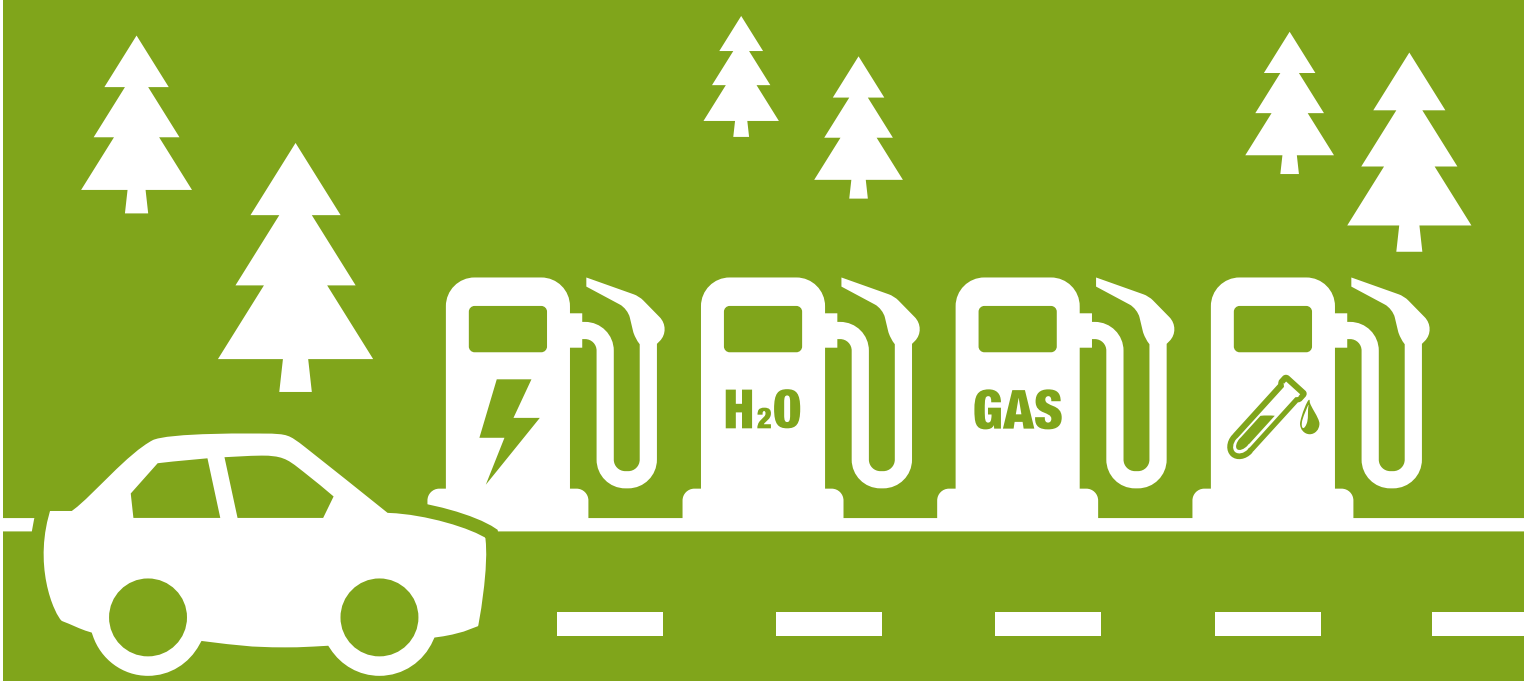
11.10.2019 | www.magazin-forum.de | Beilage zu FORUM-Ausgabe 42

FORUM
DAS WOCHENMAGAZIN

36 Seiten Sonderbeilage

ALTERNATIVE ANTRIEBE

Die Automobilwelt setzt weiter vorrangig auf fossile Brennstoffe. Dabei gibt es Alternativen. Doch welche setzt sich durch?



Victor's
SEEHOTEL WEINGÄRTNER
BOSTALSEE
★ ★ ★ ★

Saarländisch „GUDD GESS“

Zwei Dinge zeichnen das kleine Saarland besonders aus: seine großzügige Gastfreundschaft und seine großartige Küche. Die Weingärtners vereinen beides in absoluter Perfektion – erleben Sie es selbst und freuen Sie sich auf:

- zwei Übernachtungen inklusive Frühstück
- zwei Abendessen als 3-Gang-Menü, davon ein Menü mit original saarländischen Spezialitäten
- eine Flasche Mineralwasser bei Anreise auf dem Zimmer
- einen kuscheligen Bademantel auf dem Zimmer
- stilvolle Entspannung im Schwimmbad mit Whirlpool, Sauna und Dampfbad

Vorspeise
Grumbeersupp mit Lyoner

Hauptgericht
Hoorische mit Specksauce, dazu ein Salatteller und Mirabellen

Dessert
Apfelküchlein mit Zimt und Zucker, serviert mit Vanille-Eiscreme

Mhhh … köstlich!

SAAR LAND CARD

Die Saarland Card bietet Ihnen freien Eintritt zu mehr als 85 Attraktionen und die kostenlose Nutzung von Bus und Bahn.
www.card.saarland

€ 174 p. P. im Classic-DZ
€ 223 im Classic-EZ
Weitere Zimmerkategorien auf Anfrage

Ganzjährig gültig – ausgenommen Ostern, Weihnachten und Silvester

Bostalstraße 12 · D-66625 Nohfelden-Bosen · Telefon +49 6852 889-0 · Fax +49 6852 81651 · info.nohfelden@victors.de · www.victors.de
Ein Unternehmen der Victor's Residenz-Hotels GmbH · Kurfürstendamm 100 · D-10709 Berlin.

22 Toyota und Hyundai setzen wie auch die Chinesen auf Wasserstoff

30 Ineratec stellt synthetische Kraftstoffe her

Alternative Antriebe

ANTRIEBSTECHNIKEN IM VERGLEICH

Mit welchen Motoren werden unsere Autos in Zukunft fahren? Ein grober Überblick. **4**

FILTER FÜR DEN EURO 5

Fahrverbote für Diesel gibt es bisher nur in wenigen Städten, doch das könnte sich ändern. Zumindest für viele Euro-5-Wagen gibt es jetzt Nachrüstsysteme. Die haben ihren Nutzen – und Nachteile. **8**

E-Mobilität

EIN ERWACHSENES E-MOBIL

Hyundai spendiert seinem Mittelklassemodell Ioniq eine Elektrovariante, mit der man bis zu 300 Kilometer weit kommen kann. **10**

ALLES NUR SCHÖNER SCHEIN?

E-Autos sind ein Segen für die Umwelt, sagen die einen. Sie sind aus ökologischer Sicht nicht sinnvoll, sagen die anderen. Wer hat recht? **12**

EINFACH EINFACH

Der e.Go Life verzichtet auf Verzichtbares und kommt mit Heckantrieb. Im Fahrtest überrascht Deutschlands billigster Stromer. **14**

E-TANKEN AUF DEM ASPHALT

Die Oberleitungen über einer Autobahn wirken skurril. Doch das Projekt auf der A5 könnte zukunftsweisend sein für einen weniger klimaschädlichen Güterverkehr auf der Straße. Für den ersten deutschen eHighway ist in Hessen der Startschuss gefallen. **18**

Wasserstoff

DAS HENNE-EI-PRINZIP

Fachleute schwärmen vom Potenzial der Brennstoffzellentechnik. Umweltexperten kritisieren dagegen den niedrigen Wirkungsgrad. **20**

ELEKTRISIERENDER STOFF

China setzt künftig auf Wasserstoff. Deutschland droht wieder einmal eine Entwicklung zu verschlafen. **22**

ELEKTRO-SUV MIT BRENNSTOFFZELLE

Der Hyundai Nexo ist ein Brennstoffzellenauto, das Strom selbst produziert. Wie schlägt sich der Wasserstoff-SUV im Alltag? **24**

Gas

MIT VOLLGAS IN DIE ZUKUNFT?

Autogas und Erdgas führen als Kraftstoffe für Autos in Deutschland ein Nischendasein. **28**

Synthetische Kraftstoffe

ZAUBERFORMEL E-FUELS

Autos mit Verbrennungsmotor könnten heute schon klimaneutral fahren – mithilfe synthetischer Kraftstoffe. **30**

FORUM
DAS WOCHENMAGAZIN

Verlag:
FORUM Agentur für Verlagswesen, Werbung, Marketing und PR GmbH, Deutschmühlental, Am Deutsch-Französischen Garten, 66117 Saarbrücken, Telefon 0681-93613-2
Geschäftsführung: Susanne Kleehaas (V.i.S.d.P.)
Verlagsleitung: Dr. Bernd Coen
Redaktionelle Umsetzung: Jörg Heinze
Layout: Saskia Bommer
FORUM erscheint wöchentlich freitags.
Der Einzelverkaufspreis beträgt 3,30 Euro.

FOTOS: TOYOTA — PICTURE ALLIANCE / MARIJAN MURAT / DPA

ANTRIEBSTECHNIKEN **IM VERGLEICH**

FOTO: PICTURE ALLIANCE / IMAGEBROKER

Mit welchen Motoren werden unsere Autos in Zukunft fahren? Und wie lange braucht man Brückentechnologien auf dem Weg zu wirklich sauberer Mobilität? Tatsächlich gibt es heute bereits viele Arten, ein Auto anzutreiben. Sie sind mal mehr, mal weniger ökologisch. Ideal ist keine, alle haben ihre Vor- und Nachteile. **Ein grober Überblick**.

Obwohl klar ist, dass Benziner und Diesel massiv Schadstoffe ausstoßen, greifen Käufer kaum zu alternativen Antrieben.

VERBRENNER I: DER DIESELMOTOR

Der vor allem in Deutschland populär gewordene Antrieb, 1892 von Rudolf Diesel zum Patent angemeldet, gilt als Jahrhundert-Erfindung. Er schuf eine Grundlage für den modernen Auto-, Schiffs- und Schienenverkehr. Der Diesel heißt auch Selbstzünder, weil sich der unter hohem Druck in den Zylinder eingespritzte Kraftstoff von allein entflammt. Viele solcher Motoren sind daher im Vergleich zu Benzinern mit ähnlicher Leistung effizienter. Und ihr Verbrauch ist tendenziell geringer. Deshalb stoßen Diesel oft geringere Mengen des Klimagases Kohlendioxid (CO_2) aus. Dafür sind die Emissionen von Luftschadstoffen wie Stickoxiden (NOx) höher – ein Problem, das die Industrie durch moderne Katalysatoren-Technik eindämmen will.

So verringert etwa die Beimischung des harnstoffhaltigen AdBlue den NOx-Anteil, es entstehen harmloser Stickstoff und Wasser. Das Problem: Seit bekannt geworden ist, dass Automobilhersteller systematisch die Abgaswerte mittels Software manipuliert haben, hat der Diesel ein Imageproblem und damit auch ein Wiederverkaufsproblem. Zudem drohen oder gibt es vereinzelt bereits Fahrverbote in Innenstädten.

VERBRENNER II: DER OTTOMOTOR

Das ist der klassische Benziner, der seinen Namen seinem Co-Erfinder Nicolaus August Otto verdankt. Im Gegensatz zum Diesel benötigt er gesonderte Zündkerzen, durch die das zerstäubte Treibstoffgemisch zur Explosion gebracht wird. Bei vergleichbarer Stärke haben insbesondere ältere Benziner einen geringeren Wirkungsgrad als der selbstzündende Diesel – also ein ungünstigeres Verhältnis zwischen am Ende nutzbarer und zuvor eingesetzter Energie. Moderne Varianten sind aber deutlich effizienter. Der Trend zum sogenannten neudeutschen Downsizing brachte kleinere Hubräume in den Zylindern bei zugleich höherer Leistung. Die (Super-)Kraftstoffe sind wie beim Diesel Gemische aus mehreren Kohlenwasserstoffen, die aus Erdöl durch Verarbeitung gewonnen werden. Ihre Zusammensetzung ist jedoch anders. Benziner-Typen, in denen die Verbrennung nicht so effizient läuft, haben tendenziell einen höheren CO_2-Ausstoß.

VERBRENNER III: DER GASMOTOR

Das Funktionsprinzip ist dasjenige der übrigen Verbrennungsmotoren, nur dass hier Luft und Erdgas anstelle von Luft und flüssigem Sprit im Zylinder gezündet werden. Die Gase reagieren dabei oft „sauberer“ und effizienter, so dass viele Gasmotoren eine gute Umweltbilanz aufweisen. Einige Fahrzeuge laufen auch mit Autogas (LPG), manche können wahlweise mit Gas oder mit herkömmlichem Sprit fahren. Problem: Bei Fahrzeugen, die sowohl mit Autogas als auch herkömmlichem Benzin fahren, merkt man sehr deutlich den geringeren Wirkungsgrad des Gases, was einige PS an Motorleistung kostet. Dadurch ist auch der Verbrauch an Gas höher als mit Benzin. Zudem benötigen mit Erdgas oder LPG betriebene Fahrzeuge ein sogenanntes Additiv, da schmierende Eigenschaften wie beim Benzin fehlen. Ohne Additiv kön-

FOTO: PICTURE ALLIANCE / HANS RINGHOFFE GRAFIK: PICTURE-ALLIANCE/ DPA-INFOGRAFIK — PA/OBS ADAC

nen die Ventilsitze zu stark beansprucht und somit beschädigt werden. Beides verringert das Einsparpotenzial gegenüber dem Benzinpreis, das aber insbesondere bei LPG dennoch beachtlich bleibt.

DER ELEKTROMOTOR

Er braucht keine flüssigen oder gasförmigen Treibstoffe, sondern erzeugt seine Antriebskraft aus einer mitgeführten Batterie. Die muss regelmäßig neu aufgeladen werden. Elektrische Energie wird hier also direkt in Bewegungsenergie umgewandelt. Das Problem: Günstigere Batterien bringen heute noch keine großen Reichweiten. Und generell sind E-Autos bisher relativ teuer. Manche Hersteller wollen nun auch Modelle unterhalb der Oberklasse anbieten, die schon einige hundert Kilometer schaffen. Während es in Großstädten dichte Ladenetze gibt, ist die Abdeckung auf dem Land noch dünn. Beim Elektromotor entstehen keine Emissionen, weil er keine Treibstoffe verbrennt. In der Ökobilanz ist aber zu beachten, dass auch die Art der Erzeugung des eingespeisten Stroms (erneuerbare oder fossile Quellen) sowie die Rohstoffe für Batterie und Motor (etwa sogenannte Seltene Erden) berücksichtigt werden müssen. Auch die Entsorgung alter Batterien und darin enthaltener problematischer Stoffe mindern die vermeintlich positive Bilanz.

DER HYBRIDMOTOR

Er kombiniert einen Elektro-Antrieb, der meist im unteren Leistungsbereich läuft, mit einem Verbrenner, der sich zuschaltet. Es gibt auch hier mehrere Formen. Manche Hybride gewinnen den Strom für den Elektromotor während des Fahrens – etwa durch die Nutzung der Energie, die beim Bremsen entsteht. Man spricht hier von Rekuperation. Gebräuchlicher ist inzwischen der sogenannte Plug-in-Hybrid, dessen Batterie wie bei einem reinen E-Fahrzeug per Stecker aufgeladen wird. Aktuell ist diese Variante zumindest auf kurze Sicht die zukunftsträchtigste.

DER BRENNSTOFF-ZELLENMOTOR

Er ist eine besonders einfache und zugleich umweltfreundliche Antriebsart. Grundprinzip ist meist die Verbrennung von Wasserstoff (H_2) mit Sauerstoff (O_2) zu Wasser – also das, was der Chemielehrer „Knallgas-Reaktion" nennt. Im Brennstoffzellen-Auto läuft dies aber kontrolliert ab.

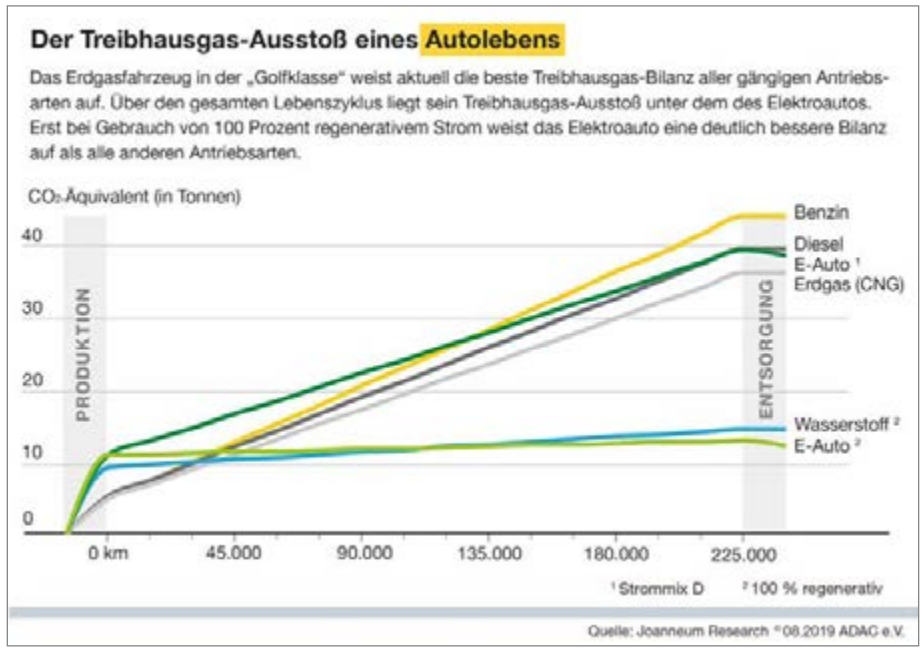
Die erzeugte Energie treibt einen Elektromotor an. Der Vorteil: Außer Wasserdampf, der ein natürliches Treibhausgas ist, kommt nichts aus dem Auspuff. Nachteile des Wasserstoffantriebs: Die Technik ist bisher recht teuer. Und wie beim E-Auto muss man sich die gesamte Energiebilanz ansehen. Reinen Wasserstoff gibt es auf der Erde wenig, man muss ihn erst – oft durch starke Energiezufuhr von außen – aus Verbindungen lösen. Dabei kann dann CO_2 entstehen. Es gibt jedoch auch Brennstoffzellen-Fahrzeuge, die mit dem einfachen Alkohol Methanol fahren.

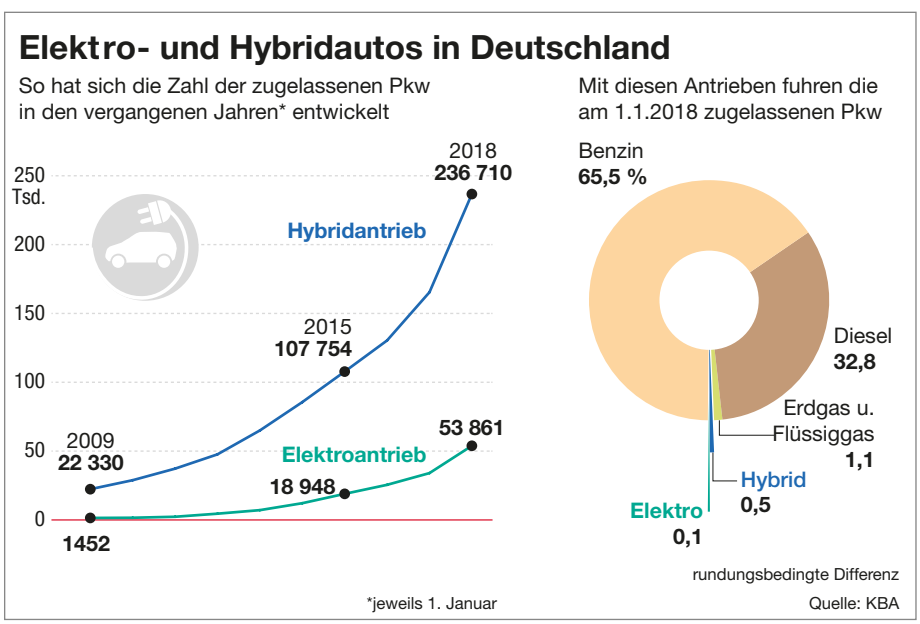
Das größte Problem ist weniger der Sicherheitsaspekt dieser Technik, als vielmehr das noch sehr dünne Tankstellen-Netz mit etwa 70 bundesweit.

DIE FERNERE ZUKUNFT: DAS SOLARAUTO

Fahrzeuge, die ihren Elektromotor direkt aus mit Solarzellen eingefangener Sonnenenergie speisen, sind bislang meist Prototypen oder der Forschung vorbehalten. Einige Experten glauben, dass der Solarantrieb für spezielle Anwendungen durchaus ein Konzept der Zukunft sein könnte – auch bei Schiffen und Flugzeugen.

Jan Petermann





Filter für den Euro 5

Fahrverbote für Diesel gibt es bisher nur in wenigen Städten, doch das könnte sich ändern. Zumindest für viele Euro-5-Wagen gibt es jetzt **Nachrüstsysteme**. Die haben ihren Nutzen – und Nachteile.

Fahrverbote sind ein Schreckgespenst für Besitzer vieler Diesel-Autos. Jahrelang wurde die Diesel-Technologie als saubere Variante angepriesen, und viele Käufer haben sich darauf verlassen. Nachdem einige Hersteller mit Schummeleien bei den Abgaswerten aufgeflogen sind, hat der Diesel ein massives Imageproblem – und die Besitzer mit massiven Wertverlusten zu kämpfen. Viele werden ihre teuer gekauften Fahrzeuge nicht mehr zu einem vernünftigen Preis los. Nachrüstungssysteme sollen jetzt Millionen dieser Fahrzeuge sauber genug machen, damit sie auch in die Verbotszonen einfahren dürfen. Die ersten sind bald flächendeckend verfügbar. Nur: Wer braucht sie?

Bisher gelten lediglich in einigen Städten Fahrverbote: in Hamburg oder Darmstadt etwa für einzelne Straßenabschnitte, in Stuttgart für den Bereich der aktuellen Umweltzone. In der baden-württembergischen Landeshauptstadt sind bislang nur Euro-4-Diesel und schlechter betroffen. Es wird allerdings über eine Ausweitung auf Euro 5 nachgedacht. In Hamburg und Darmstadt gilt das Verbot auch für Euro-5-Fahrzeuge. In weiteren Städten drohen in den kommenden Monaten und Jahren räumlich begrenzte Diesel-Fahrverbote. Voraussichtlich im Oktober sollen in Berlin erste Verbote gelten. Eine Übersicht zu Regelungen (siehe Infokasten) in einigen Städten hat der ADAC im Internet zusammengestellt.

Für Euro-5-Diesel-Modelle mehrerer Marken, etwa VW und Volvo, gibt es Nachrüstungssätze. Das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) hatte im Juli und August mehrere Systeme genehmigt und Listen mit Auto-Modellen veröffentlicht, die mit diesen ausgestattet werden können – darunter etwa Mercedes C220 und C250 cdi oder verschiedene VW-Modelle mit Motoren bestimmter Baujahre. Die ausführlichen Listen gibt es online (siehe Infokasten). Autos mit Euro-4-Norm oder schlechter können bislang nicht nachgerüstet werden.

Hersteller Baumot wird die ersten Seriensysteme voraussichtlich im Oktober ausliefern. Entsprechend erwarte man mit Beginn des vierten Quartals eine flächendeckende Nachrüstung, teilt die Firma auf Anfrage mit. Baumot hat vom KBA eine Betriebserlaubnis für Nachrüstsysteme für mehr als 60 Modelle des VW-Konzerns erhalten, darunter auch Autos von Skoda, Audi und Seat. Der Bamberger Technologie-Anbieter Dr Pley, der vom KBA schon Betriebserlaubnisse für Volvo- und Mercedes-Modelle bekommen hat, teilt mit, dass die Systeme ab Ende Oktober verfügbar seien.

Die wichtigste und zugleich schwierigste Frage ist, wer die Nachrüstungen braucht. Denn wo bisher Euro-5-Verbote gelten, sind nur Straßenabschnitte betroffen. Die ließen sich in der Regel noch umfahren, sagt Constantin Hack

INFO

Weiter Infos unter:
www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/abgas-diesel-fahrverbote/fahrverbote

www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/abgas-diesel-fahrverbote/fahrverbote/hardware-nachruestungen

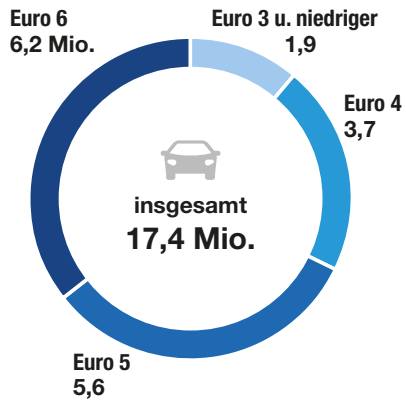
www.kba.de/DE/Typgenehmigung

FOTO: PICTURE ALLIANCE / MARIJAN MURAT / DPA GRAFIK: DPA-INFOGRAFIK

Bislang sind Euro-5-Diesel von Fahrverboten meist noch ausgenommen. Das kann sich aber ändern.

Diesel-Pkw auf Deutschlands Straßen

Zugelassene Diesel-Pkw in Deutschland nach Schadstoffgruppen



Quelle: CAR-Institut, Universität Duisburg-Essen

vom Auto Club Europa (ACE). Doch sollte etwa in Stuttgart, wo der ACE sitzt, in der City ein Verbot für Euro-5-Diesel kommen, droht vielen Haltern ein großes Problem. „Wie kommen sie dann zur Arbeit oder nach Hause?“ Dann sei der Druck zur Nachrüstung größer. Hack sagt: „Momentan braucht es zwingend noch niemand.“

Bei flächendeckenden Verboten könnte sich das aber ändern. Generell sei der ACE für die Nachrüstungen: „Um die Luft sauberer zu halten und weil das dann auch weiteren möglichen Verbotszonen vorbeugt.“ Diese könnten kommen, wenn die Schadstoff-Grenzwerte in den betroffenen Städten weiter nicht eingehalten werden.

Vereinfach gesagt reinigen die Systeme Abgase mithilfe des Harnstoffs Adblue. Die Autos sollen konkret weniger Stickoxide (NOx) ausstoßen: nach Vorgaben des KBA nicht mehr als 270 Milligramm je Kilometer im Realbetrieb. Die Systeme haben keinen Zugriff auf die Motorsteuerung, erläutert Hack. Das habe die Entwicklung für die Nachrüster schwierig gemacht. Die Systeme müssen die Abgase, die aus dem Motor kommen, also nachträglich filtern, um die Vorgaben zu erfüllen.

Aus einem Euro-5-Diesel wird damit kein Euro-6-Diesel. „Das Auto bleibt in der bestehenden Euro-Norm“, erklärt Hack. Halter bekommen einen Eintrag in den Fahrzeugschein (Zulassungsbescheinigung Teil 1). Dieser bestätigt den Einbau des Nachrüstsatzes, wie der ADAC erklärt, der im Netz zentrale Informationen zum Thema zusammengestellt hat.

> Kosten für die Nachrüstung liegen bei etwa 3.000 Euro

Voraussetzung sei, dass die Systeme von einer anerkannten AU-Kraftfahrzeugwerkstatt eingebaut werden, die die Funktion des Filters in einer Abnahmebescheinigung bestätigt. Wer den Einbau von anderen Fachleuten erledigen lässt, müsse sich dessen Funktion durch einen Sachverständigen bestätigen lassen, so der Autofahrer-Club. Die jeweilige Bescheinigung muss man bei der Zulassungsbehörde vorlegen. Baumot gibt die Kosten für System und Einbau mit 3.300 Euro an. Bei Dr Pley werden je nach Fahrzeugtyp ab 3.000 Euro fällig.

Ob es Förderungen gibt, sollten Autobesitzer vorher klären, rät ACE-Experte Hack. Daimler zum Beispiel schießt unter bestimmten Voraussetzungen bis zu 3.000 Euro für die Nachrüstung zu – zum Beispiel, wenn der Wohnort oder der Arbeitsplatz in einer der Schwerpunktregionen mit sehr hohen Schadstoffwerten liegt. Nach Angaben des Bundesverkehrsministeriums sind das unter anderem Hamburg, Köln, Stuttgart und München. Auch VW gewährt unter ähnlichen Bedingungen Förderungen.

Es kommen aber dennoch weitere Mehrkosten auf den Halter zu. Während die Kosten für Adblue im eher marginalen Bereich liegen, kann der Kraftstoffverbrauch nach Einbau des Systems um fünf bis zehn Prozent steigen, sagt Hack unter Verweis auf Angaben der Nachrüster. „Das macht sich schon bemerkbar im Geldbeutel.“

Nach Angaben des ADAC müssen die Nachrüster die Funktionsfähigkeit ihrer Systeme für eine Laufleistung von 100.000 Kilometer oder fünf Jahre gewährleisten. Eine abgeschlossene Herstellergarantie des Autos bleibt laut ACE weiter gültig. Sie greife jedoch nicht bei Schäden am Auto, die durch Einbau oder Betrieb des Systems entstehen.

Tom Nebe

Ein erwachsenes **E-MOBIL**

Hyundai spendiert seinem Mittelklassemodell Ioniq eine Elektrovariante, mit der man bis zu 300 Kilometer weit kommen kann. Preislich liegt der **Ioniq Elektro** aber gut 8.000 Euro über dem mit klassischem Verbrennungsmotor.

Wenn es um Elektroautos geht, dreht sich die Welt gerne um den Leuchtturm namens Tesla. Vor allem machen die Amerikaner mit dem Versprechen großer Reichweite für sich Reklame. Den deutschen Premium-Autoherstellern kommt der Hype um die Marke aus der „Neuen Welt" gerade recht im Bemühen, möglichst große und starke und damit teure Modelle an den Verbraucher zu bringen.

Hyundai geht einen anderen Weg. Mal abgesehen davon, dass die Koreaner die einzigen Hersteller sind, die alle verfügbaren Antriebsarten im Angebot haben – man bekommt den Ioniq auch mit Benzin-Aggregat – setzten die umtriebigen Asiaten bei der Elektrifizierung auf Mittelklassemodelle mit mittlerer Reichweite.

Große Reichweiten zu erzielen ist natürlich kein Hexenwerk. Dafür braucht man lediglich große Batterien – und um die unterzubringen große Autos. Wenn man bedenkt, dass 80 Prozent des Verkehrs weltweit im Nahbereich und vor allem in den Städten stattfindet, ist die Jagd nach Reichweite eher eine Nischenveranstaltung.

Hyundais Ioniq kommt auf knapp 300 Kilometer – theoretisch jedenfalls. Realistisch sollte man, um Überraschungen zu vermeiden, eher 50 Kilometer abziehen. Der Motor des Neuen stammt aus dem Hyundai Kona, leistet 16 PS mehr als der Vorgänger und kommt damit auf 136 PS (100 kW).

Bei unseren Testfahrten rund um Amsterdam mit den landesüblichen Geschwindigkeitsbegrenzungen brauchte unser Wagen im Durchschnitt 12,5 kWh Strom. Angesichts der auf Hochtouren laufenden Klimaanlage wegen der mehr als 30 Grad Celsius Außentemperatur haben wir dennoch 1,2 kWh gegenüber dem vom Hersteller angegebenen Durchschnitts-

Positiv: Die Batterie leidet nicht unter dem umfangreichen Infotainment- und Konnektivitäts-Sytem.

FOTOS: HYUNDAI (3)

Rein optisch unterscheidet sich der Ioniq Elektro nicht von der Version mit Verbrennungsmotor.

verbrauch eingespart. Nicht schlecht! Vielleicht geht da auf Dauer sogar noch ein bisschen mehr, denn die Energie-Rückgewinnung – Rekuperation genannt – kann in verschiedenen Modi passieren. Diese kann der Fahrer während der Fahrt selbst aktiv anwählen.

Dazu dienen Schaltwippen am Lenkrad, die anderswo eher zum Tempobolzen als zum Energiesparen dienen sollen. Auf Stufe Null hat der Wagen so etwas wie eine „Segelfunktion", bei der das Auto sehr lange ausrollt und schließlich ohne Betätigung des Bremspedals anhält, statt die Pole-Position an der Ampel zu ergattern. Bravo!

Die Technik steuert die Energierückgewinnung auch anhand der Topografie- und Fahrdaten. Mit diesen Rekuperationsfunktionen muss man sich allerdings ziemlich ausgiebig beschäftigen, was uns beim Test aber wohl zu sehr vom Verkehrsgeschehen abgelenkt hätte.

Der neue Ioniq Elektro hat einem 7,2 kW-Lader an Bord und damit mehr Kapazität als der Vorgänger, der mit 6,6 kW auskommen musste. Mit der neuen Ausstattung kann der Wagen an einer 4,6 kW-Wallbox mit 230 Volt innerhalb von sechs Stunden bis zu 80 Prozent wieder fit gemacht werden. Im Ernstfall kann das E-Mobil auch über ein Notladekabel an der Haushaltssteckdose „betankt" werden. Dann dauert es allerdings einen halben Tag.

An der Schnellladestation soll man ja mal eben in der Kaffeepause aufladen können. Jetzt wissen wir endlich, was der Österreicher unter einem „Verlängerten" versteht. Aber nach einer halben Stunde kann man hier mit 80 Prozent Ladung weiterfahren.

Das geht dann wieder sehr komfortabel. Das Fahrverhalten ist sehr ausgewogen, die schwere Batterie ist so platziert, dass sich daran im Vergleich zum herkömmlichen Modell nichts ändert. Alle Sitze sind bequem, auch große Fahrer haben ausreichend Raum. Für das Gepäck bleiben 375 bis 1.417 Liter übrig. Bei umgelegter Sitzbank entsteht eine ebene Fläche.

Langsam aber sicher nähern sich die Zukunftsautos auch Tempo 130 an. Immer mehr vor allem ausländische Hersteller lassen ihre Modelle nicht schneller als 180 fahren. Der Ioniq Elektro schafft 165, aber ab Tempo 120 kommt der Wagen leicht ins Schnaufen. Den Sprint auf Tempo 100 schafft der Koreaner in knapp zehn Sekunden. Beschleunigt man langsamer, dankt es einem die Batterie.

80 PROZENT NACH 30 MINUTEN

Erstaunlich, was Letztere alles im Schwung hält. Ein umfangreiches Infotainment- und Konnektivitätssystem beispielsweise, deren Daten auf einem 10,25 Zoll großem Touchscreen bestens bedien- und ablesbar sind.

Kurzum: Hyundai bietet mit dem Ioniq Elektro ein Auto, das in dieser Kategorie mindestens „State of the Art ist". Mit 34.900 Euro ist der Wagen rund 8.000 Euro teurer als das Verbrennermodell. Da muss man ziemlich weit fahren, um den Mehrpreis wieder herauszuholen. Der Klimaeffekt könnte auch erst frühestens dem Zweitbesitzer zugutekommen. Der CO_2-Rucksack dürfte, wie Fachleute schätzen, in dieser Klasse etwa bei 80.000 Kilometern liegen.

Walter Hasselbring

Ioniq Elektro

Motor: **Permanentmagnet-Synchronmaschine**

Leistung: **88 kW (120 PS)**

Max. Drehmoment: **295 Nm**

Batterie: **Lithium-Ionen-Polymerbatterie, 360 V / 180 Ah**

Nennkapazität: **38 kWh**

On-Board-Charger: **230 V (AC). 1-phasig, 7,2 kW**

Stecker: **Typ 2 & CCS**

Ladung an Haushaltssteckdose: **fast 20 Stunden**

7,2 kW-Ladestation (Wallbox): **fast 6 Stunden**

100 kW-Gleichstrom-Ladestation: **30 Minuten**

Beschleunigung 0 auf 100 km/h: **9,9 Sek.**

Durchschnittsverbrauch: **11,5 kWh**

Reichweite, max.: **280 km**

Effizienzklasse: **A+**

CO_2-Emissionen: **0 g/km**

Kofferraumvolumen: **0 Liter**

Preis: **34.900 Euro**

Alles nur schöner Schein?

E-Autos sind ein Segen für die Umwelt, sagen die einen. Von wegen! Sie sind aus ökologischer Sicht nicht sinnvoll, sagen die anderen. Und **wer hat nun recht?**

Eine neue Studie zu Elektroautos und Klima erscheint und Aufmerksamkeit ist ihr gewiss. Kaum ein anderes umweltpolitisches Thema wird seit einiger Zeit intensiver diskutiert. Wie klimafreundlich sind sie also, die elektrischen Pkw? Faktencheck.

BEHAUPTUNG: E-Autos haben eine bessere Ökobilanz als Benziner und Diesel.

BEWERTUNG: Richtig – vorausgesetzt, man betrachtet den gesamten Lebenszyklus eines Autos.

FAKTEN: Folgt man der EU-Gesetzgebung, ist es ganz einfach: Elektroautos emittieren kein Gramm Kohlendioxid. Deshalb kann ein Autohersteller seine durchschnittliche CO_2-Bilanz durch einen E-Pkw in der Flotte aufpolieren.

Tatsächlich ist das mit den null Emissionen aber nicht richtig. Da ist zunächst die Herstellung: „In der Produktion steht das E-Auto erst einmal schlechter da, was vor allem auf die energieintensive Batterieproduktion zurückzuführen ist“, erklärt Anika Regett. Die Wissenschaftlerin arbeitet an der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), ihr Spezialgebiet ist die Ökobilanzierung. Um die wiederaufladbare Batterie herzustellen, wird relativ viel Strom benötigt. Dessen Erzeugung verursacht Emissionen. Wie viele, hängt davon ab, aus welchen Energieträgern er gewonnen wird.

Die meisten Studien gehen von 100 bis 200 Kilogramm CO_2-Ausstoß pro Kilowattstunde (kWh) Batterieleistung aus. Dass einzelne Studien bei der Berechnung von stofflicher Zusammensetzung und Stromverbrauch mitunter zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen kommen, hat folgenden Grund: „Die Daten für die Batterieproduktion sind extrem schwer zu bekommen, weil es vertrauliche Unternehmensdaten sind. Häufig hat man gar keinen Zugang dazu“, erklärt Peter Kasten, Experte für Klimaschutz im Verkehr vom Öko-Institut.

Nimmt man also den Mittelwert von 150 Kilogramm Treibhausgasen pro Kilowattstunde an, so entstehen bei der Herstellung einer gängigen E-Auto-Batterie mit 35 kWh Leistung rund fünf Tonnen Treibhausgase. Addiert man die Emissionen der restlichen Herstellung, kommen die verschiedenen Studien am Ende auf Werte zwischen zehn und zwölf Tonnen. Zum Vergleich: Für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor – egal ob Benziner oder Diesel – rechnen Experten im Schnitt mit sechs bis sieben Tonnen Treibhausgasen.

Studien weichen stark voneinander ab

Ihren ökologischen Nachteil bei der Herstellung machen die E-Autos jedoch im Betrieb wett. Zu diesem Ergebnis

FOTO: GETTY IMAGES / WESTEND61 / RAINER BERG

kommen fast alle aktuellen Studien. Der Elektromotor sei „wesentlich effizienter“ als ein Verbrennungsmotor, sagt Regett. „Das Elektroauto weist daher pro Kilometer einen geringeren Energiebedarf auf.“ Ihre Auswertung legt einen Ökobilanz-Vorteil gegenüber einem Benziner ab etwa 50.000 gefahrenen Kilometern dar. Dieser Berechnung liegt ein Strommix mit einem Anteil von 29 Prozent erneuerbaren Energieträgern zugrunde. Andere Studien berechnen den Emissions-Vorteil ab Fahrleistungen von rund 100.000 oder auch 150.000 Kilometern.

Eine der wenigen Studien, die zu dem Schluss kommt, dass Elektroautos gegenüber einem Diesel keinen CO_2-Vorteil haben, geht unter anderem von einer überdurchschnittlich leistungsstarken und damit besonders klimaschädlichen Batterie beim E-Pkw aus. Sie nimmt zudem an, dass die Emissionen aus der Stromerzeugung in den nächsten Jahren konstant bleiben. Das ist jedoch unrealistisch. Im aktuellen Koalitionsvertrag etwa ist vereinbart, dass der Anteil der erneuerbaren Energien bis 2030 auf 65 Prozent gesteigert werden soll. Unabhängig von der reinen Treibhausgas-Bilanz wird an E-Autos regelmäßig kritisiert: Für die Batterieherstellung werden Rohstoffe verwendet, die unter ethisch fragwürdigen und ökologisch schwierigen Bedingungen abgebaut werden – etwa Lithium, Kobalt und Nickel. Das sei definitiv ein Problem, erklärt Regett. Deshalb sei es wichtig, die Batterieherstellung deutlich ressourceneffizienter zu machen.

Die Weiter- und Wiederverwertung der Metalle sei ebenfalls ein relevanter Punkt: „Technisch möglich ist das Wiederverwerten schon. Aber bei Lithium etwa lohnt es sich ökonomisch noch nicht.“ Manche Fachleute vermuten auch,

Ziel: Verkehr insgesamt reduzieren

dass der Einsatz von Elektroautos einen problematischen Rebound-Effekt haben könnte. Damit ist gemeint, dass etwas letztlich zum Gegenteil des ursprünglich mit der Maßnahme Beabsichtigten führt. In diesem Fall wäre die Annahme: Der Konsument nutzt das E-Auto, das er als umweltfreundlich empfindet und für das er relativ viel Geld ausgegeben hat, öfter, als er seinen konventionellen Pkw nutzen würde. Er ersetzt beispielsweise Fahrten mit dem Rad oder öffentlichen Nahverkehr durch Fahrten mit dem Elektro-Auto. Daten aus einer Studie von 2014 aus Norwegen – einem Land mit vielen E-Autos – legen diesen Effekt tatsächlich nahe.

Nichtsdestotrotz ist die Mehrheit der Experten in Deutschland von batteriebetriebenen Autos überzeugt. „Im Pkw-Bereich sehe ich keine Alternative zum E-Auto, was den Klimaschutz angeht“, fasst Kasten zusammen. Die Antriebswende alleine reiche allerdings nicht aus, betont er: „Die Grundvoraussetzung für den Klimaschutz im Verkehr ist, dass wir vermehrt auf den viel effizienteren öffentlichen Verkehr umsteigen – und insgesamt den Verkehr reduzieren.“

Alexandra Stober

E-TANKEN AUF DEM ASPHALT

Die Oberleitungen über einer Autobahn wirken skurril. Doch das Projekt auf der A5 könnte zukunftsweisend sein für einen weniger klimaschädlichen Güterverkehr auf der Straße. Für den ersten deutschen **eHighway** ist in Hessen der Startschuss gefallen.

Klimaschutz und Schwerlastverkehr auf der Straße passen nicht so recht zusammen. Künftig soll sich das ändern: Die erste Elektro-Autobahn für den Güterverkehr in Deutschland ist im Mai in Südhessen in Betrieb genommen worden. Auf der viel befahrenen Autobahn A5 sind in beide Fahrtrichtungen auf der rechten Spur jeweils fünf Kilometer mit Oberleitungsmasten versehen. Bis 2022 wollen sich fünf Speditionen mit Lastwagen an dem Feldversuch beteiligen. Es wird geprüft, ob die Oberleitungstechnik tauglich ist und ob so klima- und lärmschonend Güter auf der Straße transportiert werden können. Weitere Feldversuche wird es in Baden-Württemberg und Schleswig-Holstein geben.

DEUTLICH TEURER ALS KLASSISCHE LKW

Was an Schienentrassen oder in Innenstädten für Straßenbahnen normal ist, wirkt auf dem eHighway für den Beobachter zunächst einmal gewöhnungsbedürftig. Kommt ein Lkw mit einem Stromabnehmer in den Bereich der Trasse, wird an die Kabel angedockt. Das Stromtanken bei der Fahrt soll dem Aufladen der Batterien dienen. Im Anschluss kann der Laster im Batteriebetrieb weiterfahren. Sind die Akkus leer, übernimmt der Hybridmotor mit Diesel den Antrieb.

„Wir müssen in innovative Lösungen investieren“, sagte die Parlamentarische Staatssekretärin im Bundesumweltministerium, Rita Schwarzelühr-Sutter, bei der Inbetriebnahme der Strecke. Es gebe große Herausforderungen beim Klimaschutz auch im Verkehrsbereich, und irgendwo müsste ja mal angefangen werden. Das Bundesumweltministerium hat die fünf Kilometer lange Strecke zwischen Langen und Weiterstadt mit knapp 14,6 Millionen Euro finanziert. Weitere rund 15 Millionen Euro sollen in Datensammlungen und Auswertungen bis 2022 fließen.

„Der Güterverkehr wird in den kommenden Jahren weiter zunehmen“, sagte die Staatssekretärin. Der Ausstoß von Treibhausgasen habe sich aber seit 1990 nicht gesenkt. „Es ist genau richtig, diese Technik hier auszuprobieren“, sagte der Staatssekretär im hessischen Verkehrsministerium, Jens Deutschendorf, über den Abschnitt. Hier rollen täglich mehr als 130.000 Fahrzeuge, gut zehn Prozent davon sind Lastwagen. „Wenn das Oberleitungssystem hier funktioniert, dann funktioniert es überall.“

Mit dem Projekt Elisa – das ist die Kurzform für elektrifizierter, innovativer Schwerverkehr auf Autobahnen – sollen alle Daten gesammelt werden, die für einen späteren Ausbau in Deutschland relevant sein könnten. Es soll keine Konkurrenz zum Güterverkehr auf der Schiene sein. Sollte sich das System als für den Schwerlastverkehr tauglich zeigen, müssten keineswegs alle Autobahnen voll elektrifiziert werden. Schätzungen des Ministeriums zufolge wären in Deutschland rund 1.000 Kilometer betroffen. Die Kosten: rund

Der Stromabnehmer des Lkw dockt einfach am Kabel an.

FOTOS: PICTURE ALLIANCE/RTN - RADIO TELE NORD
PICTURE ALLIANCE / ULRICH BAUMGARTEN

Auf der A1 fahren Hybrid-Lkw testweise zwischen Reinfeld und Lübeck mit Stromoberleitungen.

eine Million Euro pro Kilometer, also rund eine Milliarde Euro.

Untersucht werden sollen Auswirkungen auf den Verkehr, ökologische und ökonomische Aspekte oder auch der Mehraufwand für die Straßenmeistereien, sagte Projektleiter Achim Reußwig von der Verkehrsbehörde Hessen mobil. Unklar sei auch, wie später der abgezapfte Strom in Rechnung gestellt wird. Während der Projektphase zahlt den das Bundesumweltministerium. Offen sind auch Belastungen für Spediteure, wenn sie ihre Fahrzeugflotten umstellen müssen.

Ein Diesel-Hybrid-Lkw mit Stromabnehmer kostet rund 150 bis 175 Prozent von dem, was ein herkömmlicher Lkw kostet, wie Thiemo Freyer vom Fahrzeughersteller Scania erläutert, der die Prototypen gebaut hat. „Die Technologie ist nicht im Handel, aber marktreif." Allerdings ist die Reichweite der Lastwagen nur mit Batterieantrieb im Augenblick noch kurz – maximal zehn Kilometer. Ziel ist Freyer zufolge eine Reichweite von 60 Kilometern. „In Zukunft wird CO_2 einen Preis haben müssen", sagte Julius Jöhrens vom Forschungsinstitut ifeu in Heidelberg, das Elisa begleitet. Höhere Fahrzeugkosten müssten mit geringeren Energieausgaben kompensiert werden.

„DIE TECHNOLOGIE IST MARKTREIF"

In Schleswig-Holstein soll auf der A1 bei Lübeck getestet werden, ob eine Anbindung an einen Hafen funktioniert. In Baden-Württemberg soll auf einer Bundesstraße die Tauglichkeit für Ortsdurchfahrten geprobt werden. Erste Strecken gibt es bereits in der USA und in Schweden. Auch in Norditalien gibt es Reußwig zufolge bereits Planungen für einen eHighway. „Klar muss man das System europaweit denken."

Oliver Pietschmann

Das Henne-Ei-Prinzip

Fachleute geraten ins Schwärmen, wenn sie vom Potenzial der **Brennstoffzellentechnik** reden. Umweltexperten kritisieren dagegen den niedrigen Wirkungsgrad. In der Tat sieht die Realität für Wasserstofffahrzeuge bislang mickrig aus. Bundesweit gibt es erst etwas mehr als 70 Tankstellen.

Vor dem Parkplatz einer schwedischen Möbelhauskette blitzen ein weißes Dach und eine weiße Zapfsäule zwischen der Hecke hervor. Vor ihr aufgereiht steht alles, was der Markt für Wasserstoffautos derzeit zu bieten hat: ein Toyota, ein Hyundai und ein Mercedes. Auf dem Display der Zapfsäule steht 29,07 Euro. So viel kosten drei Kilogramm Wasserstoff (H_2). Das ist etwa die Hälfte, die ein Tank fasst.

Der Gasehersteller Air Liquide hat Mitte Juni seine zweite Wasserstofftankstelle in Düsseldorf eröffnet. Die Franzosen bewerben Wasserstoffautos wie eine Art Schlaraffenland in Sachen Mobilität: Man sei sauber und ohne Ausstoß von CO_2-Emissionen oder Schadstoffen unterwegs – „bei gewohnt hoher Reichweite und einer Betankungszeit von wenigen Minuten". Doch Umweltexperten sind nicht begeistert. Zudem gibt es ein großes Problem: Das Tankstellen-Netz in Deutschland hat große Löcher.

Dennoch: Unstrittig ist, dass die Brennstoffzelle Potenzial hat und dieses in gewissen Bereichen bereits entfaltet: In U-Booten wird sie beispielsweise schon seit Jahrzehnten eingesetzt. Ihre Umweltbilanz ist laut Air Liquide positiv. Wasserstoff wird in der Reaktion mit Sauerstoff zu Wasserdampf und Strom gewandelt. Doch im Moment kommt dieser Strom aus nicht erneuerbaren Energien. „Man muss fairerweise sagen, dass der Wasserstoff über Erdgasspaltung produziert wird", erklärt Air-Liquide-Deutschland-Chef, Gille Le Van.

Ob H_2-Autos auf lange Sicht für den Pkw-Massenmarkt taugen, wird von vielen Experten bezweifelt. „Wir müssen ja irgendwann mal anfangen", entgegnet Nordrhein-Westfalens Wirtschaftsminister Andreas Pinkwart (FDP) auf die Kritik. „Wir forschen seit 20 Jahren an den Themen, und jetzt geht es darum, das in Serie zu bringen." Im Vergleich zu konventionellen Elektroautos führen die Brennstoffzellen-Fahrzeuge eher einen Dornröschenschlaf. Gerade einmal 386 Wasserstofffahrzeuge sind in Deutschland laut Kraftfahrt-Bundesamt zugelassen (Stand Juni 2019). Bei einem Gesamt-Fahrzeugbestand von 64,8 Millionen ist das ein Anteil von gerade einmal 0,0006 Prozent. Beim Öko-Konkurrenten E-Auto sind die Zahlen zwar auch nicht berauschend, aber da sind es immerhin 0,2 Prozent.

Im H_2-Nischenmarkt sind vor allem Asiaten präsent. Toyota hat weltweit nach eigenen Angaben mit dem Mirai knapp 10.000 solcher Fahrzeuge verkauft, davon knapp 200 in Deutschland. Der koreanische Hersteller Hyundai hat den Nexo im Programm. Und deutsche Autobauer? Daimler stieg schon in den 1990er-Jahren ein und produzierte ab 2009 für einige Jahre rund 200 B-Klassen-Autos als H_2-Version. 2018 brachten die Stuttgarter einen Geländewagen als Mischung aus Batterie-Stromer und Brennstoffzelle auf den Markt, auch dies in kleiner Stückzahl. Bei BMW und Audi ist die Brennstoffzelle ebenfalls Thema, sie wird aber nur erprobt – kaufen kann man dort derzeit kein solches Auto.

Experten bezweifeln Massentauglichkeit

Doch warum ist der Wasserstoff-Anteil am deutschen Verkehrsmix fast unsichtbar? Ferdinand Dudenhöffer von der Universität Duisburg-Essen zeigt auf die Geldbörse: Der Preis für so ein Auto sei „inakzeptabel". Grob gesagt kostet ein Wasserstoff-Pkw in Deutschland 70.000 bis 80.000 Euro, auch Leasingverträge sind nicht billig. Immerhin gibt es staatliche Förderung. Dennoch: „Das reine Wasserstoffauto ist für den Privatkunden derzeit außer Reichweite." Ein Grund für die hohen Preise: Die Entwicklung ist teuer, und die verkauften Stückzahlen sind gering. Erst bei hohen Stückzahlen würden die Kosten pro Fahrzeug sinken und der Preis käme etwas herunter.

Wenig Begeisterung ruft das Thema in Wolfsburg hervor. Die Brennstoffzelle werde bis Mitte der 2020er-Jahre nicht „zu vertretbaren Preisen oder im industriellen Maßstab mit der nötigen Energieeffizienz verfügbar sein", sagte VW-Boss Herbert Diess im Mai auf der Hauptversammlung. Volkswagen setzt stattdessen auf das rein mit Batteriestrom betriebene E-Auto.

Auch Umweltexperten sehen Wasserstoff-Autos skeptisch. Florian Ha-

FOTO: PICTURE ALLIANCE / SEBASTIAN GOLLNOW / DPA

cker vom Öko-Institut verweist auf den niedrigen Wirkungsgrad: Man brauche Strom, um aus Wasser Wasserstoff herzustellen, der dann in Gastanks gelagert und schließlich nach dem Tanken im Auto in Strom gewandelt wird. Bei diesen Schritten verliere man Energie. „Nur 25 Prozent der ursprünglichen Energie führt in einem Brennstoffzellen-Fahrzeug zu Fortbewegung, der Rest geht verloren. Bei batteriebetriebenen Elektroautos liegt der Wert etwa bei 70 Prozent." Entsprechend höher sei der Strombedarf bei Brennstoffzellen-Autos, sagt er. „Man sollte die Brennstoffzelle weiter im Blick behalten, aber im Massenmarkt ist der Einsatz batteriebetriebener E-Autos sinnvoller."

Ein Henne-Ei-Problem sieht der Autoexperte Stefan Bratzel von der Fachhochschule der Wirtschaft: „Solange es nicht genug Nachfrage gibt, lohnt sich der Aufbau dieser Infrastruktur nicht richtig, und umgekehrt kaufen die Leute kein Brennstoffzellen-Fahrzeug, wenn die Infrastruktur nicht breit verfügbar ist."

Eine Frage spielt auch die Sicherheit. Spätestens seit einer Explosion an einer Wasserstofftankstelle im norwegischen Oslo im Juni dieses Jahres. Daraufhin hatten Autobauer die Lieferung von Wasserstoffautos ausgesetzt. In Norwegen, aber auch in Deutschland waren Wasserstofftankstellen vorübergehend geschlossen worden. Experte Peter Fuß von der Beratungsgesellschaft EY beruhigt: „Der Sicherheitsstandard ist sehr hoch." Die Industrie arbeite mit Hochdruck daran, noch mehr Sicherheit zu schaffen. Fuß betont, die Brennstoffzelle könnte Zukunft haben im Verkehr: „Um emissionsfrei unterwegs zu sein, ist die Brennstoffzelle eine wichtige Schlüsseltechnologie." Denn sie habe große Vorteile. Anders als klassische Elektroautos haben Brennstoffzellenautos eine Reichweite von bis zu 500 Kilometern. Zudem gehe die Betankung viel schneller als das Laden einer Batterie, es dauere nur wenige Minuten.

1.000 Tankstellen wären bundesweit nötig

Voraussetzung fürs schnelle Tanken ist aber, dass man überhaupt eine H_2-Station findet. „Ungefähr 1.000 H_2-Tankstellen bundesweit sind nötig, damit Brennstoffzellenautos richtig interessant werden für den Verbraucher", sagt Fuß. In Nordrhein-Westfalen wurde nun die 16. eröffnet. Damit kann in Deutschland ab jetzt an 71 H_2-Tankstellen getankt werden, bis 2020 sollen es 100 sein, bis 2025 400.

Johannes Neudecker

Elektrisierender Stoff

China setzt künftig auf **Wasserstoff**. Wasserstoff-Systeme für den Automobilsektor werden derzeit insbesondere von dem japanischen Autogiganten Toyota und der koreanischen Auto-Allianz Hyundai-Kia vorangetrieben. Und Deutschland? Droht wieder einmal eine Entwicklung zu verschlafen.

Egal ob Batterie-Elektrik oder Wasserstoff: Wie ökologisch die eingesetzte Technik ist, hängt davon ab, wie ökologisch der Strom ist, der verwendet wird. Wasserstoff ist ohne Stromeinsatz nicht herzustellen. Wasserstoff ist auf der Erde nahezu unbegrenzt, aber ausschließlich in chemischen Verbindungen vorhanden – Säuren, Wasser, Kohlenwasserstoff. Das Gas ist keine Energiequelle, sondern ein Energieträger. Diesen herzustellen, geht auf ökologische Weise so: Zunächst wird mit einer Windkraftanlage Strom erzeugt, den man dazu nutzt, Wasser in seine beiden Komponenten H_2 und O_2 zu zerlegen. Dieses Verfahren, die Elektrolyse, dürfte aus dem Chemieunterricht bekannt sein. Die Energie zur Wasserstofferzeugung ist aber nicht vergeudet, da man sie zu einem großen Teil auf die Moleküle übertragen kann. Dort bleibt die Energie bis zur sogenannten Rückreaktion. Dafür braucht man die Brennstoffzelle, durch die Wasserstoff und Sauerstoff wieder zu Wasser vereint werden. Der Vorgang wird sozusagen wieder umgekehrt. Dabei wird die gespeicherte Energie wieder freigesetzt. In der chemischen Industrie fällt Wasserstoff als Nebenprodukt an, dort wird er auch gleich wieder eingesetzt.

Gefährlich wird Wasserstoff, wenn er mit Sauerstoff in Verbindung kommt. Dann besteht Explosionsgefahr. Mittlerweile gibt es aber sichere Methoden und Behältnisse, um den Hazard zu minimieren, sodass die Verwendung als sicher gilt. Ohne Wasserstoff-Schubkraft könnte wohl kein Start in den Weltraum gelingen. Die Technik ist im Prinzip ein alter Hut und geht auf Sir William Robert Grove zurück, der 1839 die Umkehrung der Elektrolyse erfand. Nur war es mehr als 150 Jahre eben wohl einfacher und vor allem lukrativer, Holz, Kohle und Erdöl zu verbrennen. Der Wasserstoff treibt einen Elektromotor an. Das tut die Batterie auch. Nur müssen für die Akkus Millionen von Ladestationen installiert und Leitungen in die entlegensten Gebiete gelegt werden, um die Verteilung zu organisieren. Bei der Nutzung der Brennstoffzelle hingegen dauern die Tankvorgänge ebenso lange wie das Auffüllen von herkömmlichem Treibstoff. Außerdem könnte das bestehende Tankstellennetz genutzt werden.

Die deutsche Autoindustrie hat sich lange auf den – zugegeben – großen Fortschritten, die sie beim Bau von Verbrennungsmotoren erreicht hat, ausgeruht. Spätestens seit Toyota vor 22 Jahren mit der Elektrifizierung der Pkw mit der Hybrid-Technik begonnen hat, wäre ein Umdenken angebracht gewesen. Damals allerdings wurden die Japaner nur müde belächelt.

Unabhängig machen von Erdöl- und Gaslieferanten

Heute kann man davon ausgehen, dass darüber, wie der Verkehr in der Zukunft zumindest in den Städten bewerkstelligt wird, nicht in Deutschland und auch nicht in Europa, sondern in Asien entschieden wird. In China werden beispielsweise so viel Bürger in die großen Städte ziehen wie die USA Einwohner haben. Wenige Tage, nachdem die Bundesregierung die weitere Förderung von Elektroautos beschlossen hatte, gab die chinesische Regierung bekannt, die Batterieelektrik bei Autos nicht weiter zu fördern. Der Umstieg auf Wasserstoff ist dort beschlossene Sache. Hauptbegründung: Die flächendeckende Einrichtung von Ladesäulen sei zu teuer und die Batterieelektrik zu gefährlich. Allein 2018 habe es im Reich der Mitte 40 gravierende Autobrände gegeben, bei denen die Batterien die Ursache waren. Was bislang hierzulande kaum diskutiert wird, ist der politische Vorteil, den Wasserstoff hätte. Man könnte sich nämlich unabhängig von Erdöl oder Gaslieferanten machen, und außerdem könnte die Herstellung von Wasserstoff den Kohleabbau in Ostdeutschland ersetzen. Immerhin haben zumindest die norddeutschen Regierungschefs die Zeichen der Zeit erkannt. Sie wollen die Erzeugung von Wasserstoff massiv fördern. Erst kürzlich hat Hamburgs Wirtschaftssenator Michael Westhageman – unabhängig von der Koalitionspolitik in Berlin – den Bau der weltweit größten Wasserstoffanlage im Hamburger Hafen angekündigt.

Noch aber versucht jeder Automobilhersteller, seine Modellpalette um

Elektroautos zu erweitern. Um die Klimaziele, zu denen sich auch Deutschland verpflichtet hat, erreichen zu können, müssen die Autobauer immer mehr batteriebetriebene Fahrzeuge auf den Markt bringen. Bis 2030 soll der CO_2-Ausstoß um 55 Prozent gesenkt werden, und bis dahin sollen zehn Millionen Fahrzeuge auf den Straßen sein. In Deutschland besetzen die E-Autos immer noch eine sehr kleine Nische. In China und der USA werden bereits pro Jahr mehrere Hunderttausend E-Autos verkauft.

Die Vorteile von E-Autos sind, dass gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor emissionsfrei, leise und deutlich weniger wartungsintensiv sind. Sie sind einfacher aufgebaut als ein Verbrennungsmotor und kommen ohne Kupplung, Schalldämpfer, Katalysator, Rußpartikelfilter und Kraftstofftank aus. Allerdings ist die Reichweite mit einem Elektroantrieb nach wie vor wesentlich geringer als bei einem Verbrennungsmotor. Ein E-Auto muss also häufiger geladen werden. Doch die Akkukapazitäten werden ständig weiterentwickelt und die Ladegeschwindigkeit stetig verbessert – im besten Fall lässt sich ein Elektrofahrzeug schon in weniger als einer halben Stunde aufladen. Führend beim Aufbau von Ladepunkten ist innogy eMobility Solutions GmbH aus Dortmund. Bis 2020 sollen bundesweit zu den vorhandenen 21.000 noch 7.000 Ladestationen aufgestellt werden. Laut einer Studie von innogy liegt der durchschnittliche Strombedarf pro E-Auto bei etwa sieben kWh. Selbst wenn 40 Millionen E-Autos laden, läge der Mehrbedarf an Strom bei 16 Prozent. Das entspricht etwa 90 Terawattstunden (TWh) pro Jahr. Aktuell beträgt der Stromverbrauch in Deutschland 550 TWh. Wichtig sei nur, das nicht alle ihre Autos nach Feierabend laden. Dann kann das Stromnetz nicht überlastet werden, so ein Sprecher des Energiekonzerns EWE.

16 Prozent Mehrbedarf an Strom bei 40 Millionen E-Autos

Walter Hasselbring und Karin Weise

FOTO: TOYOTA

INFO

Im Werk Motomachi in Toyota City ist vor wenigen Wochen das 10.000. Exemplar der Brennstoffzellenlimousine vom Band gelaufen. Damit ist die Oberklasselimousine das meistproduzierte Brennstoffzellenfahrzeug der Welt. Verkauft wird der **Mirai** in Japan, den USA und in mehreren europäischen Ländern. Mit Beginn des neuen Jahrzehnts will Toyota jährlich bis zu 30.000 Fahrzeuge mit Brennstoffzellentechnik verkaufen – neben dem Mirai auch weitere neue Produkte. Dazu werden derzeit die Kapazitäten für Brennstoffzellen-Stacks im Werk Honsha sowie für Wasserstoff-Tanks im Werk Shimoyama ausgebaut. Die neuen Anlagen sollen jeweils 2020 ihren Betrieb aufnehmen. Die technische Basis – auch für die Brennstoffzellenfahrzeuge – bildet der 1997 eingeführte und kontinuierlich weiterentwickelte Hybridantrieb. Weltweit hat Toyota nach eigenen Angaben bereits mehr als 13 Millionen Hybridfahrzeuge verkauft und den CO_2-Ausstoß um mehr als 100 Millionen Tonnen reduziert. In Europa umfasst das Produktprogramm derzeit 21 Modelle.

MIT VOLLGAS IN DIE ZUKUNFT?

Autogas und Erdgas führen als Kraftstoffe für Autos in Deutschland ein Nischendasein. Dabei bieten sich Erdgasfahrzeuge als günstige Alternativen auf dem Weg zur Elektromobilität an.

In Deutschland wird Fahrzeugen mit Auto- oder Erdgasantrieb häufig die kalte Schulter gezeigt. Die Vorteile vom flüssigen Autogas LPG (Liquefied Petroleum Gas) sowie dem komprimierten Erdgas CNG (Compressed Natural Gas) haben Autofahrer nur selten beim Kauf eines Neuwagens vor Augen. Das Interesse steigt immer erst, sobald die Spritpreise in die Höhe gehen. „Wenn die Rohölpreise steigen, wenden sich die Verbraucher verstärkt alternativen Kraftstoffen zu, und dann vor allem zum Autogas“, sagt Jörg Adolf, Chef-Volkswirt von Shell.

Gerade beim Autogas muss nicht immer gleich ein neues Auto her. Eine Umrüstung für eine sogenannte bivalente Lösung mit Benzin und Autogas kann auch für ältere Fahrzeuge aus wirtschaftlicher Sicht noch lohnend sein. „Die Kosten einer Umrüstung liegen je nach Fahrzeug zwischen 1.800 und 2.700 Euro. Bis heute machen umgerüstete Pkw den größten Teil der Autogas-Flotte auf deutschen Straßen aus“, sagt Andreas Stücke, Hauptgeschäftsführer des Deutschen Verbandes Flüssiggas (DVFG).

Wann sich die Kosten der Umrüstung amortisieren, hängt letztlich von der Fahrleistung ab. Im Bundesschnitt lag der Preis für einen Liter LPG in den vergangenen Monaten bei etwa 60 Cent, im Saarland an den meisten Tankstellen sogar darunter. Der Durchschnittspreis für Super beziehungsweise Super E10 lag dagegen deutlich über 1,40 Euro pro Liter. Allerdings muss beim Autogas ein höherer Verbrauch um bis zu zwei Liter auf 100 Kilometer einkalkuliert werden. Die Energiedichte des aus Propan und Butan bestehenden Gemischs, das bei der Erdölverarbeitung anfällt, ist niedriger als Benzin.

LPG-Fahrer können zudem auf ein breitgefächertes Netz an Zapfsäulen zurückgreifen. „Bundesweit bieten mehr als 7.100 Tankstellen Autogas an“, sagt Stücke. Das ist fast jede zweite Tankstelle in Deutschland. Und der Tankvorgang ist ebenso einfach wie das Tanken von Benzin, auch wenn viele Tankstutzen zuvor mit einem Adapter versehen werden müssen, ehe das Gas mit bis zu acht bar durch die Schläuche flitzt. Der Tankvorgang selbst dauert in etwa so lange wie das „normale“ Tanken.

ERDGAS HAT EINE HÖHERE ENERGIEDICHTE

Auch beim Erdgas ist der Tankvorgang ähnlich. Allerdings muss der gasförmige alternative Kraftstoff mit bis zu 250 bar in den Tank gepresst werden, ehe es zur Kasse geht. Dort fallen derzeit rund ein Euro an – allerdings für das Kilogramm CNG, was viele Verbraucher verwirrt. „Das Thema Erdgas ist für viele zu kompliziert in Bezug auf das Benzinäquivalent“, sagt Peter Weisheit von der Technologie-Kommunikation von Volkswagen. Umgerechnet koste ein Liter Erdgas etwa 71 Cent. Dank einer besseren Energiedichte als beim flüssigen Treibstoff ist Erdgas für Weisheit „der billigste Kraftstoff, den man derzeit bekommen kann“.

Dank geringem Steueranteil bleibt Autogas bis 2022 sehr günstig.

Doch nicht nur deshalb hat VW voriges Jahr eine Erdgas-Offensive gestartet. „Volkswagen hat früher Autogas und Erdgas gemeinsam angeboten“, sagt Weisheit. „Wir fokussieren uns jetzt auf CNG, da Autogas nur als fossiler Kraftstoff erhältlich ist, CNG dagegen nahezu CO_2-neutral.“ Bis Ende des Jahres sollen im VW-Konzern 19 Modelle mit Gasmotoren angeboten werden, wie Weisheit erklärt. Überall ist der CO_2-neutrale Brennstoff allerdings noch nicht erhältlich. Etwas mehr als ein Drittel der in Deutschland zur Verfügung stehenden CNG-Zapfsäulen wird mit Biomethan versorgt – Tendenz steigend. Allerdings ist die Abdeckung der CNG-Tankstellen nicht so weit verbreitet wie beim Autogas. Etwa 850 Möglichkeiten werden in Deutschland angeboten.

Neben der höheren Umweltverträglichkeit der Erdgasfahrzeuge spielen auch die Kraftstoffkosten eine große Rolle. Laut einer VW-Tabelle liegen die Kosten bei einem mit Benzin angetriebenen Golf mit 81 kW/110 PS bei 1.343,04 Euro pro 20.000 Kilometer (Stand Ende 2018). Für den gleich starken Erdgas-Golf werden 784,08 Euro aufgeführt. Je nach Kilometerleistung pro Jahr amortisieren sich die preislichen Unterschiede von rund 4.000 Euro schneller oder auch nicht.

Nachrüstlösungen gibt es bei Erdgasfahrzeugen kaum, da die technische Umrüstung zu aufwendig wäre und somit wirtschaftlich nicht sinnvoll. So bietet VW auch nur Erdgasfahrzeuge ab Werk an. Allerdings sind die Wolfsburger laut Weisheit recht erfolgreich mit den CNG-Modellen unterwegs:

Deutschlandlandweit sind nach Angaben des Kraftfahrt-Bundesamt

FOTOS: PICTURE ALLIANCE / DPA / RENE FLUGER — ARMIN WEIGEL / DPA / LBY

(KBA/Stand 1. Januar 2019) etwa 80.000 Erdgas-Fahrzeuge unterwegs, knapp 395.600 werden mit LPG befeuert. Angesichts von 47 Millionen zugelassener Pkw bleiben die Gasantriebe aber weiterhin ein Nischenthema.

Viele Tankstellenunternehmen sehen CNG und LPG als Brückentechnologien. Der Trend bei den Neuzulassungen geht eindeutig zu Elektrofahrzeugen und Hyrid-Modellen, die laut KBA Wachstumsraten von 54,4 Prozent beziehungsweise 44,2 Prozent verzeichnen konnten. Der Bestand an Elektro-Pkw stieg demnach von 53.861 auf 83.175, der an Hybrid-Pkw von 236.710 auf 341.411 Fahrzeuge an. Der Plug-in-Hybridfahrzeugbestand wuchs um 50,8 Prozent auf 66.997.

Immerhin: Wer dennoch auf ein Gasauto setzen möchte, kann sich sicher sein, auch in den kommenden Jahren noch kostengünstig unterwegs zu sein. Für CNG gibt es bis 2026, für Autogas bis 2022 Steuervorteile beim Tanken. Und auch wenn diese wegfallen, dürften die Preise für das flüssige und komprimierte Gas wohl nur im einstelligen Cent-Bereich ansteigen, sodass Gasautos weiterhin eine günstige Alternative bieten werden.

Thomas Flehmer und Jörg Heinze

ZAUBERFORMEL E-FUELS

Der Ausstoß von klimaschädlichem CO_2 im Verkehr soll bis 2030 in Deutschland rund 40 Prozent sinken. Eine Herausforderung! Dabei könnten, rein theoretisch, Autos mit Verbrennungsmotor heute schon klimaneutral fahren – mithilfe **synthetischer Kraftstoffe**. Fans und Gegner streiten allerdings über deren Potenzial.

*Von **Annika Grah***

Die Flüssigkeit in der Flasche auf dem Tisch vor Tim Böltken ist glasklar wie Quellwasser. Sie riecht nach fast nichts. Und wenn sie verbrennt, gibt sie deutlich weniger Schadstoffe ab als fossile Kraftstoffe. Vor allem aber: Das klimaschädliche CO_2, das beim Verbrennen frei wird, kam vorher aus der Luft. In der Flasche befindet sich ein besonderer Treibstoff: ein mit erneuerbarem Strom hergestelltes E-Fuel.

Tim Böltken baut mit seiner Firma Ineratec Anlagen zur Herstellung solcher synthetischer Kraftstoffe. Der 34-Jährige hat seinen Job bei einer Tochter des Chemieriesen BASF aufgegeben, um mit zwei Kollegen im Schatten des Karlsruher Instituts für Technologie, kurz KIT, das Start-up zu gründen. Er glaubt fest an den Erfolg von E-Fuels: „Das sind gigantische Chancen, die sich hier bieten."

Der Begriff „Fuels" ist Englisch für Kraftstoffe, das „E" steht für erneuerbaren Strom, denn solche Treibstoffe werden mithilfe von regenerativer Energie hergestellt. Sie unterscheiden sich in ihren chemischen Strukturen und Grundeigenschaften nicht von herkömmlichem Diesel oder Benzin aus Erdöl. Und sie könnten in der Theorie helfen, die düstere CO_2-Bilanz des Autoverkehrs aufzupolieren. Doch es gibt Bremser und Gegenargumente. Manche sehen sie eher als klimafreundlichere Alternative für Flugzeuge und Schiffe und weniger für Autos. Und sogar Umweltschützer äußern Vorbehalte.

Der Grund: Die Herstellung der E-Treibstoffe ist aufwendig. Zunächst wird aus Wasser Wasserstoff gewonnen. Dazu sind große Mengen elektrischen Stroms notwendig. Dann wird Kohlendioxid, also CO_2, eingesetzt, um aus dem Wasserstoff ein Gas oder eine Flüssigkeit als Kraftstoff zu erzeugen. Im Idealfall stammt das CO_2 aus der Luft, sodass ein Kreislauf entsteht und die Verbrennung im Motor klimaneutral ist. Power-To-X nennt man die Verfahren. Das „X" steht dabei wahlweise für Gas oder flüssige Stoffe wie Diesel, Benzin, Kerosin.

Der gewonnene Kraftstoff kann in modernen Verbrennungsmotoren ohne Probleme eingesetzt werden. In der Theorie könnten damit also schon heute Autos mit herkömmlichen Diesel- und Benzinmotoren CO_2-neutral fahren. Die Stoffe könnten die Bundesregierung bei ihrem Ziel, den CO_2-Ausstoß im Verkehr bis 2030 um 40 bis 42 Prozent zu senken, einen Schritt weiterbringen – ohne neue Ladestationen und Elektromotoren. Zu-

FOTO: PICTURE ALLIANCE / MARIJAN MURAT / DPA

INERATEC
SYNTHETIC FUELS

IT-Unternehmer Ulrich Müller steht vor seinem Erdgasauto Audi g-tron. Er will damit seinen Beitrag für die Umwelt leisten.

mindest in der Theorie, denn Autofahrer haben praktisch keine Möglichkeit, E-Fuels in Deutschland zu tanken. Im großen Stil sind sie nicht verfügbar. Und in der politischen Diskussion um Klimaschutz und Dieselkrise spielen sie bislang eine untergeordnete Rolle.

Umweltschützer und Grüne wettern sogar gegen künstliche Kraftstoffe. „E-Fuels sind derzeit unbezahlbar teuer und ineffizient“, sagt etwa der Grünen-Bundestagsabgeordnete Oliver Krischer. Ein wichtiges Argument der Gegner ist der niedrige Wirkungsgrad. Anstatt Autos direkt mit Ökostrom anzutreiben, wird dieser erst eingesetzt, um Wasserstoff und dann den Treibstoff herzustellen. Eine Studie der Denkfabrik Agora Verkehrswende aus dem Jahr 2017 rechnet vor: Für 100 Kilometer braucht ein batterie-elektrisches Auto 15 Kilowattstunden Strom, ein mit Wasserstoff betriebenes Fahrzeug schon 31 Kilowattstunden und ein mit E-Fuels betriebener Diesel oder Benziner sogar 103 Kilowattstunden. Das macht die Kraftstoffe gleichzeitig teuer – vor allem in einem Land wie Deutschland, wo Strom ohnehin mehr kostet als vielerorts sonst.

Doch die Stimmen, die ungeachtet dessen für E-Fuels argumentieren, wurden in den vergangenen Jahren lauter. Inzwischen macht sich vor allem die Industrie – etwa Autobauer und Energiekonzerne – für die Entwicklung stark. „Langfristig sind synthetische Brennstoffe zur weitergehenden Emissionsreduktion in allen Verkehren zwingend erforderlich“, heißt es in einer vom Bundesverband der Industrie in Auftrag gegebenen Studie. Autobauer Daimler will bis 2039 dafür sorgen, dass seine weltweit verkauften Neuwagen CO_2-neutral rollen. Ohne klimaneutrale Kraftstoffe, räumte der oberste Motorenentwickler des Stuttgarter Konzerns, Torsten Eder, bei einer Veranstaltung ein, ist das kaum möglich.

ÖLKONZERNE PLANEN POWER-TO-X-ANLAGEN

„Das Interesse an E-Fuels ist momentan gigantisch“, freut sich Ineratec-Mitgründer Böltken. Potenzielle Kunden kommen aus der Energie- und Auto-branche, aber auch aus dem Flugverkehr. „Die werden noch lange auf flüssige Energieträger angewiesen sein.“ Die Idee zur E-Fuels-Produktion stammt von Böltkens Mentor Roland Dittmeyer, Professor am Karlsruher Institut für Technologie. Für den Verfahrenstechniker geht es ums große Ganze. „Wenn wir die gesetzten CO_2-Reduktionsziele erreichen wollen, dann führt an Power-To-X kein Weg vorbei“, sagt Dittmeyer.

IMVT-Leiter Roland Dittmeyer

2015 stritten Böltken und Dittmeyer im Büro des Professors darüber, ob die Nutzung des Treibhausgases CO_2 eine Zukunft habe: Ob man den „bösen“ Schädling so einsetzen könnte, dass er „gut“ wird. „Ich habe nicht daran geglaubt“, räumt Böltken ein. „Zwei Wochen später hatten wir mit Audi einen großen Kunden, der das verfolgen wollte.“ Sein Start-up wächst seitdem beständig.

Auch Ölkonzerne planen sogenannte Power-To-X-Anlagen. BP arbeitet mit dem Stromerzeuger Uniper an einem Projekt, an dessen Ende Power-To-X-Komplexe stehen sollen. Shell hat Ende Juni mit dem Bau einer Elektrolyse-Anlage im Rheinland begonnen. Lufthansa startete mit der Raffinerie Heide in Schleswig-Holstein ein Pilotprojekt für CO_2-neutrales Kerosin. Und eine Allianz von Energieversorgern, Mineralölfirmen und dem Autobauer Audi hat im April ein Programm zur Markteinführung von E-Fuels erarbeitet – bis 2025.

Audi nahm schon vor einigen Jahren eine Power-To-Gas-Anlage im niedersächsischen Werlte in Betrieb. Dort wird mit Ökostrom synthetisches Methangas hergestellt. Wer sich von März 2017 bis Mai 2018 einen Audi mit Gasantrieb bestellte, erhielt das Versprechen, drei Jahre klimaneutral fahren zu können – mit Gas aus Werlte, aber auch aus Biogasanlagen. Aktuell gibt es das Angebot nicht

FOTOS: PICTURE ALLIANCE / MARIJAN MURAT / DPA (4) — PICTURE-ALLIANCE/ DPA-INFOGRAFIK

Geschäftsführer Tim Böltken vor einer Jet-Fuel-Synthese-Anlage, die in einen Container passt.

Klimaneutrale Kraftstoffe

Was halten die Deutschen von E-Fuels? (Antworten in Prozent)

Würden Sie CO_2-neutrale Kraftstoffe tanken?

Ja	63 %
Nein	11
Weiß nicht/ k. A.	26

Wie viel dürfte ein Liter höchstens kosten?

Weniger als 1,50 €	48 %
1,50 bis 2 €	28
2 bis unter 3 €	5
3 bis unter 4 €	1
4 € und mehr	0
Weiß nicht/ k. A.	18

Sollten Steuern für Diesel und Benzin erhöht werden, um die Produktion von E-Fuels anzukurbeln?

Ja	29 %
Nein	56
Weiß nicht/ k. A.	15

Fördert die Politik Alternativen zu herkömmlichen Kraftstoffen bzw. zu E-Autos genug?

Ja	12 %
Nein	72
Weiß nicht/ k. A.	16

Basis: Befragung von 2.093 Personen ab 18 Jahren zwischen dem 25. und 27. Juni 2019.

Quelle: YouGov

mehr. VW-Chef Herbert Diess setzt derzeit voll auf Elektromobilität.

Ulrich Müller hatte noch Glück, er fährt seinen Audi mit E-Gas-Versprechen seit dem vergangenen Sommer. „Mal etwas anders machen als der Mainstream, nicht einfach weiterfahren mit Benzin oder Diesel." Das war Müllers Antrieb. Er recherchierte und stellte fest, dass Gas per se sparsamer und weniger schadstoffreich ist als Diesel oder Benzin. Dann stieß er auf das E-Gas-Angebot von Audi. „Ich wollte damit meinen Beitrag leisten, um etwas Gutes für die Umwelt zu tun", sagt der IT-Unternehmer aus Neuenstadt am Kocher in Baden-Württemberg. Wenn er jetzt an einer beliebigen CNG-Tankstelle tankt, speist Audi klimaneutrales Gas ins Netz.

Der Mechanismus funktioniert wie beim Ökostrom, wo nicht unbedingt der Strom aus der Steckdose grün ist, die Anbieter aber entsprechend einspeisen und einkaufen. Autohersteller Audi bot damit zeitweise eine Möglichkeit, sich zumindest indirekt mit E-Fuels fortzubewegen.

Zu viel hätte der alternative Kraftstoff aber nicht kosten dürfen, räumt Müller ein. 1,50 Euro bis zwei Euro pro Liter sei seine Schmerzgrenze. Ähnlich sehen es viele Autofahrer. Für etwa die Hälfte der Bürger sollten E-Fuels weniger als 1,50 Euro kosten, wie eine YouGov-Umfrage im Auftrag der Deutschen Presse Agentur ergab. Eben nicht wirklich mehr, als in den vergangenen Monaten ein Liter Super-Benzin kostete. Tatsächlich gehen die Meinungen auseinander, wie teuer E-Fuels wären, würden sie angeboten. In einer Antwort auf eine Kleine Anfrage der Grünen geht die Bundesregierung von bis zu 4,50 Euro pro Liter Diesel-Äquivalent aus.

Der Mitgründer der Firma Sunfire, Nils Aldag, hält das für viel zu hoch gegriffen. Er ist mit seinem Unternehmen einer der E-Vorreiter: Schon 2010 setzten er und zwei Mitgründer alles auf Ersatzstoffe für Erdöl und Erdgas. Sein Argument: Synthetische Kraftstoffe müssten wie Elektroautos gefördert werden. Würde die Produktion etwa von der EEG-Umlage, die Strom in Deutschland teurer macht, befreit, könnte man den Stoff für etwas mehr als zwei Euro pro Liter anbieten. Weil Strom hier so viel kostet, baut Sunfire seine erste kommerzielle Anlage für synthetische Kraftstoffe in Norwegen.

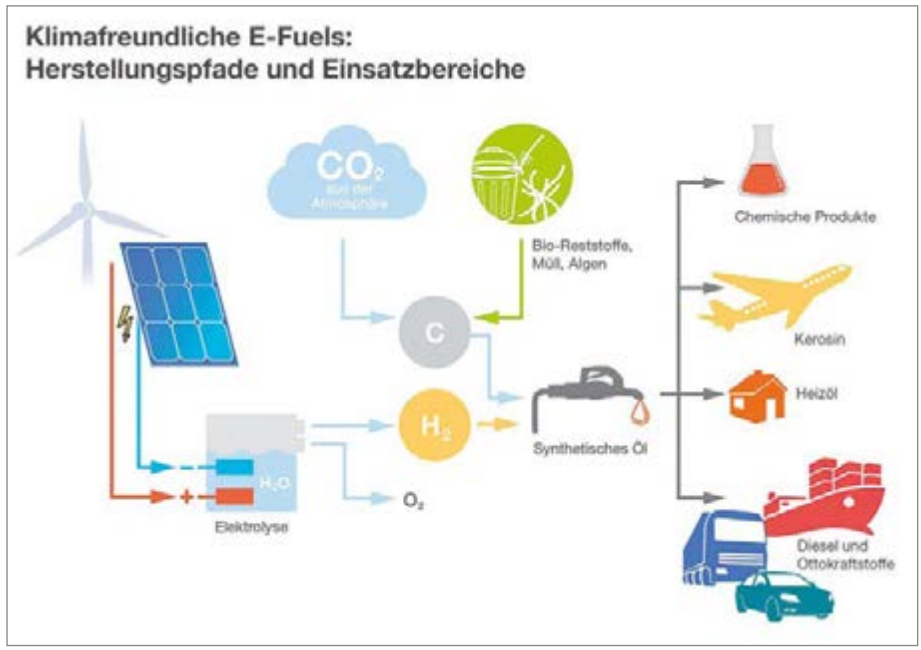
BUNDESREGIERUNG HÄLT SICH ZURÜCK

Dabei wäre eine komplette Umstellung nicht unbedingt notwendig. Volkmar Denner, Chef des weltgrößten Autozulieferers Bosch, plädiert für einen Mix: „Man kann E-Fuels dem jetzigen fossilen Kraftstoff beimischen und hat damit sofort einen CO_2-senkenden Effekt im gesamten Bestand und nicht nur in den neu verkauften Fahrzeugen." Seiner Ansicht nach ist es höchste Zeit zum Umsteuern. „E-Fuels benötigen großtechnische Anlagen, bei denen man entsprechend lange Vorlaufzeiten braucht, um die zu bauen", sagt der promovierte Physiker. „Daher sollte man jetzt beginnen, sonst wird man diese Kraftstoffe auch in zehn Jahren noch nicht haben."

Doch in der deutschen Politik spielt Elektromobilität mit Batterien gerade die größere Rolle. Die Unionsfraktion sprach sich zwar kürzlich in einem Positionspapier für einen Ausbau der Förderung von E-Fuels aus. Und Verkehrsminister Andreas Scheuer (CSU) kündigte im Mai nach einer Sitzung des Klimakabinetts an: „Wir gehen voll auf saubere Treibstoffe." In der Regierung bewertet man die Chancen von E-Fuels dabei sehr vorsichtig. Das Wirtschaftsministerium fördert Projekte, Empfehlungen zur Markteinführung soll es 2022 geben. Für vielversprechend hält man E-Fuels vor allem dort, wo der Einsatz von Batterien nach heutigen Erkenntnissen kaum möglich ist: in Schiffen etwa und Flugzeugen. „Ihr Einsatz im Straßenverkehr und insbesondere für Pkw ist (…) nicht sinnvoll", heißt es auf Anfrage aus dem Umweltressort.

Damit liegt man auf einer Linie mit der Deutschen Umwelthilfe und Greenpeace. Zwar räumt Greenpeace in einer Studie einen entscheidenden Vorteil von E-Fuels ein: In Kraftstoff umgewandelt

ließe sich erneuerbare Energie nicht nur speichern, sondern auch günstig transportieren – als Gas oder Flüssigkeit. Das könnte helfen, ein zentrales Problem der Energiewende zu lösen, nämlich dass der Anfall von Strom aus Sonne und Wind unregelmäßig ist. Allerdings ist auch das noch Theorie. „Es gibt nicht annähernd so viel überschüssigen erneuerbaren Strom, um den Pkw-Verkehr auf E-Fuels



GEDACHT NUR FÜR ÜBERGANGSPHASE

umzustellen“, sagt Benjamin Stephan von Greenpeace. Um zwölf Millionen Tonnen CO_2 durch E-Fuels einzusparen, bräuchte es zusätzlich so viel Strom, wie alle deutschen Windräder im vergangenen Jahr erzeugt hätten, rechnet er vor. Die Idee lenke ab von einer Verkehrswende ohne Verbrennungsmotor: „E-Fuels sind der falsche Weg, um Verkehr klimaneutral und effizient zu gestalten.“

Vorreiter Nils Aldag wiederum wehrt sich dagegen, als Lebensretter für den Verbrennungsmotor zu gelten. „Aber 45 bis 65 Millionen Fahrzeuge werden nicht von einem Tag auf den anderen verschwinden“, sagt der Sunfire-Mitgründer. Die Wirtschaftlichkeit von E-Fuels messe sich auch am Ressourceneinsatz. Denn Autos, Tankstellen sowie die Verteilstruktur wie Tanklastwagen könnten mit E-Fuels weitergenutzt werden. Im Gegensatz zu batterieelektrischen Fahrzeugen, die neugebaut und für die Ladestationen errichtet werden müssen. „Unsere Kraftstoffe können in der Übergangsphase eingesetzt werden, um so viel CO_2 einzusparen wie möglich“, sagt er. „Die politische Diskussion reflektiert das derzeit nicht.“ Ineratec-Gründer Böltken will nicht warten, bis die Politik sich entscheidet. Der 34-Jährige bemüht sich, seinen privaten CO_2-Fußabdruck zu verkleinern: Er fliegt nur, wenn es sein muss, fährt mit dem Fahrrad zur Arbeit, nutzt den wasserstoffbetriebenen Bus auf das Gelände des KIT in einem Waldgebiet im Norden Karlsruhes. Dort steht die Pilotanlage von Ineratec. Es ist keine Raffinerie, sondern ein Container, wie er zu Millionen auf den Weltmeeren herumschippert. Zehn von ihnen wurden bislang verkauft. Die Anlagen im Miniformat lassen sich im Grunde neben jedes Windrad und jede Photovoltaikanlage setzen. „Der Vorteil mit unserer dezentralen, modularen Technologie ist, dass man sofort anfangen kann“, sagt Böltken. Die Idee wurde 2018 mit dem Deutschen Gründerpreis ausgezeichnet.

Tim Böltkens Hoffnung liegt derzeit außerhalb Deutschlands. Im Schweizer Laufenburg am Hochrhein soll für den Stromanbieter Energiedienst und Audi eine Anlage von Ineratec aufgebaut werden. „Die Schweizer sind politisch weiter damit, die Kraftstoffe anzuerkennen“, sagt Böltken. Die Anlage soll jährlich rund 400.000 Liter Diesel und Wachse für die Industrie herstellen. Audi rechnet damit, erste Mengen 2020 in den Markt bringen zu können. Dann könnte ein Vorhaben von Tim Böltken wahr werden, nämlich: „Massen, wirklich auch Massen für den europäischen Markt herstellen.“

INFO

Der Weg zu E-Fuels

Das grundsätzliche Verfahren zur Herstellung von E-Fuels ist uralt. Im Fachjargon heißt es Fischer-Tropsch-Synthese. Sie wurde von Franz Fischer und Hans Tropsch in den 1920er-Jahren entwickelt. Dabei ging es um die Umwandlung von sogenanntem Synthesegas in flüssige Kohlenwasserstoffe. Das Verfahren diente ursprünglich zur Verflüssigung von Kohle. Synthesegas ist ein Gemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H_2). Es entsteht bei hohen Temperaturen aus Kohle, Sauerstoff und Wasser. Unter hohem Druck und mithilfe eines Katalysators reagiert der Wasserstoff mit dem Kohlenmonoxid.

Daraus entstehen verschiedene Kohlenwasserstoffe, aus denen alle möglichen Arten von Benzin- oder Diesel-Kraftstoffen gewonnen werden. In Deutschland wurden damit vor allem im Zweiten Weltkrieg Kraftstoffe hergestellt. Wegen des hohen Energieeinsatzes waren diese aber langfristig nicht konkurrenzfähig mit erdölbasierten Kraftstoffen. In Südafrika hatte das Verfahren eine große Bedeutung für die Versorgung des Landes mit Kraftstoffen aufgrund der großen und vor allem billigen Kohlevorkommen.

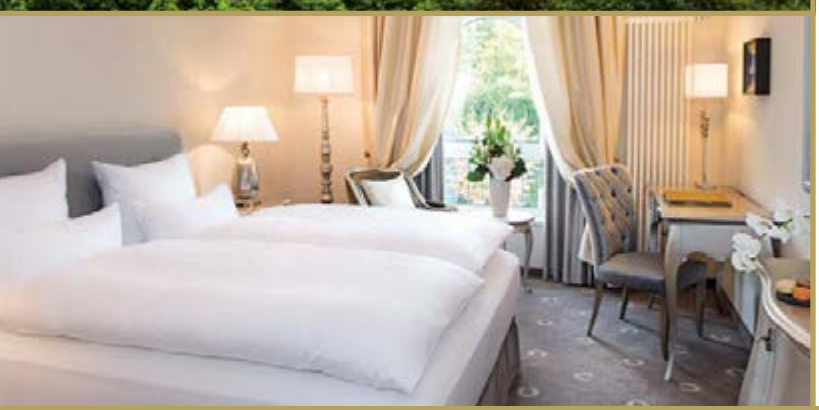
Anstatt von Kohle kann auch aus Biomasse gewonnenes Biogas als Ausgangsstoff verwendet werden. Der Mineralölkonzern Shell wiederum setzt die Methode ein, um Erdgas in Diesel zu verwandeln. Der verbrennt dem Unternehmen zufolge sauberer als herkömmlicher Diesel – hilft also beim Problem mit Diesel-Schadstoffen aus dem Auspuff. Weil allerdings Erdgas verwendet wird, trägt der Treibstoff nicht zur Senkung der CO_2-Emissionen bei.

FOTO: IWO / IWO INSTITUT FÜR WÄRME UND OELTECHNIK / OBS

Saarland,
RADLAND, WANDERLAND

FÜR AKTIVURLAUBER UND GENUSSMENSCHEN

Für alle In-die-Pedale-Treter.
Über-Stock-und-Stein-Geher. Natur-Genießer.
Kilometer-Sammler. Und Sich-auch-mal-dreckig-Macher.
Denn die schönsten Wege führen ins Saarland – und zu fünf erstklassigen Victor's Residenz-Hotels mit höchstem Komfort und zuvorkommendem Service.



Freuen Sie sich auf:

- zwei Übernachtungen inklusive Frühstücksbuffet
- ein Abendessen als 3-Gang-Menü (auf Schloss Berg: ein Abendessen als 4-Gang-Menü im Restaurant *Bacchus* oder im *Victor's Landgasthaus Die Scheune*, je nach Verfügbarkeit)
- ein Lunchpaket sowie eine Radfahr- oder Wanderkarte
- ein Präsent aus Victor's Welt

ab € 115 pro Person im Doppelzimmer
ab € 160 im Einzelzimmer

im Victor's Residenz-Hotel Schloss Berg *****S:
ab € 205 pro Person im Doppelzimmer
ab € 305 im Einzelzimmer

Die Saarland Card bietet Ihnen freien Eintritt zu mehr als 85 Attraktionen und die kostenlose Nutzung von Bus und Bahn. ***www.card.saarland***

SAAR LAND CARD

Victor's
RESIDENZ-HOTELS
SAARLAND

Victor's Seehotel Weingärtner · Victor's Residenz-Hotel Schloss Berg · Victor's Residenz-Hotel Saarbrücken
Victor's Residenz-Hotel Rodenhof · Victor's Residenz-Hotel Saarlouis · www.victors.de/saarland · Telefon +49 681 93613-0
Unternehmen der Victor's Residenz-Hotels GmbH · Kürfürstendamm 100 · D-10709 Berlin

GÖTTLICHE *Entspannung*

UNSER GESCHENK FÜR SIE:
eine Massage oder ein Wellness-Bad nach Wahl (je 30 Min.) im *VICTOR'S SPA*

Drei Tage und zwei Nächte in einem der schönsten Hideaways Deutschlands, pure Wellness und dazu traumhafter Wohnkomfort in einer unserer Göttersuiten: Bei so viel Entspannung kämen selbst Zeus und Jupiter ins Schwärmen. Gönnen Sie sich eine Auszeit im 5-Sterne-Superior-Olymp des Saarlandes und freuen Sie sich auf:

- zwei Übernachtungen in einer Göttersuite inklusive Good-Morning-Sunshine-Frühstücksbuffet
- eine kleine Flasche Champagner Christian-Bau-Edition und sechs Pralinen von Christian Bau *FINE-DINING*-Edition
- süße und salzige Snacks zur Begrüßung
- Obst und Mineralwasser, eine Auswahl an Hochglanz-Magazinen und Nespresso®-Maschine auf dem Zimmer
- einen reservierten Parkplatz vor dem Hoteleingang
- duftende Blumen auf dem Zimmer
- zusätzliche exklusive Kosmetikprodukte im Bad
- stilvolle Entspannung im Wellnessbereich mit Schwimmbad, Whirlpool, Dampfbad, verschiedenen Saunen und Fitness-Raum

ab € 395 pro Person

Die Saarland Card bietet Ihnen freien Eintritt zu mehr als 85 Attraktionen und die kostenlose Nutzung von Bus und Bahn. ***www.card.saarland***

SAAR LAND CARD

Tägliche Anreise möglich, ganzjährig buchbar, außer an Ostern, Weihnachten und Silvester

Victor's
RESIDENZ-HOTEL
SCHLOSS BERG
★ ★ ★ ★ ★ S

Schloßstraße 27–29 · D-66706 Perl-Nennig/Mosel · Telefon +49 6866 79-0
Fax +49 6866 79-100 · info.nennig@victors.de · www.victors.de
Ein Unternehmen der Victor's Residenz-Hotels GmbH · Kurfürstendamm 100 · D-10709 Berlin