die primär dazu dient, das allgemeine Verständnis durch eine breite Öffentlichkeit zu erleichtern.

## Mögliche Unterscheidung zwischen synthetisch und biogen

Es gibt eine weit verbreitete Meinung, man könne zwischen synthetischen und biogenen Energieträgern aufgrund der Herkunft ihrer Rohstoffe unterscheiden. Es gibt zudem Prozesse, bei denen Kohlenstoff aus biologischen Quellen als Rohstoff für einen synthetischen Prozess verwendet wird. Dann ist die Unterscheidung nicht so einfach.

		Production process		CO <sub>2</sub> -Source			
		With H <sub>2</sub> addition	Without H <sub>2</sub> addition	Biomass	Waste	CCU	DAC
Renewable	Synthetic	X		X	X	X	X
	Biogenic		X	X	X		

Abb. 2: Im Alltag beobachtete Klassifizierungen von Power-to-X-Produkten.

CCU (Carbon Capture and Utilization) bezeichnet die Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus industriellen Prozessen (Abgasen), um es als Rohstoff weiterzuverwenden, z.B. in der Chemieindustrie.

DAC (Direct Air Capture) ist eine spezielle Form der CO<sub>2</sub>-Abscheidung, bei der CO<sub>2</sub> direkt aus der Atmosphäre entnommen wird, um es entweder zu speichern oder zu nutzen.

Zudem gibt es Prozesse, bei denen sowohl biologische als auch synthetische Energieträger zum Einsatz kommen. Das heisst, es wird ein Teil biologischer und ein Teil synthetischer Treibstoff produziert und entsprechend prozentual angerechnet. Auch das macht eine eindeutige Unterscheidung schwierig. Im folgenden versuchen wir trotzdem eine klare Trennung zwischen synthetischen und biogenen Energieträgern zu definieren.

**Synthetische Energieträger** sind solche,

1. die unter Einsatz von mittels Power-to-X produziertem Wasserstoff hergestellt werden, wobei der Wasserstoff den grössten Teil zum Energie-Input beiträgt und
2. sofern bei der chemischen Umwandlung der Ausgangsstoffe in die Energieträger als Endprodukte keine biologischen Prozesse zum Einsatz kamen.

**Biologische Energieträger** sind solche,

1. die aus biogenem Ausgangsmaterial mittels biologischer Prozesse hergestellt wurden,
2. deren Prozessenergie mehrheitlich aus biogenen Quellen stammt.

	Biofuel			Synthetic fuel	
	HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids)	Alcohol-to-Jet	Fischer-Tropsch biofuel	Fischer-Tropsch synthetic fuel	Methanol-based fuel
Process	Hydro treatment and distillation	Oligomerization	Fischer-Tropsch process	Fischer-Tropsch process	Oligomerization
Feedstock	Waste and residue lipids, oil energy plants, others	Agricultural and forest residues, municipal solid waste, energy crops, others	Agricultural and forest residues, municipal solid waste, energy crops, others	Biogenic or DAC CO <sub>2</sub> , green hydrogen	Biogenic or DAC CO <sub>2</sub> , green hydrogen
Advantages	Competitive price	High scalability	High scalability	Unlimited CO <sub>2</sub> from DAC	Unlimited CO <sub>2</sub> from DAC
	Maturity	First commercial pilots	First commercial pilots	Maturity, commercial use approved	Higher tolerance to load variation
Disadvantages	Limited feedstock availability	Challenging local availability	Challenging local availability	Biogenic CO <sub>2</sub> limited to specific locations, fossil CO <sub>2</sub> as bridging technology To be proven with green syngas at commercial scale	Biogenic CO <sub>2</sub> only available in specific locations, fossil CO <sub>2</sub> as bridging technology To be approved for commercial use

Abb. 3: Power-to-X-Produktionsprozesse (Darstellung von Synhelion)

### Verschiedene Arten der Wasserstoff-Produktion

Abschliessend zu den bisherigen Überlegungen sei noch anzumerken, dass es verschiedene Technologien zur Wasserstoff-Produktion gibt, die allesamt die Basis für eine Synthese molekularer Energieträger bieten können:

1. Katalytische Reformierung
  - 1.1 Dampfreformierung von fossilem Erdgas, Industriestandard
  - 1.2 Dampfreformierung von Biomethan
  - 1.3 Gemischte Reformierung von Biogas für anschliessende FT-Synthese
2. Vergasung/Pyrolyse
  - 2.1 Fossiler Kohlenstoff mit Luft und Dampf
  - 2.2 Biogener Kohlenstoff (Biomasse) mit Luft und Dampf
  - 2.3 Biogener Kohlenstoff (Biomasse) mit Dampf und Zusatz von (elektrolytischem)  $H_2$
3. Elektrolyse
4. Thermochemische Redoxzyklen für Wasserspaltung (und auch  $CO_2$ -Spaltung)

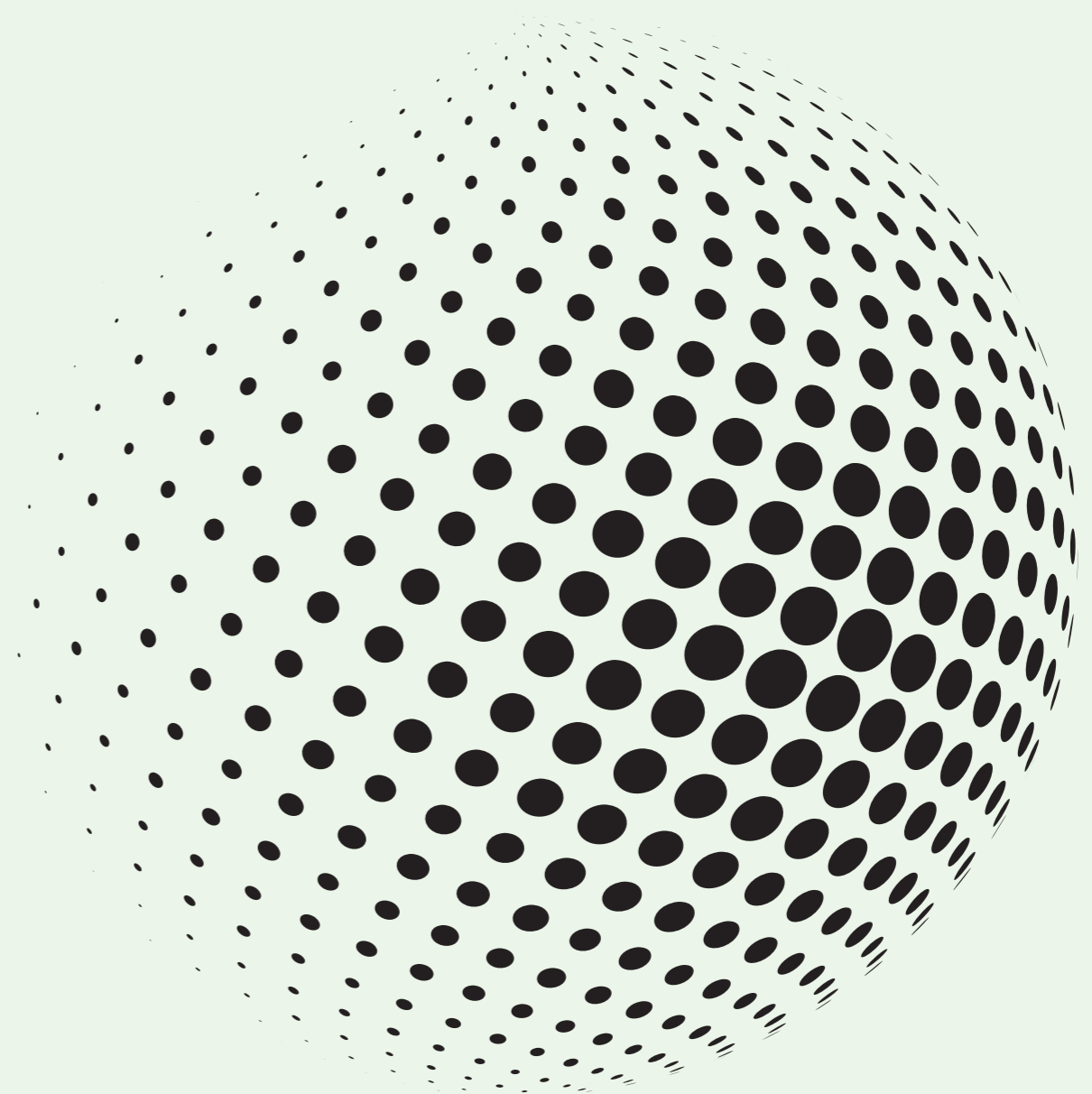
Die ersten beiden Produktionsmethoden können sowohl fossile, biogene oder direkt aus der Luft absorbierte Rohstoffe verwenden. Je nach verwendetem Rohstoff, erhöhen sie den  $CO_2$ -Gehalt der Atmosphäre nicht.

Bei der Elektrolyse wird Wasser unter Einsatz von elektrischer Energie in Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) gespalten.

Bei den thermochemischen Redoxzyklen wird Wasser,  $CO_2$ , oder ein Gemisch von beidem unter Einsatz von erneuerbarer Energie (z.B. gebündelter Sonneneinstrahlung) in Sauerstoff ( $O_2$ ) und Wasserstoff ( $H_2$ ) oder Sauerstoff ( $O_2$ ) und Kohlenmonoxid (CO) gespalten (oder einem Gemisch von beidem).

## Liste der Begriffe für Power-to-X-Produkte

Im Folgenden versuchen wir die verschiedenen uns bisher bekannten Begriffe sinnvoll zu definieren – in dem Sinne, dass die Definitionen der Begriffe einem besseren Verständnis durch die breite Öffentlichkeit dienen.



## Begriff Bedeutung

<b>Bio Crude, Bio Oil</b>	Bio-Crude, auch bekannt als Bio-Öl, ist ein flüssiges und komplexes Gemisch aus organischen Verbindungen, ähnlich dem fossilen Rohöl, enthält jedoch mehr Feuchtigkeit als dieses. Bio-Crude wird aus Biomasse gewonnen.
<b>Biogas</b>	Biogas ist ein brennbares Gas, das durch die Vergärung von Biomasse jeder Art unter Ausschluss von Sauerstoff entsteht. Es ist ein Gemisch, das hauptsächlich aus den Bestandteilen Methan (50-70%) und Kohlendioxid (25-45%) besteht. Die genaue Zusammensetzung variiert je nach Art der verwendeten Biomasse und Vergärungsart. Biogas gilt als umweltfreundliche Energiequelle, da es aus organischen Abfällen und nachwachsenden Rohstoffen gewonnen wird und bei der Verbrennung nur so viel CO <sub>2</sub> freisetzt, wie die Biomasse zuvor während ihres Wachstums gespeichert hat.
<b>Biomasse / biogen</b>	Biomasse bezeichnet die gesamte organische Substanz, die durch Pflanzen, Tiere oder Mikroorganismen erzeugt wird oder die aus deren Abfällen und Reststoffen besteht. Für die Produktion von Biotreibstoffen wird eine breite Palette an Biomasse eingesetzt. Neben klassischen Ackerpflanzen wie Getreide zur Herstellung von Bioethanol und Ölpflanzen wie Raps für Biodiesel, Gräser und Algen, gewinnen zunehmend Abfall- und Reststoffe an Bedeutung. Dazu zählen Altspeiseöl, Bioabfälle aus Haushalten und Industrie sowie Abwässer aus der Lebensmittelproduktion.
<b>Biosynthetisches Benzin, eBenzin, e-Benzin, synthetisches Benzin</b>	Ein Benzin-ähnliches Produkt, das durch das Methanol-to-Gasoline-Verfahren aus erneuerbarem Methanol gewonnen wird.
<b>Biotreibstoff</b>	Treibstoff, der aus biogenem Ausgangsmaterial mittels biologischer Prozesse hergestellt wird und bei dessen Produktion kein mittels Power-to-X hergestellter Wasserstoff eingesetzt wurde (s. «Mögliche Unterscheidung zwischen synthetisch und biogen» weiter oben).
<b>Defossilisierung</b>	Einführung von Energieträgern, die den Einsatz fossilen Kohlenstoffs reduzieren oder ganz vermeiden.
<b>Dekarbonisierung</b>	Einführung von Energieträgern, die den Einsatz jeglichen Kohlenstoffs reduzieren oder ganz vermeiden. Fossile Energieträger werden insbesondere durch Wasserstoff ersetzt oder durch erneuerbaren Strom (H <sub>2</sub> ).

## Begriff Bedeutung

<b>Dimethylether (DME)</b>	DME ist ein weit verbreitetes Methanolderivat, welches sich als Dieseleratzkraftstoff eignet und aufgrund der hohen Cetanzahl und des Sauerstoffgehalts zu einer ausgesprochen sauberen Verbrennung führt (kein Russ). Die erforderlichen Änderungen am Dieselmotor beschränken sich auf Anpassungen des Einspritzsystems und des Treibstofftanks. Die Speicherung des Kraftstoffs ist im Vergleich zu Wasserstoff oder Methan relativ einfach, da bereits niedrige Drücke ausreichen, um den Kraftstoff in flüssiger Form und damit mit hoher Energiedichte zu transportieren. Deshalb eignet sich DME als CO <sub>2</sub> neutraler Kraftstoff (Defossilisierung) in Anwendungen mit hohen Lastanforderungen wie beispielsweise ein Mähdrescher.
<b>Electrofuel, Elektrokraftstoff</b>	Synthetischer Treibstoff, bei dem die für die Wasserstoff-Produktion benötigte Energie elektrisch ist.
<b>eMethanol, e-Methanol, synthetisches Methanol</b>	Mittels Power-to-X produziertes Methanol.
<b>Erdgas</b>	Erdgas ist ein natürlich vorkommendes, brennbares Gasgemisch, das hauptsächlich aus fossilem Methan besteht. Es entsteht durch die Zersetzung abgestorbener Kleinstlebewesen wie Plankton und Algen über Millionen von Jahren unter hohem Druck und ohne Sauerstoff. Neben Methan enthält es weitere Anteile anderer fossiler Kohlenwasserstoffe sowie Stickstoff und Kohlendioxid. Erdgas kommt in unterirdischen Lagerstätten vor und muss vor der Nutzung aufbereitet werden.
<b>Erneuerbare Energie</b>	Energie aus Erdwärme, Wasser-, Sonnen- oder Windenergie.
<b>Erneuerbare Treibstoffe, Green Fuels, Susfuel</b>	Synthetische oder biogene Treibstoffe, die mittels erneuerbarer Energie und rezykliertem Kohlenstoff hergestellt werden, wobei die Kohlenstoffquelle faktisch beliebig ist, solange ihre Nutzung nicht zu einer Steigerung der Nachfrage nach fossilem Kohlenstoff führt.

**Begriff    Bedeutung**

<b>Fischer-Tropsch-Synthese</b>	Chemisches Verfahren, bei dem aus einem Gemisch aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff (Synthesegas) über Katalysatoren wie Eisen oder Cobalt langkettige Kohlenwasserstoffe gebildet werden. Es handelt sich um eine Polymerisationsreaktion, bei der die Kohlenstoffmonoxid-Moleküle an der Katalysatoroberfläche adsorbiert und schrittweise durch Wasserstoff zu gesättigten und ungesättigten Kohlenwasserstoffen unterschiedlicher Kettenlänge hydriert werden. Je nach Reaktionsbedingungen und Katalysator entstehen so Gemische aus gasförmigen, flüssigen und festen Kohlenwasserstoffen wie Alkanen, Alkenen, Alkoholen und Wachsen. Die Fischer-Tropsch-Synthese wurde im Jahr 1925 von den deutschen Chemikern Franz Fischer und Hans Tropsch erfunden und patentiert.
<b>Fischer-Tropsch-Kraftstoffe</b>	Mittels Fischer-Tropsch-Synthese hergestellte Treibstoffe.
<b>Green Molecules</b>	Sämtliche mittels erneuerbarer Energie und ohne die Verwendung fossiler Rohstoffe hergestellten molekularen Energieträger.
<b>HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) / HEFA-SPK (Synthesized Paraffinic Kerosene From Hydroprocessed Esters And Fatty Acids), HEFA (Hydrierte Ester Und Fettsäuren / Hydroprocessed Esters And Fatty Acids)</b>	Hydrotreated Vegetable Oil (HVO), auch bekannt als «Hydriertes Pflanzenöl», ist ein erneuerbarer, flüssiger Kraftstoff, meist Diesel, der aus nachhaltigen Abfallprodukten wie pflanzlichen Ölen, tierischen Fetten und gebrauchten Speiseölen hergestellt wird. HVO wird als Biotreibstoff bezeichnet, weil der grösste Energieinhalt aus Biomasse stammt und nur ein kleinerer vom Wasserstoff. Weil jedoch mittels Elektrolyse produzierter Wasserstoff eingesetzt wird, spricht man hin und wieder auch von synthetischem Pflanzenöl. Bezüglich der Abgrenzung von synthetischen zu biogenen Treibstoffen stellt HVO einen Grenzfall dar.
<b>Low Carbon Fuels</b>	Treibstoffe, die im Vergleich zu konventionellen fossilen Kraftstoffen eine deutlich geringere zusätzliche CO <sub>2</sub> -Emission aufweisen. Sie werden aus nachhaltigen Quellen wie Biomasse, Abfällen oder erneuerbaren Energien hergestellt und emittieren bei ihrer Produktion und Nutzung entweder gar kein oder nur sehr wenig zusätzliches CO <sub>2</sub> . Zu den Low Carbon Fuels zählen unter anderem Biokraftstoffe, synthetische Kraftstoffe sowie gasförmige Energieträger wie Biogas oder Wasserstoff.
<b>Methan</b>	Methan oder CH <sub>4</sub> , ist das einfachste Alkan beziehungsweise der einfachste Kohlenwasserstoff und der Hauptbestandteil von Erdgas. Es ist ein farb- und geruchloses Gas unter Normalbedingungen. Die Molekülstruktur besteht aus einem Kohlenstoffatom, an das vier Wasserstoffatome in einer tetraedrischen Anordnung gebunden sind. In der Atmosphäre hat Methan eine mittlere Lebensdauer von etwa 9 Jahren, bevor es durch natürliche Prozesse abgebaut wird.

**Begriff    Bedeutung**

<b>Methanol-Route</b>	Unter der Methanol-Route versteht man ein Verfahren zur Herstellung synthetischer Treibstoffe wie Kerosin, Benzin oder Diesel via Methanol. Soll dies klimaneutral passieren, wird zunächst Methanol aus Wasserstoff und rezykliertem CO <sub>2</sub> synthetisiert. Dieses sogenannte grüne Methanol dient anschliessend als Ausgangsstoff für weitere chemische Prozesse. In mehreren Reaktionsschritten wird das Methanol zu längerkettigen Kohlenwasserstoffen umgewandelt, die dann den konventionellen Treibstoffen sehr ähnlich sind. Stammen die benötigten Rohstoffe Wasserstoff und CO <sub>2</sub> aus nachhaltigen Quellen, wird bei der späteren Verbrennung der Treibstoffe nur so viel CO <sub>2</sub> freigesetzt, wie zuvor gebunden wurde.
<b>Power-to-Gas (PtG)</b>	Produktion von gasförmigen Energieträgern, z.B. Wasserstoff oder synthetisches Methan, durch Power-to-X-Verfahren.
<b>Power-to-Liquid (PtL)</b>	Produktion von flüssigen Brenn- oder Treibstoffen, z.B. synthetisches Kerosin oder Diesel, durch Power-to-X-Verfahren wie die Fischer-Tropsch-Synthese oder die Methanol-Synthese.
<b>RFNBOs (Renewable Fuels of Non-Biological Origin), Atmospheric Fuel (aFuel)</b>	RFNBO ist ein durch die EU (in der RED II) definierter Begriff: Erneuerbare flüssige und gasförmige Kraftstoffe nicht-biologischen Ursprungs. Es handelt sich um flüssige oder gasförmige Kraftstoffe, die im Verkehrssektor verwendet werden, bei denen es sich nicht um Biokraftstoffe oder Biogas handelt und deren Energiegehalt aus anderen erneuerbaren Quellen als Biomasse stammt. Gemeint sind also synthetische Treibstoffe, die mittels erneuerbaren Energien und rezykliertem Kohlenstoff hergestellt werden.
<b>Sabatier-Reaktion</b>	Die Sabatier-Reaktion, auch als CO <sub>2</sub> -Methanisierung bezeichnet, ist eine chemische Reaktion, bei der Kohlenstoffdioxid mit Wasserstoff zu Methan und Wasser umgesetzt wird. Dabei handelt es sich um eine exotherme Gleichgewichtsreaktion, die einen Katalysator wie z.B. Nickel erfordert. Die Sabatier-Reaktion wurde nach dem französischen Chemiker Paul Sabatier benannt, der sie zu Beginn des 20. Jahrhunderts entdeckte und 1912 den Nobelpreis dafür erhielt. Bei dieser Reaktion werden die Ausgangsstoffe Kohlenstoffmonoxid beziehungsweise Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff unter Einwirkung eines Katalysators und bei erhöhter Temperatur zu den Produkten Methan und Wasser umgewandelt.
<b>Solar Fuel</b>	Synthetischer Treibstoff, der mit dem von Synhelion entwickelten Sun-to-Liquid-Prozess hergestellt wird. In einem thermochemischen Verfahren wird Wasser und eine Kohlenstoffquelle zu Synthesegas verarbeitet und anschliessend verflüssigt. Die Prozesswärme, welche die chemische Reaktion antreibt, stammt aus Solarenergie (Solarthermie oder PV-Strom).

**Begriff    Bedeutung**

<b>Sustainable Aviation Fuels (SAF)</b>	Für den Einsatz als Flugzeugtreibstoff zertifizierte Treibstoffe, die unter Einsatz von erneuerbarer Energie und biogenem oder rezykliertem Kohlenstoff hergestellt werden. Sie können die CO <sub>2</sub> -Emissionen des Flugverkehrs signifikant reduzieren. Als synthetisches oder eSAF werden sie bezeichnet, wenn die mittels Power-to-X produziert wurden, als Bio- oder biogener SAF, wenn es sich um biogene Treibstoffe handelt.
<b>Syn Crude, Syncrude</b>	Syncrude ist ein synthetisches Rohöl, ein komplexes Gemisch aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen unterschiedlicher Kettenlängen und Zusammensetzung, das bei der Herstellung synthetischer Kraftstoffe z.B. aus der Fischer-Tropsch-Synthese entsteht. Syncrude muss wie fossiles Rohöl in einer Raffinerie fraktioniert, also weiterverarbeitet und aufbereitet werden, bevor daraus nutzbare Endprodukte wie Benzin, Diesel oder Kerosin hergestellt werden können.
<b>Synthetischer Treibstoff, Synfuel, eFuel, E-Fuel, EE_Fuel, Powerfuel</b>	Synthetischer Treibstoff ist ein künstlich hergestellter flüssiger Kraftstoff, der chemisch nahezu identisch mit fossilen Treibstoffen wie Benzin, Diesel oder Kerosin ist. Er wird in einem mehrstufigen Prozess aus Wasserstoff und Kohlendioxid synthetisiert, wobei der Wasserstoff zuvor durch Elektrolyse aus Wasser und unter Einsatz von Energie gewonnen wird. Obwohl im allgemeinen Sprachgebrauch die Begriffe synthetischer Treibstoff, Synfuel, eFuel, E-Fuel und Powerfuel mittlerweile synonym für RFNBOs (s. Definition) verwendet werden, ist streng genommen weder der Einsatz von erneuerbaren Energien noch von rezykliertem Kohlenstoff Bestandteil der Definition. Mittels Fischer-Tropsch-Synthese werden solche Treibstoffe bereits seit 1925 hergestellt und zwar bis vor kurzem in der Regel mit fossilem oder Atomstrom und mit fossilem Kohlenstoff. Auch Solar Fuel ist ein synthetischer Treibstoff.
<b>Synthetisches Erdgas, Synthesegas, eRNG, SNG (Synthetic Natural Gas) und (fälschlicherweise) Bio-SNG</b>	Synthetisches Erdgas, manchmal auch fälschlicherweise als Synthesegas bezeichnet (und nicht zu verwechseln mit Syngas) oder SNG (Synthetic Natural Gas), ist ein künstlich erzeugter gasförmiger Brennstoff, der die gleichen Brenneigenschaften wie fossiles Erdgas aufweist und hauptsächlich aus Methan besteht. Es wird durch die Reaktion von Wasserstoff mit Kohlendioxid in einem chemischen Prozess wie der Sabatier-Reaktion hergestellt, wobei ein Katalysator benötigt wird. Synthetisches Erdgas kann über die bestehende Gasinfrastruktur transportiert und gespeichert werden. Im Gegensatz zu fossilem Erdgas ist es klimaneutral, wenn bei seiner Herstellung und Verbrennung nur so viel CO <sub>2</sub> freigesetzt wird, wie zuvor für die Produktion gebunden wurde.

Partner



Autor: Peter Metzinger

Wir danken  
Massimiliano Capezzali, Benjamin Fröhlich, Andre Heel, Florian Kiefer, Carmen Murer  
und Gerhard T. Meier für wertvolles Feedback und zusätzlichen Input.

Geprüft durch den wissenschaftlichen Beirat von SPIN.

Swiss Power-to-X Collaborative Innovation Network  
Pfingstweidstrasse 102 | 8005 Zürich  
Weitere Informationen unter [spin-together.ch](http://spin-together.ch) oder +41 79 628 61 26



Swiss Power-to-X  
Collaborative  
Innovation Network

# Power-to-X – Schlüsseltechnologien für Versorgungssicherheit, Klimaschutz und Energiewende

