

DRI –Zukunft der Stahlindustrie?

Zusammenfassung

Wie soll das Problem Null-CO₂, der Gordische Knoten von Heute, gelöst werden?

Wasserstoff wird häufig als Alias für das Schwert Alexanders des Grossen genannt.

In jedem Bereich der Hauptproduzenten von CO₂ gibt's Lösungsansätze so auch in der Stahlindustrie, aber ist die wasserstoffbasierte Zukunft realistisch oder nur Fiktion?

In der Stahlindustrie sieht man in der Direktreduktion von Erz mit Wasserstoff Morgenröte, doch wenn man das näher betrachtet, bauen sich da einige Hindernisse auf, die es erst zu überwinden gilt.

Eine Hürde ist der Wasserstoff selbst. Seine Volatilität macht das Verteilsystem sehr anfällig. Seine Produktion ist stromintensiv. Seine Anwendung in der Direktreduktion produziert ein 0%C Produkt, das 0%C DRI. Kann die Stahlindustrie mit 0%C DRI umgehen?

In diesem Artikel wird ein gangbarer Weg aufgezeigt, der eine Lösung für die Elektrostahlherstellung anbietet, die kurzfristig realisierbar ist: Die Zweikammer-Schrottvorheizung ECOFEEDER mit integrierter DRI Vorheizung und Förderung des DRI unter geeigneten, gefahrlosen Transportbedingungen. Da Schrott auch im Zusammenhang mit dem zukünftigen 0%C oder dem aktuellen DRI zum Einsatz kommen wird (die weltweite Schrottmenge steigt kontinuierlich), ist die Zweikammer-Schrottvorheizung eine Investition für die Zukunft, auch für anspruchsvolle Stahlgüten.

Die Zweikammer-Schrottvorheizung bietet viele Vorteile: Hohe Vorheiztemperaturen (ca. 750°C), Chargen unabhängige Vorheizung (keine Vermischung), integrierte Verbrennung der Schad- und Geruchsstoffe, konstante Restgastemperatur, und andere mehr.

Sprechen Sie mit uns.

‘Ist die Treibhausgasemission der gordische Knoten von Heute?’

Der Sage nach prophezeite das Orakel, dass derjenige der den Gordischen Knoten lösen sollte die Herrschaft über Asien erringen werde. Damals war Asien die Welt.

Ist CO₂ der Gordische Knoten von Heute? Heute wissen wir, dass mit gleichbleibender Treibhausgasemission, dabei hauptsächlich das CO₂, der damit einhergehende Temperaturanstieg die Eismassen der Gletscher schmelzen und die küstennahen Gebiete der Welt vom steigenden Meeresspiegel bedroht und überflutet werden – also ist das CO₂ der heutige Gordische Knoten. Wir wissen, dass dieser Knoten gelöst werden muss, aber nicht wie er gelöst werden kann.

Das Produkt der Verbrennung von fossilen Energieträgern (Kohle, Ölderivate, etc.) ist hauptsächlich CO₂. Die Energiegewinnung, die Mobilität (Verkehr) und die Industriellen Prozesse sind mit über 69% die Hauptproduzenten von CO₂. Die Stahlindustrie gehört an vorderer Stelle dazu.

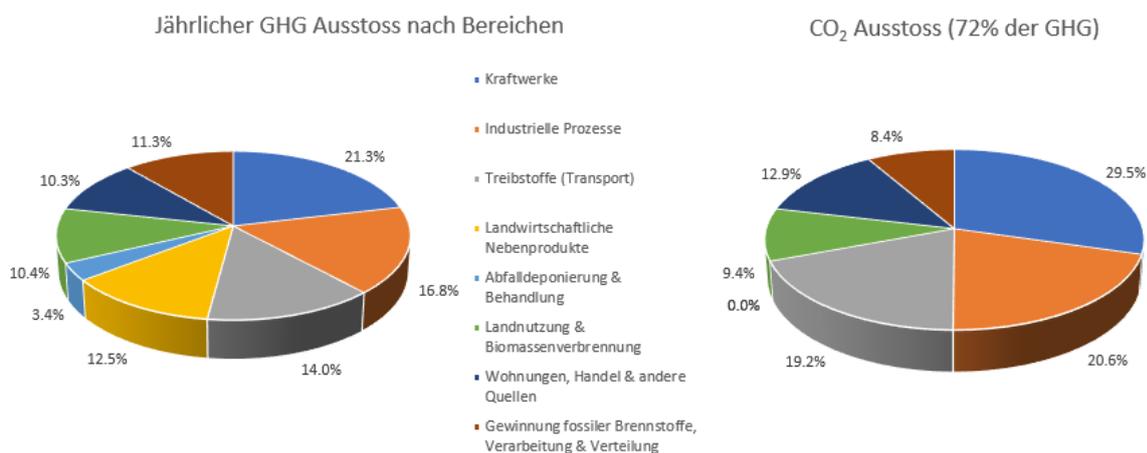


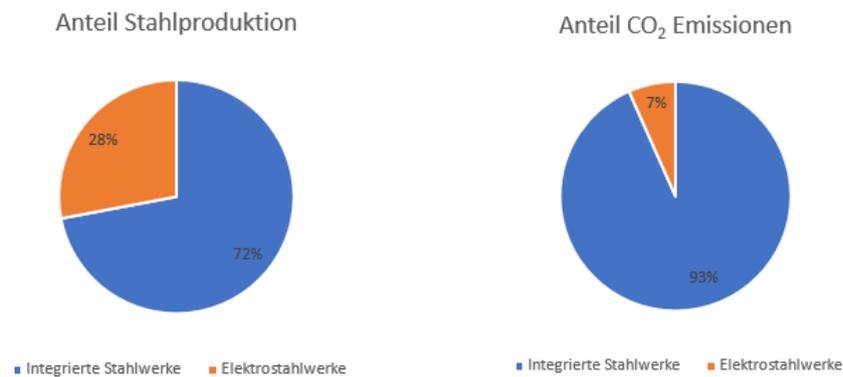
Abbildung 1 / CO₂ Emissionen nach Sektor

Der Hauptproduzent von CO₂ in der Stahlproduktion ist das integrierte Stahlwerk rund um den Hochofen, der den Sauerstoff mittels Kohle aus dem Erz reduziert. Das flüssige Eisen wird danach weiterbearbeitet, auch dort wird massiv CO₂ über den Frischprozess freigesetzt. Dieser Herstellungsprozess soll nun durch die Direktreduktion (DR), also anstatt Kohle (C) wird z.B. Wasserstoff (H₂) oder Erdgas (NG) als Reduktionsmittel verwendet. Das Produkt heisst DRI (Direct Reduced Iron), im Fall von Wasserstoff H₂-DRI.

‘Ist die wasserstoffbasierte Stahlherstellung realistisch oder nur eine Fiktion?’ (S. Hornby, AIST Vol. 19, Nr. 1) Dies ist nun die Frage, die es als Teil des Gordischen Knotens zu lösen gilt.

Fakten: Die globale Stahlindustrie braucht 8% der weltweiten produzierten Energie und produziert 7% des gesamten, von Menschen erzeugten CO₂. Der hauptsächliche Energieträger (75% der Energie) ist Kohle.

Die integrierten Stahlwerke (IS) erarbeiten 72% der Stahlproduktion und sind für 93% des CO₂ verantwortlich, während die Elektrostahlwerke (ES) 28% des Stahls produzieren und für 7% des CO₂ verantwortlich sind.



Mit der DR könnten wir also idealerweise 93% von 7% der CO₂ Emissionen, also 6.3% reduzieren, gesetzt den Fall, dass alles Erz mit H₂ direktreduziert wird! Und was tun all die andern? Jeder ist gefordert, die Energieerzeuger konzentrieren sich auf die erneuerbaren Energiequellen (und Atomkraftwerke), der Transportbereich wird elektrifiziert (so lang die Ressourcen (seltene Erden und H₂) reichen), die Biomasseverbrennung wird ‘reduziert’ (aber steigende Temperaturen verursachen mehr Waldflächenbrände), die Landwirtschaft ‘veganisiert’ (Pflanzen wandeln CO₂ in O₂, und weniger Tiere produzieren weniger Methan und Stickoxyde) und die Heizungen werden wo immer möglich Treibhausgasfrei gemacht (Wärmepumpen). Gesetzt den Fall, alles wäre so machbar, wer bezahlt das alles?

Mittels Elektrolyse wird aus Wasser Sauerstoff und Wasserstoff gewonnen. Je nach Stromquelle wird der Wasserstoff, der über die Elektrolyse produziert wird, in grauen, blauen oder grünen Wasserstoff unterteilt.

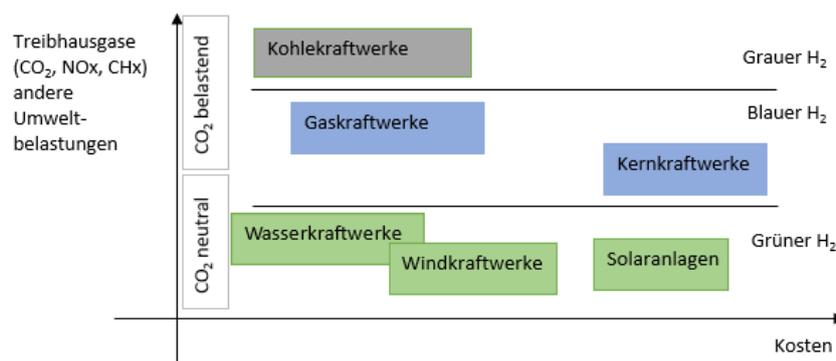


Abbildung 2 / Stromerzeuger für die Wasserstoffelektrolyse

Wenn die Wasserstoffwirtschaft für die Stahl- und andere Industrien Wirklichkeit werden soll, muss genügend grüner Wasserstoff zu ökonomisch vernünftigen Preisen zur Verfügung stehen, d.h. Standorte, Bauzeiten und Kosten der Energieproduktionsanlagen müssen geplant und bereitgestellt werden. Hier stellt sich auch die Frage kommt der Berg zur Maus oder geht die Maus zum Berg? Oder anders gefragt: wäre es nicht besser für die Stahlindustrie sich im Gebiet zwischen Wüste (Sonne, Erz) und Meer (Transport) anzusiedeln?

Mit der Umstellung aller Hochöfen zu Direktreduktionsanlagen (DR) mit Wasserstoff (H_2) als Reduktionsmittel kann die CO_2 Emission massiv reduziert werden. Doch so einfach ist das nicht. Für die DR braucht es grosse Mengen Wasserstoff, resp. Energie für die Elektrolyse und das H_2 -DRI hat 0% C, also muss Kohlenstoff nachgeliefert werden, denn Eisen ohne Kohle ist nicht Stahl.

Hier stellt sich die Frage was möglich, wirtschaftlicher und ökologischer ist, DRI mit H_2 ($\rightarrow 0\%C$) oder mit Erdgas ($CH_4 \rightarrow 2.5-4\%C$) oder mit einem Mix ($CH_4/H_2 \rightarrow 0.5-1.5\%C$) herzustellen.

Fazit: die Integrierten Stahlwerke müssen in umgebaut oder neu gebaut werden und die Stahlproduktion muss CO_2 ärmer werden.

DRI in der Stahlindustrie

Es zeichnet sich immer deutlicher ab, dass DRI in Zukunft neben Schrott verstärkt in der Elektrostahlherstellung vertreten sein wird. Der Mix von DRI und Schrott kann je nach Ofen und Nutzenstrategie zu unterschiedlichen Mehrkosten für Energie und Rohstoffe führen. Die Schmelzzeit wird länger, die Schlackenmenge wird grösser und die CO_2 Emissionen nehmen zu.

Heisses DRI (HDRI) kommt mit einer Temperatur von ca. $700^\circ C$ aus der Reduktionsanlage und ist unter Berücksichtigung gewisser Sicherheitsaspekte problemlos transportierbar. Die Verwendung von HDRI ist nachweislich vorteilhaft, aber es gibt noch nicht viele Stahlwerke, bei denen ein Elektrolichtbogenofen einer Reduktionsanlage nachgelagert ist.

Der Transport von kaltem DRI ist anspruchsvoller; kaltes DRI ist pyrophor, d.h. selbstentzündlich, und kann Wasserstoff bilden, wenn es mit Wasser in Kontakt kommt. Kaltes DRI zerfällt bei Druck dank seiner hohen Porosität zu Staub, der auch wieder pyrophor ist. Die Selbstentzündung setzt aber voraus, dass genügend Sauerstoff vorhanden ist. Dies stellt bei der direkten Vorheizung mittels Brenner ein Problem dar (Patent von Air Products Inc. PA, USA).

Wir haben in einem unserer Artikel das Zweikammersystem ECOFEEDER mit seinem recht konstanten Restgasausstoss nach der Schrottvorheizung beschrieben ('Der Energie(pr)eisbrecher'). Dieses Restgas ist ideal für die DRI-Vorheizung. Das Restgas ist arm an Sauerstoff und verhindert daher eine mögliche Selbstentzündung von DRI.

Mit einem Drehofen lassen sich DRI-Durchsätze von 0.3 – 1.4t/min erzielen und dabei das DRI auf eine Temperatur von ca. $300-600^\circ C$ erhitzen. Diese entspricht einer Erhöhung der Enthalpie von $65-120kWh/t_{DRI}$

Hier nochmals der Restgasausstoss beim ECOFEEDER im Vergleich zum traditionellen Ofen ohne Schrottvorheizung und im Vergleich zum Einkammersystem (alle Arten von Schachtauf- oder -anbauten)

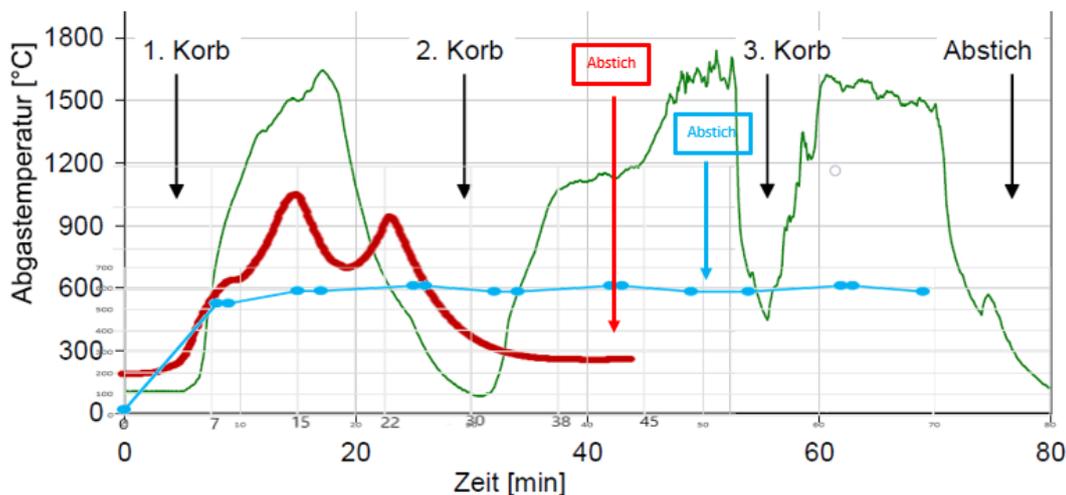


Abbildung 3 / Restgasausstoss im Vergleich (grün EAF ohne Schrottvorheizung, rot Einkammersystem, blau Zweikammersystem)

Aus diesen Überlegungen lassen sich folgende Werte folgern:

Tabelle 1 / Energieaufwand mit Schrottvorheizung [kWh/t_{FS}]

Rohmaterial / Energie	Flüssig-eisen / Schrott	Schrott (100%) vorgeheizt *)	Schrott/DRI (x%/y%) vorgeheizt *)	Schrott vorgeh. *) / DRI kalt	Schrott (100%)	Eisen-schwamm / Schrott	DRI_HBI / Schrott
Elektrische Energie	180 - 300	240-300	250-310	300-370	320 - 520	325 - 400	470 - 600
Chemischen Energie**)	200 - 320	230-300	230-300	230-300	280 - 480	350 - 420	200 - 330
Vorleistung ***)	300	-	-	-	-	-	-
Gesamt-aufwand >	750	540	570	600	680	720	750

*) Zweikammer-Schrottvorheizung

**) Fossile Energieträger (Gas (LPG, NG), Kohle)

***) Mitgebrachte Enthalpie

In der obigen Tabelle (Tabelle 1) sind wir davon ausgegangen, dass 100% Schrotteinsatz die besten Werte erzielen wird. Setzen wir aber die Zahlen von Nucor Steel, Arkansas (S. Hornby, AIST Vol. 19 Nr. 1) ein, die DRI zusammen mit Schrott eingesetzt haben, ergibt sich ein anderes Bild.

Tabelle 2 / Energieaufwand mit variablem DRI-Anteil [kWh/t_{FS}]

% Schrott / % DRI	100 / 0	75 / 25	70 / 30	65 / 35	60 / 40	55 / 45	50 / 50
Energie TTT							
El. Energy [kWh/t]	421	375	377	380	393	399	408
TTT [min]	61	52	53	54	55	57	59
Δ Energie [kWh/t]	-	-46	-44	-41	-28	-22	-13

Ausgehend von der Annahme, dass Nucor Steel, Arkansas eine effiziente Zweikammer-Schrottvorheizung einsetzen würde und dass der Ofen gemäss den gleichen Nutzwerten (VIU) betrieben würde, ergäbe sich folgende Bild:

Voraussetzung: Vorheizung 131 kWh/t Schrott (750°C)

Tabelle 3 / Energieaufwand mit Schrottvorheizung und variablem DRI-Anteil [kWh/t_{FS}]

Energie TTT	% Schrott	100	75	70	65	60	55	50
	% DRI	0	25	30	35	40	45	50
El. Energy [kWh/t]		290	244	246	249	262	268	277
TTT [min]		54	45	46	47	48	50	59
Δ Energie [kWh/t]		-	-46	-44	-41	-28	-22	-13

Diese Werte scheinen uns sehr vernünftig, zumal sie auch unseren Berechnungen für das Zweikammer-Schrottvorheizsystem entsprechen. Zudem ist die DRI-Vorheizung inbegriffen und verursacht keine weiteren Kosten.

Wenn der Ofen jedoch mit optimierten Nutzwerten (VIU) für den Betrieb mit einer Schrottvorheizung betrieben würde, kämen seine Basiswerte um ca. 40kWh/t_{FS} nach unten, d.h. es ergäbe sich folgendes Bild:

Tabelle 4 / Energieaufwand mit Schrottvorheizung (optimiert) und variablem DRI Anteil [kWh/t_{FS}]

Energie TTT	% Schrott	100	75	70	65	60	55	50
	% DRI	0	25	30	35	40	45	50
El. Energy [kWh/t]		250	204	206	209	222	228	237
TTT [min]		42	33	34	35	36	38	47

Ungeachtet der enormen wirtschaftlichen Vorteile hat die kontinuierliche DRI Zugabe noch folgende, weitere Vorteile, die von Betreibern von Anlagen ohne Schrottvorheizung gemeldet wurden:

- + Sauberer Stahl: Dank der erhöhten CO Produktion (DRI) ergibt sich eine vermehrte Badbewegung (Spüleffekt). Das vermindert die Stickstoff-, Wasserstoffaufnahme und die Bildung von Einschlüssen
Zusammen mit vorgeheiztem Schrott entstehen weniger Eisberge
- + Besserer Nutzen: Lebensdauer der Ausmauerung wird verbessert, das Ausbringen steigt
- + Schaum Schlacke: Schnellere und frühere Bildung der Schaum Schlacke bewirkt bessere Lichtbogenstabilität, besseren Energietransfer, weniger thermische Verluste und weniger Lärm
- - Energieaufwand: Der Gesamtenergieaufwand bei der Verwendung von DRI steigt gegenüber der Verwendung von 100% Schrott

- - CO₂-Ausstoss: Der CO₂ Ausstoss steigt gegenüber der Verwendung von 100% Schrott.

Der Betrieb des Ofens muss jedoch an die spezifischen Gegebenheiten die die Verwendung von DRI, je nach C- und Gangue-Gehalt mit sich bringt, angepasst werden.

Das Ziel, die Reduktion der Treibhausgase kann also mit DRI nur insofern erreicht werden, als dass die CO₂-Produktion am Hochofen reduziert wird, andererseits aber bei der Elektrostahlherstellung steigt. Die damit zusammenhängenden Nachteile sind aber so massiv, so dass sich eine Umstellung schwerlich rechnet, es sei denn die Preise für CO₂-Zertifikate werden stark erhöht (politische Lenkung). Ob sich die Staaten mit der Hauptproduktion von Roheisen auch daranhalten werden, wird sich zeigen.

Die Vorheizung von Schrott und DRI im selben Schritt zeigt jedoch einen gangbaren Weg die CO₂-Produktion kommerziell rentable zu reduzieren.

0%C DRI oder H₂ DRI

Die Reduktion von Eisenerz mittels H₂ ergibt ein C-freies DRI. Das bringt die Prozessvorgaben am E-Ofen jedoch recht durcheinander, denn C-freies DRI bedeutet weniger bis keine Badbewegung durch die CO-Produktion, und damit keine Schaumschlacke.

Zudem sind die damit zusammenhängenden Investitionen (CAPEX und OPEX, Energie und Materialkosten) dermassen hoch, dass nur eine massive Erhöhung der CO₂-Abgaben die Investitionen rechtfertigen können.

Im Endeffekt läuft alles darauf hinaus, ob genügend Wasserstoff zu einem vernünftigen Preis zum Endverbraucher kommen kann. Dagegen spricht einerseits die benötigte Menge Wasserstoff, die Probleme mit der Verteilung (Wasserstoff ist sehr volatil und entweicht durch das geringste Leck), die Kosten für die Elektrolyse und die noch unbekannt Umstellung im Stahlherstellungsprozess. Eine neue Nutzwertanalyse, die die Umweltaspekte miteinbezieht, muss die Basis für die neue Entwicklung sein.

Als umweltbewusste und sorgetragende Unternehmer müssen wir solche Investitionen kritisch und vorwärtsdenkend beurteilen. Ein erster Schritt in eine CO₂-freie Stahlzukunft geht über eine Optimierung der eingesetzten Ressourcen, d.h. über eine effiziente Schrottvorheizung (Zweikammersystem ECOFEEDER) und eine im Vorheizsystem integrierte DRI-Vorheizung für die kontinuierliche DRI Beschickung des E-Ofens. Auch eine zukünftige Umstellung der Arbeitsanweisungen hin zum 0%C DRI wird die Vorteile der Schrottvorheizung nicht schmälern, denn Schrott wird immer Bestandteil der Schmelze bleiben und eine effiziente Vorheizung bringt die Energie ins System zurück.

Fazit: Ja, DRI kann die Zukunft der Stahlindustrie sein, gesetzt den Fall, dass der Schrott und das DRI sinnvoll, d.h. ressourcenschonend vorgeheizt wird, der Vorheizprozess chargenneutral ist (keine Vermischung), der vorgeheizte Schrott 'heiss gelagert' werden kann und das DRI in einer quasi-inerten Atmosphäre vorgeheizt wird.

Februar 2022, Roland V. Müller, eco-e AG (www.eco-eag.com)