

Wasserstoff: mit grünem Eisen in die Speicherzukunft

Thomas Isenburg

Erneuerbare Energien können bei idealem Wetter mehr Energie wandeln, als vor Ort benötigt wird. Daher bietet es sich an, diese Stromüberschüsse per Elektrolyse in Wasserstoff zu speichern. Damit steht die gespeicherte Energie auch dann zur Verfügung, wenn die Sonne gerade nicht scheint und kein Wind weht. Wie lässt sich solcher Wasserstoff länger speichern oder in weit entfernte Verbrauchszentren transportieren? Vielversprechende Möglichkeiten sehen Forscher in Metallen, die als Speicher- und Transportmedium dienen können.

Die Aufgabe der Energiespeicherung ist eng verknüpft mit der Entwicklung erneuerbarer Ressourcen. Dabei stellt sich die Frage nach dem Speichermedium. Der Transport von grünem Wasserstoff ist kompliziert. Wasserstoff siedet bei der sehr tiefen Temperatur von $-252,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dies macht die Verschiffung schwierig. Auch der Transport per Pipeline ist aufwendig und könnte von geostrategischen Konflikten begleitet sein. Aus Wasserstoff hergestelltes Ammoniak ist hochgiftig. Allerdings gibt es ausreichend und lange Erfahrungen im Ammoniak-Transport. Vor diesem Hintergrund werden insbesondere in der wissenschaftlichen Welt Metalle als Energiespeicher diskutiert und untersucht. Sie können Energie in elementarer Form speichern. Wenn sie mit Sauerstoff verbrannt oder durch Zufuhr von Wasser chemisch oxidiert werden, vermögen sie, diese Energie wieder in Form von Wärme oder chemisch gebunden als Wasserstoff abzugeben.

Eisen: Forschungsschwerpunkt bei Metallen

Im Mittelpunkt der Arbeit mehrerer Forschungsinstitute steht Eisen zur Energiespeicherung in elementarer Form. Der aus

erneuerbaren Energien gewonnene grüne Wasserstoff wird dort mit Eisenoxid in Reaktion gebracht. Es entstehen elementares Eisen und Wasser. Die chemische Energie des Wasserstoffs wird in das elementare Metall überführt.

Die chemisch gespeicherte Energie liegt damit im Eisen vor und ist als Feststoff einfach zu transportieren. Der bei der Eisengewinnung aus Eisenoxid und Wasserstoff entstehende Wasserdampf kann zu Wasser kondensieren. Das Wasser kann zudem durch eine Elektrolyse zu grünem Wasserstoff umgewandelt werden. Damit ergibt sich ein Kreislaufprozess, der kein zusätzliches Wasser benötigt. Für die Energiefreisetzung aus elementarem Eisen wird der Prozess umgekehrt. Bei der Reaktion von Eisen mit Wasser entstehen wieder Eisenoxid und Wasserstoff, ebenfalls ein Kreislaufprozess (siehe Abb. 1). Der so gewonnene Wasserstoff kann für stoffliche Prozesse verwendet werden oder über eine Brennstoffzelle Strom produzieren. Alternativ kann Eisenpulver mit dem Sauerstoff aus der Umgebungsluft CO_2 -frei verbrannt werden. Es entstehen überschüssige Wärme und wiederum Eisenoxid. Diese Wärmeenergie kann zur Stromproduktion genutzt werden.

Inzwischen haben sich zahlreiche Forschungsaktivitäten etablierter Institute zu diesem Thema entwickelt. Das hat Gründer auf den Plan gerufen. Start-ups und Spin-offs der Universitäten beschäftigen sich mit der Markteinführung des Prozesses.

Grundlagenforschung noch nicht abgeschlossen

Welche Vorteile Eisen hat, beleuchten Forscher der TU Darmstadt [1] im Vergleich zu anderen Energieträgern. Als Schüttgut kann Eisen zum handelbaren Energieträger werden. Aufgrund der hohen volumetrischen Energiedichte eignet sich Eisen für den internationalen Transport per Schiff. So könnte Energie aus Regionen mit kostengünstigen erneuerbaren Energien exportiert und am Zielort nach Bedarf genutzt werden. Dabei ist die Strom-zu-Strom-Effizienz von Eisen mit der von Wasserstoff vergleichbar. Laut der Forschungsgruppe liegt sie für grünes Eisen zwischen 19 und 32 % und für grünen Wasserstoff zwischen 16 und 32 %, je nach Etablierungsgrad und technologischem Fortschritt.

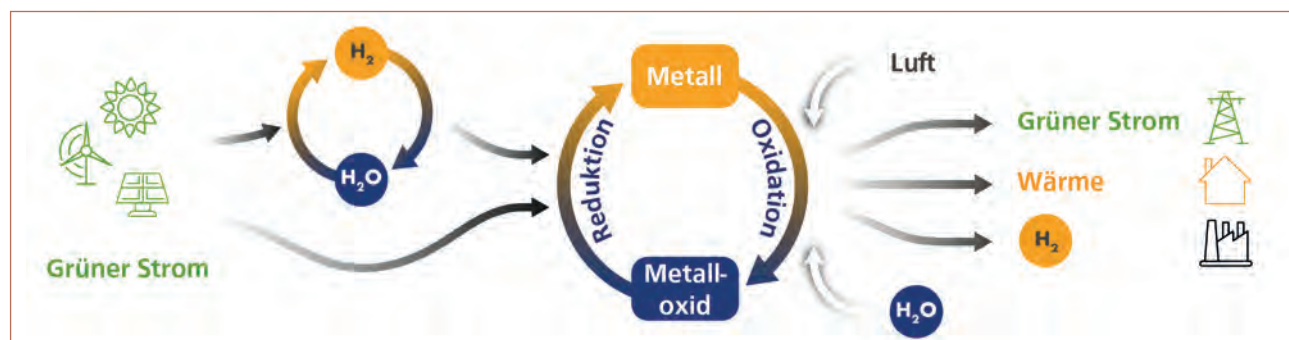


Abb. 1 Eisen kann bei der Energiespeicherung im Kreislauf gefahren werden

Quelle: Clean Circles

Ein Vorteil wird in dem Nachrüstungspotenzial gesehen, das die Verwendung von Eisen als Brennstoff in Kohlekraftwerken hat (siehe Abb. 2). Damit hat sich die TU Darmstadt im Projekt *Clean Circles* beschäftigt. Fossile Kohlekraftwerke verursachen 20 % der weltweiten CO₂-Emissionen – und es werden weiterhin neue gebaut. Eine Umstellung auf den Eisenprozess könnte diese Emissionen vermeiden. Hierzu müssen nur wenige Komponenten wie z. B. Brenner und Abgasreinigung geändert werden. Der Zeithorizont für eine Umstellung ist noch unklar und wird ganz wesentlich davon beeinflusst, wie intensiv das Thema weiter erforscht und entwickelt werden kann. Der Koordinator des Projekts, Christian Hasse, ist jedoch zuversichtlich: „Wir wollen bis 2030 ein städtisches Heizkraftwerk mit Eisen betreiben.“

Neben Eisen seien auch andere Metalle wie Aluminium als Energieträger interessant. An der TU Darmstadt und an Partnerinstitutionen wird neben der Grund-

lagenforschung der Transfer in die Anwendung weiter vorangetrieben, z. B. mit dem geplanten *Metal Energy Hub*. Ein Forschungsschwerpunkt ist z. B. der Einfluss von Prozessbedingungen und Materialverunreinigungen auf die erreichbare Rezyklierbarkeit der verwendeten Eisenpartikel; das ist noch Grundlagenforschung.

Samuel Heiniger arbeitet an der ETH Zürich zu dem Thema Eisen als Energiespeicher. Das 2024 als Start-up gegründete Unternehmen Iron Energy hat sich zum Ziel gesetzt, die Technologie zu kommerzialisieren. Der Ansatz von Heiniger ist, das Metall nur für die stationäre Speicherung zu verwenden. Hierzu wird im Sommer, wenn zu viel erneuerbarer Strom zur Verfügung steht, aus Eisenoxid das elementare Metall gewonnen. Wenn im Winter Energie benötigt wird, wird das Eisen wieder mit Wasser umgesetzt, wodurch Wasserstoff, Wärme und Eisenoxid entstehen. Mit dem Wasserstoff können wiederum Brenner oder Brennstoffzellen betrieben werden. Heiniger sagt dazu: „Das Verfahren ist extrem günstig und einfach. Die dafür nötige Technologie gibt es schon.“ Von der Umrüstung von Kohlekraftwerken hält er nichts, da das Eisen zu schwer für den Transport sei. Das wäre ein großer Nachteil. Andere Techniken zur Speicherung seien besser. Dabei sind Flüssigkeiten wie z. B. Ammoniak pumpbar, jedoch giftig. Heiniger hält es auch für einen Fehler, die bestehende Abhängigkeit von Energieimporten aus dem Ausland mit einem anderen Energieträger fortzusetzen.

Start-ups und Spin-offs in den Startlöchern

Ein weiteres Unternehmen, das sich der Energie- und Wasserstoffspeicherung widmet, ist die Ambartec AG – ein Dresdner Technologie-Start-up. Es hat einen Anlagentyp entwickelt, mit dem sich grüner Wasserstoff in Eisen einspeichern, transportieren und wieder ausspeichern lässt. Hierzu sagt Matthias Rudloff, CEO des Unternehmens: „Das Verfahren selbst ist alt. Es wurde in den 1970er-Jahren des letzten Jahrhunderts schon einmal großtechnisch in einer Anlage in Magdeburg in der DDR angewendet.“ Aus dieser Zeit gibt es noch viele Unterlagen, darunter Betriebstagebücher und begleitende Forschungsberichte. In-

zwischen wurde das Verfahren nach dem heutigen Stand der Technik als 20-Fuß-Container-Lösung realisiert. Im Zentrum stehen Eisennuggets (siehe Abb. 3), gelagert in einem bis zu 1.000 l fassenden Speicher.

In den Eisennuggets können bis zu 100 kg Wasserstoff aus zugeführtem Wasser erzeugt werden. Das entspricht der Energie von 3 MWh. Erste Anlagen sollen bis Ende des Jahres 2025 verkauft werden. Rudloff meint: „Die Wasserstoffwirtschaft kommt nicht in Gang, weil die Kosten für den Transport und die Speicherung zu hoch sind. Diese Kosten senken wir mit unserem Verfahren.“

Ein besonderer Vorteil bei der Produktion von Wasserstoff ist die hohe Energiedichte, wenn sie im elementaren Eisen gespeichert ist. Sie ist etwa 2,5- bis 5-mal so groß wie in einem Wasserstoffdruckbehälter (700/350 bar). Das Eisen kann bei Normaldruck gelagert werden. Im Vergleich zu Lithium-Ionen-Batterien ver-



Abb. 2 Eisen kann ähnlich wie Kohle verbrannt werden. Dabei entsteht mit heller Flamme Eisenoxid und Wärmeenergie wird frei
Quelle des Bildes: Janik Hebel/Clean Circles



Abb. 3 Eisennuggets können ein Schlüssel zur Energiewende werden, denn sie speichern Energie mit hoher Speicherdichte
Quelle: BLEND3 Frank Grätz

bessert sich die Speicherkapazität um den Faktor 10. Z. B. besitzt Eisen in einer Schüttung die Speicherkapazität von ungefähr 12,9 kWh/l. Bei Lithium-Ionen liegt dieser Wert nur bei 1 kWh/l.

Der nächste Schritt bei Ambartec ist der Transport der mit Energie beladenen, elementaren Eisennuggets als Schüttgut. Hier sieht Rudloff durchaus Aufklärungsbedarf: „Bislang wurde nur über den Transport von Eisenschwamm publiziert. Das ist eine gefährliche Angelegenheit, da eine Selbstentzündung droht. Deshalb ist Eisenschwamm nur schwer zu versichern. Das ist bei unseren Nuggets anders.“ Bei den Nuggets handelt es sich nämlich nicht um Gefahrgut und die bestehende Container-Logistik kann den Energietransport übernehmen. Es sind keine Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) oder der Störfallverordnung notwendig.

Die Wüsten als Energiequelle

Ein Unternehmen, das sich auf die Verbrennung von Eisenpulver spezialisiert hat, ist die Rift Development B.V. aus Eindhoven. Das Unternehmen ist eine Ausgründung der TU Eindhoven und befasst sich konkret mit der patentierten Industrialisierung, zunächst in den Niederlanden. Zum Portfolio gehören die Logistik und die Verbrennungstechnik von Eisenpulver. Dabei wird Wärme für industrielle Prozesse produziert und Eisenoxid, das dann mithilfe von Wasserstoff wieder in das reine Metall verwandelt werden kann.

Als Energiequelle könnten erneuerbare Anlagen in den Wüsten der MENA-Region dienen. Die Desertec Foundation hält das Thema eisenbasierte Energieträger aus vielen Gründen für sehr aussichtsreich. Auch Wüstenstrompionier Paul van Son schwärmt: „Es ist eine ideale Lösung, denn man kann Eisenpulver an günstigen Wasserstoffquellen mit Energie beladen.“ Das Eisen kann dann mit einer bestehenden Logistik im Kreislauf gefahren werden. Ein Stiftungsmitglied und der Niederländer suchen bereits gemeinsam nach Produktionsstandorten für das energetische Beladen von Eisenpulver in der MENA-Region.

Einfache Lösung hat viel Potenzial

Die Euphorie für dieses grüne Eisen ist groß. Dabei ist der zugrunde liegende chemische Prozess einfach, lange bekannt und beliebig oft wiederholbar. Es kann auf komplexe Bedingungen verzichtet werden, die der Transport von Wasserstoff erzwingt. Zudem wird die damit verbundene anspruchsvolle Anlagentechnik nicht benötigt. Ferner entfällt der sehr hohe Wasserbedarf, der sich bei der Herstellung und dem anschließenden Abtransport von Wasserstoff oder Ammoniak ergibt. Ob und in welchem Umfang sich die Eisen-Techniken durchsetzen können, hängt ganz wesentlich davon ab, wie viel Unterstützung sie für die Erprobung und Umsetzung erhalten.

Quelle

- [1] J. Neumann et al.: „Techno-economic assessment of long-distance supply chains of energy carriers: Comparing hydrogen and iron for carbon-free electricity generation“, in: Applications in Energy and Combustion Science, Vol.14, Juni 2023, online abrufbar: <https://doi.org/10.1016/j.jaecs.2023.100128>.

*Dr. T. Isenburg, Wissenschaftsjournalist,
Herne
presse@thomas-isenburg.de*

DIGITALFACTORY NEWSLETTER

Jetzt kostenfrei registrieren!



Der kostenfreie Newsletter berichtet über aktuelle Trends, Neuigkeiten und Lösungen rund um industrielle IT und Industrie 4.0.

[www.digital-factory-journal.de/
newsletter](http://www.digital-factory-journal.de/newsletter)

