



Branchenpapier Metallerzeugung (Eisen und Stahl)

Stand: 11.06.2013

Erarbeitet von Wuppertal Institut und Ecofys

Prozessoptimierungen und beste verfügbare Technologien (BVT) (kurz- bis mittelfristig bis 2030):

Rahmenbedingungen:

Stahl wird vor allem im Brückenbau, bei Hochhäusern, im Automobil und Schiffbau, sowie im Schienenbau eingesetzt. Es dominieren aktuell zwei Herstellungsverfahren: Die Primärroute, die aus Hochofen und dem Stahlwerk besteht und die Sekundärroute, in der das Recycling von Stahl in einem Elektrischen Lichtbogenofen stattfindet. In Deutschland wird etwa 80% des Rohstahls durch die Primärroute erzeugt. Zur Herstellung von Oxygenstahl in der Hochofenroute wird etwa dreimal mehr Energie benötigt als von Elektro Stahl. Der Großteil der Energie wird im Hochofen verbraucht (Fraunhofer ISI/IREES/Hassan 2011). Die Eisen- und Stahlindustrie weist in NRW – jeweils hinter der Chemiebranche – den zweitgrößten Endenergiebedarf und die zweithöchsten THG-Emissionen aller Industriebranchen auf (IT.NRW 2011). Den größten Anteil macht der Standort Duisburg aus.

Der Energieaufwand pro Tonne Rohstahl wurde in Deutschland von 1960 bis 2008 um insgesamt ca. 40% reduziert (vor allem durch den Umstieg vom Hochofen auf Elektro Stahlproduktion, aber auch durch Energieeffizienzsteigerungen). Dadurch sind auch die CO₂-Emissionen pro produzierte Tonne Stahl um 23% im Zeitraum 1990 bis 2007 gesunken (BCG 2010 in: Fraunhofer ISI/IREES/Hassan 2011). Aufgrund dieser Verbesserungen sowie der Kapitalintensität und langen Laufzeiten der Anlagen der Eisen- und Stahlindustrie werden größere Effizienzsprünge in den kommenden Jahren nicht erwartet (Fraunhofer ISI/IREES/Hassan 2011).

Die CO₂-Emissionen in der Branche sind durch die Wirtschaftskrise 2008/2009 und die sinkende Produktion weiter stark zurückgegangen. Während für die Industrieländer mittelfristig eine stagnierende Stahlproduktion prognostiziert wird, wird erwartet, dass die Stahlnachfrage langfristig vor allem durch die Schwellenländer China, Indien und Brasilien wieder steigen wird (Fraunhofer ISI/IREES/Hassan 2011).



Minderungsstrategien:

Handlungsfeld Steigerung der Energieeffizienz

Strategien	Minde- rungs- po- tenzial (++, +, o)	Umsetz- barkeit (rot, gelb, grün)	Weitere Anmerkungen <i>(die Anmerkungen beruhen auf dem Kleingruppengespräch der AG2 am 12.11.12 und zusätzlichen Ergänzungen aus Hintergrundgesprächen mit Thyssen Krupp Steel und der Wirtschaftsvereinigung Stahl)</i>
Effizienzverbesserungen an Öfen, u.a. durch Erneuerung von Brennersystemen, Luftvorwärmung sowie systematischere Wartung	o	grün	kontinuierliche Strategie, wird laufend autonom umgesetzt wo sie wirtschaftlich ist; ggf. Steigerung der Umsetzung durch Veränderung der Wirtschaftlichkeit (Investitionsförderung, neue Akteure?)
Erhöhung der Wärmeintegration, insbesondere durch die Optimierung von Dampfsystemen und die systematischere Nutzung von Prozesswärme	+	grün	Abwärme wird (in integrierten Stahlwerken) größtenteils intern sowie extern (Fernwärme) optimal genutzt. Potenzial: Vergleichmäßigung der externen Abnahme (Fernwärmeabsatz im Sommer; fehlt bisher); Problem: fehlender Marktzutritt in die Wärmeversorgung
Verbesserung von Antriebssystemen	o	grün	kontinuierliche Strategie, wird laufend autonom umgesetzt wo sie wirtschaftlich ist (s.o.) (ggf. Rebound zum Thema Produktqualität, da z.T. höhere Kraftaufwände für spezielle Stähle entstehen)
Optimierung Elektrostahlverfahren (EAF) (Sauerstoffeinblasen)	o	grün	Optimierungspotenziale weitgehend schon umgesetzt, in NRW keine signifikanten Technologiesprünge mehr zu erwarten
Wärmeverbünde (bessere Verwertung von Schlackenabwärme)	+	gelb	größtes noch unerschlossenes Potenzial; aber noch erheblicher F+E-Bedarf, da Abwärmenutzung ggf. die Qualität des aus der Hochofenschlacke hergestellten Hüttensands beeinträchtigt.



Strategien	Minde- rungs- po- tenzial (++, +, o)	Umsetz- barkeit (rot, gelb, grün)	Weitere Anmerkungen <i>(die Anmerkungen beruhen auf dem Kleingruppengespräch der AG2 am 12.11.12 und zusätzlichen Ergänzungen aus Hintergrundgesprächen mit Thyssen Krupp Steel und der Wirtschaftsvereinigung Stahl)</i>
			(TKS: Problem Schlackenabsatz: bei niedrigen CO ₂ -Preisen nur geringer Anreiz für Zementindustrie auf eigene Rohstoffe zu verzichten.)
a) Gasverbund: Nutzung von Kuppelgasen	+ (+)		Potenziale vorhanden, aber viel F+E notwendig; Branchenübergreifene Kooperation (Chemie) notwendig; Wechselwirkungen zum internen Energieverbund sind zu beachten Rechtliche Voraussetzung für Anerkennung der CO ₂ -Minderung fehlen. Konkurrenz durch Shale-Gas-Gewinnung möglich.
b) Clusterung von Industrieanlagen zu Energieverbänden	o		gelebte Realität in NRW, Potenzial weitgehend ausgeschöpft, Ausnahme Fernwärmeabsatz (s.o.) mögliche Verbesserung durch weitere Transparenzerhöhung (Netzwerke mit anderen Branchen zum besseren gegenseitigen Verständnis sinnvoll)
Nutzung Überdruck über Gichtgasentspannungsturbine zur Eigenstromversorgung			
Gas-Rezirkulierung an Sinteranlagen			
Löschen des Koks im trockenem oder optimierten Nassverfahren (Kokstrockenkühlung)			

Klimaschutzplan Nordrhein-Westfalen



Strategien	Minde- rungs- po- tenzial (+, +, +, o)	Umsetz- barkeit (rot, gelb, grün)	Weitere Anmerkungen <i>(die Anmerkungen beruhen auf dem Kleingruppengespräch der AG2 am 12.11.12 und zusätzlichen Ergänzungen aus Hintergrundgesprächen mit Thyssen Krupp Steel und der Wirtschaftsvereinigung Stahl)</i>
Effizienzverbesserungen beim Walzen: <ul style="list-style-type: none"> • Formung von Endprodukten aus flüssigem Stahl zur Vermeidung von Abkühl- und Wiederaufheizverlusten (Gießwalzanlage) • Flexibles Walzen • Verbesserung der Formgebungs- und Fügeverfahren in der Weiterverarbeitung (Schweißen, Kleben) • Endabmessungsgenaue Gieß- und Umformungsverfahren 			(Gießwalzanlage bereits weitgehend umgesetzt)
Einführung, bzw. Optimierung des Energiemanagements			



Handlungsfeld Energieträgerwechsel

Strategien	Minde- rungs- potenzi- al (++, +, o)	Umsetz- barkeit (rot, gelb, grün)	Weitere Anmerkungen <i>(die Anmerkungen beruhen auf dem Kleingruppengespräch der AG2 am 12.11.12 und zusätzlichen Ergänzungen aus Hintergrundgesprächen mit Thyssen Krupp Steel und der Wirtschaftsvereinigung Stahl)</i>



Handlungsfeld Reduktion prozessbedingter Emissionen

Strategien	Minde- rungs- potenzi- al (++, +, o)	Umsetz- barkeit (rot, gelb, grün)	Weitere Anmerkungen <i>(die Anmerkungen beruhen auf dem Kleingruppengespräch der AG2 am 12.11.12 und zusätzlichen Ergänzungen aus Hintergrundgesprächen mit Thyssen Krupp Steel und der Wirtschaftsvereinigung Stahl)</i>
Entwicklung Abscheidung CO ₂	++		siehe industrielle Symbiose



Handlungsfeld Klimaverträgliche Gestaltung des Produktportfolios

Strategien	Minde- rungs- potenzi- al (++, +, o)	Umsetz- barkeit (rot, gelb, grün)	Weitere Anmerkungen <i>(die Anmerkungen beruhen auf dem Kleingruppengespräch der AG2 am 12.11.12 und zusätzlichen Ergänzungen aus Hintergrundgesprächen mit Thyssen Krupp Steel und der Wirtschaftsvereinigung Stahl)</i>
Weitere Entwicklung und Produktion von High-Tech-Stählen	++		Kontinuierlicher Prozess: Ständige F+E-Erfordernisse; TKS: Minderung durch Verwendung von High-Tech-Stählen größer als Emission bei Stahlherstellung (vgl. BCG-Studie)
Indirekt: Verstärkte Nutzung von Stahlwerksschlacken in der Zementindustrie (verringert dort Emissionen aus Klinker)	++		im Gegensatz zu Hochofenschlacke, die bereits weitestgehend genutzt wird, besteht noch F+E-Erfordernis für Stahlwerks- und andere Schlacken (potenziell ebenfalls als Klinkerersatz nutzbar).
Nutzung von Nebenprodukten (Stahlwerksschlacken, Kalke) im Straßen- und Landschaftsbau, als Dünger	+		wird z.Zt. gemacht, gefährdet durch Umweltregulierungen
Entwicklung neuer Legierungen (Mikrolegierungen, alternative Legierungen) für effizientere Nutzung			

Klimaschutzplan Nordrhein-Westfalen



Einsatz oberflächenveredelter Bleche zur Erhöhung der Lebensdauer von Stahlerzeugnissen			
Verlängerung der Nutzungszeit von Stahlprodukten (Reparaturmöglichkeiten)			
Modulare Systeme: Zerstörungsfreie Wiederverwendung von bestehenden Formen ohne Einschmelzen			



Alternative Technologien (langfristig bis 2050):

Rahmenbedingungen:

Bis 2030 sind insbesondere – in der Branche bereits vielfach genutzte – Möglichkeiten der Prozessoptimierung und des Einsatzes bester verfügbarer Technologien (BVT) gegeben. Darüber hinaus bestehen prinzipielle Ansatzpunkte für weitgehende Dekarbonisierung entweder durch alternative Technologiepfade im Bereich der Produktion (z.B. langfristig durch Reduktion mit H₂ oder ggf. auch den Übergang auf die Elektrolyse von Eisenerz) oder durch eine Abscheidung der THG-Emissionen (z.B. CCS).

Allerdings gibt es aus heutiger Sicht, neben der nötigen intensiven Forschung und Entwicklung, einige Einschränkungen zu diesen langfristigen Technologiepfaden.

- Eine Reduktion mit Wasserstoff bietet sich ggf. unter Pufferaspekten an, da künftige Überschüsse an erneuerbarem Strom für die Wasserstoffgewinnung genutzt werden könnten. Es wäre jedoch eine Wasserstoffinfrastruktur zu rentablen Preisen nötig, um diese Potenziale zu nutzen.
- Eine komplette Umstellung der Stahlproduktion auf Elektrolyse, wäre aufgrund der hergestellten Qualitäten nicht für die gesamte Stahlproduktion denkbar. Außerdem wären sehr große Strommengen erforderlich (Für die heutige Stahlproduktion in NRW von ca. 18 Mio. t/a wäre eine Strommenge von ca. 66,6 TWh bei Annahme eines Stromaufwandes von 3,7MWh/t Stahl (Ahman et al. 2012) nötig. Das entspräche gut einem Drittel der derzeitigen Stromerzeugung in NRW.).
- Der großmaßstäbliche Einsatz von Holzkohle als Reduktionsagens ist in Bezug auf die Rohstoffverfügbarkeit sowie ggf. entstehende Konkurrenzbeziehungen zu anderen Nutzungen der Biomasse ggf. weiter zu prüfen. Aufgrund der hierfür benötigten großen Mengen wird diese Strategie vorrangig nur für Nischenanwendungen innerhalb der Stahlindustrie in Frage kommen. Großmaßstäbliche Nutzung von Holzkohlen würde einen funktionierenden Weltmarkt mit sehr erheblichen Mengen (nachhaltig erzeugter) Biomasse voraussetzen, der aus heutiger Sicht auch langfristig fraglich ist.
- Der Einsatz der CCS Technologie ist zur Zeit sehr umstritten (Kosten, Akzeptanz, langfristige Sicherheit), wobei sich der Widerstand vor allem an den Speicherstandorten sowie ggf. der dafür notwendigen Transportinfrastruktur festmacht. Zudem sind in Nordrhein-Westfalen kaum geeignete Ablagerungsmöglichkeiten vorhanden. Als nächstliegende Option bliebe eine entsprechende Anbindung an Speicherinfrastrukturen z.B. in den Niederlanden (Viebahn et al. 2009), wobei der Transport per Schiff sowie langfristig per Pipeline denkbar wäre.



Diese Punkte stehen beispielhaft für wichtige offene Fragen, die im Laufe der kommenden Jahre und Jahrzehnte beantwortet werden müssen, um die Vision einer CO₂-armen Stahlproduktion umzusetzen.

Minderungsstrategien:

Handlungsfeld Steigerung der Energieeffizienz

Strategien	Minde- rungs- po- tenzial (+, +, +, o)	Umsetz- barkeit (rot, gelb, grün)	Weitere Anmerkungen <i>(die Anmerkungen beruhen auf dem Kleingruppengespräch der AG2 am 12.11.12 und zusätzlichen Ergänzungen aus Hintergrundgesprächen mit Thyssen Krupp Steel und der Wirtschaftsvereinigung Stahl)</i>
Zunehmende Anteile Elektrostahl	o		begrenzender Faktor: Schrottaufkommen (weltweiter Stahlbedarf und entsprechender Bestand wachsen, Vgl. Prognose IEA) nicht kosteneffizient zu realisieren Substitution außerhalb von NRW, da in NRW keine EAF-Erzeugung von C-Stahl
Gichtgasrückführung (CO) in den Hochofen, um Koksbedarf zu senken (auch in Verbindung mit CCS)			
Einsatz hochreaktiver Materialien in Hochofen, um den Kokeinsatz zu reduzieren			
Hydrothermal Acid Regeneration Plant beim Beizen			



Strategien	Minde- rungs- potenzi- al (++, +, o)	Umsetz- barkeit (rot, gelb, grün)	Weitere Anmerkungen <i>(die Anmerkungen beruhen auf dem Kleingruppengespräch der AG2 am 12.11.12 und zusätzlichen Ergänzungen aus Hintergrundgesprächen mit Thyssen Krupp Steel und der Wirtschaftsvereinigung Stahl)</i>
Ablösung des Hochofens durch die Schmelzre- duktion			Insgesamt würden die energieintensive Verkokung der Kohle sowie ggf. auch das Sintern und Pelletieren des Eisenerzes entfallen. Das erste kommerzielle Verfahren dieser Art ist der Corex-Prozess, welches aber noch Eisenerzpellets benötigt (Fraunhofer ISI/IREES/Hassan 2011).

Handlungsfeld Energieträgerwechsel

Strategien	Minde- rungs- potenzi- al (++, +, o)	Umsetz- barkeit (rot, gelb, grün)	Weitere Anmerkungen <i>(die Anmerkungen beruhen auf dem Kleingruppengespräch der AG2 am 12.11.12 und zusätzlichen Ergänzungen aus Hintergrundgesprächen mit Thyssen Krupp Steel und der Wirtschaftsvereinigung Stahl)</i>
Änderung/Substitution des Reduktionsmittels: <ul style="list-style-type: none"> • HISarna-Verfahren • Kohle anstelle von Koks im Schmelzzyklon • Biomasse (Holzkohle) als Reduktionsmittel • Reduktion durch Altplastik 			
Substitution von Kokskohle durch Nutzung Direktreduktion auf Basis von Erdgas			



Handlungsfeld Reduktion prozessbedingter Emissionen

Strategien	Minderungs-potenzial (++, +, o)	Umsetz-barkeit (rot, gelb, grün)	Weitere Anmerkungen <i>(die Anmerkungen beruhen auf dem Kleingruppengespräch der AG2 am 12.11.12 und zusätzlichen Ergänzungen aus Hintergrundgesprächen mit Thyssen Krupp Steel und der Wirtschaftsvereinigung Stahl)</i>
Alternative Reduktionsmittel (Direktreduktion mit Gas > H ₂ > Strom)	+		Bei gasbasierten Verfahren verstärkte Abhängigkeit von Erdgas. H ₂ wurde bereits geprüft, aktuell keine wirtschaftliche Realisierungschance außerdem: hoher F+E-Aufwand, Randbedingung: mittelfristige Verfügbarkeit regenerativ erzeugten Wasserstoffs Elektrolyse Strom: extremer Strombedarf, nicht realistisch
Einsatz von CCS an BF/BOF-Anlagen	++		fehlende Randbedingungen; CCS-Infrastruktur und Nachsorge der Speicher ist als staatliche Aufgabe bereit zu stellen, Akzeptanz fehlt, Wirtschaftlichkeit nicht gegeben (ca. 55-60 €/tCO ₂ Abscheidkosten, nicht wirtschaftlich darstellbar in Relation zur Wertschöpfung von Stahl soweit nicht global umgesetzt)
Neue Herstellungsprozesse: kürzere Herstellungsrouten, weniger Prozessschritte, energiearme Verfahrensetappen, weniger Produktionsverschchnitt			

Klimaschutzplan Nordrhein-Westfalen



Strategien	Minde- rungs- potenzi- al (++, +, o)	Umsetz- barkeit (rot, gelb, grün)	Weitere Anmerkungen <i>(die Anmerkungen beruhen auf dem Kleingruppengespräch der AG2 am 12.11.12 und zusätzlichen Ergänzungen aus Hintergrundgesprächen mit Thyssen Krupp Steel und der Wirtschaftsvereinigung Stahl)</i>
Direkte Reduktion mit schneller Schmelzung			
Entwicklung von Prozessen, um hochwertige Stähle auch im EAF herzustellen (bisher nur in Hochofenroute) > z.B. Recycling optimieren, zur Verringerung von Verunreinigungen im Stahlschrott (verstärktes inländisches Schrottreycling; aber vs. Elektrochemie)			



Handlungsfeld Klimaverträgliche Gestaltung des Produktportfolios

Strategien	Minde- rungs- potenzi- al (++, +, o)	Umsetz- barkeit (rot, gelb, grün)	Weitere Anmerkungen



Weiterführende Literatur:

- Ahman, M.; Nikoleris, A.; Nilsson, L. J. (2012): Decarbonising industry in Sweden - an assessment of possibilities and policy needs. No. 77. Lund: Lund University.
- Arens, M.; Worrell, E.; Schleich, J. (2012): Energy efficiency improvements in the German steel sector – more than window dressing? Gehalten auf der ECEEE 2012 SUMMER STUDY ON ENERGY EFFICIENCY IN INDUSTRY, Arnhem, Netherlands.
- BCG (2010): CO₂-Bilanz Stahl - Ein Beitrag zum Klimaschutz. The Boston Consulting Group im Auftrag der Wirtschaftsvereinigung Stahl. www.stahl-online.de/medien_lounge/Hintergrundmaterial/ReportCO2BilanzStahl20100226adjustedfinalwithchangesv3.pdf. Last access: 02 Oktober 2012.
- EnBW; E.ON Energie; RWE Power; Vattenfall Europe (2009): Energiezukunft 2050: Teil II - Szenarien. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. http://www.ffe.de/download/berichte/Endbericht_Energiezukunft_2050_Teil_I.pdf
- Fraunhofer ISI; IREES; Hassan, A. (2011): Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen von industriellen Branchentechnologien durch Prozessoptimierung und Einführung neuer Verfahrenstechniken. Schlussbericht No. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FKZ 3709 46 130. Karlsruhe, Berlin: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), IREES GmbH, TU Berlin.
- IEA (2012): Energy technology perspectives 2012: pathways to a clean energy system. Paris: International Energy Agency (IEA).
- IT.NRW (2011): Energiebilanz und CO₂-Bilanz in Nordrhein-Westfalen 2009. No. E443200900. Statistischer Bericht. Düsseldorf: Information und Technik Nordrhein-Westfalen.
- LANUV NRW (2012): Emissionsminderungspotentiale der Eisen- und Stahlindustrie in NRW. FB 75. Essen: LANUV NRW.
- McKinsey Deutschland (2007): Kosten und Potentiale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland - Sektorperspektive Industrie. Berlin.
- UBA (Hrsg.) (2009): Politikszenerarien für den Klimaschutz V - Auf dem Weg zum Strukturwandel. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. Climate Change. Dessau-Roßlau.
- Viebahn, P.; Esken, A.; Fishedick, M. (2009): Energiewirtschaftliche, strukturelle und industriepolitische Analyse der Nachrüstung von Kohlekraftwerken mit einer CO₂-Rückhaltung in NRW. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.
- WI (2008): Stahl - ein Werkstoff mit Innovationspotenzial. Ergebnisse des Zukunftsdialogs Rohstoffproduktivität und Ressourcenschonung. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- WWF (2009): Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050. Vom Ziel her denken. Basel/Berlin.