

Wasserstoff in der Stahlerzeugung

Übersicht der Transformationspfade in der Stahlindustrie

Ein Factsheet von HyPA, der Hydrogen Partnership Austria

Transformationsdruck in der Stahlindustrie

Die Industrie befindet sich in einer großen Transformation – weg von fossiler Energie, hin zu einer möglichst klimaneutralen Produktion auf Basis von erneuerbarer Energie. Damit Produkte nachweisbar klimaneutral sind, müssen alle Teile der Wertschöpfungskette klimaneutral sein.

Auch der weitverbreitete Werkstoff Stahl soll bilanziell möglichst ohne Treibhausgasemissionen hergestellt werden. Aktuell ist der Fußabdruck der Branche signifikant: So war 2021 allein das Stahlwerk der voestalpine am Standort Linz für 12,4 % von Österreichs Treibhausgasemissionen verantwortlich.¹ Diese Emissionen resultieren hauptsächlich aus der prozessbedingten Nutzung fossiler Rohstoffe in der Roheisen- und Stahlproduktion.

Der Bedarf an zertifiziertem „grünen“ Stahl wird in Zukunft zunehmen. Zudem wird der Umstieg auf alternative Stahlherstellungsprozesse durch die steigenden Kosten für CO₂-Zertifikate vorangetrieben.

Alternative zur Koks Kohle: Grünstrom und erneuerbare Gase

Aufgrund von gewünschten Spezifikationen des Stahls, Materialverlusten und einem zunehmenden Verbrauch kann der Bedarf an Stahl nur teilweise über das Recycling von Stahlschrott gedeckt werden. Es braucht somit zusätzlichen Primärstahl und damit auch Eisenerz. Das Eisenerz liegt in einer Eisenoxidverbindung vor und muss für die Weiterverarbeitung reduziert werden. Bisher werden dafür

¹ Quelle: [voestalpine - Luftemissionen](#) (Standort Linz) sowie [Umweltbundesamt – Treibhausgase](#) (Österreich)

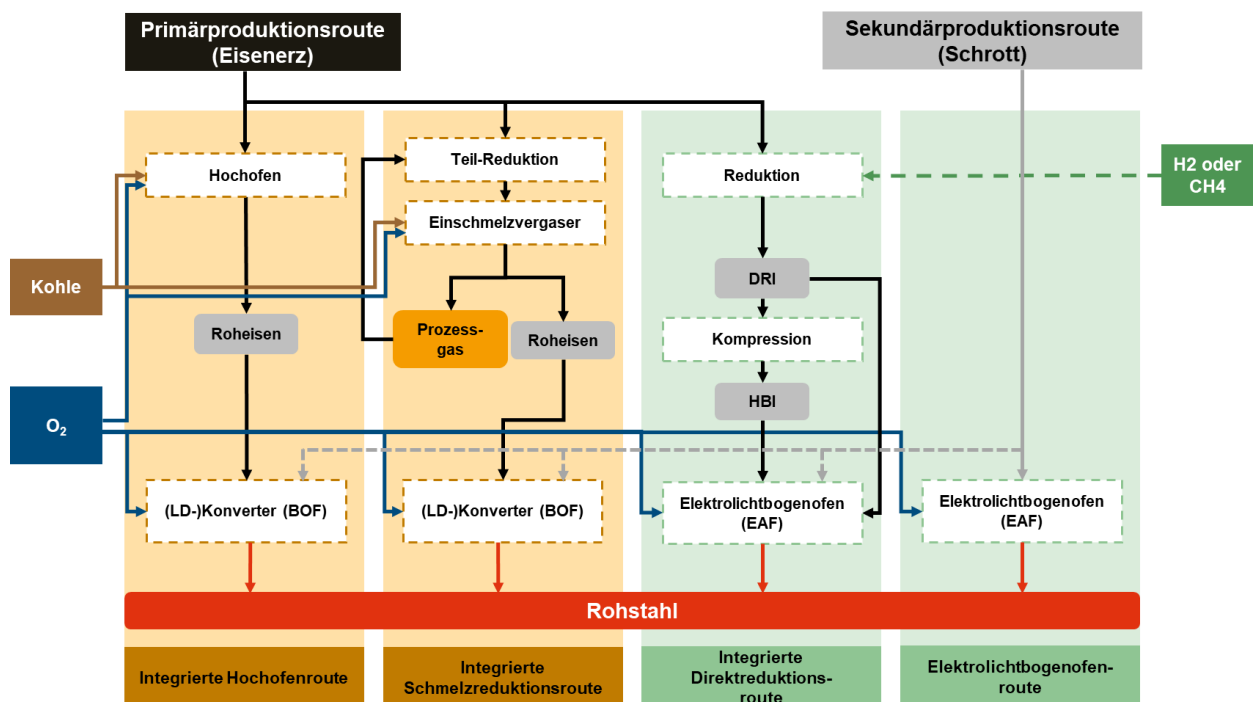
fossile Energieträger eingesetzt: im klassischen Hochofenprozess und bei der Schmelzreduktion Kohle, sowie – in kleinerem Umfang – bei der Direktreduktion Methan beziehungsweise Erdgas.

Die weltweit am häufigsten genutzte Verarbeitungsrouten von Eisenerz ist die Hochofenroute. Dabei wird das Eisenerz unter Zugabe von (Koks-)Kohle und Sauerstoff in Roheisen umgewandelt. Für die Reduktion wird dafür aus Kohle Kohlenmonoxid (CO) gewonnen, das mit dem Eisenoxid zu reduziertem Eisen und CO₂ reagiert. Da der Prozess unter sehr hohen Temperaturen im Hochofen stattfindet, wird das Eisen im Reduktionsprozess geschmolzen, sodass flüssiges Roheisen entsteht. Durch den Einsatz von Koks-Kohle wurde bisher ein beträchtlicher Anteil des hohen Energiebedarfs eines Stahlwerks mit abgedeckt, denn Prozessgase (Tiegelgas, Gichtgas, Kokereigas) werden energetisch genutzt und dienen neben der Wärmeerzeugung auch der Stromproduktion. Durch die integrierte Route, das heißt mehrere Fertigungsschritte an einem Standort, reduziert sich der Fremdstrombezug beträchtlich.

Aufgrund der insbesondere im Hochofen entstehenden CO₂-Emissionen ist es erforderlich, diese Prozesse durch klimaneutrale Alternativen zu ersetzen und auf Verfahren umzustellen, die ohne fossile Energieträger auskommen. Das größte Einsparpotential bei den anfallenden CO₂-Emissionen liegt vor allem in der Bereitstellung von Prozesswärme über 200 °C und der Reduktion des Eisenoxids.

Die gute Nachricht: Es gibt alternative Produktionsrouten von Stahl, die teilweise oder vollständig mit Wasserstoff oder Methan funktionieren, welche auch aus erneuerbaren Quellen hergestellt werden können (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Schematische Übersicht der zurzeit wichtigen industriellen Stahlproduktionsrouten



Quelle: Eigene Darstellung; Prozessinformationen: KLIEN - Energieeffizienz in der Eisen- und Stahlindustrie

Im Gegensatz zur Hochofenroute und zur ebenfalls kohlebasierten Schmelzreduktionsroute werden bei der integrierten Direktreduktionsroute – unter Einsatz von Kohlenmonoxid (aus Methan) oder Wasserstoff – Eisenschwämme (direct reduced iron, DRI) hergestellt. Dieses DRI hat jedoch eine hohe Selbstentzündungsgefahr und wird daher für den Transport meist zu Briketts (hot briquetted iron, HBI) komprimiert.

In Entwicklung, aber nicht vor 2035 verfügbar, sind auch Elektrolyseverfahren (alkalisch, Hochtemperatur, nicht in der Abbildung dargestellt) zur Rohstahlerzeugung. Diese Verfahren würden den direkten Einsatz von Strom zur Reduktion von Eisenerz ermöglichen, wodurch der „Umweg“ über Wasserstoff entfiel. Die Forschung an diesem Verfahren treibt etwa das Unternehmen Boston Metal voran.

Um aus dem Roheisen oder DRI/HBI im nächsten Schritt Rohstahl herzustellen, gibt es zwei prominente Verfahren. Zum einen das Linz-Donawitz-Verfahren (LD), bei dem im LD-Konverter (basic oxygen furnace, BOF) der flüssigen Eisenschmelze unter anderem reiner Sauerstoff zugeführt wird. In diesem Prozessschritt wird neben dem Roheisen auch zusätzlicher Stahlschrott oder Eisenschwamm eingesetzt.

Zum anderen gibt es den Elektrolichtbogenofen (electric arc furnace, EAF), bei dem kein vorhergehendes Schmelzen notwendig ist. Dieses Verfahren kann sowohl mit HBI oder DRI als auch vollständig mit Stahlschrott betrieben werden und nutzt elektrische Energie zur Erzeugung von Rohstahl. In Linz und Donawitz soll bis 2027 je ein bestehender Hochofen durch einen Elektrolichtbogenofen ersetzt werden. In diesen beiden Anlagen können dann jährlich 2,8 Millionen Tonnen grüner Stahl erzeugt werden, die nationalen CO₂-Emissionen sinken dabei um 5 Millionen Tonnen.

Abbildung 2: LD-Stahlwerk und Hochofen der voestalpine in Linz



Falls Strom und/oder klimaneutraler Wasserstoff als Basis für den Prozess eingesetzt wird, kann der für die Stahlerzeugung notwendige Kohlenstoff (jeder Stahl enthält Kohlenstoff) durch Biokohle bereitgestellt werden.

Hohe Bedarfe an grüner Energie

Während mehrere Stahlerzeuger bereits zunehmend auf möglichst fossilfreie Verfahren wie Direktreduktion und EAF umsteigen, bringt diese Transformation auch einige Herausforderungen mit sich. Durch den Wegfall der fossil betriebenen Hochöfen entstehen zusätzliche Bedarfe an Strom, erneuerbaren Gasen und Wärme. Die größte Herausforderung ist dabei mittelfristig der hohe Strombedarf, insbesondere für den Betrieb der Elektrolichtbogenöfen, der zu wettbewerbsfähigen Preisen gedeckt werden muss. Auch die Erzeugung von grünem Wasserstoff erfordert große Mengen an grünem Strom. Allerdings gibt es hier auch weitere Import- sowie Speichermöglichkeiten.

Der zukünftige Wasserstoffbedarf der Eisen- und Stahlerzeugung kann daher für Österreich nur schwer abgeschätzt werden, selbst wenn man von einer annähernd gleichbleibenden Stahlproduktion ausgeht. Einerseits werden in Zukunft auch direkt mit Strom betriebene Alternativen zur Verfügung stehen, die eine vollständig elektrifizierte Stahlherstellung ermöglichen. Andererseits können bestimmte Prozessschritte ins Ausland verlagert und die „reduzierten“ Zwischenprodukte importiert werden.

Projekte und Expertise in Österreich (Auswahl)

Primetals Technologies Austria hat eine innovative Variante der Direktreduktion entwickelt. Bei der HYFOR®-Produktionsroute (hydrogen-based fine-ore reduction) kommt eine wasserstoffbasierte Technologie zum Einsatz. Feinsteisenerz wird in diesem Verfahren erstmals direkt, ohne einen zusätzlichen Agglomerationsschritt wie Pelletieren oder Sintern, in einem Wirbelschichtreaktor zu DRI reduziert. Die Pilotanlage mit einem Technologie-Reifegrad von 6 (Technology Readiness Level, TRL) steht in Donawitz, das Upscaling ist in Linz geplant (Projekt Hy4Smelt). Die geplante Demonstrationsanlage hat einen Kapitalbedarf von 130 Millionen Euro und kann 2 bis 3 Tonnen DRI pro Stunde produzieren (TRL 8). Ziel ist es, mit der neuen Technologie den Anteil von Primärenergie um 20 % sowie den CO₂-Ausstoß um bis zu 100 % zu senken. Weiters können so auch niedrigere Erzqualitäten eingesetzt werden (zum Beispiel jene vom steirischen Erzberg), die breiter verfügbar sind als die teureren High-Grade-Fraktionen.

Am Standort Donawitz wird im Rahmen des Projektes SuSteel (Sustainable Steelmaking) in einer Pilotanlage in nur einem Verfahrensschritt das im Erz zugeführte Eisen durch ein Wasserstoffplasma von seinem Sauerstoffbegleiter getrennt (Reduktion) und für die weitere Verwendung aufgeschmolzen. Daher wird dieses Verfahren auch Hydrogen Plasma Smelting Reduction genannt. Diese „Breakthrough-Technology“ hat derzeit einen TRL von 5.

K1-MET ist eines der führenden internationalen Kompetenzzentren für Eisen- und Nichteisenmetallurgie mit Sitz in Österreich. Seit 2001 wird mit namhaften nationalen und internationalen Industrieunternehmen und Universitäten aus metallurgischen Sektoren kooperiert und es werden Themen wie Energieeffizienz, Kreislaufwirtschaft und klimaneutrale Metallproduktion behandelt.

Das Innovationsnetzwerk New Energy for Industry startete im Jahr 2024 mit NEFI+ in die nächste Phase. Das neue Innovationslabor ist eine zentrale Anlaufstelle für Projekte und Lösungen „made in Austria“, die entscheidend zur Klimaneutralität der Industrie beitragen. NEFI+ arbeitet in thematisch fokussierten

Innovation Hubs, etwa für CO₂-neutrale Gase und Wasserstoff. Dabei kann auf laufenden NEFI-Projekten wie „Greensteel – Klimaneutrale Stahlverarbeitung mit erneuerbaren Gasen“ aufgebaut werden.

EU-Aktionsplan zur Unterstützung der Stahl- und Metallindustrie

Die Europäische Kommission identifiziert in ihrem am 19. März 2025 präsentierten Aktionsplan für Stahl und Metalle die Direktreduktion unter Verwendung von Wasserstoff als die vielversprechendste Option zur Dekarbonisierung der primären Stahlerzeugung. Dabei sei für eine Transformation der Produktion eine ausreichende Versorgung mit erneuerbarem und kohlenstoffarmem Wasserstoff zu wettbewerbsfähigen Preisen erforderlich. Die Grenzwerte und Berechnungen von kohlenstoffarmem Wasserstoff sollen noch im Frühjahr 2025 in einem delegierten Rechtsakt geregelt werden, für erneuerbaren Wasserstoff liegt ein solcher bereits vor (RFNBO). Die Europäische Kommission konstatiert, dass Metalle mit deutlich reduzierten Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette auf absehbare Zeit teurer bleiben als ihre konventionell hergestellten Alternativen. Um den Bedarf an öffentlicher Unterstützung so gering wie möglich zu halten, müssten die Hersteller eine Umweltprämie („green premium“) lukrieren können. Öffentliche Beschaffung und private Leitmärkte könnten hier effiziente und effektive Instrumente sein.

Links und Quellen

Klima- und Energiefonds (2014): Energieeffizienz in der Eisen- und Stahlindustrie.

Klima- und Energiefonds (2024): Eisen- und Stahlerzeugung. Transform.Industry – Transformationspfade und FTI Fahrplan für eine klimaneutrale Industrie 2040, klimafonds.gv.at/mediathek/studienpraesentation-transform-industry/.

Podcast Petajoule S02E13 | GreenTec Steel: Wie funktioniert die Stahlerzeugung in der klimaneutralen Zukunft?: petajoule.podigee.io/26-greentec-steel.

Podcast Petajoule S05E06 | Eisen und Stahl ohne Kohle: Wann werden wir Österreichs Hochöfen abschalten? (und trotzdem noch Stahl erzeugen): petajoule.podigee.io/54-transform-steel.

K1-MET: k1-met.com.

HYFOR, Hy4smelt und SuSteel: voestalpine.com/blog/de/verantwortung/forschungsprojekte-fuer-eine-gruene-stahlproduktion/.

NEFI: nefi.at/de/.

European Commission (2025). A European Steel and Metals Action Plan: single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-steel-and-metals-action-plan_en.

Über dieses Factsheet

Verfasst von: Felix Bettin, Österreichische Energieagentur
Wien, März 2025
Erste Auflage

Das vorliegende Factsheet wurde im Rahmen von HyPA, der Partnerschaft für Wasserstoff in Österreich, erstellt. HyPA ist eine Initiative von BMK und BMAW sowie dem Land Tirol und wird von der Österreichischen Energieagentur sowie der Standortagentur Tirol umgesetzt. Die Österreichische Energieagentur hat die Inhalte der vorliegenden Publikation mit größter Sorgfalt recherchiert und dokumentiert. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte können wir jedoch keine Gewähr übernehmen.