



## CO<sub>2</sub>-REDUZIERTER STAHLPRODUKTION DURCH ELEKTROLYSEGESTÜTZTE DIREKTREDUKTION

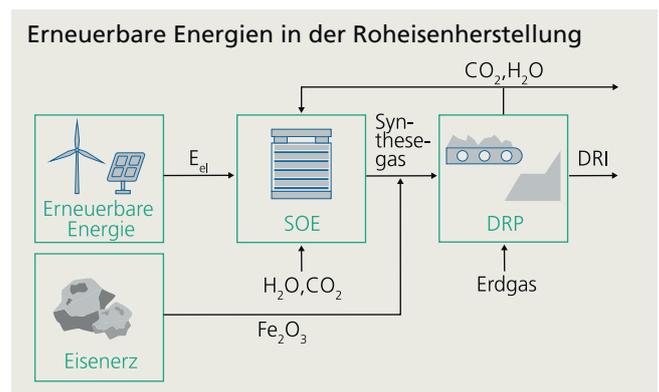
Nils Müller, Dipl.-Ing. Gregor Herz, Dr. Erik Reichelt, Dr. Matthias Jahn, Dipl.-Ing. Aniko Walther

Für die Umsetzung eines nachhaltigen Energie- und Rohstoffsystems ist die Reduzierung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen (CO<sub>2</sub>) in allen Wirtschaftssektoren entscheidend. Mit einem Anteil von 5 % an den gesamten Treibhausgasemissionen der Europäischen Union zählt die Stahlindustrie zu den größten Treibhausgas-Verursachern. Bei der Gewinnung von Rohstahl – einem der wichtigsten Rohstoffe des 21. Jahrhunderts – entstehen erhebliche Mengen an CO<sub>2</sub> als Nebenprodukt der konventionellen Eisenerzreduktion über die etablierte Hochofenroute. Gegenstand aktueller Forschung am Fraunhofer IKTS ist daher die Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Roheisengewinnung durch elektrolysegestützte Direktreduktion unter Nutzung erneuerbarer Energie.

Gegenwärtig werden etwa 95 % der weltweit produzierten Roheisenmengen über die Hochofenroute hergestellt. Als Reduktionsmittel dient hierbei Koks. Der im Eisenerz vorhandene Sauerstoff wird während des Reduktionsprozesses an den im Koks enthaltenen Kohlenstoff gebunden. Als Reaktionsprodukte entstehen Roheisen und Kohlenstoffdioxid.

Eine bereits großtechnisch verfügbare Alternative zum Hochofen ist der Direktreduktionsprozess. Als Produkt entsteht hierbei direktreduziertes Eisen (Direct Reduced Iron, DRI), dessen Qualität durch den eingestellten Kohlenstoffgehalt und einen Restanteil an Eisenoxiden charakterisiert ist. Im überwiegenden Teil der existierenden kommerziellen Direktreduktionsanlagen dient Erdgas als Reduktionsmittel. Bei der als »Reformierung« bezeichneten Reaktion des Erdgases entstehen Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid, die dann für die Reduktion der Eisenerze zur Verfügung stehen. Neben CO<sub>2</sub> entsteht dabei auch Wasser

als Reaktionsprodukt. Allerdings wird deutlich weniger CO<sub>2</sub> frei, da der reduzierende Wasserstoff bereits einen Teil des im Eisenerz vorhandenen Sauerstoffs in Form von Wasser bindet. Um künftig die CO<sub>2</sub>-Emissionen noch weiter zu senken bzw. perspektivisch auf die Nutzung fossiler Energieträger vollständig zu verzichten, können die für den Reduktionsprozess relevanten Verbindungen Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid mittels Hochtemperaturelektrolyse (Solid Oxide Electrolysis, SOE) bereitgestellt werden. Damit wird der Elektrolyseur zum Bindeglied zwischen erneuerbaren Energiequellen und Stahlerzeugung.



Die einfachste Art eine derartige Kopplung umzusetzen, ist die Beimischung regenerativ erzeugten Wasserstoffs zum Erdgas. Dazu sind keine Änderungen am eingesetzten Schachtofen nötig. Mit zunehmendem Anteil an Wasserstoff sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen – ab einem bestimmten Punkt jedoch auch der Kohlenstoffgehalt im DRI. Dies wirkt sich nachteilig auf die folgenden Prozessschritte aus, weshalb die Substitution nur bis zu einem Anteil von 70 Vol.-% technisch sinnvoll ist. Diese Limitierung umgeht ein vom IKTS zum Patent angemeldetes Prozess-

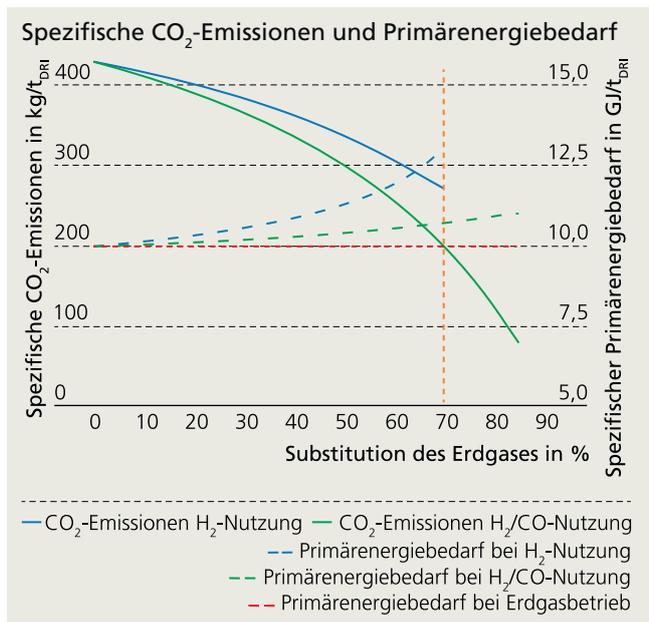


## UMWELT- UND VERFAHRENSTECHNIK

konzept. Dieses nutzt die Fähigkeit der ebenfalls am Institut entwickelten Hochtemperaturelektrolyse-Stacks nicht nur Wasser, sondern auch  $\text{CO}_2$  umwandeln zu können. Im Direktreduktionsprozess ohnehin abgetrenntes  $\text{CO}_2$  wird dem Elektrolyseur zusammen mit Wasser zugeführt. Es entstehen die Reduktionsmittel Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff. Bei gleichem Substitutionsanteil können so die  $\text{CO}_2$ -Emissionen im Vergleich zur reinen Wasserstoff-Substitution noch weiter gesenkt werden. Gleichzeitig reduziert sich die notwendige elektrische Energiemenge deutlich, die für die Emissionsminderung aufgewendet werden muss.

Der Grenzwert, bis zu dem der Kohlenstoffgehalt im DRI konstant gehalten werden kann, wird auf diese Weise von 70 Vol.-% auf 85 Vol.-% verschoben, wodurch ein deutlich größerer Anteil Erdgas substituiert werden kann – ohne die Eigenschaften des DRI negativ zu beeinflussen. Wird Erdgas zu 70 Vol.-% durch ein  $\text{H}_2/\text{CO}$ -Gemisch mit dem Verhältnis 2:1 substituiert, entspricht der  $\text{CO}_2$ -Bedarf der Elektrolyse exakt der Menge  $\text{CO}_2$  aus der prozessinternen Abtrennung der Direktreduktionsanlage. Verbleibende Emissionen sind dann nur noch auf die Vorheizung des Reduktionsgases durch die Verbrennung eines Teils des  $\text{H}_2/\text{CO}$ -Gemischs zurückzuführen. Der restliche über Erdgas zugeführte Kohlenstoff wird im produzierten Roheisen gebunden. Wird erneuerbare Energie auch für die Vorheizung genutzt, können die  $\text{CO}_2$ -Emissionen auf nahezu Null abgesenkt werden.

Wird das Erdgas zu mehr als 70 Vol.-% substituiert, kann das gekoppelte System aus SOEC und Direktreduktionsanlage für die Roheisenproduktion sogar als  $\text{CO}_2$ -Senke betrieben werden. Für eine zukünftige, nachhaltige Stahlerzeugung ist damit auch der komplette Verzicht auf fossile Kohlenstoffträger möglich. Das entwickelte Verfahren bietet damit ein enormes Potenzial zur Erreichung der angestrebten weltweiten Emissionsminderungsziele.



Wir bedanken uns für die Projektförderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung BMBF (Förderkennzeichen 03EK3044A).

- 1 *Abstich eines Hochofens (Shutterstock, Oleksiy Mark).*
- 2 *Eisenerzpellets vor der Reduktion im Direktreduktionsprozess.*
- 3 *Qualitätsprüfung des Zielprodukts.*
- 4 *Roheisenbarren (Shutterstock, Kaband).*
- 5 *Direktreduktionsanlage (Shutterstock, M.Khebra).*

