

# **Verbundvorhaben Reallabor: H<sub>2</sub>Stahl – Wasserstofftechnologien zur schrittweisen Dekarbonisierung der Stahlindustrie; Teilvorhaben: Dynamische H<sub>2</sub>-Versorgung und Netzentwicklung**



## **Schlussbericht**

Berichtszeitraum: 01.08.2021 - 30.09.2024

Bewilligungszeitraum: 01.08.2021 - 30.09.2024

Zuwendungsempfänger: AIR LIQUIDE Deutschland GmbH

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Ausgangslage</b>	<b>2</b>
1.1 Aufgabenstellung	2
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	2
1.3 Planung des Vorhabens	3
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn	3
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	4
<b>2 Projektverlauf</b>	<b>4</b>
<b>3 Projektevaluation</b>	<b>5</b>
<b>4 Erfolgskontrollbericht</b>	<b>5</b>
<b>5 Kurzfassungen</b>	<b>6</b>
5.1 Berichtsblatt	6
5.2 Document Control Sheet	7

## **1 Ausgangslage**

### **1.1 Aufgabenstellung**

Das Reallabor H2Stahl zielt auf eine weitreichende Umstellung der Stahlindustrie auf Wasserstofftechnologien. Dadurch sollen in Duisburg, dem größten europäischen Stahlstandort, die CO<sub>2</sub>-Emissionen gemindert und somit ein bedeutender Beitrag für den Klimaschutz geleistet werden.

Dabei soll als Brückentechnologie die Injektion von Wasserstoff (H<sub>2</sub>) in einem Hochofen während des laufenden Betriebs industriell erprobt werden. Kohlenstoff als Reduktionsmittel soll hierbei teilweise ersetzt werden, sodass eine CO<sub>2</sub>-Minderung von ca. 20 % am Hochofen erreicht werden kann. Für eine langfristige Transformation soll zusätzlich als Schlüsseltechnologie die Direktreduktion von Eisenerz mit Wasserstoff bzw. wasserstoffreichen Gasen erprobt werden.

Durch die parallele Bearbeitung beider Technologien sowie einen begleitenden Prozess bezüglich der regulatorischen und sozio-ökologischen Rahmenbedingungen soll der Strukturwandel zu einem modernen Industriestandort ermöglicht werden.

Im Rahmen des Teilvorhabens "Dynamische H<sub>2</sub>-Versorgung und Netzentwicklung" hat AIR LIQUIDE Deutschland GmbH (ALD) den Bau einer ca. 6,2 km langen Pipeline zur Wasserstoffversorgung des Hochofens geplant, die das Stahlwerk von thyssenkrupp Steel Europe AG (tkSE) in Duisburg mit dem Produktionsnetzwerk der ALD verbindet. Darüber hinaus sollten von Air Liquide Untersuchungen zur H<sub>2</sub>-Versorgung sowie deren Flexibilität durchgeführt und techno-ökonomische Analysen erstellt werden.

### **1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Die Stahlindustrie ist in Deutschland für ca. 30 % der industriellen CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Daher stellt die Stahlindustrie eine Branche mit enormem Potential zur CO<sub>2</sub>-Minderung dar, welches zur Erreichung der Klimaziele sowohl kurz- als auch langfristig genutzt werden muss. In Deutschland werden derzeit in dreizehn Hochöfen jährlich rund 27 Mio. Tonnen Roheisen produziert. Diese Menge Roheisen stellt die Grundlage für eine Stahlerzeugung über die integrierte Hochofenroute von ca. 70 % in Deutschland – in NRW sind es über 94 % – dar. Mit sechs Hochöfen ist Duisburg der größte europäische Stahlstandort. Um kurzfristig die CO<sub>2</sub>-Emissionen mit vorhandenen Anlagen zu mindern, ist eine Modifizierung des Hochofenprozesses notwendig. Durch die Injektion von Wasserstoff H<sub>2</sub> in den Hochofen, kann Kohlenstoff als Reduktionsmittel teilweise ersetzt werden.

[...]

Im Rahmen des durch das Land Nordrhein-Westfalen geförderten Projekts H2BF haben die Projektpartner tkSE, ALD und das VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH (BFI) bereits Tests zur H<sub>2</sub>-Injektion über eine Blasform in den Hochofen durchgeführt. Aufgrund des

vergleichsweise geringen Wasserstoffbedarfs erfolgte die H2-Versorgung durch Anlieferung per Trailer.

### 1.3 Planung des Vorhabens

[...]

### 1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Projektbeginn

Stahl wird in Deutschland mit einem Prozentsatz von 70 % über die integrierte Hochofenroute produziert. Dabei werden durchschnittlich 1.530 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne produziertem Roheisen emittiert.<sup>1</sup> Diese Emissionen entstehen durch die Verwendung von kohlenstoffbasierten Reduktionsmitteln (Koks, Einblaskohle).

Moderne Hochöfen liegen beim Kohlenstoffverbrauch bereits im Bereich des thermodynamischen Minimums. Daher wird auch in Zukunft keine signifikante Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Einsatz kohlenstoffhaltiger Reduktionsmittel realisierbar sein. Zur weiteren CO<sub>2</sub>-Minderung in der integrierten Hochofenroute ist der Einsatz des kohlenstofffreien Reduktionsmittels H<sub>2</sub> ein essentieller nächster Schritt.

Zieltechnologie für die Dekarbonisierung der Stahlindustrie ist die Direktreduktion mit reinem H<sub>2</sub>, wie sie auch in der Hydrogen Roadmap Europe identifiziert wurde.<sup>2</sup> Kurz- bis mittelfristig müssen zunächst die CO<sub>2</sub>-Emissionen der bestehenden Anlagen verringert werden. Als Brückentechnologien können hierfür der modifizierte Hochofenprozess (H<sub>2</sub>HO) und die Direktreduktion mit Erdgas und steigenden Mengen an H<sub>2</sub>-haltigen Gasen genutzt werden.

In dem europäischen Projekt ULCOS wurde CO<sub>2</sub> aus dem Gichtgas abgetrennt, um anschließend das Gas, hauptsächlich bestehend aus CO und H<sub>2</sub>, wieder in den Hochofen zu injizieren.<sup>3</sup> In dem Projekt konnte in einem Versuchshochofen eine effiziente Rückführung von CO und H<sub>2</sub> realisiert und somit der Verbrauch an Koks reduziert werden. Dabei wurde das rezirkulierte Gas zusammen mit der konventionellen Einblaskohle in die Blasformen injiziert. In einem BMWK-Projekt wurde an einem industriellen Hochofen die Injektion von heißem, CO-/H<sub>2</sub>-haltigem Reduktionsgas über eine zweite Blasformebene untersucht.<sup>4</sup>

Die verschiedenen Studien führen zu dem Schluss, dass das Einblasen von reinem H<sub>2</sub> in den Hochofen die kohlenstoffhaltigen Reduktionsmittel verringern und somit den CO<sub>2</sub>-Ausstoß signifikant reduzieren kann.

---

<sup>1</sup> Stahlinstitut VDEh, Jahrbuch Stahl 2018, Düsseldorf: Stahleisen GmbH, 2018.

<sup>2</sup> FCH, "Hydrogen Roadmap Europe – A sustainable pathway for the European energy transition", Belgien, 2019.

<sup>3</sup> A. Hirsch, B.Korthas, J. Hülstrung, M.Grant und A. u. Berthelemot, „New blast furnace process (ULCOS) – final report EUR25085 EN“, Publication Office of the European Union, Luxemburg, 2013.

<sup>4</sup> EKO Stahl GmbH; VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH; Future Energy GmbH, „Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Eisenerzeugung durch ein neuartiges Verfahren mit Einblasen von heißem Reduktionsgas in den Hochofenschacht - Finaler Bericht,“ 2007.

In dem vom Land NRW geförderten Projekt H2BF wurde von den Projektpartnern BFI, tkSE und ALD die Einblasung von Wasserstoff für den modifizierten Hochofenprozess zunächst an einer Blasform während des laufenden Betriebs erfolgreich technisch erprobt.<sup>5</sup>

Eine alternative Möglichkeit der Stahlerzeugung zur integrierten Hochofenroute ist die Direktreduktionsroute. Diese umfasst die Verfahren der Direktreduktion des Eisenerzes in Verbindung mit dem Einschmelzen des direktreduzierten Eisens zu Stahl in einem elektrischen Einschmelzer. Weltweit werden ca. 87 Millionen Tonnen DRI (Stand 2017) erzeugt. Wasserstoffbasierte Technologien wie das MIDREX oder das HYL Verfahren stellen dabei mit über 80 % den größten Anteil dar. In Westeuropa wurden hingegen lediglich 0,6 Millionen Tonnen DRI produziert.<sup>6</sup>

Zur Erzeugung von DRI werden Stückerze, Pellets oder eine Kombination aus beiden in einen Schachtofen chargiert, der im Gegenstromprinzip mit einem Reduktionsgas durchströmt wird. Dieses CO/H<sub>2</sub>-haltige Gas wird aus Erdgas je nach Verfahren in einem Dampfreformer oder direkt im Reduktionsreaktor unter Druck erzeugt. Bei der Produktion von konventionell erzeugtem DRI fallen zwischen 1.000 und 1.150 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Rohstahl an.

Verschiedene Forschungsprojekte wie HYBRIT oder SALCOS setzen auf die Direktreduktion mit Wasserstoff.<sup>7</sup>

### **1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Das Vorhaben wurde als Verbundvorhaben in Zusammenarbeit mit der VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH und der thyssenkrupp Steel Europe AG durchgeführt. Für die Forschungsunterstützung war zudem die AIR LIQUIDE Forschung und Entwicklung GmbH (ALFE) als verbundenes Unternehmen der ALD beteiligt. Koordiniert wurde das Vorhaben durch das BFI.

Darüber hinaus wurde mit der Transferforschung für die Reallabore der Energiewende *Trans4Real* eng zusammengearbeitet.

## **2 Projektverlauf**

[...]

Nach sechs Monaten Bauzeit konnte im November 2022 ein rund 4,2 langer Pipelineabschnitt zur Verbindung des Werksgeländes von tkSE in Duisburg mit dem Wasserstoff-Netzwerk von Air Liquide fertiggestellt werden.

---

<sup>5</sup> <https://www.energieforschung.nrw/erfolge-und-stories-aus-nrw/h2bf>

<sup>6</sup> Midrex Technologies, Inc., „World Direct Reduction Statistics“, Midrex Technologies, Inc., Charlotte, NC, 2017.

<sup>7</sup> SSAB, Pressemitteilung: „HYBRIT: SSAB, LKAB and Vattenfall to start up the world's first pilot plant for fossil-free steel“ (<https://mb.cision.com/Main/980/3187446/1301334.pdf>), 2020; <https://salcos.salzgitter-ag.com/>

Am 22.12.2022 nutzte die Ministerin für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen, Mona Neubaur, die Gelegenheit, die fertiggestellte Pipeline zu besuchen.



**Abbildung 1:** Besuch von Frau Ministerin Neubaur

Vor dem Hintergrund der Entscheidung, dass der Projektteil zur Injektion von Wasserstoff in den Hochofen nicht weiterverfolgt werden soll, ist ALD zum 30.09.2024 aus dem Vorhaben ausgeschieden.

### **3     Projektelevaluation**

[...]

### **4     Erfolgskontrollbericht**

[...]

## 5 Kurzfassungen

### 5.1 Berichtsblatt

<b>1. ISBN oder ISSN</b> entfällt	<b>2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung)</b> Schlussbericht	
<b>3. Titel</b> Verbundvorhaben Reallabor: H2Stahl – Wasserstofftechnologien zur schrittweisen Dekarbonisierung der Stahlindustrie; Teilvorhaben: Dynamische H2-Versorgung und Netzentwicklung		
<b>4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]</b> Schütte, Joachim Graas, Antoine	<b>5. Abschlussdatum des Vorhabens</b> 30.09.2024	
	<b>6. Veröffentlichungsdatum</b> 28.03.2025	
	<b>7. Form der Publikation</b> entfällt	
<b>8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)</b> AIR LIQUIDE Deutschland GmbH Hans-Böckler-Straße 33 40476 Düsseldorf	<b>9. Ber. Nr. Durchführende Institution</b> entfällt	
	<b>10. Förderkennzeichen</b> 03EWR014C	
	<b>11. Seitenzahl</b> 7	
<b>12. Fördernde Institution (Name, Adresse)</b> Bundesministerium für Wirtschaft Klimaschutz (BMWK) 53170 Bonn	<b>13. Literaturangaben</b> 7	
	<b>14. Tabellen</b> 0	
	<b>15. Abbildungen</b> 1	
<b>16. Zusätzliche Angaben</b> keine		
<b>17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)</b> BMWK, 28.03.2025		
<b>18. Kurzfassung</b> Das Reallabor H2Stahl zielte auf eine weitreichende Umstellung der Stahlindustrie auf Wasserstofftechnologien. Dadurch sollten in Duisburg, dem größten europäischen Stahlstandort, die CO2-Emissionen gemindert und somit ein bedeutender Beitrag für den Klimaschutz geleistet werden. Ziel des Teilvorhabens "Dynamische H2-Versorgung und Netzentwicklung" war die Anbindung des Stahlwerks von tkSE an die bestehende Wasserstoff-Infrastruktur von Air Liquide. Im Rahmen des Vorhabens wurde eine 4,2 km-lange Pipeline gebaut.		
<b>19. Schlagwörter</b> Reallabor, Wasserstoff		
<b>20. Verlag</b> entfällt	<b>21. Preis</b> entfällt	

## 5.2 Document Control Sheet

<b>1. ISBN or ISSN</b> n.a.	<b>2. type of document (e.g. report, publication)</b> Final Report	
<b>3. title</b> Joint project real laboratory: Hydrogen technologies for a successive decarbonisation of the steel industry; dynamic H2 supply and network development		
<b>4. author(s) (family name, first name(s))</b> Schütte, Joachim Graas, Antoine	<b>5. end of project</b> 30.09.2024	
	<b>6. publication date</b> 17.03.2025	
	<b>7. form of publication</b> n.a.	
<b>8. performing organization(s) (name, address)</b> AIR LIQUIDE Deutschland GmbH Hans-Böckler-Straße 33 40476 Düsseldorf	<b>9. originator's report no.</b> n.a	
	<b>10. reference no.</b> 03EWR014C	
	<b>11. no. of pages</b> 7	
<b>12. sponsoring agency (name, address)</b> Bundesministerium für Wirtschaft Klimaschutz (BMWK) 53170 Bonn	<b>13. no. of references</b> 7	
	<b>14. no. of tables</b> 0	
	<b>15. no. of figures</b> 1	
<b>16. supplementary notes</b> none		
<b>17. presented at (title, place, date)</b> BMWK, 28.03.2025		
<b>18. abstract</b> The project H2Stahl aimed to extensively transform the steel industry towards hydrogen technologies. This should reduce CO2 emissions in Duisburg, Europe's largest steel location, and thus make a significant contribution to climate protection. The aim of the sub-project 'Dynamic H2 supply and network development' was to connect tkSE's steelworks to Air Liquide's existing hydrogen infrastructure. As part of the project, a 4.2 km pipeline was built.		
<b>19. keywords</b> real laboratory, hydrogen		
<b>20. publisher</b> n.a.	<b>21. price</b> n.a.	