

Positionspapier der Allianz Wasserstoffmotor e.V.

Der Wasserstoffmotor Eine wesentliche Säule klimaneutraler Mobilität

Executive Summary

- Ein ganzheitlicher Ansatz erlaubt alle Technologieoptionen für klimaneutrale Mobilität: **der Wasserstoffmotor beschleunigt den Klimaschutz.**
- Deutschland und Europa bleiben absehbar auf umfassende Energieimporte angewiesen: **grüner Wasserstoff erlaubt den Import grüner Energie.**
- Die direkte Nutzung von Wasserstoff in der Mobilität ist notwendig: **Direktnutzung entlastet die Nachfrage nach erneuerbarem Strom.**
- Nur ein technologieoffener politischer Rahmen ermöglicht umfassenden Klimaschutz: **Wasserstoffmotor als optimale Lösung für bestimmte Anwendungen.**
- Weiterentwicklung des bewährten Hubkolbenprinzips: **H₂-Motor als schnell umsetzbare und effiziente Lösung verfügbar.**
- Zugpferd bei hoher Leistungsanforderung: **idealer Antrieb für schwere Nutzfahrzeuge und Off-Highway-Anwendungen.**
- Betriebskosten von Wasserstoffmotoren durch Steuern und Gebühren stark beeinflusst: **gleiche Berücksichtigung aller CO₂-neutralen Technologien nötig.**
- Wasserstoffinfrastruktur als zwingende Voraussetzung: **zügiger Infrastruktur-Aufbau entlang Hauptverkehrsachsen geboten.**
- Emissionen nahe Null: **regulatorische Berücksichtigung als „Zero-Emission Technology“ nötig.**
- Chance für industriepolitische Erfolgsstory: **Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft gestalten.**

Klimaneutrale Mobilität – Ein Muss für die Erreichung der Klimaschutzziele

Die Allianz Wasserstoffmotor e.V. unterstützt die Ziele der EU zur CO₂-Emissionsreduzierung („Fit for 55“) und setzt sich daher für eine stringente und technologieoffene Zielerreichung im Bereich der Fahrzeugantriebe ein. Es ist von zentraler Bedeutung, dass der Beitrag verschiedener klimaneutraler Antriebstechnologien holistisch und damit im Sinne einer Well-to-Wheel-Betrachtung in der Emissionsgesetzgebung berücksichtigt wird. Damit wird für

Planungssicherheit gesorgt und der effektive Beitrag des Sektors Verkehr im Hinblick auf das CO₂-Restbudget zur Einhaltung der Pariser Klimaziele maximiert.

Auch die kürzlich vorgestellte Eröffnungsbilanz des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz zeigt deutlich auf, dass für dieses Ziel eine sektorübergreifende Verdreifachung der CO₂-Senkungsrate für Deutschland notwendig ist und nach aktuellem Stand eine kumulierte Überschreitung im Sektor Verkehr von 271Mt CO_{2eq.} bis 2030¹ zu erwarten ist. Eine Festlegung auf eine einzelne technologische Lösung birgt das Risiko, die ambitionierten Ziele zu verpassen. Die notwendige Geschwindigkeit bei der Transformation zu klimaneutraler Mobilität bis 2050 ist nur durch einen umfassenden Ansatz möglich.

Die Allianz Wasserstoffmotor e.V. steht daher für den Pfeiler der direkten Nutzung grünen Wasserstoffs in Hubkolbenmotoren als Bestandteil einer holistischen Mobilitätswende.

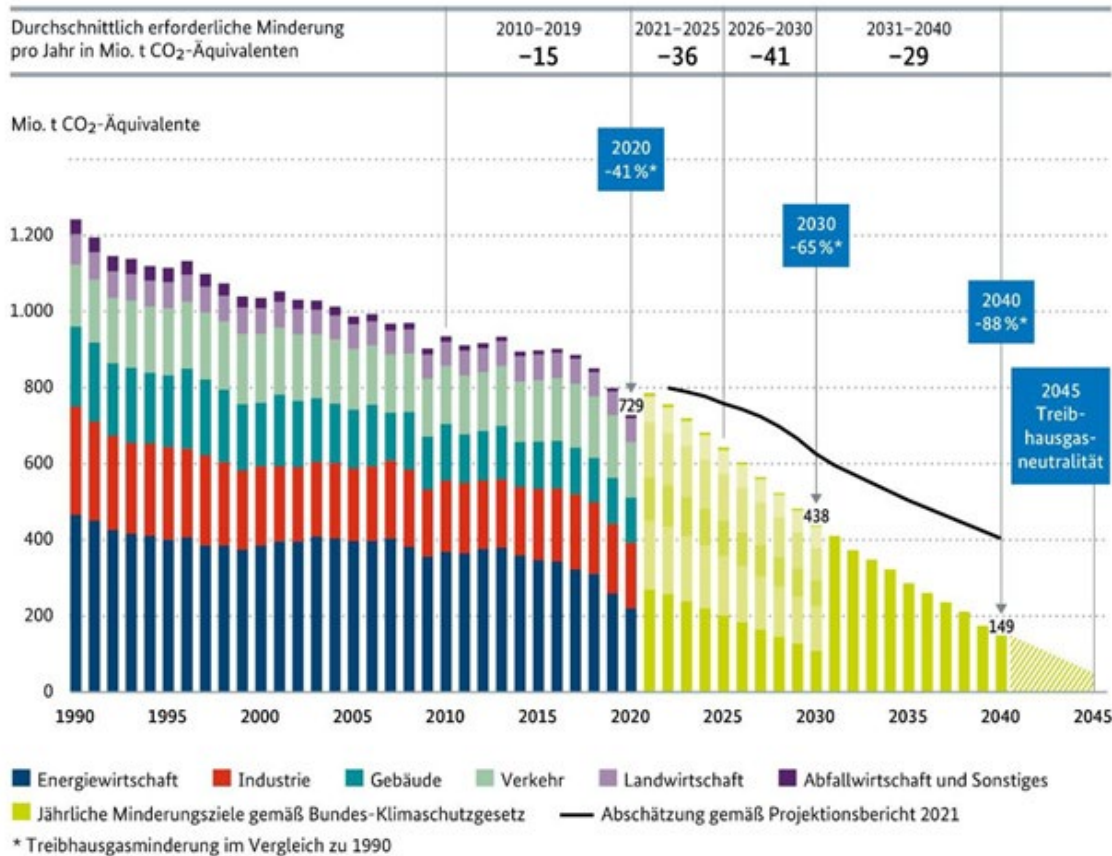
Wir sind überzeugt, dass nur die Technologieoffenheit und Nutzung aller sinnvollen Technologiebausteine zum Erfolg führt.



Quelle: Eigene Darstellung Allianz Wasserstoffmotor e.V.
 *CO₂-Äquivalente
¹im Vergleich zu 1990

¹ Quelle: Eröffnungsbilanz Klimaschutz (BMWi, 2022)

Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland



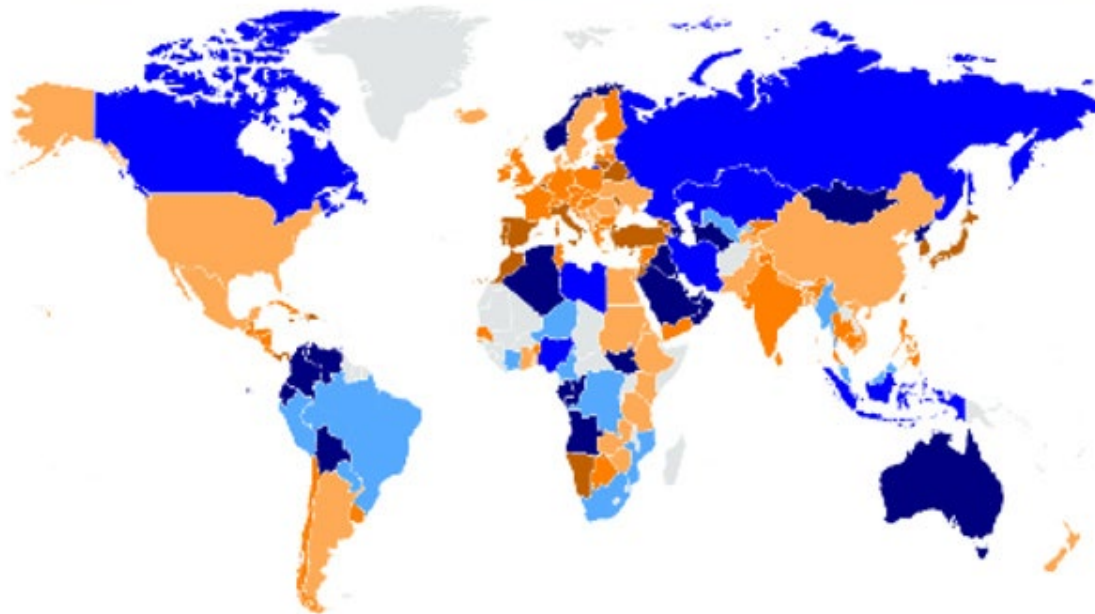
Quelle: Umweltbundesamt, Bundes-Klimaschutzgesetz

Wasserstoff als Energieträger – Unverzichtbar für unsere Energieversorgung

Deutschland steht mit hohem Anteil industrieller und energieintensiver Produktion bei begrenzten Ressourcen im Bereich der Wasser-, Wind- und Solarkraft sowie dem Ausstieg aus der nuklearen Energieerzeugung vor einer besonderen Herausforderung bei der Energiewende. In den letzten Jahren wurde der Ausbau regenerativer Energieerzeugung insbesondere bei der Windkraft intensiviert und bildet mittlerweile die größte installierte Kapazität. Trotz allem sind aufgrund der Anforderung einer zuverlässigen und konstanten Energieerzeugung für die Deckung des deutschen Energiebedarfs weiterhin Primärenergieimporte in der Größenordnung von ca. 70% zwingend notwendig.

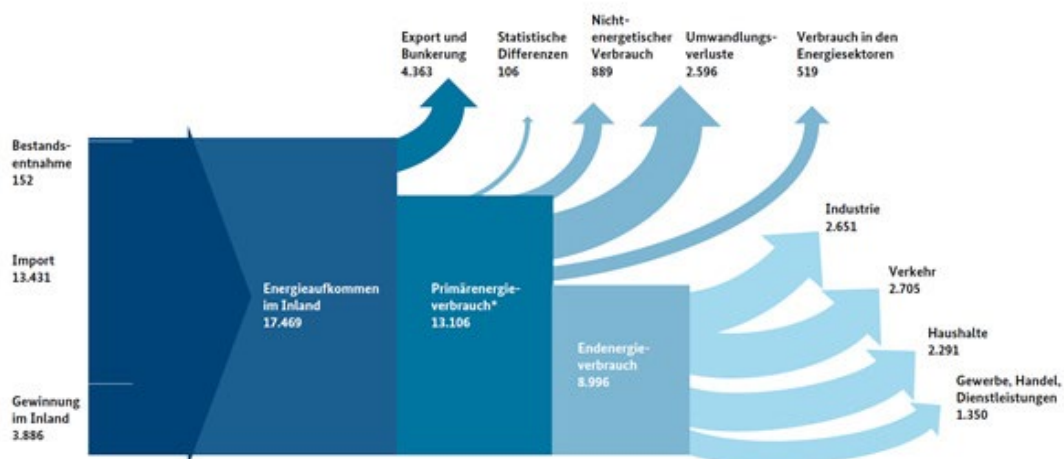
Diese erfolgen Stand heute nahezu ausschließlich mittels fossiler bzw. kohlenstoffhaltiger Energieträger. Auch im globalen Vergleich ist diese Situation sowohl für Industrienationen als auch bevölkerungsreiche Staaten wie China und Indien vergleichbar, die ihren Energiebedarf primär aus der Kohlekraft decken.

Overall energy self sufficiency (2016)³:



Quelle: International Energy Agency (URL: <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-297203538/1>)

Energieflussbild 2018* für die Bundesrepublik Deutschland in Petajoule (PJ)

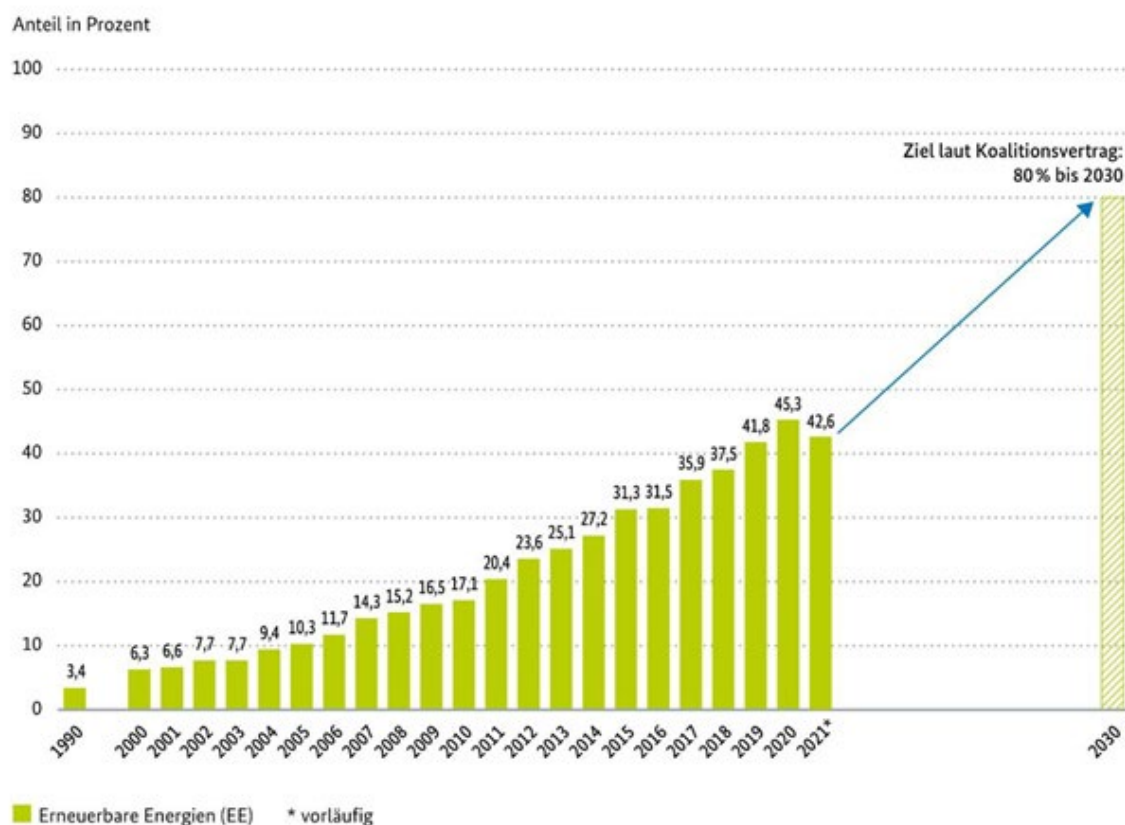


Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt bei 13,8 %. Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
* Alle Zahlen vorläufig/geschätzt
29.308 Petajoule (PJ) $\hat{=}$ 1 Mio. t SKE

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) 09/2019

Eine Dekarbonisierung der Primärenergieversorgung kann demzufolge vorrangig nur durch ein Substitut der importierten Energie erfolgen. Die Eröffnungsbilanz des Bundeswirtschaftsministeriums sieht auch hier eindeutig die Notwendigkeit der Einfuhr von grünem Wasserstoff. Die Elektrifizierung der Sektoren wird allein nicht reichen, um das Ziel einer CO₂-Neutralität zu erreichen. Die Allianz Wasserstoffmotor e.V. unterstützt diese Position, vor allem im Hinblick auf den Sektor Transport und Verkehr. Nur eine globale Absicherung des Primärenergiebedarfs über grünen Wasserstoff kann die zuverlässige Versorgung der Sektoren, insbesondere der Mobilität und des Transports, auf eine kohlenstofffreie Zukunft umstellen. Hinzu kommt, dass der direkt lokal und grün erzeugte Strom ein knappes Gut bleiben wird und durch die Dekarbonisierung der Sektoren Industrie und Gebäude auch den Gesamtbedarf deutlich steigen lässt. Die Prognose für Deutschland im Jahr 2030 spricht von einem elektrischen Bedarf von bis zu 750TWh im Vergleich zu den heutigen 560TWh². Der Bedarf des Ausbaus regenerativer Energieerzeugung in Deutschland ist daher enorm.

Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch



Quelle: Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)

² Quelle: Eröffnungsbilanz Klimaschutz (BMWi, 2022)

Auch die Europäische Union erachtet die Produktion und den Import von grünem Wasserstoff als strategischen Energieträger der Zukunft für alternativlos. Dieses Ziel, auch hinsichtlich der kommerziellen Aspekte mit einem Zielpreis von 1,80€/kg Wasserstoff, wurde kürzlich durch die Kommissionspräsidentin der EU in der „Hydrogen Week“ bekräftigt³. Als Allianz Wasserstoffmotor e.V. begrüßen wir diese Zielsetzung und den klaren Willen der EU, den Aufbau der dafür notwendigen Infrastruktur und Handelsbeziehungen gezielt zu unterstützen. Daraus folgt, dass eine direkte Nutzung des Wasserstoffs sinnvoll ist - auch und gerade im Sektor Mobilität und Transport im Bereich der Nutzfahrzeuge und Off-Road-Anwendungen.

Die Säulen klimaneutraler Antriebstechnologien – Kein ODER, sondern ein klares UND

Bei der Energieversorgung steht bereits fest, dass grüner, importierter Wasserstoff eine alternativlose Komponente der Primärenergiebereitstellung darstellt, da mit der Elektrifizierung allein die Klimaziele nicht zu erreichen sind. Daraus folgt für die Betrachtung der klimaneutralen Antriebsstränge umso mehr, dass eine Fokussierung auf eine Technologie, beispielsweise ausschließlich auf batterieelektrische Lösungen, nicht zielführend ist. Die Allianz Wasserstoffmotor e.V. steht daher eindeutig hinter der Position, dass nur eine technologieoffene Herangehensweise, die auch Brennstoffzellen und Wasserstoffmotoren beinhaltet, die Klimaneutralität von Antriebssystemen sicherstellen kann - insbesondere im Hinblick auf die Zeit, die im Rahmen des Restbudgets für das 1,5° Ziel noch verbleibt. Wir plädieren daher für die Verfolgung aller relevanten Säulen der klimaneutralen Antriebe, zu denen der Wasserstoffmotor, betrieben mit CO₂-neutralem Wasserstoff, zweifelsohne gehört, im Einklang mit den je nach Anwendung optimalen Einsatzszenarien. In Verbindung mit Brennstoffzellenantrieben ergeben sich darüber hinaus wesentliche Synergien, die einem schnellen Marktanlauf wasserstoffbasierter Antriebe dienen und auch den Aufbau der Infrastruktur durch eine robuste Nachfrage fördern. Sowohl bei den Tanksystemen als auch den Anforderungen bezüglich der Kraftstoffqualität muss dabei nicht unterschieden werden.

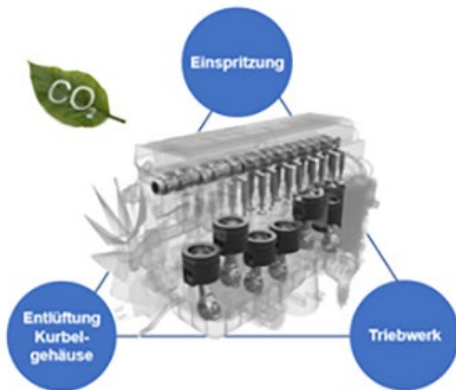
Der Wasserstoffmotor als Ergänzung im zukünftigen PT Komplementäre ZEV Technologien



Quelle: Eigene Darstellung Allianz Wasserstoffmotor e. V.

³ Quelle: Opening keynote by President von der Leyen at th European Hydrogen Week 2021 (European Comission Press Corner, 29.11.2021)

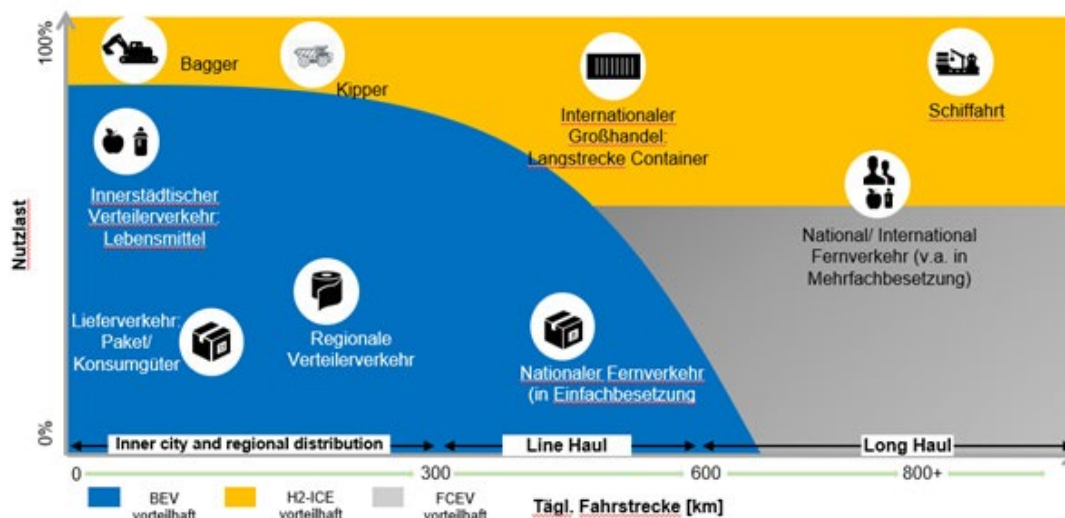
Technische Herausforderungen – Evolution statt Revolution



Quelle: Eigene Darstellung Allianz Wasserstoffmotor e. V.

Insbesondere im schweren Einsatzgebiet stellt der Wasserstoffmotor eine attraktive und zugleich effiziente als auch schnell umsetzbare Lösung dar. Der Wasserstoffmotor basiert auf den bereits bewährten Hubkolbenmotorkonzepten zur Energiewandlung. Für die Nutzung der chemischen Energie des Wasserstoffs sind nur moderate Anpassungen notwendig, die im Rahmen der heute bereits bekannten und etablierten Entwicklungskompetenzen und Technologiebausteinen liegen.

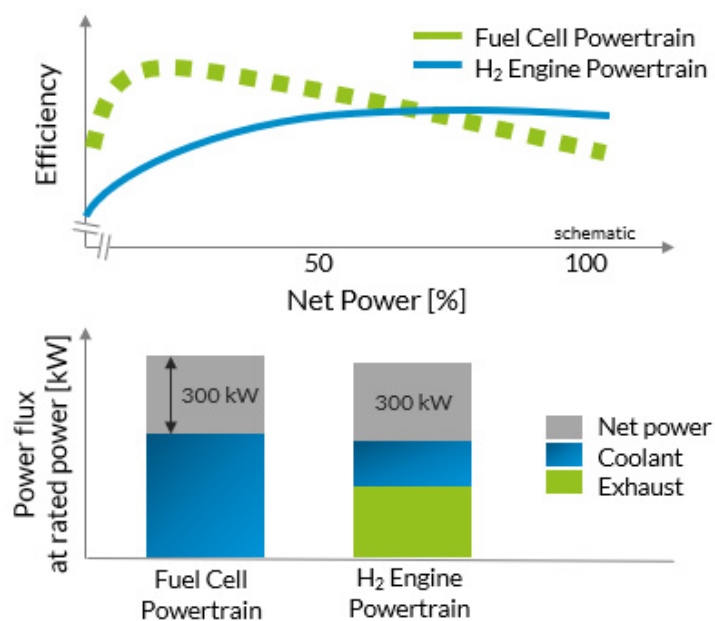
Das Zusammenspiel der Technologien und ihre Wechselwirkung sind unter den Randbedingungen im Betrieb mit Wasserstoff neu zu bewerten und auszulegen. Es ist daher eine evolutionäre Entwicklung und unterstreicht damit die darin liegende Chance eines schnellen Markteintritts mit entsprechender Wirkung auf die CO₂-Emissionen. In der Folge erreicht auch ein mit Wasserstoff betriebener Motor auf Antrieb einen sehr hohen Reifegrad, der dem Endanwender in jedem Use-Case gerecht wird. Insbesondere im schweren Nutzfahrzeug und in den Bereichen Agrar- und Industrieanwendungen (z.B. für Erdbewegung, Bagger, Kipper) stellt der Wasserstoffmotor ein ideales Substitut der bestehenden Dieselmotoren dar, das unter anderem neben Bauraum- und Reichweitenanforderungen auch der besonderen Bedeutung von Robustheit und allzeitiger Einsatzbereitschaft gerecht wird. Grundsätzlich gilt: Je höher die Reichweiten- und/oder die Lastanforderungen bzw. die Schwere der Einsatzbedingungen sind, desto mehr ist der Wasserstoffmotor geeignet, diese Anwendungen zu dekarbonisieren.



Energieeffizienz steht immer wieder im Fokus der Diskussionen. Insbesondere Brennstoffzellen wird ein besserer Wirkungsgrad gegenüber mit Wasserstoff betriebenen Hubkolbenmotoren zugeschrieben. An dieser Stelle ist ebenfalls die Betrachtung der Nutzungsszenarien sinnvoll. Ein Vergleich der Effizienz zwischen Brennstoffzellen und Wasserstoffmotoren zeigt die Abhängigkeit von der Anwendung und deren Lastprofil. Dabei ergibt sich ein Vorteil von Brennstoffzellenantrieben im Bereich geringer bis mittlerer Leistungsanforderungen, während sich bei hohen Leistungen die Effizienz annähert, beziehungsweise Vorteile zu Gunsten des Hubkolbenantriebes deutlich werden.

Ein weiterer Aspekt des Technologievergleichs betrifft die Kühlung der anfallenden Abwärmeströme. Der Brennstoffzellenantrieb führt im Vergleich zum Wasserstoffmotor zu einem höheren Wärmestrom in das Kühlwasser, was insbesondere im Zusammenhang mit dem niedrigeren Kühlwassertemperaturniveau in der Brennstoffzelle eine zusätzliche technische Herausforderung darstellt. Bei Wasserstoffmotoren kann hingegen das bewährte Kühlkonzept aus Dieselantrieben identisch weiterbetrieben werden. Aus diesen Gründen ist keine der Technologien pauschal als überlegen zu betrachten. Vielmehr sollte die Antwort lauten, dass es auf die Nutzung ankommt und letztlich gerade deswegen auch Technologieoffenheit das Maß der Dinge sein muss. Nur so wird eine gesamtheitlich optimale Reduzierung der CO₂-Emissionen im Transportsektor möglich. Daher setzt sich die Allianz Wasserstoffmotor e.V. mit Nachdruck für technologieoffene und synergetische Lösungsansätze ein.

Focus on Fuel Cell and H₂ Engine



Quelle: BOSCH - Wiener Motorensymposium 2021 - "H₂ ICE Powertrains for future on-road Mobility"


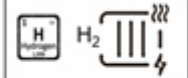
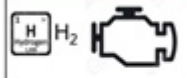
Kommerzielle Aspekte – Erfolgsfaktoren für Antriebe auf Wasserstoffbasis

Aufgrund des moderaten Entwicklungs- und Anpassungsbedarfs für die Umstellung moderner Dieselmotoren auf den Betrieb mit Wasserstoff ist auch die gesamtheitliche Betrachtung der Kosten für den Antriebsstrang eines damit ausgerüsteten Fahrzeuges attraktiv. Da sich die Anpassungen am Gesamtsystem, neben dem Tanksystem, maßgeblich auf die Einspritzung bzw. Einblasung und die Triebwerkskomponenten beschränken, sind auch die zusätzlichen Herstellkosten für die Fahrzeuge in Relation zu Brennstoffzellenantriebssystemen deutlich geringer.

Technologieoptionen für CO₂-neutrale Heavy-Duty Anwendungen



HD-LKW, 500km/Tag,
mind. 15t Nutzlast

	BATTERIE	H ₂ -BSZ	H ₂ -MOTOR
			
	900kWh (100€/kWh*)	200kW BSZ (~50€/kW*) 80kWh Batterie (100€/kWh)	H ₂ Motor
Anpassungsbedarf	+ Peripherie + E Powertrain	+ Peripherie + E Powertrain + H ₂ Tank	+ Powertrain + H ₂ Tank
Kosten Antriebssystem	~ 110-130 T€ *	~ 70-105 T€ *	~ 28-40 T€ *

* Kosten auf Basis von KIT Expertenanalyse Stand 2021

Quelle: KIT – Expertenanalyse Kostenvergleich für das Jahr 2030 für den Antriebsstrang CO₂-neutraler Technologieoptionen für Heavy-Duty Anwendungen

Mit Blick auf die Betriebskosten ist, im Verhältnis zu heutigen mit Diesel betriebenen Antriebssträngen, der Preis für die Kraftstoffe der bestimmende Faktor. Hier sind die aktuellen Unwägbarkeiten hinsichtlich der weiteren Entwicklung der CO₂-Steuern und der zu erwartenden Preisdegression für grünen Wasserstoff nur schwer zu bewerten. Ein weiterer wesentlicher Kosteneinfluss ist die diskutierte EU-weite und CO₂-basierte Straßennutzungsgebühr für schwere Nutzfahrzeuge. Je nach Ausgestaltung folgt daraus eine deutliche Steuerungswirkung zu Gunsten von CO₂-neutralen Antriebssystemen. Die Allianz Wasserstoffmotor e.V. vertritt hierzu die Position, dass Fahrzeuge mit der Einstufung als „Zero Emission Vehicle“ einheitlich von dieser Gebühr zu befreien sind, wie es heute bereits für elektrisch angetriebene Fahrzeuge bei der Lkw-Maut in Deutschland der Fall ist.

Hinzu kommt die im November 2021 in Brüssel während der „Hydrogen Week“ angekündigte Zielsetzung für das Jahr 2030, Wasserstoff für 1,8€/kg in Europa auf dem Markt zu etablieren.⁴

⁴ Quelle: Opening keynote by President von der Leyen at the European Hydrogen Week 2021 (European Commission Press Corner, 29.11.2021)

Der aktuelle Wasserstoffpreis an den Wasserstofftankstellen betrug in den letzten Jahren durchgängig und einheitlich 9,50€/kg (brutto). Die Preisfestlegung basiert auf einer freiwilligen Festlegung der Clean Energy Partnership (CEP) im Jahr 2010, mit dem Ziel, eine angenäherte Kostenparität zu konventionellen Kraftstoffen zu ermöglichen. Die CEP ist ein Zusammenschluss von Unternehmen aus den Bereichen Technologie, Energie, Gas- und Mineralölproduktion sowie Automobilindustrie, die gemeinsam den Aufbau einer grünen Mobilität mit Wasserstoff und Brennstoffzelle verfolgen.⁵ Dieses von der EU-Kommission angestrebte Preisniveau stellt eine deutliche Steigerung der Attraktivität des Energieträgers Wasserstoff in der Mobilität dar.

In Summe sind wasserstoffbasierte Antriebe, sowohl der Motor als auch die Brennstoffzelle, mit dieser Perspektive eine wirtschaftliche Lösung für den Transport- und Industriesektor. Die Allianz Wasserstoffmotor e.V. begrüßt ausdrücklich die Klarheit seitens der Europäischen Kommission zu einem Bekenntnis für die Notwendigkeit einer Wasserstoffinfrastruktur und der Unterstützung des Aufbaus von Produktion und Handel, um dieses Marktpreisziel zu erreichen.

Hinsichtlich der Wartung und Nutzung von Wasserstoffmotoren sind im Vergleich zum Dieselantrieb keine Unterschiede zu erwarten, so dass auch der Endanwender bestehende Infrastrukturen und Wartungsnetzwerke ohne größere Umstellungen weiter nutzen kann.

Klimaneutral = Null Emissionen?

Bei Emissionen muss allgemein zwischen klimaschädlichen Gasen wie CO₂ sowie Luftschadstoffen (wie z.B. Partikel oder NO_x) unterschieden werden.

Da über den Kraftstoff (grüner Wasserstoff vorausgesetzt) keine Kohlenstoffanteile mehr im Motor zu CO₂ umgesetzt werden, können mit dem Wasserstoffmotor, heutige übliche Schmierstoff- und AdBlue-Verbräuche vorausgesetzt, CO₂ Einsparungen von >98%⁶ im Vergleich zu aktuellen modernen Dieselmotoren erreicht werden.

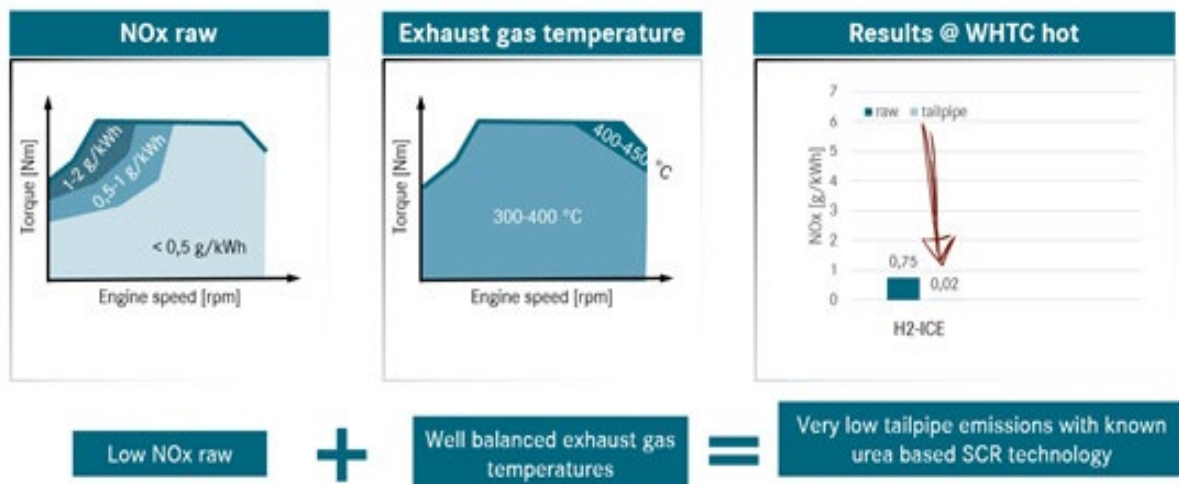
Aus diesem Grund unterstützt die Allianz Wasserstoffmotor e.V. den Vorschlag seitens der Arbeitsgruppen der EU-Kommission zu den CO₂-Emissionsbewertungsverfahren für Nutzfahrzeuge (VECTO), dass Fahrzeuge mit einem solchen Antrieb als klimaneutral beziehungsweise als sogenannte „Zero Emission Vehicles“ (ZEV) einzustufen sind.

⁵ Ergebnis der Förderung von Wasserstoff-Pkws durch die Bundesregierung – Kleine Anfrage der Fraktion BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN vom 27.07.2021 <https://dserver.bundestag.de/btd/19/317/1931761.pdf>

⁶ e-Mobil BW Studie (Juli 2021): Systemvergleich zwischen Wasserstoffverbrennungsmotor und Brennstoffzelle im schweren Nutzfahrzeug

Bei den Schadstoffen entsprechen die zu erwartenden Stickoxidrohmissionen nur noch einem Bruchteil des heute üblichen Rohemissionsniveaus eines hocheffizienten Dieselmotors. Da dieser über bestehende und in der Großserie erprobte, robuste Technologien zur Abgasnachbehandlung die gesetzlichen Vorgaben aktuell und aller Voraussicht nach auch in Zukunft erfüllt, ist das geringere Niveau der Rohemissionen von Wasserstoffmotoren zusätzlich von Vorteil.

Rough assessment of NO_x emissions for Hydrogen Internal Combustion Engine



Quelle: Daimler Truck

Der Wasserstoffmotor – Eine Chance für Wirtschaft und Gesellschaft

Der Transport von Waren und Gütern bildet das Rückgrat unserer heutigen Gesellschaft und ist damit Teil der kritischen Infrastruktur. Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Faktoren für Anschaffung als auch Betrieb muss auch die Wirkung auf die Gesamtkosten betrachtet werden. Der Wasserstoffmotor – und synergetisch die Brennstoffzelle in Anwendungen mit geringeren Leistungsanforderungen - ist die naheliegende Lösung für die Herausforderung des klimaneutralen Transports mit schweren Nutzfahrzeugen oder im Bereich der Agrar-, Bau- und Industrieanwendungen. Er kann dazu beitragen eine weiterhin bezahlbare Logistik von Gütern und Waren, eine sichere und zuverlässige Versorgung mit Lebensmitteln und somit die Sicherung des Grundbedarfs sicherzustellen. Hinzu kommen die hohe Zuverlässigkeit und die als selbstverständlich erachtete stete Einsatzfähigkeit von Rettungsfahrzeugen oder auch Sonderanwendungen, die aufgrund ihres Nutzungsprofils heute ohne einen autark, und jederzeit sicher funktionierenden Antrieb nicht denkbar sind. Als Beispiel dafür seien an dieser Stelle die besonderen Herausforderungen bzgl. Staub oder

Einsatztemperaturen genannt, die z.B. bei Agrar-, Bau- oder Industrieanwendungen oftmals hinzukommen. Diese Anforderungen werden durch den Wasserstoffmotor ideal erfüllt.

Die Transformation zu klimaneutraler Energienutzung in allen Sektoren stellt eine der größten Herausforderungen für die bestehende Wirtschaft und den daraus generierten Wohlstand dar. Bezogen auf den Sektor Transport und Mobilität sind nicht nur die Anforderungen durch die Diversifizierung der Antriebstechnologien gewachsen, sondern auch viele bestehende Investitionen und Arbeitsplätze gefährdet. Europaweit sind laut einer Studie von PWC im Auftrag des europäischen Branchenverbands der Automobilzulieferer CLEPA bis zu 500.000 Stellen betroffen. Insbesondere das Know-how in Deutschland zur Motorentechologie und die damit verbundene Industrie der Fahrzeughersteller als auch Zulieferer mit ihren Fachkräften sind ein sehr starker Wirtschaftsfaktor. In Anbetracht des vorhandenen Wissens und der Produktionsmittel ist die Nutzung des Wasserstoffmotors als weitere klimaneutrale Antriebsquelle eine große Chance für den Standort Deutschland und die EU. Neben weniger geopolitischen Abhängigkeiten in Bezug auf kritische Rohstoffe (wie z.B. Lithium) kann der technologische Wettbewerbsvorteil gegenüber anderen Weltregionen erhalten und im Sinne einer exportorientierten Wertschöpfung genutzt werden. Damit sichern wir Arbeitsplätze und Wohlstand und leisten gleichzeitig einen wichtigen Beitrag, um die ausgegebenen Klimaschutzvorgaben zu erreichen.

Die Erfüllung dieser Ziele möchte die Allianz Wasserstoffmotor e.V. unterstützen, fördern und durch die Expertise und Innovationsstärke der Mitglieder gestalten.