



**Sachstandsbericht zum
STAHLRECYCLING IM BAUWESEN**

Auftragnehmer: Bergische Universität Wuppertal
Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus
Pauluskirchstr. 7
42285 Wuppertal

Autoren: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus
Dipl.-Ing. (FH) Anne Randel

Im Auftrag von



INHALTSVERZEICHNIS

1	Einführung.....	1
2	Rückbau, Recycling und Sammelraten	3
3	Recyclingprozess und Schrottsorten	6
4	Schrotteinsatz in der Stahlproduktion	7
5	Stahlgüten aus Recyclingstahl	9
6	Einsatz von Recyclingstahl.....	9
7	Zusammenfassung	10
8	Quellenverzeichnis.....	11

1 Einführung

Die deutsche Stahlindustrie spielt international, besonders bei der Erzeugung von Qualitätsstählen, eine große Rolle. Deutschland ist der größte Stahlhersteller in der EU und steht weltweit gesehen an siebter Stelle. 2013 wurden in Deutschland 42,6 Mio. t Rohstahl produziert.¹ 11,9 % hiervon sind dem Bauwesen zuzuordnen (Stahlbau und Baugewerbe).² Im Vergleich zu anderen metallischen Baustoffen wird Stahl am häufigsten verwendet (84,2 %), Aluminium, Zink und Kupfer spielen eine untergeordnete Rolle. Die Verwendung von Blei findet im Bauwesen nur noch sehr selten statt (vgl. Bild 1).

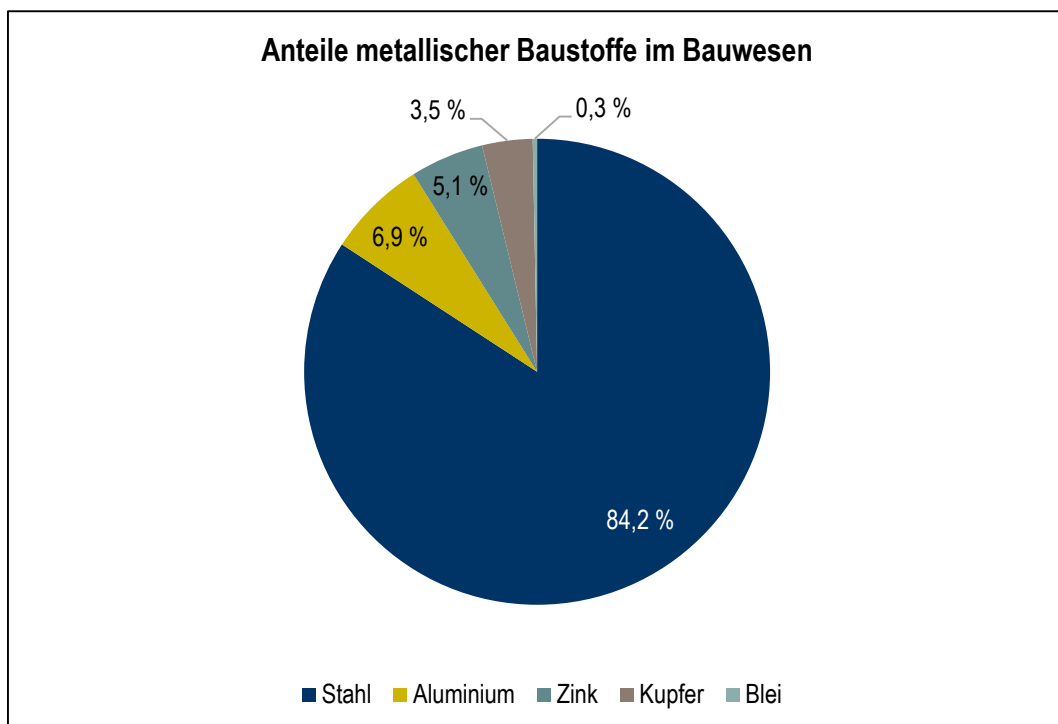


Bild 1: Verwendung metallischer Baustoffe im Bauwesen³

Zu den häufigsten Anwendungsbereichen von Stahl im Bauwesen zählen die Verbindung mit Beton (als Betonstahl) sowie die reine Stahlkonstruktion im Verbundbau (als Baustahl). Die guten Festigkeitseigenschaften sind von großer Bedeutung bei Stahlkonstruktionen für Hochhäuser, im Industriebau, bei Hallenkonstruktionen oder im Brückenbau. In den Jahren 2006-2013 konnte der Anteil des Stahlbaus bei Nichtwohngebäuden um 22 Prozentpunkte erhöht werden. So werden laut Bautätigkeitsstatistik inzwischen 24,2 % der Nichtwohngebäude überwiegend aus Stahlbauteilen erstellt.⁴

¹ Wirtschaftsvereinigung Stahl 2014a

² Wirtschaftsvereinigung Stahl 2013, S. 43

³ WVM 2014, S. 7-8 und UBA 2005, S. 21

⁴ Destatis 2014, S. 41-43

Zur Erzeugung von Stahl werden hauptsächlich zwei Verfahren angewendet. Bei der Hochofenroute wird im Hochofen aus Eisenerzen, Zuschlägen und einigen Reduktionsmitteln wie Koks, Kohle, Öl und Gas Roheisen gewonnen. Die Reduktionsmittel reduzieren die im Eisenerz enthaltenen Eisenoxide schrittweise zu Eisen. Anschließend wird dieses in einem Konverterstahlwerk zu Rohstahl umgewandelt. Dabei werden Verunreinigungen und ein großer Teil des im Roheisen enthaltenen Kohlenstoffs oxidiert. Da es sich um eine exotherme Reaktion handelt, muss die Schmelze gekühlt werden. Dies geschieht durch Zugabe von Stahlschrott. Das zweite Verfahren ist wesentlich umweltfreundlicher, gewinnt damit an Bedeutung und macht heutzutage ca. ein Drittel der Rohstahlerzeugung in Deutschland aus.

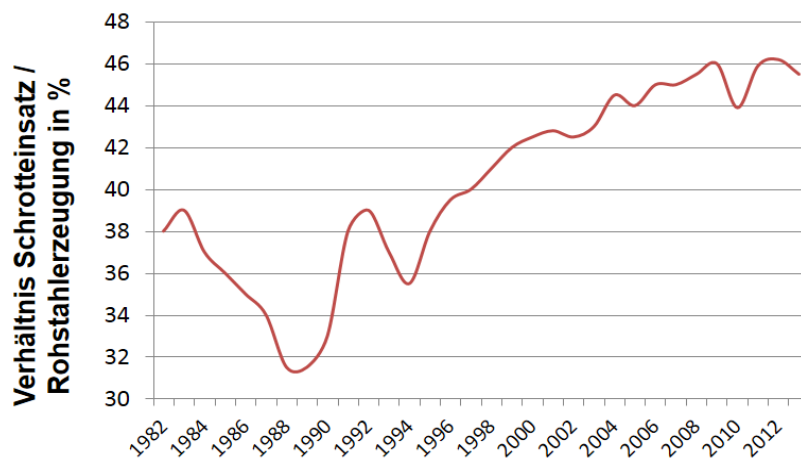


Bild 2: Entwicklung des Schrottanteils in Deutschland⁵

Im Elektroofen wird Schrott eingeschmolzen und damit zur Herstellung von neuem Stahl weiterverwendet. Dieser Vorgang kann unbegrenzt wiederholt werden, ohne dass Qualitätsverluste auftreten. Die Erzeugung der Vormaterialien wie z. B. Beam Blanks geschieht heute fast zu 100 % im Stranggussverfahren mit anschließendem Warm- und Kaltwalzverfahren.⁶

Der Schrotteinsatz ist in den letzten Jahren im Verhältnis zur Rohstahlerzeugung insgesamt gestiegen. Zuletzt lag er bei 45,6 % (vgl. Bild 2).⁷ Dies hängt auch mit dem gestiegenen Anteil der Elektrostaahlroute an der Rohstahlerzeugung zusammen (vgl. Bild 4). Im Vergleich zur Hochofenroute fällt die Umweltbilanz der Elektroofenroute insgesamt viermal besser aus.⁸ Die spezifischen CO₂-Emissionen lagen 1990 noch bei 1.594 kg CO₂/t Rohstahl und konnten auf 1.356 kg CO₂/t in 2012 gesenkt werden. Dies entspricht einer 15 %igen Reduzierung der CO₂-Emissionen.⁹

⁵ Wirtschaftsvereinigung Stahl 2014d

⁶ Wirtschaftsvereinigung Stahl 2014b

⁷ BVSE 2014a

⁸ Ecolizer 2.0, S. 26 ("primary low-alloyed steel" im Vergleich zu "secondary un-alloyed or low-alloyed steel")

⁹ Wirtschaftsvereinigung Stahl 2013, S. 23

2 Rückbau, Recycling und Sammelraten

Ein Gebäuderückbau erfolgt, wenn eine Sanierung und Instandsetzung am Ende der Nutzungsphase eines Bauwerks nicht mehr wirtschaftlich ist. In vielen Fällen liegen die Gründe für einen Rückbau in der mangelhaften Bausubstanz oder im energetischen Gebäudezustand. In Zukunft werden zudem verstärkt Rückbaumaßnahmen aufgrund fehlender Umnutzungsmöglichkeiten hinsichtlich der Grundrisse und Gebäudestrukturen durchgeführt werden. Unter dem Begriff Rückbau werden sowohl nicht selektive Abbruchmaßnahmen, als auch der sortenreine, selektive Rückbau verstanden. Der Rückbau kann technisch sehr unterschiedlich erfolgen, die Bandbreite der Verfahrenstechnik reicht vom Sprengen kompletter Hochbauten, über die Nutzung von Abrissbirnen bis hin zu einem behutsamen Rückbau entgegen der Baurichtung, ähnlich ausdifferenziert wie beim Neubau. Am häufigsten kommen Hydraulikbagger mit entsprechenden Anbauwerkzeugen (Abbruch- und Sortiergreifer, Abbruchscheren, Pulverisierer etc.) zum Einsatz. Die Anwendungshäufigkeit liegt in Deutschland bei 82 %. Sonstige Abbruchverfahren, wie die Sprengung, der Einsatz von Abrissbirnen oder thermische Verfahren spielen eine untergeordnete Rolle.¹⁰

Im Sinne der Abfallrahmenrichtlinie bezeichnet der Begriff „Sammlung“ das Einsammeln von Abfällen, die vorläufige Sortierung und Lagerung und den anschließenden Transport zu einer Abfallbehandlungsanlage. Bei der „getrennten Sammlung“ wird ein Abfallstrom nach Art und Beschaffenheit getrennt gehalten, um eine bestimmte Behandlung zu erleichtern. Die „Wiederverwendung“ steht für jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren. „Recycling“ meint die Aufbereitung von Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke. Die Wiederverwendung steht in der Abfallhierarchie vor dem Recycling.¹¹ Im Rahmen des Recyclings ist eine Aufwertung (Upcycling, z. B. Stahlschrott zu neuen Baustählen), eine wertneutrale Verwertung oder eine Abwertung (Downcycling, z. B. Abbruchmaterial als Verfüllmaterial) möglich. Bei der Wiederverwendung hingegen wird ein Bauprodukt in gleicher Funktion weiter genutzt (z. B. Rückbau und Errichtung von Bauwerken an anderer Stelle).¹²

Unter Stahlrecycling versteht man das Einschmelzen von Stahlschrott, um neue Stahlprodukte herzustellen. Bei der Wiederverwendung hingegen verzichtet man auf das Einschmelzen und nutzt die Stahlkonstruktionen nach einer Aufbereitung weiter, so dass das Produkt die gleiche oder ähnliche Funktion wie vorher besitzt. Unter dem Begriff Sammelrate wird die Summe aller Stahlbauteile zusammengefasst, die nach dem Lebensende eines Gebäudes sowohl recycelt, als auch wiederverwendet wird (vgl. Bild 3).

¹⁰ Kamrath/Hechler 2011, S. 272-275

¹¹ AbfRRL 2008, S. 9-10

¹² Kamrath/Hechler 2011, S. 270

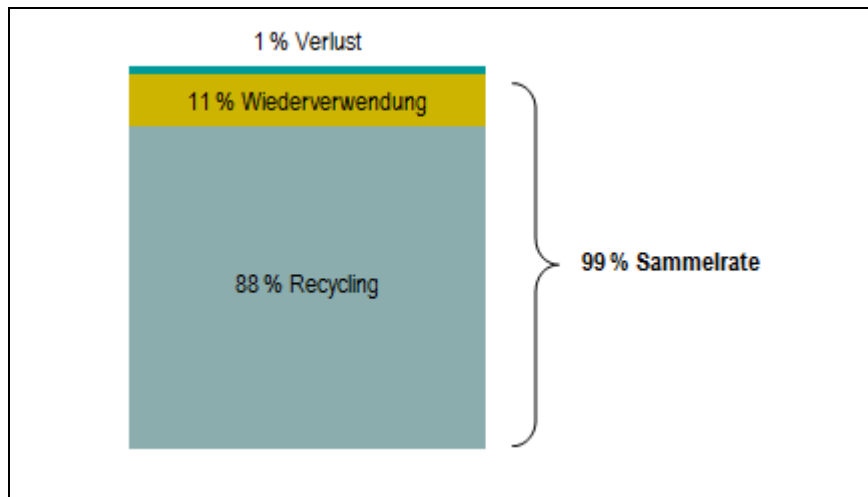


Bild 3: Definition Sammelrate

Fundierte Aussagen zu den Sammelraten von Baustahl und Betonstahl, vor allem in Deutschland, können nicht getroffen werden, da die maßgeblichen Stoffströme bislang nicht ausreichend detailliert quantifiziert werden. In der Literatur schwanken die Angaben für die Sammelraten zwischen 97 % und 99 %, die Wiederverwendungsrate liegt zwischen 11 % und 14 %. In der nachfolgenden Tabelle werden die recherchierten Angaben zu den Sammelraten zusammengefasst:

Literaturquelle	Stahlprodukt	Sammelrate	Recycling	Wiederverwendung	Sammelverlust
Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier	Stahlträger	98 %	87 %	11 %	2 %
Sansom/Meijer	Stahlträger	99 %	88 %	11 %	1 %
Ley/Sansom/Kwan	Baustahlprofile	99 %	86 %	13 %	1 %
Steel Recycling Institute	Baustahlprofile	k. A.	97,5 %	k. A.	2,5 %
Durmisevic/Noort	Baustahl	97 %	83 %	14 %	3 %
Geyer/Jackson/Clift	Baustahlprofile	99 %	86 %	13 %	1 %

Literaturquelle	Stahlprodukt	Sammelrate	Recycling	Wiederverwendung	Sammelverlust
EPD Institut Bauen und Umwelt e.V. (bauforum-stahl)	Offene Walzprofile und Grobbleche	99 %	88 %	11 %	1 %
EPD Institut Bauen und Umwelt e.V. (CELSA Barcelona)	Baustahlprofile	99 %	88 %	11 %	1 %
EPD Institut Bauen und Umwelt e.V. (Vallourec & Mannesmann Tubes)	Stahlbauhohlprofile	99 %	88 %	11 %	1 %

Tabelle 1: Übersicht zu den recherchierten Sammelraten

Der Schrottanteil gemessen an der Gesamtrohstahlerzeugung liegt in Deutschland bei gut 45 %. Dieser Wert wird maßgeblich vom Verhältnis Elektrostahl zu Oxygenstahl beeinflusst. In den letzten Jahren haben sich die Anteile an der Gesamtstahlproduktion in Richtung Elektrostahl verschoben (vgl. Bild 4). Der niedrigere Energiebedarf der Elektrostahlroute und steigende Eisenerz-Preise begünstigen diesen Trend. Die Produktion von Elektrostahl ist jedoch auch vom Schrottaufkommen und vor allem von der Schrottqualität abhängig.

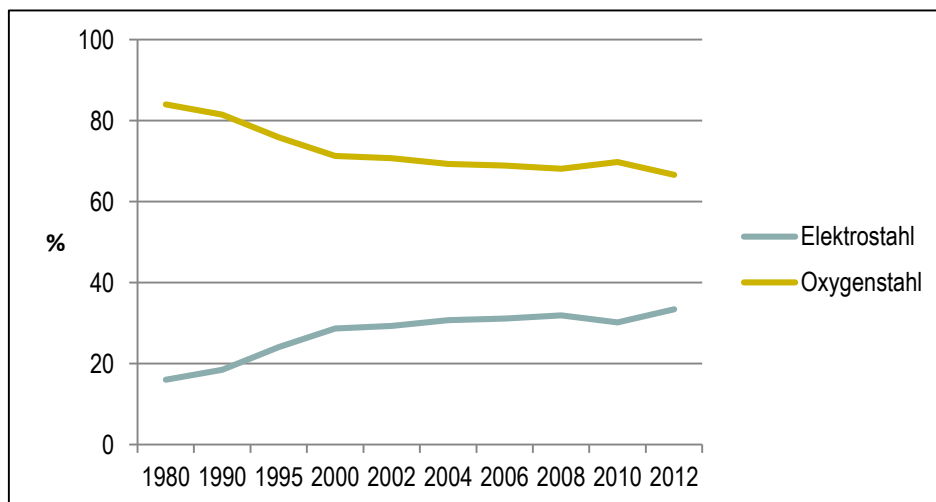


Bild 4: Anteile an der Gesamtstahlproduktion¹³

¹³ Wirtschaftsvereinigung Stahl 2013, S. 8

3 Recyclingprozess und Schrottsorten

Etwa 23 Mio. Tonnen Stahlschrott fallen in Deutschland jährlich an.¹⁴ Der Baubranche sind laut Angaben des Statistischen Bundesamtes 6,7 Mio. Tonnen zuzuordnen (Abfallverzeichnisnummer 17 04 05). 85 % dieser Eisen- und Stahlabfälle landen in Schredderanlagen und Schrottscheren. Der Rest wird laut Statistischem Bundesamt in Sortieranlagen und sonstigen Behandlungsanlagen weiterverarbeitet.¹⁵

Der Recyclingprozess von Stahl setzt sich aus den Schritten Beschaffung/Sammlung, Transport, Sortierung, Aufbereitung und der Wiedereinführung der Sekundärrohstoffe in den Wirtschaftskreislauf zusammen. Dabei teilt sich das Aufkommen von Stahlschrott in Neu- und Altschrott auf. Neuschrott entsteht bei der Produktion von Stahlerzeugnissen und macht ca. die Hälfte des gesamten Schrottaufkommens in Deutschland aus. Bei Altschrott handelt es sich um Sammelware, die zum Beispiel bei Gebäudeabbrüchen oder in Industrie und Gewerbe anfällt. Nach dem Sammeln wird der Stahlschrott in unterschiedliche Gruppen unterteilt. Nach dem Sortieren des Stahlschrotts wird dieser wiederaufbereitet. Anhaftungen und Störstoffe werden entfernt, der Schrott wird zerkleinert und gepresst.¹⁶

Sorte	Sortenbeschreibung
0	Stahlaltschrott der nicht unter die Definitionen der Sorten 1 und 3 fällt, Höchstabmessungen: 1,50 x 0,50 x 0,50 m
1	Stahlaltschrott mind. 4 mm Stärke, Höchstabmessungen: 1,50 x 0,50 x 0,50 m
2	Stahlneuschrott mind. 3 mm Stärke, Höchstabmessungen: 1,50 x 0,50 x 0,50 m
3	Schwerer Stahlaltschrott mind. 6 mm Stärke, Höchstabmessungen: 1,50 x 0,50 x 0,50 m
4	Schredderstahlschrott frei von Stahlschrott aus der Müllverbrennung oder -separation, Schüttgewicht (i. tr.): mind. 1,1 t/m ³ , Fe-Gehalt metallisch: mind. 92 %
5	Stahlspäne frei von Guss- und Automatenhäuten
6	Pakete aus neuem, leichtem Stahlblechschrott

¹⁴ Wirtschaftsvereinigung Stahl 2014c

¹⁵ Destatis 2013, S. 24 ff.

¹⁶ BVSE 2014b

Sorte	Sortenbeschreibung
8	Stahlneuschrott unter 3 mm Stärke, Höchstabmessungen: 1,50 x 0,50 x 0,50 m

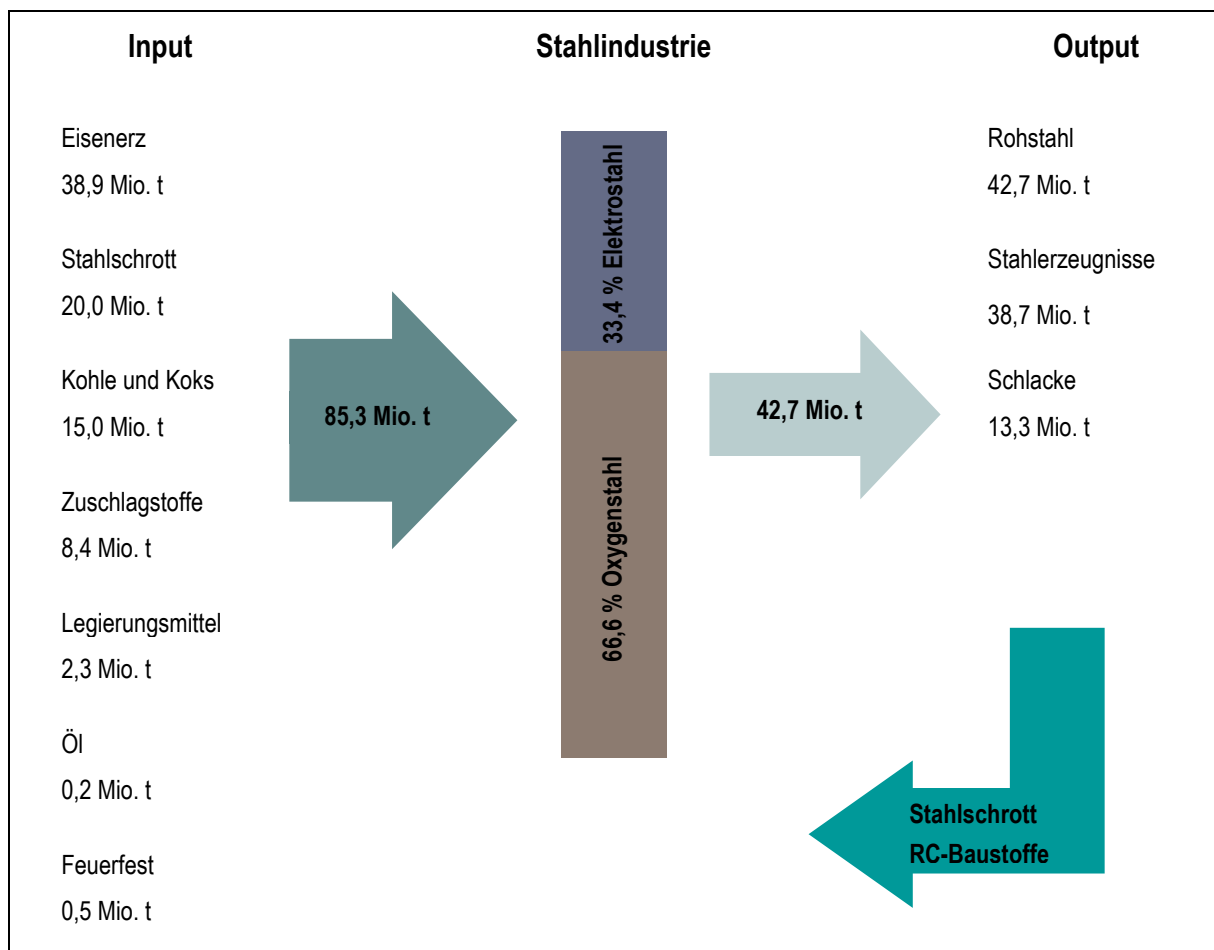
Tabelle 2: Übersicht zu Neu- und Altschrott¹⁷

4 Schrotteinsatz in der Stahlproduktion

Der Stahlschrottanteil an der Rohstahlerzeugung konnte in den letzten 20 Jahren um rund 10 Prozentpunkte gesteigert werden und lag im Jahr 2012 bei 45,6 %. Wie in Bild 5 ersichtlich, sind für die Erzeugung von 42,7 Mio. t Rohstahl 85,3 Mio. t Rohstoffe notwendig. Für die Erzeugung einer Tonne Rohstahl ist also der Einsatz von ca. zwei Tonnen Rohstoffen notwendig. Eisenerz und Koks Kohle müssen importiert werden, während Stahlschrott zu hauptsächlich aus Deutschland stammt und Überschüsse sogar exportiert werden. Zwei Drittel des Rohstahls wird als Oxygenstahl in Hochöfen und Stahlwerken hergestellt, das andere Drittel wird über die Elektrostahlroute produziert. Im Oxygenstahlverfahren können maximal 20 % Schrott eingesetzt werden, beim Elektrostahlverfahren hingegen kommen 1.050 kg Stahlschrott je Tonne Stahl zum Einsatz.¹⁸

¹⁷ BDSV 2010

¹⁸ Wirtschaftsvereinigung Stahl 2014a


 Bild 5: Stoffstrombilanz für das Jahr 2012¹⁹

Neben Stahlschrott wird auch Schlacke recycelt. Schlacke ist die bei der Produktion von Roheisen und Stahl entstehende nichtmetallische Schmelze, aber auch das daraus hergestellte künstliche Gestein.²⁰ Schlacke weist vergleichbare bautechnische Kennwerte auf wie natürliche Gesteine. In Deutschland werden jährlich 13,3 Mio. t Schlacken hergestellt, wovon 7,7 Mio. t Hochofenschlacke und 6 Mio. t Stahlwerksschlacke sind. 70 % der Hochofenschlacke werden nach Granulation zu Hüttensand für die Zementherstellung (deutsche und ausländische Zementindustrie) benutzt, die restliche Schlacke wird für den Straßenbau genutzt oder zwischengelagert. Da bei der Produktion von Zementklinker prozessbedingt CO₂ freigesetzt wird, ist der vermehrte Einsatz von Hüttensand ein wichtiger Beitrag der Zementindustrie zur Vermeidung von Treibhausgasen.²¹ Daneben wird Hüttensand auch im Straßenbau und als Betonzuschlag verwendet. Ebenso 70 % der Stahlwerksschlacke werden als Baustoffe im Straßen- und Wegebau eingesetzt, der restliche Anteil wird entweder deponiert oder als Düngemittel weitervermarktet.

¹⁹ Wirtschaftsvereinigung Stahl 2014e

²⁰ Thomé-Kozmiensky 2012, S. 150

²¹ BBS 2011, S. 23

5 Stahlgüten aus Recyclingstahl

Stahl lässt sich verlustfrei recyceln. Über die Elektrostahlroute kann grundsätzlich jede Stahlsorte hergestellt werden. Sowohl bei der Hochofenroute, als auch bei der Elektrostahlroute werden Nachbehandlungen der Schmelze durchgeführt, um hohe Stahlqualitäten zu erreichen.²² Nach Aussage des größten Stahlproduzenten ArcelorMittal ist auch die Herstellung von hochfesten Baustählen unabhängig vom Stahlschrott über die Elektrostahlroute möglich. Im Fokus stehen bei ArcelorMittal vor allem die Reduzierung des Energieverbrauchs, die Mengen an Schlacke und die Minimierung des Kupfergehaltes. Hochfeste Stähle werden durch Zugabe von Ferrolegierungen entsprechend der chemischen Analyse des flüssigen Stahls bzw. durch Abschrecken und Selbstanlassen in den Walzwerken hergestellt. Dies ist mit jeder Art von Stahlschrott möglich.²³ Diese Art der Wärmebehandlung ermöglicht die Herstellung von Baustählen mit hoher Streckgrenze, guter Zähigkeit und hervorragender Schweißbarkeit. Die so genannten HISTAR-Stähle des Stahlproduzenten ArcelorMittal gibt es mit Mindeststreckgrenzen von 355 oder 460 MPa. So ist es möglich aus 100 % Stahlschrott im Elektrostahlverfahren einen qualitativ hochwertigen warmgewalzten Profilstahl mit einer hohen Materialeffizienz herzustellen. Zudem wird durch die Elektrostahltechnologie eine deutliche Reduzierung der Lärm-, Partikel-, und CO₂-Emissionen sowie des Wasser- und Energieverbrauches erreicht.²⁴

6 Einsatz von Recyclingstahl

Wenn Stahlschrott nach Ende des Produktlebenszyklus zu einem neuen Produkt gleicher oder besserer Qualität aufgewertet wird, findet ein Upcycling statt. So wurden beispielsweise beim Neubau des Terminals 5 am Flughafen Heathrow Stahlbauteile genutzt, die zuvor beim Rückbau eines alten Gebäudes gewonnen und recycelt werden konnten. Der Stahlschrott wurde nach der Sprengung des „Lackenby open hearth Steel Plant“ vor Ort bereits so bearbeitet, dass er direkt eingeschmolzen werden konnte.²⁵

Ein anderes Beispiel ist das Burj Chalifa in Dubai. Das höchste Gebäude der Welt besteht in den oberen Geschossen hauptsächlich aus Stahl, welcher aus dem ehemaligen „Palast der Republik“ in Berlin stammt. Nach Abriss des Gebäudes im Jahr 2006 wurden die Stahlträger eingeschmolzen und über eine türkische Stahlfirma nach Dubai geliefert.²⁶

²² Wirtschaftsvereinigung Stahl 2014b

²³ Stellungnahme von Herrn Yves Conan (ArcelorMittal)

²⁴ ArcelorMittal, Produktbroschüre HISTAR

²⁵ Corus 2006

²⁶ Spiegel online 2010

7 Zusammenfassung

Stahlschrott ist der weltweit am meisten rezyklierte Rohstoff. Beim Recyclingprozess treten keine Qualitätsverluste auf, dies macht Stahl zu einem der nachhaltigsten Werk- und Baustoffe überhaupt. Durch Fortschritte bei den Gieß- und Walzverfahren können über die Elektrostahlroute jegliche Stahlprodukte hergestellt werden, die bisher nur der Hochofenroute vorbehalten waren, beispielsweise "Flachprodukte". Die Substitutionspotenziale werden jedoch durch die Schrottverfügbarkeit (Preis und Qualität) und die Struktur der Produktnachfrage beeinflusst.

Im Bereich der Stahlherstellung konnten in den letzten Jahren Energie- und Ressourceneffizienzpotenziale ausgeschöpft werden. Der Primärenergieverbrauch der Stahlherstellung konnte durch die Substitution von Oxygen- durch Elektrostahl gesenkt werden. Weitere Potenziale liegen in der Optimierung der Nutzung des Werkstoffes Stahl. Aspekte wie die Gewichtsminimierung sowie Reparatur- und Recyclingfähigkeit werden in Zukunft wichtiger werden. Im Gebäudebereich sind insbesondere der modulare Aufbau und lösbare Werkstoffverbände zu nennen. Bei der Herstellung von Bauprodukten aus Stahl stehen die Lebensdauerverlängerung und Produktinnovationen im Vordergrund. Aufgrund des hohen Stoffdurchsatzes in der Baubranche ist die Verlängerung der Lebens- oder Nutzungsdauer durch verbesserte Materialeigenschaften (Reparaturfähigkeit) und Produktinnovationen (z. B. Leichtbau) richtungsweisend. Des Weiteren steckt in der Vermeidung von schwer trennbaren Verbindungen (z. B. vorgefertigte Sandwichelemente) weiteres Innovationspotenzial.

8 Quellenverzeichnis

ABFRRL [Abfallrahmenrichtlinie] (2008): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle (2008/98/EG), veröffentlicht am 22. November 2008, Amtsblatt der Europäischen Union

ARCELORMITTAL (2014):

Produktbroschüre HISTAR, URL http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/4-Library/1-Sales_programme_Brochures/Histar/Histar_DE.pdf, Stand: 25.07.2014

BBS [BUNDESVERBAND BAUSTOFFE – STEINE UND ERDEN E. V.] (2011):

Volkswirtschaftliches Porträt der deutschen Baustoffindustrie, Berlin

BDSV [BUNDESVEREINIGUNG DEUTSCHER STAHLRECYCLING- UND ENTSORGUNGSUNTERNEHMEN E.V.] (2010):

Stahlschrottsortenliste, URL http://www.bdsv.org/downloads/sortenliste_de.pdf, Stand: 29.07.2014

BVSE [BUNDESVERBAND SEKUNDÄRROHSTOFFE UND ENTSORGUNG E.V.] (2014a):

URL http://www.bvse.de/16/7322/bvse__Schrottverbrauch_ging_2013_zurueck, Stand: 22.07.2014

BVSE [BUNDESVERBAND SEKUNDÄRROHSTOFFE UND ENTSORGUNG E.V.] (2014b):

URL http://www.bvse.de/328/432/2__Beschaffung_Sammlung, Stand: 24.07.2014

CORUS (2006):

From old to new, URL

http://www.tatasteelconstruction.com/file_source/StaticFiles/Construction/Library/Sustainability/Teesside_Meltshop_Brochure.pdf, Stand: 26.08.2014

DESTATIS [STATISTISCHES BUNDESAMT] (2013):

Umwelt – Abfallentsorgung 2011, Fachserie 19, Reihe 1, Wiesbaden

DESTATIS [STATISTISCHES BUNDESAMT] (2014):

Bauen und Wohnen – Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff, Lange Reihen ab 2000, Wiesbaden

DURMISEVIC, E. / NOORT, N. (2003):

Reuse potential of steel building construction, Delft

ECOLIZER 2.0 ECODESIGN TOOL (2012):

URL http://www.ecodesignlink.be/images/filelib/EcolizerEN_1180.pdf, Stand: 02.09.2014

GEYER, R. / JACKSON, T. / CLIFT, R. (2002):

Economic and environmental comparison between recycling and reuse of structural steel sections, Surrey

INSTITUT FÜR BAUEN UND UMWELT E.V. (HRSG.) (2010):
Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 für Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche (bauforumstahl e.V.)

INSTITUT FÜR BAUEN UND UMWELT E.V. (HRSG.) (2014):
Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und 15804 für structural section steel (CELSA Group)

INSTITUT FÜR BAUEN UND UMWELT E.V. (HRSG.) (2010):
Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 für MSH-Profil von Vallourec & Mannesmann Tubes

KAMRATH, P. / HECHLER, O. (2011):
Eine Einführung in den Stand der Technik bei Abbruch- und Rückbauarbeiten: Konzepte, Möglichkeiten und Potential, in: Bauingenieur, Band 86, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf, Juni 2011, S. 269 - 280

LEY, J. / SANSOM, M. / KWAN, A. (2001):
Material flow analysis of the UK steel construction sector

OFFICE TECHNIQUE POUR L'UTILISATION DE L'ACIER (2007):
Declaration Environnementale et Sanitaire, St Denis

SANSOM, M. / MEIJER, J. (2002):
Life-cycle assessment (LCA) for steel construction, Ascot, Culemborg

SPIEGEL ONLINE (2010):
URL <http://www.spiegel.de/reise/staedte/burj-chalifa-so-deutsch-ist-das-hoechste-haus-der-welt-a-670209.html>, Stand: 29.07.2014

STEEL RECYCLING INSTITUTE (2008):
Steel Recycling Rates at a glance, Pittsburgh

THOMÉ-KOZMIENSKY, K. (2012):
Chancen und Grenzen des Recyclings, in: Recycling und Rohstoffe – Band 5, Thomé-Kozmiensky, K./Goldmann, D. (Hrsg.), TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin

UBA [UMWELTBUNDESAMT] (Hrsg.) (2005):
Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden, UBA-Texte 19/05, Dessau

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (2013):
Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2013/2014, Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (2014a):
URL <http://www.stahl-online.de/index.php/statistiken/#konjunkturlage>, Stand: 22.07.2014

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (2014b):
URL <http://www.stahl-online.de/index.php/themen/stahltechnologie/stahlerzeugung/>, Stand: 22.07.2014

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (2014c):

Themenpapier Recycling-Weltmeister: Stahl, URL <http://www.stahl-online.de/index.php/themen/energie-und-umwelt/recycling/>, Stand: 25.07.2014

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (2014d):

URL http://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2013/08/201403_Schrottanteil_Stahlerzeugung_D.png, Stand: 20.08.2014

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (2014e):

URL http://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2013/08/20131121_Stahlindustrie-in-Deutschland-2012.png, Stand: 26.08.2014

WVM [WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG METALLE] (2014):

Metallstatistik 2013, URL www.wvmetalle.de, Berlin