



Emissionsfreie Stahlerzeugung

**Metastudie zu den technischen, technologischen und wirtschaftlichen Parametern
für die Umstellung der deutschen Stahlindustrie
auf eine emissionsarme Stahlproduktion auf Basis von grünem Wasserstoff**

Abschlussveranstaltung

Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST)

30.03.2022

Hintergrund und Zielsetzung der Studie

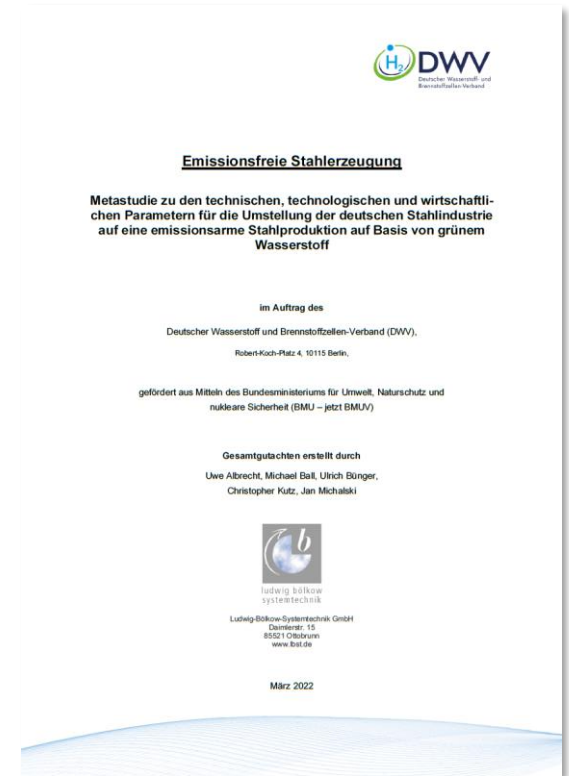


Metastudie zu Herausforderungen, Chancen und Lösungsansätzen für grünen Stahl in Deutschland bis 2045 auch im Kontext internationaler Stahlmärkte

- Zusammenstellung und Gegenüberstellung wesentlicher Informationen und Parameter aus vorhandener Literatur
- Betrachtungsgegenstand: bis zur Übergabe des Rohstahls an den Kunden (d.h. ohne weitere Veredelungsschritte)

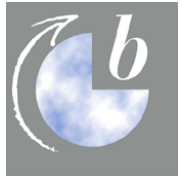
Die Studie soll folgende Fragen beantworten:

1. Welche Vor- und Nachteile ergeben sich für **Wasserstoffimporte** im Vergleich zur **Erzeugung von grünem Wasserstoff in Deutschland**?
2. Welche **technischen, technologischen und wirtschaftlichen Parameter** für die Umstellung der deutschen Stahlindustrie auf eine emissionsarme Stahlproduktion auf Basis von grünem Wasserstoff werden in der Literatur genannt und wie werden sie beschrieben bzw. quantifiziert?
3. Welche Vor- und Nachteile ergeben sich für **Import von H₂-reduziertem Eisenschwamm (H₂-DRI)** im Vergleich zur **H₂-Reduktion der Eisenerze (DRI Herstellung) in Deutschland**?



Technologiefade grüner Stahl in Deutschland

Klassifizierung der Pfade nach Energieträger & Standort und weiteres Vorgehen in 4 Schritten



Technologiefad	(A) Energieträger	(B) Standort H ₂ -Prod.	(C) Standort DR
1. Konv. Hochofenroute (Referenz)	Kohle (fossil)	(nicht relevant)	(nicht relevant)
2. Erdgas-DR*	Erdgas (fossil)	(nicht relevant)	Deutschland
			Ausland
3. H ₂ -DR	Wasserstoff (grün/blau)	Deutschland	Deutschland
		Ausland	
		Ausland	Ausland
		Ausland	Ausland

Weiteres Vorgehen (Kapitel 4)

- **Metaanalyse** zu techno-ökonomischen Parameter der Versorgung mit grünem H₂ sowie grüner Stahlerzeugung
- Zusammenstellung der **Chancen/ Risiken** sowie Einordnung der relevanten Pfade bezüglich

Technische Reife	Wirtschaftlichkeit
Beitrag zum Klimaschutz	Industriepolitische Bedeutung

- **Identifizierung der Hemmnisse** der ausgewählten Pfade
- Ableitung von **Handlungsempfehlungen** für selektierte Stakeholder auf Basis der identifizierten Hemmnisse

* Erdgas-DR umfasst auch die Möglichkeit der späteren Umstellung auf Hybrid-Technologie oder H₂-DR.

Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Metaanalyse

Hohe Transformationskosten und großer Bedarf an Wasserstoff



Grüner Stahl

- **Tiefgreifende Veränderungen der Primärstahlerzeugung** erwartet bis 2050, trotz Prognose konstanter künftiger Produktion (ca. 39-44 Mt/a):
 - Ausphasen **BF / BOF** durch verschärfte Klimapolitik
 - **H₂-DR / ES** als robusteste Nullemissions-Technologie mit hoher betrieblicher und Standortflexibilität, Beitrag **CH₄-DR / ES** offen
 - **Sekundärstahl (Schrott-ES)**: bis zu 50% der ges. Rohstahlproduktion
 - DR ermöglicht weiterhin Herstellung **hoher Stahlqualitäten**
- **Reinvestitionsbedarf** in der Primärstahlerzeugung (ca. 53% oder 18 Mt/a bis 2030) **schaft „Window of Opportunity“**
- **Transformationskosten**: Investitionen von ca. 10 Mrd.€ (bis 2030) und 30 Mrd.€ (bis 2050) - wovon ca. 50% für DR in Deutschland
- 80% der **Mehrkosten ggü. Hochofenroute durch H₂** verursacht (bei 4 €/kg) aber vernachlässigbar im Hochpreis-Segment, aber günstige CO₂-Vermeidungskosten < 50 €/t_{CO2} unter optimistischen Rahmenbedingungen
- **Signifikante Minderung der THG-Emissionen** bereits kurz- und mittelfristig bedürfen eines **ambitionierten Ausbaus der DRI-Kapazitäten** in Deutschland

Emissionsarmer Wasserstoff

- **Produktionspfade**: Grüner H₂ im Fokus, blauer H₂ / CH₄-DR als Brücke
- **Bedarf grüner H₂ (DE)**: 0,5-3,3 Mt/a (18-110 TWh) bis 2030 und 7,8-20,7 Mt/a (260-690 TWh) bis 2050, unter Berücksichtigung ambitionierter Klimaschutzziele
- **Kurzfristig**: Bedarf der Stahlbranche als „**no regret**“-Option, langfristig bis zu 2,1 Mt/a (stoffl. Nutzung) und 1 Mt_{H₂}/a (energetisch) bis 2050
- **Hohe Importabhängigkeit bei H₂** von rund 60% zwischen 2030 und 2050
- **Große Bandbreiten bzgl. Bereitstellungskosten für grünen H₂**: 6-12 €/kg (2020) 2-10 €/kg (2030) und 1,5-7,5 €/kg (2050)
- **Hohe Transportkosten**¹ kompensieren geringe H₂-Gestehungskosten im Ausland: Pipeline (48-Zoll)² < 1,5 €/kg bzw. 1-3 €/kg Schiff (z.B. LH₂, NH₃)
- **Inländische Verteilung**: Aufbau Transportnetzinfrastruktur ausgehend von Stahl- und Chemiezentren zwingend erforderlich

¹ Transportkosten stark fall- und entfernungsabhängig. ² Pipelinetransport: Gilt bis etwa 3.000-4.000 km, Umrüstung bestehender Leitungen günstiger, Kosten für kleine Leitungen höher.

Herausforderungen für grüne Stahlerzeugung in Deutschland

Direktreduktion auf Erdgasbasis als Brücke zur Klimaneutralität interessant



Technologiepfad	Technische Reife	Beitrag zum Klimaschutz	Wirtschaftlichkeit	Industriepolitische Bedeutung	Rolle bis 2030
1. Konv. Hochofenroute (Referenz)	++	--	++	+	✓ Bestehendes Geschäft
2. Erdgas-DR*	2.1 Erdgas-Import	+	+	+	✓ Kurzfristige THG-Minderung durch etablierte Technologie
	2.2 Import DRI / Eisenschwamm	++	+	-	(✓) Bestehendes Geschäft, aber industriepolitisch ungeklärt
3. H ₂ -DR	3.1 Heim. H ₂ -Produktion (grün)	+	++	--	✗ Noch keine Wirtschaftlichkeit, auf Förderung angewiesen
	3.2 Import grüner H ₂	o	++	--	✗ Wirtschaftlichkeit und Mengenverfügbarkeit (Importe) offen
	3.3 Import blauer H ₂	o	+	-	✗ Wirtschaftlichkeit und Mengenverfügbarkeit (Importe) offen
	3.4 Import DRI / Eisenschwamm (grün / blau)	+ / o	++ / +	--	(✓) Prinzipiell möglich, aber industriepolitisch ungeklärt

++ sehr hoch + hoch o neutral - gering -- sehr gering

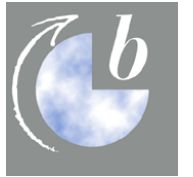
✗ kurzfristig schwer umsetzbar

(✓) Rolle zu klären

✓ kurzfristige Option

Herausforderungen für grüne Stahlerzeugung in Deutschland

Grüner Wasserstoff als nachhaltige und robuste Basis für grünen Stahl in der Zukunft



Technologiepfad	Technische Reife	Beitrag zum Klimaschutz	Wirtschaftlichkeit	Industriepolitische Bedeutung	Rolle bis 2045
1. Konv. Hochofenroute (Referenz)	++	--	--	--	X Hohe CO ₂ -Emissionen, Ressourcenlast
2. Erdgas-DR*	2.1 Erdgas-Import	++	--	-	(✓) Weiterhin CO ₂ -Emissionen, Umstellung auf H ₂ -DR nötig
	2.2 Import DRI / Eisenschwamm	++	--	-	X Weiterhin CO ₂ -Emissionen, industriepolitisch ungeklärt
3. H ₂ -DR	3.1 Heim. H ₂ -Produktion (grün)	++	++	+	✓ CO ₂ -frei und hohe Wertschöpfung in DE
	3.2 Import grüner H ₂	++	++	++	✓ CO ₂ -frei und geringe EE-Mengenrestriktionen
	3.3 Import blauer H ₂	++	-	+	(✓) CO ₂ -Restemissionen, nur Übergangstechnologie
	3.4 Import DRI / Eisenschwamm (grün / blau)	++	+ / -	+	(✓) Prinzipiell möglich, aber industriepolitisch ungeklärt

++ sehr hoch + hoch o neutral - gering -- sehr gering

X langfristiges „No Go“

(✓) Brückentechnologie / Rolle zu klären

✓ langfristige Option

Herausforderungen für grüne Stahlerzeugung in Deutschland

Grüner Stahl ist kein Selbstläufer und muss politisch unterstützt werden



Hemmnisse

Wesentliche Handlungsempfehlungen

H₂-Versorgung

Schleppender EE-Ausbau in DE und bislang fehlende (Import-)Infrastruktur für H₂

- **Rascher Ausbau der EE-Stromerzeugung**
- **Intersektorale Kooperation** (koordinierter Ausbau der Strom- und Gasnetze)
- **Mögliche Verlagerung von Stahlstandorten** (Reduktion der EE- oder H₂-Transportwege innerhalb DE)

Mangelnde Wettbewerbsfähigkeit von grünem H₂ (in DE)

- **Vermeidung regulatorischer Hürden** (z.B. Zusätzlichkeitskriterium RED II+) und **Mehrkostenausgleich** (z.B. CCfD, H2Global)
- **Internationale Zertifizierungssystem** für emissionsarmen Wasserstoff

Unzureichende Marktentwicklung für emissionsarmen H₂ (sektorenübergreifend)

- Mögliche Instrumente: **Quotenregelungen** für diverse (Industrie-)Sektoren
- **Hebelwirkung der Stahlindustrie** bei Entwicklung der H₂-Märkte und Infrastrukturen nutzen
- Globale Kooperationen zur **Schaffung transparenter und liquider globaler H₂-Märkte** (grüner und ggfs. auch blauer Wasserstoff)

Grüne Stahlproduktion

Unzureichende Investitionsanreize und **fehlende Planungssicherheit** bei starkem internat. Wettbewerb

- **Anschubfinanzierung** (Förderprogramme) und **Investitionssicherheit** durch stabile und langfristige Rahmenbedingungen
- **Zielgerichtete Förderung** (CAPEX & OPEX) und Zugang zu europäischen Fördertöpfen bzw. IPCEIs
- „**Level playing field**“ ggü. internat. Wettbewerb: EU-ETS, wirksame Ausgleichsmechanismen (z.B. CBAM), Exportregelungen

Geringer Markt für grünen Stahl und unzureichendes Bewusstsein für **Größe der Transformation**

- **Nachfrage nach grünem Stahl fördern**: z.B. reg. Vorgaben¹, Abnahmeregeln in anderen Branchen, Vorrang bei öffentl. Aufträgen
- Frühzeitige öffentlichkeitswirksame **Kommunikation der Handlungsnotwendigkeit** und Beginn der Transformation
- Erfahrungen der langjährigen Mitarbeiter nutzen und **Weiter- und Ausbildungsmöglichkeiten** entwickeln
- **Internationale Kooperationen** zur Transformation der weltweiten Stahlerzeugung

Offene Technologiefragen / Entwicklungsbedarf mit Blick auf emissionsarme Stahlproduktion

- **Weiterentwicklung** angepasster **Verfahrenstechnik**: CH₄-/H₂-DRI-Hybridschachtöfen, ES/EAF für CH₄-/H₂-DRI, Schrottsortierung
- **Technologiestrategie** und **Geschäftsmodelle regelmäßig überprüfen** und ggfs. anpassen

¹Mögliche reg. Instrumente werden in Parallelstudie durch BBH geprüft. Darunter etwa THG-Grenzen, Quoten, Labelling, Klimaschutzverträge (CCfD/ CfD), Zertifizierung.



Stahlproduktion

- Direktreduktion auf Basis **grünen Wasserstoffs** **wesentliche langfristige Option zur Dekarbonisierung** des Stahlsektors
- **Brücke zur Klimaneutralität** über Direktreduktion auf Erdgasbasis dank rascher Klimateffekte und technischer Verfügbarkeit
- **Große industriepolitische Bedeutung** der Stahlindustrie und heimischer DRI-Produktion (technische/wirtschaftliche Einordnung von H₂-DRI Importen abhängig von Standort und Geschäftsmodell)

Wasserstoff

- „**Game changer**“ **Wasserstoff**: Wettbewerbsvorteil durch sauberen H₂ und Strom zu günstigen Preisen in ausreichender Menge
- **Große Hebelwirkung der Stahlindustrie** auf den Aufbau der H₂-Infrastrukturen → „no regret“-Option
- **Langfristiger Fokus auf grünen H₂** in einem optimalen Mix aus heimischer Produktion und H₂-Importen

Handlungsbedarf

- Hoher Investitionsbedarf bei der Umstellung des Stahlsektors → **Anschubfinanzierung durch Förderung und Investitionssicherheit**
- Gefahr von „Carbon Leakage“ und Verlust von Wertschöpfung und Arbeitsplätzen → „**level playing field**“ durch robusten regulatorischen Rahmen
- Verfügbarkeit von Wasserstoff → gezielter und beschleunigter **Aufbau des Marktes und Lieferketten für sauberen Wasserstoff**

... und bedarf schneller Rahmensetzung durch Politik und Umsetzung erster Projekte durch Industrie.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Dr. Uwe Albrecht

Managing Director

T: +49 (0)89 608110-31
E: Uwe.Albrecht@lbst.de



Christopher Kutz

Project Manager

T: +49 (0)89 608110-41
E: Christopher.Kutz@lbst.de



Dr.-Ing. Ulrich Bünger

Selbstständiger Berater
Wasserstoff-Energietechnik

T: 089 / 812 59 09
E: Ulrich.Buenger@posteo.de



Dr. Jan Michalski

Senior Project Manager

T: +49 (0)89 608110-18
E: Jan.Michalski@lbst.de



Ayo Taiwo

PhD Student

T: +49 (0)89 608110-40
E: Ayo.Taiwo@lbst.de



Dr. Michael Ball

Selbstständiger Berater

T: +31 6 5209 7999
E: michael.ball@gmx.net

LBST · Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH

Daimlerstr. 15 · 85521 München/Ottobrunn · Germany

www.lbst.de



ludwig bölkow
systemtechnik