

**HORST SCHULTZ**

# **DAS GROSSE**

# **WASSERSTOFF**

# **BUCH**

**EIN WECKRUF**

**DER IDEALE ENERGIETRÄGER  
WIRD ZUM KLIMARETTER**



**H2 MOBILITÄT**



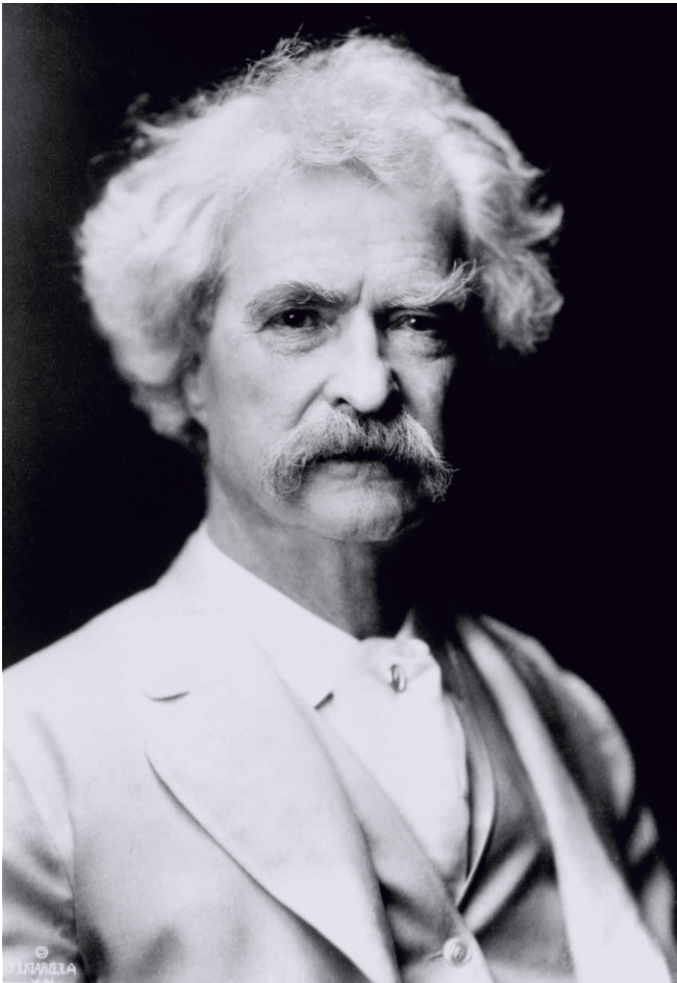
**H2 WÄRMEMARKT**



**H2 INDUSTRIE**



## Mark Twain - Realist und Visionär mit scharfer Zunge...



Samuel Langhorne Clemens, besser bekannt als Mark Twain, wurde 1835 in Florida (USA) geboren. Er machte sich besonders mit Büchern über die Abenteuer von Tom Sawyer und Huckleberry Finn einen großen Namen als Buchautor. Obwohl er als Vertreter des Literatur-Genres „Amerikanischer Realismus“ galt, machten ihn nicht nur seine durch humoristisches Lokalkolorit und detaillierte Beobachtungen geprägte Erzählungen berühmt. Seine oftmals scharfzüngige Kritik an der amerikanischen Gesellschaft und dem alltäglichen Rassismus wird in den Protagonisten seiner Werke wiedergegeben, indem sie die von Heuchelei und Verlogenheit geprägten Verhältnisse der damaligen Zeit aufzeigen.

Doch machte sich Mark Twain nicht nur in der Belletristik weitreichende Gedanken. Sein unten stehendes Zitat zum Thema Wasserstoff verleiht auch ihm einen gebührenden Platz im Olymp der Visionäre des letzten Jahrtausends!



„Wasserstoff wird die Kohle im nächsten Jahrhundert sein“

*S. Clemens, 1870*  
*(Mark Twain)*

## DIE ERDE BRAUCHT NICHT DEN MENSCHEN - ABER DER MENSCH BRAUCHT DIE ERDE!



Das derzeit auf der Erde existierende Ökosystem basiert auf einer seit vielen hundert Millionen Jahre laufenden Evolution, deren Organismen durch leichte Veränderungen immer aufs Neue gezwungen sind, ihre Überlebensstrategien anzupassen. Das kann in einigen Fällen zu einer Dominanz bestimmter Arten oder Gattungen führen. Leider ist aber schon oft auch das Gegenteil eingetroffen. Zumeist durch plötzliche Ereignisse hervorgerufene Veränderungen des natürlichen Gleichgewichtes, wie etwa große Vulkanausbrüche oder Meteoriteneinschläge, die in kürzester Zeit das komplette Welt-Klima veränderten, führten zum Massensterben vieler Organismen auf unserem Planeten. Bekanntestes Beispiel dafür ist wohl das vollständige Verschwinden der Dinosaurier am Ende der Kreidezeit - also vor etwa 65 Millionen Jahren.

Heute zählen die Säugetiere zu den größten Lebewesen auf der Erde, zu denen ja streng genommen auch wir Menschen gehören. Allerdings fallen wir, wie wohl nie zuvor ein Lebewesen auf unserem Planeten, in allen ökologisch und ökonomisch gesehenen Gesichtspunkten völlig aus der Reihe. Uns geht es im Gegensatz zu allen anderen Lebewesen nicht nur um das Überleben und die Erhaltung der eigenen Art. Das menschliche Gehirn hat ein Bestreben entwickelt, aus der Erde eine immer komplexere aber auch komfortablere Welt zu formen. Dies führte gerade in den letzten 100 Jahren zu einer Bevölkerungsexplosion, deren Bedürfnisse nun aber nicht mehr zu stillen sind, ohne das komplette Ökosystem unseres Planeten aus den Fugen zu bringen. Denn genau wie alle anderen Lebensformen der Erde brauchen auch wir nach wie vor Nahrung und Luft zum Atmen, um unsere Art nachhaltig auf der Erde zu erhalten!



## WENN VEREINBARUNGEN ZU LUFTSCHLÖSSERN WERDEN

Natürlich ist der Politik auf der ganzen Welt bewusst, dass der Raubbau an unserem Planeten in diesem Ausmaß nicht weitergehen kann. Entsprechende Abkommen zum Klimaschutz versprechen eine baldige Verbesserung der angespannten Situation. Leider werden die vielversprechenden Vereinbarungen in den meisten Fällen jedoch nicht eingehalten oder geschickt umgangen. Ein Hoffnungsträger ist das Übereinkommen von Paris...



### ÜBEREINKOMMEN VON PARIS

Das Übereinkommen von Paris (französisch Accord de Paris, englisch Paris Agreement) ist als Nachfolger des Kyoto-Protokolls eine Vereinbarung zwischen 197 Vertragsparteien der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC). Ziel ist der Klimaschutz. Es wurde am 12. Dezember 2015 auf der UN-Klimakonferenz in Paris verabschiedet. Die vom Menschen hervorgerufene globale Erwärmung soll auf deutlich unter 2 °C gedrosselt werden. Wissenschaftliche Studien aus dem Jahr 2018 zeigen jedoch, dass bereits das 2-Grad-Ziel womöglich nicht ausreicht, um das Kippen des Weltklimas sicher zu verhindern. Ein Sonderbericht des IPCC aus dem Jahr 2018 warnt vor der Zunahme von Hitzeextremen, Starkniederschlägen und Dürren sowie einer zusätzlichen Erhöhung des Meeresspiegels. Am 7. November 2017 erkennen beinahe alle Staaten der Erde das Übereinkommen von Paris an. Ausgerechnet US-Präsident Trump kündigte jedoch am 1. Juni 2017 den Austritt der USA aus dem Übereinkommen an. Ein Austritt vor dem 5. November 2020 ist jedoch nicht möglich. Zum Übereinkommen von Paris hatten 163 Staaten Klimaschutzpläne ausgearbeitet.





### DER ERHALT ELEMENTARER BEDÜRFNISSE

Um den Lebensstandard und die Grundbedürfnisse der rasant wachsenden Weltbevölkerung erhalten zu können, ist man oftmals gezwungen, auf Kosten der Natur durch Raubbau, Landwirtschaft mit Monokulturen und unkontrollierte Überfischung der Weltmeere diesen Bedürfnissen gerecht zu werden. Langfristig sind die elementaren Bedürfnisse wie...



**SAUBERE LUFT**



**TRINKWASSER**



**NAHRUNG**



**ENERGIE**

...daher in großer Gefahr. Zwar sind auf der Erde schon immer bestimmte Tier- u. Pflanzenarten auch vor dem Einfluss des Menschen ausgestorben. Neu ist gegenwärtig jedoch die hohe Geschwindigkeit, mit der das passiert. Heute verschwinden pro Tag über 150 der noch 8 Millionen Arten. Der Wildtierbestand ist in den letzten 50 Jahren sogar um 60% zurückgegangen. Geht das so weiter, kollabiert unser Planet irgendwann, da ein evolutionär wichtiges Gut verloren geht:

## **BIODIVERSITÄT**

### WIE KANN DEM ARTENSTERBEN EINHALT GEBOTEN WERDEN?



Monokulturen bedrohen die biologische Vielfalt und bringen zumeist den Einsatz von Pestiziden mit sich.



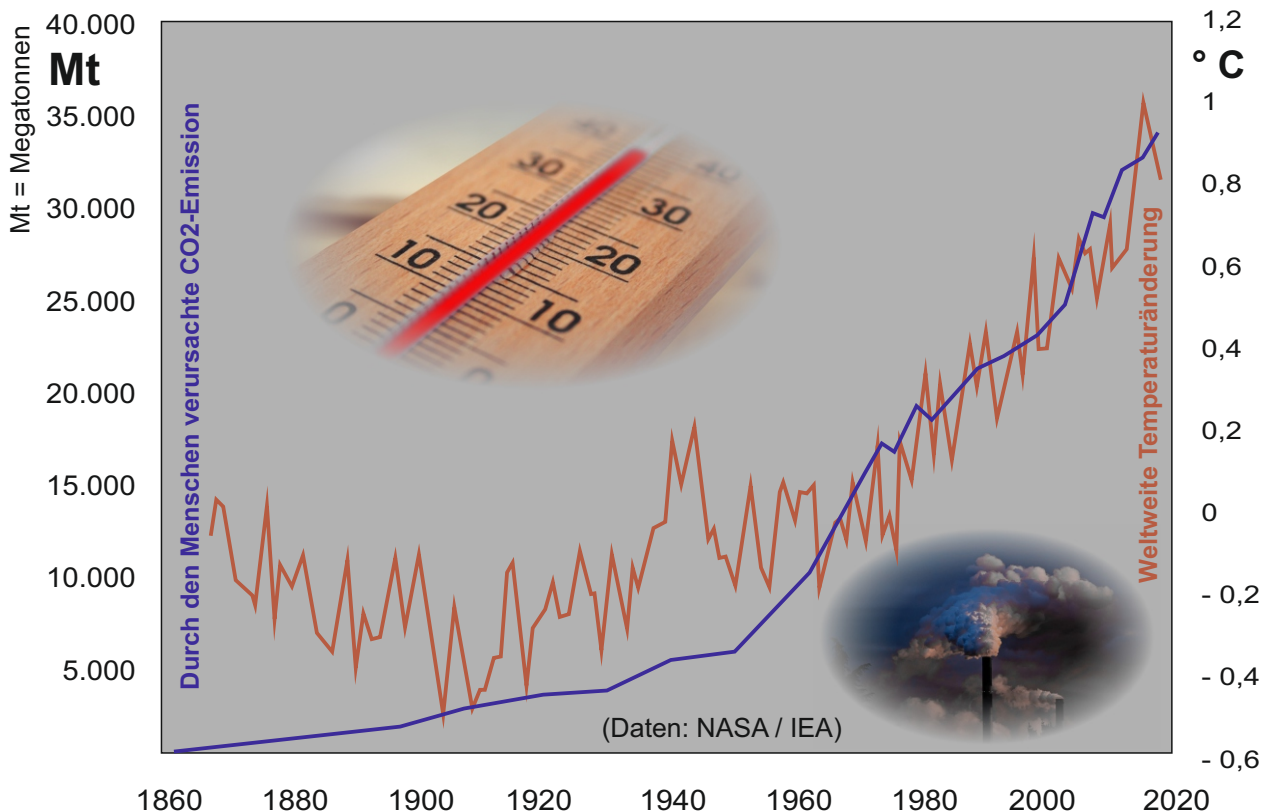
Das unkontrollierte Roden der Regen- und Urwälder bedroht unser Weltklima und führt zur Verknappung der Artenvielfalt.



Durch Überfischung der Weltmeere werden die Bestände vieler Meeresbewohner derart geschwächt, dass ihre Reproduktionszahlen nicht zum Artenerhalt ausreichen.

### URSACHEN DES KLIMAWANDELS: KOHLENDIOXID (CO<sub>2</sub>) IST DER HAUPTVERURSACHER

Die Messwerte der nachfolgenden Grafik verdeutlichen anschaulich, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der immer mehr steigenden CO<sub>2</sub>-Emission und des globalen Temperaturanstieges nicht von der Hand zu weisen ist.

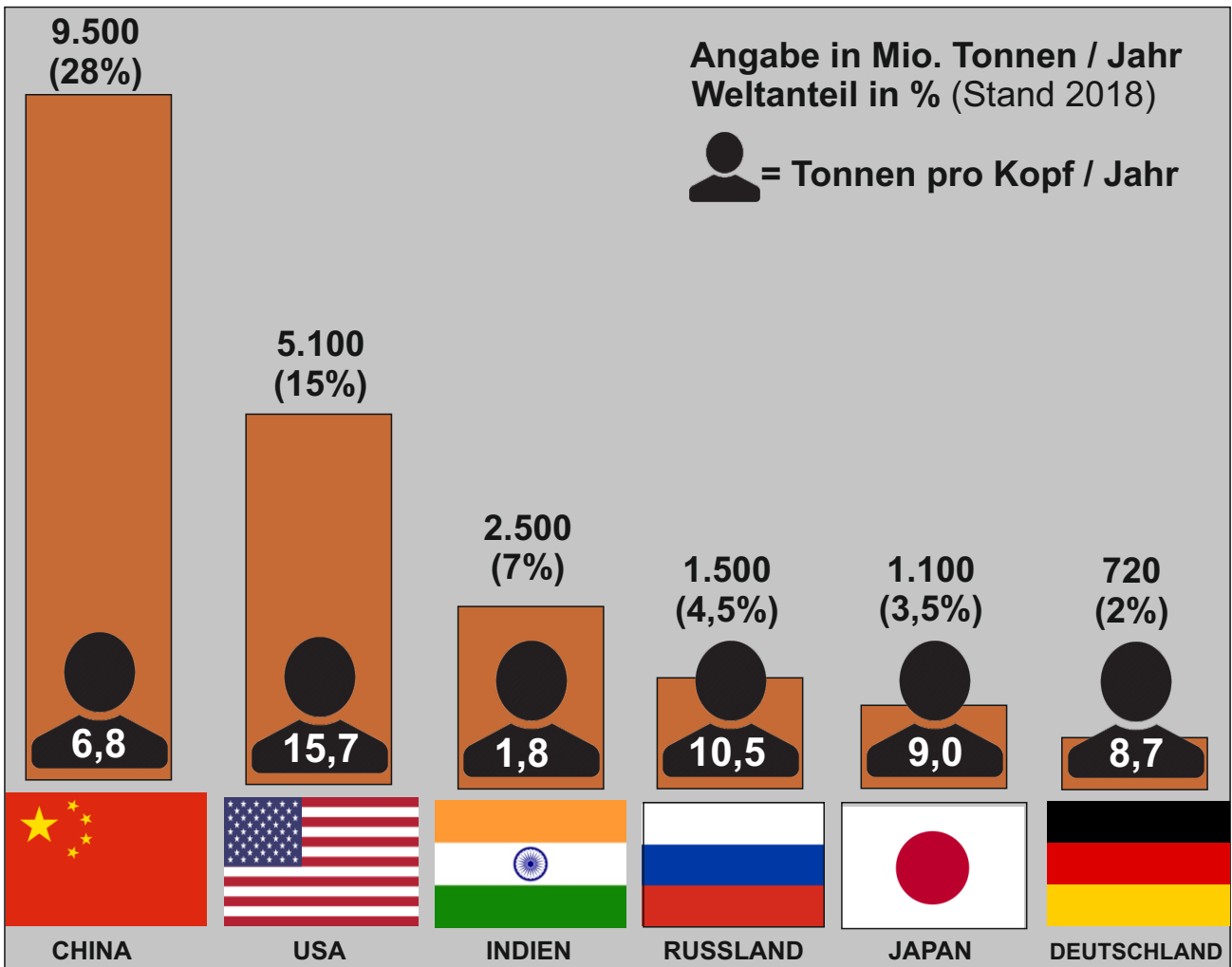


### NUR AUFKLÄRUNG KANN DAS WELTKLIMA RETTEN

Bereits vor über 150 Jahren hat man mit regelmäßigen, direkten Temperaturmessungen begonnen (rote Kurve). Die vom Menschen zur Energiegewinnung verursachte Kohlendioxid-Emissionskurve (blau) verdeutlicht den direkten Zusammenhang beider Werte und deren langfristiger Anstieg. Diese Messwerte dienen heute als Grundlage für die Erstellung von Klimamodellen. Sie zeigen, dass sich je nach Entwicklung des Verbrauches fossiler Brennstoffe der CO<sub>2</sub>-Messwert sogar verdoppeln kann. Ein entsprechender globaler Temperaturanstieg ist die Folge. Wissenschaftler fordern deshalb die Politik auf, diese faktischen Zusammenhänge ernst zu nehmen. Einige gehen soweit, dass sie fordern, das Wissen um unser Weltklima als wichtiges Lernthema in den Schulen zu priorisieren. Noch sei es so, dass ein großer Teil der Bevölkerung durch Halbwissen nur bedingt realisieren kann, welche Folgen der CO<sub>2</sub>-bedingte Klimawandel für uns alle haben kann. Gerade im „Corona-Jahr“ wird deutlich, dass politische Maßnahmen im Notfall schnell greifen können. Offenbar wird der bevorstehende Klimawandel mit all seinen Folgen noch nicht so ernst genommen, als dass auch hier strikte Maßnahmen zu dessen Verhinderung vorgenommen werden.



### WELCHE LÄNDER TRAGEN AM MEISTEN ZUR CO2-EMISSION BEI?



China ist schon seit Jahren an der Spitze der CO<sub>2</sub>-Sünder. Schaut man aber auf den Pro-Kopf Anteil, kommen voll entwickelte Industriestaaten wie etwa die USA auf mehr als den doppelten Wert. Auch Deutschland hat einen etwas höheren Pro-Kopf Emissionsanteil als China. Völlig aus der Reihe fällt der Inselstaat Palau. Mit 58 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr wurde hier ein trauriger Rekord aufgestellt. Diese Zahl mag aber etwas irreführend sein, da Palau nur etwas unter 18.000 Einwohner hat. Die hohe CO<sub>2</sub>-Belastung, die man dem kleinen Inselstaat anrechnet, kommt von den jährlich über 140.000 Touristen, welche mit dem Flugzeug oder mit Kreuzfahrtschiffen die Insel frequentieren.

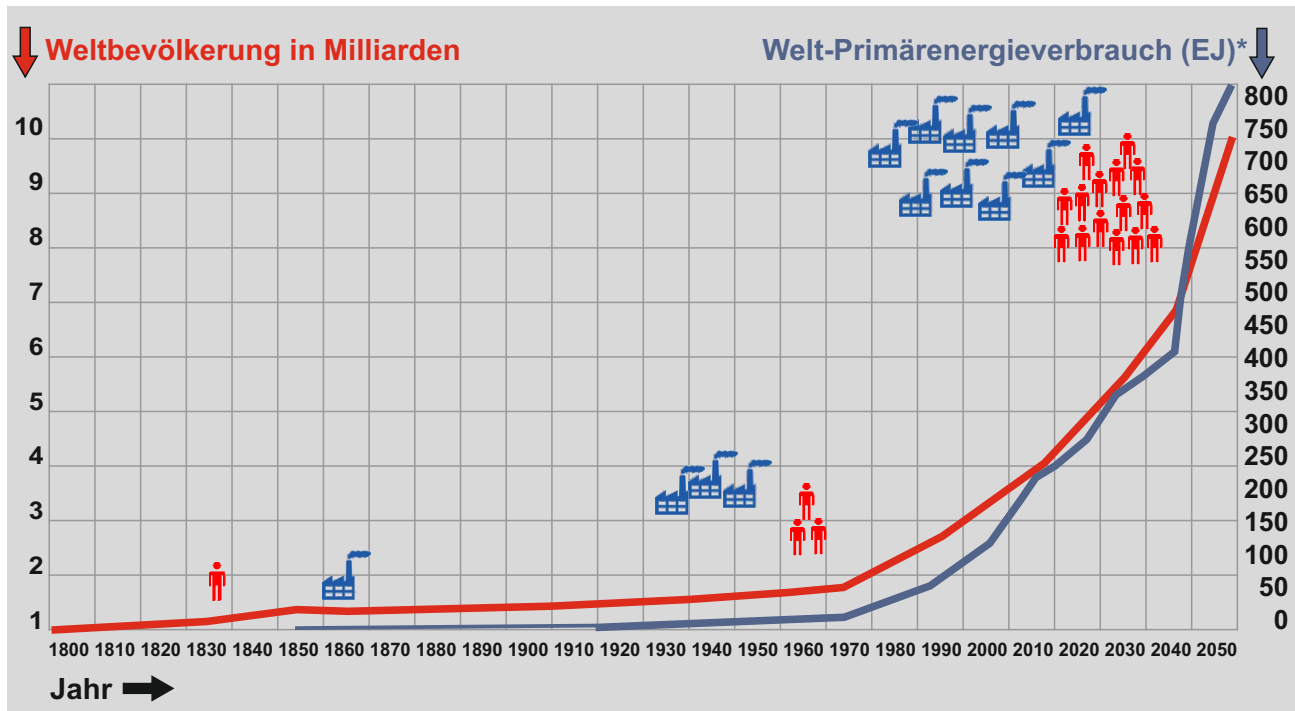


#### ÜBRIGENS...

Nimmt man die CO<sub>2</sub> Emission aller gegenwärtig aktiver Vulkane der Welt zusammen, entspricht das weniger als einem Hundertstel (also kaum 1%) dessen, was der Mensch an Kohlenstoffdioxid emittiert!

### DIE WELTBEVÖLKERUNG WÄCHST - DER ENERGIEHUNGER AUCH

Wenn die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 auf 9-10 Milliarden Menschen gewachsen ist, wird auch der Weltprimärenergiebedarf riesige Dimensionen angenommen haben:



\* EJ= Exajoule, 1 Exajoule entspricht 278 TWh (Terrawattstunden)

Schätzungen zufolge kann die Zahl der Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 sogar auf 10 Milliarden Menschen ansteigen. Selbst wenn der Pro-Kopf-Energiebedarf sich nicht erhöht, benötigt man dann 50% mehr Energie. Da die Menschen der Schwellenländer in den nächsten Jahrzehnten aber ganz sicher ihren Lebensstandard und damit ihren Energieverbrauch steigern werden, kann man von einem weitaus höheren Energiehunger der gesamten Weltbevölkerung ausgehen.

Natürlich zeigen uns diese Zahlen, dass wir alle dazu angehalten sind, wo immer wir können Energie zu sparen. Doch das wird nicht reichen! Noch viel wichtiger wird sein, neben den Energiesparmaßnahmen möglichst schnell auf deren kohlenstoffdioxidfreie Erzeugung umzustellen. Diese Herausforderung könnte der Beginn eines völlig neuen Zeitalters, dem Wasserstoff-Zeitalter sein (siehe dazu Kapitel 5: Wasserstoff ist ein Multitalent).

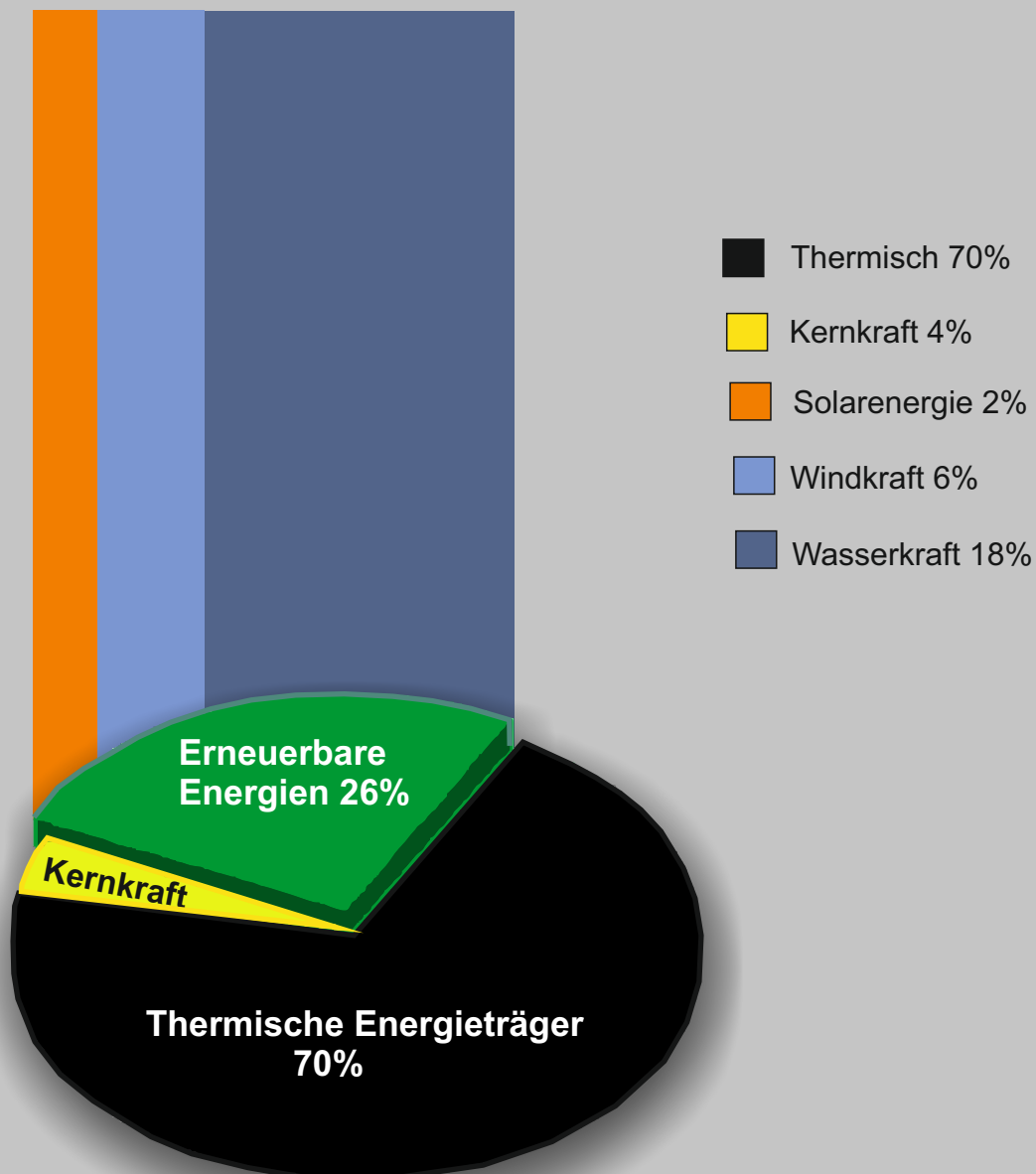




## WIE WIRD HEUTE DER ENERGIEBEDARF WELTWEIT GEDECKT?

Heute ist es leider noch so, dass die Energieversorgung überwiegend auf den Energieträgern Öl, Kohle und sogar zunehmend auf Erdgas aufbaut. Der größte Teil wird dabei für die Erzeugung von elektrischem Strom genutzt. Weiter decken sie den Energiebedarf aller Grundbausteine für eine funktionierende Industrienation wie Komfortwärme, Transport und Erzeugung chemischer Stoffe zur Produktherstellung. Wie die nachfolgende Grafik verdeutlicht, stammen heute immer noch 70% dieser Energie aus karbonisierten Energieträgern.

### WELT-ENERGIEVERBRAUCH (Stand 2019)



## DIE MÖGLICHKEITEN CO<sub>2</sub>-FREIER STROMERZEUGUNG

Nachfolgend wird aufgezeigt, welche Möglichkeiten heute schon bestehen, mithilfe regenerativer Kraftwerke weltweit völlig kohlenstoffdioxidfrei elektrischen Strom bzw. Wärme zu erzeugen. Natürlich müssen für die Wahl der jeweiligen Standorte dieser Kraftwerke sowohl die geografischen als auch die ökonomischen Grundvoraussetzungen gegeben sein, um eine Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit für die Zukunft sicher zu stellen. Doch wird mancherorts erst die langfristige Erfahrung zeigen, welche Art der CO<sub>2</sub>-freien Stromerzeugung sich letztendlich durchsetzt. Besonders in den gemäßigten Klimazonen bietet es sich an, nicht nur auf einen Kraftwerkstyp zu setzen. Nur die Ausschöpfung der Vielfalt zur emissionsfreien Stromerzeugung kann die kontinuierliche Energieversorgung sicherstellen. Nimmt man als einfaches Beispiel einer gemäßigten Klimazone Europa, so leuchtet jedem ein, dass hier weder immer Wind weht, noch nachts Strom durch Photovoltaikanlagen erzeugt werden kann. Nur das Synchronisieren der einzelnen Kraftwerkskomponenten kann einen derart dichtbesiedelten und somit energiehungrigen Erdteil jederzeit ausreichend mit Energie versorgen.

### DIE 6 WICHTIGSTEN KRAFTWERKTYPEN ZUR CO<sub>2</sub>-FREIEN STROMERZEUGUNG:

- A) PHOTOVOLTAIK-KRAFTWERKE
- B) SOLARTHERMIE-KRAFTWERKE
- C) WINDKRAFTANLAGEN
- D) WASSER- (HYDRO-) KRAFTWERKE
- E) BIOMASSE-KRAFTWERKE
- F) GEOTHERMIE-KRAFTWERKE

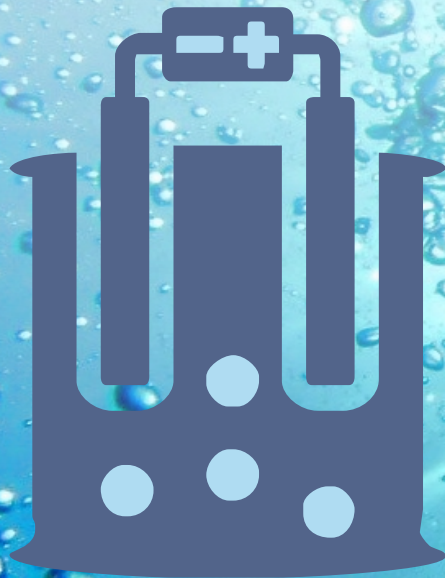




# KAPITEL 6



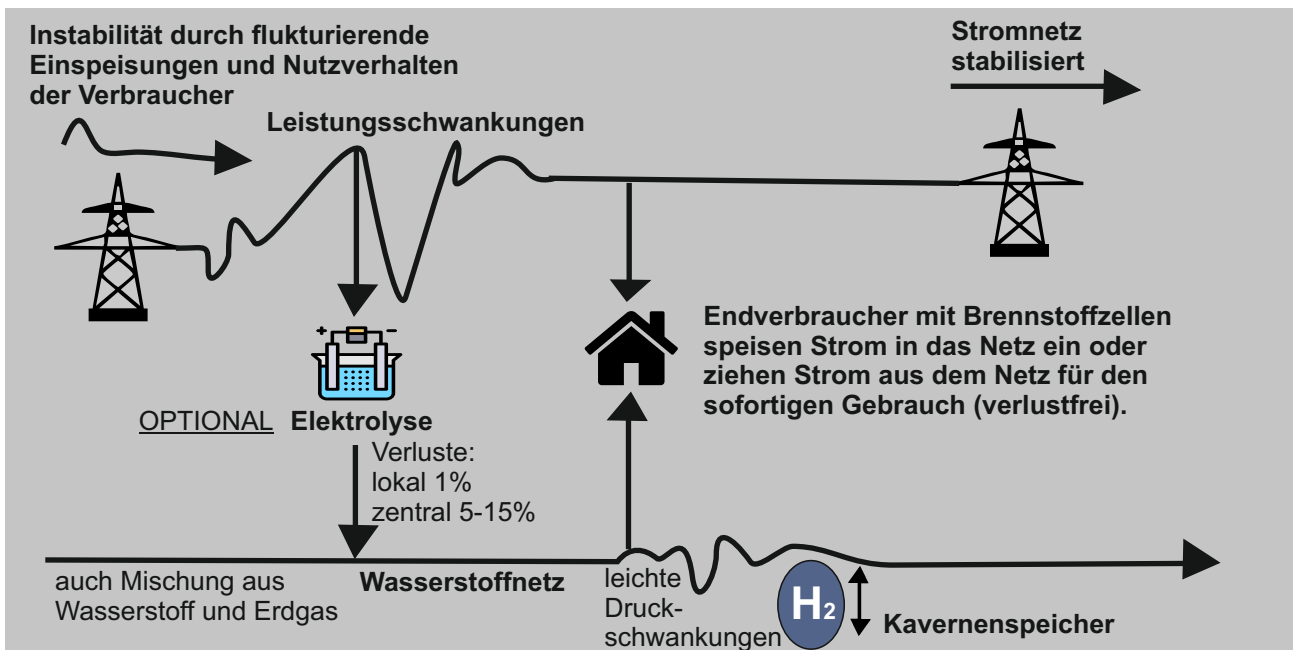
## DIE WASSERSTOFF- HERSTELLUNG



### WASSERSTOFF - ENERGIETRÄGER UND SPEICHERMEDIUM

#### Grundsätzliche Voraussetzungen für eine H<sub>2</sub>-Infrastruktur

In einer Energiewende, die auf erneuerbare Energien setzt, kann Wasserstoff gleichsam Energieträger und Speichermedium sein. Der große Vorteil einer Brennstoffzellen-Infrastruktur mit Wasserstoff liegt darin, dass der elektrische Strom bei Bedarf mittels Brennstoffzelle sofort zur Verfügung steht, ohne dass ein Kraftwerk mit langen Vorlaufzeiten hochgefahren werden muss. So kann künftig im Gegensatz zu heute der Strom immer nur dann ins Netz eingespeist werden, wenn er auch wirklich gebraucht wird. Speichermedien für Strom werden in einer Zukunft mit regenerativen Energiequellen wie Wind- und Solarstrom in Zukunft wichtiger denn je, da die Stromerzeugung bzw. die Stromspitzen kaum mit der Nachfrage synchronisierbar sind. Heute müssen Windkraftanlagen noch oft abgestellt werden, weil die angegliederten Stromnetze mangels Verbrauch überlastet sind. Ähnlich verhält sich das mit dem Solarstrom. Doch sobald kein Wind weht oder dunkle Wolken vor die Sonne ziehen, ist sofort eine Strom-Unterversorgung da, sodass elektrische Energie in die Netze importiert werden muss. In diesem Fall spricht man bei Energiefachleuten dann von sogenannten **Dunkelflauten!** Um eben genau diese zu vermeiden, kommt jetzt der Wasserstoff ins Spiel. Immer dann, wenn mehr elektrischer Strom produziert als benötigt wird, kann er mittels Elektrolyse zur Erzeugung von Wasserstoff als energietragendes Speichermedium genutzt werden.



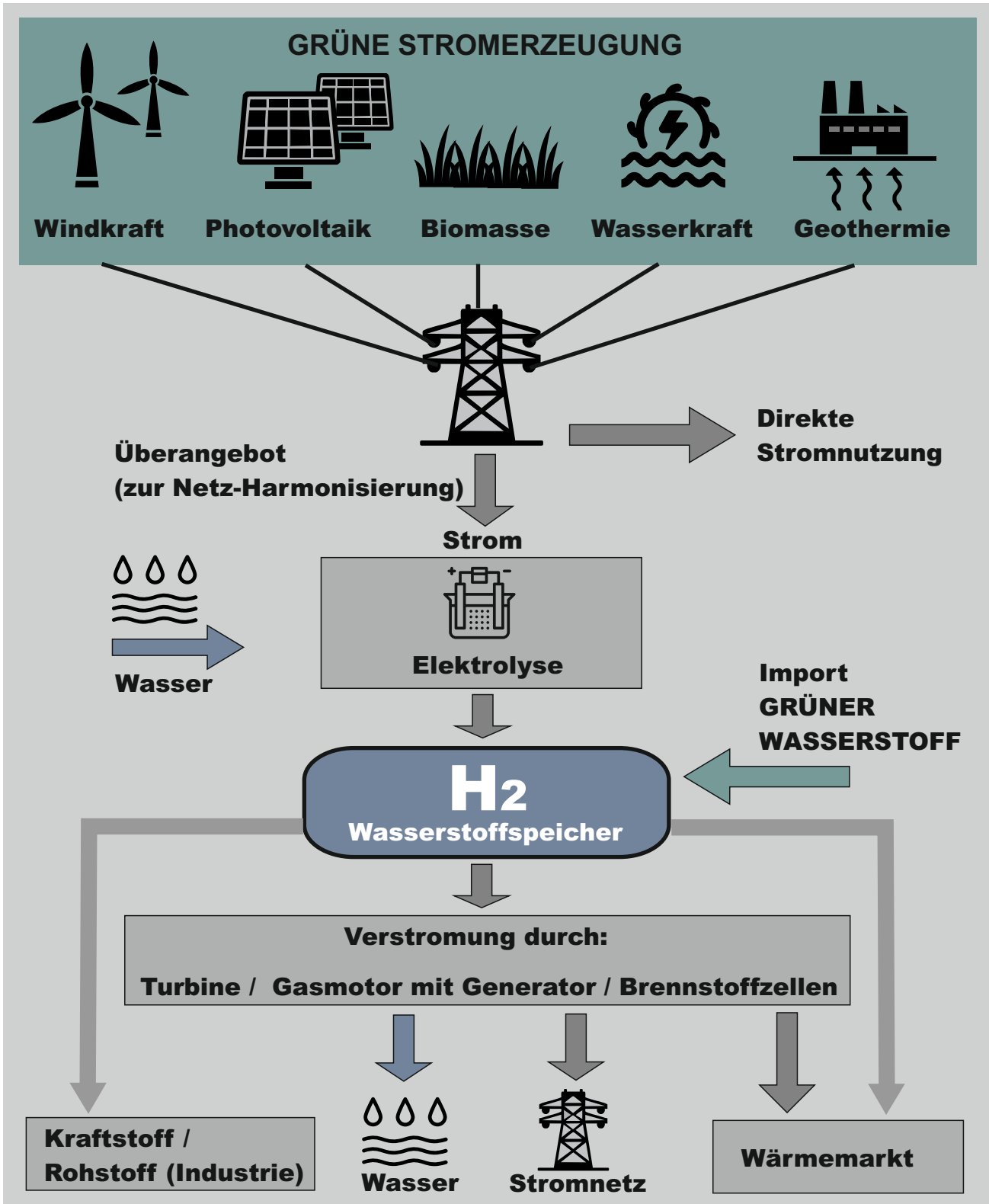
Wasserstoff wird wie Erdgas auf Abruf in Hochdrucktanks gespeichert und bei Bedarf in der Brennstoffzelle zu elektrischem Strom und Wasser „verbrannt“ - völlig ohne Kohlenstoffdioxid-Emission! das geschieht durch:

- Speicherung von Wasserstoff im Rohrnetz durch Druckaufbau
- Speicherung von Wasserstoff in vorhandenen Salzkavernen
- Leistungsanpassung der vorgelagerten Wasserstoff-Fabriken



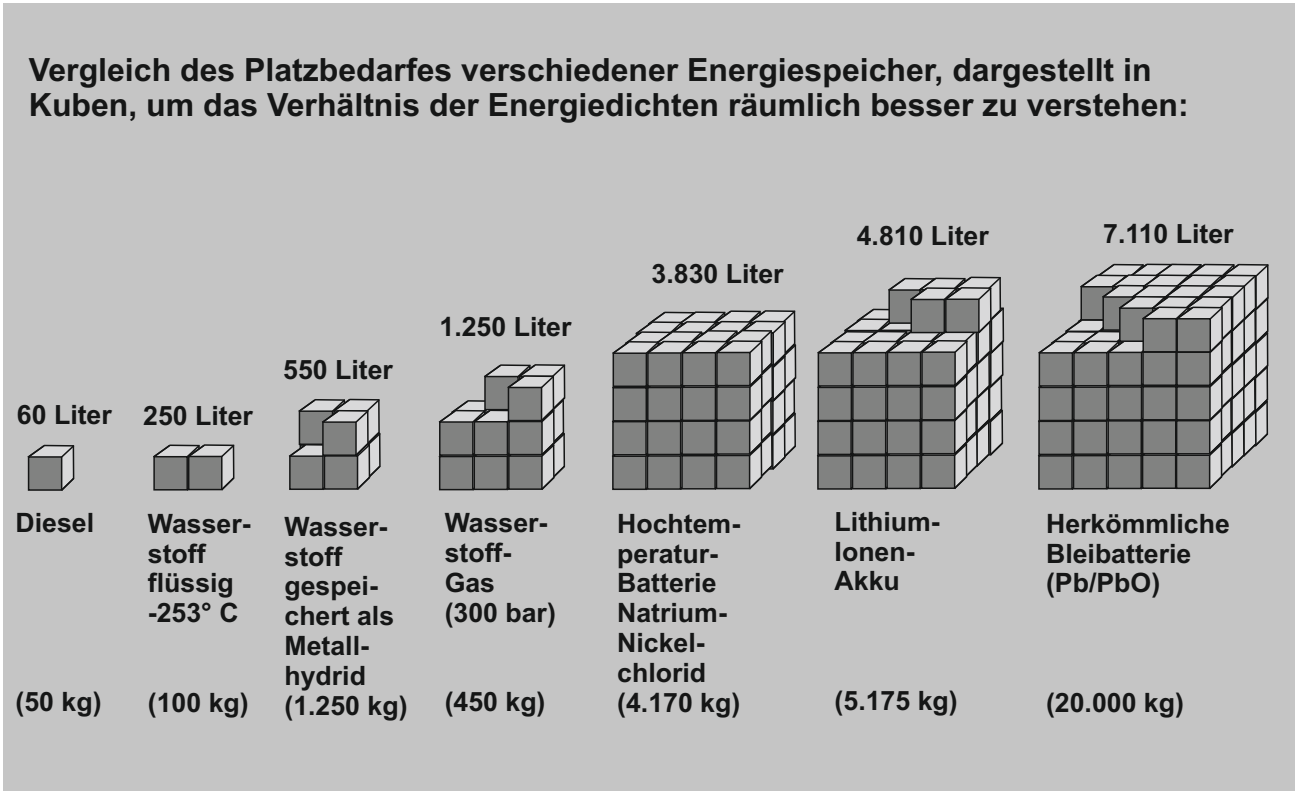
**DIE MÖGLICHE ENERGIEZUKUNFT VOM ERZEUGER BIS ZUM VERBRAUCHER**

So sieht möglicherweise das Prinzip einer klimaneutralen Energiezukunft aus, sobald man es geschafft hat, die Infrastruktur vollständig unabhängig von den fossilen Energieträgern Kohle, Öl und Erdgas zu machen:





**BATTERIEPROBLEMATIK ENERGIEDICHTE IM VERGLEICH**



**Bleischwere Energie an Bord**

Der Vollständigkeit halber wurde bei der oben gezeigten Grafik am Ende auch die herkömmliche Bleibatterie in den Vergleich mit den anderen Energiespeichern gestellt. In unserem neuen Jahrtausend käme inzwischen jedoch kaum noch jemand auf die Idee, diese „bleischweren“ Batterien in den mobilen Einsatz zu bringen. Besonders in der Elektromobilität wurden die Bleibatterien längst von leichteren und langlebigeren Energiespeichern wie Li-Ionen-Akkus abgelöst. Das sah vor 120 Jahren noch anders aus. Die ersten Elektroautos waren damals auf Bleibatterien angewiesen, da es noch keine anderen Ausweichmöglichkeiten gab.

Bekannterweise verschwanden die immerhin schon 1881 erfundenen Elektroautos in den 1910er-Jahren fast vollständig und wurden von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor verdrängt. Erst in den 1970er-1980er Jahren besann man sich im Rahmen der ersten großen Ölkrise wieder auf diese Technik, um den Ölkonzernen eine gewisse Unabhängigkeit zu vermitteln. Allerdings wurden auch damals die wenigen auf den Markt kommenden Elektroautomodelle mit Blei- bzw. Bleigel-Batterien bestückt. Deren geringe Energiedichte und somit ebenfalls geringe Reichweiten bei extrem hohen Gewicht und unzumutbarer Ladezeit entsprachen jedoch bei weitem nicht den Anforderungen der damaligen Zeit, sodass auch diese zweite Phase der Elektromobilitätsgeschichte zum schnellen Scheitern verurteilt war.

### DER AKTUELLE STAND DER H2-MOBILITÄT IN DEUTSCHLAND

Inzwischen ist der Grundstock für eine Wasserstoffmobilität in Deutschland mit einem H<sub>2</sub>-Tankstellennetz für 700 bar-Betankung mit rund 100 Tankstellen geschaffen. Das reicht für 6 Millionen Fahrer von H<sub>2</sub>-Autos, ohne große Umwege in Kauf nehmen zu müssen. Sechs Stationen bieten bereits eine 350 bar -Betankung für Nutzfahrzeuge an. Besonders dort, wo die Nachfrage von Nutzfahrzeugen zu erwarten ist, werden bis 2021 noch mehr H<sub>2</sub>-Tankstellen errichtet. Auch dort, wo es für Pkws sinnvoll erscheint, wird das H<sub>2</sub>-Netz erweitert.



### Weit fahren und schnell tanken

Da ein Kilogramm Wasserstoff etwa die dreifache Energiedichte wie die gleiche Menge an Erdöl besitzt, ist dieser Kraftstoff der Zukunft ein echtes Powerpaket. Zudem werden bei der Verbrennung keinerlei Kohlenstoffdioxide oder Stickoxide emittiert. Im Automobil wird mittels Brennstoffzelle aus Wasserstoff und Sauerstoff Strom für den Elektromotor und Wärme erzeugt. Solche Fahrzeuge fahren nicht nur stufenlos, dynamisch und leise, sondern lassen sich Dank des Wasserstoffes sehr viel schneller als vergleichbare batterieelektrische Fahrzeuge betanken:



### BRENNSTOFFZELLEN-BUSSE IN SERIE

#### Hersteller kommen hier der drohenden Gesetzeslage zuvor

Bereits im Jahr 2016 drohten Dieselfahrzeugen in den Innenstädten Deutschlands im Zuge der ökologischen Wende nach der Klimakonferenz von Paris das Fahrverbot per Gerichtsbescheid. Daher haben sich die Nahverkehrsanbieter ESWE, Mainzer Mobilität MM, und traffiQ / In-der-City Bus ICB zu dem Projekt „H2-Bus Rhein-Main“ zusammengeschlossen. Ziel ist der emissionsfreie Nahverkehr in der gesamten Region.

**Folgende Bus-Produzenten haben schon mit der FC-Bus Serienfertigung begonnen:**

- |                               |                         |                  |
|-------------------------------|-------------------------|------------------|
| ■ EVO Bus / Daimler AG (D)    | ■ SOR (CZ)              | ■ King Long (CN) |
| ■ Vossloh Kiepe / Hess AG (D) | ■ Van Hool (BEL)        | ■ Caetano (PT)   |
| ■ Scania / VW AG (SWE / D)    | ■ Optare PLC (GB)       | ■ Rampini (IT)   |
| ■ Solaris Bus (PL)            | ■ BredaMenarinibus (IT) | ■ Toyota (JP)    |



Bereits seit 2016 fährt dieser Brennstoffzellenbus zum Probelauf im Energiepark Mainz. Seit 2015 wird dort im Stadtteil Hechtsheim aus Windenergie Wasserstoff hergestellt, der weiteren 11 FC-Busse in der Region als Kraftstoff dienen soll.



## ZWEI WEITERE WASSERSTOFF-FLUGZEUGKONZEPTE VON AIRBUS IM DETAIL

**Turbofan-Design – Flugzeug mit 120 bis 200 Passagiere**

Das erste Konzept „Turbofan-Design“ (120 bis 200 Passagiere) hat eine Reichweite von mehr als 2.000 Seemeilen. Das Flugzeug kann transkontinental eingesetzt werden und wird von einem modifizierten Gasturbinentriebwerk angetrieben, das durch Verbrennung mit Wasserstoff und nicht mit Düsentreibstoff betrieben wird. Der flüssige Wasserstoff wird über Tanks hinter dem hinteren Druckschott gespeichert und verteilt.

**Blended-Wing-Body – Konzept bis 200 Passagiere**

Bei dem dritten Konzept „Blended-Wing-Body“ (bis zu 200 Passagiere) sind die Flügel mit dem Hauptkörper des Flugzeugs verschmolzen (s. Bild). Es soll eine ähnliche Reichweite wie das Turbofan-Konzept aufweisen. Der außergewöhnlich breite Rumpf eröffnet mehrere Möglichkeiten für die Speicherung und Verteilung von Wasserstoff sowie für die Kabinenaufteilung, so Airbus. (Quelle: Airbus / IWR)

## DRUCKFESTE TANKS

Zur kompakten Speicherung von Wasserstoff müssen entsprechende Hochdrucktanks sehr stabil ausgelegt sein. Ihr Sicherheitsfaktor von über „2“ bezüglich des Betriebsdruckes sorgt für eine hohe Stabilität, die bei großen mechanischen Einwirkungen, etwa Verkehrsunfällen, hohe Sicherheitsreserven darstellt. Bereits Erdgas- oder CNG-Tanks aus Stahl halten Drücke über 200 bar aus. Wasserstofftanks sind für Drücke über 700 bar ausgelegt und aufgrund ihrer Verbundmaterialien noch weitaus stabiler. Tatsächlich gab es bei Unfällen von Fahrzeugen mit Wasserstofftank bis heute noch keine Beschädigungen oder Versagen des Tanks. Aufgrund der (noch) geringen Anzahl von Wasserstofffahrzeugen hat dies heute jedoch noch keine statistische Bedeutung. Anders sieht das bei Gasfahrzeugen aus. Dort wo viele CNG-Fahrzeuge im dichten Verkehr unterwegs sind, das sind Länder wie Argentinien, Brasilien, der Iran oder Pakistan, sind ebenfalls keine größeren Schäden infolge eines Verkehrsunfalls mit Gastanks und Explosionen oder Bränden bekannt.



## DAS SICHERHEITSKONZEPT IM WASSERSTOFF-FAHRZEUG

Um auch im Wasserstofffahrzeug bei Verkehrsunfällen mit mechanischen Deformationen gut vorbereitet zu sein, gibt es entsprechende vorsorgliche Auslegungen. So befinden sich etwa die Wasserstofftanks zumeist im Sandwichboden der Fahrzeuge (Bild). Dabei wird ein möglichst großer Abstand zur hinteren Stoßstange eingehalten. Die Räder / Radkästen werden als Seitenschutz mit eingerechnet. In Stadtbussen sind die Wasserstofftanks meist auf dem Dach und somit weit weg vom Kollisionsbereich. Dies ist bei Undichtigkeit auch von Vorteil. Alle Tanks sind mit Druckentlastungsventilen und Schmelzsicherungen ausgerüstet. Eine Regelarmatur schließt ein Druckreduktionsventil ein, das den Gasdruck vom Speicherdruckniveau (700 bar) auf das Druckniveau der Gasförderleistung zur Brennstoffzelle (30 bar) reduziert.



## Wasserstoffautos im Betrieb und bei Unfällen

Bei Wasserstoff- und anderen Gasfahrzeugen werden immer wieder Bedenken geäußert, dass diese in Unfallsituationen ein großes Risiko darstellen. Jedoch haben die Praxiserfahrungen der letzten 30 Jahre gezeigt, dass es bei Brennstoffzellenfahrzeugen mit zusammen über 10 Millionen Kilometern geleisteter Fahrstrecke keinerlei nennenswerte Gefahrensituationen gab. Vielmehr wurden das Fahrgefühl und damit verbundene Umweltbewusstsein als sehr positiv gewertet. Das Bild rechts zeigt zudem, dass im Ernstfall ein Benzintank (rechts) sehr viel gefährlicher sein kann als ein Wasserstofftank (links). Würde dieser tatsächlich undicht, ginge bei Entzündung eine etwaige Flamme nach oben.





### DIE PTL- UND PTG-TECHNIK AUS DER SICHT DES STAATES

Hierzu noch eine Kurzbeschreibung des Bundes-Umweltamtes zu synthetischen Kraftstoffen:



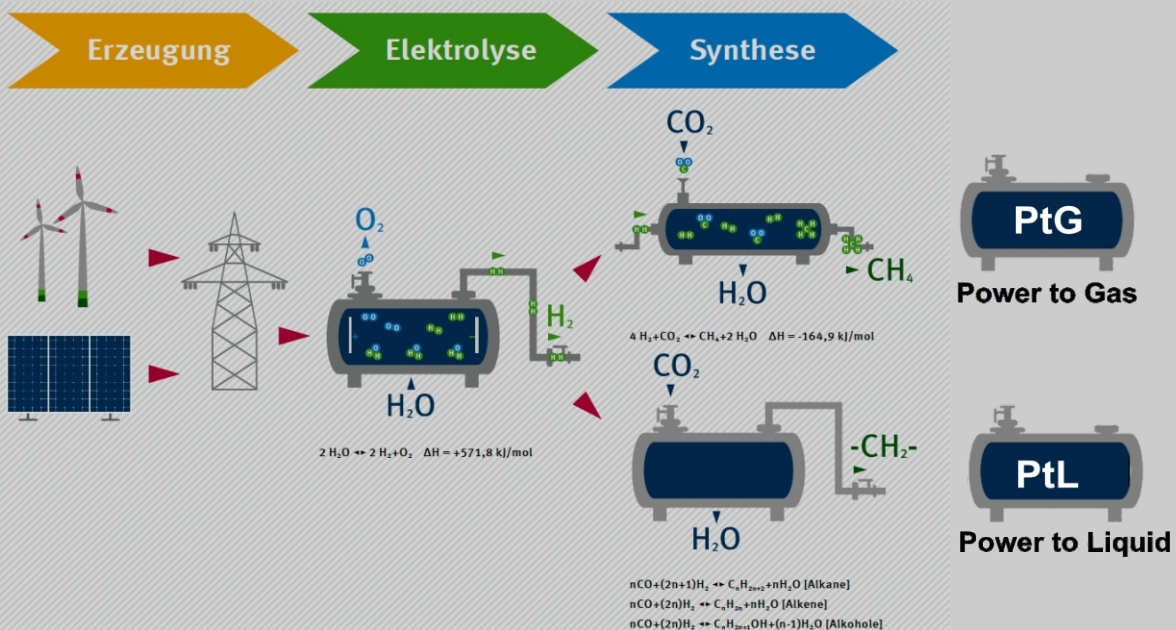
Unter Power to Gas (PtG) verstehen wir die Bereitstellung von Wasserstoff sowie Methan und unter Power to Liquid (PtL) die Bereitstellung flüssiger Kraftstoffe mithilfe von Strom.

Ihnen gemeinsam ist die Wasserelektrolyse als erstem technischem Schritt. Hierbei wird mit Strom Wasser (H<sub>2</sub>O) in Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) gespalten. Der bereitgestellte Wasserstoff kann direkt oder als Speichermedium für energetische und stoffliche Anwendungen genutzt werden. Darüber hinaus kann aus Wasserstoff in einer katalytischen Synthese - oder in einer biologischen Synthese in Biogasanlagen - mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) Methan erzeugt werden.

Zur Herstellung wird zunächst ein Wasserstoff/ Kohlenmonoxid oder Wasserstoff / Kohlendioxid -Gemisch erzeugt und in einer Synthese zu Kohlenwasserstoffen umgewandelt. Hierfür stehen verschiedene Synthesen, z. B. die Fischer-Tropsch-Synthese oder die Methanolsynthese zur Verfügung. Bei der Fischer-Tropsch-Synthese entsteht eine Mischung aus verschiedenen langkettigen Kohlenwasserstoffen, welche weiter aufbereitet werden muss. Die Methanolsynthese verläuft bei moderaten Bedingungen und besonders selektiv mit sehr hoher Produktreinheit. Der energetische Wirkungsgrad der verschiedenen Techniken nimmt dabei von Wasserstoff über Methan hin zu den flüssigen Kraftstoffen ab.

Perspektivisch sind auch andere technische Lösungen denkbar, um synthetische Energieträger herzustellen, bei denen der Wasserstoff nicht an den Kohlenstoff, sondern anderweitig gebunden wird. Das kann u. a. die chemische Bindung des Wasserstoffs in der etablierten Ammoniaksynthese sein. Eine andere Möglichkeit, die sich derzeit im Demonstrationsstadium befindet, besteht in der reversiblen Bindung des Wasserstoffs in LOHC-Substanzen (Liquid Organic Hydrogen Carriers).

#### Funktionsweise PtG und PtL





## **UNSER WELTKLIMA IST UNBEZAHLBAR - DESSEN SCHUTZ AUCH?**

Sowohl aus den Reihen der Politik, Wirtschaft und natürlich der schwarzen Energie-Lobby ist immer wieder zu hören, dass groß angelegte Veränderungen der Energieversorgung zum Schutze des Weltklimas unbezahlbar seien. Explodierende Energiekosten für jedermann würden dann unweigerlich den gewohnten Wohlstand schmälern. Schon im Kyoto-Protokoll aus dem Jahre 1997 wurden diese Bedenken angemeldet. Die Scheu vor Veränderungen ist eine angeborene menschliche Tugend, die besonders in grauen Vorzeiten Teil des instinktiven Selbsterhaltungstriebes war. Doch hat der Mensch in den letzten Jahrhunderten wie kein anderes Lebewesen vor ihm seinen Lebensraum in kürzester Zeit derart umgestaltet, dass die Ignoranz dringend notwendiger Veränderungen nun in einer fatalen Klimakatastrophe enden könnte. Als Befürworter der Wasserstoffzukunft und Autor dieses Buches finde ich daher folgenden Aphorismus an dieser Stelle zutreffend:

**„Wer heute den Kopf in den Sand steckt,  
wird morgen mit den Zähnen knirschen.“**

Den Befürwortern des Erhaltes der Versorgung mit „schwarzer Energie“ sollte dieser Satz eine Mahnung sein, denn er beschreibt eigentlich genau die Sachlage in einer Zukunft mit fossilen Brennstoffen, welche nicht nur endlich sind, sondern bei deren Verbrauch die Umwelt weiter zerstört wird. Und eines ist dabei auch sicher: Bei knirschenden Zähnen würde es ohne die alternativlose Energiewende sicher nicht bleiben! Tatsächlich würde es dann dazu kommen, dass vom Menschen verursachte Klima- und Umweltschäden zu immer größeren Folgekosten führten, die als Umlage den Preis der fossilen Energien immer mehr in die Höhe schnellen ließe. Der schnelle Wechsel vom herkömmlichen Energienetz zum Wasserstoff-Stromnetz bedarf natürlich zunächst großer Investitionen. Langfristig gesehen kann man aber davon ausgehen, dass diese Strategie sogar zu günstigeren Energiepreisen führen wird. Denn eine Tatsache ist dabei nicht unerheblich:

**„Die Sonne scheint kostenlos vom Himmel  
- sorgen wir dafür, dass sie es nicht umsonst tut!“**





...will uns sagen:

„Never stop learning!“, also „niemals aufhören zu lernen!“

...oder:

„Ever top learning!“, also „immer mehr lernen!“

**Never stop learning  
because life never stops teaching!**

(Hör niemals auf zu lernen, weil das Leben niemals aufhört zu lehren!)

## SCHLUSSWORT DES AUTORS

Durch den bereits begonnenen Klimawandel warten auf uns in der Tat noch viele Herausforderungen. Doch ist dieser Weg nun von der Politik in Europa vorgezeichnet und bietet meiner Einschätzung nach in der Summe große Chancen für alle aktiven Beteiligten. Somit ist eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit gegeben, dass Wasserstoff, welches im Periodensystem als Element bereits an erster Stelle steht, in naher Zukunft eine Schlüsselrolle bei der Dekarbonisierung der weltweiten Energie-Infrastruktur spielen wird. Eine nachhaltig verlässliche Herstellung und Versorgung unseres Energiebedarfes mit Wasserstoff dürfte dann schon innerhalb weniger Jahre ein entscheidender Faktor für den Wohlstand des jeweiligen Standortes sein.

Einige Wissenschaftler, Fachleute und Politiker prophezeien heute sogar schon die dritte industrielle Revolution, also eine Art bevorstehendes Wasserstoffzeitalter.

So könnte sich die Vision des Schriftstellers Mark Twain nach zwei Jahrhunderten tatsächlich bewahrheiten: „Wasserstoff wird die Kohle im nächsten Jahrhundert sein“.

Was Mark Twain damals noch nicht wusste ist, dass der fossile Brennstoff Erdöl eine noch viel größere Rolle als Energieträger spielen sollte. Aus heutiger Sicht würde er seine Aussage sicherlich mit dem Satz „Öl wird durch Wasserstoff ebenfalls ersetzt“ ergänzen!

### Fazit

Sinkende Kosten für den Energieträger Wasserstoff bei steigender Nachfrage sowie die Förderung technischer Innovationen durch politische Vorgaben sollten zu einem Aufhalten der rezenten Klimaentwicklung beitragen, um diese erträglich zu halten. Allerdings gibt es keine Zeit mehr zu verlieren, da das vereinbarte europäische Ziel des Pariser Abkommens, bis zum Jahr 2050 eine völlig CO<sub>2</sub>-freie, klimaneutrale Energie-Infrastruktur zu schaffen, noch viele Hürden in sich birgt. Daher empfinde ich persönlich, die an uns gestellten Aufgaben für die nächsten Jahrzehnte als außerordentlich sportliche Herausforderung - dennoch wünsche ich uns allen eine erfolgreiche Umsetzung auf dem Weg in eine saubere Zukunft!



Horst Schultz

