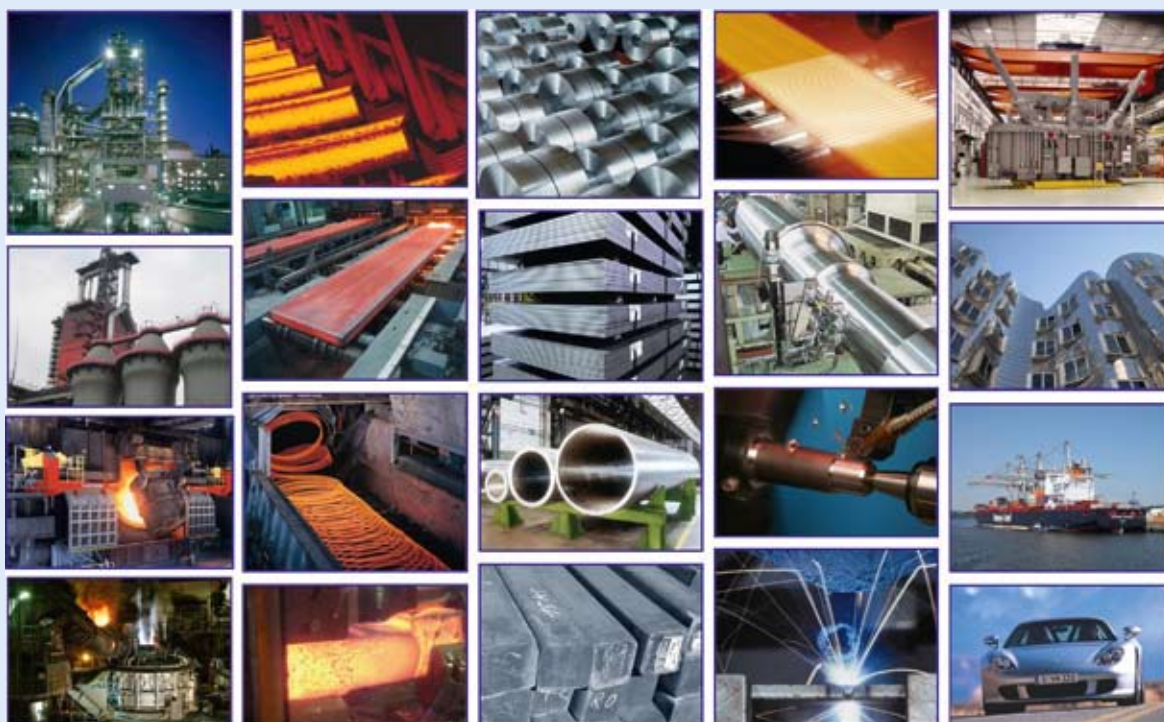


Peter Dahlmann, Gerhard Endemann, Hans Jürgen Kerckhoff, Hans Bodo Lünen

Wege zur Effizienzsteigerung in der Stahlindustrie

Faktensammlung
(Stand: September 2010)



Stahlinstitut VDEh
Wirtschaftsvereinigung Stahl

Eine leistungsfähige, wirtschaftliche und damit konkurrenzfähige Stahlerzeugung ist nur mit einer nachhaltigen und effizienten Produktion möglich. Seit jeher waren die Betreiber der Anlagen zur Erzeugung von Eisen und Stahl darum bemüht, die Erzeugungskosten zu senken und mit steigender Effizienz hochwertige Stahlprodukte herzustellen. Zahlreiche anlagen- und verfahrenstechnische Entwicklungen haben dazu geführt, dass der Rohstoff- und Energieeinsatz verringert, das Ausbringen erhöht und der Umweltschutz verbessert wurden. Diese Entwicklung ist unmittelbar an die bedarfsgerechte Versorgung mit hochwertigen Rohstoffen gekoppelt. Im gemeinsamen Dialog zwischen Rohstofflieferant und Stahlerzeuger war es über mehrere Jahrzehnte gängige Praxis, die Qualitäten stetig zu verbessern und insbesondere die Gehalte an unerwünschten Begleitelementen in den Basisrohstoffen zu verringern. Hier ist allerdings in den letzten Jahren aufgrund der extrem gestiegenen Nachfrage nach Rohstoffen und Veränderungen bei den Lagerstätten eine neue Situation entstanden, die die Anlagenbetreiber vor neue Herausforderungen bezüglich der Rohstoffflexibilität und -qualität stellt.

Effizienz bei der Stahlerzeugung

Im Jahr 2008 wurden in Deutschland zur Erzeugung von 45,8 Millionen t Rohstahl 92 Millionen t Rohstoffe, wie Eisenerz, Kohle, Stahlschrott, Zuschlagstoffe, Legierungsmittel, Öl und Feuerfestmaterialien eingesetzt, **Bild 1**. Daraus wurden 43,9 Millionen t Stahlfertigerzeugnisse unterschiedlicher Sorten zur direkten oder indirekten Versorgung verschiedener Branchen mit Walzstahl hergestellt. Der spezifische Energieverbrauch betrug 18,0 GJ/t Rohstahl oder 824 Millionen GJ im gesamten Jahr. Der Umsatz lag bei 51,5 Mrd. EUR, die Anzahl der Beschäftigten über

90.000. Das entspricht einer Erzeugung von rd. 490 t Stahlerzeugnisse je Beschäftigtem im Jahre 2008.

Im Vergleich zum Jahr 1980 konnte der Einsatz an Rohstoffen für die Rohstahlerzeugung von 2336 auf 2015 kg/t Rohstahl im Jahr 2008 um 321 kg (-13,7%) oder absolut um 14,7 Millionen t/Jahr verringert werden, **Bild 2**.

Die Nutzung von Stahlschrott zur Herstellung von Stahl ist eines der ältesten Recyclingverfahren. Sein Anteil hat im genannten Zeitraum von spezifisch 370 auf 452 kg/t

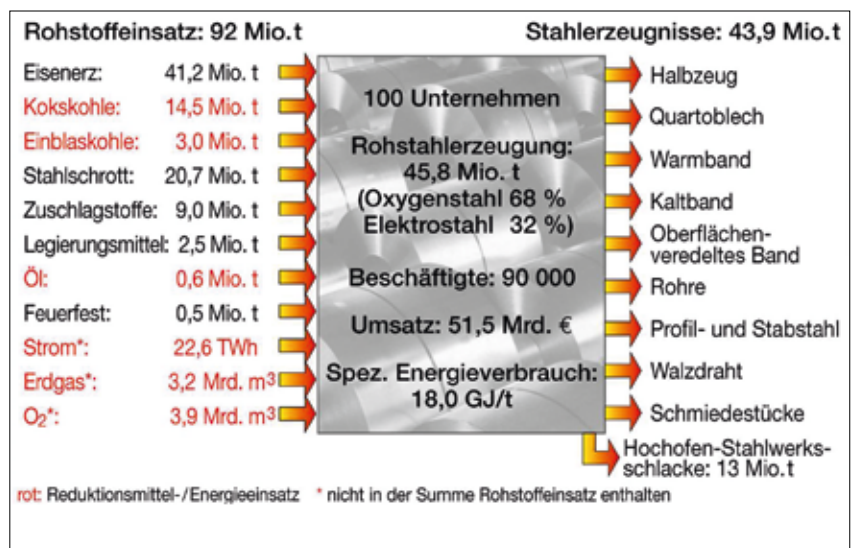


Bild 1 Stahlerzeugung in Deutschland 2008

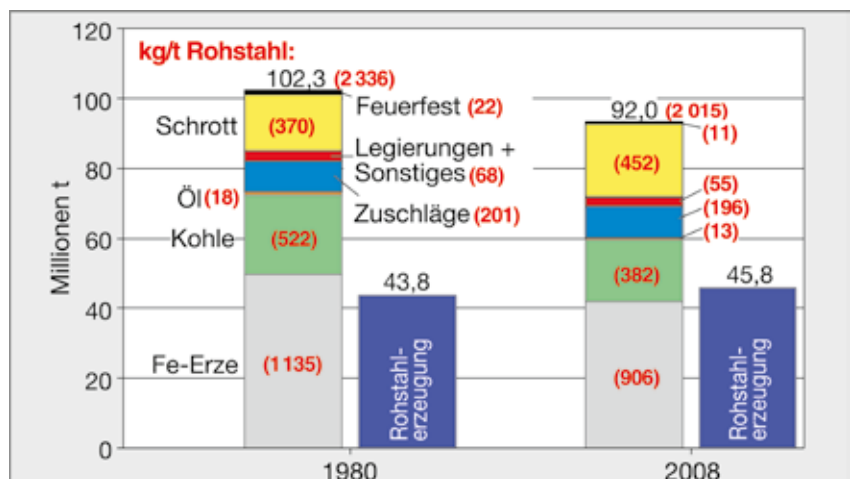


Bild 2 Rohstoffeinsatz für die Stahlerzeugung in Deutschland 1980 und 2008

■ Wege zur Effizienzsteigerung in der Stahlindustrie

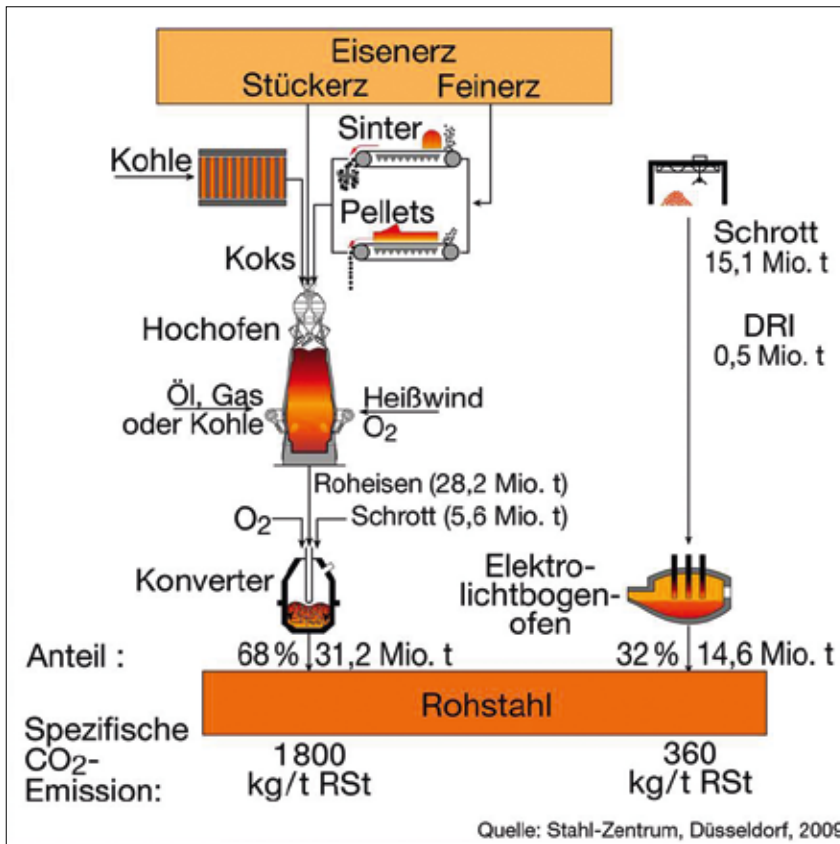


Bild 3
Zwei Wege zur Herstellung von Stahl in Deutschland 2008

Rohstahl zugenommen. Der spezifische Verbrauch an Kohle ging in diesem Zeitraum um 140 kg oder absolut um 6,4 Millionen t zurück. Das allein entspricht schon einer Verminderung der CO₂-Emission um rd. 18 Millionen t pro Jahr.

Die Erhöhung des Eisenausbringens bei der Stahlerzeugung ist ein weiterer Indikator zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Das Gesamtausbringen von Walzstahl zu Fe-Einsatz stieg seit 1960 um 24 Prozentpunkte von 65 auf 89%.

Die Maßnahmen der Stahlindustrie zur Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit und der Wirtschaftlichkeit sind wirkungsvoll. Der spezifische Energieverbrauch wurde von knapp 30 GJ/t Rohstahl im Jahre 1960 über 23 GJ im Jahre 1980 auf heute 18 GJ/t Rohstahl (-40%) abgesenkt. Die spezifische CO₂-Emission fiel im gleichen Zeit-

raum von 2,4 t CO₂/t Rohstahl auf 1,4 t CO₂/t Rohstahl um 42%.

Von den vielen Maßnahmen der Anlagenbetreiber und Anlagenbauer, die zu diesen Erfolgen geführt haben, sollen hier nur einige der besonders CO₂-wirksamen hervorgehoben werden, wie:

- Verringerung des Reduktionsmittelverbrauchs bei der Roheisenerzeugung im Hochofen,
- Zunahme des Anteils der Elektrostahtlerzeugung sowie Prozessinnovationen,
- Einführung von neuen Ressourcen schonenden Dünnbrammenanlagen und Gießswalzverfahren sowie
- ständige energetische Prozessoptimierung durch Energierückgewinnung und Verbesserung der Kuppelenergiewirtschaft.

Die Stahlproduktion

Stahl ist industrieller Werkstoff Nr. 1. Es gibt in Deutschland zwei etablierte Wege der Herstellung von Stahl, Bild 3. Bei der Verfahrensrouten über den Hochofen mit seinen Vorstufen Kokerei und Sinteranlage wird im Hochofen aus Eisenerzen sowie Koks und Kohle flüssiges Roheisen erzeugt, welches anschließend im Sauerstoffkonverter unter geringen Schrottzusätzen zu flüssigem Rohstahl weiterverarbeitet wird. Diese Verfahrensrouten ist von der Gasversorgung her autark durch Nutzung der Energieinhalte der Kuppelgase aus Kokerei, Hochofen und Sauerstoffkonverter für Unterfeuerung und Beheizung sowie zur Erzeugung elektrischer Energie.

Bei der anderen Route über den Elektrolichtbogenofen wird mit Hilfe von elektrischer Energie über einen Lichtbogen Stahlschrott und/oder - in allerdings vergleichsweise geringen Anteilen - Direkt Reduziertes Eisen (DRI) zu flüssigem Rohstahl erschmolzen. Da bei dieser Prozessroute keine Kuppel-

energie anfällt, muss Energie importiert werden.

Beiden Verfahren sind zur Herstellung der gewünschten Stahlsorten weitere Prozessstufen nachgeschaltet. Zwei Drittel des in Deutschland produzierten Stahls werden über die Hochofen-Konverter-Route erzeugt, ein Drittel im Elektrostahlwerk. Beide Verfahren zur Stahlerzeugung sind energieintensiv. In Deutschland wird 42 % des erzeugten Stahls aus Stahlschrott erzeugt. Dies belegt die Nachhaltigkeit der Stahlproduktion, die sich insbesondere in dem geschlossenen Kreislauf Stahlschrottreycling dokumentiert.

Ressourceneffizienz in der Produktion

Die Erzeugungsrouten von den Rohstoffen bis zu den Stahlfertigprodukten sind sehr komplex und jede einzelne Prozessstufe bot und bietet den Anlagenbauern und Betreibern stetig Optimierungsmöglichkeiten. Das **Bild 4** veranschaulicht im Überblick für die jeweiligen Erzeugungstufen das breite Feld der Maßnahmen zur Effizienzsteigerung, ohne hierbei einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Für alle Anlagen hat dabei die Weiterentwicklung in der Automatisierungs- und Steuerungstechnik einen wesentlichen Anteil an dem heute erreichten hohen Niveau der Leistungsfähigkeit und Prozesssicherheit. Im Folgenden sind die wesentlichen Maßnahmen des Bildes 4 erläutert und in den eingeklammerten Zahlen im Text des Bildes identifiziert.

Kokereien (1):

Koks ist das wichtigste Reduktionsmittel für den Hochofenprozess. Er wird aus schwefelarmer Kohle mit guten Backeigenschaften durch Erhitzen unter Luftabschluss in Kokereien hergestellt.

Europa ist im Kokereianlagenbau führend in der Welt. Hier werden auch die modernsten Kokerei-

anlagen betrieben. Mit höheren, längeren und vor allem breiteren Koksofenkammern erfolgte beim Neubau von Kokereien zwischen 1970 und 1984 eine Verdopplung der Kammervolumina auf 70 m³. Im Jahre 2003 ist dann die weltweit modernste Kokerei mit dem bislang mit Abstand größten Kammervolumen von 93 m³ in Duisburg-Schwegern in Betrieb gegangen¹⁾. Die Anlage erzeugt mit 140 Öfen jährlich 2,6 Millionen t Koks. Die Einzelkammerdruckregelungen (1.1) Proven von DMT und Uhde²⁾ sowie Sopreco von Paul Wurth³⁾ leisten einen Beitrag zur Vermeidung von Emissionen an den Koksofentüren. Diese Systeme sind z.B. bei der Kokerei Schwegern in Duisburg (Proven) und bei der neuen Batterie 3 der Zentralkokerei Saar in Dillingen (Sopreco) in Betrieb. Bei der Kühlung des Kokses sind Staub-, CO-, SO₂- und H₂S-Emissionen zu vermeiden bzw. zu verringern. Mit dem bei HKM entwickelten und in Schwegern weiter verbesserten CSQ-Nasslöschverfahren (Coke Stabilized Quenching) (1.2) sind erhebliche Fortschritte erzielt worden⁴⁾. Die erreichten Emissionswerte sind vergleichbar mit denen des Kokstrockenkühlverfahrens oder zum Teil besser. Der Koks ist stabilisiert und bringt damit Vorteile im Hochofen; die Investitions- und Betriebskosten sind gravierend niedriger. Beim Betrieb der Kokereianlagen konnte durch Optimierungsmaßnahmen in den letzten Jahren der Energieverbrauch für die Unterfeuerung von 3,7 im Jahre 1998 auf heute unter 3,45 GJ/t Koks (trocken), also um 7,2 % verringert werden⁵⁾. Das wasserstoffreiche und energetisch hochwertige Koksofengas wird heute zu Beheizungszwecken und zur Stromerzeugung verwendet.

Sinteranlagen (2):

In der Sinteranlage werden feinkörnige Eisenerze für den Einsatz im Hochofen stückig gemacht, d.h. agglomeriert. Der Sinterprozess er-

Maßnahmen zur Optimierung der Energie- und Materialeffizienz in der deutschen Stahlindustrie

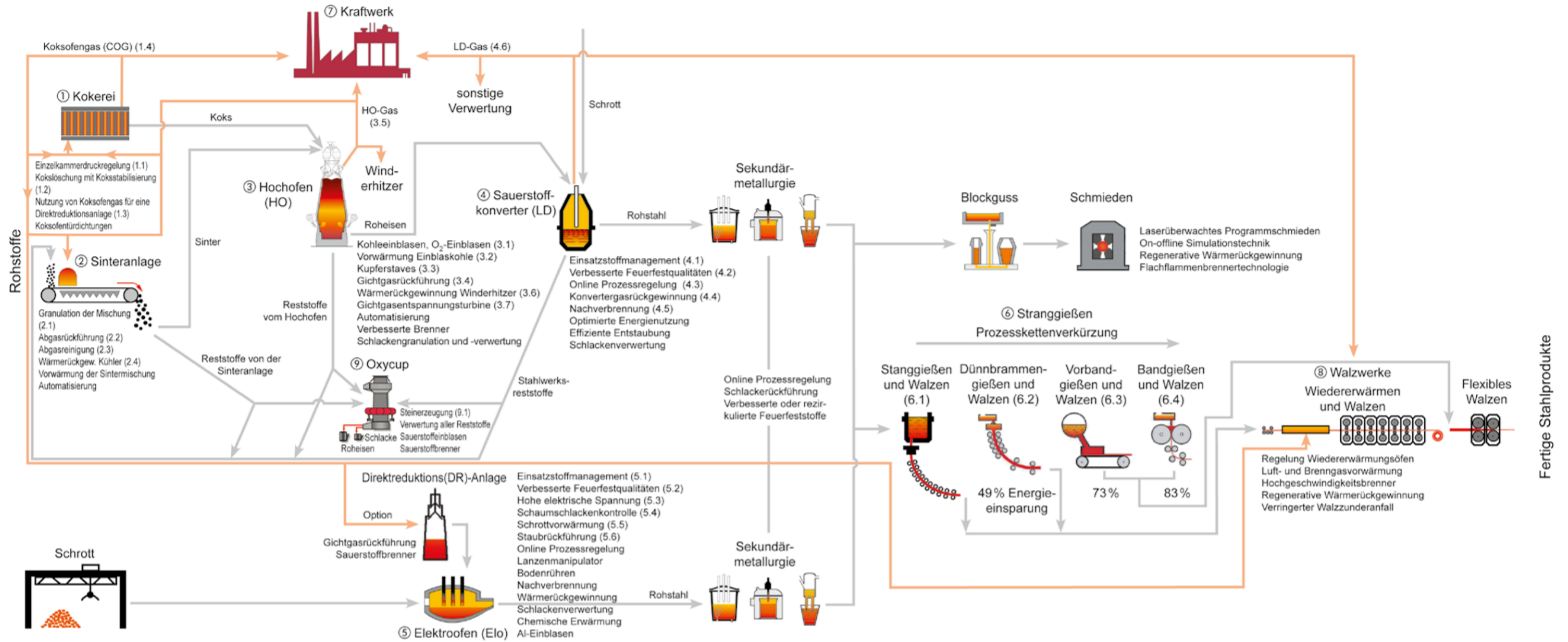


Bild 4
 Maßnahmen zur Optimierung der Energie- und Materialeffizienz in der deutschen Stahlindustrie

möglichst, dass alle für die Verschlackung der Gangartbestandteile der Einsatzstoffe im Hochofen erforderlichen Schlackenbildner in den Sinter eingebunden werden können. Das spart Energie im Hochofenprozess. Außerdem kann ein Großteil der in einem Hüttenwerk erzeugten -meist eisenhaltigen- Wertstoffe über die Sinteranlage recycelt werden. Zur Steigerung der Effizienz der Sinteranlage sind Maßnahmen der Mischungsvorbereitung (2.1) und Mischungsvorwärmung (2.2) in der Erprobung. Sinteranlagen sind bezüglich der Umweltverträglichkeit regelmäßig im Fokus der Diskussion. Um den Sinterprozess so umweltverträglich wie möglich zu gestalten und die Auflagen der Behörden zu erfüllen, sind in den letzten Jahren in Zusammenarbeit zwischen Sinteranlagenbetreibern und Anlagenbaufirmen aufwendige technische Lösungen entwickelt worden, die den Prozess weiter optimierten und seinen Fortbestand gewährleisten⁶. Es sind mittlerweile Werte im Reingas der Sinteranlagen erreicht worden, die vor einigen Jahren für kaum möglich erachtet wurden und die die behördlichen Vorgaben erfüllen. Dazu zählen die selektive Abgasrückführung (2.2) in den Sinterprozess sowie neben der Verbesserung von Elektrofiltern die Nachrüstung von hoch effizienten Tuchfilteranlagen (2.3).

Hochöfen (3):

Im Hochofenprozess wird mit Kohlenstoff und Sauerstoff ein Reduktionsgas erzeugt (CO), das den oxidischen Eisenerzen den Sauerstoff entzieht. Dabei werden auch unerwünschte Begleitelemente aus den Einsatzstoffen weitgehend entzogen und in Schlacke eingebunden. Roheisen und Schlacke werden flüssig bei einer Temperatur von ca. 1500°C abgestochen und in dem Rinnensystem der Gießhalle voneinander getrennt. Zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit des Hochofenprozesses werden seit den 1960er Jahren Ersatzreduktions-

mittel zur Verringerung des Koksverbrauches über die Blasformen in den Hochofen eingeblasen. Seit Mitte der 1980er Jahre erfolgt dies zunehmend über das Einblasen von Kohlenstaub (3.1) mit Sauerstoffanreicherung des Windes oder Sauerstoffeinblasen⁷. Die Vorwärmung der Einblaskohle (3.2) zur Optimierung des Energieverbrauches ist noch in der Entwicklung.

Mit 493,1 kg/t RE gesamt konnte der Reduktionsmittelverbrauch

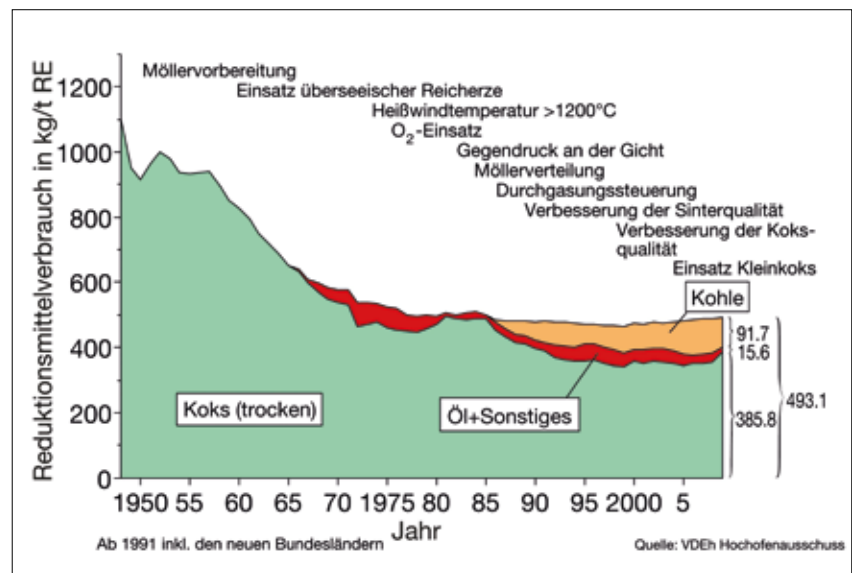


Bild 5 Entwicklung des durchschnittlichen Reduktionsmittelverbrauches der Hochöfen in Deutschland

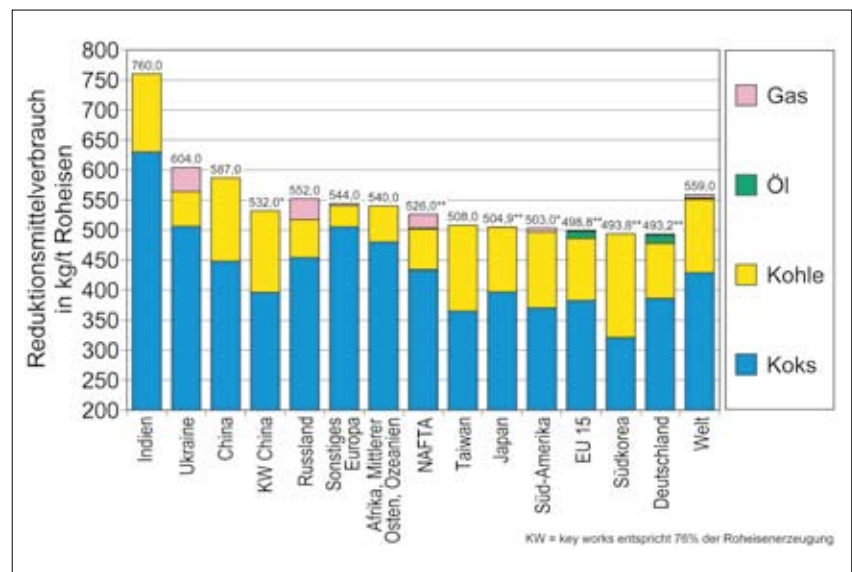


Bild 6 Durchschnittlicher Reduktionsmittelverbrauch der Hochöfen in verschiedenen Regionen der Welt, 2007/2008*/2009**

der Hochöfen Deutschlands im Jahre 2009 gegenüber 1960 um 40% gesenkt werden⁷⁾, Bild 5. Es ist jedoch zu erkennen, dass die Kurve in den letzten Jahren einen asymptotischen Verlauf aufweist. Unter den heutigen Voraussetzungen der Rohstoffversorgung ist das verfahrenstechnische und physikalisch mögliche Minimum beim Reduktionsmittelverbrauch der Hochöfen erreicht. Im internationalen Vergleich liegen die deutschen wie auch die europäischen Hochöfen beim Reduktionsmittelverbrauch in der Spitzengruppe, Bild 6.

Die Wirtschaftlichkeit des Hochofenverfahrens wird auch durch die Länge einer Ofenreise, dem Zeitraum zwischen zwei Neuzustellungen, bestimmt. Vor einigen Jahren noch lagen die Ofenreisen bei rd. 10 Jahren, heute werden Ofenreisen von 15 bis über 20 Jahren realisiert. Einen Beitrag dazu haben bei der Kühlung des Hochofenpanzers die in Deutschland entwickelten Kupferstaves (3.3) geleistet⁸⁾. Aufgrund ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit bilden sie einen schützenden Ansatz vor dem Stavekörper, was eine Verringerung der Dicke des Feuerfestmauerwerks und somit Einsparungen

beim Feuerfestmaterial ermöglicht und gleichzeitig das Ofenvolumen bei unverändertem Panzerdurchmesser vergrößert.

Der Hochofenprozess mit Gichtgasrückführung (3.4) zur Nutzung des vom CO₂ gereinigten Gases als Reduktionsgas im Hochofen wird zur Zeit im Rahmen des europäischen ULCOS-Projektes (Ultra Low CO₂ Steelmaking) im Pilotmaßstab zur Erprobung vorbereitet, Bild 7. Diese Verfahrensvariante ermöglicht theoretisch eine Verringerung des Reduktionsmittelverbrauches. Hierzu wird Sauerstoff anstatt Luft eingesetzt, das CO₂ aus dem Gichtgas ausgewaschen und das dann CO-reiche Gichtgas heiß in zwei Ebenen des Hochofens rückgeführt.

Die Rückführung und Nutzung des Gichtgases zur Eisenerzreduktion bewirkt eine Kohlenstoffeinsparung beim Hochofen von rund 25%⁹⁾. Bei vollständiger untertägiger Lagerung des ausgewaschenen CO₂ (CCS) wäre theoretisch eine massive CO₂-Minderung bei der Roheisenerzeugung möglich. Diese neue Verfahrensvariante inklusive Wäsche ist in einem sehr kleinen experimentellen Hochofen in Schweden, der 5 t Roheisen pro Tag erzeugt, erfolgreich getestet worden. Für eine großindustrielle Anwendung bei den heutigen Großhochöfen mit Tagesproduktionen von über 10.000 t Roheisen sind - auch mit modernster Anlagen-, Automatisierungs- und Messtechnik - Entwicklungszeiträume von 15 Jahren anzusetzen.

Dieses neue ganzheitliche Konzept des Hochofens hat in Verbindung mit CCS ein hohes CO₂-Minderungspotential und würde im Vergleich zum konventionellen Hochofenprozess eine Produktivitätssteigerung bei gleicher Anlagengröße ermöglichen, allerdings unter Verringerung der für den Energieverbund des Hüttenwerkes verfügbaren Gichtgasmenge

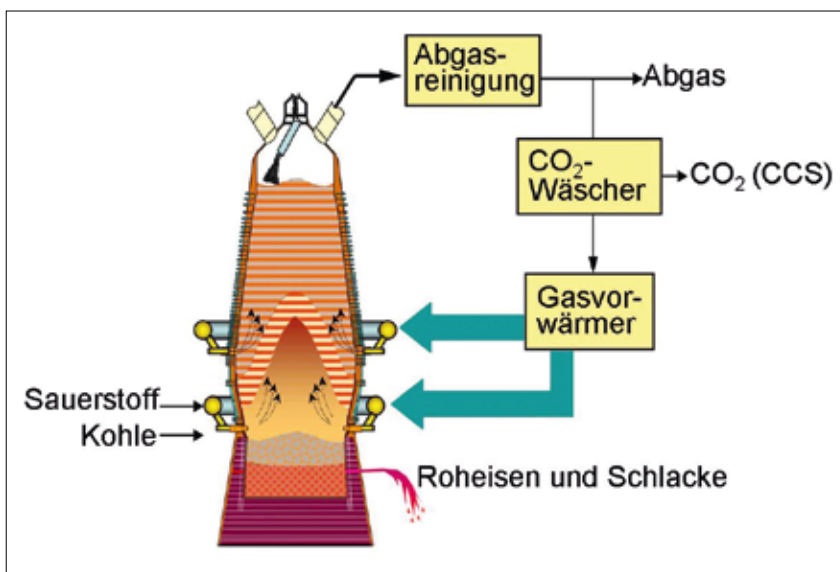


Bild 7
Sauerstoffhochofen mit Gichtgasrückführung

um 80 %, was z.B. Konsequenzen für die Energieversorgung im Hüttenwerk und auch die Stromerzeugung nach sich ziehen würde¹⁰⁾. Für die Umsetzung der neuen Hochofentechnologie an bestehenden Hochöfen wäre ein hoher anlagen- und verfahrenstechnischer Aufwand erforderlich. Die Investitions- und Betriebskosten sind deutlich höher als bei konventioneller Technik und hätten bei erzwungener nur regional begrenzter Anwendung, z.B. in der EU, erhebliche Wettbewerbsnachteile zur Folge.

Stahlerzeugung (4;5):

In den Bereichen Rohstahlerzeugung, Sekundärmetallurgie und Stranggießen dienen zahlreiche Maßnahmen der Optimierung von Energie- und Materialeffizienz. Durch geschicktes Management der Einsatzstoffe (4.1; 5.1) wird das Ausbringen der einzelnen Stoffe erhöht. Im Schrott vorhandene Legierungselemente werden durch geeignete Gattierung optimal genutzt und der Zusatzbedarf an Legierungsstoffen minimiert. Die Feuerfestqualitäten sind in den vergangenen Jahren erheblich verbessert worden (4.2; 5.2). Dadurch werden heute längere Haltbarkeiten des Materials erzielt und die Ressourceneffizienz im Hinblick auf Feuerfestrohstoffe ist erheblich verbessert. Große Teile des aus den Prozessaggregaten und Transporteinrichtungen ausgebrochenen Feuerfestmaterials werden heute aufbereitet und wieder eingesetzt.

Beim Blasstahlprozess (4) vermindert eine moderne Prozessregelung (4.3) das Nachblasen und reduziert so den Sauerstoffbedarf sowie Eisenverluste im Konverterbetrieb¹¹⁾. Die Konvertergasrückgewinnung (4.4) spart effektiv Brennstoffe. Durch Einsatz der Nachverbrennung (4.5) wird das CO im Abgas des Converters genutzt, um die Wärmebilanz des Aggregats zu verbessern.

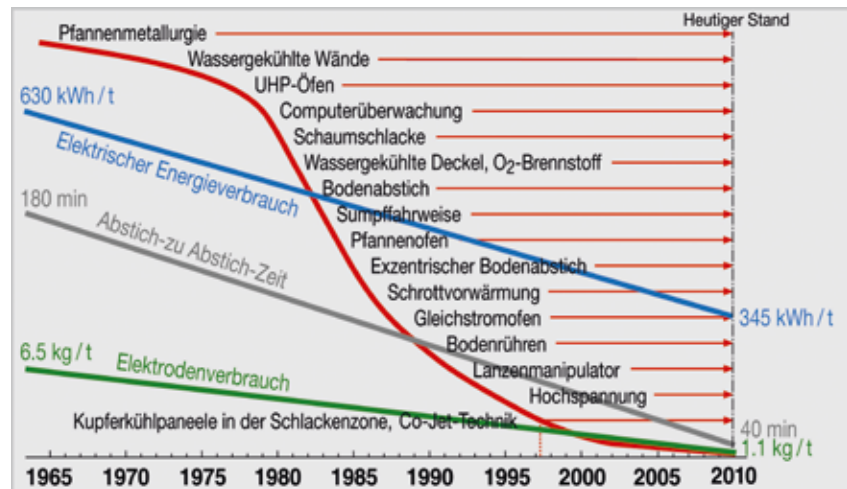


Bild 8
Entwicklung des Elektrolichtbogenofens

Der Elektrolichtbogenofen (5) nutzt heute höhere Spannungen (5.3) zur Verkürzung der Behandlungsdauer des Rohstahls. Dabei haben zahlreiche Einzelmaßnahmen zu einer energetischen Optimierung des Aggregats geführt. Besonders wichtig ist die Kontrolle der Schaumslagge¹²⁾ (5.4) im Ofen. Dadurch werden Wärme- und Energieverluste im Ofen bestmöglich vermieden. Das Frischen im Ofen reduziert die weitergehende sekundärmetallurgische Behandlung zur Entfernung des Kohlenstoffs aus dem Rohstahl. Die Energie des Abgases kann zur Vorwärmung des Schrotts (5.5) genutzt werden. Aus dem Abgas des Elektrolichtbogenofens werden darüber hinaus metallische Wertstoffe wie Zink abgetrennt. Zur Rückgewinnung des Zinks stehen verschiedene Aufbereitungstechniken wie der Wälzprozess oder der Primorec-Prozess¹³⁾ zur Verfügung. Daneben erlaubt eine Staubrückführung (5.6) in den Ofen eine Rückgewinnung des ausgetragenen Eisens bei gleichzeitiger Aufkonzentrierung des Zinks¹⁴⁾.

Eine Vielzahl technischer Einzelmaßnahmen hat in den vergangenen Jahrzehnten dazu geführt, dass die Effizienz der Elektrostaahl-

■ Wege zur Effizienzsteigerung in der Stahlindustrie

erzeugung entscheidend verbessert wurde. Wie **Bild 8** zeigt, konnten an einzelnen Anlagen der Stromverbrauch um 45 %, die Zeit zwischen zwei Abstichen um 78 % und der Verbrauch an Elektroden um 83 % reduziert werden.

Stranggießen (6):

Ein bahnbrechender Schritt zur Verringerung des Stoffbedarfes war Anfang der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts beim Gießen und Erstarren des flüssigen Stahles der Übergang vom Stand- oder Ko-

killenverfahren zum Stranggussverfahren von Brammen, Knüppeln und Rundmaterial. Heute werden in Deutschland 98 % des erzeugten Stahles nach dem Stranggussverfahren vergossen. Beim konventionellen Stranggussprozess (6.1) werden z.B. aus dem flüssigen Stahl erstarrte Brammen von ca. 250 mm Dicke erzeugt, die in einem zweiten Prozessschritt unter Energieeinsatz in den Walzwerksöfen wieder auf Temperaturen von 1250° C erwärmt und danach im Umformprozess auf die Zieldicke von 2 bis 5 mm gewalzt werden. Mit der kontinuierlichen Stranggusstechnik wurde im Vergleich zum diskontinuierlichen Kokillenguss der Einsatz von Roheisen und Schrott zur Erzeugung von 1 t Kaltfeinblech um 0,18 t verringert. Das entspricht rechnerisch einer Verringerung der CO₂-Emission um 245 kg/t Kaltfeinblech. Besondere prozesstechnische und energiesparende Fortschritte brachte die Entwicklung der Dünnbrammenstranggieß- (6.2) und der Bandgießtechnologie (6.3; 6.4). So erfordert die konventionelle Prozessroute Brammenstranggießanlage/Warmwalzwerk rund doppelt soviel Energie pro Tonne Warmband wie das Dünnbrammengießen, **Bild 9**. Eine Dünnbrammenanlage nach dem CSP-Verfahren (Compact Strip Production) wird seit 1999 bei der heutigen ThyssenKrupp Steel Europe AG in Duisburg betrieben¹⁵⁾.

Die erste (vor-)industrielle Zwei-Rollen-Bandgießanlage ist die sogenannte Eurostripanlage, die im Jahr 1999 bei ThyssenKrupp Nirosta in Krefeld in Betrieb ging¹⁶⁾. Das Warmband wird hierbei direkt aus dem flüssigen Stahl über zwei entgegengesetzt rotierende, gekühlte Walzrollen auf eine Stärke von 1 bis 3 mm gegossen und in-line ausgewalzt. Das 2-Rollenbandgießen verspricht einen Energiebedarf, der etwa 20 % des konventionellen Brammengießens beträgt. Aller-

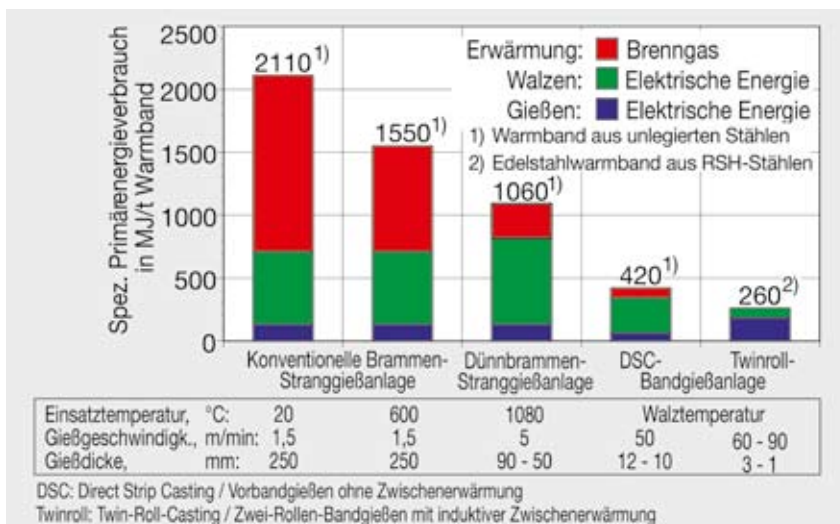


Bild 9
Energieeinsparung beim Stranggießen durch Verkürzung der Prozesskette

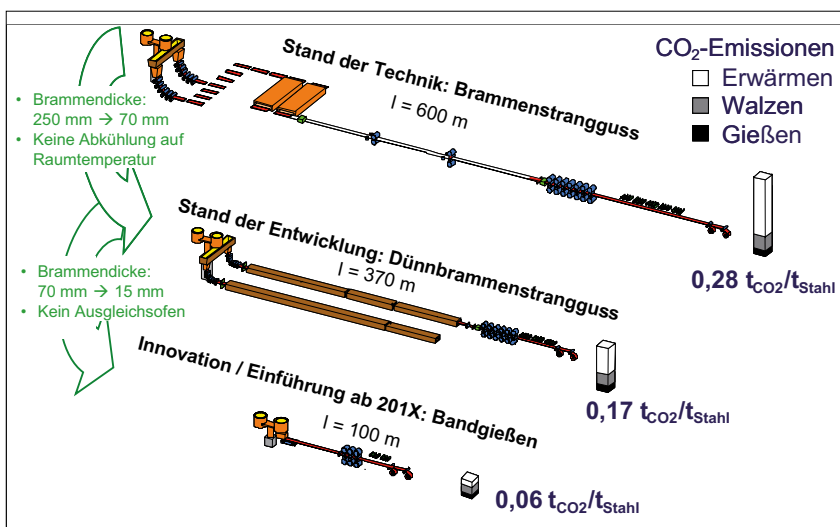


Bild 10
Entwicklung des Stranggießens - Emissionsminderung durch Bandgießen (Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH)¹⁷⁾

dings bestehen bei der Umsetzung des Prozesses in den technischen Maßstab noch verfahrenstechnische Schwierigkeiten, die es zu lösen gilt.

Bild 10 zeigt die Entwicklung vom konventionellen Brammenstrangguss über das Dünnbrammengießen hin zum zukünftigen Bandgießen¹⁷. Die bisher im erweiterten Technikumsmaßstab entwickelte Bandgießtechnologie ermöglicht durch ein grundlegend geändertes Gießkonzept, den Stahl in Dicken von 8 bis 15 mm zu gießen. Bei einem Verfahren der Salzgitter Mannesmann Forschung wird der Stahl anstatt vertikal in eine Kokille auf ein horizontal mit Gießgeschwindigkeit laufendes Spezialband gegeben. Durch die geringe Gießdicke sind deutlich kürzere Zeitintervalle zur Einstellung der Temperaturverteilung vor dem direkt angeschlossenen Inline-Walzprozess erforderlich. Die CO₂-Emissionen werden ca. 0,06 t je Tonne hergestelltem Bandstahles und damit nur noch rund ein Viertel derer für die Produktion im konventionellem Strangguss betragen. Diese neue Technik wird derzeit in einer ersten (Pilot-)Produktionsanlage realisiert. Eine Substitution der konventionellen Gießtechnik kann, ähnlich wie bei der Dünnbrammentechnik, erst mittel- bis langfristig erfolgen. Zusätzlich zur Emissionsminderung bei der Herstellung werden durch die technologischen Besonderheiten des Bandgießens neue hochfeste Stahlgüten möglich, die mit konventionellen Verfahren nicht oder nur sehr eingeschränkt hergestellt werden können. Solche HSD-Stähle (High Strength and Ductility) sind hochfeste Stähle mit sehr guten Umformeigenschaften, die für die Leichtbaukonstruktion bei Automobilen eingesetzt werden können und eine optimierte Materialausnutzung ermöglichen.

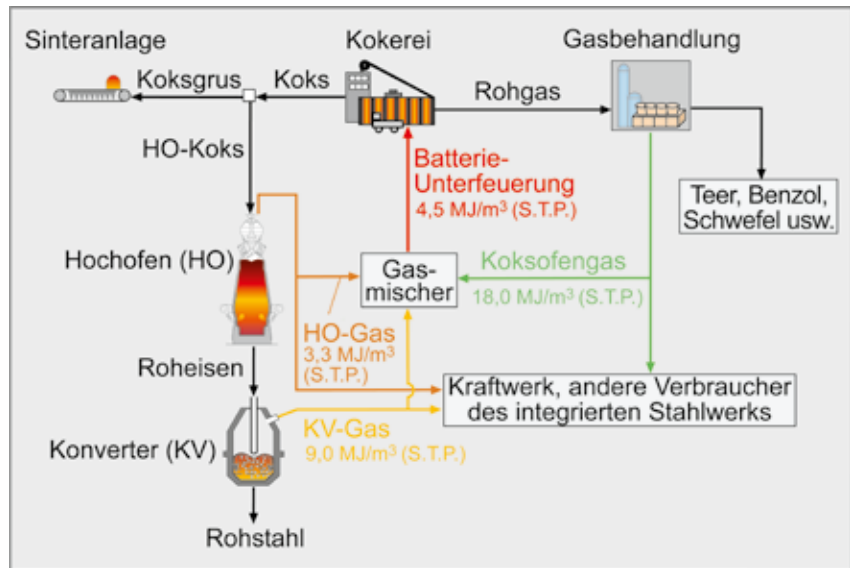


Bild 11
Typisches Fließschema für die Verwendung verschiedener Gase der Koks- und Roheisenherzeugung

Energetische Prozessoptimierung durch Energierückgewinnung und Verbesserung der Kuppelenergie-wirtschaft

Die energiewirtschaftliche und ökologische Bedeutung des Energieverbundes eines integrierten Hüttenwerkes ist vorrangig auch dadurch gegeben, dass in der Verfahrenslinie Kokerei, Hochofen und Oxygenstahlwerk gleichzeitig auch die Kuppelenergien Koksofengas, Hochofengas und Konvertergas erzeugt und wirtschaftlich genutzt werden können, **Bild 11**.

Koksofengas wird vor allem zur Unterfeuerung der Kokerei (1), zur Beheizung der Zündöfen von Sinteranlagen (2), in Weiterverarbeitungsstufen wie Warmwalzwerken (8) und zur Sekundärenergieerzeugung im Kraftwerk (7) eingesetzt. Das Hochofengas (3.5) wird zur Erhitzung des Windes für die Hochöfen (3), in der Kokerei (1) zur Unterfeuerung sowie im Kraftwerk (7) eingesetzt. Das im Oxygenstahlprozess (4) durch das Frischen von an Kohlenstoff gesättigtem Roheisen (4,7% C) mit Sauerstoff freigesetzte schwefelarme Konvertergas (4.6) eignet

■ Wege zur Effizienzsteigerung in der Stahlindustrie

sich aufgrund seiner wärmetechnischen Eigenschaften für die Nutzung in Wärmöfen der Walzwerke (8) sowie ebenfalls zum Einsatz im Kraftwerk. Diese Energieverbundwirtschaft als klassisches Beispiel der Synergetik zieht ihren Gewinn aus dem großen Optimierungsfeld kombinierter Verfahrensstufen, Versorgungs- und Nebenanlagen und gewährleistet ein hohes Maß an Restenergienutzung sowie zur Minimierung aller energiebedingten Emissionen.

Zur Einsparung von Primärenergie bei den Produktionsstufen zur Stahlerzeugung wurden in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts Verfahren zur Abwärme- und Energierückgewinnung entwickelt und erfolgreich eingeführt¹⁸⁾. So wird bei Winderhitzern von Hochöfen (3.6) die Abgaswärme über einen Thermoölkreislauf zurück gewonnen und zur Vorwärmung der Brennmedien der Winderhitzer genutzt. Dies ermöglicht eine Winderhitzung ohne Zusatz von Starkgas. Eine weitere Abwärmequelle ist der Sinterkühler (2.4) der Sinteranlagen. Die hier ausgekoppelte Wärmemenge wird z.B. für die Brennlufthvorwärmung der Zündöfen eingesetzt. An vielen Hochöfen

wird das Druckgefälle zwischen Hochofen und Gasnetz zur Erzeugung von elektrischem Strom in Gichtgasentspannungsturbinen (3.7) genutzt. An einem großen Hochofen können jährlich rd. 130 Millionen kWh elektrischer Strom erzeugt werden. Im Jahr 2008 wurden an 8 Hochöfen in Deutschland 400 Millionen kWh elektrische Energie über Gichtgasentspannungsturbinen erzeugt, ohne CO₂-Emissionen zu verursachen¹⁹⁾. Das entspricht einer Vermeidung an CO₂-Emissionen von 240.000 t nach dem CO₂-Äquivalent der Stromerzeugung in Deutschland unter Berücksichtigung des Brennstoffmixes.

Nutzung von Nebenprodukten und Reststoffen aus der Stahlerzeugung

Die Stahlindustrie nutzt ihre eingesetzten Rohstoffe in vielfältiger Weise. Bei der Produktion von Roheisen, Rohstahl und den Stahlfertigerzeugnissen werden auch Nebenprodukte und Reststoffe erzeugt, die aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung und ihrer physikalischen Eigenschaften als Wertstoffe genutzt werden, **Bild 12**²⁰⁾. Die Bandbreite an Wertstoffen ist ebenso groß wie ihre Anwendungsmöglichkeiten.

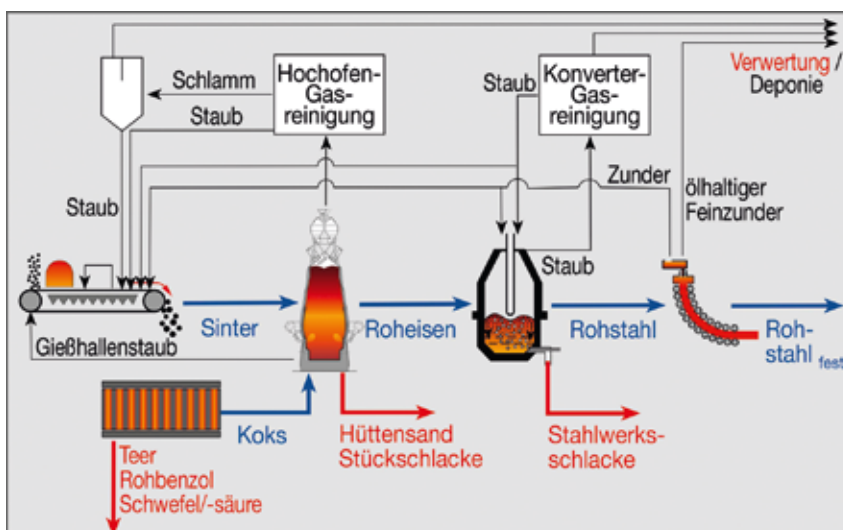


Bild 12
Materialmanagement in der Stahlindustrie

Bei allen schmelzmetallurgischen Prozessen werden Schlacken erzeugt, die die unerwünschten Begleitelemente der Rohstoffe oder Zwischenprodukte gezielt aufnehmen und somit aus den Stahlerzeugnissen fern halten. Schlacken besitzen definierte Zusammensetzungen und Eigenschaften. Sie sind keine Abfälle, sondern qualitätsüberwachte Nebenprodukte, die hocheffizient zu über 95 % als Bau- oder Rohstoff genutzt werden. In Deutschland wird z.B. Hochofenschlacke heute zu über 80 % granuliert und als Rohstoff für die Zementherstellung eingesetzt. Sie ersetzt dabei eine entsprechende

Menge an Klinkererzeugung und spart eine Tonne CO₂ je Tonne Hüttensandeinsatz bei der Zementproduktion ein - seit 2006 durchschnittlich über 6 Mio. t CO₂/a.

Bei der Kokserzeugung werden bei der Reinigung des Koksofengases z.B. Teer, Schwefelsäure und Benzol produziert, die einer vollständigen Nutzung zugeführt werden. Die Vielfalt der Erzeugnisse aus diesen Kohlenwertstoffen reicht von Waschölen über Shampoos bis hin zu Legobausteinen und CDs.

Weitere Materialien, wie Stäube, Schlämme, Walzzunder, Ansätze, enthalten wieder verwertbare Anteile an Eisen, Schlackenträger oder Kohlenstoff. Aus verfahrenstechnischen Gründen können nicht alle Reststoffe über die Sinteranlage recycelt werden. Dafür bietet sich beispielsweise der Oxycup-Prozess (9) der ThyssenKrupp Steel Europe AG an²¹). Die Reststoffe werden zu Steinen (9.1) agglomeriert und im Oxycup zu Roheisen verarbeitet. Auch der DK-Prozess²²) wurde gezielt darauf ausgerichtet, eisenhaltige Wertstoffe, die in den Stahlunternehmen nicht direkt verwendet werden können, in den Wertschöpfungskreislauf zurückzuführen. Mit einer kleinen Sinteranlage und zwei Hochöfen mit einem Arbeitsvolumen von 580 bzw. 460 m³ wird Gießereirohisen verschiedenster Qualitäten aus Stäuben und Schlammern der Eisen- und Stahlindustrie hergestellt. Aufgrund einer angepassten Betriebsweise mit hohen Gichtgastemperaturen ist es gleichzeitig möglich, ein hochreines Zinkkonzentrat herzustellen, das der Zinkindustrie als Rohstoff dient. Im Jahr 2008 wurden beispielsweise 470.000 t Wertstoffe recycelt. Dabei wurden 275.000 t Gießereirohisen unterschiedlicher Qualitäten und 10.000 t Zinkkonzentrat (trocken) zurückgewonnen.

Viele Wertstoffe aus der Stahlindustrie werden als Sekundärrohstoffe in anderen Industriesektoren genutzt, wie z.B. zur Zinkgewinnung.

Fazit

Die Stahlindustrie in Deutschland hat durch anlagen- und verfahrenstechnische Weiterentwicklungen und Optimierungen ein hohes Maß an Rohstoff- und Energieeffizienz erreicht. Damit verbunden ist auch dem Umweltschutz und der Verminderung der CO₂-Emissionen in einem Umfang Rechnung getragen worden, wie es vor einigen Jahren für kaum möglich gehalten wurde. Die ständige Weiterentwicklung der Verfahrenslinien zur Roheisen- und Stahlerzeugung, insbesondere der Sekundärmetallurgie und Stranggießtechnik ermöglichen heute ein vielfältiges und maßgeschneidertes Stahlsortenangebot für steigende Kundenanforderungen. Der moderne Werkstoff Stahl trägt wesentlich zur Minderung von Emissionen bei. Eine Studie der Boston Consulting Group (BCG) gibt Antworten auf die Frage, welchen CO₂-Minderungsbeitrag Stahl in neuen Produktanwendungen zum Klimaschutz bis 2020 liefert. Das Ergebnis spricht für den Werkstoff Stahl²³). Die Einsparpotenziale durch den Einsatz von Stahl liegen in den ausgewählten Anwendungsfällen von BCG mit 74 Millionen t CO₂ im Jahr 2020 höher als die jährlichen Emissionen aus der gesamten Stahlerzeugung in Deutschland. Im Durchschnitt der untersuchten Beispiele wird konservativ betrachtet sechsmal soviel CO₂ eingespart, wie bei der Produktion verursacht wird. Diese guten Noten motivieren zu weiteren Anstrengungen bei der Entwicklung neuer Stahlsorten. Die Fachleute sind sich seit langem einig: Das Potential des Werkstoffes „Stahl“ ist bei weitem noch nicht ausgeschöpft.

Schrifttum

- /1/ Neuwirth, R.; Schuster, D.: MPT International 26 (2003) Nr. 5, S. 38/48
- /2/ Huhn, F.; Kребber, F.; Reinke, M.; Schulte, H.: Tagungsband der Fachtagung Kokereitechnik, Essen, Haus der Technik, 29.-30. April 2010
- /3/ Faust, W.; Hansmann, T.; Lonardi, E.; Pivot, S.: Tagungsband der Fachtagung Kokereitechnik, Essen, Haus der Technik, 29.-30. April 2010
- /4/ Reinke, M.; Worberg, R.: Tagungsband der METEC InSteelCon 2007; S. 562/569; Stahlinstitut VDEh
- /5/ Bertling, H.; Killich, H.J.; Lungen, H.B.; Nelles, L.; Spitz, J.; Schoppa, H.: stahl und eisen 123 (2003), Nr. 2, S. 61/69
- /6/ Bastürk, S.; Delwig, C.; Ehler, W.; Hartig, W.; Hillmann, C.; Lungen, H.B.: stahl und eisen 129 (2009), Nr. 5, S. 51/59
- /7/ Lungen, H.B.; Peters, M.; Schmöle, P.: stahl und eisen 130 (2010), Nr. 4, S. 36/64
- /8/ Heinrich, P.; Hille, H.: Fachausschussbericht Nr. 1031 des Stahlinstitutes VDEh, Düsseldorf, Juli 1998
- /9/ Zuo, G.: Trial for the new blast furnace concept ULCOS, Vortrag anlässlich STAHL 2008, Düsseldorf, 13. November 2008 (unveröffentlicht)
- /10/ Schmöle, P.; Lungen, H.B.: stahl und eisen 124 (2004), Nr. 5, S. 27/34
- /11/ Kleimt, B.; Zisser, S.; Weinberg, M.; Bongers, J.: Tagungsband der METEC InSteelCon 2007; S. 168/175; Stahlinstitut VDEh
- /12/ Ameling, D.; Petry, J.; Sittard, M. Ullrich, W.,; Wolf, J.: stahl und eisen 106 (1986), Nr. 11, S. 45/50
- /13/ Guillaume, P.C.; Devos, G.; Roth, J.-L.: Tagungsband der METEC InSteelCon 2007; S. 1027/1034; Stahlinstitut VDEh
- /14/ Stercken: ECSC Final Report of VDEh; Project. No. 7210-CB/121, Düsseldorf 1998
- /15/ Hendricks, C.; Rasim, W.; Janssen, H.; Schnitzer, H.; Sowka, E.; Tesé, P.: stahl und eisen 120 (2000), Nr. 12, S. 61/69
- /16/ Walter, M.; Mankau, W.; Figge, J.; Themines, D.; Tonelli, R.; Eckertorfer, G.: stahl und eisen 121 (2001), Nr. 5, S. 83/87
- /17/ Quelle: Salzgitter Mannesmann Forschung; siehe auch unter: Endemann, G.; Lungen, H.B.; Still, G.; Traupe, J.: Nachhaltigkeit - Mit Stahl in die Zukunft: Nach uns, ohne Öl; auf dem Weg zu nachhaltiger Produktion, S. 195/224; Hg Michael Angrick; Metropolis-Verlag; 2010
- /18/ Peters, K.H.; Lungen, H.B.: Proceedings of the sixth international iron and steel congress 1990; Nagoya, Japan, ISIJ, Preprints Vol. 5, S. 302/310
- /19/ Quelle: VDEh-Hochofenausschuss 2009
- /20/ Bender, W.; Endemann, G.; Lungen, H.B.; Wuppermann, C.-D.: stahl und eisen 128 (2008), Nr. 11, S. S 133/139
- /21/ Kesseler, K.: stahl und eisen 125 (2005, Nr. 2, S 21/24
- /22/ Hillmann, C.; Sassen, K.-J.: stahl und eisen 126 (2006), Nr. 11, S. 149/156
- /23/ Quelle: BCG-Studie; stahl-online.de

Autoren:

Dr.-Ing. Peter Dahlmann, Geschäftsführendes Vorstandsmitglied, Stahlinstitut VDEh
Dipl.-Ing. Gerhard Endemann, Leiter Geschäftsfeld Politik, Stahlinstitut VDEh, Wirtschaftsvereinigung Stahl
Hans Jürgen Kerkhoff, Vorsitzender Stahlinstitut VDEh, Präsident Wirtschaftsvereinigung Stahl
Dr.-Ing. Hans Bodo Lungen, Leiter Geschäftsfeld Technik, Stahlinstitut VDEh



Stahlinstitut VDEh
Wirtschaftsvereinigung Stahl
im Stahl-Zentrum
Sohnstraße 65 · 40237 Düsseldorf
www.stahl-online.de