

OFENABGAS – GEWINN ODER VERLUST?

Zusammenfassung

Der Weg zur Klimaneutralität oder sogar zu 'Net Zero' verlangt von Allen Mit- und Umdenken. Die aktuelle Elektrostahlherstellung muss umweltfreundlicher und klimaneutral werden, dazu sind gewisse Abläufe zu hinterfragen. Die Energie, die benötigt wird, um eine Tonne Stahl zu erschmelzen geht zu einem grossen Teil in Form von Hitze an die Umgebung, die Verbrennung von Kohlenstoff zu CO₂ ist damit eingeschlossen. Selbst wenn der CO₂-Anteil auf 0% zurückgehen könnte, bleibt die Abwärme ein Thema.

Die Abgasnutzung ist angedacht, die Effizienz ist grenzwertig, es ist höchste Zeit aus dem Kostenpotential 'Abgas' ein Sparpotential zu machen. Hier öffnen sich verschiedene Themenkreise, der Ofen selbst, die Schrottvorwärmung und Restwärmenutzung.

Der Elektrolichtbogenofen (LBO), dessen Grundzüge noch aus Urzeiten übernommen wurde, ist ein Konvektionsofen mit Absaugung = Hosenträger und Gurt! Der Elektrodenverbrauch ist hoch (Seitenabbrand), das Einschmelzen ungleichmässig (Schrottdome und Bärenbildung) und der Nutzen der Brenner gering.

Die Schrottvorwärmung – es gibt viele Konzepte - ist marginal und wird meist durch die nötige Abgasreinigung zu einem Null-Summenspiel.

Die Restwärmenutzung auf Grund der Verunreinigungen und Kontaminationen des Abgases nicht existent oder wenn eingesetzt mit erheblichem Unterhaltsaufwand verbunden.

Das ECOFEEDER® Konzept baut den LBO mit einer einfachen Änderung der Absaugung zu einem thermisch effizienten Ofen mit integrierter Schrottvorheizung um, bietet eine effiziente Zweikammerschrottvorheizung inklusive Abgasreinigung, einer Ofenluft-Vorwärmung und einer optionalen Restwärmenutzung.

Interessant an diesem Konzept ist neben dem schrittweisen Auf- und Umbau auch die Integrationsmöglichkeit des bestehenden Ofens.

Das Energie-Sparpotential ist sehr hoch (ca. 150-180kWh/t_{FS}), die Reduktion der CO₂-Emissionen sind je nach Fahrweise (Schaumschlacke auf C-basierend) hoch und es ergeben sich interessante metallurgische, unterhaltstechnische und kommerzielle Vorteile.

Fazit:

Das ECOFEEDER® Konzept erlaubt die bestehenden Produktionsstätten mit schlechter Abgasnutzung schrittweise in eine effiziente Anlage umzubauen, die das Ziel 'Klimaneutralität' weit vor dem Termin erreichen kann und kommerziell profitable ist.

Das Konzept setzt auch bei einem Neubau neue Massstäbe in Bezug auf effiziente Abgasnutzung und dem zufolge tiefste Produktionskosten.

Bestellen Sie eine Machbarkeitsstudie oder ein massgeschneidertes Angebot.

Die richtige Abgasnutzung ist der beste Weg für die Elektrostahlherstellung hin zur Klimaneutralität

Auch wenn die Elektrostahlherstellung 'nur' mit 8% der CO₂ Emissionen an der Gesamt-CO₂-Emission der Stahlherstellung beiträgt, ist es immer noch sehr viel! Auch die Elektrostahlherstellung ist gefordert die CO₂ Emissionen pro Tonne Stahl zu reduzieren. Je nach Quelle, Prozess und Nutzwerten produziert die Elektrostahlindustrie 300-400kg CO₂/t Flüssigstahl (t_{FS}).

Aktuell werden ca. 30% der Weltstahlproduktion im Elektrostahlwerk hergestellt, das sind bei einer Jahresproduktion von 1700 Mio. Tonnen Stahl ca. 520 Mio. Tonnen Stahl pro Jahr. Der Voraussage nach werden im Jahr 2050 ca. 2500 Mio. Tonnen Stahl benötigt und der Anteil der Elektrostahlherstellung wird auf ca. 50% steigen. Bei einer Zielvorstellung von 200kg CO₂/t_{FS} und einer systembedingten CO₂ Emission von min. 400kg CO₂/t_{FS} der Konverter-Linie würden dann für die Elektrostahlherstellung 0kg CO₂/t_{FS} resultieren!i

Nun, abzuschätzen, ob diese Voraussage eintreffen wird oder nicht, ist nicht der Inhalt dieses Artikels. Hier geht es mehr darum, aufzuzeigen wie dieses Ziel mit konsequentem Umsetzen von bekannten und bereits erprobten Massnahmen erreicht werden kann.

Es ist allgemein anerkannt, dass die Verluste, die beim E-Ofen in Form von Heissgas anfallen, 'einfach' zurückgewonnen werden können. Nur, werden sie effizient und maximal zurückgewonnen?ii

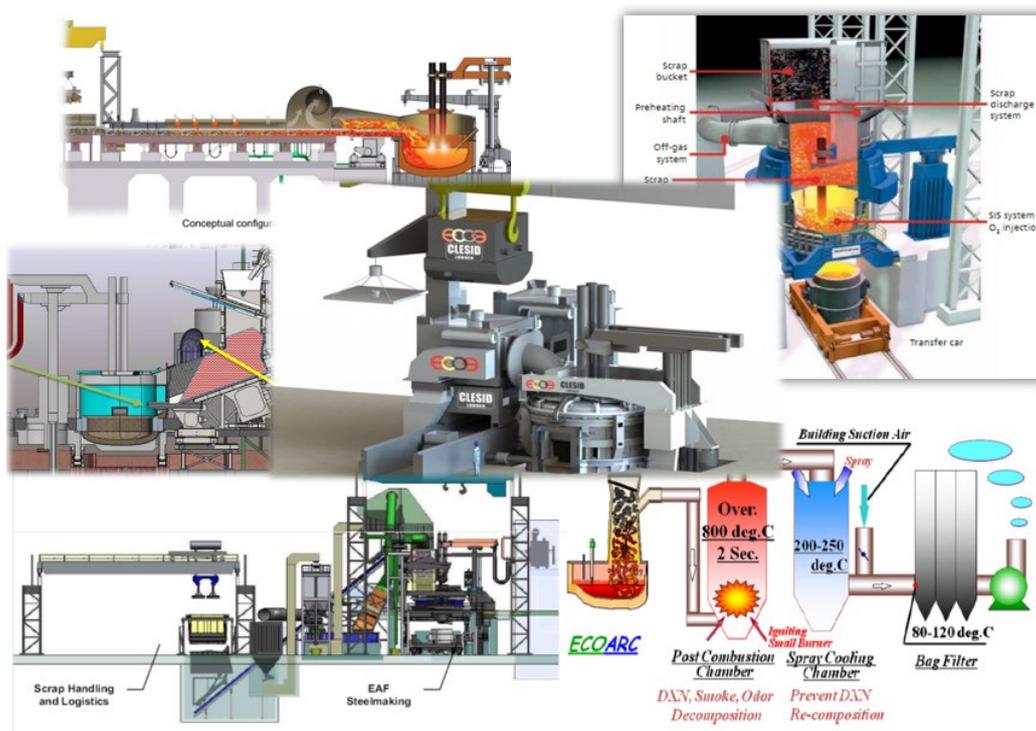


Abbildung 1 / Einige moderne Schrottvorheizsysteme (ECOFEEDER®, Consteel, Sharco, ECOArc, Quantum, Ismelt)

In einem unserer Artikel ('der Energie (Pr)eisbrecher')iii haben wir aufgezeigt, dass beim einmaligen Durchlaufen des Heissgases durch kalten Schrott nur ein Teil der Energie, die im Heissgas enthalten ist, an den Schrott übergeht. Es ist

allgemein bekannt, dass die Wärmeübertragung unter anderem eine Funktion der Kontaktzeit ist, die den zwei Medien bleibt, um sich auszutauschen. Weiter ist auch bekannt, dass die Wärmeübertragung auch eine Funktion der Differenztemperatur der beiden Medien über die Austauschstrecke ist. Die Kontaktzeit und die Austauschstrecke sind wiederum eine Funktion der Geschwindigkeit, mit der das heiße Medium das kalte um- und durchströmt.

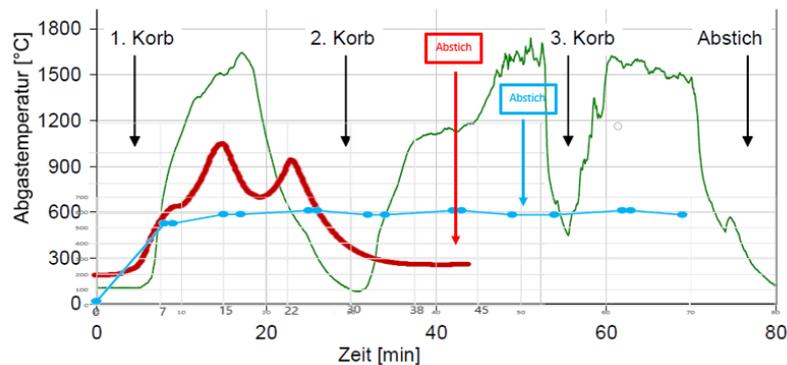


Abbildung 2 / Abgastemperaturen (LBO ohne Schrottvorwärmung (grün), Schachtofen (rot), ECOFEEDER® (blau))

Da die im Fall der Abgasnutzung herrschende Gasgeschwindigkeit, d.h. die Durchlaufzeit nicht beliebig gewählt werden kann, da sie ihrerseits von anderen Faktoren abhängt, ist es naheliegend, dass die Durchlaufstrecke entsprechend vergrößert werden muss. Dies ist wiederum auf Grund des Schrottvolumens (Beladung des Ofens) nicht unbeschränkt möglich. Die Lösung: das Zweikammersystem. Durch den zweifachen Durchlauf wird die Schrott-Endtemperatur um einiges höher als bei den Einkammersystemen und die externe Nachbehandlung der Verbrennungsprodukte wird obsolet, d.h. unnötig da integriert, was sich sehr **kostensparend** auswirkt. Auch das Restgas, das mit einer konstanten Temperatur anliegt (siehe blaue Linie in der Abb. 2) kann ideal weiter genutzt werden, da es nahezu staubfrei ist.

Das Klimaziel, die Reduktion des CO₂, dem Hauptanteil an den Treibhausgasen (CO₂, Methan und Stickoxyde) ist eine Sache, es gilt aber auch die Hitze, die nicht durch die Verbrennung von Kohlenstoff entsteht, die aber auch an die Umgebung abgegeben wird, zu reduzieren. Man kann sich ausmalen, was in einem Gewächshaus passiert, das auch von innen geheizt wird.

In einem anderen Artikel ('Alles warme Luft? ')iv haben wir aufgezeigt, dass mit einfachen Überlegungen ein thermisch effizienterer Gasfluss erzwungen werden kann, der einerseits den Abbrand der Elektroden vermindert – **sehr kosteneffektiv**, und andererseits den Schrott im Ofen noch vor dem eigentlichen Schmelzen vor- und aufheizt (aktive Schrottvorheizung im Ofen), was **energiesparend** ist. Dieser einfache und kostengünstige Umbau wäre bereits ein erster Schritt in die richtige Richtung (hin zum angestrebten Klimaziel) und hin zu einer aktiven Schrottvorheizung, die in einer zweiten Umbauphase umgesetzt werden kann (Anbau einer Zweikammerschrottvorheizung (ECOFEEDER®)).

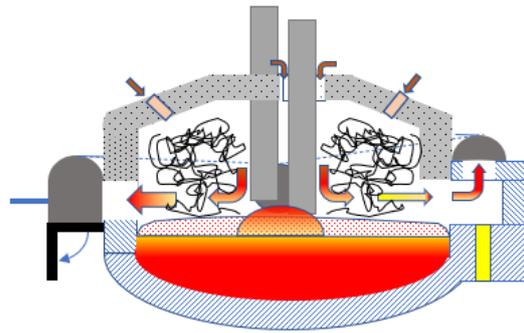


Abbildung 3 / Interne Schrottvorheizung

Die elektrische Energie, die über den Lichtbogen eingebracht wird, erzeugt die thermische Energie, die für den Schmelzprozess des Schrotts benötigt wird. Um den Lichtbogen wird ein Hochtemperaturplasma gebildet, das einerseits den Schrott schmelzen lässt und andererseits zusammen mit dem in der Umgebungsluft vorhandenen Sauerstoff Eisenoxyd (FeO) bildet. Das Plasma erhitzt aber nicht nur den Schrott, sondern auch die direkte Umgebungsluft, was zu einer Volumenvergrößerung führt (stark vereinfachte Beschreibung). Das Abgassystem muss dafür sorgen, dass einerseits genügend 'Frisch'-luft zugeführt wird und andererseits die 'verbrauchte' Luft abgesogen wird, der 'Ofen' muss leben können. Das viel zitierte Schliessen der Schlackentüre kann eventuell bewirken, dass der Schmelzprozess so beeinflusst wird, dass Sauerstoff, der für die Produktion der Schaumslagge vorgesehen ist, plötzlich fehlt und sich der Schaum nicht entwickelt. Wie im vorgenannten Artikel beschrieben, muss dem Ofen Sauerstoff zugeführt werden. Der Sauerstoff kann über die angesaugte Luft (Falschluff) oder direkt eingebracht werden. Die Falschluff kann mit Sauerstoff angereichert sein und kann, falls ohne Aufwand möglich, vorgeheizt sein (**spart Energie im Ofen**), wichtig ist aber, dass die Flussrichtung stimmt. Ansaugen über die offene Schlackentüre kühlt den Schrott an dem Ort, an dem er eigentlich schmelzen sollte, es bilden sich dort die Schlackentürbären.

Wie beschrieben ist das 4. Loch im traditionellen Elektrolichtbogenofen (LBO) thermisch am falschen Ort. Warum? Weil der LBO fälschlicherweise als Konvektionsofen gebaut wird, obwohl er eine Zwangsabsaugung hat! Das Ziel des Ofens ist primär das Schmelzen des Schrotts und nicht die Produktion von heissem Abgas. Dies gilt auch für alle Schachtofenanlagen. Die Idee von Gerhard Fuchs, die ohne Zweifel in die richtige Richtung ging, wurde bis heute nicht richtig zu Ende gedacht. Das Abgas muss und kann bedeutend effizienter genutzt werden als in den bekannten Einkammersystemen (Quantum, Sharc, EcoARC, Consteel etc.).

Das Einkammersystem war der erste Schritt in Richtung einer energie- und umweltbewussten Stahlherstellung.

Der ECOFEEDER® ist der nächste Schritt. Der ECOFEEDER® nutzt nicht nur die Hitze der Abgase nach dem Ofen, sondern eben auch im Ofen. Dadurch wird ein gleichmässiges und komplettes Einschmelzen des bereits vorgewärmten Schrotts erzielt. Dies geschieht ohne weitere Energiezufuhr, nur durch eine thermisch bessere Nutzung der Ofenluft. Ein überaus wichtiger Nebeneffekt ist, dass die Elektroden durch den Zuluftstrom gekühlt werden, das heisst weniger Seitenabbrand, sowohl am

Deckelherz als auch in der Schrottsäule. Die eingesetzten Brenner unterstützen den Abgasfluss, indem sie über die Automatik je nach Abflussöffnung eingesetzt werden. Danach wird das Abgas im ECOFEEDER® horizontal und vertikal durch den Schrott geführt, so dass eine bessere 'Benetzung' der Schrottoberfläche resultiert. Die Nutzung der Abgaswärme wird unterstützt durch den im Behälter stattfindenden Abbrand der Verunreinigungen und die vollständige Verbrennung des CO zu CO₂, der Nachverbrennung. Die Summe dieser Energien bewirkt einen raschen Anstieg der Schrotttemperatur. Das Restgas mit den Verbrennungsprodukten wird in der nachfolgenden Brennerkammer wieder auf ca. 1000°C erhitzt und danach in den zweiten Behälter geleitet.

Dank den grossen Querschnittsveränderungen und den damit einhergehenden Geschwindigkeitsunterschieden erzielen wir eine optimale Wärmeübertragung und der mitgeführte Staub (FeO und Schlackenstaub) kann sich in den Behältern absenken.

Der ECOFEEDER® ist ein Abgasnutzungssystem, das als externer Anbau (anstelle der Nachbrennkammer) an einen bestehenden LBO (einzige Änderung am Ofen: die Abgasführung (blauer Taurus und brauner Zuluftring auf dem Ofendeckel (Abbildung 4))) oder als Gesamtlösung (Vorteil: kein Öffnen des Ofendeckels) mit asymmetrischer Ofenform, die ausschliesslich zur Schrottzufuhr in den Ofen benutzt wird, geliefert wird.

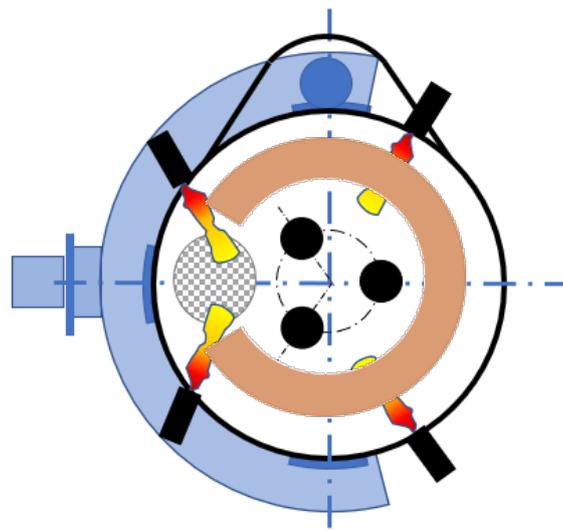


Abbildung 4 / Prinzip Skizze: EBT- LBO mit Abgas- (blau) und Zuluf-Ring (orange) und DRI zugabe (ex 4. Loch)

Durch die Abgas- und Brennersteuerung wird der Schrott im Ofen gleichmässig vorgeheizt. Die Übergangszone Schrott/Flüssigmetall ist ausgeglichener und **es bilden sich weniger Kaltinseln und Schrottdome**. Dadurch kann sich auch die Schaum Schlacke besser aufbauen und verteilen.

Die angereicherte (zur Verringerung der NO_x-Werte) und vorgewärmte Luft fliesst über den orangenen Zuluf-Ring über den Deckel, entlang den Elektroden zum Plasma und weiter zu den jeweiligen Abgasöffnungen.

Die ECOFEEDER® Familie

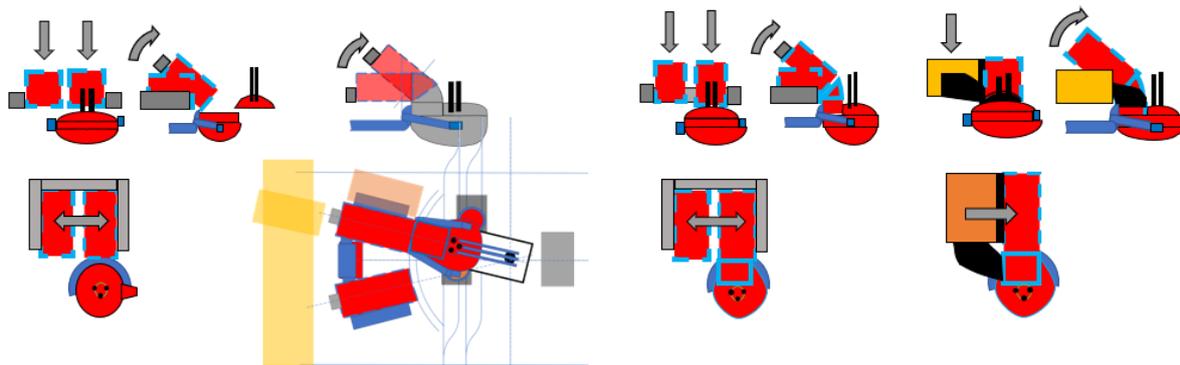


Abbildung 5 / Die ECOFEEDER® Versionen mit verbesserter Abgasführung

Die Vorteile des ECOFEEDER® Konzepts können in 5 Gruppen aufgeteilt werden:

1. Direkte Energiesparmassnahmen, d.h. weniger Kosten
 - a. Höhere Vorheiztemperatur des Schrotts bis ca.750°C (-130kWh/t_{FS})
 - b. Richtige Abgasführung im Ofen → bessere Nutzung der Energie
 - c. Integrierte Verbrennung und Nutzung der Schadstoffe (-30kWh/t_{Schrott})
 - d. Integrierte Nutzung der Nachverbrennung CO→CO₂
 - e. Integrierte Nutzung der Zusatzbrenner (PCDD/F) (-60kWh/t_{FS})
 - f. Integrierte Ofenluftvorheizung (~300°C) (-15kWh/t_{FS})
 - g. Konstante Restgastemperatur (~600°C)
2. Direkte und indirekte Minderung der CO₂ Emissionen, d.h. weniger Kosten, weniger Umweltbelastung
 - a. Bessere Brennernutzung, dadurch weniger Brenner im Einsatz
 - b. Angereicherte Ofenluft mit Vorheizung (~300°C), dadurch weniger NO_x
 - c. Optimales Abgasmanagement durch Automation
 - d. Kleinerer Materialverbrauch (Schlackenbildner/Ausmauerung)
3. Metallurgische Vorteile, d.h. Vorteile die sich qualitativ und quantitativ ergeben
 - a. Nutzwertanalyse und Optimierung
 - b. Chargenneutrale Vorheizung (keine Vermischung)
 - c. Keine Schrottberge im Ofen
 - d. Weniger Elektrodenbrüche
 - e. DRI-Vorheizung und kontinuierliche DRI-Zufuhr möglich (C und Schlacke)
4. Unterhaltungsvorteile und Flexibilitätsgewinn, d.h. weniger Kosten
 - a. Heisspeicherung des vorgeheizten Schrotts möglich
 - b. Besserer Zugang zu den Elektroden
 - c. Produktion während Unterhalt / Reparatur
 - d. Keine Verschleissteile an exponierten Positionen
5. Kommerzieller Vorteil, d.h. besser Rendite
 - a. Kleinerer Elektrodenverbrauch (weniger Abbrand)
 - b. Staub verbleibt im Schrott → weniger Abfall
 - c. Weniger Verschleiss bei der Ausmauerung
 - d. Kleinere Ofenkühlleistung nötig (dank interner Vorheizung und besserer Ausbildung der Schaumslagge)

Diese überzeugenden Vorteile der ECOFEEDER® Familie werden noch durch eine einfache Realisation der Anlage unterstützt, so ist z.B. ein schrittweiser Um- und Aufbau möglich.

Realisation einer Anlage

In einem ersten Schritt kann der Ofen mit wenigen Änderungen von einem ineffizienten Konvektionsofen in einen thermisch effizienteren Ofen gewandelt werden. Das ermöglicht erste Einsparungen. Nach erfolgter Inbetriebnahme und ersten Erfahrungen kann ein ECOFEEDER® E an den abgeänderten Ofen angebaut werden. Dieser Umbau besteht aus drei Teilen, die in der Werkstatt vormontiert werden. Die Umbauten auf der Baustelle sind in wenigen Wochen realisierbar. Die Energieeffizienzsteigerung mit dem ECOFEEDER® E ist gross, aber noch nicht optimal. Um den Energieverlust beim Öffnen des Ofendeckels zu eliminieren, kann der ECOFEEDER® E in einen ECOFEEDER® MC umgebaut werden. Dies ist je nach Ofenform aufwändiger. Anpassung des Unter- und Oberofens, eventuell der Plattform und des Ofendeckels und Erstellen des Gerüsts mit dem 'Einfüllstützen'. Der ECOFEEDER® E muss dafür nicht wesentlich umgebaut werden. Diese Modifikation kann je nach Aufwand mehrere Wochen bis Monate dauern.

DRI als Schrottzusatz/Ersatz

Optional kann beim ECOFEEDER® eine kontinuierliche DRI-Förderung an Stelle des 4. Loches installiert werden.^v Als Konsequenz müssten dann jedoch anstatt der reinen Oxy-Brenner (O-H oder O-CH₄) Kombibrenner (Brenner & O-Lanzen-Kombinationen) eingesetzt werden. Das DRI kann so optimal befeuert und eingeschmolzen werden. Das DRI ermöglicht eine optimale Schaumschlackenbildung und damit eine Effizienzsteigerung der Lichtbogenenergie und eine Verminderung der Kühlleistung an den Paneelen.

Dank der Nutzwertanalyse kann ein optimales Betriebsmodell aufgestellt werden, bei dem der Anteil DRI/Schrott ideal eingestellt werden kann.

Fazit

Das ECOFEEDER® Konzept erlaubt die bestehenden Produktionsstätten mit schlechter Abgasnutzung schrittweise in eine effiziente Anlage umzubauen, die das Ziel 'Klimaneutralität' weit vor dem Termin erreichen kann und kommerziell profitable ist.

Das Konzept setzt auch bei einem Neubau neue Massstäbe in Bezug auf effiziente Abgasnutzung und dem zufolge tiefste Produktionskosten.

Bestellen Sie eine Machbarkeitsstudie oder ein massgeschneidertes Angebot.

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

ⁱ 'International Energy Authority G20 Hydrogen report, the future of hydrogen and assumptions', International Energy Authority IEA

ⁱⁱ 'CO₂-Verminderung in der Metallerzeugung', Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH FfE, 2018

ⁱⁱⁱ 'Der Energie (Pr)eisbrecher (1)', www.eco-eag.com/Deutsch/Download, eco-e AG, 2022

^{iv} 'Alles warme Luft!', www.eco-eag.com/Deutsch/Download, eco-e AG, 2022

^v 'DRI – Zukunft für die Stahlindustrie?', www.eco-eag.com/Deutsch/Download, eco-e AG, 2022