# So geht CO₂-NEUTRAL

Die Leistungsfähigkeit von Batterien lässt sich bestenfalls nur noch verdoppeln. Sie können daher nicht das Rückgrat der Energiewende und der Mobilität sein. Die Lösung sind synthetischer Diesel, E-Motoren und Blockheizkraftwerke

Die deutsche Energiewende ist eine große Herausforderung. In den vergangenen Jahren stand dabei die künftige Versorgung mit elektrischer Energie im Mittelpunkt. Erst in jüngster Zeit ist das Bewusstsein dafür gewachsen, dass auch in den Bereichen Verkehr und Gebäudeheizung umfangreiche Veränderungen notwendig sind, wenn das Ziel einer $CO_2$-Neutralität erreicht werden soll. Max-Planck-Direktor Robert Schlögl warnt, dass wir mit den derzeitigen Weichenstellungen scheitern werden.

VON NORBERT LOSSAU

**WELT: Kann die deutsche Energiewende gelingen?**

**ROBERT SCHLÖGL:** So, wie wir die Dinge momentan angehen – sicher nicht. Hierzulande stellt man sich die Energiewende noch immer so vor, als könne man konventionelle Kraftwerke einfach nach und nach durch Wind- und Solaranlagen ersetzen. Doch so einfach ist es leider nicht. Weil Strom aus Sonne und Wind nicht beständig und planbar zur Verfügung steht, sondern wetterbedingt hohen Schwankungen unterliegt, sind große Änderungen im System der elektrischen Energieversorgung erforderlich.

**Bei einem Überangebot von erneuerbarer Energie müsste man sie doch nur speichern und könnte sie zu einem späteren Zeitpunkt nutzen, wenn die Nachfrage größer als das aktuelle Angebot ist.**

In der Theorie klingt das gut. Doch in der Praxis ist das Speichern von elektrischer Energie alles andere als einfach. Batterien haben bezogen auf ihr Gewicht noch immer eine sehr kleine Kapazität. Zudem sind sie teuer und haben eine recht begrenzte Lebensdauer.

**Doch es wird intensiv an der Entwicklung besserer Batterien geforscht, die mehr Energie speichern können und mehr Ladezyklen überleben.**

In der Batterie-Forschung gab es in den vergangenen 150 Jahren praktisch keinen Fortschritt. Erst in jüngster Zeit hat uns die Entwicklung von Lithiumionen-Batterien ein Stück nach vorne gebracht. Doch damit ist die Technologie jetzt nahezu ausgereizt. Es gibt physikalische Grenzen. Bei einer Batterie wird für jedes Elektron, dass man speichern will, mindestens ein weiteres ganzes Atom zur Speicherung benötigt. Das macht Batterien zwangsläufig schwer und sehr ineffizient. Lithium ist bereits das leichteste Metall, das es im Periodensystem der Elemente gibt. Es hat dort die Ordnungszahl drei – nach Wasserstoff und Helium. Besser als die heutigen Lithiumionen-Batterien wird man also kaum noch werden können. Ein paar technische Verbesserungen sind zwar noch drin, aber die machen die Batterien maximal noch um einen Faktor zwei leistungsfähiger. Dann ist das Ende der Fahnenstange erreicht.

**Lithium-Luft- und Dünnschichtbatterien sollen möglicherweise noch leistungsfähiger sein.**

Ja, daran habe ich durchaus gedacht, als ich von einer möglichen Verdopplung der Kapazität sprach. Aber es ist eben kein Faktor zehn mehr denkbar. Zudem muss man leider sagen, dass bislang jede Verbesserung bei der Kapazität immer eine kürzere Lebensdauer zur Folge hatte.

**Es gab hierzulande mal einen Feldversuch der Post, die ihre Flottenfahrzeuge mit Zink-Luft-Batterien ausgestattet hat. Diese wurden nicht aufgeladen, sondern es wurde eine frische Zinklösung getankt. Wäre das nicht eine zukunftstaugliche Lösung, bei der man die Infrastruktur heutiger Tankstellen nutzen könnte?**

Im Prinzip könnte kann man das natürlich machen, doch die Kapazität solcher Systeme ist eher noch kleiner als bei den heutigen Lithiumionen-Batterien. Als Chemiker frage ich mich bei solchen Ideen, was dieser schreckliche Umweg über eine Flüssigkeit soll, bei der Energie ineffizient in Form von Elektronen gespeichert wird, wenn man doch einfach eine Flüssigkeit tanken könnte, die Energie hochkonzentriert in Form von chemischen Bindungen enthält.

**Sie meinen damit nicht Benzin, sondern synthetischer Treibstoffe ist ebenso hoch wie bei den heute üblichen Kraftstoffen.**

**Ich entnehme Ihren Worten, dass Sie kein Befürworter von elektrisch angetriebenen Autos sind?**

Nein, so kann man das nicht sagen. Ich halte durchaus dafür, dass Fahrzeuge aller Art elektrisch angetrieben werden. Denn Elektromotoren arbeiten sehr viel effizienter als Verbrennungsmotoren. Der Strom für diese Motoren sollte allerdings nicht aus einer Batterie kommen, sondern von einem besonderen Verbrennungsmotor geliefert werden, in dem synthetische Kraftstoffe verbrannt werden. Die Turbine versorgt eine kleine Batterie mit der Energie, die dann im Betrieb des Elektromotors benötigt wird. Diese verglichen mit reinen Elektrofahrzeugen kleine Batterie kann zudem die beim Bremsen zurückgewonnene Energie aufnehmen.

**Wenn das so effizient ist, dann hätte man das doch längst auch bei Autos machen können – also Diesel oder Benzin tanken und elektrisch fahren. Warum gibt es solche Autos nicht?**

Das weiß ich auch nicht. Dieser sogenannte Diesel-elektrische Antrieb wird sonsten überall eingesetzt – in jeder Diesellok, im Bagger, bei Azipod-Schiffsantrieben und bei praktisch allen großen Maschinen. Sogar Panzer werden von Elektromotoren angetrieben.

**Doch Wasserstoff wird bereits seit Jahren als Energieträger für eine nachhaltige Zukunft diskutiert. Wie stehen Sie das? Wäre Wasserstoff nicht eine gute Alternative zu den synthetischen Treibstoffen?**

Wasserstoff hat den großen Vorteil, dass er nicht in einem Kreislauf geführt werden muss. Überall gibt es Wasser, aus dem Wasserstoff gewonnen werden kann. Und überall gibt es Sauerstoff, den man zum Verbrennen von Wasserstoff braucht. Der große Nachteil ist indes seine niedrige Energiedichte. Es muss viel Energie aufgewendet werden, um Wasserstoff hinreichend zu verdichten. Der Transport und die Speicherung von Hochdruck-Wasserstoff ist mithin keine ganz einfache Sache, zumal der Umgang mit diesem Gas trotz wunderbarer Sicherheitstechnik nicht ganz ungefährlich ist. Wenn man dennoch bei bestimmten Anwendungen Wasserstoff als Energieträger nutzen will, dann sollte man ihn besser an ein Trägeratom oder -molekül binden. Wasserstoff ist immer der erste molekulare Speicherstoff für erneuerbare Energie. Die Natur macht uns das vor. Lebende Zellen nutzen Wasserstoff als Energieträger, doch eben nicht pur in molekularer freier Form, sondern an organische Moleküle gebunden ist. Diese biologischen Wasserstoffspeicher sind für technische Anwendungen zu komplex. Doch bereits vor rund 20 Jahren ist es Forschern der Firma Toyota gelungen, dieses Prinzip in die Welt der Technik zu übertragen. Die Flüssigkeit Dibenzyltoluol kann Wasserstoff mit einer großen Energiedichte speichern, für die man sonst einen Druck von 700 bar benötigen würde.

**Wird das in der Praxis genutzt?**

Durchaus. Die Technologie wird als „LOHC" (liquid organic hydogen carrier) bezeichnet. Toyota hat ein Schiff gebaut, das nach diesem Prinzip 300.000 Tonnen Wasserstoff transportieren kann. Es bringt den Energieträger von Australien nach Japan. In Flüssigkeiten chemisch gespeicherter Wasserstoff ist zweifelsohne eine Option für diverse Anwendungen. Im Straßen- oder Flugverkehr halte ich jedoch synthetische Kraftstoffe für überlegen.

**Ein synthetischer Kraftstoff ist im Prinzip also Benzin, das nicht aus Rohöl hergestellt, sondern unter Verwendung von $CO_2$ synthetisiert wird?**

Ja und nein. Wenn man schon die Möglichkeit hat, einen Kraftstoff zu designen, dann wird man dafür Moleküle auswählen, die rückstandslos verbrennen. Das ist ja bei Benzin bekanntlich nicht so. Neben Kohlendioxid entsteht immer auch Ruß. Das ist unvermeidlich. Damit ein synthetischer Treibstoff ohne Rußbildung verbrennt, müssen in das betreffende Molekül bereits Sauerstoffatome eingebaut sein. Methanol ist so ein Beispiel. Es verbrennt rückstandslos mit einer farblosen Flamme. Brennendes Benzin hat die gelbe Farbe einer Kerzenflamme. Und die stammt von Rußpartikeln.

**Dann wäre also Methanol der Kraftstoff der Zukunft?**

Nein, nicht ganz. Das Methanol bereitet ein paar technische Schwierigkeiten. Besser wären verwandte Moleküle, diverse Oligomere oder Dimethylcarbonate. Aber das sind Details. Wir Chemiker wissen genau, wie ein idealer synthetischer Kraftstoff aussehen muss. Das ist kein Problem.

**Angenommen, wir würden in Deutschland den gesamten Straßen- und Flugverkehr mit synthetischen Treibstoffen abwickeln – könnten wir die dafür benötigten Mengen hierzulande überhaupt aus erneuerbaren Energiequellen produzieren?**

Auf gar keinen Fall. In Deutschland und ganz Mitteleuropa gibt es einfach nicht genug erneuerbare Energien, um den Bedarf an synthetischen Kraftstoffen zu decken. Die Grundidee der Energiewende, dass wir in Deutschland energieautark sein wollen, ist absolut unsinnig. Das ist allein von den Größenordnungen her schlicht unmöglich. Wir importieren heute 80 Prozent unserer Energie aus dem Ausland, und das wird sich voraussichtlich in Zukunft nicht wesentlich ändern. Also müssen wir erneuerbare Energien in eine transportierbare Form bringen. Sie müssen global handelbar sein, damit es hierzulande und weltweit eine $CO_2$-neutrale Zukunft geben kann. Neue Stromtrassen sind alleine jedenfalls nicht die Lösung.

**Die Länder, die heute Erdöl und -gas exportieren, könnten also künftig zu Lieferanten von synthetischen Treibstoffen werden?**

Absolut. Entsprechende Anlagen entstehen zum Beispiel bereits in Saudi-Arabien. Da wird in großem Maßstab Wasser thermisch gespalten und so Wasserstoff gewonnen. Dieser wird mit $CO_2$ aus Erdgasquellen zu synthetischen Treibstoffen verarbeitet. Auch China will mit seinem „Liquid Sunshine"-Projekt ganz groß in dieses Geschäft einsteigen. Da geht es um Anlagen, die im 100-Millionen-Tonnen-Maßstab Kraftstoffe produzieren sollen. Und die kann man dann exportieren. Überall auf der Welt gibt es da Aktivitäten, nur nicht in Europa. Dabei könnte man die Sonne in Ländern wie Spanien oder Griechenland zur Produktion synthetischer Treibstoffe nutzen.

**Dann läuft die Sache wohl darauf hinaus, dass wir bei Staaten, von denen wir heute Erdöl beziehen, künftig klimaneutrale Kraftstoffe einkaufen. Unsere Klimawende wird dann gleichsam von fernen Drittländern getriggert, aber sie findet statt. Ist das nicht die Hauptsache? Und Sie haben ja selber gesagt, dass wir nicht energieautark werden können.**

Deutschland kann nicht energieautark werden. Europa insgesamt könnte es aber schon eher. In Südeuropa gibt es genug Sonnenenergie, die nicht lokal gebraucht wird, um ausreichende erhebliche Mengen an synthetischen Kraftstoffen zu produzieren.

**Es wäre also nicht nötig gewesen, große Solaranlagen in Nordafrika zu bauen, die Energie nach Europa liefern könnten. Ich habe nie verstanden, warum man das nicht einfach in Südeuropa machen will – man hätte kürzere Wege, keine Sandstürme und größere politische Stabilität.**

Ich kann Ihnen sagen, warum Nordafrika in den Fokus gekommen ist. Das liegt am ingenieurmäßigen Effizienzdenken. Weil die Energieausbeute in der Sahara noch ein paar Prozentpunkte besser als in Spanien oder Griechenland ist, hält ein technischer Optimierer diesen Standort für die beste Lösung. Doch das muss eben nicht auch insgesamt die beste Lösung sein. Es ist wichtig, die Dinge systemisch zu betrachten. Politische Stabilität ist ebenso wichtig wie ein guter Wirkungsgrad. Anfangs wollten die Planer von Desertec den in Nordafrika erzeugten Strom per Kabel nach Europa schicken. Immerhin haben sie zwischenzeitlich erkannt, dass dies keine gute Idee war. Jetzt setzen sie auf den Transport von synthetischen Kraftstoffen. Ein erfreulicher Sinneswandel.

**Noch wäre es nicht zu spät, solche Anlagen in Südeuropa zu errichten.**

Das ist richtig. Es wäre gut, wenn Europas Politiker diese Chance erkennen und nutzen würden. Das könnte uns etwas unabhängiger von Exporten aus anderen Weltregionen machen.

**Wir haben bislang über elektrische Energie und Kraftstoffe für die Mobilität gesprochen. Doch auch beim Heizen von Wohnungen wird viel $CO_2$ freigesetzt. Warum ist darüber bislang kaum debattiert worden?**

Das Erzeugen von Wärme ist tatsächlich die größte Quelle für Kohlendioxid – sowohl bei den Haushalten als auch in der Industrie. Insofern ist dies ein sehr wichtiges Thema. Warum dennoch in den vergangenen Jahren kaum darüber gesprochen wurde, liegt an einem Verdrängungsmechanismus, der im Jahr 2011 in Gang gesetzt wurde. Die deutsche Politik hat damals postuliert, dass es in Deutschland nur noch Null-Energiehäuser geben solle. Diese Vision ist wenig realitätsnah. Eine bis heute spürbare Folge ist die Wärmeschutzverordnung, die auch zur einer deutlichen Steigerung der Baukosten geführt hat, ansonsten aber wenig sinnvoll ist. Ich bin davon überzeugt, dass sich eine klimaneutrale Gebäudeheizung ebenfalls nur mit synthetischen Treibstoffen erreichen lässt. In diesem Fall wäre wohl synthetisches Erdgas, also Methan, die beste Lösung. Man könnte es über existierende Leitungen transportieren und in Blockheizkraftwerken verbrennen. Ohne Blockheizkraftwerke wird es nicht gehen, wenn wir $CO_2$-neutral werden wollen. In diesen Kraftwerken lässt sich das entstehende Kohlendioxid abfangen und dann wieder zu den Produktionsanlagen von synthetischem Erdgas bringen. Das ist nicht individuell in jedem Wohnhaus leistbar.

PA/DPA/MAJA HITIJ

## Zur Person

**Robert Schlögl** wurde 1954 in München geboren. Er studierte Chemie an der Ludwig-Maximilians-Universität München und promovierte 1982. Schlögl war Postdoc in Cambridge, Basel und in Berlin am Fritz-Haber-Institut der **Max-Planck-Gesellschaft**. Er habilitierte 1989 an der Technischen Universität Berlin und wurde im gleichen Jahr Professor an der Universität Frankfurt am Main. Seit 1994 ist Schlögl Direktor am **Fritz-Haber-Institut** und Honorar-Professor an der TU Berlin. Seit 1998 ist er zudem Honorar-Professor an der Berliner Humboldt-Universität sowie seit 2011 Gründungsdirektor des Max-Planck-Instituts für Chemische Energiekonversion.