

# SALCOS, WindH<sub>2</sub>, GrInHy – Wasserstoffprojekte bei der **Salzgitter AG**

Bei der Produktion im Hüttenwerk Salzgitter fallen jährlich etwa 8 Mio. t CO<sub>2</sub> an, die zu den gegebenen technischen Bedingungen und mit den zur Verfügung stehenden Anlagen prozessbedingt unvermeidbar sind. Um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß über das jetzige Maß hinaus zu vermindern, erprobt die Salzgitter AG neue Wege und Verfahrenstechniken. Unter dem Projektnamen SALCOS® (Salzgitter Low CO<sub>2</sub> Steelmaking) beschäftigen sich Forscher und Fachleute der Produktion des Konzerns in Zusammenarbeit mit Fraunhofer-Instituten und weiteren Partnern mit den neuen Technologien und deren Einbindung in ein integriertes Hüttenwerk. Mit den Projekten GrInHy (Green Industrial Hydrogen) und Windwasserstoff sammelt die Salzgitter Flachstahl Betriebserfahrung in dem für SALCOS wichtigen Themenbereich „Wasserstoff aus erneuerbaren Energien“, auf welchen später eine Umsetzung im großindustriellen Maßstab folgen soll. Obwohl die heutigen Rahmenbedingungen noch keinen wirtschaftlichen Betrieb einer direkten Kopplung von Windstromerzeugung und Elektrolysebetrieb ohne Förderung ermöglichen, soll die klimaschonende Technologie weiterentwickelt werden.

Für eine Dekarbonisierung der Primärstahlherstellung will die Salzgitter AG ein Alleinstellungsmerkmal der Eisenmetallurgie nutzen: Wasserstoff kann bei der Eisenerzreduktion Kohlenstoff ersetzen, was zur Bildung von Wasser anstelle von Kohlendioxid führt. Zusätzlich kann die in der Stahlerzeugung und -weiterverarbeitung notwendige Prozesswärme durch elektrische Energie statt durch kohlenstoffhaltige Energieträger bereitgestellt werden. So lassen sich fast alle CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stahlherstellung direkt vermeiden („Carbon Direct Avoidance“, CDA).

## 1. SALCOS®

Mit Blick auf eine großtechnische Realisierung von CDA startete die Salzgitter AG das Projekt SALCOS im Jahr 2015. Im Rahmen des Projektes werden die Voraussetzungen und Auswirkungen einer Umsetzung auf das integrierte Stahlwerk des Konzerns in Salzgitter untersucht. Die wissenschaftliche Begleitung erfolgt dabei durch die neutrale Expertise der Fraunhofer Gesellschaft (FhG).

Neben dem Ziel, die CO<sub>2</sub>-Emissionen nachhaltig zu reduzieren, sollen durch die Umsetzung der geplanten technischen Maßnahmen am Standort Salzgitter die bestehenden Produktionsstandorte und Arbeitsplätze erhalten werden. Zudem soll eine Verlagerung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in Gebiete außerhalb des europäischen Emissionshandels vermieden werden.

Das modulare Konzept des Projekts ermöglicht eine schrittweise Realisierung. Die Umsetzungsschritte können sich dabei an die zukünftigen herausfordernden CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele in Europa nach 2030 anpassen. Die derzeit bestehende Stahlerzeugung im integrierten Hüttenwerk in Salzgitter muss dazu auf der Grundlage des in **Bild 1** dargestellten Konzepts umfangreich angepasst werden.

### Erster Schritt: Direktreduktionsanlage

Im ersten Ausbauschnitt (**Bild 2**, Ausbaustufe I) wird eine Direktreduktionsanlage (DRP), Wasser-Elektrolysekapazität zur H<sub>2</sub>-Herstellung und ein Elektrolichtbogenofen (EAF) aufgebaut. Das

direktreduzierte Eisen (DRI) soll teilweise im EAF, der möglichst mit erneuerbarer Energie betrieben wird, eingeschmolzen und teilweise den verbleibenden Hochöfen zugeführt werden. Dadurch kann einer der drei in Betrieb befindlichen Hochöfen sowie einen Konverter aus der Produktion genommen werden. Dies reduziert den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bereits um rund 26 %, da zur Reduktion eine Mischung aus Erdgas und Wasserstoff eingesetzt werden würde.

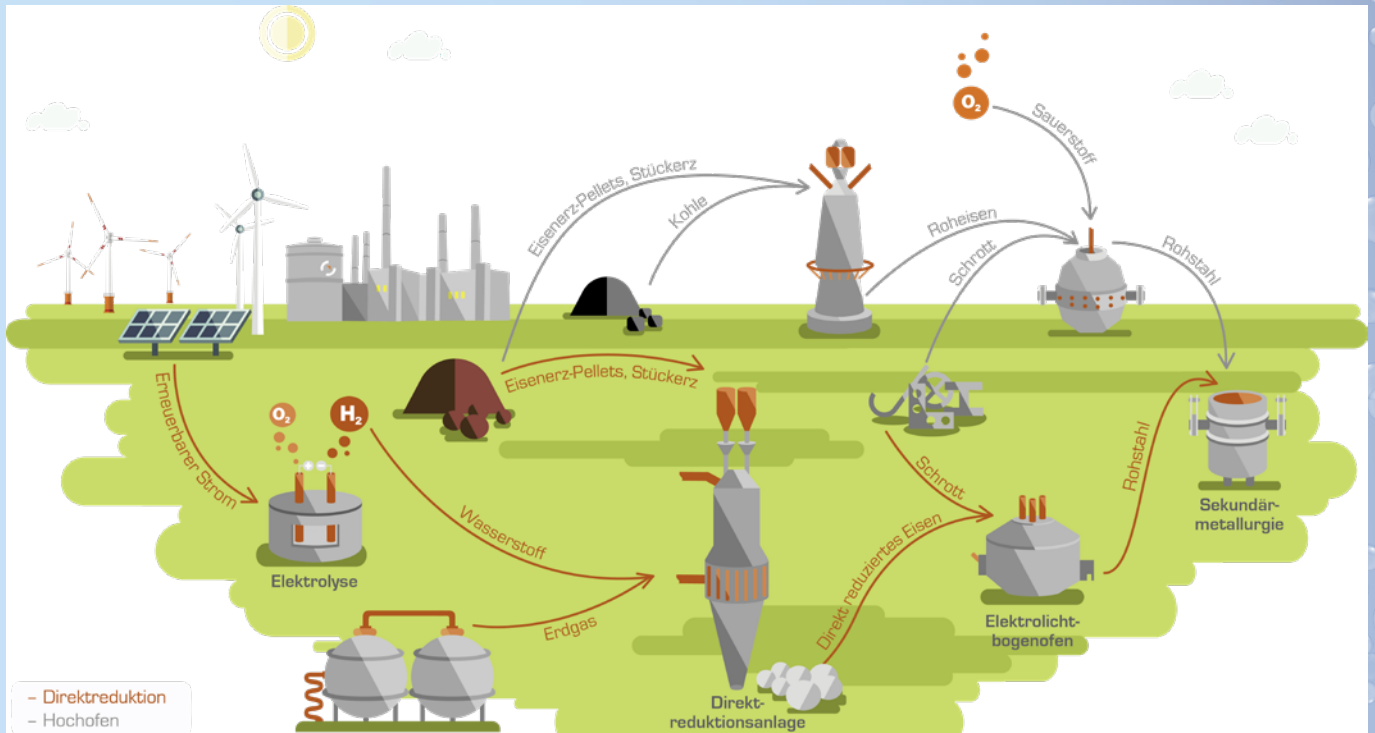
Die Kombination aus Direktreduktionstechnologie mit flexibler Elektrolysetechnik ermöglicht die Nutzung volatiler, erneuerbarer Energien. Je nach Verfügbarkeit erneuerbarer Energie im Prozess kann ersatzweise Erdgas statt Wasserstoff eingesetzt bzw. überschüssiges DRI einfach gelagert werden kann. Hervorzuheben ist, dass die Einbindung einer solchen flexibel betriebenen Direktreduktionsanlage in ein bestehendes integriertes Hüttenwerk weltweit noch nie realisiert wurde und somit prozesstechnisch, aber auch wirtschaftlich eine große Herausforderung darstellt.

Wie auch bei alternativen Konzepten zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Stahlindustrie könnte der Einsatz von SALCOS innerhalb der gegebenen regulatorischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu einem Anstieg der Betriebskosten führen und die Wettbewerbsfähigkeit gefährden. Vor diesem Hintergrund müssen entsprechende Rahmenbedingungen geschaffen werden, die eine Realisierung des vorgeschlagenen Projekts erleichtern.

Der Ansatz von SALCOS beruht auf einer großtechnisch etablierten Technologie (erdgasbasierte Direktreduktion), die entsprechend der zukünftigen Herausforderungen weiterentwickelt werden kann. Daraus ergibt sich technisch die Möglichkeit, relativ kurzfristig eine signifikante CO<sub>2</sub>-Reduktion durch den Einsatz einer Anlage im industriellen Maßstab zu erreichen.

### Weitere Schritte

Die weiteren Umsetzungsschritte (Bild 2, Ausbaustufe II/III) basieren im Wesentlichen auf dem gleichen Grundmodul und führen perspektivisch in den kommenden Jahrzehnten zu einer voll-



**Bild 1:** Grafik der SALCOS-Funktionsweise zur Integration eines Direktreduktionsreaktors für eine CO<sub>2</sub>-Verringerung

ständigen Umstellung der Stahlerzeugung von der Hochofen-Konverter-Route hin zur Direktreduktion-EAF-Route. Bei einer vollständigen Umstellung der Produktion und den Einsatz von 100 % unter Nutzung regenerativer Energien erzeugtem Wasserstoff beträgt die maximal erzielbare CO<sub>2</sub>-Reduzierung des SALCOS-Konzeptes 95 %. SALCOS wird, wie alle vergleichbaren Ansätze, sehr große Investitionen in neue Anlagentechnik erfordern, die in der Größenordnung von mehreren Mrd. € liegen werden. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass Verfahren zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen absehbar keine niedrigere Energiekosten oder bessere Produktqualität im Vergleich zum Status Quo bieten werden, die zu niedrigeren Produktionskosten oder höheren Umsätzen führen könnten. Der Mehrwert liegt absehbar ausschließlich in einer Stahlerzeugung mit reduzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen, um so die gesellschaftliche Aufgabe zu erfüllen. Die heimische Stahlindustrie muss damit lokal auf die Herausforderung der CO<sub>2</sub>-Reduzierung reagieren und trotzdem weiter im weltweiten Wettbewerb bestehen.

Nun stellt sich die Frage, woher der Wasserstoff für eine CO<sub>2</sub>-neutrale Stahlerzeugung stammen könnte. Er muss klimaneutral erzeugt werden, um die auf der Erzeugungsrouten für Stahl eingesparten Emissionen nicht einfach an einen anderen Ort zu verlagern. Hier kommen zwei weitere Projekte ins Spiel.

**2. Windwasserstoff – WindH2**

Das Vorhaben „Windwasserstoff Salzgitter“ ist ein weiterer konkreter Schritt hin zu einer wasserstoffbasierten Stahlindustrie. Am 30. Oktober 2018 unterzeichneten die Salzgitter Flachstahl GmbH,

der Industriegaslieferant Linde AG und die Avacon Natur GmbH, ein Spezialist für den Bau und Betrieb von Gas- und Stromnetzen, einen Vertrag für das Projekt „Windwasserstoff Salzgitter“, das auch als WindH2 bezeichnet wird. Dessen Ziel ist es, in Salzgitter Wasserstoff mittels PEM-Elektrolyse mit Strom aus Windkraft zu erzeugen.

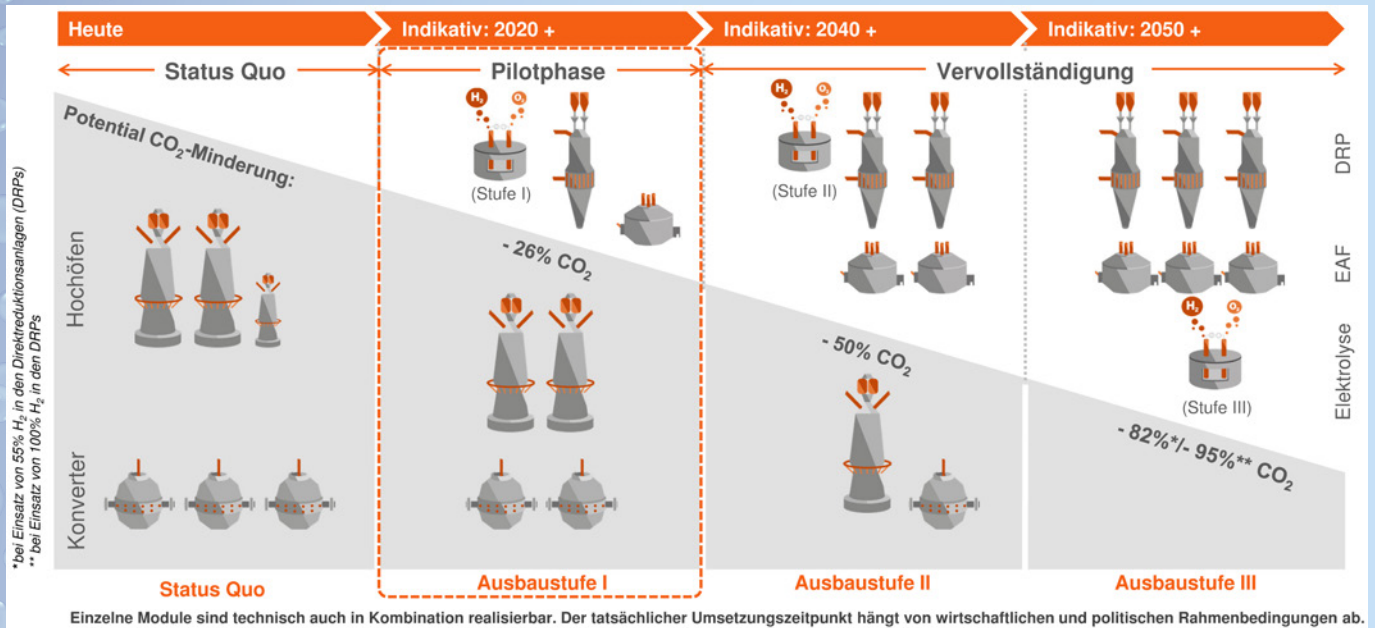
Dazu wurde der Auftrag zum Bau einer 2,5 MW-PEM-Elektrolyse (PEM = Protonen Exchange Membran) an Siemens Gas and Power vergeben. Die Anlage soll Ende 2020 in Betrieb gehen und den kompletten gegenwärtigen Wasserstoffbedarf von SZFG decken. Der erforderliche Strom wird in sieben Windkraftanlagen mit einer Leistung von 30 MW erzeugt, welche die Avacon AG auf dem Salzgitter-Gelände errichtet und ebenfalls ab 2020 betreibt.

Die Kosten für das gesamte Projekt – Aufbau der Windkraftträder und der Wasserstoffanlagen inklusive deren Einbindung in die bestehenden Leitungsnetze – belaufen sich auf rund € 50 Mio.

In Salzgitter wird eine containerisierte Anlage aufgebaut, die bei Volllast 450 Nm<sup>3</sup>/h Wasserstoff produziert. Die PEM-Technologie ist geeignet, um volatil erzeugten Wind- und Sonnenstrom aufzunehmen. Die hochdynamische Betriebsweise der Anlagen erlaubt es, auf die Anforderungen durch das schnell schwankende Stromnetz zu reagieren.

In Salzgitter existiert bereits eine Wasserstoff-Infrastruktur für die Versorgung von Haubenglüherei und Feuerverzinkungsanlage. Für den Strom der Windkraftanlagen muss aufgrund der derzeitigen Gesetzgebung eine Einbindung ans öffentliche Netz geschaffen werden. Projektpartner Avacon obliegt der Betrieb und die Anbindung der Windkraftanlagen. Linde wiederum ist vor allem im Sinne der Wasserstoff-Versorgungssicherheit am Projekt





**Bild 2:** Modulares Konzept ermöglicht die schrittweise Realisierung des Umbaus auf eine H<sub>2</sub>-basierte Stahlerzeugung

WindH2 beteiligt und betreibt einen Wasserstoffspeicher auf dem Betriebsgelände der Salzgitter Flachstahl. Alle drei Partner wollen mit WindH2 Know-how für eine klimafreundliche Wasserstoffherzeugung mit Anbindung in ein integriertes Hüttenwerk gewinnen.

### 3. GrInHy / GrInHy2.0

Während WindH2 auf eine industrielle Wasserstoffproduktion mit bewährter Elektrolyse-Technik setzt, erprobt das Forschungsprojekt „Green Industrial Hydrogen“ (GrInHy, sprich: „Green High“) perspektivisch einen alternativen Elektrolyse-Weg. Zusammen mit der Sunfire GmbH und weiteren Partnern aus fünf EU-Ländern hat die Salzgitter AG von März 2016 bis Februar 2019 an diesem EU-Forschungsprojekt mitgearbeitet. Bei GrInHy wird eine Hochtemperaturelektrolyse (HTE) zur Wasserstoffproduktion verwendet. Anders als bei Wasser-Elektrolyseuren nutzt die HTE Wasserdampf bei etwa 150 °C, der mittels Abwärme aus der Stahlproduktion erzeugt wird. Das Verfahren besitzt durch die Einbindung von Abwärme einen höheren elektrischen Wirkungsgrad als alternative Elektrolyse-Technologien. Eine entsprechende Versuchsanlage ging bereits im Oktober 2017 auf dem Hüttengelände in Betrieb.

Noch bevor das Projekt 2019 erfolgreich abgeschlossen wurde, starteten die Salzgitter Flachstahl GmbH, Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH und Sunfire GmbH im Januar 2019 mit neuen Partnern das Nachfolgeprojekt GrInHy2.0. Mit an Bord sind die Anlagenbauer Paul Wurth S. A. und Tenova S.p.A. sowie das französische Forschungszentrum CEA. Das Gesamtbudget aller Partner beträgt € 5,5 Mio. Das Projekt erhält Unterstützung vom Fuel Cell and Hydrogen 2 Joint Undertaking und der Europäischen Kommission.

GrInHy2.0 soll im Vergleich zum Vorgängerprojekt den Wirkungsgrad noch einmal steigern – von 78 % auf mindestens 84 % (bezogen auf den Heizwert). Zudem ist geplant, die Leistung der Elektrolyse von 150 auf 720 kW<sub>el</sub> (Kilowatt elektrisch) zu steigern.

### Blick in die Zukunft

Mit WindH2 und GrInHy2.0 setzt die Salzgitter AG auf eine Kombination aus bewährter Technik und neueren Ansätzen und schafft so eine wichtige technische Basis für das SALCOS-Projekt und damit für die wasserstoffbasierte Dekarbonisierung der Stahlerzeugung. Modellrechnungen bescheinigen SALCOS ein großes Einsparpotenzial: Im ersten Ausbauschritt könnte bis etwa 2025 der CO<sub>2</sub>-Ausstoß schon um bis zu 26 % sinken. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen ließen sich bis 2050 sogar stärker reduzieren, als es die EU-Klimaziele vorsehen. Wenn die gesamte Stahlproduktion in Salzgitter auf die neue Verfahrensrouten mit Direktreduktionsanlagen, Elektrolyseuren und Elektrolichtbogenöfen umgestellt werden würde, wäre eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu 95 % möglich.

Die Salzgitter AG unternimmt schon jetzt weitere konkrete Schritte, um das SALCOS-Projekt zu forcieren. So unterzeichneten der Konzern und das Unternehmen Tenova ein „Memorandum of Understanding“. Darin bekräftigen sie ihre Zusammenarbeit bei einer möglichen Realisierung des Projekts. Zu SALCOS steuert Tenova seine ENERGIION-ZR-Direktreduktionstechnologie bei, die mit dem Partner Danieli gemeinsam entwickelt wurde.

### Weiterführende Informationen:

SALCOS: [salcos.salzgitter-ag.com](http://salcos.salzgitter-ag.com)  
 GrInHy / GrInHy 2.0: [www.green-industrial-hydrogen.com](http://www.green-industrial-hydrogen.com)  
 WindH2: [www.windh2.de](http://www.windh2.de)

### Kontakt:

Dr. Alexander Redenius  
 Hauptabteilungsleiter Ressourceneffizienz  
 Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH  
[a.redenius@sz.szmf.de](mailto:a.redenius@sz.szmf.de)

## „Technisch können wir bis 2050 jedes politisch geforderte CO<sub>2</sub>-Ziel mit unserem Konzept erreichen“

**Dr. Alexander Redenius**, Hauptabteilungsleiter Ressourceneffizienz der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, spricht im Interview über das Projekt SALCOS und die Bedeutung von Wasserstoff.

**Die Salzgitter AG sowie einige andere Stahlhersteller setzen in ihren Forschungsprojekten auf Wasserstoff als Reduktionsmittel. Was ist am SALCOS-Pilotprojekt besonders?**

**Redenius:** Das besondere an unserem Ansatz SALCOS (steht für Salzgitter Low CO<sub>2</sub> Steelmaking) ist, dass wir das bereits großtechnisch verfügbare und eingesetzte Verfahren der Direktreduktion des Eisenerzes mit Erdgas nutzen und dieses verändern und weiterentwickeln. Somit kann unser Konzept ohne jahrelange grundlegende Forschungsarbeiten schnell umgesetzt werden. Neu ist daran die Möglichkeit, dass wir Wasserstoff und Erdgas in flexiblen Anteilen im Reduktionsprozess nutzen und diese Technologie in unser integriertes Hüttenwerk in Salzgitter einbinden. Wir wollen mit Erdgas starten, was uns eine sichere Basis bietet, auch wenn es Probleme bei der Versorgung mit Wasserstoff oder volatiler erneuerbarer Energien gibt. Durch schrittweise steigende Anteile von Wasserstoff werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen immer weiter reduziert.

**Ist die Technologie im großtechnischen Maßstab ausgereift?**

**Redenius:** Ja, wir können unser Konzept im Prinzip sofort umsetzen und 2025 die erste Stufe der Umstellung vollziehen, bei der sich bereits 25 % der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stahlproduktion in Salzgitter reduzieren lassen. Aber sind auch die Gesellschaft und die Politik dazu bereit? Technisch können wir bis 2050 jedes politisch geforderte CO<sub>2</sub>-Ziel mit unserem Konzept erreichen. Die Frage wird sein: Bekommen wir das wirtschaftlich hin?

**Wie viel Wasserstoff muss für die Stahlproduktion zukünftig eingesetzt werden?**

**Redenius:** Unser Konzept sieht eine schrittweise Transformation der konventionellen hin zu einer H<sub>2</sub>-basierten Stahlerzeugung über die Direktreduktion-Elektrolichtbogenofen-Route vor (siehe Bild 2, Seite 34).

Für die „Ausbaustufe I“ benötigen wir ca. 80.000 N.m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/h (entspricht ca. 330 MW-Elektrolyseleistung), für „Ausbaustufe III“ bei Einsatz von 55 % H<sub>2</sub> (energiebezogen) steigt der Bedarf bereits auf 260.000 N.m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/h. Bei Nutzung von 100 % H<sub>2</sub> in „Ausbaustufe III“ sind fast 410.000 N.m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/h nötig.

**Spielt dabei auch die Reinheit des Wasserstoffs eine Rolle?**

**Redenius:** Derzeit wird bei uns Wasserstoff in den Glühprozessen zur Veredelung unserer Flachstahlprodukte eingesetzt. Die Anforderungen an die Reinheit sind da sehr hoch. Für den Direktreduktionsprozess ist eine solche Reinheit nicht erforderlich. Wir können die Direktreduktionsanlage sogar innerhalb kurzer Zeit mit Erdgas und Wasserstoff in beliebigen Mischungsverhältnissen betreiben.

**Woher soll der Wasserstoff für den Einsatz kommen?**

**Redenius:** Der benötigte Wasserstoff muss nicht komplett in Salzgitter produziert werden. Selbst Mischgase aus Erdgas und Wasserstoff, wie sie im Rahmen der Energiewende in der Diskussion sind, lassen sich mit unserer gewählten Direktreduktionstechnologie verwerten. Es ergeben sich jedoch Synergien beim Betrieb der Elektrolyse vor Ort, da beispielsweise auch der Sauerstoff in großen Mengen im Hüttenwerk benötigt wird und die Einbindung von Abwärmequellen bei der Nutzung der Dampf-Elektrolyse-Technologie weitere Effizienzgewinne erwarten lassen.

**Welche Maßnahmen sind geplant, wenn nicht genügend Wasserstoff aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden kann?**

**Redenius:** Unser Konzept ermöglicht den Rückgriff auf Erdgas, was uns einen sicheren Betrieb auch in Zeiten geringer Mengen an erneuerbaren Energien bzw. grünen Wasserstoffs erlaubt. Selbst damit erzielen wir eine signifikante CO<sub>2</sub>-Einsparung, weil wir damit den kohlebasierten Hochofenprozess ersetzen.

**Wie fällt die Energiebilanz für die Stahlproduktion aus, wenn man das SALCOS-Verfahren mit dem klassischen Verfahren im Hochofen vergleicht?**

**Redenius:** Es ist, was den Energieeinsatz betrifft, zugleich das effizienteste CO<sub>2</sub>-Einsparverfahren in der Stahlbranche und benötigt auch im Vergleich zur schon sehr energieeffizienten Hochofenroute weniger Energie. Im Vergleich zu alternativen Ansätzen der CO<sub>2</sub>-Verwertung ist der Energieeinsatz spezifisch sogar vier bis fünfmal geringer.

**Der Umbau zu einem CO<sub>2</sub>-freien Hüttenwerk ist sehr aufwendig. Wie hoch werden die Investitionen eingeschätzt?**

**Redenius:** Für die „Ausbaustufe I“ (siehe Bild 2, Seite 34), müssen ca. € 1,3 Mrd. investiert werden. Das dabei verwendete Grundmodul aus Elektrolyse, Direktreduktionsanlage und Elektrolichtbogenofen würde bei den weiteren beiden Ausbaustufen entsprechend zwei- bzw. dreimal realisiert werden.

**Herr Dr. Redenius, wir danken Ihnen für das Gespräch.**

