

Bewertung der Herstellung von Eisenschwamm unter Verwendung von Wasserstoff

(Evaluation of Hydrogen-Based Production of DRI)

Marc Hölling, Matthias Weng, Sebastian Gellert

Abstract

Mit den Pariser Verträgen wurden umfangreiche Zusagen zum Klimaschutz getroffen, die auch von der Industrie große Einsparungen fordert. Für die Stahlindustrie stellt die CO₂-freie Reduktion von Eisenerz die größte Herausforderung dar. Im vorliegenden Beitrag soll aufgezeigt werden, wie ein solcher Prozess auf Basis von regenerativem Wasserstoff aussehen könnte und welcher Energiebedarf zu erwarten ist. Die erforderlichen Technologien sind vorhanden, so dass es keine technischen Einschränkungen gibt. Eine Abschätzung von Umwandlungskosten macht allerdings deutlich, dass es unter marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten auf absehbare Zeit keine wirtschaftlichen Anreize geben wird, in einen solchen Prozess zu investieren.

Abstract (english)

Strong efforts have to be taken to fulfil the agreements on climate protection from the Paris conference, which also will strongly affect the steel industry. The main challenge will be the CO₂-free reduction of iron ore. In this contribution, a modified process with regenerative hydrogen will be presented and an estimation of the energy demand will be given. All technologies are proven, so there are no technical limitations. An estimation of the conversion costs shows very poor profitability, so that there will be no motivation to invest in this new process under current market conditions.

Einleitung

Mit den Pariser Beschlüssen zur Begrenzung der Klimaerwärmung wurden seitens der Bundesregierung enorme Zusagen bezüglich der Einsparung von CO₂ getroffen, deren Umsetzung zu einer starken Veränderung des gesamten Energiesystems führen wird. Eine Fortführung der sog. Energiewende, also die Umstellung der Stromerzeugung auf Wind und Sonne, wird nicht ausreichen, um die zugesagten Ziele zu erfüllen. Es werden zusätzlich auch Eingriffe in den Bereichen Wärme, Verkehr und insbesondere Industrie erfolgen müssen. Für den Bereich der CO₂-Emissionen der Industrie spielt die Stahlindustrie mit direkten Emissionen von rund 51 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr eine große Rolle [1], was rund 6 % der CO₂-Emissionen in Deutschland entspricht. Somit ist die Stahlindustrie ein wichtiger Akteur für die Erreichung der zugesagten Ziele.

Häufig wird regenerativ erzeugter Wasserstoff als eine Schlüsseltechnologie zur Sektorenkopplung genannt, da über Power-to-Gas die Umwandlung von Wind- und Sonnenstrom in chemische Energie erfolgen kann. Wasserstoff bietet die Vorteile, dass er, anders als Strom, auch in großen Mengen speicherbar ist und auch für chemische Prozesse verwendet werden kann. Somit weist Wasserstoff ein Potential für die Reduktion von Eisenerz mit geringen CO₂-Emissionen auf. Es gibt bereits erste Forschungsprojekte, in denen der Einsatz von Wasserstoff im Hochofen getestet wird [2], um so einen Teil des Kohlenstoffs aus dem Prozess zu verdrängen. Ausgehend von bestehenden Prozessen soll im Folgenden aufgezeigt werden, wie ein großtechnischer Prozess zur Erzreduktion auf Basis von Wasserstoff aussehen könnte.

CO₂-Emissionen eines Elektrostahlwerks mit Reduktionsanlage

Die ArcelorMittal Hamburg GmbH betreibt als einziges Werk in Westeuropa eine Direktreduktionsanlage zur Reduktion von Eisenerz. In diesem Prozess wird Erdgas als Reduktionsmittel genutzt, das in einem Reformer zu Reduktionsgas umgewandelt wird. Dies besteht zu 60 % aus Wasserstoff und reduziert bei rund 800 °C das Eisenerz zu Eisenschwamm bzw. DRI (Direct Reduced Iron). Das Hamburger Werk hat also bereits große Erfahrungen bzgl. der Nutzung von Wasserstoff im Rahmen der Stahlherstellung.

Der Eisenschwamm weist im Mittel einen Metallisierungsgrad von 95 % und einen Kohlenstoffgehalt von 2,3 % auf. Er wird zusammen mit Stahlschrott im Elektrolichtbogenofen eingeschmolzen, gegossen und zu Walzdraht umgeformt. Über das nahezu spurenfreie Vormaterial Eisenschwamm können hochwertige und anspruchsvolle Stahlgüten erzeugt werden, wie z.B. Schweißdraht, Tire Cord etc., was das Hamburger Werk deutlich von anderen Elektrostahlwerken unterscheidet. Ein schematischer Prozessablauf ist in Abbildung 1 zu erkennen, in dem die Produktionsmengen sowie die direkten und indirekten CO₂-Emissionen dargestellt sind.

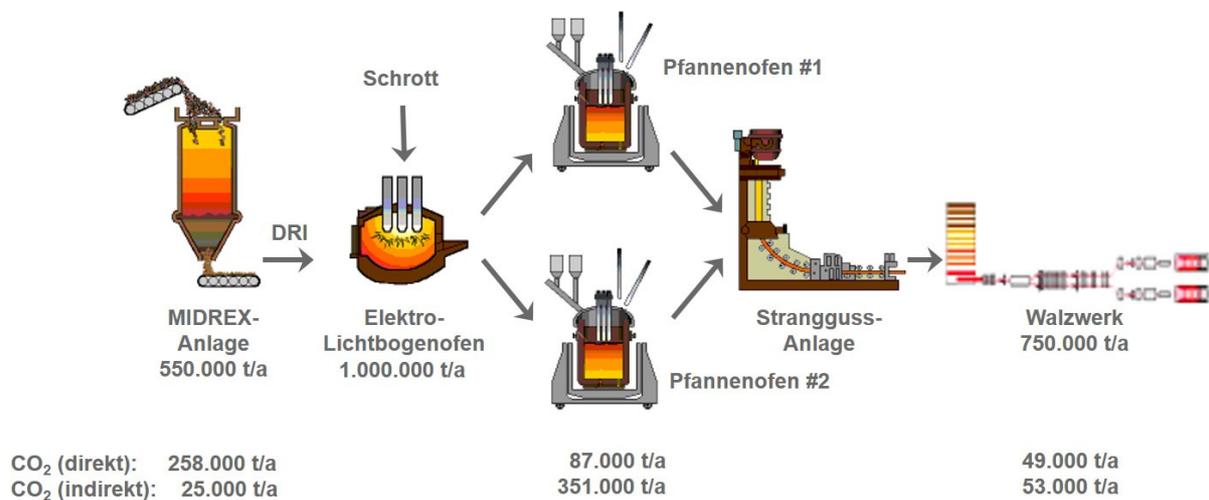


Abbildung 1: Produktionsschema der ArcelorMittal Hamburg GmbH inkl. der direkten und indirekten CO₂-Emissionen der drei Produktionsbetriebe.

Figure 1: Process scheme of ArcelorMittal Hamburg incl. direct and indirect CO₂-emissions.

Eine Analyse der CO₂-Emissionen am Hamburger Standort zeigt, dass 52 % der Emissionen (ca. 429.000 t CO₂/a) durch den Stromverbrauch hervorgerufen werden. Bei einer fortschreitenden Umstellung der Energieversorgung auf Erneuerbare Energien sollten die indirekten Emissionen also stetig abnehmen, welche nicht durch ein einzelnes Stahlunternehmen beeinflussbar sind. Als große Herausforderungen für die sog. Energiewende sind allerdings die Gewährleistung von Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit zu sehen.

Die direkten CO₂-Emissionen (ca. 394.000 t CO₂/a) ergeben sich hauptsächlich durch den Erdgaseinsatz in der Direktreduktionsanlage und im Wiedererwärmungsofen des Walzwerks. Dabei kann die Erwärmung vor dem Walzprozess technisch relativ einfach auf Induktion bzw. Power-to-Steel umgestellt werden, d.h. die Erwärmung könnte in zukünftigen Stahlwerken von Erdgas zu (regenerativem) Strom verschoben werden. Für Walzwerke mit Heißeinsatz ist dieses Vorgehen z.T. bereits Stand der Technik, allerdings mit geringeren Heizleistungen. Unter den aktuellen Randbedingungen ist eine vollständige Umstellung aber unwirtschaftlich, so dass es hierfür noch kein Anwendungsbeispiel gibt.

Deutlich aufwendiger ist eine Umstellung der Reduktion von Eisenerz, da hier nicht nur der Energieinhalt des Erdgases benötigt wird, sondern eine chemische Reaktion von Eisenoxid (Fe_2O_3) zu metallischem Eisen (Fe) erfolgen muss. Hierfür ließe sich Wasserstoff aus Power-to-Gas-Anlagen verwenden, der bei Nutzung von Erneuerbaren Energien ohne CO_2 -Emissionen erzeugt werden könnte.

Perspektivisch ist also eine Prozessroute in der Stahlherstellung denkbar, die nahezu keine CO_2 -Emissionen aufweist und komplett auf Erneuerbaren Energien aus Wind und Sonne basiert. Es blieben am Ende nur noch der Elektrodenabbrand und Schäumkohle als direkte Emissionen übrig, die für ein Elektrostahlwerk mit 1 Mio. Tonnen pro Jahr rund 30.000 t CO_2 /a ausmachen, also nur noch 30 kg CO_2 pro Tonne Stahl.

Direktreduktion als Vergleichsprozess

Die ArcelorMittal Hamburg GmbH betreibt seit Mitte der 1970er Jahre eine Direktreduktionsanlage, die kontinuierlich modernisiert und optimiert wurde. So ist die Anlage heute in der Lage, bis zu 84 t/h Eisenschwamm bei höchster Energieeffizienz zu produzieren. Abbildung 2 zeigt schematisch einen vereinfachten Aufbau der Reduktionsanlage.

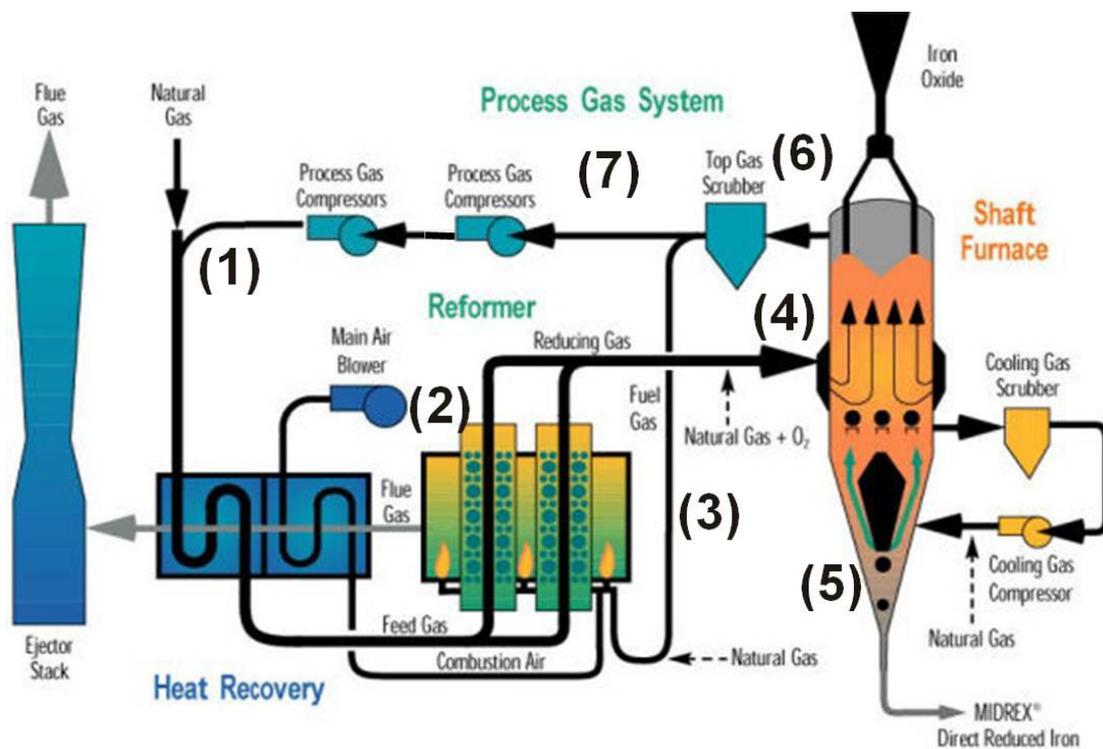


Abbildung 2: Schema einer konventionellen Direktreduktionsanlage mit Erdgas als Reduktionsmittel

Figure 2: Process scheme of a conventional Direct Reduction Plant with natural gas as the reduction agent.

Erdgas wird zu einem Teilstrom vom gewaschenen Gichtgas zugegeben (1) und über Katalytrohre in den Reformer geleitet. Am Nickel-Katalysator wird Wasserdampf in Wasserstoff und Kohlendioxid in Kohlenmonoxid unter Verbrauch von Erdgas umgewandelt (2). Als Energielieferant für die endothermen Reaktionen wird das restliche Gichtgas verwendet (3). Das Reduktionsgas, das zu rund 60 % aus Wasserstoff besteht, verlässt den Umformer mit ca. 930 °C und wird anschließend durch eine Zugabe von Sauerstoff und Erdgas auf ca. 980 °C erhitzt (4), was sich positiv auf die Lage des chemischen Gleichgewichts im Schachtofen auswirkt. Der Schachtofen wird von oben mit Eisenerz

beschickt, welches im Gegenstrom mit dem Reduktionsgas in Kontakt kommt. Das Eisenerz wird also zunächst aufgewärmt, von Fe_2O_3 zu FeO umgewandelt und in der heißen Zone des Schachtofens bei rund $800\text{ }^\circ\text{C}$ zu metallischem Eisen reduziert. Nach der eigentlichen Reduktion folgt eine Abkühlung mit einer Mischung aus Erdgas und Wasserstoff, bei der der Kohlenstoffgehalt weiter auf rund 2,3 % erhöht wird (5). Ein Heißeinsatz des Eisenschwamms ist bei ArcelorMittal Hamburg aufgrund der schwankenden Abnahme des Elektrolichtbogenofens und der Werkslogistik nicht möglich.

Aufgrund des chemischen Gleichgewichts verlässt das Gichtgas den oberen Bereich des Schachtofens (6) mit signifikanten Anteilen an Wasserstoff (25 Vol-%) und Kohlenmonoxid (20 Vol-%). Aus diesem Grund erfolgt zur weiteren Nutzung eine Abscheidung von Wasser als Reaktionsprodukt in einem Wäscher und anschließende Rückführung in den Prozess (7).

Das theoretische Minimum des Prozesses liegt bei einem Gasbedarf von rund $7,8\text{ GJ/t}$ (Heizwert). Durch diverse Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz konnte ein tatsächlicher Bedarf von $9,7\text{ GJ/t}$ (Heizwert) erzielt werden, was einem Wirkungsgrad von 80 % entspricht. Die Reduktion von Eisenerz in einer Reduktionsanlage stellt bereits heutzutage eine Technologie mit sehr hoher Effizienz dar.

Reduktion mit Wasserstoff

Basierend auf der langjährigen Erfahrung im Betrieb der Direktreduktionsanlage und aufgrund selbst entwickelter Simulationsprogramme soll ein Ausblick gegeben werden, wie der Prozess für den Einsatz von regenerativ erzeugtem Wasserstoff modifiziert werden könnte. Ausgangspunkt für den neuen Prozess ist die Wasserstofferzeugung mittels Elektrolyse. Hierbei wird elektrische Energie genutzt, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufzuspalten. Es soll von einem Wirkungsgrad des Elektrolyseurs von 75 % (bezogen auf den Brennwert) ausgegangen werden. Somit würden bei einer elektrischen Leistungsaufnahme von 1 MW_{el} rund $750\text{ kW}_{\text{ch}}$ in Form von Wasserstoff erzeugt werden, was einem Molenstrom von $9,5\text{ kmol/h}$ bzw. $213\text{ Nm}^3/\text{h}$ entspricht. Dieser Wasserstoff, der bei Nutzung von Erneuerbaren Energien CO_2 -frei ist, kann als Reduktionsmittel genutzt werden. Abbildung 3 zeigt ein mögliches Prozessschema für einen modifizierten Prozess. Dieser wird im Folgenden beschrieben und Simulationsergebnisse werden vorgestellt.

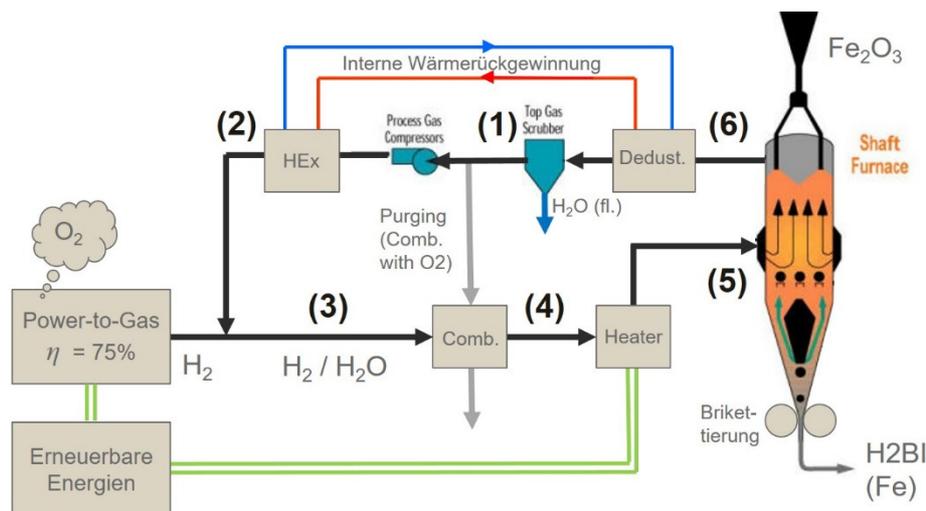


Abbildung 3: Schematische Prozessdarstellung für die Herstellung von H2BI mittels regenerativem Wasserstoff aus Power-to-Gas

Figure 3: Process scheme for the modified H2BI process with the means of regenerative hydrogen produced by power-to-gas

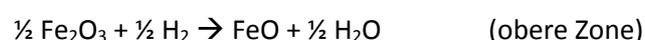
Als Hauptunterschiede zum konventionellen Prozess sind besonders hervorzuheben:

- Der Prozess wird direkt mit Wasserstoff betrieben, so dass der Reformier entfällt. Der Wasserstoff kann nach entsprechender Vorwärmung in den Schachtofen geleitet werden.
- Die Kühlzone unterhalb des Schachtofens entfällt, da im klassischen Prozess einer Direktreduktionsanlage die Kühlwirkung zu großen Teilen auf der Aufspaltung von Erdgas beruht. Stattdessen wird eine Heiß-Brikettierung vorgesehen.
- Das Produkt ist nicht mehr Eisenschwamm, sondern HBI ohne Kohlenstoff. Zur Abgrenzung wird das neue Produkt als H2BI (Hydrogen – Hot Briquetted Iron) bezeichnet. Der Metallisierungsgrad wird unverändert im Bereich von 95% liegen.
- Die Vorwärmung des Wasserstoffs erfolgt zweistufig. Ein Teilstrom des Gichtgases dient als erste Vorwärmung sowie zum „Purgen“ von Inertstoffen wie z.B. Stickstoff. Die Eintrittstemperatur in den Reaktor von 940 °C wird in einer zweiten Vorwärmung mit elektrischer Energie erreicht.

Ähnlich wie der Prozess der Direktreduktion handelt es sich beim H2BI-Prozess um einen „Pseudo-Kreisprozess“, d.h. ein Großteil des Gasstromes wird im Kreis geführt. Um die Massenbilanzen zu erfüllen, muss nach dem Schachtofen Wasserdampf aus dem Prozess entfernt werden, was relativ einfach über Kondensation in einem Wäscher erfolgen kann **(1)**. Hierbei kann eine Sättigungstemperatur von rund 60 °C angenommen werden, die auch im Sommer über Kühltürme leicht erreicht werden kann. Als weiterer Auslass wird ein Teilstrom von 10 % des Gichtgases nach dem Wäscher abgetrennt. Dieser wird zusammen mit Sauerstoff aus der Elektrolyse thermisch genutzt und für die Vorwärmung des Reduktionsgases verwendet. Somit kann vermieden werden, dass sich Inertgase, wie z.B. Stickstoff, im Prozess anreichern und die Effizienz verschlechtern. Der entstehende Wasserdampf wird anschließend verdichtet und zur Abdichtung der Ein- und Austrittsöffnungen des Schachtofens verwendet. Durch den Dampfeinsatz wird sichergestellt, dass die Eisenerzpellets in den Schachtofen, der mit Überdruck betrieben wird, gelangen, ohne dass das Gichtgas unkontrolliert aus dem Prozess entweicht. Zur Erhöhung der Energieeffizienz wird der Gichtgasstrom vor dem Wäscher über eine interne Wärmerückgewinnung von ca. 350 °C auf 100 °C abgekühlt. Nach der Abtrennung des Purge-Volumenstroms und einer Verdichtung, z.B. über einen Drehkolbenverdichter, erfolgt die Wärmerückgewinnung auf 290 °C **(2)**.

Der ausgeschleuste Massenstrom muss durch neuen Wasserstoff aus der Elektrolyse ersetzt werden. Dieser kalte Wasserstoff wird mit dem 290 °C warmen Volumenstrom gemischt, so dass sich ein frisches Reduktionsgas mit einem Wasserstoffanteil von 95 % ergibt **(3)**. Die erste Stufe der Vorwärmung erfolgt im Gegenstrom über die Nutzung von Gichtgas **(4)** und führt zu einer Temperatur von ca. 580 °C. Die erforderliche Eintrittstemperatur in den Schachtofen wird über eine elektrische Beheizung erreicht **(5)**. Die Wahl der Temperatur im Schachtofen sollte möglichst hoch sein, da sich dies bei einer endothermen Reaktion positiv auf die Lage des Gleichgewichts auswirkt. Andererseits ist die Temperatur durch ein beginnendes Sintern der Erzpellets begrenzt, was zu einem Zuwachsen des Schachtofens führen kann. Aus dem Betrieb der Direktreduktionsanlage kann eine Eintrittstemperatur von 940 °C als unkritisch eingeschätzt werden. Hierfür ergibt sich aus der Simulation eine spez. elektrische Heizleistung von 0,23 MWh/t_{H2BI}.

Die Reduktion im Schachtofen kann über folgende Reaktionsgleichungen beschrieben werden:



Es werden also 1,5 kmol Wasserstoff benötigt, um 1 kmol Eisen bzw. H2BI zu erzeugen, was einem Wasserstoffbedarf für die Reaktion von 600 Nm³ pro Tonne Eisen (Fe) entspricht. Da der Umsatz der

Reaktion durch ein Gleichgewicht begrenzt ist, laufen die obigen Reaktionen nicht vollständig ab. Im Gichtgas liegt eine Wasserstoffkonzentration von rund 62 % vor **(6)**.

In Tabelle 1 ist eine Übersicht über Temperatur, Gaszusammensetzung und Volumenstrom im H2BI-Prozess aufgeführt. Es ergibt sich ein Wasserstoffbedarf von rund 635 Nm³ pro Tonne H2BI, der über Power-to-Gas gedeckt werden muss. Es ist zu erkennen, dass der simulierte Wert von 635 Nm³/t_{H2BI} oberhalb der theoretischen Abschätzung von 600 Nm³/t_{H2BI} liegt, da in der Simulation Energieverluste berücksichtigt sind. Aufgrund des angenommenen Wirkungsgrads von 75 % für den Elektrolyseurs ergibt sich ein Strombedarf von 3,0 MWh/t_{H2BI} für die Wasserstoffherzeugung. Zusätzlich ist mit einem Energiebedarf von 0,23 MWh/t_{H2BI} für die elektrische Vorwärmung zu rechnen. Der Strombedarf für die weitere Infrastruktur wie Gebläse, Pumpen, Förderbänder etc. wird aus Erfahrungswerten aus dem Betrieb der bestehenden Direktreduktionsanlage mit einem Wert von 0,08 MWh/t abgeschätzt. Somit ergibt sich in Summe ein Energiebedarf von 3,31 MWh/t, der kontinuierlich und abgesichert durch Erneuerbare Energien abgedeckt werden muss.

Tabelle 1: Prozessgrößen aus der Simulation für einen H2BI-Prozess (Die Nummer in den Klammern sind entsprechend der Abbildung 3 gewählt)

Table 1: Process parameters based on the simulation of the H2BI process (numbers in brackets according to figure 3)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Temperatur in °C	60	290	188	580	940	350
x _{H2O} in Vol-%	7,7 %	7,7 %	4,7 %	4,7 %	4,7 %	38,4 %
x _{H2} in Vol-%	92,3 %	92,3 %	95,3 %	95,3 %	95,3 %	61,6 %
spez. Volumenstrom in Nm ³ /t	1.103	993	1.628	1.628	1.628	1.653

Um den Prozess weiter optimieren zu können, bieten sich drei Hauptpunkte an:

- Eine Erhöhung des Systemdrucks verbessert die Abscheidung von Wasser im Wäscher, da der Sättigungsdampfdruck bei 60 °C rund 200 mbar beträgt. In der obigen Simulation wurde ein Systemdruck von 2,6 bar(abs) gewählt, was einem Wasseranteil von 7,7 % entspricht. Eine verbesserte Abscheidung würde weniger „inertem“ Wasserdampf entsprechen, was den Energieaufwand für die Vorwärmung verringert. Dies muss allerdings durch dickwandigere Komponenten erkaufte werden, so dass es hier das wirtschaftliche Optimum ermittelt werden muss.
- Eine Erhöhung der Eintrittstemperatur des Reduktionsgases in den Schachtofen von mehr als 940 °C würde sich positiv auf die Gleichgewichtslage auswirken und somit zu einem höheren Umsatz des Wasserstoffs führen. Es ist allerdings ein Sintern der Erzpellets zu verhindern, so dass hier eine Optimierung für jede Erzsorte durchgeführt werden muss. Es ist für eine reale Anlage eine Reserve in der Heizleistung einzuplanen, um z. B. auch Temperaturen von mehr als 980 °C realisieren zu können.
- Für die Prozesssimulation wurde ein Teilstrom von rund 10 % für das Purgen vorgesehen, um unerwünschte Inertgase aus dem Kreisprozess ausschleusen zu können. So könnte z.B. Stickstoff durch die Poren der Erzpellets in den Prozess gelangen oder bei Anfahrvorgängen im System verbleiben. Im kontinuierlichen Anlagenbetrieb ist eine Minimierung des Teilstroms anzustreben. Es ist energetisch unvorteilhaft, den Wasserstoff aus der Elektrolyse

für das Aufheizen des Reduktionsgases zu verwenden, da der Wasserstoff nur mit einem Wirkungsgrad von 75 % erzeugt werden kann.

Die Einflussmöglichkeiten sind nach ersten Abschätzungen allerdings begrenzt und die getroffenen Aussagen zum Energiebedarf des H2BI-Prozess können nach einer Sensitivitätsanalyse auf $\pm 10\%$ genau angesehen werden. Als Richtwert kann für eine Anlage mit 1 Mio. Tonnen pro Jahr bzw. 125 Tonnen pro Stunde eine Power-to-Gas-Leistung von 375 MW_{el} und eine Heizleistung von 29 MW_{el} abgeschätzt werden.

Abschätzung der Umwandlungskosten

Eine konventionelle Reduktionsanlage hat einen Erdgasbedarf von rund 9,7 GJ/t (Heizwert) und einen Strombedarf von 0,08 MWh/t. Bei aktuellen Energiekosten von rund 5,6 €/GJ für Erdgas und Stromkosten von 45 €/MWh ergeben sich Energiekosten für die Reduktion von Eisenerz von 57,90 €/t, was den Umwandlungskosten auf dem Weltmarkt entspricht.

Für eine Bewertung des neuen H2BI-Prozesses sind zukünftige Stromkosten in einem Energiesystem aus überwiegend erneuerbaren Quellen erforderlich. Für dieses Energiesystem sind nicht nur die Erzeugungskosten relevant, sondern auch die Kosten für Speicherung und Flexibilisierung im Energiesystem. Als optimistische Größe soll hier ein Wert von 100 €/MWh angenommen werden, der nur knapp oberhalb der Vergütung von On-Shore Windstrom liegt. Bei einem ermittelten Energiebedarf von rund 3,31 MWh/t_{H2BI} würden also Umwandlungskosten von 331 €/t_{H2BI} folgen, was einem Faktor 5,7 im Vergleich zu den heutigen Kosten entspricht. Die Prozessumstellung hätte als positiven Klimaschutzeffekt eine spez. CO₂-Reduktion von rund 515 kg CO₂ pro Tonne H2BI im Vergleich zu konventionellem Eisenschwamm. Hiermit wäre allerdings eine Zunahme der Umwandlungskosten von 273 €/t verbunden, so dass sich CO₂-Vermeidungskosten von 530 €/t CO₂ ergeben.

Aktuelle Margen in der Stahlbranche liegen aufgrund der Überkapazitäten im Weltmarkt im Bereich von weniger als 50 €/t, so dass es offensichtlich ist, dass diese Kostensteigerung nicht kompensiert oder an die Kunden weitergegeben werden kann. Auch eine Anreizsetzung über z.B. Kosten für CO₂-Zertifikate wird keine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit ergeben, da die oben aufgezeigten CO₂-Vermeidungskosten deutlich oberhalb von wirtschaftlich tragbaren Lasten liegen.

In den oben abgeschätzten Kosten sind noch nicht die Investitionskosten für die Power-to-Gas-Anlage berücksichtigt, sondern nur die Betriebskosten. Für eine H2BI-Anlage mit einer Kapazität von rund 1 Mio. Tonnen pro Jahr, wird eine Power-to-Gas-Anlage mit einer elektrischen Anschlussleistung von rund 375 MW_{el} benötigt. Geht man von zukünftigen Gesamtkosten einer Komplettanlage von rund 600 € pro kW_{el} aus [3]¹, so folgt nur für die Wasserstoffherzeugung ein Investitionsbedarf von 225 Mio. €. Zum Vergleich kann eine konventionelle Reduktionsanlage mit einer Jahresproduktion von 1 Mio. Tonnen Eisenschwamm für rund 200 Mio. € errichtet werden. Somit ergeben sich auch durch die Investitionskosten für eine H2BI-Anlage starke wirtschaftliche Nachteile gegenüber einer konventionellen Direktreduktionsanlage.

Zusammenfassung

Im vorgestellten Konzept wurde aufgezeigt, wie ein Prozess zur Reduktion von Eisenerz mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff aussehen könnte und welcher Energiebedarf zu erwarten ist. Aufgrund der Erfahrungen im Betrieb einer konventionellen Direktreduktionsanlage kann das

¹ Die Studie geht von spez. Kosten von 840 €/kW_{el} in 2015 aus, die bis 2050 auf rund 200 €/kW_{el} sinken werden. Dies bezieht sich aber nur auf die Kosten für den Elektrolyseur ohne zugehörige Infrastruktur. Von konkreten Projekten liegen die spez. Kosten für eine Gesamtanlage aktuell im Bereich 3.000 €/kW_{el} [2] bis 6.500 €/kW_{el}.

Konzept als technisch machbar angesehen werden. Es stellt eine Weiterentwicklung des bestehenden Prozesses dar, der aktuell mit rund 60 % Wasserstoff im Reduktionsgas arbeitet. Die erforderlichen Technologien sind größtenteils bereits vorhanden und technisch erprobt, so dass hier keine Hemmnisse bestehen. Eine Kostenabschätzung ergibt aber, dass es unter den aktuellen Rahmenbedingungen keine Anreize gibt, in eine entsprechende Technik zu investieren. Insbesondere die enormen Kosten für den Betrieb einer Power-to-Gas-Anlage bzw. einer H₂BI-Anlage machen dieses Konzept unwirtschaftlich. Es bleibt somit eine politische Entscheidung, ob entsprechende Förderungen für eine klimaneutrale Stahlerzeugung geschaffen werden. Ansonsten droht das Verfehlen der Klimaschutzziele oder eine Verdrängung der deutschen Stahlproduzenten durch Wettbewerber außerhalb der EU.

Quellen

[1]: Klimaschutz mit Stahl, Wirtschaftsvereinigung Stahl (2015), www.stahl-online.de

[2]: H₂Future, Voest Alpine (2017), www.voestalpine.com

[3]: Was kostet die Energiewende?, Fraunhofer ISE (2015), www.fraunhofer.de

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Marc Hölling, Professor für Chemische Verfahrenstechnik, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Dr.-Ing. Matthias Weng, Energiemanager, ArcelorMittal Hamburg GmbH

Dr.-Ing. Sebastian Gellert, Betriebsleiter Reduktionsanlage, ArcelorMittal Hamburg GmbH