

Das Schöne an Pionieren ist, dass sie sich sparen nachzurechnen, ob der Schritt in die Zukunft lohnt. Derzeit hofft alle Welt auf den Wasserstoff (H₂), er soll in wenigen Jahrzehnten auf dem Weg in die Freiheit vom Kohlenstoff zum Energieträger werden, der alles kann – vom Heizen bis zum Autofahren. Kaum einen Beitrag zu diesem Thema gibt es, der nicht damit begönne, dass schon Jules Verne im 19. Jahrhundert dem vielseitigen Gas prophezeit hätte, es werde die Kohle der Zukunft – verbunden mit dem Hinweis, dass wir da heute doch schon viel weiter sind.

Beides stimmt, fahren wir also künftig mit H₂ im Tank? Der Weg ist offenbar steinig. Mit großer Begeisterung hat Mercedes das Modell GLC Fuell Cell vorgestellt, exakt ein Vierteljahrhundert nach der Präsentation des ersten Brennstoffzellenautos dieser Marke. Man kann ihn nicht kaufen, aber für fast 800 Euro monatlich mieten, wengleich das nicht für jedermann möglich ist. Dies ist solch ein Pionier; es ist das erste und bisher einzige Fahrzeug, das H₂ tankt, um daraus über die Brennstoffzelle (BZ) Strom für seinen Elektromotor zu erzeugen, und dessen Akku außerdem auch an der Steckdose geladen werden kann. Das erlaubt Einblicke, der Betrieb mit Strom aus dem Akku und mit Strom aus H₂ lässt sich vergleichen, den Mischbetrieb lassen wir beiseite. Dann soll der GLC rein elektrisch 18 kWh Strom verbrauchen oder alternativ 1 Kilo H₂. Dieses Kilo hat einen unteren Brennwert von rund 33 kWh und einen oberen von 39 kWh. Daraus ergibt sich, dass nur etwa die Hälfte der enthaltenen Energie am Elektromotor ankommt. Mercedes erklärt dazu, dass die Brennstoffzelle einen Wirkungsgrad bis zu 65 Prozent habe – das ist die obere Grenze, mehr geht also nicht, weniger ist realistisch. Allerdings lässt sich die Abwärme der Brennstoffzelle zum Heizen des Autos nutzen.

Andererseits ist die Übertragung des elektrischen Stroms von der Erzeugung bis zur Batterie ebenfalls nicht frei von Verlusten im Leitungsnetz und beim Laden des Akkus. Nur sind sie viel geringer. Und für den Wasserstoff, falls er aus elektrischem Strom hergestellt wird, kommen die Verluste in der Erzeugungskette hinzu: Wirkungsgrad der Elektrolyse (60 bis 70 Prozent), Verdichtung oder Verflüssigung (10 bis 15 Prozent), Transport zur Tankstelle. Von zehn erzeugten Kilowattstunden kann der Elektromotor grob überschlagen zwei bis drei verwerten.

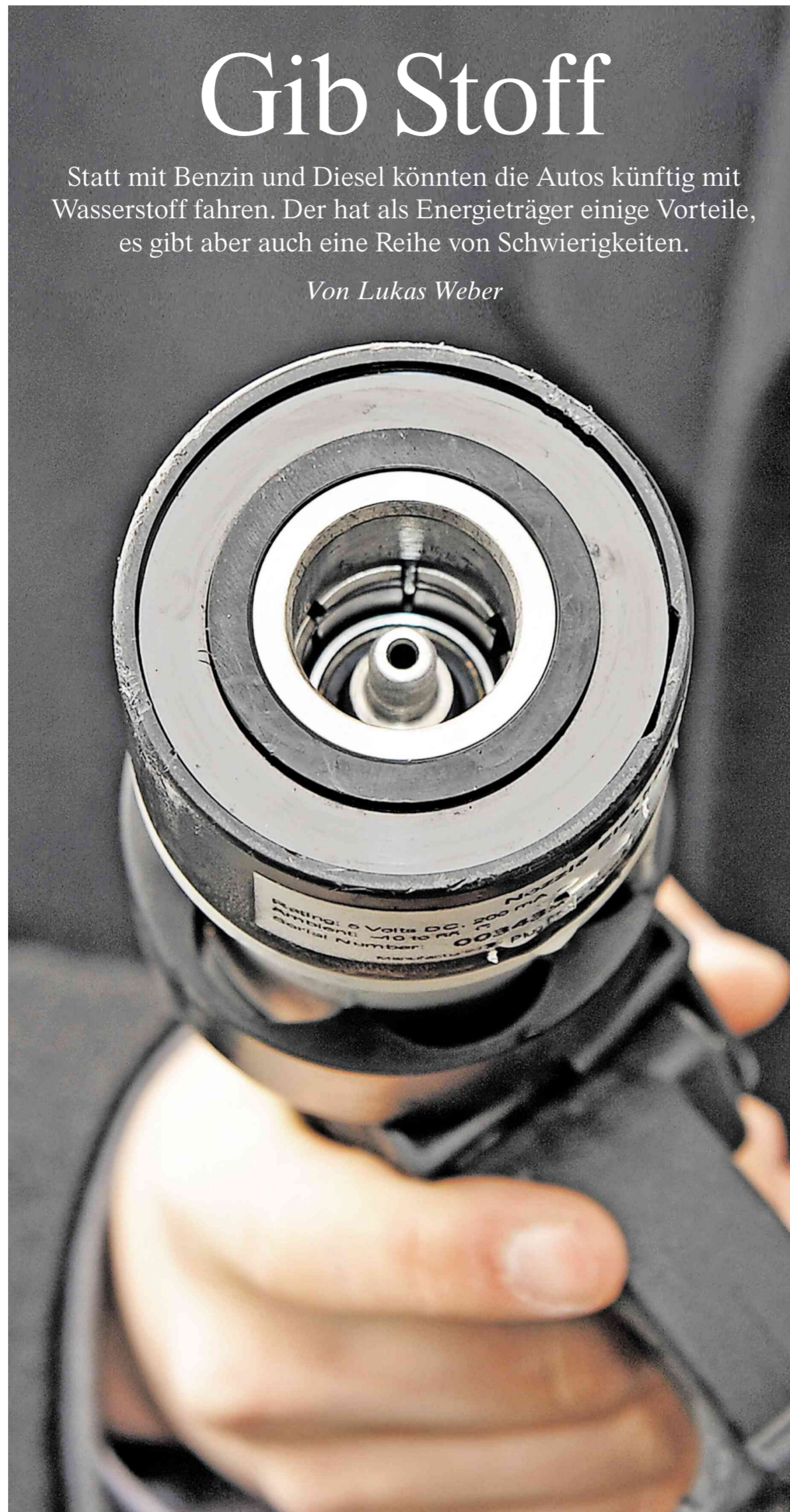
Trotz der dürrigen Energiebilanz wird gerade ein Tankstellennetz errichtet. In diesem Jahr sollen es 100 und bis 2023 etwa 400 Stationen sein. Es gibt Industrieinitiativen, Forschungsprojekte, Prognosen über satte Wachstumsraten und politische Absichtserklärungen. Das muss einen Grund haben. Und tatsächlich, der Wasserstoff bietet eine Reihe von Vorzügen: Die Brennstoffzelle arbeitet ohne Abgase, Nachfüllen geht fast so rasch wie mit Diesel oder Benzin, und der Tank gewährleistet Reichweiten von 500 Kilometern – rein elektrisches Fahren also ohne die Nachteile des Batteriebetriebs.

Ohne Akku geht es nicht

Ganz ohne Akku geht es trotzdem nicht. Zwar werden Protonenaustausch-Membran-Brennstoffzellen (PEM) verwendet, die rasch auf Bedarfsschwankungen reagieren, aber auch die haben einen optimalen Wirkungsgrad, der im Betrieb angestrebt wird. Die Höchstleistung der Brennstoffzelle ist stets niedriger als die des Elektromotors, im Fall des Mercedes sind das 70 kW und 160 kW, der Akku von 13,8 kWh Energiegehalt brutto dient als Puffer. Er muss groß genug sein, um viel Energie abgeben zu können, wenn sich der Motor unter voller Last aus ihm bedient. Leer wird er dabei nicht, weil die Höchstleistung nur kurz gebraucht wird.

Die Ansammlung teurer Komponenten wie Elektromotor, Akku, Tank und Brennstoffzelle schraubt die Kosten in die Höhe, die Verkaufspreise der wenigen BZ-Autos sind deshalb abschreckend hoch. Als da wären von Toyota das Modell Mirai (114 kW) für 78 600 Euro, der Hyundai Nexo (120 kW) mit beachtlichen sechs Kilo im Tank für 69 000 Euro, der in Deutschland nicht erhältliche Honda Clarity (130 kW) und eine Sonderserie des Renault Kangoo mit nur 44 kW, aber großer Batterie von 33 kWh für rund 58 000 Euro. Diese Modelle sind allesamt nicht übertrieben luxuriös und auch nicht neu, der Nexo ist seit 2013 auf dem Markt. Trotzdem sind sie seltene Exoten. Die Brennstoffzelle ist wie ihr Gegenstück, der Elektrolyseur (er spaltet mit Strom Wasser auf), zwar mit den Jahren durch den Einsatz neuer Materialien billiger geworden, das ganze Ensemble ist trotzdem teuer. Ob daran der Einstieg großer Konzerne wie Bosch, Freudenberg oder Michelin in die Fertigung etwas ändern kann, muss sich erst noch zeigen.

Daraus zu folgern, eine H₂-Infrastruktur mit einem über Europa verteilten



Gib Stoff

Statt mit Benzin und Diesel könnten die Autos künftig mit Wasserstoff fahren. Der hat als Energieträger einige Vorteile, es gibt aber auch eine Reihe von Schwierigkeiten.

Von Lukas Weber

Anschluss gesucht: Mit einem solchen Stecker wird gezapft, das geht so einfach wie mit Gas. Ein Kilo H₂ reicht für etwa 100 Kilometer.

Tankstellennetz brächte nichts, ist indessen auch verkehrt. Möglicherweise liegt die Zukunft der lokal CO₂-freien Mobilität in einer Aufgabenteilung, denn elektrische Lastwagen im Fernverkehr sind trotz der ständigen Verbesserung der Akkus auf absehbare Zeit nicht zu erwarten. Für eine Strategie weg vom Diesel kommt nach bisherigem Stand als Energieträger nur H₂ in Frage, die Versuche

mit den Oberleitungen an der Autobahn lassen wir mal beiseite. Im Vergleich zu Personenzugwagen haben die Lastwagen Vorteile: Weil mehr Platz für den Tank zur Verfügung steht, zum Beispiel hinter dem Führerhaus, muss nicht auf die für Autos üblichen 700 bar verdichtet werden, um die nötige Reichweite zu erzielen, es reichen 350 bar. Die für die starken Elektromotoren notwendigen gro-

ßen Brennstoffzellen und Batterien sind aber kostspielig. Das Gleiche gilt übrigens auch für H₂-Eisenbahnen, von denen die ersten in Deutschland unterwegs sind.

Recht weit gediehen sind in einigen Kommunen Pläne, den öffentlichen Nahverkehr auf Wasserstoff umzustellen. Dazu gab es schon 2006 einen Zusammenschluss europäischer Städte, und seither viele Demonstrationsprojekte, meist mit Bussen der Zwölf-Meter-Klasse. Im Frankfurter Raum etwa will der Kreis Groß-Gerau in den nächsten fünf Jahren 90 Busse mit Brennstoffzellen in Betrieb nehmen, getankt wird im Industriepark Höchst. Mit Blick auf die Lastwagen ist international die Entwicklung offenbar ein Stück weiter als hierzulande. Reinhold Wurster, Vorstandsmittelglied des Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verbands, hat im vergangenen Herbst auf dem Hessischen Brennstoffzellenforum einen Überblick gegeben. Demnach will Südkorea bis 2035 sämtliche Nutzfahrzeuge und Busse umgestellt haben, auch in China gibt es viele Projekte. In Europa plant die Schweizer Coop die Umstellung auf BZ-Lastwagen mit 35 Tonnen Gesamtgewicht. Die Fahrzeuge haben 250 kW Dauerleistung und eine 120-kWh-Batterie, angeblich liegen schon 1600 Anfragen anderer Interessenten vor. Ebenfalls in der Schweiz sollen in diesem Jahr 50 Lastwagen von Hyundai in Betrieb gehen (BZ 190 kW, Motor 350 kW, Batterie 73 kWh), die Reichweite mit 32 Kilo H₂ wird mit 400 Kilome-



Wasserstrom: Der Mercedes F-Cell kann nass und trocken tanken Foto Hersteller

tern angegeben. Eine ähnliche Auslegung haben Versuchsfahrzeuge unter anderem von Toyota, die vor allem in den Vereinigten Staaten unterwegs sind. Die Brauerei Anheuser-Busch hat angeblich 800 BZ-Lastwagen bei Nikola Motors bestellt, sie sollen mit 60 bis 80 Kilo H₂ eine Reichweite bis zu 1200 Kilometern haben (240 kW, 734 kW und 250 kWh). Auch die Faun-Werke in Osterholz-Scharmbeck beschäftigen sich seit einem Jahrzehnt mit dem Thema, unter dem Namen Bluepower soll ein modulares Baukastensystem mit BZ-Leistungen von 30, 60 und 90 kW angeboten werden. Wie die Werte zeigen, ist der Motor stets stärker als die Brennstoffzelle. Sobald ein Lastwagen unter Vollast lange Steigungen bewältigen muss, kann es knapp werden; wenn die Batterie leer ist, reduziert sich die Leistung auf das Maximum der Brennstoffzelle.

Vielleicht geht es günstiger. Das Unternehmen Keyou baut Verbrennungsmotoren von Lastwagen auf den Betrieb mit Wasserstoff um. Ein Stadtbus mit BZ koste im Vergleich zu einem Diesel etwa das Dreifache, mit H₂-Verbrenner nur etwa ein Drittel mehr, erklärt Geschäftsführer Thomas Korn. Es gebe Kooperationen mit drei Herstellern. Der Verbrauch werde auf dem Niveau eines BZ-Lastwagens liegen. Und die Motoren verdauen auch nicht ganz reinen Treibstoff.

Wo kommt der Wasserstoff her?

Solche Versuche ziehen sich schon lange hin, aber jetzt scheint Bewegung erkennbar. Treibt also der Wasserstoff am Ende trotz des geringen Wirkungsgrades den Verkehr der Zukunft an? Darüber gehen die Meinungen auseinander. Bosch zum Beispiel erwartet, dass bis zum Jahr 2030 weltweit ein Fünftel aller Elektrofahrzeuge mit BZ ausgerüstet sein werden. Der VW-Vorstandsvorsitzende Herbert Diess hält das für Humbug und setzt ganz auf die Versorgung aus der Batterie.

Mitentscheidend ist am Ende, ob der benötigte Wasserstoff zur Verfügung steht und zu welchem Preis das sein wird. Er wird in großen Mengen für viele Zwecke gebraucht, aber fast ganz aus fossilen Energieträgern gewonnen, dabei wird CO₂ frei. Die Elektrolyse gilt als umweltfreundlich, der elektrische Strom muss dann aber aus erneuerbaren Energien kommen. Geplant ist, überschüssigen Strom aus Sonne und vor allem Wind hierfür einzusetzen, was in einer ständig steigenden Zahl von Pilotprojekten versucht wird, das Ergebnis wird als grüner Wasserstoff bezeichnet. Die Alternative ist das herkömmliche Verfahren aus Methan (grauer H₂), das CO₂ kann aber aufgefangen und gelagert werden (CCS, in einigen Ländern im Probebetrieb), das nennt sich dann blauer H₂. Aufschlussreich ist hierzu eine kürzlich vorgelegte Studie von Greenpeace, die aktuelle Untersuchungen zu diesem Thema berücksichtigt. Demnach verursacht H₂ aus Elektrolyse beim derzeitigen Strommix sogar mehr Treibhausgas als der graue. Gegen blauen mit anschließender Lagerung des CO₂ sprechen nach Ansicht der Autoren einige Gründe: Rund ein Viertel des Ausstoßes lässt sich nicht vermeiden, weil er schon vor der Umwandlung des Erdgases in H₂ und CO₂ anfällt. Das Verfahren selbst ist teuer, und die Abscheidung gelingt nicht vollständig. Vor allem aber stehen bei weitem nicht genug Lagerstätten für das CCS zur Verfügung, hinzu kommt die fehlende Akzeptanz in der Bevölkerung. Methoden der festen Abscheidung sind erst im Versuchsstadium.

Interessant ist ein Vergleich der Produktionskosten. Die Angaben dazu schwanken erheblich, wobei der Strompreis und der Gaspreis wichtige Größen sind. Im europäischen Durchschnitt kostet H₂ grau demnach rund 1,5 Euro je Kilo, H₂ blau etwa 2 und H₂ grün 5 bis 6 Euro. Herstellung im Ausland, etwa in der Wüste, ist nach Ansicht der Autoren auch keine Lösung. Der Schifftransport bedeute einen Aufschlag von 50 bis 150 Prozent, für die Verflüssigung werden ein Euro je Kilo, für den Transport in Lastwagen 1 bis 2 Euro je 500 Kilometer veranschlagt. Außerdem beuge man sich in neue Abhängigkeiten. Zu den Produktionskosten kommen Handelsspannen und Steuern. Derzeit gibt es ein Kilo Wasserstoff an der Tankstelle für 9,50 Euro, ein politischer Preis.

Hinsichtlich der Elektrolyse lässt sich einwenden, dass der Strom aus Windkraft rädern, die wegen fehlender Nachfrage stillstehen, kaum variable Kosten verursacht und die Fixkosten ohnehin anfallen, er sei also fast umsonst. Das gilt freilich nur, solange der Überschussstrom nicht anderweitig gebraucht wird – etwa um ihn zu speichern, weil nach dem Abschalten von Atomkraft und Kohle rund die Hälfte der Produktion fehlt. An alternativen Möglichkeiten der Herstellung und Speicherung von H₂ wird indes nachdrücklich geforscht. Dafür gibt es einige vielversprechende Ansätze, mit denen wir uns in einem späteren Beitrag beschäftigen wollen.

Ob Wasserstoff oder Batterieelektrik – für die Verkehrsmittel wird letztlich entscheidend sein, welche Technik künftig Energiespeicher zu vertretbaren Kosten zur Verfügung stellen wird. Bisher setzen die Vertreter beider Strategien auf Hoffnungswerte. Und Öl ist gerade billig.



Özdemir Lunte

Von Holger Appel

Das Gezerre um die Förderung der Autobranche zeigt wieder, wie verfahren die Lage ist. Europas Hersteller laufen Gefahr, die CO₂-Ziele zu verfehlen, ab 2021 drohen heftige Strafen. Ein Rettungsring ist der Plug-in-Hybrid, eine Mischung aus Verbrennungsmotor und an der Steckdose aufladbarem Akku. Solche Modelle schaffen 25 bis 45 Kilometer elektrisch, das ist fein in der belasteten Stadt. Deshalb werden sie beim Kauf und über die Dienstwagenbesteuerung gefördert. Ihr trojanischer Trumpf: Mit Normverbräuchen um 2 Liter drücken sie den Flottenwert merklich. Im Alltag verbrauchen sie freilich mehr Benzin als reine Benzinzer und mehr Strom als reine Elektroautos, weil sie zwei Antriebssysteme herumschleppen. Daran stört sich öffentlich kein Politiker, wahrscheinlich weil selbst die autofeindlichsten in Berlin und Brüssel die Bedrohung erkennen. Doch jetzt hat der Grüne Cem Özdemir in seinem ganzen Pragmatismus die Lunte gelegt. Plug-in-Hybride seien staatlich subventionierter Klimabetrug, wettet er in der Frankfurter Allgemeinen Sonntagszeitung. Die Autos würden gar ohne Ladekabel geliefert, das liest sich plakativ, ist aber Unfug, weil das Kabel an der Wallbox hängt. Der Rest des Vorwurfs stimmt indes. „Die Autos werden faktisch als Verbrenner betrieben“, stellt Özdemir treffend fest, weil sich Menschen Laden aus Bequemlichkeit meist sparen. Seine Lösung: Lademuffel will er am TÜV-Termin entlarven, wer weniger als 80 Prozent elektrisch fährt, wird bestraft. Statt Fesseln des vermurksten CO₂-Regimes zu sprengen, also fortgesetzte Regelungswut. Nach Diesel und Benzinzer wird der Plug-in zu Teufelszeug erklärt. Dann landen wir endlich beim Elektroauto und stellen fest, dass der Strom zur Hälfte nicht regenerativ hergestellt und immer teurer wird. Wo führt das hin?

Heiße Prämie

Von Lukas Weber

Als technikverliebter Redakteur steht man eher selten im Verdacht, Autos und deren Hersteller nicht zu mögen. Deshalb gestatten wir uns, hier deutliche Worte zu einer Neuaufgabe der Abwrackprämie zu finden: Wir sind dagegen. Der schon in der Diesel-Krise nicht ideale Auftritt der Unternehmen und ihrer Verbände wird gerade durch ein Eigentümer veredelt – wie will man den Leuten erklären, dass sie das neue Auto des gutbetuchten Nachbarn mitbezahlen sollen, weil Unternehmen, die Milliardengewinne eingefahren haben, nach dem Steuerzahler rufen? Ob's für die Umwelt nicht besser ist, vor fünf Jahren gekaufte Vehikel eine Weile weiterzufahren, ist auch noch nicht heraus. Und wer Kaufprämien verteilen will, muss erklären, wofür. Groß ist die Gefahr, dass dadurch neuer Unfug entsteht. Der weitgehend wirkungslose Zuschuss für Elektroautos ist solch ein Irrsinn, er lebt von der Annahme, sie seien umweltfreundlicher als andere Antriebe, und jeder könne sie zu Hause laden. Wenn sie bis auf hundert Euro heruntergefordert sind, kaufen wir vielleicht auch eines. Bis dahin empfehlen wir, das staatliche Füllhorn an anderer Stelle auszuschütten, wo das Geld ebenso dringlich benötigt wird. Unser Favorit ist die Gebäudesanierung. Vor allem braucht der Mensch mehr Zuschüsse für neue Heizungen, denn die vorhandenen sind im Schnitt älter als die Autos, viele davon Abgasschleudern. Von den Einnahmen können sich die Heizungsbauer ja neue Fahrzeuge kaufen. Es ist schwer zu sagen, welche Strategie für die Umwelt am besten ist, die gesamte Ökobilanz müsste bekannt sein – und für die Wirtschaft, wo die meisten Arbeitsplätze mit den gepumpten Milliarden gerettet werden können. Wer weiß das schon? Gewiss ist nur eines: Zahlen müssen die kommenden Generationen.

IM BOOT

Die erste Serienyacht mit Hybridantrieb kam von Greenline. Und jetzt folgt die Tourenyacht 45 Fly.

Seite 2

BEIM ITALIENER

Der kleine Fiat 500 ist ein Phänomen. Seit 13 Jahren ist er am Markt. Hybridtechnik soll ihn jetzt fit für die Zukunft machen.

Seite 3

AM ARM

Polar ist wieder da und verbessert seine Sportuhren. Die neue Grit X richtet sich an Profis, ist aber günstig.

Seite 4