



74

**Katastrophe für Mensch und Umwelt: Als nahe dem Dorf Kolontár in Westungarn der Damm einer Rotschlammdeponie brach, starben zehn Menschen, weit über 100 wurden verletzt. Mehr als 300 Häuser mussten abgerissen und tonnenweise verseuchter Boden abgetragen werden. Der ätzende, schwermetallhaltige Schlamm vergiftete zudem die Flüsse Torna und Marcal.**

FOTO: PICTURE ALLIANCE / DPA / BALAZS MOHAI

# GRÜNER STAHL AUS ROTEM SCHLAMM

TEXT: PETER HERGERSBERG

Bei der Produktion von Aluminium fallen gigantische Mengen giftigen Rotschlammes an. Gleichzeitig trägt die Stahlindustrie mit ihren CO<sub>2</sub>-Emissionen wesentlich zum Klimawandel bei. Ein Team des Max-Planck-Instituts für Nachhaltige Materialien zeigt einen Weg auf, mit einem Verfahren beide Probleme anzugehen – und das würde sich auch ökonomisch lohnen.

Die giftige Flut kam um die Mittagszeit: Um 12.25 Uhr des 4. Oktobers 2010 brach nahe der westungarischen Stadt Ajka der Damm eines Rückhaltebeckens, in dem das Unternehmen MAL AG giftigen Rotschlamm aus der Aluminiumproduktion deponierte. Mehrere Hunderttausend Kubikmeter des ätzenden und schwermetallhaltigen Schlammes ergossen sich in die Landschaft und begruben Teile der Dörfer Kolontár, Devecser und Somlóvásárhely unter sich. Zehn Menschen starben, weit mehr als 100 wurden verletzt, viele andere verloren ihr Zuhause. Die Katastrophe in Ungarn zeigt, wie gefährlich Rotschlamm ist, von dem jährlich bis zu 180 Millionen Tonnen anfallen. Der Abfall wird in vielen Ländern besten-

falls in gigantischen Becken aufwendig getrocknet und entsorgt. Weltweit haben sich in den Deponien während der vergangenen Jahrzehnte an die vier Milliarden Tonnen angesammelt. Doch der stark alkalische Rotschlamm greift die Betonwände der Deponien an. Und bei starkem Regen wird der Rotschlamm oftmals aus den Rückhaltebecken gespült und bei Trockenheit als Staub vom Wind in der Umwelt verbreitet. Große Mengen Rotschlamm werden allerdings ohnehin einfach in der Natur entsorgt.

Doch Rotschlamm muss nicht länger problematischer Abfall bleiben. Geht es nach einem Team des Düsseldorfer Max-Planck-Instituts für Nachhaltige Materialien, das bis vor Kurzem noch die Eisenforschung im Namen trug, könnte die Metallindustrie in Zukunft einen weitaus größeren Teil des Materials nutzen als die wenigen Millionen Tonnen, die derzeit jährlich in der Zementherstellung oder in der Eisenproduktion eingesetzt werden. Die Forscher haben es auf die bis zu 60 Prozent Eisenoxid abgesehen, die im Rotschlamm enthalten sind. Kürzlich demonstrierten sie in einer

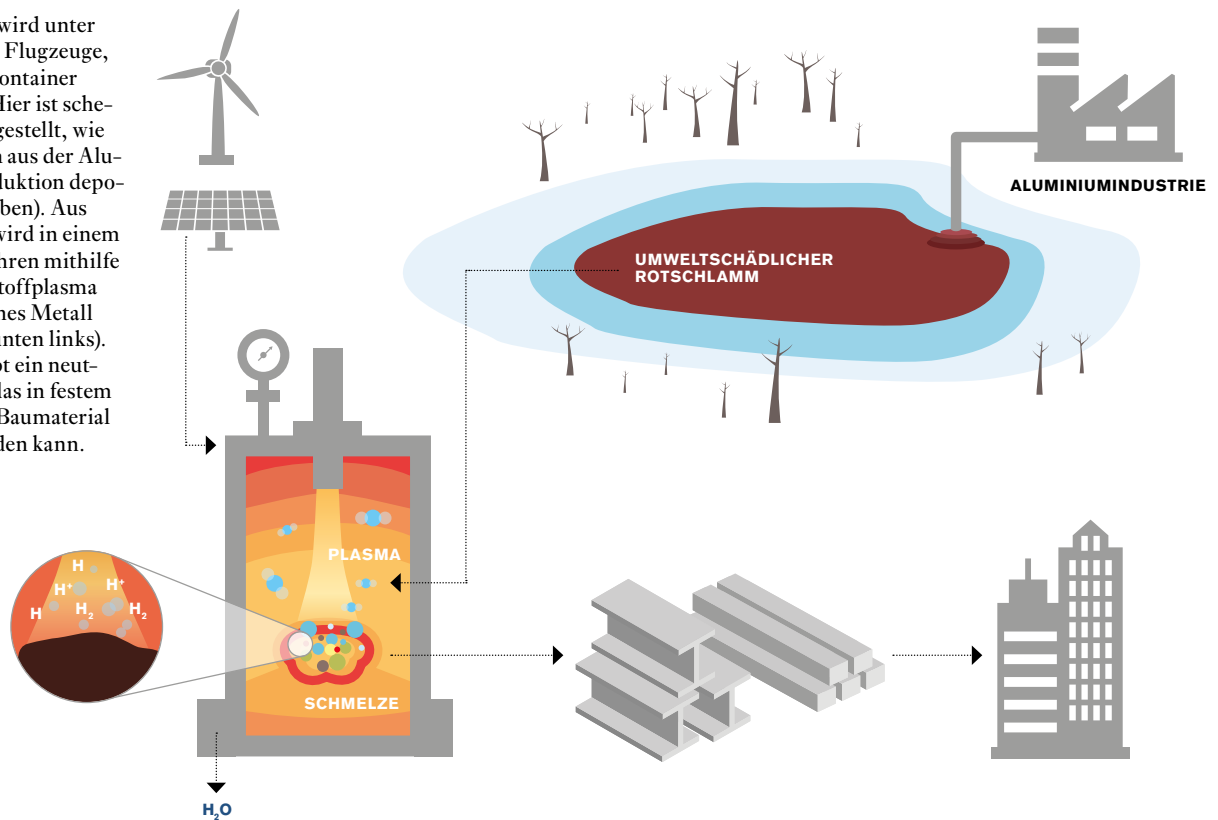
Studie, die im Fachmagazin *Nature* erschienen ist, wie sich daraus auf relativ einfache Weise grüner Stahl erzeugen lässt. Die Wissenschaftler schmelzen den Rotschlamm, so wie er aus der Deponie kommt, in einem Lichtbogenofen – solche Öfen nutzen die Stahl- und die Aluminiumindustrie seit Jahrzehnten, da sie damit Altmetall einschmelzen. Gleichzeitig reduzieren die Forschenden das Eisenoxid mit einem Plasma, das 10 Prozent Wasserstoff enthält, zu Eisen. Diese Umwandlung, im Fachjargon Plasmareduktion genannt, dauert gerade einmal zehn Minuten, wobei sich das flüssige Eisen von den flüssigen Oxiden trennt und anschließend einfach abscheiden lässt. Das Eisen ist so rein, dass es sich direkt zu Stahl weiterverarbeiten lässt. „Unser Prozess könnte das Abfallproblem der Aluminiumproduktion lösen und gleichzeitig die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Stahlindustrie verbessern“, erklärt Matic Jovičević-Klug, der maßgeblich an der Forschung beteiligt war. Aus den rund vier Milliarden Tonnen Rotschlamm, die sich weltweit angesammelt haben, ließen sich knapp 700 Millionen Tonnen Stahl gewinnen.

75





Aluminium wird unter anderem für Flugzeuge, Autos und Container gebraucht. Hier ist schematisch dargestellt, wie Rotschlamm aus der Aluminiumproduktion deponiert wird (oben). Aus dem Abfall wird in einem neuen Verfahren mithilfe von Wasserstoffplasma Eisen als reines Metall gewonnen (unten links). Zurück bleibt ein neutrales Oxid, das in festem Zustand als Baumaterial genutzt werden kann.



GRAFIK: GCO NACH MPI FÜR NACHHALTIGE MATERIALIEN GMBH

76

Das entspricht einem guten Drittel der jährlichen Stahlproduktion weltweit. „Wenn man dafür grünen Wasserstoff verwendet, dann könnte die Stahlindustrie circa 1,5 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> einsparen“, sagt Isnaldi Souza Filho, Forschungsgruppenleiter am Max-Planck-Institut für Nachhaltige Materialien. Die Stahlindustrie ist die Branche mit dem größten Ausstoß an Treibhausgasen überhaupt, stammen doch 8 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus ihren Hütten.

## Entschärfte Schwermetalle

Die Metalloxide, die vom Rotschlamm übrig bleiben, sind nicht mehr ätzend und erstarren beim Abkühlen zu einem glasartigen Material. Dieses lässt sich zum Beispiel in der Bauindustrie als Füllmaterial einsetzen. Andere Forschungsgruppen haben aus Rotschlamm mit Koks Eisen erzeugt, wobei stark verunreinigtes Eisen sowie große Mengen CO<sub>2</sub> entstehen.

Nimmt man hingegen statt Koks grünen Wasserstoff als Reduktionsmittel, werden diese Treibhausgasemissionen vermieden. Auch die Schwermetalle im Rotschlamm lassen sich mit diesem Verfahren gewissermaßen entschärfen. „Chrom haben wir nach der Reduktion im Eisen nachgewiesen“, sagt Matic Jovičević-Klug. „Auch andere Schwer- und Edelmetalle gehen wahrscheinlich in das Eisen oder in einen separaten Bereich über. Das werden wir in weiteren Studien untersuchen. Wertvolle Metalle könnte man dann abtrennen und weiterverwenden.“ Und Schwermetalle, die in den Metalloxiden zurückbleiben, seien darin gebunden und könnten daher nicht mehr mit Wasser ausgeschwemmt werden, wie dies beim Rotschlamm passieren kann.

Eisen mit Wasserstoff direkt aus Rotschlamm zu erzeugen, nützt aber nicht nur der Umwelt doppelt. Der Prozess lohnt sich auch ökonomisch, wie das Forschungsteam in einer Analyse der Kosten nachgewiesen hat. Mit Wasserstoff und einem Strommix für den Lichtbogenofen aus nur

Weit verbreitet in der Metallindustrie: In Lichtbogenöfen wird heute bereits Stahl- und Aluminiumschrott eingeschmolzen und kann so recycelt werden.



teilweise regenerativen Quellen lohnt sich das Verfahren bereits, wenn der Rotschlamm 50 Prozent Eisenoxid enthält. Berücksichtigt man noch die Kosten für die Entsorgung des Rotschlammes, reichen darin sogar nur 35 Prozent Eisenoxid, um den Prozess wirtschaftlich zu machen. Mit grünem Wasserstoff und Strom ist bei den heutigen Kosten – den Aufwand für die Deponierung des Rotschlammes eingerechnet – ein Anteil von 30 bis 40 Prozent Eisenoxid nötig, damit das entstehende Eisen am Markt konkurrenzfähig ist. „Das sind vorsichtige Abschätzungen, da die von der Industrie angegebenen Kosten für die Entsorgung des Rotschlammes wahrscheinlich eher niedrig angesetzt sind“, sagt Isnaldi Souza Filho. Rotschlamm als Rohstoff zu nutzen, statt ihn zu deponieren, könnte für die

Aluminium- und Stahlindustrie umso interessanter sein, als die Nachfrage nach den Metallen in den nächsten Jahren vermutlich noch deutlich steigen wird. Prognosen der Industrie zufolge wird der Bedarf an Aluminium und Stahl bis 2050 um mindestens 50 Prozent steigen – mit den entsprechend höheren Umweltbelastungen. Rotschlamm als Rohstoff für CO<sub>2</sub>-freies Eisen zu nutzen, könnte dazu beitragen, das Wachstum der Metallindustrie sowohl wirtschaftlich als auch nachhaltig zu gestalten. „Uns war es wichtig, in unserer Studie auch die ökonomischen Aspekte zu berücksichtigen“, sagt Dierk Raabe, Direktor am Max-Planck-Institut für Nachhaltige Materialien. „Jetzt kommt es auf die Industrie an, ob sie die Plasmareduktion von Rotschlamm zu Eisen auch einsetzt.“ ←

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Bei der Aluminiumproduktion fallen jedes Jahr bis zu 180 Millionen Tonnen stark ätzenden und schwermetallhaltigen Rotschlammes an.

Das im Schlamm enthaltene Eisenoxid lässt sich wirtschaftlich rentabel in einem Lichtbogenofen mit Wasserstoff direkt zu sehr reinem Eisen reduzieren.

Aus den weltweit deponierten rund vier Milliarden Tonnen Rotschlamm ließen sich so 700 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-freier Stahl gewinnen – das entspricht einem Drittel der weltweiten Jahresproduktion.

