

E-Fuels, H2 und Co: Die Zukunft des Verbrennungsmotors?

10.9.2026 - Birgit Baustädter | Technische Universität Graz

In der Öffentlichkeit muss der Verbrennungsmotor Kritik einstecken. Gleichzeitig ist er unersetzlich, wenn hohe Leistungen und Reichweiten gebraucht werden - etwa im Langstrecken- und Schwerverkehr.

Ab 2035, so hat es die EU-Kommission 2020 beschlossen, sollen neue PKW und leichte Nutzfahrzeuge, die CO₂ ausstoßen, nur mehr mit hohen Strafzahlungen zugelassen werden können. Seit 2025 ist das Null-CO₂-Ziel wieder in Diskussion. Nach einem aktuellen Vorschlag der EU-Kommission könnten zehn Prozent des Reduktionsziels auch durch andere Maßnahmen, wie etwa durch die Verwendung von erneuerbaren Kraftstoffen, kompensiert werden.

Dennoch bleiben die CO₂-Ziele sehr ambitioniert und es stellt sich die Frage: Wie wird es mit dem Verbrennungsmotor weiter gehen? Wie sehr schadet er der Umwelt wirklich? Ist es eine Frage der Kraftstoffe? Und wofür brauchen wir den Verbrennungsmotor in Zukunft noch?

Wie funktioniert ein Verbrennungsmotor?

Starten wir mit den Grundlagen: Ein Verbrennungsmotor wandelt die chemische Energie eines Kraftstoffs in Bewegungsenergie um. Dazu wird beim Ottomotor ein Kraftstoff-Luft-Gemisch in einer Brennkammer verdichtet und durch den Funken einer Zündkerze entzündet, während beim Dieselmotor Luft verdichtet wird und die Verbrennungseinleitung durch die Selbstzündung des eingespritzten Kraftstoffs erfolgt. Der bei der Verbrennung entstehende Gasdruck bewegt einen Kolben und die resultierende Auf- und Abwärtsbewegung wird mittels eines Kurbeltriebs in eine Drehbewegung umgesetzt.

Erfunden wurden verschiedene Ausführungen des Verbrennungsmotors in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts: Die heute zumeist angewendeten Arbeitsprinzipien des Otto- und des Dieselmotors wurden von Nikolaus August Otto (1876) beziehungsweise von Rudolf Diesel (1893) patentiert.

Welche Kraftstoffe nutzen Verbrennungsmotoren?

Verbrennungsmotoren werden bislang vorwiegend mit Kraftstoffen aus fossilen Quellen betrieben. Dazu gehören etwa die aktuell an den Tankstellen erhältlichen Kraftstoffe Diesel, Benzin und Erdgas für Autos, LKW und ähnliche Fahrzeuge. Aber auch Schweröle, die in großem Umfang für den Antrieb von Schiffen eingesetzt werden, können in Verbrennungsmotoren verbrannt werden. All diese Kraftstoffe haben gegenüber den aktuell bereits verfügbaren Alternativen vor allem den Vorteil, dass sie mit geringem Energieaufwand und damit kostengünstig aus Erdöl gewonnen werden können.

Welchen Wirkungsgrad haben Verbrennungsmotoren?

Der Wirkungsgrad bei einem Verbrennungsmotor variiert je nach eingesetztem Kraftstoff und konkreter Art des Motors. Ein Ottomotor mit Benzin hat unter idealen Bedingungen einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 35 bis 45 Prozent. Ein Dieselmotor zwischen 45 und 50 Prozent und ein Wasserstoffmotor bis zu 50% Prozent. Dem gegenüber hat ein Elektromotor unter

idealen Bedingungen und am Bestpunkt einen Wirkungsgrad von 94 bis 99 Prozent. Neben dem Wirkungsgrad ist für die praktische Anwendung – wie insbesondere für die erreichbare Reichweite – aber vor allem auch die Speicherdichte des eingesetzten Kraftstoffs bzw. der Batterien entscheidend.

Der Wirkungsgrad an sich beschreibt, wie viel der zugeführten Energie für die tatsächliche Arbeit genutzt werden kann. Also wie viel Energie in den Antrieb eines Fahrzeuges gesteckt wird und wie viel Energie etwa durch Reibung und Abwärme verloren geht.

Die bei der Verbrennung von konventionellen Kraftstoffen entstehenden Abgase enthalten zum einen die sogenannten Luftschadstoffe, wie etwa Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe sowie Stickoxide. Zum anderen entstehen aber auch Treibhausgase, insbesondere CO₂. Seit der Einführung der Katalysatorpflicht bei Ottomotoren in den 80er Jahren konnte sowohl durch Verbesserungen beim Verbrennungsvorgang selbst als auch durch die intensive Weiterentwicklung der Abgasnachbehandlungstechnologien (3-Wege-Katalysator, Partikelfilter, SCR-Technologie zur Stickoxidreduktion, etc.) der Ausstoß von Luftschadstoffen signifikant reduziert werden. Ebenso gelang es, die Wirkungsgrade der Motoren maßgeblich zu steigern, womit unmittelbar auch niedrigere CO₂-Emissionen einhergehen. Vor allem in den letzten Jahren habe sich sehr viel getan, bestätigt Andreas Wimmer, Forscher am Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme an der TU Graz und langjähriger Leiter des Large Engine Competence Centers LEC: „Gerade bei den Themen Wirkungsgrad und Emissionen haben die intensiven Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der vergangenen Jahre extrem viel bewirken können. Wir sprechen mittlerweile sogar schon davon, dass sich mit Verbrennungsmotoren „Zero-Impact“ erreichen lässt – also Emissionsniveaus, die praktisch keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt mehr haben.“

Die Kraftstoffe sind der primäre Schlüssel, um Motoren klimaneutral zu machen.

Helmut Eichlseder

Trotzdem sind und bleiben die Abgase von konventionell betriebenen Verbrennungsmotoren ein kritisch betrachtetes Thema, dem man mit weiteren Verbesserungen bei den Abgasnachbehandlungstechnologien und Kraftstoffen aus erneuerbaren Quellen entgegentreten möchte. „Die Kraftstoffe sind der primäre Schlüssel, um Motoren klimaneutral zu machen. Das Antriebssystem – egal ob batterieelektrisch betrieben oder mit Wasserstoff und sonstigen Alternativen – ist nicht entscheidend. Vielmehr geht es um die Frage, woher die Energie kommt, die wir für die Erzeugung des jeweiligen Energieträgers einsetzen. Das wird sehr häufig, auch in der Gesetzgebung, vergessen“, fasst Helmut Eichlseder zusammen, der viele Jahre das Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme geleitet hat und nach wie vor dort forscht.

Christian Trapp ist Helmut Eichlseders Nachfolger am Institut für Thermodynamik und Nachhaltige Antriebssysteme. Im Interview erklärt er, was einen Motor für ihn schön macht.

Wo werden Verbrennungsmotoren heute eingesetzt?

Bevor wir uns den alternativen Kraftstoffen widmen, lohnt sich ein Blick darauf, wo der Verbrennungsmotor heute eingesetzt wird.

Konventionell betriebene Verbrennungsmotoren kommen heute nach wie vor im Großteil der aktiven PKW zum Einsatz. Von rund 5,3 Millionen in Österreich zugelassenen PKW werden etwa 2,2 Millionen ausschließlich mit Benzin und etwa 2,4 Millionen ausschließlich mit Diesel betrieben. Circa 440.000 PKW haben einen Hybridantrieb, bei dem Elektro- und konventioneller Verbrennungsmotor zusammenarbeiten. Eine gute Alternative stellen E-Fahrzeuge dar. Sie können aber nicht überall eingesetzt werden.

Neben dem Einsatz im PKW-Bereich gibt es aber viele weitere Anwendungen, in denen Verbrennungsmotoren zum Einsatz kommen: Das reicht von handgehaltenen Arbeitsgeräten bis hin zu den riesigen Containerschiffen.

Wie Containerschiffe klimafreundlicher betrieben werden können, haben Forschende von TU Graz und LEC gemeinsam im Projekt CCS on Ships gezeigt. Nachzulesen im News-Artikel [CO₂-Abscheidung an Bord von Schiffen als wertvolle Übergangstechnologie](#)

Brauchen wir auch in Zukunft Verbrennungsmotoren?

Vor allem überall dort, wo hohe Leistungen und gleichzeitig hohe Reichweiten gebraucht werden, sind rein batterieelektrische Antriebe noch keine gute Alternative. Mit den aktuell verfügbaren Speicherdichten würden die benötigten Akkus die Platzkapazitäten weit überschreiten. Deshalb werden etwa für Hochseeschiffe, Lokomotiven und im Bergbau auch in Zukunft Verbrennungsmotoren notwendig sein. In diesen Fällen sind sogenannte Großmotoren, die neben den Anwendungen im Transportbereich auch in Kraftwerken zur Erzeugung von Strom und Wärme eingesetzt werden, in Verwendung. „Der Brennraum der größten Vertreter dieser Motorenkategorie bietet locker Platz für zwei Personen, die gemütlich drinnen stehen und einen Snack zu sich nehmen können“, beschreibt Andreas Wimmer schmunzelnd die Dimensionen der Großmotoren. Großmotoren arbeiten im Grunde wie herkömmliche PKW-Motoren, aber mit einem spezifisch auf die Motorengröße und den verwendeten Brennstoff ausgerichteten Brennverfahren.

Der Artikel [Mit neuen Kraftstoffen zu klimaneutraler Schifffahrt](#) beschäftigt sich mit neuen Kraftstoffen in der Schifffahrt. Und der Artikel [Erst ein Megawatt ist stark genug](#) erkundet die Frage: Sind elektrisch betriebene Großmotoren möglich?

Für alle Anwendungen von Verbrennungsmotoren bleibt das Grundproblem: Kraftstoffe aus fossilen Quellen sind ohne geeignete Maßnahmen zur Abscheidung und Speicherung des entstehenden CO₂ nicht klimaneutral. Also wird für jene Bereiche, wo der Verbrennungsmotor unverzichtbar bleibt, an Alternativen geforscht.

Welche alternativen Kraftstoffe gibt es?

Zu den Alternativen für fossile Kraftstoffe zählen neben den Biokraftstoffen vor allem die sogenannten E-Fuels.

Was sind E-Fuels?

E-Fuels sind mittels elektrischer Energie erzeugte Kraftstoffe wie etwa Wasserstoff, Ammoniak, Methanol sowie benzin- und dieselähnliche synthetische Kraftstoffe. Sie sind klimaneutral, wenn sie mit Strom aus nachhaltigen Energiequellen erzeugt werden. Abhängig von der Kraftstoffart können sie mit mehr oder weniger großen Adaptionen in herkömmlichen Verbrennungsmotoren eingesetzt werden.

Ist Wasserstoff ein guter Kraftstoff?

Auch Wasserstoff lässt sich zu den E-Fuels zählen, wenn er mittels Elektrolyse aus Wasser erzeugt wird. „Wasserstoff ist eigentlich das erste E-Fuel überhaupt, wenn man so will“, erklärt Helmut Eichlseder. Wird für seine Herstellung Wind-, Sonnen- oder Wasserkraft genutzt, dann ist er sowohl in Produktion als auch Verbrennung nachhaltig und CO₂-neutral. Allerdings braucht es im Vergleich zu anderen E-Fuels ein spezifisches Motorenkonzept. Dieses basiert aber auf konventionellen

Motoren, kann auf deren Produktionseinrichtungen gefertigt und in bestehende Fahrzeugarchitekturen integriert werden. Und auch an die Speicherung bzw. an das Tanksystem stellt Wasserstoff hohe Ansprüche. Wird er beispielsweise flüssig gelagert, so muss Wasserstoff auf etwa Minus 250 Grad Celsius gekühlt und in hochisolierten Tanks gespeichert werden.

An der TU Graz ist das Thema Wasserstoff-Antrieb seit vielen Jahren fest verankert. Helmut Eichlseder: „Wir haben bereits vor 25 Jahren begonnen, uns damit wissenschaftlich zu beschäftigen. Ursprünglich als Treibstoff für Verbrennungsmotoren, mittlerweile bilden aber auch Brennstoffzellen ein wichtiges Forschungsfeld.“ Über die Jahre entwickelte sich daraus am Institut ein eigener Forschungsschwerpunkt und recht bald mit dem HyCentA ein eigenes Wasserstoff-Kompetenzzentrum.

Die größte Hürde für die Nutzung von Wasserstoff ist derzeit, dass nicht ausreichend Energie aus nachhaltigen Quellen zur Verfügung steht, um ihn großflächig als Kraftstoff einzusetzen. „Wasserstoffmotoren sind aber schon heute in vielen Demonstrationsfahrzeugen und -projekten in Betrieb und beweisen ihre Eignung selbst für härteste Anforderungen wie beispielsweise dem Rennsport oder Heavy-Duty-Anwendungen“ erklärt Eichlseder.

Andreas Wimmer ergänzt: „Alternative Kraftstoffe wie Wasserstoff, Methanol und Ammoniak und die entsprechenden Motorenkonzepte sind im Bereich der Großmotoren derzeit unser Hauptforschungsfeld. Wir haben am COMET K1 Zentrum LEC vor kurzem einen sogenannten Zero-Impact-Demonstrator in Betrieb genommen – ein Motorenkonzept, das praktisch keine Auswirkungen auf die Umwelt hat.“ Dabei handelt es sich um einen Wasserstoffmotor, der in Kombination mit einer leistungsfähigen Abgasnachbehandlung keine Emissionen von Treibhausgasen oder sonstigen Schadstoffen produziert.

Ist Ammoniak ein guter Kraftstoff?

Eine Alternative zu Wasserstoff ist unter anderem Ammoniak. An dessen Verwendungsmöglichkeiten wird derzeit am LEC und der TU Graz intensiv geforscht, wie Andreas Wimmer berichtet: „Ammoniak wird meiner Einschätzung nach in Zukunft vor allem für den Energietransport eine entscheidende Rolle spielen, weil er wie Wasserstoff ein kohlenstofffreier Kraftstoff ist, jedoch im Vergleich dazu eine wesentlich höhere Energiedichte aufweist.“ Auch für Ammoniak muss ein spezifisches Brennverfahren entwickelt werden, um ihn in einem Motor als Brennstoff einsetzen zu können. Zusätzlich braucht es eine effiziente Abgasnachbehandlung, weil beim Verbrennen von Ammoniak größere Mengen Stickstoffoxid entstehen.

Neben Ammoniak stellt auch Methanol eine sinnvolle Variante dar, um Wasserstoff effizient zu transportieren. Hierbei ist es allerdings notwendig, den CO₂-Kreislauf mit effizienten Carbon-Capture-Systemen zu schließen.

Auch nicht ganz auf den ersten Blick naheliegende Optionen werden erforscht, wie im Artikel Flugzeugtreibstoff aus Tomatenresten: TU Graz koordiniert visionäres EU-Projekt nachzulesen ist.

Wie sieht die Zukunft der Verbrennungsmotoren also aus?

Vor allem ist sie mit viel Forschung verbunden, um die Motoren nachhaltiger, effizienter und schadstoffärmer betreiben zu können. Verschwinden wird der Verbrennungsmotor aber nicht – auch darüber sind sich die Wissenschaftler einig: „Insbesondere bei Großmotoren gibt es zum Verbrennungsmotor derzeit praktisch keine Alternative. Das aktuell wichtigste Ziel ist es, Klimaneutralität über den eingesetzten Kraftstoff zu erreichen“, stellt Andreas Wimmer fest. Er ergänzt aber: „Die größte Herausforderung wird in der Energiebereitstellung für die Herstellung

der Kraftstoffe liegen. Dafür werden wir enorme Mengen an erneuerbarer Energie aus Sonnen-, Wind- und Wasserkraft benötigen.“

„Wir müssen für die jeweilige Anwendung die richtige Technologie einsetzen und nicht per Definition auf bestimmte Technologien verzichten“, fasst Eichlseder seine Vision eines zukünftigen Verkehrs- und Transportsystems zusammen. „Das demonstrieren einige Regionen, insbesondere in Asien schon sehr gut. In Europa passiert mir in Bezug auf Technologieoffenheit derzeit noch zu wenig.“ Er ergänzt: „Ich befürworte eine Sicht, die die gesamte Wirkung einer Technologie betrachtet, nicht nur den reinen Betrieb. Ich muss vor allem die Herstellung des Kraftstoffes einbeziehen, aber genauso der Fahrzeuge und Energiespeicher und deren Entsorgung. Solche gesamthaften Lifecycle-Analysen und deren Berücksichtigung in der Gesetzgebung wären wichtig und wir haben uns am Institut bereits intensiv damit auseinandergesetzt.“

Am Rollenprüfstand der TU Graz können unterschiedlichste Fahrzeuge von Moped bis LKW auf ihre Emissionen untersucht werden. Nachzulesen im Artikel Völlig von der Rolle.

<https://www.tugraz.at/news/artikel/die-zukunft-des-verbrennungsmotors>