

Alles elektrisch

Der Lkw-Fernverkehr sollte möglichst schnell auf Strom umschalten



»E-Force« heißen die in der Schweiz gebauten 18-Tonner für den Zulieferverkehr, die schon heute einen Vorgeschmack auf den elektrisch betriebenen Schwerlastverkehr der Zukunft bieten. Aus dem Konzeptstadium sind sie bereits heraus, erste Erfahrungen im Alltagsbetrieb sind vielversprechend.

**Wie sieht die Energiezukunft aus?
Selbst unter den Befürwortern von
»100 Prozent Erneuerbar« gibt es
große Meinungsverschiedenheiten
zum Thema Verkehr und hier vor allem
zum Gütertransport auf der Straße.
Noch immer denken viele, dass große
Lkw nicht mit vertretbarem Aufwand
elektrifizierbar sind und halten
deshalb an der Biomasse fest. Dies
könnte sich als Fehler erweisen.**

Es gibt physikalische Wahrheiten, die nicht jedermann gefallen. Nutzt man in Deutschland beispielsweise einen Hektar Freifläche für den Biomasseanbau, kann man je nach Pflanzenart und Weiterverarbeitung zu Strom oder

Biotreibstoff fünfzig- bis hunderttausend Kilowattstunden Energie daraus gewinnen. Baut man aber auf die gleiche Fläche eine Photovoltaikanlage mit Ost-West-Ausrichtung, lassen sich damit jährlich über eine Million Kilowattstunden Solarstrom ernten. Und weiter gedacht: Mit der gesamten in Deutschland für die energetische Biomassenutzung verwendeten landwirtschaftlichen Flächen könnte man rund zehn Prozent des hiesigen Treibstoffbedarfs für den Mobilitätssektor bereitstellen. Würde man diese Fläche indes für Solarparks nutzen, reichte die gewonnene Energie – eine rein elektrisch betriebene Fahrzeugflotte vorausgesetzt – für den gesamten Energiebedarf des Mobilitätssektors. Und für den gesamten deutschen Strombedarf noch dazu. Und außerdem – wiederum die vorherige Elektrifizierung, in diesem Fall über Wärmepumpen, vorausgesetzt – auch noch für den gesamten Raumwärmebedarf.

Schon diese Vergleiche allein unter dem Gesichtspunkt der Verfügbarkeit von Ressourcen zeigen deutlich, wie wünschenswert und sinnvoll es wäre, auch im Straßenverkehr Strom für Elektromotoren anstelle von Treibstoffen für Verbrennungsmotoren zu nutzen. Dazu kommen noch all die anderen Probleme der Biomassenutzung wie der intensive Düngemittel- und Pestizideinsatz, der Verlust von nicht mehr für extensive Landwirtschaft verfügbare Flächen und der Störung des Kohlenstoffkreislaufs, um nur einige zu nennen.

Die Befürworter der Biomassenutzung im Verkehrsbereich sehen diese Probleme auch, und in den letzten Jahren hat sich in der Diskussion zum Thema Verkehr schon eine Trendwende vollzogen. Vor 20 Jahren wurde seitens vieler Umweltvereine und Forschungsinstitute noch landauf, landab argumentiert, dass erneuerbarer Strom, insbesondere Solarstrom, viel zu wertvoll

sei, um damit Autos anzutreiben. Dafür sollte man lieber Rapsöl oder Biodiesel verwenden und den Solarstrom ins Netz einspeisen, wo er dreckigen fossilen Strom verdrängen kann. Es wurde auch angezweifelt, ob es überhaupt jemals gelingen könne, Elektroautos mit Reichweiten zu bauen, die für mehr als die Fahrt zur Arbeit oder zum Einkaufen reichen.

Weniger Tankstopp

Inzwischen macht der amerikanische Automobilhersteller Tesla Motors der Welt vor, wie es geht. Die fünfsitzige Limousine »Modell S« kann man mit einem 85 Kilowattstunden fassenden Akku bestellen und erhält ein Auto der oberen Mittelklasse mit 500 Kilometern Reichweite – rein elektrisch. Damit vor allem bei längeren Touren auf der Autobahn, wo ein »Bleifuß« die Reichweite verkürzen kann, dem Wagen nicht der Saft ausgeht, hat Tesla eigene, rund um die Uhr geöffnete Schnellladestationen aufgebaut. In Deutschland gibt es zurzeit sieben, bis zum Winter sollen es drei- bis viermal so viele werden. Meist stehen sie auf Autohöfen entlang der Autobahnen. Hier kann der Tesla S bei leerem Akku mit einer Ladeleistung von bis zu 135 Kilowatt in einer halben Stunde auf 80 Prozent seiner nominalen Akkukapazität aufgeladen werden. Tesla-Fahrer müssen an diesen Stationen für den Strom nichts bezahlen, die Kosten für die Nutzung sind mit dem Kaufpreis des Autos bereits abgegolten. Darüber hinaus können sie natürlich auch die vielen anderen öffentlichen Ladestationen nutzen, an denen sich der Akku in derselben Zeit so weit aufladen lässt, dass der Vorrat für rund 100 bis 150 Kilometer reicht.

Die Sache kommt also im Wortsinn ins Rollen. Aber mit dem Pkw-Verkehr allein ist es natürlich nicht getan. Da gibt es noch (Fern-) Busse, Zuliefer-Lkw und, abermals im Wortsinn, als besonders schwere Brocken die 40-Tonner im Warentransport über Hunderte oder Tausende Kilometer. Sie fahren mit ihren mitunter mehrere Hundert Liter Diesel fassenden Tanks quer durch Europa, ohne Tankstopps einlegen zu müssen, wobei man aber beachten muss, dass dies nicht etwa der langen Wartezeit beim Tanken geschuldet ist. Fernfahrer müssen ohnehin regelmäßig längere Pausen einlegen. Der Grund für die Riesentanks liegt in der unterschiedlichen Besteuerung von

Diesel. Mit ausreichendem Spritvorrat kann man Hochsteuerländer wie Deutschland ohne Tankstopp durchfahren und somit Kosten sparen.

Bei einem elektrisch angetriebenen Lkw sähe das anders aus. Zwar gibt es auch hier von Land zu Land große Preisunterschiede. Da Strom als Treibstoff aber insgesamt wesentlich billiger wäre als Diesel, würde dies, bezogen auf die gesamten Transportkosten, kaum ins Gewicht fallen.

Indirekt elektrisch

Erste Ansätze, regenerativen Strom auch im Schwerlastverkehr einzusetzen, gibt es bereits, bislang allerdings auf indirektem Wege. So stellt das isländische Unternehmen Carbon Recycling International (CRI) synthetisches Methanol her. Dazu verwendet es den in Island billig verfügbaren Strom aus geothermischen Kraftwerken. Das zur Methansynthese auch noch erforderliche Kohlendioxid wird aus der Luft gewonnen. Biomasse ist also nicht mehr mit im Spiel, alle Prozesse basieren nur auf Strom und Luft. Seit 2011 produziert CRI Methanol in seinem »George Olah Renewable Methanol Plant« mit zwei Millionen Litern Jahreskapazität. Benannt ist die Anlage nach George Andrew Olah (geboren am 22. Mai 1927 in Budapest, Nobelpreis für Chemie 1994), einem amerikanischen Chemiker ungarischer Herkunft, der als Direktor des Loker Hydrocarbon Research Institute eine Methanolwirtschaft auf Basis erneuerbarer Energien propagiert.

Will man schwere Lkw mit Methanol statt mit Diesel betreiben, so müssten nur Otto- statt Dieselmotoren verbaut werden, wie dies zum Beispiel in den USA durchaus üblich ist. Auch der Einsatz von Direktmethanolbrennstoffzellen wäre denkbar. Dieser Nutzungsweg von regenerativem Strom über Methanol im Ottomotor oder über eine Brennstoffzelle im Elektromotor hat aber einen entscheidenden Nachteil: die ungünstige Wirkungskadette. Vom ursprünglich vorhandenen regenerativen Strom kom-



Tesla Supercharger: Mit 135 Kilowatt Leistung ist der Akku eines Tesla S Performance in 30 Minuten zu 80 Prozent gefüllt. Demnächst soll es Ladestationen geben, die das sogar in fünf bis zehn Minuten schaffen.

men nur etwa 10 bis 20 Prozent an den Antriebsrädern an. Das meiste geht vorher im Ottomotor (Wirkungsgrad in der Praxis etwa 30 Prozent) oder der Brennstoffzelle (Wirkungsgrad in der Praxis etwa 30 bis 40 Prozent) verloren. Und auch die Methanolsynthese selbst ist nicht verlustfrei. Sie kommt derzeit auf etwa 50 Prozent Wirkungsgrad.

Eine weitere Alternative könnten Lkw sein, die mit verflüssigtem Methan fahren. In Deutschland gibt es solche Fahrzeuge nicht, aber in den USA sind schon etwa 60.000 Trucks mit diesem System unterwegs. Das liegt vor allem an dem durch die Förderung per »Fracking« billigen Erdgas.

Nun ist Erdgas nicht regenerativ, also auf Dauer auch keine Lösung. Aber das chemisch identische Methan kann man wie Methanol ebenfalls aus Strom und Luft herstellen. Dazu wird per Elektrolyse zunächst Wasserstoff hergestellt. Dieser wird dann mit aus der Luft gewonnenem Kohlendioxid in einer sogenannten Sabatieranlage in Methan umgewandelt.

Alternativ arbeiten Wissenschaftler an der direkten Synthese des Methans in einer Hochtemperatur-Elektrolysezelle unter direkter CO_2 -Zugabe. Im April startete hierzu das vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) koordinierte Forschungsprojekt »Helmeth« (»Integrated High-Temperature Electrolysis and Methanation for Effective Power to Gas Conversion«), das die bei der Methanisierung von Wasserstoff anfallende Prozesswärme für die Elektrolyse nutzbar machen und so einen Gesamtwirkungsgrad von 85 Prozent für die Methanherstellung erreichen soll. Aber auch dieser Weg brächte am Ende wegen der Wirkungsgradverluste von Motor oder Brennstoffzelle nur einen kleinen Teil der Ausgangsenergie an die Antriebsräder.

Wirkungsgradprobleme

Es ist bekannt, dass die »Power to Gas« (PTG) oder »Power to Liquid«-Verfahren (PTL) noch keine sonderlich hohen Wirkungsgrade erreichen. Im Stromsektor wird diesen Technologien dennoch zugetraut, das Problem der Langzeitspeicherung von Energie zu lösen. Warum sollte dies für den Transportsektor nicht gelten?

Die Antwort ist einfach. Im Stromsektor werden in Deutschland derzeit pro Jahr etwa 600 Terawattstunden verbraucht. In einem Szenario mit 100 Prozent regenerativem Strom werden aufgrund der verfügbaren Potenziale Solar- und Windkraftanlagen den größten Beitrag leisten. Deren Strom wird zum überwiegenden Teil direkt verbraucht, muss also nicht zwischengespeichert werden: Je nach Studie sehen Forscher einen Speicherkapazitätsbedarf von gut 20 bis gut 50 Terawattstunden. Dieser Saisonspeicherbedarf wird pro Jahr zwei bis drei Mal umgeschlagen, das macht 40 bis 160 Terawattstunden Rückverstromungsmenge. Um diese Strommenge mit PTG zu erzeugen und dann wieder in Strom zurückzuverwandeln, wird bei einem »Power to Gas to Power«-Weg mit knapp 40 Prozent Wirkungsgrad eine zusätzliche Strommenge von 100 bis 400 Terawattstunden benötigt. Der deutsche Strombedarf würde also von jetzt 600 auf dann 700 bis 1.000 Terawattstunden steigen, der Bruttostrombedarf eines solchen Systems – und damit der Bedarf an zusätzlichen Erzeugungskapazitäten – läge mithin bei 117 bis 167 Prozent der Nutzenergie. Das ist zwar recht viel, aber im Verhältnis zum Nutzen mehr als vertretbar.

Beim Einsatz von PTL oder PTG im Verkehrsbereich sähe die Rechnung jedoch ganz anders aus. Hier kann keine einzige Kilowattstunde direkt verwendet werden, die gesamte genutzte Nettoenergie (Vortriebsenergie an den Rädern) muss mit einem energetischen Aufwand vom Fünf- bis Zehnfachen bereitgestellt werden. Der Bruttostromaufwand läge also nicht, wie beim Einsatz von PTG als Speichergas im Stromnetz, bei 117 bis 167 Prozent, sondern bei 500 bis 1.000 Prozent der Nutzenergie. Und der Energiebedarf des Transportsektors kann mit rund 740 Terawattstunden veranschlagt werden, er liegt also sogar noch höher als der aktuelle Strombedarf.

Für die Verwendung von PTG oder PTL im Transportsektor müssten des-



Strom von oben: So geht's auch – doch Lkw mit Oberleitung benötigen eine sehr umfassende Infrastruktur und werden sich daher vermutlich nicht durchsetzen

halb derart viele Windkraft- und Solarstromanlagen zusätzlich gebaut werden, dass dies vermutlich die Belastungsgrenze auch der wohlwollendsten Bevölkerung überschreitet. Daran würde sich auch nichts ändern, wenn man die Wirkungsgrade von PTG- und PTL-Anlagen deutlich erhöht, was im Laufe der Zeit sicherlich möglich wäre. Das Problem ist der schlechte Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors.

Lkw mit Akku

Möglicherweise frustriert ob der dargelegten Energieverschwendung kamen Entwickler der Firma Siemens auf die Idee, das Speicherproblem zu minimieren und auf Autobahnen Oberleitungen für Lkw zu entwickeln. Damit könnte ohne weitere Fortschritte in der Akkutechnologie ein elektrisches Antriebssystem realisiert werden: Auf langen Strecken fährt der Lastwagen mit Strom aus der Oberleitung, die Energie aus seinem Akku benötigt er nur für die letzten Kilometer zum Kunden und wieder zurück zur Autobahn. Dort bezieht er dann nicht nur den Fahrstrom wieder aus der Oberleitung, sondern auch den zusätzlichen Ladestrom für den Akku. So bleibt die notwendige Akkukapazität klein und eine Realisierung mit heutiger Technik wäre ohne Weiteres möglich. Bleibt nur die Frage, wie lange es wohl dauert, alle Autobahnkilometer mit dieser Technik auszustatten und was dies

kostet. Denn ohne ein vollständiges Oberleitungsnetz wäre die Technologie nicht flächendeckend nutzbar.

Es stellt sich also doch die Frage, ob man nicht auch den Lkw-Verkehr bis hin zum 40-Tonner einfach mit einem elektrischen Antrieb und einem entsprechend großen Akku ausstatten sollte. Aufwendige Infrastrukturänderungen wie Oberleitungen an allen Autobahnen würden dann ebenso vermieden wie die Wirkungsgradverluste einer PTL- oder PTG-Technologie. Ein Elektromotor hat ohne Weiteres einen Wirkungsgrad von mehr als 90 Prozent inklusive des Umrichters, der den Gleichstrom des Akkus in Drehstrom für den Antriebsmotor wandelt. Der Akku selbst hat im Falle eines Lithiumakkus einen Wirkungsgrad von rund 95 Prozent, und das Ladegerät sollte mit heute verfügbarer Leistungselektronik auch nicht schlechter sein als ein guter Solarwechselrichter, mithin also rund 98 Prozent erreichen. Das macht ab Steckdose eine Wirkungskadette von 0,98 (Ladegerät) mal 0,95 (Akku) mal 0,90 (Motor) gleich 0,84 oder 84 Prozent. Damit braucht ein strombetriebener Lkw mit Akku an Bord vier bis acht Mal weniger Strom als eine vergleichbare Lösung mittels PTG oder PTL.

Genau nachrechnen

Kritiker werden an dieser Stelle einwenden, dass diese Rechnung ja schön

und gut sei, aber an der Energiedichte des Akkus scheitern werde, denn die sei schließlich um den Faktor 50 bis 100 kleiner als bei einem flüssigen Treibstoff wie Biodiesel oder Methanol. Ein Lkw, der Hunderte von Kilometern zwischen zwei Tank- oder Ladestopps zurücklegen müsse, würde gleichsam nur noch seinen eigenen Akku transportieren, aber keine Waren mehr. Doch der Vergleich der Energiedichten zwischen flüssigen Kraftstoffen mit rund zehn Kilowattstunden pro Kilogramm und 0,1 bis 0,2 Kilowattstunden pro Kilogramm bei Lithiumakkus hinkt gewaltig.

Mit den besten heute verfügbaren Akkuzellen mit etwa 0,23 bis 0,25 Kilowattstunden pro Kilogramm erreicht der fertige Akkublock mit Gehäuse, Sicherheitssystemen, Batterie- und Thermomanagement tatsächlich nur rund 0,2 Kilowattstunden pro Kilogramm. Nur darf man ein Kilogramm Akkugewicht nicht mit einem Kilogramm Treibstoff ins Verhältnis setzen, sondern muss das Gesamtsystem aus Tank und Antriebsstrang vergleichen. Da ist der Elektroantrieb im Vorteil, denn hierbei wiegt ein Motor samt Steuerung in der Leistungsklasse eines Lkw nur etwa 300 bis 500 Kilogramm. Ein Dieselmotor kommt dagegen samt der notwendigen Zusatzsysteme wie Getriebe, Abgasreinigung, Harnstofftank und Einspritzsystem, Auspuff und Kühlung gut und gern auf ein bis anderthalb Tonnen. Die Differenz von bis zu 1.000 Kilogramm steht beim Elektroantrieb also für den Akku zur Verfügung, ohne das Gesamtgewicht zu erhöhen.

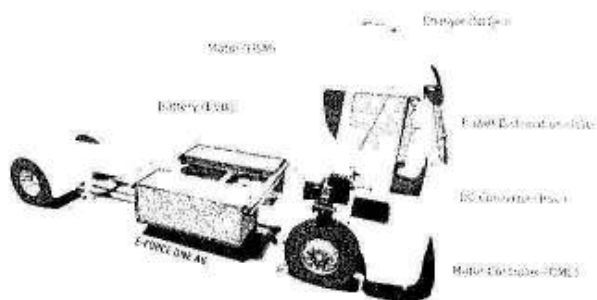
Auf der anderen Seite kann man die notwendige Antriebsenergie wesentlich kleiner halten als bei einem Dieselantrieb. Dieser erreicht zwar unter idealen Bedingungen auf dem Prüfstand bei konstanter Geschwindigkeit fast 50 Prozent

Wirkungsgrad. Im realen Fahrbetrieb bei wechselnden Geschwindigkeiten und Steigungen und damit wechselnden Lastanforderungen kommt er trotz vielstufigem Getriebe selten auf mehr als 30 Prozent. Damit sinkt auch die tatsächlich nutzbare Energiedichte des flüssigen Treibstoffs von zehn auf nur noch drei Kilowattstunden pro Kilogramm.

Zudem vernichtet ein Lkw mit Verbrennungsmotor bei jedem Bremsvorgang kinetische Energie. Das passiert nicht nur, wenn ein unvorsichtiger Automobilist dem Brummi-Fahrer in den Sicherheitsabstand einschert. Schon das ganz normale Fahren auf abschüssiger Autobahnstrecke setzt, je nach Gefälle, einen mehr oder weniger intensiven Bremsengriff voraus: zuerst die Motorbremse, dann die manuell oder automatisch eingreifende Dauerbremse (Retarder) und schließlich die mechanischen Bremsen an den Rädern. Hierbei wird jede Menge Bewegungsenergie in Wärme umgewandelt. Allein der Retarder eines modernen Schwerlastkraftwagens hat eine thermische Leistung von mehreren Hundert Kilowatt. Bei einem Elektroantrieb können all diese Bremsenergien mit hohem Wirkungsgrad in den Akku zurücktransportiert werden und der Reichweitenverlängerung dienen.

Energie sparen

Auch beim Fahrzeugdesign ist noch einiges an Energieeinsparung möglich.



Aufbau eines »E-Force«-Lkw: Noch nehmen die Akkus den größten Teil des elektrischen Bauvolumens ein. Mit zunehmender Speicherkapazität werden in Zukunft entweder die Abmessungen der Stromspeicher kleiner oder die Reichweite der Fahrzeuge größer.

Heutige 40-Tonner verbrauchen, voll beladen, je nach Streckenprofil rund 30 Liter Diesel auf 100 Kilometer. Der Luftwiderstand ist bei 80 Stundenkilometern für mehr als die Hälfte des Energiebedarfs verantwortlich. Durch Verbesserungen in der Aerodynamik, aber auch durch die Verwendung von verlustärmeren Reifen ließe sich der Verbrauch auf 20 Liter drücken. Hierfür bräuhete es aerodynamisch verbesserte Fahrerkabinen, deren Verwendung die EU aber erst nach 2020 gestatten will. Der Auflieger, heute eher »Modell Brotdose«, lässt sich ebenfalls aerodynamisch verbessern. Die Deutsche Post DHL meldete Anfang Juni, mit sogenannten Teardrop-Aufliegern, die eine nach hinten abgeflachte Form haben und außerdem auch leichter als konventionelle Modelle sind, ließe sich der Spritverbrauch um sechs bis zehn Prozent verringern.

Derlei Energieeinsparungen sind logischerweise auch bei elektrisch angetriebenen Lastwagen möglich. Und allein der Ersatz des Retarders und anderer Bremsvorgänge durch generatorisches Bremsen mit dem Elektromotor würden deren Verbrauch noch einmal um ein Viertel reduzieren. Alle Maßnahmen zusammengefasst, läge der Stromverbrauch eines Elektro-Lkw bei rund 60 Kilowattstunden auf 100 Kilometern, und selbst mit einem Sicherheitszuschlag von 50 Prozent käme man auf nur 90 Kilowattstunden.

Damit stellt sich nun die Frage, für welche Reichweite der Akku ausgelegt werden sollte. Einen Anhaltspunkt gibt die zulässige Lenkzeit eines Lkw-Fahrers von 4,5 Stunden. Danach muss eine mindestens 45-minütige Pause eingelegt werden. Zusammen mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 Stun-

Verbrennungsmotor und Elektroantrieb für Lkw

	Diesel-Lkw (Schwerlast)	E-Force	Elektro-Lkw (Schwerlast)
Gesamtgewicht	40 t	18 t	40 t
Zuladung	25 t	10 t	25 t
Reichweite	1.000 bis 4.000 km	200 bis 300 km	300 bis 600 km
Ladeleistung	–	44 kW	800 kW
Ladedauer	–	6 Stunden	45 Minuten
Energiekosten pro Jahr bei 100.000 km ¹⁾	36.000 Euro	18.000 Euro	18.000 Euro
Dauerbetrieb unter Einhaltung der max. Lenkzeiten möglich	ja	ja ²⁾	ja ²⁾

1) 1,20 Euro (netto) pro Liter Diesel bzw. 20 Cent pro Kilowattstunde Strom durch Akkutauch (5 - 10 Minuten)

2) ausreichende Flächenbedeckung mit Schnellladestationen vorausgesetzt



Sparpotenzial: Bei 80 Stundenkilometern verursacht der Luftwiderstand mehr als die Hälfte des Treibstoffverbrauchs eines normalen Lkw. Schon einfache Maßnahmen wie diese aerodynamisch vorteilhaften »Teardrop«-Auflieger bringen bis zu zehn Prozent Einsparung.

denkilometern errechnet sich so eine Entfernung zwischen zwei Stopps von 360 Kilometern. Bei 90 Kilowattstunden pro einhundert Kilometern würde das eine Akkukapazität von 324 Kilowattstunden bedingen. Nun wird nicht bei jeder Fahrunterbrechung eine ausreichend leistungsfähige Ladestation in der Nähe sein. Eine Reserve von 100 Kilometern sollte daher eingeplant werden. Das macht dann 414 Kilowattstunden. Bei nutzbaren 0,2 Kilowattstunden pro Kilogramm würde ein solcher Akku also gut zwei Tonnen auf die Waage bringen. Dem steht ein Gewicht der gefüllten Dieseltanks von 400 bis 1.200 Kilogramm und der Austausch des mitsamt Nebenaggregaten rund eine Tonne schweren Verbrennungsmotors gegenüber. Damit ist eine Sattelzugmaschine für einen 40-Tonner selbst im ungünstigsten Fall nur rund 600 Kilogramm schwerer als eine herkömmliche Sattelzugmaschine, im günstigsten Fall ist sie sogar leichter.

Gewicht und Zeit sparen

Dabei ist die hier gemachte Rechnung sehr konservativ, geht sie doch von heu-

te kommerziell erhältlichen Akkutypen aus. Das sind Systeme auf der Basis von Lithium-Mangan-Cobalt, Lithium-Spinell und vergleichbaren Akkuchemien. Nur die preiswerteren Lithium-Eisenphosphat-Akkus werden eher nicht zum Einsatz kommen, da ihre Energiedichte mit rund 0,1 Kilowattstunden pro Kilogramm für einen solchen Zweck zu gering ist.

Am Horizont der technischen Entwicklung zeichnet sich aber die Anwendungsreife der Lithium-Schwefel-Technologie ab, die heute schon im Labor funktioniert, aber bislang nur einige Hundert Ladezyklen erlaubt. Sie wird voraussichtlich ab dem Jahr 2020 Energiedichten von 0,35 bis 0,40 Kilowattstunden pro Kilogramm bei mehreren Tausend Ladezyklen bereitstellen. Mit solchen Akkus wäre der elektrische Sattelzugschlepper definitiv nicht mehr schwerer als ein heutiger mit Verbrennungsmotor. Alternativ ließe sich unter Inkaufnahme eines geringen Mehrgewichts die Reichweite verdoppeln.

Bleibt die Frage, wie ein leerer 414-Kilowattstunden-Akku in 45 Minuten

wieder aufgeladen werden soll. Rechnenrisch ist dazu eine Ladeleistung von 552 Kilowatt erforderlich. Da diese Leistung elektrochemisch bedingt am Ende des Ladevorgangs reduziert werden muss, sollte sie zu Beginn der Ladung eher bei rund 800 Kilowatt liegen.

Utopische Werte? Zur Erinnerung: Eine Schnellladestation für den 85-Kilowattstunden-Akku des Tesla S Performance bringt es heute schon auf 135 Kilowatt Ladeleistung. Tesla strebt an, in der nächsten Modellgeneration die Ladezeit für eine 80-Prozent-Ladung auf fünf bis zehn Minuten zu verkürzen. Dazu wären dann ebenfalls rund 800 Kilowatt Ladeleistung erforderlich.

Die Akkus halten das aus, die Herausforderung liegt in der Ladeinfrastruktur. Natürlich müssten entsprechende Stromanschlüsse auf den Rastplätzen entlang der Autobahnen hergestellt werden. Das lässt sich selbst bei Dutzenden Ladepunkten pro Rastplatz mit mehreren parallel im Boden verlegten Mittelspannungsleitungen und entsprechenden Transformatoren bewerkstelligen. Bei einer Drehstromladung

würde bei etwas unter 1.000 Volt mit einem Strom von 270 Ampere pro Phase geladen. Um dabei keine unhandlichen Kabelquerschnitte zu erhalten, müssten die Ladekabel vermutlich aktiv gekühlt werden, doch das wäre mit einem entsprechenden System in der Ladesäule problemlos machbar. Das heute noch bei Elektrofahrzeugen übliche separate Ladegerät würde ersetzt durch ein Hochleistungs-ladegerät, wie es heute schon bei den Tesla-Superchargern zum Einsatz kommt. Oder man verwendet gleich den Motorumrichter an Bord des Fahrzeugs, denn der hat im Zeitraum des Ladevorgangs sowieso nichts zu tun. Und zumindest bei einer ausreichend dimensionierten Rekuperationsfunktion für das generatorische Bremsen ist die notwendige Leistung dort auch vorhanden.

Praktisch umsetzbar

Sicherlich bedarf all dies noch einiger Entwicklungsarbeit. Aber kein Ingenieur, dem man diese Aufgabe stellt, wird wohl behaupten, dass Derartiges unmöglich sei. Und das in solchen Fällen reflexartig hervorgeholte Kostenargument trägt selbst beim heutigen Stand der Technik nicht.

Bei der Verwendung von Diesel für rund 1,20 Euro pro Liter (netto) und einem Verbrauch von 30 Litern auf 100 Kilometern verbraucht ein heutiger Truck mit einer Laufleistung von 100.000 Kilometern im Jahr Treibstoff für rund 36.000 Euro, während der typischen Nutzungsdauer von zehn Jahren und einer Million Kilometern Laufleistung also 360.000 Euro. Bei Stromkosten von 20 Cent pro Kilowattstunde (netto) käme ein Elektro-Lkw hingegen mit 18.000 Euro pro Jahr oder 180.000 Euro in zehn Jahren aus. Dem stehen Mehrkosten von 124.200 Euro für den Akku gegenüber, wenn man das heute realisierbare Preisniveau von 300 Euro pro Kilowattstunde für komplette große Akkusysteme zugrunde legt. Und gute Lithiumakkus erreichen heute relativ problemlos 5.000 Zyklen. Das ergibt bei einer Reichweite von 414 Kilometern pro Ladezyklus insgesamt mehr als zwei Millionen Kilometer und somit das Doppelte der zu erwartenden Gesamtreichweite.

Dass die mit derart guten Argumenten gerüstete Idee des elektrisch betriebenen Güterverkehrs auf der Straße auch in der Praxis schon weit gedie-

hen ist, kann man sich beim Schweizer Projekt »E-Force« anschauen. Hier wurden elektrische Lkw für den Zubringerverkehr gebaut, die technisch auf dem Modell »Stralis« von Iveco basieren. Äußerlich kaum von einem normalen 18-Tonner zu unterscheiden, sorgt unter der Motorhaube ein 300-Kilowatt-Elektromotor für den nötigen Vortrieb. Der Akku besteht aus den preiswerten Lithium-Eisenphosphat-Akkus, die bei einer Kapazität von 240 Kilowattstunden rund 2,6 Tonnen auf die Waage bringen. Geladen wird er mit vergleichsweise moderaten 44 Kilowatt, was eine Ladedauer von mehr als fünf Stunden ergibt. Alternativ lassen sich die beiden separaten Akkueinheiten aber auch einfach in fünf bis zehn Minuten tauschen. Da der Zulieferbetrieb aber normalerweise nur zu den Ladenöffnungszeiten erfolgt, gibt es in der Nacht eine ausreichend lange Standzeit für eine Vollladung, und die mögliche Reichweite von 200 bis 300 Kilometern reicht für den lokal begrenzten Einsatz vollkommen aus.

Seine ersten Einsätze brachten dem E-Force gute Noten. So meldete die Brauerei Feldschlösschen im Januar nach vier Monaten Lieferbetrieb im Großraum Zürich, der Lkw habe bei durchschnittlich 65 Kilometern pro Tag und 4,6 Tonnen Zuladung den Praxistest »mit Bravour bestanden«. Doch gemessen an den Möglichkeiten ist dies nur ein sehr bescheidener Anfang: Ein Elektro-Lkw ist selbst für den Schwerlastverkehr mit den in Europa maximal zulässigen 40 Tonnen Gesamtgewicht technisch machbar. Was es jetzt allerdings noch braucht, ist ein Pionier à la Tesla, der sich an die Herausforderung heranwagt. Denn nach den Erfahrungen mit der Elektromobilität durch die etablierten Autokonzerne darf man aus dieser Richtung nicht allzu viel Tempo bei der Entwicklung erwarten. Doch wer weiß: Die Daimler AG hält schließlich eine kleine Beteiligung an Tesla und setzt ja auch schon Technologie des Elektroauto-Spezialisten in der Stromversion der »Mercedes B«-Klasse ein. Womöglich ergibt sich ein solcher Know-how-Transfer ja auch einmal in der Nutzfahrzeugsparte.

Philippe Walter, Jochen Siemer

Eine ausführliche Betrachtung zur Effizienz von Biosprit im Vergleich zu elektrischen Antrieben finden Abonnenten auch im PHOTON-Online-Archiv »Organisierte Verschwendung«. PHOTON 2007-04. Das Heft ist zur Nachbestellung noch verfügbar (Bitte kontaktieren Sie unseren Aboservice: abo@photon.info).



2013, Solarpark Ramin, Mecklenburg-Vorpommern, 2.000 kWp

Der Anbieter

für hochwertige Solarmodule

EGING GLOBAL HEADQUARTERS

Telefon: +86 519 82589999

E-Mail: market@egingpv.com

EGING PV EUROPE GMBH

Telefon: +49 69 6062792 0

E-Mail: sales-europe@egingpv.com

SHANGHAI SALES OFFICE

Telefon: +86 21 32524209

E-Mail: sales-shanghai@egingpv.com