



Hochland-Sommer in Bolivien: Regen hat den Salzsee Salar de Uyuni unter Wasser gesetzt. Nur die Salzkegel der Bauern ragen heraus.



Pilotfabrik: Unweit des Dorfs Rio Grande sind die Gebäude einer Versuchsanlage zur Lithiumgewinnung errichtet worden.

## Lithium-Mangel bedroht die Auto-Revolution

Autobauer beschwören den Elektroantrieb als Technik der Zukunft. Doch ebenso wie Regierungen und Rohstoffkonzerne übersehen die Hersteller ein Problem: Es gibt auf der Erde zu wenig Lithium, um die geplanten Flotten von Hybrid- und Elektroautos anzutreiben.

**D**en Rhythmus des Lebens im Südwesten Boliviens hat bisher das Salz bestimmt. Milliarden Tonnen davon bilden die Kruste einer gleißend hellen Ebene namens Salar de Uyuni, die von Bergketten und den Überresten ehemaliger Vulkane umstellt ist.

Mit einer Fläche von 10.000 Quadratkilometern bildet der Salar de Uyuni den größten Salzsee auf der Welt. Er ist eine Attraktion für Bolivien-Touristen, die mit Geländewagen über die mondähnliche Senke fahren, vorbei an tausend Jahre alten Kakteen und Flamingos in Salzlagunen. Hier, in 3650 Metern Höhe, gehen Salzbauern einer beschwerlichen Arbeit nach. Sie hacken mit Pickeln und Äxten Salz aus der meterdicken Kruste und türmen es zu Kegeln auf. Das Salz soll in der Sonne trocknen, ehe es auf die Pritschen klappriger Lastwagen geschaufelt und in die Stadt Uyuni gebracht wird, die mit ihren staubigen Straßen und Gebäuden aus Lehm wie die Kulisse eines Django-Films aussieht. Es ist kaum zu glauben, dass der Rest

der Welt, angeführt von großen Industriestaaten wie etwa Deutschland, Japan und den USA, irgendwie von dem desolaten Salzsee in Bolivien abhängig sein könnte. Doch genau das wäre der Fall, wenn die Regierungen, Rohstoffkonzerne und Autohersteller des Westens weiterhin energisch auf eine Zukunft mit Millionen von Hybrid- und Elektroautos setzen – auf leise summende Antriebe mit Akkupaketen und Ladestationen mit Stromkabeln und Steckern anstelle von Tankstellen, Zapfsäulen und Tankkrüsseln.

### Vulkan sorgt für Nachschub

**F**ür einen solchen industriellen Großumbau und den Betrieb der Stromaautos ist ein Schatz aus der porösen Salzdecke des Salar de Uyuni nötig: Lithium, das später die Basis der Lithium-Ionen-Akkus in den Autos bilden soll. In dem fernen Salzsee befin-



Blick von der Fischinsel: Die Isla del Pescado ist die größte Insel im Salar de Uyuni.



Salzsee mit Höckern: Langsam geht das Wasser im Salar de Uyuni zurück.



**Aktiver Vulkan:** Der 5432 Meter hohe Tunupa am Rand des Salar de Uyuni spuckt manchmal immer noch Asche aus.

det sich das Element in Salzlake, die in Hohlräumen der Kruste schwappt und stark konzentriert ist: Ein Liter der Lauge enthält 300 Gramm verschiedener Salze – darunter Steinsalz, Kalisalz, Magnesiumsalz und schließlich das Lithium. Über Jahrtausende hinweg hat der Regen des Hochland-Sommers das Lithium aus den Flanken der Vulkane und aus Vulkanasche gewaschen – und die Sonne über der schattenlosen Ebene hat das Regenwasser und dessen Fracht immer von neuem eingedampft und dabei immer weiter konzentriert. Einer der Vulkane, der mächtige Tunupa, ist heute noch aktiv und sorgt langsam, aber sicher für weiteren Nachschub an Lithium. Gemessen an seinem Lithium-Gehalt ist der Salar de Uyuni ein Gi-



**Perfekte Ebene:** Mit Geländewagen kann man in der Trockenzeit problemlos über den Salzsee fahren.



**Uralte Kakteen:** Manche der Kakteen auf der sogenannten Fischinsel sind über 1000 Jahre alt.

gant. Der U.S. Geological Survey geht davon aus, dass sich in der Salzkruste 5,4 Millionen Tonnen des Rohstoffs befinden. Das zweitgrößte Reservoir liegt im benachbarten Chile und dort in der Atacama-Wüste, wo der Salzsee Salar de Atacama drei Millionen Tonnen Lithium enthält. Zusammengenommen befinden sich in der Region 70 Prozent des Welt-Lithiums, wenn man den nicht weit entfernten, aber kleinen Salzsee Salar del Hombre Muerto in den argentinischen Anden hinzuzählt. Noch abgelegener als das südamerikanische Lithium-Dreieck ist der Zhabuye-Salzsee in Tibet. Dieses Reservoir erstreckt sich in 4400 Metern Höhe nördlich des Mount Everest in dem Bezirk Shigatse, bekannt für ein großes Kloster, das Zeloten während der



**Bizarre Formation:** Salzbauern haben Hunderte von Salzkegeln zum Trocknen angelegt.



Hybrid-Fahrzeug von Mercedes: Im Jahr 2015 stehen gerade mal 30.000 Tonnen Lithium für die Autobranche zur Verfügung, prophezeien französische Experten. Das würde für nicht einmal 1,5 Millionen Hybridautos reichen.

Kulturrevolution von Parteichef Mao Zedong zu einem großen Teil zerstört hatten. In dem tibetischen Salzsee lagert mit 1,1 Millionen Tonnen das drittgrößte Lithium-Vorkommen der Welt.

### Zu geringe Fördermenge

Die Ära der Elektroautos bricht an, verkünden die Fahrzeughersteller und wollen Milliarden investieren. Doch der vom Lithium berauschten Branche droht ein Fiasko – so knapp ist zum einen der Rohstoff, und so aufwendig ist zum anderen dessen Verarbeitung, wie Experten des französischen Beratungsunternehmens Meridian International Research warnen. In dem 57-seitigen Report »The Trouble with Lithium« prophezeien sie eine Lithium-Lücke, die bald auf dem Weltmarkt klaffen werde. Technologien, die schon bald die Lithium-Akkus ersetzen könnten, sind derzeit nicht in Sicht. Lithium hat große Vorzüge gegenüber früher verwendeten Materialien. Es kombiniert große Energiedichte mit hohem Wirkungsgrad und besitzt keinen Memoryeffekt. Hoch ist die Nachfrage schon jetzt, weil Lithiumbatterien Millionen Mobiltelefone, Laptops, iPhones, Blackberrys und sogar Akkubohrer mit Strom speisen. Weltweit werden derzeit pro Jahr 93.000 Ton-



Forscher vor Ort: Micha Zauner, Mineralogiestudent der TU Freiberg, entnimmt eine Probe auf dem Salzsee.



Hybrid-Auto von VW (aus dem Projekt »Flottenversuch Elektromobilität«, Juni 2008): Der weltweite Bedarf an Lithium wird in den kommenden Jahren stark steigen – nicht nur wegen der immer größeren Nachfrage aus der IT-Branche.

nen Lithium gefördert, die erschließbaren Reserven liegen laut Meridian International Research aber nur bei vier Millionen Tonnen. Die französischen Berater schätzen, dass wegen der steigenden Nachfrage der Elektronikbranche im Jahr 2015 gerade mal 30.000 Tonnen Lithium für Elektrovehikel zur Verfügung stehen. Das würde für nicht einmal 1,5 Millionen Hybridmotoren reichen.

Auch die Luftfahrtbranche ist der Autoindustrie als Konkurrent erwachsen – mit Hightech-Flugzeugtypen wie dem Boeing-787 Dreamliner und bald dem Airbus A-350 XWB, der zum Starten der Triebwerke und für die Notstromversorgung mit Lithiumakkus bestückt sein wird. Alle Hoffnung ruht deswegen auf den Salzseen in Südamerika. Doch günstig ist dank eines idealen Wechselspiels von Höhe, Sonneneinstrahlung und Winden derzeit nur die Lithium-Gewinnung im Salar de Atacama Chiles. Nirgendwo auf der Welt ist die Salzlake ähnlich stark mit Lithium gesättigt, und in keinem Salzsee, aus dem man sie herauspumpt, verdampft sie so leicht. Dafür sorgen das grelle Licht der Andensonne, trockene Luft und die vergleichsweise niedrige Höhenlage des Salzsees mit 2300 Metern. Im Salar de Atacama hat die chilenische Bergwerksgesellschaft Sociedad Química y Minera Becken angelegt, in denen die Lauge allmählich verdampft. Nacheinander setzen sich dabei die einzelnen Salze ab. Übrig bleibt eine olivgrüne Lösung, in der sich das Lithium



Staatschef Morales: Der Herr über Boliviens Lithium, Präsident Evo Morales, tritt im Dezember 2009 wieder zur Wahl an.



**Test in Sachsen: An der Bergakademie Freiberg bei Dresden wird ein Versuchskegel mit Salzlauge besprüht. Die Salzbildung ist schon erkennbar.**

befindet. Die Flüssigkeit wird per Tankwagen nach Antofagasta am Pazifik gekarrt, in einer Fabrik mit Soda vermengt und dabei in Pulver verwandelt: in schneeweißes Lithiumsalz, auch Lithiumkarbonat genannt, der Grundstoff für die späteren Akku-Elemente. Doch schon in der Atacama-Wüste droht ein Engpass, haben die französischen Lithium-Analytiker beobachtet. Aus dem Inhalt der Lake-Becken werden gegenwärtig 45.000 Tonnen Lithiumsalz jährlich destilliert – das ist knapp die Hälfte der Weltproduktion.

Vom Südrand des Salzsees aber, wo sich das Lithium am stärksten konzentriert, ist bereits ein Fünftel der besten Vorräte gefördert worden. Deshalb müssten neue Bohrstellen, Pumpen und Pipelines in anderen Gebieten des Salar de Atacama eingerichtet werden, und selbst dann sei von dem chilenischen Lithium-Gesamtvorrat nur eine Million Tonnen verwendbar, konstatieren die Experten. Der Preis dafür aber wäre hoch und bringe »die massive Zerstörung des Salzsees« mit sich, heißt es pessimistisch in dem französischen Report. Im ebenso fragilen wie dramatisch schönen Salzsee Salar de Uyuni hat die Förderung von Lithium noch gar nicht begonnen. Boliviens staatliche Bergbaugesellschaft Comibol hat erst die Gebäude einer Pilotfabrik nahe des Dorfs Río Grande hochgezogen. Und Marcelo Castro, der die Anlage leiten soll, erläutert die Schwierigkeiten: »Die Probleme, mit denen wir zu tun haben, sind den Bolivianern wohlbekannt. Es gibt kein sauberes Wasser, keinen Strom, kein Internet und nicht einmal ein Telefon, ja nicht mal einen Fernschreiber. Und die Straßen sind ein Desaster.«

## Skurril anmutende Problemlösung aus Deutschland

Nach einer Zeitenwende jedenfalls sieht es im Altiplano, dem Hochland Boliviens, nicht aus, obwohl kein Geringerer als Staatschef Evo Morales im März vorigen Jahres den Bau der Versuchsanlage angeordnet hat. Wenig später erschien er zur Grundsteinlegung, und auch ein Generaldirektorat für Eindampfungsressourcen hat er mittlerweile installiert.

Vor Ort aber haben Arbeiter erst einige Gebäude errichtet und ein Versuchsbecken angelegt. Und leicht wird es nicht sein, darin den gesuchten Grundstoff abzuscheiden. Denn die Lake im Salar de Uyuni enthält einen hohen Anteil von Magnesiumsalzen, die das Lithium verunreinigen könnten. Zum späteren Verarbeiten in Akkus ist aber ein Reinheitsgrad von 99,95 Prozent notwendig.

Für die industrielle Erzeugung von Lithiumsalz braucht es zudem kilometerlange Becken, und als Nachteil kommen auf dem Altiplano Sommerregen hinzu, die in die Becken hineinregnen und die Lake verdünnen würden. In der extrem trockenen Atacama-Wüste, die im Regenschatten der Anden liegt, stellt sich dieses Problem nicht.

Boliviens Schwierigkeiten mit dem Lithium könnte aber ein Team deutscher Experten begegnen – mit einer fast skurril anmutenden Art der Problemlösung. Die Deutschen wollen die Lake nicht etwa in Becken eindampfen, sondern auf Kegeln, die aussehen wie die Salzberge der Salzbauern im Salar de Uyuni. Auf die Idee ist Wolfgang Voigt von der Technischen Universität Freiberg bei Dresden gekommen, wo man seit DDR-Zeiten engen Kontakt zur Hochschule von Potosí hält, der Silberhauptstadt von Bolivien. Potosí liegt sechs holprige Fahrstunden vom Salar de Uyuni entfernt.

Die Kegel der Forscher aus Sachsen bestehen aus einem Gerüst, auf das Kunststoffplanen mit einer aufgerauten Oberfläche gespannt werden. Dann sollen die Kegel mit Salzlake übergossen werden, wobei sich auch hier das Steinsalz, das Kalisalz und das Magnesiumsalz ablagern. Die übriggebliebene Lauge mit dem Lithium würde anschließend, wie in Antofagasta, in Lithiumsalz umgewandelt.

## Der Freiburger Kegel

Wolfgang Voigt denkt daran, einen ganzen Lake-Kreislauf einzurichten – mit Farmen von Kegeln, die sich beliebig vergrößern ließen und mit der Lithium-Nachfrage wachsen könnten. Die Forscher aus Freiberg haben all das mit Testkegeln in Bolivien bereits erprobt. Sie haben die Gerüste auch mit Jutesäcken und selbst Lamafellen bespannt, die eine besonders raue Oberfläche zum Einfangen der Salze besitzen. Die Energie zu alldem sollen Solarspiegel liefern. Die Kegelmethode hat aber noch einen weiteren Vorteil. »Durch die Bewegung der Lake im Freien und im vollen Licht der Sonne kann sie auch schneller verdampfen,« erläutert der Lithium-Jäger Voigt. »In großen Becken würde das ein halbes Jahr dauern.« Voigt hat die Idee mit den Kegeln auch in La Paz im Hauptquartier von Comibol vorgetragen, wo man sie »wohlwollend zur Kenntnis nahm«, berichtet er.

Die Regierung von Evo Morales hält sich bedeckt, wenn es um den Lithiumsschatz im Hochland geht. Der Präsident will ausländischen Konzernen keine exklusiven Förderrechte einräumen, wohl aber die indianische Bevölkerung beteiligen, wie es in der neuen Verfassung



**Gruppenbild mit Professor: An der Universität Potosí ist der deutsche Erfinder des Kegelsystems, Wolfgang Voigt (Dritter von rechts), mit bolivianischen Mitarbeitern versammelt.**

vorgeschrieben ist. Bei der nächsten Präsidentenwahl Anfang Dezember tritt Morales wieder an, und im Wahlkampf wird das Lithium ein großes Thema sein. Doch die Zeit drängt, weil das Lithium mehr denn je gebraucht wird in der Welt. Ausgerechnet die Kegel aus Freiberg könnten die Lithium-Lücke womöglich schließen. »Wir sind überzeugt«, sagt Wolfgang Voigt, »dass wir uns durchsetzen werden.«

Mit freundlicher Genehmigung: SPIEGEL ONLINE, 2009