

Bergische Universität Wuppertal

Interdisziplinäres Zentrum III

Entwicklung und Validierung einer Methode zur Erfassung der
Sammelraten von Bauprodukten aus Metall

Abschlussbericht
Az: 32396/01-23

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Bearbeitung durch: Bergische Universität Wuppertal

Projektleitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus

Projektbearbeitung: M.Sc. Anne Christine Randel
M.Sc. Raban Siebers
M.Sc. Carla Pütz

Studentischer Mitarbeiter: Dominik Stellmacher

In Zusammenarbeit mit:



Projektleitung: Dr.-Ing. Paul Kamrath

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	32396/01	Referat	23	Fördersumme	124.181 €
----	-----------------	---------	-----------	-------------	------------------

Antragstitel **Entwicklung und Validierung einer Methode zur Erfassung der Sammelraten von Bauprodukten aus Metall**

Stichworte Baustahl, Stahlschrott, Sammelraten, Recycling, Wiederverwendung, Lebenszyklus, Life-Cycle-Engineering

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
35 Monate	01.11.2016	30.09.2019	1

Zwischenberichte 01.05.2018

Bewilligungsempfänger	Paul Kamrath Ingenieurrückbau GmbH Dr.-Ing. Paul Kamrath Hamburger Str. 97 44135 Dortmund	Tel	0231-579751
		Fax	0231-579753
		Projektleitung	Prof. Helmus
		Bearbeiter	Anne Randel, Raban Siebers

Kooperationspartner bauforumstahl e.V.
Dr.-Ing. Rolf Heddrich
Sohnstr. 65
40237 Düsseldorf

Bergische Universität Wuppertal
Interdisziplinäres Zentrum III
Pauluskirchstr. 7
42285 Wuppertal

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Die Wiederverwendbarkeit von Stahlschrott und Produktionsabfällen macht Stahl zu einem nachhaltigen Werkstoff. Im Gegensatz zu mineralischen Bauabfällen, wird Stahlschrott nach Ende des Produktlebenszyklus zu einem neuen Produkt gleicher oder besserer Qualität aufgewertet. Wiederverwendbare sowie sofort weiterverkaufte Stahlbauteile werden beim Rückbau jedoch nicht gesondert erfasst, stellen durch ihren Geldwert auch ohne weitere Behandlung keinen Abfall dar und tauchen so in der Abfallstatistik nicht auf. Sie werden anderweitig vermarktet. Eine detaillierte, statistische Aufschlüsselung dieser Bauteile existierte somit nicht. Dieser Umstand erschwerte bisher eine lebenszyklusweite Stoffstromanalyse. Fundierte Aussagen zu den Sammelraten von Baustahl, vor allem in Deutschland, konnten nicht getroffen werden, da die maßgeblichen Stoffströme bislang nicht ausreichend detailliert quantifiziert wurden. Ziel des Projektes war es, die deutschen Sammelraten zu verifizieren, um das Wiederverwendungs- und Recyclingpotenzial, insbesondere von Baustahl, besser darstellen zu können.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Ziel des Forschungsprojektes war es, den Lebenszyklusabschnitt „End-of-Life“ von Baustahl transparenter darzustellen. Hierzu wurde der Status quo des selektiven Rückbaus in Deutschland dargestellt und die rechtlichen und technischen Anforderungen an die Wiederverwendung von Baustahl untersucht. Um Anhaltspunkte für die Bedeutung der Wiederverwendung von Baustahl zu gewinnen, wurden nationale Statistiken ausgewertet, internationale Studien recherchiert und nicht zuletzt unterschiedliche Akteure des Baustahl-Lebenszyklus interviewt und befragt. Dabei konnten eine Reihe von Hemmnissen identifiziert werden, die bei der Nachnutzung und Vermarktung von Stahlbauteilen auftreten.

Ergebnisse und Diskussion

Aufgrund der hohen Werthaltigkeit von Stahl existieren in Deutschland hohe Recyclingquoten. Baustahl wird im Rahmen des selektiven Rückbaus sortenrein entnommen und zu einem hohen Prozentsatz recycelt. Recyclingbetriebe und Schrotthändler sind somit wichtige Rohstofflieferanten und unersetzlich für den Betrieb und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Stahlindustrie. Die Recycling- und Wiederverwendungsraten von Bauprodukten aus Stahl waren schwer zu erfassen. Zum einen sind vorhandene Statistiken nicht spezifisch genug, um daraus Werte für Baustahl abzuleiten, zum anderen erfasst das Statistische Bundesamt lediglich den Input von Eisen und Stahl in Abfallbehandlungsanlagen. Eine vollständige Abbildung des Materialstromes war aufgrund der direkten Weitervermarktung von wiederverwendbaren Bauteilen durch Händler und Entsorgungsfachbetriebe nicht möglich. Somit ließ sich das vorhandene Potenzial der Wiederverwendung von Bauprodukten aus Stahl nur abschätzen bzw. bei den Verbänden der Abbruch- und Stahlrecyclingunternehmen abfragen. Aktuelle, internationalen Untersuchungen zufolge liegt die Wiederverwendungsquote von Baustahl derzeit zwischen 7 und 10 %. Diese Werte sind jedoch aufgrund der Produktvielfalt und der intransparenten Untersuchungsmethodik nur eingeschränkt auf Deutschland übertragbar. Die im Rahmen der Interviews befragten Entsorgungsfachbetriebe und Händler schätzen den Anteil an Baustahl, der in Deutschland tatsächlich wiederverwendet wird, auf etwa 5 %. Anhand der Umfrage beim Deutschen Abbruchverband und bei der Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen konnte eine mittlere Wiederverwendungsquote von 5,3 % ermittelt werden. Der deutsche Markt für gebrauchte Bauteile aus Stahl unterteilt sich in einen Markt für private Bauherren, die Baustahl für kleinere Projekte im Eigenheim oder Garten suchen und einen Markt für Tiefbauunternehmen, die das sogenannte Nutzeisen für den Spezialtiefbau benötigen. Es handelt sich demnach vorwiegend um die Wiederverwendung von einzelnen Gebäudeelementen (z. B. Stahlprofil), die auf einer neuen Baustelle zum Einsatz kommen. In beiden Fällen sind die Anforderungen hinsichtlich der Werkstoffeigenschaften, Maße oder äußeren Beschaffenheit des Baustahls eher gering. Die Wiederverwendung ganzer Gebäude findet, bis auf einzelne Ausnahmen, nicht statt. Die Möglichkeit, Baukomponenten oder -elemente aus Stahl wiederzuverwenden und damit deren Nutzungsdauer zu verlängern, wird zum jetzigen Zeitpunkt nicht voll ausgeschöpft.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Fazit

Die Ergebnisse der Untersuchung haben gezeigt, dass die Sammelrate von Baustahl insgesamt sehr hoch ist (96,9 %), die Stahlrecyclingbranche ist somit ein wichtiger Rohstofflieferant für die Stahlindustrie. Um die für die Wiederverwendung wichtige Verknüpfung zwischen Produktherstellung und End-of-Life zu erreichen, müssen entsprechende Maßnahmen bereits bei der Produktherstellung ansetzen. Die spätere Rückbaubarkeit sollte bereits bei der Planung des Bauwerks berücksichtigt werden. Die Stahlbauweise eignet sich hierfür insbesondere, da die Möglichkeit besteht, lösbare Schraubverbindungen zu nutzen (z. B. im Hallenbau). Eine recyclinggerechte Konstruktion und die Fähigkeit zur Umnutzung verlängern die Nutzungsphase und können speziell bei Stahlkonstruktionen zu einer Ressourceneffizienzsteigerung führen. Dies hat die ökobilanzbasierte Sensitivitätsanalyse gezeigt. Bei einer vollständigen Wiederverwendung von Baustahl liegt das Treibhauspotenzial 89 % niedriger im Vergleich zum derzeitigen Referenzwert (91,6 % Recycling und 5,3 % Wiederverwendung). Die Untersuchung hat aber ebenso verdeutlicht, dass für die Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen bestimmte Voraussetzungen gegeben sein müssen. Dass die vorhandenen Ressourceneffizienzpotenziale aktuell nicht ausgeschöpft werden, ist auf eine Reihe von Hemmnissen und fehlende Anreizstrukturen zurückzuführen. Diese sind vor allem der Zeitaufwand für die Wiedernutzbarmachung von Baustahl und die geringe Nachfrage nach gebrauchtem Baustahl. Bei Abbruchunternehmen sorgt zudem der hohe Demontageaufwand und der fehlende Lagerplatz für Vorbehalte. Vor diesem Hintergrund ist es letztlich unabdingbar, dass die Nutzung gebrauchter Bauteile zu einer Kostenersparnis führt, gebrauchte Bauteile schnell und lokal verfügbar sind und ein entsprechendes Qualitätssystem die Rechtssicherheit der Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen gewährleistet.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
Glossar	XIII
Zusammenfassung	XVII
1 Einführung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	2
2 Methodische Grundlagen	5
2.1 Stoffströme im Bauwesen	5
2.2 Stahl als Roh-, Werk- und Baustoff	8
2.2.1 Definition.....	8
2.2.2 Herstellung und Rohstoffeinsatz	9
2.2.3 Stahlerzeugnisse	13
2.2.4 Stahl und Nachhaltigkeit	14
2.2.5 Baustahl im Lebenszyklus	15
2.3 Selektiver Rückbau	17
2.4 Recyclinggerechte Konstruktion.....	19
2.5 Zusammenfassung.....	22
3 Best practice: Wiederverwendung von Bauteilen aus Stahl	23
4 Anforderungen an die Wiederverwendung von Bauteilen aus Stahl	29
4.1 Alterung, Materialermüdung und Vorschädigungen	29
4.2 Korrosions- und Brandschutz	30

4.3	Verbindungen.....	33
4.4	Demontage und Aufbereitung	35
4.5	Zusammenfassung.....	36
5	Rechtliche Aspekte der Wiederverwendung	37
5.1	Rechtliche Einordnung der Wiederverwendung	37
5.1.1	Produktrecht	37
5.1.1.1	EU-Bauproduktenverordnung.....	37
5.1.1.2	Ökodesign-Richtlinie	38
5.1.2	Kreislaufwirtschaftsrecht	39
5.1.2.1	Abfallrahmenrichtlinie.....	39
5.1.2.2	Abfallvermeidungsprogramm	40
5.1.2.3	Kreislaufwirtschaftsgesetz.....	40
5.2	Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen zur Wiederverwendung von Bauteilen.....	41
5.3	Zusammenfassung.....	43
6	Untersuchung der Wiederverwendungsquote	45
6.1	Statistische Auswertung.....	45
6.2	Internationale Untersuchungen	48
6.3	Umfragen bei Verbänden der Abbruch- und Entsorgungsbranche.....	51
6.3.1	Umfrage beim Deutschen Abbruchverband e.V. (DA)	51
6.3.2	Umfrage bei der Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. (BDSV)	52
6.3.3	Auswertung der Umfragen	54
6.3.3.1	Unternehmensgröße und -standort	54
6.3.3.2	Abbruch von Gebäuden und Stahlschrottaufkommen	55
6.3.3.3	Nutzeisenverkauf	56
6.3.3.4	Sammelraten.....	57

6.3.3.5	Nachfrage nach gebrauchten Baustahlprodukten	59
6.4	Interviews mit Akteuren der Wertschöpfungskette Baustahl	59
6.4.1	Befragte Akteure	59
6.4.2	Fragestellungen	60
6.4.3	Auswertung der Interviews.....	63
6.5	Zusammenfassung und Bewertung.....	65
7	Ökobilanzbasierte Sensitivitätsanalyse.....	67
7.1	Ziel der Analyse	67
7.2	Untersuchungsrahmen.....	68
7.2.1	Funktionelle Einheit	68
7.2.2	Systemgrenze.....	68
7.2.3	Erfassungsbereich	69
7.2.4	Verrechnungsmethoden.....	69
7.2.5	Auswahl der Wirkungsabschätzungsmethodik und der Wirkungskategorien	71
7.2.6	Software und Datenbanken	74
7.3	Sachbilanz	74
7.3.1	Datensammlung und Qualitätssicherung	74
7.3.2	Vordergrunddaten.....	75
7.3.3	Hintergrunddaten und Hintergrunddatensätze	76
7.3.3.1	Hintergrunddaten	76
7.3.3.2	Hintergrunddatensätze.....	77
7.4	Wirkungsabschätzungsergebnisse und Interpretation.....	78
7.4.1	Rückbau (Modul C1) Recycling vs. Wiederverwendung	78
7.4.2	Gesamtaufwand Recycling vs. Wiederverwendung	79
7.4.3	Ergebnisse nach Verrechnungsmethode „Modul D“	79
7.4.4	Ergebnisse nach Verrechnungsmethode „PEF“	81

7.4.5	Ergebnisse im Vergleich	82
7.4.6	Annahmen und Einschränkungen	83
7.4.7	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	83
8	Potenzial- und Hemmnisanalyse	85
8.1	Ressourceneffizienzpotenziale der Wiederverwendung	85
8.2	Systemische und technische Hemmnisse	87
8.3	Zusammenfassung	89
9	Ergebnisse und Interpretation	91
	Literaturverzeichnis	95
	Anhang 1: Ergebnisse der Umfrage beim DA und BDSV	103
A1.1	Deutscher Abbruchverband e.V. (n = 39)	103
A1.2	Bundesvereinig. Deutscher Stahlrecycling- u. Entsorgungsunternehmen (n = 24)	114
	Anhang 2: Interviews mit Entsorgungsfachbetrieben und Händlern	121
	Anhang 3: Interviews mit Architekten und Ingenieuren	131
	Anhang 4: Interview mit einem Abbruchunternehmen	135
	Anhang 5: Analyse der ökologischen Vorteilhaftigkeit der Wiederverwendung	137

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lebenszyklusphasen eines Gebäudes nach DIN EN 15804	6
Abbildung 2: Aufkommen an Bau- und Abbruchabfällen 2016	7
Abbildung 3: Erzeugungsrouten zur Stahlherstellung 2018	11
Abbildung 4: Rohstoffinput und -output der Stahlproduktion 2016	12
Abbildung 5: Verhältnis von Schrotteinsatz zu Rohstahl in Deutschland	13
Abbildung 6: Herstellung von warmgewalzten Stahlerzeugnissen 2016	14
Abbildung 7: Lebenszyklusphasen von Produkten aus Baustahl	17
Abbildung 8: Honda Warenlager	24
Abbildung 9: Segro Business-Park	25
Abbildung 10: Christus-Pavillon der EXPO 2000	26
Abbildung 11: Wiederaufbau des Christus-Pavillons in Volkenroda, Thüringen	27
Abbildung 12: Korrodierter Stahlträger im eingebauten Zustand	31
Abbildung 13: Typisches Nutzeisenlager	31
Abbildung 14: Verbindung von Baustahlkomponenten	34
Abbildung 15: Verschweißte Fachwerkkonstruktion	35
Abbildung 16: Unternehmensstandorte der Teilnehmer des BDSV (links) und des DA (rechts)	54
Abbildung 17: Abbruch von Gebäuden nach Typ (DA)	55
Abbildung 18: Verkauf von Nutzeisen durch Teilnehmer des BDSV (links) und des DA (rechts)	56
Abbildung 19: Hemmnisse für den vermehrten Verkauf von Nutzeisen	57
Abbildung 20: Boxplot-Diagramme	58
Abbildung 21: Systemgrenze nach EN 15804-A1 und PEF	68
Abbildung 22: Circular Footprint Formula (CFF)	70
Abbildung 23: Ökobilanzmodell - Modul D	78
Abbildung 24: Aufwand Recycling vs. Reuse	78

Abbildung 25: Gesamtaufwand Recycling vs. Wiederverwendung	79
Abbildung 26: Treibhauspotenzial für 1 Tonne Stahl nach „Modul D“-Methode	80
Abbildung 27: Treibhauspotenzial für 1 Tonne Stahl nach „Modul D“-Methode – Szenarien	80
Abbildung 28: Treibhauspotenzial für 1 Tonne Stahl nach CFF Formel.....	81
Abbildung 29: Ergebnisse für 1 Tonne Stahl – 99 % Recycling, 99 % Reuse	82
Abbildung 30: Fachwerkkonstruktion aus Baustahl.....	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Definitionen und Bewertungsstufen einer recyclinggerechten Konstruktion	20
Tabelle 2: Varianten der Wiederverwendung im Stahlbau	23
Tabelle 3: Entsorgung von Bau- und Abbruchabfällen aus Stahl im Jahr 2017	46
Tabelle 4: Wirtschaftszweige mit Bezug zum Stahlrecycling.....	47
Tabelle 5: Umfrageergebnisse zur Wiederverwendung von Stahlprodukten.....	50
Tabelle 6: Fragestellungen an Mitgliedsunternehmen des Deutschen Abbruchverbands e.V.	52
Tabelle 7: Fragestellungen an Mitgliedsunternehmen des BDSV	53
Tabelle 8: Übersicht der befragten Unternehmen	60
Tabelle 9: Fragestellungen zur Wiederverwendung von Baustahl an Entsorgungsfachbetriebe.....	61
Tabelle 10: Fragestellungen zur Wiederverwendung von Baustahl an Architekten	62
Tabelle 11: Fragestellungen zur Wiederverwendung von Baustahl an Abbruchunternehmen	63
Tabelle 12: Parameter der CFF Formel	71
Tabelle 13: Beschreibung der CML 2001 Wirkungskategorien	73
Tabelle 14: Vordergrunddaten für die Module A5 und C1	75
Tabelle 15: Verbräuche der Geräte für die Errichtung und den Rückbau.....	76
Tabelle 16: Hintergrunddatensätze in der Sachbilanz.....	77
Tabelle 17: Systemische und technische Hemmnisse bei der Wiederverwendung	88

Abkürzungsverzeichnis

A

AbfRRL	Abfallrahmenrichtlinie
Abs.	Absatz
ADP	Abiotisches Ressourcenverbrauchspotenzial
ADPF	Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe
AP	Versauerungspotenzial
Art.	Artikel

B

BauO NRW	Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen – Landesbauordnung
BDSV	Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V.
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (bis 2013) bzw. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (ab 2018)
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (bis 2018)
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise

C

°C	Grad Celsius
CCU	Carbon Capture and Usage
CDA	Carbon Direct Avoidance
CFF	Carbon Footprint Formula

D

d. h.	das heißt
DA	Deutscher Abbruchverband e.V.
DGNB	Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e.V.
DMI	Direkter Materialeinsatz
DRI	Direktreduziertes Eisen (Eisenschwamm)

E

e. V.	eingetragener Verein
EBPG	Energiebetriebene-Produkte-Gesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EoL	End of Life
EP	Überdüngungspotenzial
EPD	Umwelt-Produktdeklaration
etc.	et cetera
EU-BauPVO	EU-Bauproduktenverordnung
EVPG	Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz

G

GHG	Treibhausgas
GWP	Treibhauspotenzial

H

ha	Hektar
----	--------

I

IBU	Institut Bauen und Umwelt e.V.
-----	--------------------------------

K

k. A.	keine Angabe
kg	Kilogramm
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen

KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
L	
LCA	Ökobilanz
M	
m. w. N.	mit weiteren Nachweisen
MBO	Musterbauordnung
Mio.	Millionen
MPa	Megapascal
Mrd.	Milliarden
N	
NE-Metalle	Nichteisen-Metalle
NFDC	National Federation of Demolition Contractors
O	
o. S.	Ohne Seitenangabe
ODP	Ozonabbaupotenzial
Ökodesign-RL	Richtlinie 2009/125/EG zur Schaffung eines Rahmens zur Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte
P	
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PED	Primary Energy Demand
PEF	Product Environmental Footprint
PEFCR	Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules
PENRE	Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger
POCP	Sommersmogpotenzial
ProgRes	Ressourceneffizienzprogramm

PVC Polyvinylchlorid

R

Rn. Randnummer

S

SCI Steel Construction Institute

sog. sogenannte

T

t Tonne

U

u. a. unter anderem

UBA Umweltbundesamt

V

v. a. vor allem

vgl. vergleiche

VOC Flüchtige organische Verbindung

W

WZ Klassifikation der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes

Z

z. B. zum Beispiel

Glossar

Bauprodukt

Ein Bauprodukt ist gemäß Kapitel I, Art. 2, Ziffer 1 der EU-Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) ein Produkt oder Bausatz, „[...] das beziehungsweise hergestellt und in Verkehr gebracht wird, um dauerhaft in Bauwerke oder Teile davon eingebaut zu werden, und dessen Leistung sich auf die Leistung des Bauwerks im Hinblick auf die Grundanforderungen an Bauwerke auswirkt.“¹

Downcycling

Der Begriff Downcycling wird genutzt, wenn das Recyclingmaterial von geringerer Qualität ist als das Ausgangsmaterial. Dies betrifft in erster Linie mineralische Sekundärrohstoffe wie Beton- oder Mauerwerksbruch, die nach einer Aufbereitung vorwiegend im Straßen- und Erdbau (v. a. für Verfüllungen, Lärmschutzwälle oder Unterbaumaterial) eingesetzt werden.

End of Life

Unter dem Begriff End of life werden alle Prozesse zusammengefasst, die am Ende des Lebenszyklus eines Gebäudes oder Bauprodukts stattfinden. Hierzu gehören der Rückbau oder Abriss eines Gebäudes, Transportaufwendungen, Aufbereitungsschritte zur Wiederverwendung oder zum Recycling sowie eine etwaige Deponierung.²

Hintergrundsystem

Betrifft diejenigen Prozesse, für die aufgrund des Mittelungseffekt über Lieferanten ein homogener Markt mit durchschnittlichen Daten als ausreichend repräsentativ für den Prozess angesehen werden kann und/oder diejenigen Prozesse, die im Rahmen des Systems betrieben werden, aber die sich nicht unter direkter Kontrolle oder entscheidendem Einfluss des Produzenten befinden.

¹ Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates.

² Vgl. Module C und D der DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte.

Lebenszyklus

Gemäß ISO 14040:2006, Abschnitt 3.1 „die Betrachtung eines Produktsystems als aufeinander folgende und miteinander verbundene Stufen eines Produktsystems von der Rohstoffgewinnung oder Rohstoffherzeugung bis zur endgültigen Beseitigung“.

Ökobilanz

Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges.

Recycling

Recycling im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist gemäß § 3 Abs. 25 „[...] jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden; es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, nicht aber die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind.“³ Das Recycling steht in der Abfallhierarchie an dritter Stelle nach der Vermeidung und Vorbereitung zur Wiederverwendung. Zur Förderung des Recyclings sind metallhaltige Abfälle getrennt zu sammeln, soweit dies technisch möglich und zumutbar ist.⁴

Sammelrate

Die Sammelrate ist die Summe der Materialien, die einem Recycling oder einer Wiederverwendung zugeführt werden. Hierzu findet gemäß § 3 Abs. 15 KrWG eine Sammlung von „[...] Abfällen, einschließlich deren vorläufiger Sortierung und vorläufiger Lagerung zum Zweck der Beförderung zu einer Abfallbehandlungsanlage“ statt. Um eine bestimmte Behandlung zu erleichtern oder zu ermöglichen (z. B. eine Wiederverwendung), sollte der Abfallstrom nach Art und Beschaffenheit getrennt gehalten werden.⁵

Stahlbauteil

Stahlbauteile werden gemäß DIN EN 10079: Begriffsbestimmungen für Stahlerzeugnisse in folgende Kategorien eingeteilt:

³ Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 9 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist.

⁴ § 14 Abs. 1 KrWG.

⁵ § 3 Abs. 16 KrWG.

- Flacherzeugnisse (z. B. Breitflachstähle, Bleche mit und ohne Oberflächenbehandlung, Sandwichbleche und -elemente)
- Langerzeugnisse (z. B. I-, H- und U-Profile, Beton- und Spannstahl, Spundwandezeugnisse, Grubenausbauprofile, Rohre, Hohlprofile).⁶

Upcycling

Von einem Upcycling spricht man, wenn im Recyclingprozess eine Aufwertung stattfindet. Dies ist beim Werkstoff Stahl der Fall, wenn Stahlschrott am Ende des Produktlebenszyklus eingeschmolzen und zu einem neuen Produkt gleicher oder besserer Qualität aufgewertet wird, z. B. mit einer höheren Tragfähigkeit. Stahl lässt sich demzufolge verlustfrei recyceln.

Verlust

Als Verlust bezeichnet man den Anteil, der am Ende eines Produktlebenszyklus während der Nutzung verloren geht oder deponiert wird. In der Nutzungsphase kann es sich um einen mechanischen Verschleiß (z. B. Abrieb) oder um chemische Prozesse (z. B. Korrosion) handeln. Beim Rückbau und Transport kann es zu Lade-, Sortier- und Lagerungsverlusten kommen, in der Abfallaufbereitung entstehen Verluste durch die Deponierung (z. B. bei nicht erfolgter Trennung von Bewehrung aus Stahl und Beton).

Vordergrundsystem

Betrifft diejenigen Prozesse des Systems, die spezifisch sind und/oder direkt von den untersuchten Entscheidungen betroffen sind. Dies umfasst in der Regel Tier-1 Lieferanten, den Hersteller selbst, sowie alle nachgelagerten Phasen des Lebenszyklus, auf die der Hersteller einen maßgeblichen Einfluss ausübt. Im Allgemeinen sollten spezifische (primäre) Daten für das Vordergrundsystem verwendet werden.

Wiederverwendung

Wiederverwendung im Sinne des § 3 Abs. 21 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) „[...] ist jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren.“⁷ Die Vorbereitung zur Wiederverwen-

⁶ [DIN07], S. 10-28.

⁷ § 3 Abs. 21.

dung steht in der Abfallhierarchie an zweiter Stelle, hierunter fallen die vorbereitenden Verfahrensschritte Prüfung, Reinigung und Reparatur von Erzeugnissen oder deren Bestandteilen.⁸ Bei der Wiederverwendung verzichtet man auf Zerkleinerungs- und Schmelzprozesse und nutzt gängige Stahlkonstruktionen wie z. B. Träger oder Stützen nach einer Aufbereitung weiter, so dass das Produkt die gleiche oder ähnliche Funktion wie vorher besitzt.

⁸ § 3 Abs. 24 KrWG und § 6 Abs. 1 KrWG.

Zusammenfassung

Durchgeführte Untersuchungen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde zum einen kurz auf die Stoffströme im Bauwesen eingegangen sowie Stahl als Roh-, Werk- und Baustoff vorgestellt, zum anderen wurde der Status quo des selektiven Rückbaus in Deutschland untersucht. Es erfolgte eine Darstellung von bereits umgesetzten Praxisbeispielen, des Weiteren wurden Statistiken und internationale Studien ausgewertet. Ebenso wurden unterschiedliche Akteure des Baustahl-Lebenszyklus interviewt und befragt, um u. a. die Sammelraten von Baustahl zu identifizieren. Eine ökobilanzbasierte Sensitivitätsanalyse wurde vom Unterauftragsnehmer thinkstep durchgeführt.

Erzielte Ergebnisse

Aufgrund der hohen Werthaltigkeit von Stahl existieren in Deutschland bereits hohe Recyclingquoten. Recyclingbetriebe und Schrotthändler sind wichtige Rohstofflieferanten und unersetzlich für den Betrieb und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Stahlindustrie. Die Recycling- und Wiederverwendungsraten von Bauprodukten aus Stahl sind schwer zu erfassen. Zum einen sind vorhandene Statistiken nicht spezifisch genug, um daraus Werte für Baustahl abzuleiten, zum anderen erfasst das Statistische Bundesamt lediglich den Input von Eisen und Stahl in Abfallbehandlungsanlagen. Somit lässt sich das vorhandene Potenzial der Wiederverwendung von Bauprodukten aus Stahl nur abschätzen bzw. bei den Verbänden der Abbruch- und Stahlrecyclingunternehmen abfragen. Die im Rahmen der Interviews befragten Entsorgungsfachbetriebe und Händler schätzen den Anteil an Baustahl, der in Deutschland tatsächlich wiederverwendet wird, auf etwa 5 %. Anhand der Umfrage beim Deutschen Abbruchverband und bei der Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen konnte eine mittlere Wiederverwendungsquote von 5,3 % ermittelt werden.

Empfehlungen für das weitere Vorgehen

In Zukunft können die Sammelraten von Baustahl nur durch regelmäßige Umfragen und/oder Interviews erfasst werden. Eine europaweite Umfrage wäre zudem sinnvoll, um die ermittelten Werte vom Steel Construction Institute und Eurofer aus den Jahren 2000 und 2012 zu aktualisieren.

Kooperationspartner

Paul Kamrath Ingenieurrückbau GmbH

bauforumstahl e.V., Düsseldorf

1 Einführung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die deutsche Stahlindustrie spielt international, besonders bei der Erzeugung von Qualitätsstählen, eine große Rolle. 2018 wurden in Deutschland 42,4 Mio. Tonnen Rohstahl produziert. 35 % hiervon sind dem Bauwesen zuzuordnen.⁹ Zu den gängigen Anwendungsbereichen im Bauwesen zählen die Verbindung mit Beton als Betonstahl sowie die reine Stahlkonstruktion als Baustahl. Die guten Festigkeitseigenschaften von Stahl sind von großer Bedeutung bei Stahlkonstruktionen im Hochbau (z. B. Hallenbauten), im Tiefbau (z. B. im Baugrubenverbau) und im Brückenbau. Laut Bautätigkeitsstatistik wurden 2018 25,3 % der Nichtwohngebäude überwiegend aus Stahlbauteilen erstellt.¹⁰

Die Wiederverwendbarkeit von Stahlschrott und Produktionsabfällen macht Stahl zu einem nachhaltigen Werkstoff. Im Gegensatz zu mineralischen Bauabfällen wird Stahlschrott nach Ende des Produktlebenszyklus zu einem neuen Produkt gleicher oder besserer Qualität aufgewertet, ohne dass es zu einem Downcycling¹¹ kommt. Wiederverwendbare Stahlbauteile werden jedoch beim Rückbau nicht gesondert erfasst. Mit dem Ende der Abfalleigenschaft für Eisen- und Stahlschrotte werden erhebliche Materialströme der statistischen Erfassung entzogen. Eine einheitliche Erfassung der für die Ressourceneffizienz bedeutsamen Stoffströme ist somit nicht möglich.¹² In der internationalen Literatur wird die Höhe der Sammelrate¹³ häufig mit 99 % für Baustahl angegeben, wovon 11 % der Stahlbauprodukte direkt wiederverwendet und die übrigen 88 % recycelt werden. Der Verlust wird auf 1 % beziffert. Diese Werte stammen ursprünglich aus der 2002 veröffentlichten Studie „Life-cycle assessment for steel construction“ und beruhen auf Befragungen von Abbruchunternehmen in Großbritannien und

⁹ [WVS19a].

¹⁰ [SB19a], S. 54.

¹¹ Der Begriff Downcycling wird genutzt, wenn das Recyclingmaterial von geringerer Qualität ist als das Ausgangsmaterial.

¹² [UBA12], S. 133.

¹³ Die Sammelrate ist die Summe der Materialien, die einem Recycling oder einer Wiederverwendung zugeführt werden.

den Niederlanden.¹⁴ Eine vollständige Übertragbarkeit auf Deutschland, vor allem hinsichtlich der Produktvielfalt, ist jedoch nicht ohne Weiteres gegeben. Für die Darstellung des Wiederverwendungspotenzials von Baustahl in Deutschland fehlt bislang eine solide, transparente Datenbasis.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Wenngleich die Sammelrate aufgrund des Schrottwertes von Eisen und Stahl hoch ist und bei schätzungsweise 99 % liegt, existieren keine Untersuchungen zur Höhe der Wiederverwendungs- und Recyclingrate in Deutschland. Ziel des Forschungsprojektes ist es daher, den Lebenszyklusabschnitt „End-of-Life“ von Baustahl transparenter darzustellen, denn die Wiederverwendungs- und Recyclingraten spielen vor allem hinsichtlich der Ökobilanz und Umweltproduktdeklaration von Baustahl eine große Rolle. Folgende Fragestellungen werden hierzu untersucht:

- Wie ist der Status quo des selektiven Rückbaus in Deutschland und welche Vorteile bieten recyclinggerechte Konstruktionen?
- Welche rechtlichen und technischen Anforderungen an die Wiederverwendung von Baustahl bestehen in Deutschland?
- Ist eine statistische Ermittlung der Wiederverwendungsquote möglich?
- Welche Hemmnisse treten bei der Nachnutzung und Vermarktung von Stahlbauteilen auf?
- Wie groß ist das Ressourceneffizienzpotenzial der Wiederverwendung?
- Mit welcher Methode lassen sich die Sammelraten von Bauprodukten aus Metall erfassen?

Im Kapitel „Methodische Grundlagen“ wird kurz auf die Stoffströme im Bauwesen eingegangen sowie Stahl als Roh-, Werk- und Baustoff vorgestellt. Des Weiteren wird der Status quo des selektiven Rückbaus und einer recyclinggerechten Konstruktion in Deutschland dargestellt. Im dritten Kapitel erfolgt eine beispielhafte Darstellung von bereits umgesetzten Praxisbeispielen (Wiederverwendung von Stahlkonstruktionen). In Kapitel 4 werden die Anforderungen an die Wiederverwendung von Stahlbauteilen analysiert. Hierbei stehen bauteilbezogene Anforderungen und Faktoren im Vordergrund. Kapitel 5 widmet sich den rechtlichen Aspekten der Wiederverwendung. Im Fokus von Kapitel 6 stehen die Auswertung von Statistiken und internationalen Studien sowie die Befragung unterschiedlicher Akteure des Baustahl-Lebenszyklus. In Kapitel 7 folgt die ökobilanzbasierte Sensitivitätsanalyse des Un-

¹⁴ [SM02], S. 48.

terauftragsnehmers thinkstep, während sich in Kapitel 8 die Potenzial- und Hemmnisanalyse anschließt. Die abschließende Zusammenfassung erfolgt in Kapitel 9 mit der Darstellung der Ergebnisse und einer Interpretation.

2 Methodische Grundlagen

Im Bauwesen findet nicht nur ein großer Teil der Stoffstrombewegungen statt, es existiert mit dem Gebäudebestand und vorhandener Infrastruktur auch ein immenses Materiallager. Die Vielfalt der im Hochbausektor eingesetzten Bauprodukte ist groß und hat in der jüngeren Vergangenheit deutlich zugenommen. Viele Bauprodukte weisen definierte Eigenschaften auf, die sie je nach Einsatzgebiet und -zweck für Bauwerke prädestinieren, aber auch zu einer immer größer werdenden Heterogenität von Bauabfällen führen.

Stahl ist der wichtigste metallische Baustoff und wird im Bauwesen häufig in Verbindung mit Beton als Betonstahl oder als reine Stahlkonstruktion genutzt. Im Rahmen des selektiven Rückbaus ist es problemlos möglich, metallische Bauteile vom übrigen Baumaterial zu separieren und qualitativ hochwertig zu recyceln. Baustahl, der sich wiederverwenden lässt, wird zum Teil von Schrotthändlern oder Entsorgungsfachbetrieben weitervermarktet. Die Wiederverwendbarkeit und das Recyclingpotenzial macht Stahl zu einem nachhaltigen Werkstoff, auf den im Folgenden näher eingegangen wird.

2.1 Stoffströme im Bauwesen

Unter Stoffströmen versteht man den „[...] Weg eines Stoffes von seiner Gewinnung als Rohstoff über die verschiedenen Stufen der Veredelung bis zur Stufe des Endprodukts, den Gebrauch/Verbrauch des Produktes, ggf. seine Wiederverwendung/Verwertung bis zu seiner Entsorgung“.¹⁵ Bezogen auf den Lebenszyklus eines Gebäudes ergeben sich gemäß DIN EN 15804 folgende Lebenszyklusphasen und zugehörige Prozesse, bei denen Stoffströme entstehen (vgl. Abbildung 1).

¹⁵ [EK94], S. 337.

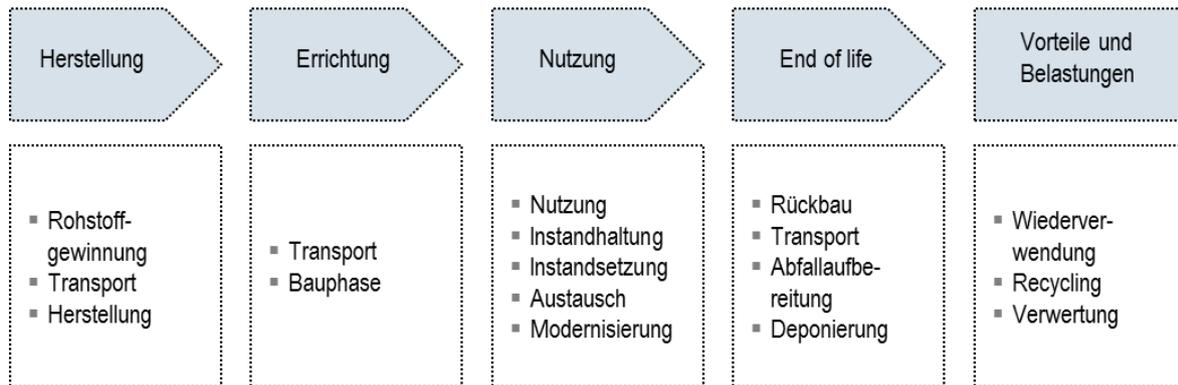


Abbildung 1: Lebenszyklusphasen eines Gebäudes nach DIN EN 15804¹⁶

Im Bauwesen finden ein großer Teil der Stoffstrombewegungen statt, ebenso existiert mit dem Gebäudebestand und der vorhandenen Infrastruktur ein immenses Materiallager. Schätzungen zufolge befinden sich im gesamten Bauwerksbestand ca. 50 Mrd. Tonnen an mineralischen Rohstoffen.¹⁷

Der derzeitige jährliche Bedarf an Gesteinskörnungen im Bauwesen (ca. 566 Mio. Tonnen) ist 2,5 mal so hoch wie sein Output, der hauptsächlich aus Boden, Steinen und Bauschutt besteht.¹⁸ 7,37 Mio. Tonnen Metalle, davon 6,6 Mio. Tonnen Eisen und Stahl, wurden 2017 in deutschen Abfallentsorgungsanlagen behandelt, dies entspricht einem Anteil von rund 3 % bezogen auf die gesamten Bau- und Abbruchabfälle (vgl. Abbildung 2).¹⁹

¹⁶ Eigene Darstellung, angelehnt an [DIN14], S. 14.

¹⁷ [BMU15], S. 62 f.

¹⁸ [BBS18], S. 11.

¹⁹ [SB19b], S. 27 f.

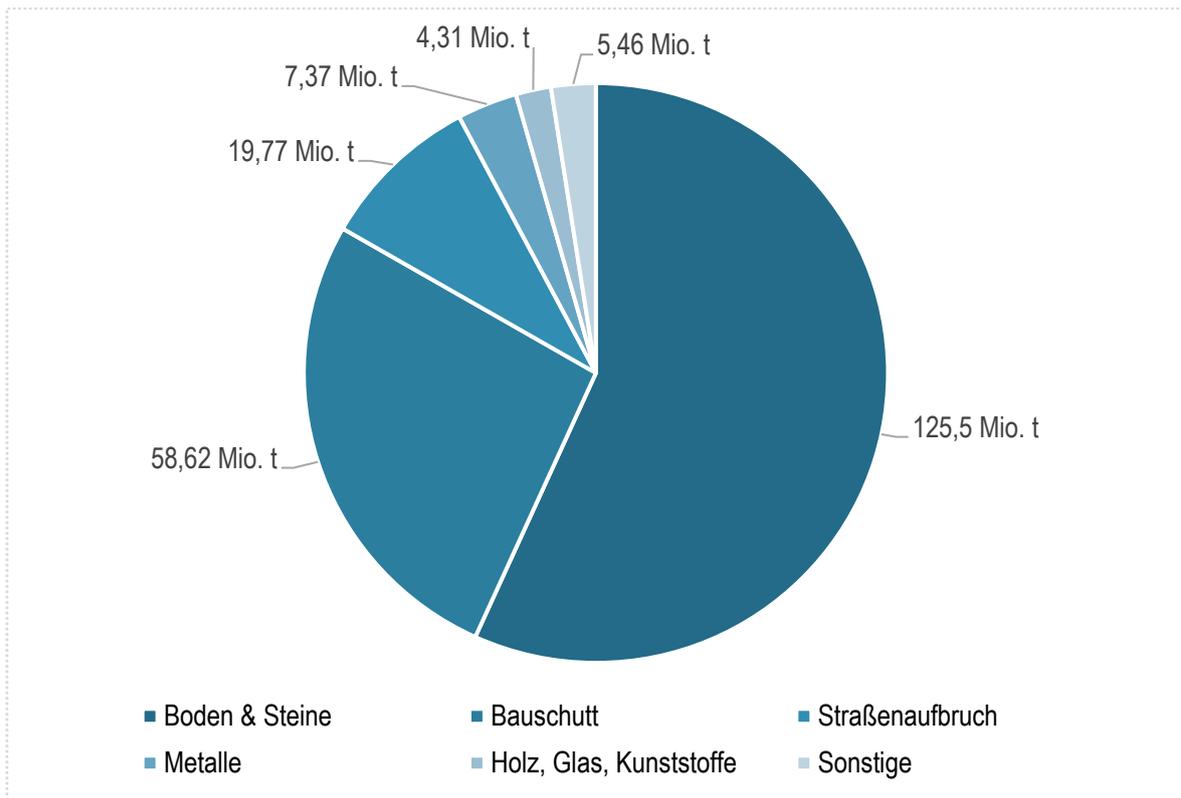


Abbildung 2: Aufkommen an Bau- und Abbruchabfällen 2016²⁰

Die Recyclingquote von Bau- und Abbruchabfällen liegt laut amtlicher Statistik bei 88 %.²¹ Dieser Wert schließt jedoch auch die sonstige stoffliche Verwertung mit ein, hierzu gehört beispielsweise die Nachnutzung von aufbereitetem Bauschutt im Straßen- und Erdbau. Mögliche Einsatzgebiete sind Lärmschutzwälle, Schottertragschichten, Verfüll- und Unterbaumaterialien. Ein höherwertiges Recycling (Upcycling) von Bauschutt in einem geschlossenen Kreislauf findet, bis auf wenige Ausnahmen, nicht statt.

Von den 2018 in Deutschland produzierten 42,4 Mio. Tonnen Rohstahl sind 35 % dem Bauwesen zuzuordnen, dies entspricht 14,8 Mio. Tonnen.²² Das Aufkommen an Stahlschrott in Deutschland liegt bei etwa 20 Mio. Tonnen.²³ Davon sind Angaben des Statistischen Bundesamtes zufolge 6,6 Mio. Tonnen der Baubranche zuzuordnen (gemäß Abfallverzeichnisnummer 17 04 05).²⁴

²⁰ Eigene Darstellung, Quelle: [SB19b], S. 27 f.

²¹ [SB19c], S. 30.

²² [WVS19a].

²³ [WVS19b], S. 7.

²⁴ [SB19b], S. 27 f.

2.2 Stahl als Roh-, Werk- und Baustoff

2.2.1 Definition

Stahl ist ein bedeutsamer Roh-, Werk- und Baustoff und besitzt ein großes Spektrum an mechanischen Eigenschaften. Die guten Festigkeitseigenschaften wie beeinflussbare Zugfestigkeit und hohe Bruchzähigkeit werden u. a. bei Stahlkonstruktionen im Hochbau (z. B. Hallenbauten), im Tiefbau (z. B. im Baugrubenverbau) und im Brückenbau genutzt.

Unter dem Begriff Stahl werden Werkstoffe mit dem Hauptelement Eisen zusammengefasst, je nach Einsatzgebiet weist Stahl weitere Legierungselemente auf. Wichtigstes Legierungselement ist Kohlenstoff, dessen Anteil in Stählen zwischen 0,0002 und 2 Massen-% betragen kann.²⁵ Der Kohlenstoffanteil bestimmt im Wesentlichen die Stahleigenschaften, je höher der Anteil an Kohlenstoff ist, desto höher ist die Härte und Zugfestigkeit. Gleichzeitig nehmen Verformbarkeit und Schweißbarkeit jedoch ab. Im Stahlhochbau sind vor allem besonders schweißgeeignete Feinkornstähle sowie Edelstähle erforderlich.²⁶ Der Kohlenstoffgehalt von Baustählen liegt bei ca. 0,2 %, meist enthalten sie weitere Legierungselemente wie Mangan.

Stähle für den allgemeinen Stahlbau werden gemäß „DIN EN 10027-1: Bezeichnungssysteme für Stähle“ mit dem Hauptsymbol S abgekürzt, ergänzt um den Mindestwert der Streckgrenze in MPa für die kleinste Erzeugnisdicke, z. B. S 235 = Stahl für den Stahlbau mit einer Streckgrenze ≥ 235 MPa.²⁷

Die „DIN EN 10025: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen“ führt in ihren Teilen 1 bis 6 spezifische Anforderungen an Baustähle (Flach- und Langerzeugnisse) auf. Es handelt sich um eine harmonisierte Europäische Norm. Erzeugnisse, die gemäß der Teile 2 bis 6 hergestellt werden, können das CE-Kennzeichen erhalten.²⁸

Beton- bzw. Bewehrungsstahl, der zur Bewehrung von Stahlbeton genutzt wird, wird im Rahmen dieser Arbeit hinsichtlich der Wiederverwendung nicht betrachtet.

²⁵ [BM18], S. 3.

²⁶ [RS11], S. 69.

²⁷ [BM18], S. 7.

²⁸ [DIN05], S. 2-5.

2.2.2 Herstellung und Rohstoffeinsatz

Zur Erzeugung von Stahl können zwei unterschiedliche Verfahren angewendet werden. So kann Stahl entweder aus Eisenerz oder aus Schrott hergestellt werden.

Unter Eisenerz werden Gesteine zusammengefasst, die einen Eisengehalt von mehr als 20 % aufweisen, wie z. B. Eisenoxid, Eisencarbonat oder Eisensulfid. Meist liegt der Eisenanteil zwischen 30 und 65 %.²⁹ Die globalen Eisenerzvorräte sind sehr groß und gleichmäßig verteilt. Wie bei allen metallischen Primärrohstoffen (z. B. Kupfer, Aluminium, seltene Erden) ist Deutschland jedoch auch bei Eisenerzen fast gänzlich auf Importe angewiesen. Die Importabhängigkeit der Stahlindustrie in Deutschland ist entsprechend hoch, denn Eisenerz und Koksrohstoffe werden zu nahezu 100 % aus dem Ausland importiert.³⁰ Im Jahr 2016 wurde der Bedarf an Eisenerz hauptsächlich durch Importe aus Brasilien, Kanada, Südafrika und Schweden gedeckt.³¹

Da Deutschland bei den Recyclingquoten, insbesondere auch bei Aluminium, Kupfer und Blei, eine Vorreiterrolle einnimmt, kann der Bedarf zu einem großen Anteil aus Sekundärrohstoffen (Schrott) gedeckt werden.

Die Herstellung von Roheisen im Hochofen (Primärroute) erfolgt aus Eisenoxid, welches mit Hilfe von Kohlenstoffmonoxid zu Eisen reduziert wird (vgl. Abbildung 3). Als Reduktionsmittel kommen Koks, Kohle, Öl und Gas zum Einsatz. Die Reduktion im Hochofen erfolgt im Gegenstromprinzip durch eine Beschickung mit Eisenerz und Zuschlägen von oben bei gleichzeitigem Einblasen von Heißwind (ca. 1.200 °C) von unten. Das so entstandene Roheisen wird anschließend im Konverterstahlwerk zu Rohstahl umgewandelt. Verunreinigungen aus Silizium, Mangan und Phosphor und ein großer Teil des im Roheisen enthaltenen Kohlenstoffs werden durch Einblasen von Sauerstoff oxidiert und über die Schlacke entfernt. Der Kohlenstoffgehalt kann so auf unter 2,06 % gesenkt werden. Durch die Zugabe von bis zu 25 % Stahlschrott wird die Schmelze gekühlt, da es sich um eine exotherme Reaktion handelt. Die im Hochofenprozess entstehende Schlacke kann als Sekundärrohstoff in der Zementindustrie oder im Straßenbau genutzt werden. Moderne Hochöfen produzieren bis zu 20.000 Tonnen

²⁹ [RS11], S. 66.

³⁰ [WVS17a], S. 10.

³¹ [BGR17], S. 26 u. 39.

Roheisen täglich. Die endgültige Konfiguration des Produkts Stahl wird im Rahmen der Sekundärmetallurgie durch die gezielte Zugabe von Legierungselementen vollzogen. So können die chemische Zusammensetzung, der Reinheitsgrad und die Gießtemperatur des Stahls beeinflusst werden.³²

Die Herstellung aus Schrott im Elektrolichtbogenofen (Sekundärroute) ist im Vergleich zum Hochofenprozess umweltfreundlicher und gewinnt daher an Bedeutung. Etwa ein Drittel der Rohstahlerzeugung in Deutschland wird derzeit über die Elektroofenroute erzeugt. Dabei kann prinzipiell jede Stahlsorte hergestellt werden.³³

Ein Lichtbogen wandelt elektrische Energie in Schmelzwärme um und schmilzt bei einer Temperatur von bis zu 3.500 °C Schrott und/oder Eisenschwamm³⁴. Die Stahlschmelze weist eine Temperatur von bis zu 1.800 °C auf. Ist die gewünschte chemische Zusammensetzung erreicht, wird die Stahlschmelze in der Sekundärmetallurgie weiterverarbeitet.³⁵

Anschließend erfolgen der Abguss und die Erstarrung zu einem geeigneten Halbzeug. Am verbreitetsten ist das Stranggießen, mit dem quadratische, rechteckige, runde oder H-förmige Halbzeuge hergestellt werden können. Die endgültige Formgebung erfolgt durch das Auswalzen des Halbzeugs bei einer Temperatur von 1.100 bis 1.200 °C, bei dem zusätzlich mechanische Eigenschaften eingestellt werden können.³⁶

³² [WVS17b]; [RS11], S. 67; [SEP18], S. 77-81.

³³ [WVS17b].

³⁴ Eisenschwamm wird auch als Direktreduziertes Eisen (DRI) bezeichnet.

³⁵ [SEP18], S. 80.

³⁶ [LS16], S. 315.

Für die Erzeugung von einer Tonne Stahl ist der Einsatz von 2,2 Tonnen Rohstoffen notwendig (vgl. Abbildung 4), dabei fällt bezogen auf das Gewicht der Stahlerzeugnisse ca. ein Drittel Stahlwerksschlacke an, der als Sekundärrohstoff weitergenutzt werden kann.

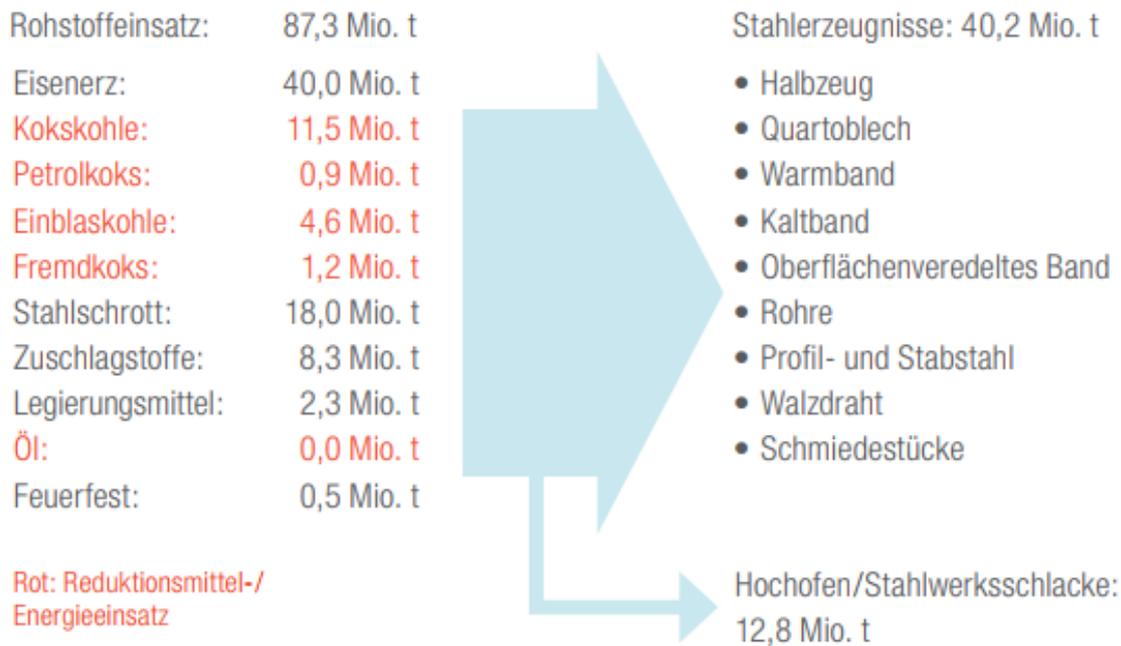


Abbildung 4: Rohstoffinput und -output der Stahlproduktion 2016³⁸

Der einzuschmelzende Schrott wird im Vorfeld untersucht, klassifiziert und sortiert. Schrott, der mit Metallelementen wie Kupfer, Zinn, Molybdän, Chrom oder Nickel verunreinigt ist, wird aussortiert, da eine Entfernung während des Schmelzprozesses nicht möglich ist. Ebenfalls unerwünscht sind brennbare und explosive Stoffe im Schrott, außerdem findet eine Überprüfung auf radioaktive Verunreinigungen bereits am Werkstor statt, so dass kontaminierter Schrott direkt abgewiesen werden kann.³⁹

Das Verhältnis von Schrotteinsatz zur Rohstahlerzeugung bewegt sich seit einigen Jahren oberhalb der 40 %-Marke, zuletzt lag es bei rund 44 % (vgl. Abbildung 5).

³⁸ [WVS17a], S. 10.

³⁹ [RS11], S. 68.



Abbildung 5: Verhältnis von Schrotteinsatz zu Rohstahl in Deutschland⁴⁰

2.2.3 Stahlerzeugnisse

36,5 Mio. Tonnen warmgewalzte Stahlerzeugnisse wurden 2016 in Deutschland hergestellt. Dies entspricht 87 % der gesamten Rohstahlerzeugung bezogen auf das Jahr 2016. Zu den warmgewalzten Stahlerzeugnissen gehören Lang- und Flacherzeugnisse. 2016 wurden 24,2 Mio. Tonnen Flacherzeugnisse und 12,3 Mio. Tonnen Langerzeugnisse produziert, die sich gemäß Abbildung 6 in Walzdraht, Stabstahl, Schwere Profile und Betonstahl aufgliedern.⁴¹

⁴⁰ [WVS19c], S. 24.

⁴¹ [WVS19b], S. 1.

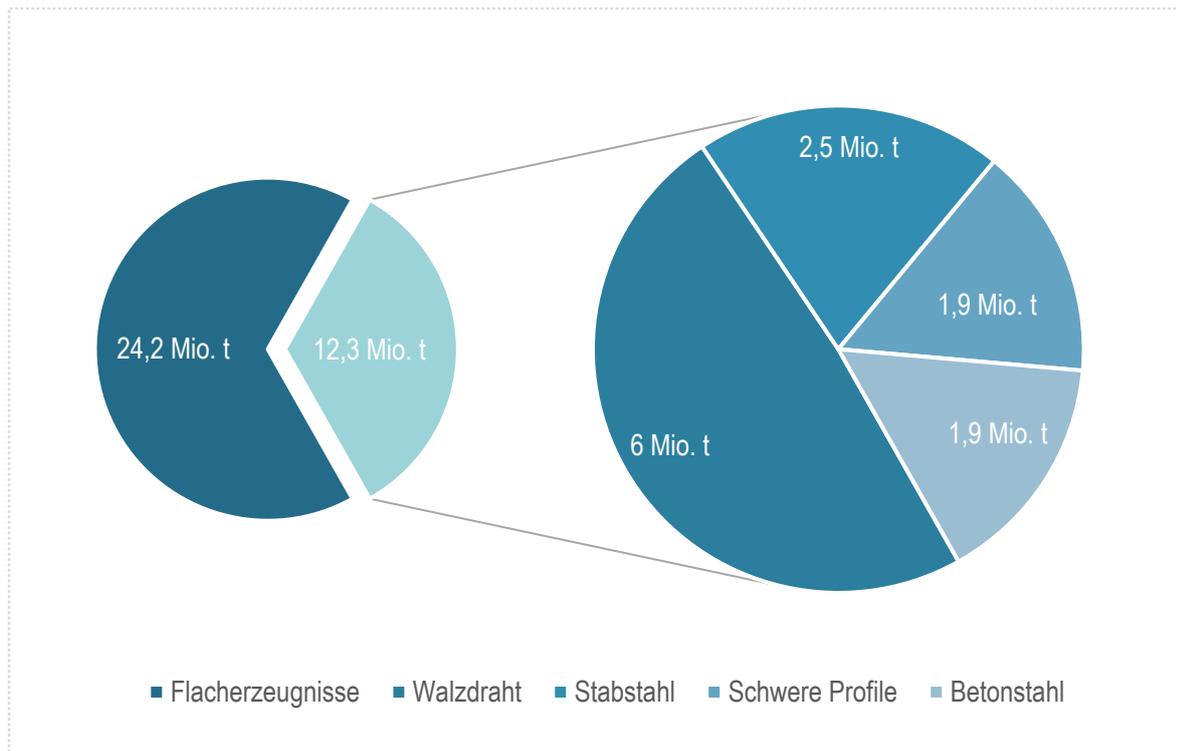


Abbildung 6: Herstellung von warmgewalzten Stahlerzeugnissen 2016⁴²

Langerzeugnisse sind gemäß DIN EN 10079 Erzeugnisse mit einem „[...] über die Länge gleichbleibenden Querschnitt, der üblicherweise in einer Norm mit Nennmaßen, Grenzabmaßen und Formtoleranzen festgelegt ist. Die Oberfläche ist technisch glatt, kann aber in bestimmten Fällen, z. B. bei Betonstahl, absichtlich Erhöhungen oder Vertiefungen in bestimmten Abständen aufweisen.“⁴³

Flacherzeugnisse besitzen nach DIN EN 10079 einen rechteckigen Querschnitt, wobei deren Breite viel größer als die Dicke ist.⁴⁴ Typische Flacherzeugnisse sind z. B. Bleche, Bänder und Sandwichelemente.

2.2.4 Stahl und Nachhaltigkeit

Stahl kann nicht umwelt- und klimaneutral erzeugt werden. Seine Herstellung ist energie- und ressourcenintensiv, die hohe Dauerhaftigkeit, Rückbaubarkeit sowie das Recyclingpotenzial tragen jedoch zur Verbesserung der Umwelt- und Klimabilanz des Werkstoffes Stahl bei. Aufgrund der hohen Sammelrate von schätzungsweise 99 % besitzt Stahl, neben wenigen anderen Werkstoffen, eine äußerst

⁴² Eigene Darstellung, Quelle: [WVS19b], S. 1.

⁴³ [DIN07], S. 16.

⁴⁴ [DIN07], S. 10.

hohe Recyclingquote. Man spricht in diesem Fall vom Multirecycling, das heißt, dass Stahl ohne Qualitätseinbußen mehrfach recycelt werden kann. Ein Downcycling wird somit vermieden.

Ökologisch relevant ist, in welchem Verhältnis Primärstahl und Schrottstahl in ein neues Produkt eingehen und wie sich das Verhältnis der Hochofen- und Elektroofenroute zueinander auf lange Sicht darstellt, da hier Rohstoff- und Energieeinsatz deutlich voneinander abweichen. Für jede Tonne Stahlschrott brauchen 1,5 Tonnen Eisenerz nicht abgebaut und 0,5 Tonnen Brennstoffe (Kohle, Koks, Schweröl) nicht gefördert werden.⁴⁵ Da der Bedarf an Stahl aber weiterhin hoch ist und nicht ausreichend Schrott zum Recyceln vorhanden ist, ist das Hochofenverfahren auch künftig unverzichtbar.⁴⁶

Beim Stahlerzeugungsprozess über die Hochofenroute lässt sich die Entstehung von CO₂ als Reaktionsprodukt nicht vermeiden. Die CO₂-Emissionen liegen derzeit bei ca. 1.725 kg pro Tonne erzeugtem Rohstahl über die Hochofenroute. Beim Einschmelzen von Schrott in Elektrolichtbogenofen entstehen ca. 400 kg CO₂ pro Tonne Rohstahl und damit rund 77 % weniger als bei der Hochofenroute. Die CO₂-Emissionen ergeben sich hierbei aus dem jeweiligen Stromerzeugungsmix, da der Lichtbogen, der zum Schmelzen des Schrotts benötigt wird, durch elektrische Energie erzeugt wird.

Zwischen 1990 und 2016 konnten die spezifischen CO₂-Emissionen von Stahlfertigerzeugnissen um 22 % gesenkt werden. Die prozessbedingten Möglichkeiten zur CO₂-Reduzierung sind nach Aussage der Wirtschaftsvereinigung Stahl jedoch ausgeschöpft. Weitere Potenziale erhofft man sich aber vom Wechsel der Kohlenstoffmetallurgie auf die Wasserstoffmetallurgie (Carbon Direct Avoidance – CDA) sowie von der chemischen Umwandlung und Nutzung des Kohlenstoffs in den Prozessgasen, z. B. zur Herstellung von Grundchemikalien (Carbon Capture and Usage – CCU).⁴⁷

Nebenprodukte, die bei der Stahlherstellung anfallen, können weiterverwendet werden. So wird Schlacke in der Zementherstellung eingesetzt, Prozessgase werden als Energieträger genutzt, und die Nebenprodukte Benzol, Schwefel und Teer können einer anderen Verwendung zugeführt werden.⁴⁸

2.2.5 Baustahl im Lebenszyklus

Abbildung 7 zeigt die typischen Lebenszyklusphasen von Baustahl. Zur ersten Phase gehört die Stahlproduktion, die entweder über die Hochofenroute oder die Elektroofenroute erfolgt. In Phase 2 wird

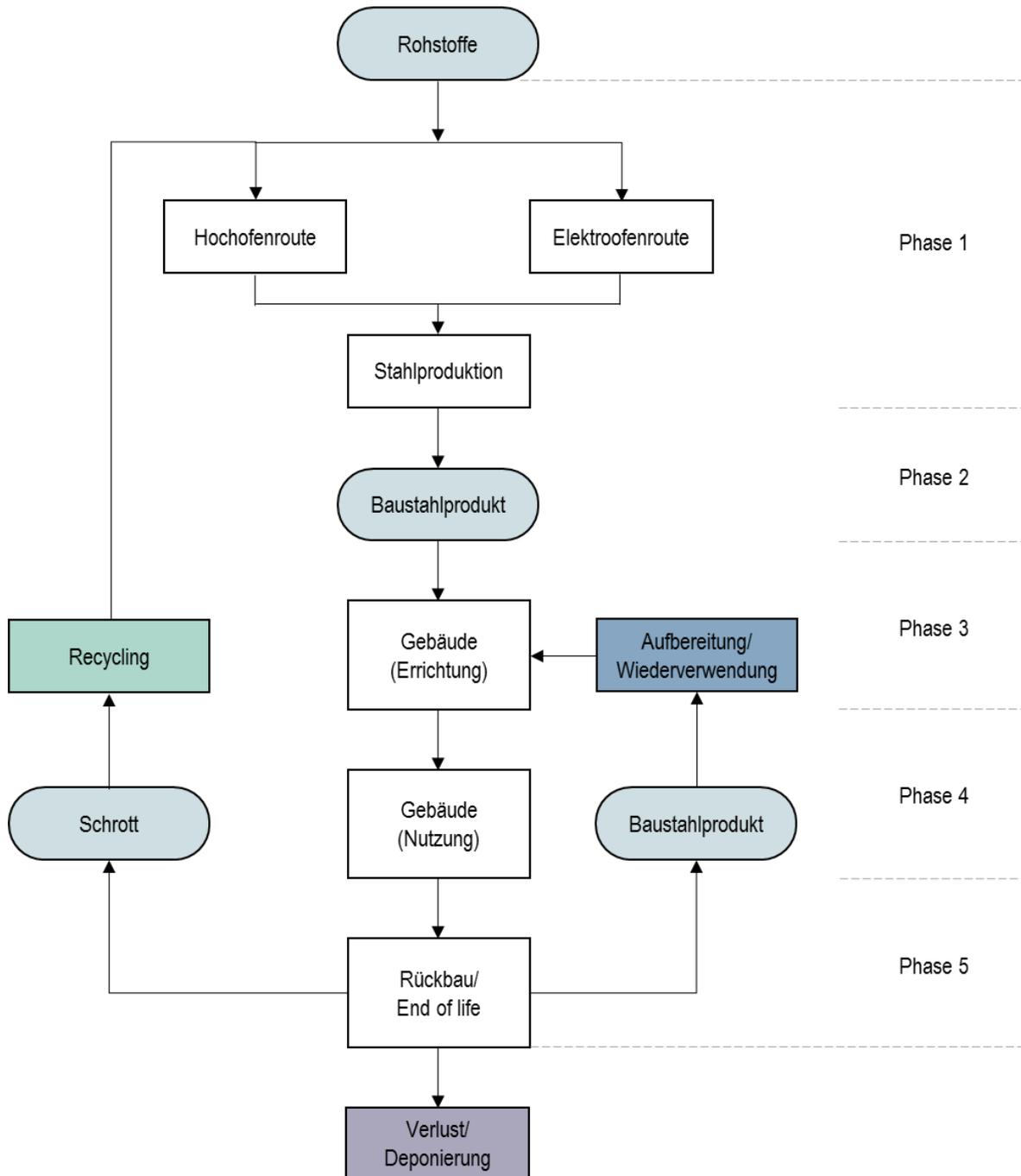
⁴⁵ [BDS17].

⁴⁶ [RS11], S. 68.

⁴⁷ [WVS17c], S. 22 f.

⁴⁸ [SHH14], S. 710.

das jeweilige Baustahlprodukt (z. B. Profile, Rohre, Hohlprofile) hergestellt. Die Bauphase bzw. Errichtung eines Gebäudes bildet Phase 3, gegebenenfalls kommen hier gebrauchte Bauprodukte zum Wiedereinsatz. Die Nutzungsphase eines Gebäudes (Phase 4) bildet die längste Phase des Produktlebenszyklus von Baustahl, in der der Werkstoff gebunden ist und somit der Kreislaufwirtschaft längerfristig vorenthalten wird. Innerhalb dieser Phase sind Instandhaltungsmaßnahmen oder Produkterneuerungen möglich. Die End-of-life-Phase (Phase 5) beinhaltet den Rückbau bzw. Abbruchmaßnahmen sowie die daran anschließende Abfallaufbereitung. Anfallender Schrott wird von Entsorgungsbetrieben gesammelt, sortiert, aufbereitet und anschließend der Stahlindustrie zugeführt. Wiederverwendbare Bauprodukte können nach einer Aufbereitung in Phase 3 erneut zum Einsatz kommen. Ein sehr geringer Teil geht bei Lade-, Sortier- und Lagerungsprozessen verloren oder wird deponiert, z. B. bei nicht erfolgter Trennung von Bewehrung und Beton oder wenn Stahl durch gefährliche Stoffe verunreinigt ist.

Abbildung 7: Lebenszyklusphasen von Produkten aus Baustahl⁴⁹

2.3 Selektiver Rückbau

Der Abbruch oder Rückbau von Bauwerken besteht aus mehreren Verfahrensschritten. Zu nennen sind die Entfernung von Schadstoffen (z. B. Asbest, PCB-haltiges Fugenmaterial, Stein- und Glaswolle), die Entkernung (Ausbau von Baustoffen aus Metall, Holz, Kunststoffen etc.), der maschinelle Gebäudeabbruch und die anschließende Entsorgung. Der maschinelle Rückbau kann unter techni-

schen Gesichtspunkten sehr unterschiedlich erfolgen, am gängigsten ist der Abbruch mittels Hydraulikbaggern und entsprechenden Anbauwerkzeugen (Abbruch- und Sortiergreifer, Abbruchscheren, Pulverisierer etc.). Eine Sprengung, die Nutzung von Abrissbirnen oder anderer Maschinen findet hingegen nur noch selten statt.⁵⁰

Die Zusammensetzung von Bauabfällen aus dem Hochbau ist durch dynamische Änderungen gekennzeichnet. So enthält ein Gebäude, welches vor 1945 errichtet wurde, durchschnittlich 43 % Naturstein, 26 % Ziegel und 23 % zementgebundene Baustoffe, während Gebäude aus den Jahren 1961 bis 1980 überwiegend aus zementgebundenen Baustoffen (87 %) errichtet wurden.⁵¹ Der Anteil von gipsgebundenen Baustoffen, vor allem Gipskartonplatten, steigt stetig. Dies ist dem Leichtbau-Trend geschuldet. Neben natürlichen Baustoffen wie Metallen (Kupfer, Eisen, Zink) und Holz, wurden auch künstlich hergestellte Materialien wie Kunststoffe (Wärmedämmverbundsysteme) in den letzten Jahrzehnten vermehrt eingesetzt. Kunststoffe aus Polyvinylchlorid (PVC) weisen ein hohes Umweltgefährdungspotenzial auf. Diese Materialien erschweren beim Gebäuderückbau das Recycling von Baurestmassen.⁵² Beim Rückbau ohne Abtrennung des Gipsanteils ist durch den hohen Sulfatanteil im Abbruchmaterial eine Weiterverwendung so gut wie ausgeschlossen, da Gips im Recycling-Tragschichtmaterial zu Treiberscheinungen und Entfestigungen führen kann. Ebenso belasten eluierbare Sulfate aus Recyclingbaustoffen das Grundwasser und den Boden.⁵³

Je besser die Aufbereitungs- und Sortiertechnik beim Rückbau, desto höher fällt die Verwertungsquote aus. Der zulässige Höchstwert an Fremdbestandteilen beträgt gemäß DIN 4226-100 0,2 Massen-% in rezyklierten Gesteinskörnungen für die Betonherstellung.⁵⁴ Der Einsatz verbesserter und technologisch höherwertiger Aufbereitungstechnologien ist jedoch in vielen Regionen bisher nicht wettbewerbsfähig, da das Preisniveau von Recycling-Gesteinskörnungen vergleichsweise niedrig ist. Ziel des selektiven Rückbaus muss es daher sein, qualitativ hochwertige, möglichst sortenreine Recyclingmaterialien zu erzeugen, die am Markt problemlos Abnehmer finden.

⁴⁹ Eigene Darstellung, angelehnt an [LSK02], S. 261.

⁵⁰ [KH11], S. 272-275.

⁵¹ [DFL11], S. 205.

⁵² [DFL11], S. 206.

⁵³ [UBA13], S. 38.

⁵⁴ [DIN02], S. 7.

Metallische Bauteile werden beim Abriss von Gebäuden vom übrigen Baumaterial zunächst sauber abgetrennt. Während früher auf Grund fehlender Werkzeuge eine Trennung von Bewehrungsstahl aus der Betonmatrix kaum möglich war, ist die Aufbereitung und Trennung auf der Baustelle heute mit dem richtigen Zubehör (beispielsweise einem Pulverisierer) durchaus ausführbar. Die Bewehrung wird aus der Betonmatrix gelöst und getrennt gelagert. Eisen- und Nichteisen-Metalle werden sortiert und in verschiedenen, vom Handel bereitgestellten Containern gesammelt. Wenn sich Betonstahl nicht ohne großen Aufwand vom übrigen Baumaterial trennen lässt, wird das gemischte Material einem Recyclingbetrieb oder der Deponie zugeführt.⁵⁵ Baustahl, der wiederverwendbar ist, landet ohne Umwege beim Schrotthändler oder Entsorgungsfachbetrieb und taucht in der Regel nicht in den amtlichen Abfallstatistiken auf.

Betrachtet man den Gebäudebestand als Ressourcenlager, so kommt dem Thema „Selektiver Rückbau“ eine besondere Bedeutung zu. Diese Bedeutung spiegelt sich auch im 2. Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess II) wider. Zur Stärkung der Kreislaufführung bei Bauprozessen wird dort die Förderung des selektiven Rückbaus und Prüfung der Möglichkeiten der Aufbereitung von Bauabfällen bei großen Abbruch-/Neubauvorhaben vor Ort auf oder nahe der Baustelle als Maßnahme vorgeschlagen. Durch den selektiven Rückbau und die getrennte Erfassung von Bauabfällen kann gewährleistet werden, dass schadstoffhaltige Fraktionen sicher ausgeschleust und beseitigt werden.⁵⁶

2.4 Recyclinggerechte Konstruktion

Zum nachhaltigen Bauen gehören unter anderem die Wiederverwendung von Bauteilen, die Nutzung nachwachsender Rohstoffe und recycelter Bauprodukte. Unerlässlich sind hierbei rückbau- und recyclinggerechte Konstruktionen sowie trennbare Bauteilschichten. Die Weiternutzung eines Gebäudes nach einer Kernsanierung, bei der u. a. das Tragwerk erhalten bleibt, ist sowohl ökologisch, als auch ökonomisch sinnvoll. Denn in tragenden Bauteilen verbirgt sich ein erheblicher Massenanteil bezogen auf das gesamte Bauwerk.⁵⁷ Zur recyclinggerechten Konstruktion gehören zum einen eine recyclingfreundliche Stoffauswahl, zum anderen eine rückbaufreundliche Baukonstruktion. Tabelle 1 zeigt

⁵⁵ [GIB09], S. 165.

⁵⁶ [BMU16], S. 69 f.

⁵⁷ [Hil17], S. 13.

die abgestufte Bewertung einer recyclinggerechten Konstruktion unterteilt nach Baustoff- und Bauteilebene. Die Potenziale einer stofflichen Verwertung oder gar Wiederverwendung sind direkt abhängig von den Möglichkeiten einer zerstörungsfreien Entnahme und der Trennbarkeit von Materialschichten.

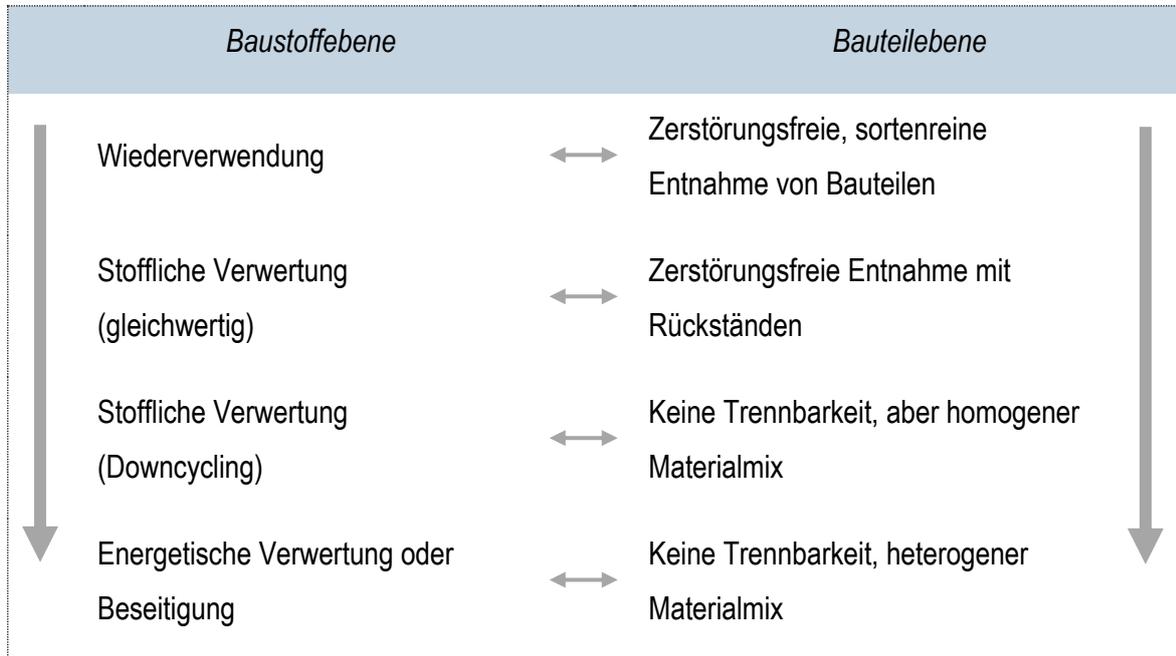


Tabelle 1: Definitionen und Bewertungsstufen einer recyclinggerechten Konstruktion⁵⁸

Bereits die intelligente Planung eines Gebäudes kann einen selektiven Rückbau im Anschluss an die Nutzungsphase erleichtern. Rückbau- und recyclinggerechte Konstruktionen sind möglichst homogen aufgebaut, das heißt, dass auf den Einsatz von Verbundbaustoffen und komplexen Baukonstruktionen verzichtet wird. Unterschiedliche Baumaterialien dürfen nicht verklebt sein und müssen sich sortenrein demontieren lassen.⁵⁹ Dies gelingt mit lösbaren Verbindungen wie z. B. Verschraubungen, Klemmen, Kletten, Klipsen, Einhängen oder loses Auflegen.⁶⁰

Baustahl lässt sich oft zerstörungsfrei entnehmen, wenn die im Stahlbau übliche Schraubverbindungen genutzt werden. Selbst Stahlverbundträger lassen sich relativ einfach vom Beton separieren und weiterverwenden. Heutige Baustofftrends (z. B. Lochziegel mit integriertem Dämmmaterial) oder ein vermehrter Einsatz von Bauprodukten auf Gipsbasis (v. a. Gipskartonplatten) werden den selektiven Rückbau zukünftig jedoch eher erschweren, denn vereinfachen.

⁵⁸ Eigene Darstellung, angelehnt an das DGNB Kriterium TEC 1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit.

⁵⁹ [Ros17], S. 53-59.

⁶⁰ [Hil17], S. 15.

Das Schließen von Stoffkreisläufen scheitert meist an Produkten, die sich nicht oder nur mit großem Aufwand recyceln lassen. Dies ist der mangelnden Berücksichtigung der Produktentwickler und Hersteller zum Verbleib ihrer Produkte am Ende der Nutzungszeit geschuldet. Um eine Verknüpfung zwischen Produktherstellung und Produktrecycling zu erreichen, müssen Maßnahmen bereits bei der Produktherstellung ansetzen. Bei einer Integration der Recycling- und Reparaturfähigkeit bereits im Produktionsprozess können positive gesamtwirtschaftliche Wirkungen erzielt werden. Im Bauwesen gestaltet sich die Umsetzung einer Produktverantwortung jedoch schwierig, da die Lebensdauer von Bauprodukten im Durchschnitt 30-50 Jahre beträgt. Derzeit beschränkt sich die gesetzlich vorgeschriebene Produktverantwortung in Deutschland vor allem auf eine Kostenverantwortung bezüglich der umweltgerechten Entsorgung oder Verwertung. Zu den betroffenen Produkten gehören bisher lediglich Altöl, Batterien, Verpackungen, Altfahrzeuge und Elektroaltgeräte.⁶¹

Die Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL) sieht in Art. 8 (Erweiterte Herstellerverantwortung) die Möglichkeit vor, „zur Verbesserung der Wiederverwendung und der Vermeidung, des Recyclings und der sonstigen Verwertung von Abfällen [...] Maßnahmen mit und ohne Gesetzescharakter [zu] erlassen, um sicherzustellen, dass jede natürliche oder juristische Person, die gewerbsmäßig Erzeugnisse entwickelt, herstellt, verarbeitet, behandelt, verkauft oder einführt (Hersteller des Erzeugnisses), eine erweiterte Herstellerverantwortung trägt. [...] Diese Maßnahmen können die Verpflichtung umfassen, öffentlich zugängliche Informationen darüber zur Verfügung zu stellen, inwieweit das Produkt wiederverwendbar und recyclebar ist.“⁶²

Auch wenn aufgrund der langen Lebensdauer und der komplexen Zusammensetzung von Bauprodukten eine Rücknahmeverpflichtung schwierig umzusetzen ist, so wäre es zumindest denkbar, die umweltfreundliche Gestaltung von Bauprodukten anzuordnen, die Bereitstellung von öffentlich zugänglichen Informationen über die Materialzusammensetzung und Recyclingfähigkeit von den Herstellern zu verlangen und Konzepte zum korrekten Rückbau zur Bedingung zu machen.

Mit der Neuentwicklung der ISO/NP 20887 „Design for disassembly and adaptability“ werden Grundprinzipien für den Entwurf und die Planung von Gebäuden hinsichtlich der Rückbaubarkeit und Anpassbarkeit vorgestellt. Unter Anpassbarkeit wird hier die Möglichkeit zur Umnutzung, z. B. im Rahmen

⁶¹ [UBA18].

⁶² Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien.

eines Innenausbaus, verstanden. Voraussetzung ist hierfür beispielsweise ein umnutzungsfreundliches Tragwerk mit großen Spannweiten und wenig Innenstützen. Zur Wiederverwendbarkeit gehört der Wiedereinsatz von rückgebauten Bauteilen und Komponenten in neue Gebäude, der entweder direkt oder über einen entsprechenden Markt gewährleistet werden kann. Hauptziel der zu erarbeitenden ISO-Norm ist es, die Menge an Bauabfällen zu verringern und die hochwertige Verwertung von Rückbauprodukten voranzutreiben.⁶³

2.5 Zusammenfassung

Baustoffe bilden die Matrix für Gebäude, Straßen und Infrastrukturen und verkörpern den größten anthropogenen Stoffstrom. Die jährlich anfallenden Abfallmengen der Baubranche betragen mengenmäßig etwas mehr als ein Drittel der neu verbauten Baustoffe. Der Bestand an Gebäuden und Bauwerken bildet demzufolge ein immenses Rohstofflager. Der vergleichsweise geringe Output an Rohstoffen im Vergleich zum Input verdeutlicht so die Notwendigkeit einer Kreislaufführung im Bauwesen. Während 14,8 Mio. Tonnen Stahl im Bauwesen Verwendung finden, sind es darüber hinaus 566 Mio. Tonnen an mineralischen Baustoffen. 7,31 Mio. Tonnen Metalle wurden 2016 als Bau- und Abbruchabfälle „entsorgt“. Dies entspricht einem Anteil von 2,9 % an den gesamten Bau- und Abbruchabfällen in Deutschland.

Das Recyclingpotenzial von Stahl ist sowohl bei Baustahl, als auch bei Betonstahl hoch. Baustahl (z. B. Profilstahl) kann im Rahmen eines selektiven Rückbaus meist zerstörungsfrei und sortenrein entnommen werden und entweder einer Wiederverwendung zugeführt oder recycelt werden. Betonstahl wird ebenso zerstörungsfrei, allerdings mit Betonrückständen zurückgewonnen und kann ebenso recycelt werden. Recyclingbetriebe und Schrotthändler sind wichtige Rohstofflieferanten und unerlässlich für den Betrieb der Stahlwerke. Sie reduzieren die Importabhängigkeit von Eisenerz und tragen zur Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Stahlindustrie bei. Mit Hilfe des selektiven Rückbaus ist es so möglich, qualitativ hochwertige Recyclingmaterialien zu erzeugen, für die ein Markt und eine hohe Nachfrage existiert.

⁶³ [ZUH16], S. 427.

3 Best practice: Wiederverwendung von Bauteilen aus Stahl

Die Nachnutzung von Stahl im Rahmen eines Recyclings ist vergleichsweise einfach und jederzeit möglich. Stahlschrott wird im Prozess der Stahlproduktion laufend zugeführt. Aus Ressourcenschutzsicht und im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist es allerdings sinnvoll, die Wiederverwendungsquote und damit die Nutzungsdauer eines Stahlproduktes zu erhöhen. Bei der Wieder- oder Weiternutzung kommen Stahlprodukte ohne Zerkleinerungs- und Schmelzprozesse erneut zum Einsatz. Es wird weiterhin danach unterschieden, ob es sich um eine gleichwertige Nachnutzung handelt, oder um eine Nachnutzung zu einem anderen Einsatzzweck. Tingley et al. unterscheiden bei der Weiter- bzw. Wiederverwendung im Stahlbau die folgenden Ebenen:

	In-Situ Reuse	Relocated Reuse
Building Reuse	Reuse of a significant portion of a building, e.g. entire structural frame, façade or envelope, in-situ	Deconstruction, and reassembly on a new site of a building frame/envelope
Component system Reuse	Reuse of a small part of a building in-situ, e.g. foundations	Reuse of system of components, e.g. steel truss, on a new site
Element Reuse	Deconstruction and reuse of elements in a new configuration	Reuse of individual elements, e.g steel section(s), on different sites

Tabelle 2: Varianten der Wiederverwendung im Stahlbau⁶⁴

Tabelle 2 zeigt unterschiedliche Varianten der Wiederverwendung und differenziert dabei nach lokaler Wiederverwendung (in-situ) und Wiederverwendung auf einer neuen Baustelle (relocated reuse). Des Weiteren werden drei Ebenen der Wiederverwendung unterschieden:

- Gebäude (z. B. Tragwerk oder Fassade),
- Gebäudekomponente (z. B. Fundament),
- Gebäudeelement (z. B. Stahlprofil).

Der Baustoff Stahl spielt insbesondere bei der Baufertigstellung von Nichtwohngebäuden eine zunehmend wichtiger werdende Rolle. Vor allem Lagergebäude, Fabrik- und Werkstättengebäude sowie landwirtschaftliche Betriebsgebäude werden aus Stahlbauteilen erstellt. Der Anteil der Nichtwohngebäude, bei denen überwiegend Stahl als Baustoff genutzt wurde, lag 2018 bei 25,3 %.⁶⁵ Der Vorteil

⁶⁴ Bildquelle: [TCC16], S. 2.

⁶⁵ [SB19a], S. 54.

von Stahlkonstruktionen und Gebäuden, die vorwiegend aus Stahl gefertigt wurden, liegt in ihrer Demontierbarkeit. Das Potenzial einer Wiederverwendung von Baustahl ist gerade bei diesen Gebäudetypen als hoch einzustufen. 47,5 Mio. m³ umbauter Raum wurden 2018 in Stahlbauweise erstellt (Nichtwohngebäude).⁶⁶

Die Ressourceneffizienz einer Baukonstruktion steigt mit dem Vorfertigungsgrad, so ermöglicht die stationäre Produktion von Bauteilen schlankere Bauteildimensionierungen, größere Mängelfreiheit und höhere Qualität. Diese materialbedingten Vorteile werden im Nichtwohngebäudebereich, vor allem im Industriebau, genutzt.⁶⁷

Im Folgenden werden einige Best practice-Beispiele vorgestellt, die das Wiederverwendungspotenzial verdeutlichen sollen. Das abgebildete Lagergebäude (Abbildung 8) des Automobilherstellers Honda mit Sitz in Swindon (England) wurde 2004 demontiert und eingelagert.



Abbildung 8: Honda Warenlager⁶⁸

Im Jahr 2005 wurde das Gebäude an anderer Stelle auf dem Werksgelände erneut errichtet. Hierbei wurde die gesamte Stahlkonstruktion wiederverwendet einschließlich der Stützenfußplatten und sonstiger Sekundärstahlerzeugnisse. Die Stahlbauteile wurden kontrolliert, gereinigt, neu lackiert und mit

⁶⁶ [SB19a], S. 75.

⁶⁷ [BGF11], S. 135.

⁶⁸ Bildquelle: [BCS18a].

einer neuen Fassade verkleidet. Die ursprüngliche Fassade konnte aufgrund der geänderten Gebäudenutzung nicht wiederverwendet werden, wurde jedoch vom Stahlbauunternehmen zurückgebaut und zur Lärminderung im eigenen Unternehmen weitergenutzt.⁶⁹

Im Jahr 2015 hat der Industrieimmobilienkonzern Segro ein Lagergebäude mit integrierten Büros an anderer Stelle wiederaufbauen lassen (Abbildung 9).



Abbildung 9: Segro Business-Park⁷⁰

Das Gebäude aus dem Baujahr 2000 war sowohl verklinkert, als auch mit einer Vorhangfassade verkleidet. Ziel des Bauherrn war es, eine hohe Wiederverwendungsquote zu erreichen und gleichzeitig kostensparend neu zu bauen. Die wieder errichtete Stahlrahmenkonstruktion wurde neu verkleidet, ebenso wurden u. a. Verglasungen, Treppen, Fertigbetonteile, Vorhangfassaden, Einzäunungen sowie Balustraden wiederverwendet. Nicht wiederverwendet wurden das alte Dach und die Oberlichter. Insgesamt konnten durch die Wiederverwendung vieler Gebäudekomponenten 25 % der Kosten sowie 56 % an Treibhausgasemissionen im Vergleich zu einem Neubau eingespart werden.⁷¹

Beim Christus-Pavillon (Abbildung 10) handelt es sich um eine Glas-Stahl-Konstruktion, die als Beitrag der beiden großen christlichen Kirchen Deutschlands auf der EXPO 2000 in Hannover ausgestellt wurde.

⁶⁹ [BCS18a], übersetzt.

⁷⁰ Bildquelle: [BCS18b].

⁷¹ [BCS18b], übersetzt.



Abbildung 10: Christus-Pavillon der EXPO 2000⁷²

Ziel war es, den Baukomplex nach Beendigung der EXPO zu zerlegen und anschließend in einer Klosteranlage in Volkenroda, Thüringen, neu zusammen zu setzen und weiter zu nutzen. Dieses Ziel erforderte eine innovative Stahlbautechnik im Hinblick auf die spätere Demontage und den Wiederaufbau. Möglich wurde dies mit einer eigens entwickelten Steckverbindung, die es erlaubte, große Bauteile auf der Baustelle ineinander zu schieben und fest miteinander zu verbinden. Hierbei waren weder Schweiß-, noch Schraubverbindungen notwendig. Der so genannte Sigma-Knoten ermöglichte eine schnelle und einfache Demontage der Elemente untereinander und zu den Querträgern, die den Rahmen für das Dach des Kreuzganges bildeten. Weitere Einzelteile des Kirchenraums sind elementweise zerlegt und nach Volkenroda (vgl. Abbildung 11) transportiert worden. Hier konnte der gesamte Baukomplex im Februar 2001 wieder aufgebaut und weitergenutzt werden.⁷³

⁷² Bildquelle: [GMP18].

⁷³ [SIZ02].



Abbildung 11: Wiederaufbau des Christus-Pavillons in Volkenroda, Thüringen⁷⁴

Die Gemeinsamkeit der drei vorgestellten Best-practice-Beispiele besteht in der Wiederverwendung der jeweiligen Gebäude oder -komponenten auf einer neuen Baustelle (relocated reuse). Das Lagergebäude des Automobilherstellers Honda wurde in Teilen eingelagert und ein Jahr später an anderer Stelle wiederaufgebaut. Sämtliche Stahlbauteile konnten durch Honda selbst oder das beauftragte Stahlbauunternehmen wiederverwendet werden. Es handelt sich demnach um „building reuse“.

Beim Büro- und Lagergebäude des Industrieimmobilienkonzerns Segro wurde die Wiederverwendung möglichst vieler Stahlbauelemente (component system reuse) von vorne herein durch den Bauherrn gefordert, dies führte letztendlich zu einer Kostenreduzierung und einem Umweltvorteil durch die Einsparung von CO₂-Emissionen.

Das Beispiel Christus-Pavillon zeigt, dass eine recyclinggerechte Konstruktion eine schnelle und einfache Montage, Demontage und spätere Wieder-Montage möglich macht. Aufgrund der gewählten Modulbauweise konnte der Pavillon annähernd in derselben Konstellation wie auf der EXPO wiederaufgebaut werden. Es handelt sich demnach ebenfalls um „building reuse“. Das Best-practice-Beispiel verdeutlicht nicht zuletzt den Mehrwert einer rückbaufreundlichen Planung bereits durch den Architekten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für die Integration von gebrauchten Bauteilen in ein neues Gebäude vor allem

- eine detaillierte Planung unabdingbar ist,

⁷⁴ Bildquelle: [GMP18].

- eine rückbaufreundliche Konstruktion vorhanden sein muss,
- der Bauherr bereit ist, die höheren Kosten für den Rückbau und die Demontage zu tragen und
- das Abbruchunternehmen über ausreichend Erfahrung im zerstörungsfreien Rückbau verfügen sollte.

4 Anforderungen an die Wiederverwendung von Bauteilen aus Stahl

Bei nahezu jedem Abbruch bzw. Rückbau fallen Stahlbauteile und Betonstahl in nicht unerheblichen Massen an. Der maschinengeführte Abriss wird in der Regel so gestaltet, dass Stahlbauteile bzw. Nutzeisen mit dem Ziel einer Rückführung in den Wertstoffkreislauf (Recycling) herausgelöst werden. Eine selektive, zerstörungsfreie Demontage von Stahlbauteilen zwecks Wiederverwendung findet in der Praxis jedoch nur statt, wenn beim Abbruchunternehmen die Möglichkeit einer Zwischenlagerung und eventueller Weitergabe besteht. Ob sich Stahlbauteile für eine Wiederverwendung eignen, muss vor Ort von einem Fachkundigen oder Statiker beurteilt werden.⁷⁵

Folgende Bauteile aus Stahl sind unter anderem wiederverwendbar:

- Profilstahl (I-, H- und U-Profile)
- Spundwandprofile
- Leichter Baustahl (z. B. Dachpfetten)
- Profilbleche (z. B. für Fassade oder Dach).

Chemische und konstruktive Eigenschaften von Baustahl haben sich in den letzten Jahrzehnten kaum geändert, so dass bei Kenntnis des Baujahrs und der Profilabmessungen eine Wiederverwendung theoretisch möglich wäre.⁷⁶ Meist liegen aber keine genauen technischen Kennwerte vor, was zu Problemen hinsichtlich der Gewährleistung für das Produkt führen kann. Sofern kein Produkthersteller bekannt ist, müssten Bauplaner Leistungsnachweise für das jeweilige Bauprodukt liefern, was zeit- und kostenintensiv ist. Um dies zu umgehen, kann eine Dimensionierung des Bauteils mit der schlechtestmöglichen Bemessungsgrundlage entsprechend der jeweiligen Normierung erfolgen.⁷⁷

4.1 Alterung, Materialermüdung und Vorschädigungen

Mit dem Entwurf eines Bauwerks sind nicht nur Entscheidungen über die Materialart zu treffen, sondern auch Nachweise zu führen. Je nach Bauprodukt sind sowohl die Eigenschaften des Materials

⁷⁵ [UBA15a], S. 98 ff.

⁷⁶ [Mey12], S. 220.

⁷⁷ [BGF11], S. 138.

klassifiziert, als auch Anforderungen bezüglich des Einsatzzweckes und die Regeln der Nachweisführung zum Nachweis der Eignung vorgegeben. Bei tragenden Bauteilen aus Stahl erfolgt die Tragwerksberechnung nach den Grundsätzen und Regeln der DIN EN 1993-1-1.⁷⁸

Die Qualitätssicherung bei der Herstellung von Stahl hat von Beginn an eine hohe Priorität. Bereits im Hochofen oder Elektrolichtbogenofen findet eine Überwachung der chemischen Zusammensetzung statt, die sich kontinuierlich in den jeweiligen Herstellungs- und Weiterverarbeitungsprozessen fortsetzt. Stahlprodukte werden sowohl zerstörungsfreien Prüfverfahren, als auch zerstörenden Prüfverfahren unterzogen. Hierzu gehören Ultraschallprüfungen, Röntgenstrahlprüfungen, elektromagnetische Prüfungen sowie Penetrationsverfahren.⁷⁹

Im eingebauten Zustand sind Bauteile aus Stahl äußeren Einwirkungen, wie z. B. Spannungen durch Last oder Lastwechsel, Temperaturschwankungen, Feuchtigkeit etc. ausgesetzt, die zu Alterungsprozessen führen können. Hierzu gehören die Materialermüdung, die sich durch Veränderungen der Materialeigenschaften, z. B. der Elastizität, bemerkbar macht, der Materialabbau, z. B. durch Korrosion oder Abrieb sowie sonstige Schädigungen, z. B. (Haar-)Rissbildung. Weitere Schädigungen können bei der Demontage durch mechanische Einwirkungen entstehen. Auch ist es üblich, dass Bauteile durch Bohrlöcher, Ausschnitte oder Trennschnitte geschädigt werden. Darüber hinaus können auch außerplanmäßige Einwirkungen, z. B. Hitze durch ein Brandereignis, stattgefunden haben. Nicht alle Materialeigenschaften eines wiederzuverwendenden Bauteils sind optisch zu erkennen und zu kontrollieren, weswegen zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Identifizierung herangezogen werden müssen.

4.2 Korrosions- und Brandschutz

Ab 50 % Luftfeuchtigkeit neigt Baustahl zur Korrosion. Dies führt nicht nur zu optischen Einbußen, sondern auch zum Verlust der Tragfähigkeit. Stahlbauteile werden meist werkseitig vor Korrosion geschützt, in der Regel durch Beschichtung, Lackierung oder metallische Überzüge. Ausschlaggebend bei der Auswahl des Korrosionsschutzsystems ist dabei die Wirtschaftlichkeit und die angestrebte Schutzdauer.⁸⁰ Dies kann dazu führen, dass Stahlbauteile nach Ablauf der gängigen Nutzungsdauer nicht mehr ausreichend gegen Korrosion geschützt sind (vgl. Abbildung 12).

⁷⁸ [DIN10].

⁷⁹ [SEP18], S. 98.

⁸⁰ [Fel11], S. 119 f.



Abbildung 12: Korrodierte Stahlträger im eingebauten Zustand⁸¹

Eine zu lange Lagerung im Außenbereich (vgl. Abbildung 13), bei der ausgebaute Stahlbauteile der Witterung ausgesetzt sind, kann ebenfalls eine Korrosion begünstigen. Dies kann unter Umständen dazu führen, dass eine Wiederverwendung nicht mehr möglich ist.



Abbildung 13: Typisches Nutzeisenlager⁸²

⁸¹ Bildquelle: Eigenes Foto, 2017.

⁸² Bildquelle: [IZ18].

Bei Bauteilen, die innerhalb eines Gebäudes genutzt werden, sind die Anforderungen an den Korrosionsschutz gering, es kann unter Umständen ganz darauf verzichtet werden. Stahlbauteile im Außenbereich hingegen erfordern einen hohen Korrosionsschutz, da Instandsetzungen aufgrund von Korrosion mit hohen Kosten verbunden sind.⁸³

Weber und Herold stellen in ihrer Studie zu „PCB im Bausektor“ fest, dass bei Stahlträgern die Gefahr besteht, dass PCB-haltige Farben und Lacke bei der Sanierung durch Abstrahlen in Form von Staub und Partikeln freigesetzt und zu einem großen Teil in die Umgebung verteilt werden.⁸⁴ PCB-haltige Farben kamen u. a. als Korrosionsschutzanstrich für Stahlträger, vor allem in Fabrikgebäuden zum Einsatz.⁸⁵ Vorbereitende Arbeitsschritte wie z. B. das Sandstrahlen eines gebrauchten, lackierten Stahlträgers oder Schneidbrennarbeiten sind somit unter besonderen Schutzvorkehrungen durchzuführen, um schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt (insbesondere Luft und Boden) zu verhindern.

Unter Brandschutz sind Maßnahmen zu verstehen, die die Entstehung eines Brandes verhindern oder die Ausbreitung von Feuer und Rauch eindämmen. Stahl selbst brennt nicht, setzt keine Rauchgase frei, bei zunehmender Temperatur verschlechtern sich jedoch die Streckgrenze und Festigkeit. Bereits bei 500 °C beträgt die Festigkeit nur noch zwei Drittel vom Ursprungswert. Daher wird in der Planung dem Brandschutz und dem Verhalten von Stahlkonstruktionen im Brandfall erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Im Stahlbau kommen passive Brandschutzmaßnahmen zum Einsatz, hierzu gehören u. a.

- die Verkleidung von freiliegenden Stahlbauteilen mit Brandschutzplatten,
- dämmschichtbildende Anstriche mit Brandschutzfarbe oder Spritzputz sowie
- die Ein- oder Ausbetonierung von Stahlverbundkonstruktionen.⁸⁶

Brandschutzanstriche bilden im Brandfall unter Wärmeeinwirkung eine schützende Schaumschicht. Sie dienen gleichzeitig als gestalterisches Element und zum Schutz vor Korrosion.⁸⁷

⁸³ [SFH16], S. 607.

⁸⁴ [UBA15b], S. 9.

⁸⁵ [UBA15b], S. 29 f.

⁸⁶ [Fe11], S. 118 f.

⁸⁷ [SHH14], S. 733.

Die Anforderungen an gebrauchte Bauteile hinsichtlich des Brandschutzes unterscheiden sich nicht von denen für neue Bauprodukte. Für Stahl- und Stahlverbundtragwerke sind drei DIN-Normen relevant, die DIN EN 1991-1-2 für die Einwirkungen im Brandfall, die DIN EN 1993-1-2 für die Tragwerksbemessung bei Stahlbauten und die DIN EN 1994-1-2 für Verbundtragwerke aus Stahl und Beton. Brandschutztechnische Anforderungen beschränken sich auf tragende, aussteifende und raumabschließende Bauteile. Sie ergeben sich aus den Musterbauordnungen und den jeweiligen Bauordnungen der Länder. Bei Industriebauten gelten die Anforderungen der Muster-Industriebaurichtlinie.⁸⁸ Unter Umständen kann bei höheren Stahlgüten die Tragfähigkeit im Brandfall auch ohne Schutzmaßnahmen gewährleistet werden.

4.3 Verbindungen

Die wichtigste, nicht lösbare Verbindung im Stahlbau ist das Schweißen, bei dem Stähle mit gleichen oder ähnlichen Eigenschaften miteinander verschmolzen werden. Im Stahlbau werden hauptsächlich Schweißverfahren angewendet, bei denen ein elektrischer Lichtbogen erzeugt wird. Mittels Schweißen kann ein ununterbrochener Kraftfluss zwischen Stahlbauteilen hergestellt werden, die Erzeugung biegesteifer Anschlüsse ist damit möglich. Werden Stahlbauteile auf der Baustelle geschweißt, kann es zu einer Beschädigung der Verzinkung oder Korrosionsschutzschicht kommen, ebenso ist beim Schweißen von bestehenden Stahlkonstruktionen zu beachten, dass unter Last stehende Bauteile durch die lokale Erwärmung geschwächt werden können.⁸⁹

Neben dem Schweißen hat sich im Stahlbau das Schrauben etabliert. Zu den Vorteilen geschraubter Verbindungen gehören zum einen die einfachere Handhabung, zum anderen die Witterungsunabhängigkeit sowie die Lösbarkeit der Verbindung. Eine Schraubverbindung besteht aus Schraube, Unterscheibe und Mutter, die das Gegengewinde darstellt. Schrauben, die im Stahlbau eingesetzt werden, sind ebenfalls aus Stahl.⁹⁰

Mit der Lösbarkeit einer Verbindung wird die Voraussetzung für einen einfachen Rückbau und eine Wiederverwendung von Bauteilen und Komponenten geschaffen (vgl. Abbildung 14).⁹¹

⁸⁸ [SK14], S. 337-341.

⁸⁹ [RS11], S. 87 und [Fel11], S. 111.

⁹⁰ [Mün18], S. 381.

⁹¹ [ZUH16], S. 428.



Abbildung 14: Verbindung von Baustahlkomponenten⁹²

Aber auch verschweißte Elemente, wie z. B. Fachwerkkonstruktionen (vgl. Abbildung 15), lassen sich durch Brennschneiden trennen und als Ganzes entnehmen, so dass sie wiederverwendet werden können.⁹³

⁹² Bildquelle: [BSC19].

⁹³ [UBA15a], S. 100.



Abbildung 15: Verschweißte Fachwerkkonstruktion⁹⁴

4.4 Demontage und Aufbereitung

Die vorangegangenen Ausführungen in Kapitel 3 lassen vermuten, dass eine Wiederverwendung von Bauteilen aus Stahl nur dann logistisch und wirtschaftlich durchführbar ist, wenn Abbruch- und Neubauprojekte parallel von einem Architektur- bzw. Planungsbüro begleitet werden und eine möglichst hohe Wiederverwendungsquote erklärtes Ziel ist. So können Interessenskonflikte minimiert und Schnittstellen mit möglichem Datenverlust bezüglich der Konformität zwischen Bauteilen und „Papieren“ reduziert werden. Die dabei bestehende zeitliche Abhängigkeit zwischen Abbruch- und Wiedernutzungsvorhaben erfordert zeitintensive Logistik- und Aufbereitungsprozesse, die den wirtschaftlichen Einsatz des Materials gefährden können. Zu den logistischen Herausforderungen gehören die Transportmaßnahmen und der Lagerungsaufwand und sowie die erforderliche Lagerungsdauer. Der Aufwand für die Aufbereitung von gebrauchten Stahlbauteilen ergibt sich aus den notwendigen Reinigungsmaßnahmen (z. B. Sandstrahlen) und dem Aufbringen von Beschichtungen, z. B. Korrosionsschutz- oder Brandschutzbeschichtungen.⁹⁵

Gängige Abbruchmaßnahmen werden zwar selektiv durchgeführt, sind aber nicht zwangsläufig auch zerstörungsfrei. Aufgrund des Zeit- und Kostenaufwands für das Abbruchunternehmen werden Bauabfälle aus Eisen und Stahl in der Regel vollständig verschrottet. Eine Demontage und Aufbereitung von wiederverwendbaren Bauteilen findet demnach nur auf ausdrücklichen Wunsch des Bauherrn

⁹⁴ Bildquelle: Eigenes Foto 2018.

⁹⁵ [UBA15a], S. 99.

statt und ist in jedem Fall mit Mehrkosten verbunden. Je nach Einbausituation der Stahlbauteile unterscheidet sich die Art und Ausführung der Bauteilverbindungen und der damit verbundene Demontageumfang.

4.5 Zusammenfassung

Die Fertigung von neuen Stahlbauteilen unterliegt strengen Qualitätskontrollen, im Stahlbau sind vor allem die Qualität der Verbindungen und Fugen sowie der Oberflächenbehandlung wichtig. Gebrauchte Stahlbauteile, die einige Entsorgungsfachbetriebe als so genanntes Nutzeisen oder deklassierte Stahlprodukte anbieten, erfüllen hinsichtlich ihrer Werkstoffeigenschaften, Maße oder äußeren Beschaffenheit meist keine Normvorgaben. Sie werden ohne Gewährleistung verkauft. Das heißt, dass der Käufer die alleinige Verantwortung der Eignung für einen bestimmten Verwendungszweck trägt.

Die Prüfung zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit hinsichtlich Statik und Tragfähigkeit sollte von einem Statiker vollzogen werden. Werden demontierte Stahlbauteile für untergeordnete Zwecke weiterverwendet (z. B. als Unterzug oder Türsturz), ist bei einer ausreichenden Dimensionierung eine statische Prüfung unter Umständen entbehrlich.⁹⁶

Bei der Auswertung von Fachliteratur und im Rahmen von Fachgesprächen mit Experten (vgl. Kapitel 6.3 und 6.4) konnten eine Reihe von weiteren Hemmnissen identifiziert werden, aus denen gefolgert wird, dass eine Weiterverwendung von tragenden Bauteilen aus Stahl in Deutschland jedoch nur in geringem Umfang und unter bestimmten Voraussetzungen stattfindet. Eine Nachfrage beim Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen in Dortmund hat diese These bestätigt. Dort wurden bislang keine Prüfungen an gebrauchten Bauprodukten aus Stahl durchgeführt mit dem Ziel, diese dann einer Wiederverwendung zuzuführen. Vielmehr geht man beim Materialprüfungsamt davon aus, dass ein erneuter Einsatz von Baustahl ohne erneute Prüfung nur im Tiefbau für untergeordnete Zwecke stattfindet bzw. realistisch ist.⁹⁷

⁹⁶ [UBA15a], S. 98 ff.

⁹⁷ Telefoninterview am 04.04.2018 mit Jörg Becker, MPA NRW, Abteilung Bausicherheit.

5 Rechtliche Aspekte der Wiederverwendung

Rohstoffsicherheit und -verfügbarkeit bilden für Deutschland als Industrienation eine unabdingbare Voraussetzung zur Sicherung von Arbeitsplätzen und Wohlstand. Neben den endlichen Energieressourcen sind vor allem metallische und mineralische Rohstoffe in den letzten Jahren vermehrt in den Fokus der Umweltpolitik gerückt. Die Steigerung der Ressourceneffizienz und die gleichzeitige Schonung natürlicher Ressourcen gehören zu den wichtigen Themen der Zukunft, die weit oben auf der politischen Agenda stehen.

5.1 Rechtliche Einordnung der Wiederverwendung

Spezifische Regelungen zum Ressourcenschutz bestehen einer Untersuchung des Umweltbundesamtes zufolge im Planungsrecht, im Baurecht, im Bergrecht, im Immissionsschutzrecht und im Kreislaufwirtschaftsrecht.⁹⁸ Aspekte der Wiederverwendung werden in der EU-Bauproduktenverordnung, in der Ökodesign-Richtlinie, in der Abfallrahmenrichtlinie und dem dazugehörigen Abfallvermeidungsprogramm der Bundesregierung sowie im Kreislaufwirtschaftsgesetz thematisiert.

5.1.1 Produktrecht

5.1.1.1 EU-Bauproduktenverordnung

Als europäische Verordnung gilt die Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates unmittelbar in allen Mitgliedstaaten. Mit der Einführung der so genannten Bauproduktenverordnung wird die Intention der bisherigen Bauprodukte-Richtlinie fortgeführt, die Inhalte wurden präzisiert und aktualisiert. Zu den übergeordneten Zielen der Verordnung gehören das Inverkehrbringen von Bauprodukten, ihr freier Warenverkehr und der Abbau technischer Handelshemmnisse im EU-Wirtschaftsraum. Des Weiteren sollen harmonisierte technische Spezifikationen zu EU-weit einheitlichen Produkt- und Prüfstandards und damit harmonisierten Leistungsangaben bei Bauprodukten führen. Ebenso werden Anforderungen an die Leistungserklärung und die CE-Kennzeichnung festgelegt.

Im Rahmen der CE-Kennzeichnung sind auf Basis einer Leistungserklärung die Leistungen des Bauprodukts durch den Hersteller anzugeben. Die wesentlichen Merkmale eines Bauprodukts ergeben

⁹⁸ [UBA17], S. 47.

sich aus den harmonisierten technischen Spezifikationen. Der Hersteller ist verpflichtet, für jedes Bauprodukt, das von einer harmonisierten Norm erfasst ist, eine Leistungserklärung abzugeben und übernimmt damit die Verantwortung für die Übereinstimmung des Bauprodukts mit der erklärten Leistung in Bezug auf dessen wesentliche Merkmale.⁹⁹ Für Stahlerzeugnisse sind die wesentlichen Merkmale und zugehörigen Leistungen in der Normenreihe DIN EN 10025 aufgeführt. Die Leistungserklärung ist gemäß Anhang III der EU-Bauproduktenverordnung auszustellen.¹⁰⁰

Bezüglich der Grundanforderungen an Bauwerke wird in der EU-Bauproduktenverordnung betont, dass Bauwerke derart entworfen, errichtet und abgerissen werden müssen, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden. Hierzu gehören ein Recycling der Baustoffe nach dem Abriss, die Dauerhaftigkeit des Bauwerks und der Einsatz von umweltverträglichen Rohstoffen und Sekundärbaustoffen.¹⁰¹ In Anhang I werden Grundanforderungen an Bauwerke formuliert, unter Punkt 7a heißt es: „Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können.“¹⁰² Damit wird die Wiederverwendung normativ berücksichtigt. Diese Anforderung kann im Rahmen des Stahlbaus, z. B. durch die Nutzung von Schraubverbindungen und die Trennung von Tragwerk, Fassade und Innenwänden, erfüllt werden.

5.1.1.2 Ökodesign-Richtlinie

Mit der Richtlinie 2009/125/EG zur Schaffung eines Rahmens zur Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Ökodesign-Richtlinie) existiert ein Instrument zur stärkeren Marktdurchdringung effizienter Produkte im EU-Binnenmarkt. Die nationale Umsetzung der Richtlinie erfolgte im Jahr 2007 zunächst durch das Energiebetriebene-Produkte-Gesetz (EBPG), am 25. November 2011 trat das neue Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG) in Kraft. Zu den relevanten Produktgruppen gehören in erster Linie Haushaltsgeräte (weiße Ware), Elektromotoren, Heizungspumpen und Leuchtmittel.¹⁰³

Die Ökodesign-Richtlinie bietet einen Rechtsrahmen zur energiesparenden Gestaltung von Produkten. Im Vordergrund steht dabei die Erhöhung der Energieeffizienz. Sie besitzt jedoch auch das Po-

⁹⁹ [BBS12], S. 3 ff.

¹⁰⁰ [LS16], S. 330.

¹⁰¹ Erwägungsgrund 55 EU-BauPVO.

¹⁰² Anhang I, Punkt 7a EU-BauPVO.

¹⁰³ [BMU18].

tenzial, über die Formulierung von Mindestkriterien die Produktgestaltung in Richtung Ressourceneffizienz zu lenken. Nach Anhang I, Teil 1, Nr. 1.2 a) und e) sind für die Phasen des Lebenszyklus eines Produktes u. a. der voraussichtliche Verbrauch an Ressourcen und die Möglichkeiten der Wiederverwendung abzuschätzen.

Eine umweltgerechte Produktentwicklung berücksichtigt die umweltbezogenen Anforderungen über alle Phasen des Lebenszyklus eines Produktes und ermöglicht es, Produkte wesentlich ressourcenärmer, recyclingfreundlicher oder langlebiger zu konstruieren. Eine Ausweitung der Richtlinie auf energieverbrauchsrelevante Bauprodukte (z. B. Fenster) wird derzeit durch die EU geprüft.¹⁰⁴

5.1.2 Kreislaufwirtschaftsrecht

5.1.2.1 Abfallrahmenrichtlinie

Die Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL) gehört zu den zentralen Richtlinien der Abfallwirtschaft und enthält eine Reihe von abfallbezogenen Begriffsbestimmungen. Wiederverwendung ist gemäß Art. 3, Punkt 13 „[...] jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren.“¹⁰⁵ Allen Vorgaben und Maßnahmen der Abfallrahmenrichtlinie liegen die fünf Stufen der Abfallhierarchie zugrunde. Diese lauten:

- a) Vermeidung,
- b) Vorbereitung zur Wiederverwendung,
- c) Recycling,
- d) sonstige Verwertung, z. B. energetische Verwertung,
- e) Beseitigung.¹⁰⁶

Die Wiederverwendung und das Recycling werden in Art. 11 AbfRRL konkretisiert. Gemäß Art. 8 AbfRRL können durch die Mitgliedstaaten Maßnahmen zur Verbesserung der Wiederverwendung vorgesehen werden, die zu einer erweiterten Herstellerverantwortung führen würden.¹⁰⁷ Die Forderung nach einer abfallvermeidenden und recyclingfreundlichen Produktgestaltung durch die Hersteller wird

¹⁰⁴ [BAM18].

¹⁰⁵ Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien.

¹⁰⁶ Art. 4 Abs. 1 AbfRRL.

¹⁰⁷ Art. 8 Abs. 1 AbfRRL.

jedoch durch die technische und wirtschaftliche Durchführbarkeit begrenzt. Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit sowie ein funktionierender Binnenmarkt sind bei der Anwendung der Herstellerverantwortung zu berücksichtigen. Hiermit wird den Mitgliedsstaaten ein nicht unerheblicher Gestaltungsspielraum in der Umsetzung gelassen.¹⁰⁸

5.1.2.2 Abfallvermeidungsprogramm

Die im Jahr 2008 neu gefasste Abfallrahmenrichtlinie der EU sah vor, dass die Mitgliedstaaten bis zum 12. Dezember 2013 Abfallvermeidungsprogramme aufstellen.¹⁰⁹ Das im Juli 2013 veröffentlichte Abfallvermeidungsprogramm des Bundes unter Beteiligung der Länder nennt als operative Ziele

- die Reduktion der Abfallmenge,
- die Reduktion schädlicher Auswirkungen von erzeugten Abfällen und
- die Reduktion der Schadstoffe in Produkten und Abfällen.

Als Unterziel wird die Förderung der Wiederverwendung von Produkten genannt.¹¹⁰ Im Fokus steht jedoch die Wiederverwendung von Produkten wie z. B. Möbel oder Elektrogeräte, es wird auf die Ökodesign-Richtlinie verwiesen.¹¹¹

5.1.2.3 Kreislaufwirtschaftsgesetz

Mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) ist ab dem 01.06.2012 die EU-Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG) in deutsches Recht umgesetzt und das bestehende deutsche Abfallrecht umfassend modernisiert worden. Ziel des Gesetzes ist eine nachhaltige Verbesserung des Umwelt- und Klimaschutzes sowie der Ressourceneffizienz in der Abfallwirtschaft durch Stärkung der Abfallvermeidung und des Recyclings von Abfällen. Die Vorbereitung zur Wiederverwendung steht in der Abfallhierarchie an zweiter Stelle (vgl. Kapitel 5.1.2.1), hierunter fallen die vorbereitenden Verfahrensschritte Prüfung, Reinigung und Reparatur von Erzeugnissen oder deren Bestandteilen.¹¹² Hiermit erfolgt die Abgrenzung zum Recycling, da unter der Prüfung, Reinigung oder Reparatur im Rahmen der Wiederverwendung nur unerhebliche Maßnahmen zu verstehen sind.

¹⁰⁸ [RW16], S. 106 f.

¹⁰⁹ Art. 29 Abs. 1 AbfRRL.

¹¹⁰ [BMU13], S. 21.

¹¹¹ [BMU13], S. 28.

¹¹² § 3 Abs. 24 KrWG und § 6 Abs. 1 KrWG.

Über die Vorgaben der Abfallrahmenrichtlinie hinaus soll bis 2020 für Bau- und Abbruchabfälle eine stoffliche Verwertungsquote von mindestens 70 % erreicht werden. Hierzu zählen die „[...] Vorbereitung zur Wiederverwendung, das Recycling und die sonstige stoffliche Verwertung von nicht gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen“.¹¹³ Diese Vorgabe wird von Baustahl und anderen metallischen Bauprodukten im Rahmen des Recyclings weit überschritten.

Die in § 23 KrWG thematisierte Produktverantwortung beschränkt sich in Deutschland vor allem auf eine Kostenverantwortung bezüglich einer umweltgerechten Entsorgung oder Verwertung. Die Wiederverwendung der in Verkehr gebrachten Produkte ist, im Gegensatz zur Abfallhierarchie, hier jedoch nicht vorrangig. Die Produktverantwortung wendet sich in erster Linie an Produzenten, Hersteller bzw. Inverkehrbringer und dient so der Umsetzung des Verursacherprinzips.¹¹⁴ Zu den betroffenen Produkten gehören bisher Altöl, Batterien, Verpackungen, Altfahrzeuge und Elektroaltgeräte.¹¹⁵

5.2 Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen zur Wiederverwendung von Bauteilen

Spezifische Regeln oder rechtliche Rahmenbedingungen zur Prüfung gebrauchter Bauteile im Rahmen einer Wiederverwendung existieren nicht. Somit unterscheiden sich die Anforderungen an gebrauchte Stahlbauteile nicht von denen für neue Stahlbauteile.¹¹⁶

In der EU-Bauproduktenverordnung heißt es: „Bauwerke müssen als Ganzes und in ihren Teilen für deren Verwendungszweck tauglich sein, wobei insbesondere der Gesundheit und der Sicherheit der während des gesamten Lebenszyklus der Bauwerke involvierten Personen Rechnung zu tragen ist. Bauwerke müssen diese Grundanforderungen an Bauwerke bei normaler Instandhaltung über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum erfüllen.“

Bezüglich der mechanischen Festigkeit und Standsicherheit heißt es weiter, dass ein „[...] Einsturz des gesamten Bauwerks oder eines Teils, größere Verformungen in unzulässigem Umfang, Beschä-

¹¹³ § 14 Abs. 3 KrWG.

¹¹⁴ [Sme16], S. 131.

¹¹⁵ § 23 KrWG und UBA 2018.

¹¹⁶ [UBA15a], S. 98.

digungen anderer Teile des Bauwerks oder Einrichtungen und Ausstattungen infolge zu großer Verformungen der tragenden Baukonstruktion, Beschädigungen durch ein Ereignis in einem zur ursprünglichen Ursache unverhältnismäßig großen Ausmaß“ verhindert werden müssen.¹¹⁷

Unabhängig davon heißt es in Anhang I, Nr. 7c: „[...] für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.“¹¹⁸

Daraus folgt, dass bei Fehlen von Informationen oder Dokumentationen die entsprechenden Bauprodukte nicht sicher verwendbar sind. Eine dessen ungeachtete Verwendung ist demnach zumindest mit einer Rechtsunsicherheit verbunden. Der gängige Weg in der Bauplanung, der in der Regel auf Basis genormter Produkte erfolgt, muss verlassen werden, was zu einem erhöhten Aufwand in zeitlicher und finanzieller Sicht führt.

Um einen Leistungsnachweis über die entsprechende Produktleistung eines gebrauchten Bauteils und den damit verbundenen Kosten- und Zeitaufwand zu umgehen, steht es dem Planer frei, auf Basis früherer Normierungen eine Dimensionierung mit der schlechtmöglichen Bemessungsgrundlage durchzuführen.¹¹⁹

Gemäß Musterbauordnung (MBO), die als Orientierung für die Bauordnungsgesetzgebung der Länder gilt, bedarf es einer Zustimmung der obersten Bauaufsichtsbehörde, wenn Bauprodukte verwendet werden sollen, für die es keine technischen Baustimmungen und keine allgemein anerkannte Regel der Technik gibt oder sie wesentlich von einer technischen Baubestimmung abweichen. Sofern ihre Verwendbarkeit im Sinne des § 16b Abs. 1 nachgewiesen ist, dürfen gemäß § 20 MBO solche Bauprodukte im Einzelfall verwendet werden.¹²⁰

Die Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen (BauO NRW) sieht gemäß § 20 ein Verwendbarkeitsnachweis für Bauprodukte vor, „[...] wenn 1. es keine Technische Baubestimmung und keine allgemein anerkannte Regel der Technik gibt, 2. das Bauprodukt von einer Technischen Baubestimmung (§ 87 Abs. 2 Nr. 3) wesentlich abweicht oder 3. eine Verordnung nach § 86 Abs. 7 es vorsieht.“¹²¹

¹¹⁷ Anhang I der EU-BauPVO.

¹¹⁸ Anhang I der EU-BauPVO.

¹¹⁹ [ZVC11], S. 138.

¹²⁰ Musterbauordnung – MBO – Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.05.2016.

¹²¹ Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen 2016 (Landesbauordnung 2016 - BauO NRW 2016) vom 15. Dezember 2016.

Der Verwendbarkeitsnachweis kann im Rahmen

- einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (§ 21),
- eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses (§ 22) oder
- eines Nachweises der Verwendbarkeit von Bauprodukten im Einzelfall (§ 23)

erfolgen.¹²²

Im Gegensatz zur Wiederverwendung existieren im Bereich der Wiederverwertung durchaus DIN-Normen für gebrauchte Produkte, so zum Beispiel für rezyklierte Gesteinskörnungen, die zuvor als Baustoffe eingesetzt waren. Es kann dabei sich um Material aus Bauschutt und Bauabfällen handeln, welches in stationären Anlagen zerkleinert und nach Korngröße sortiert wird. Die „DIN 4226: Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620“ setzt die DIN EN 12620:2008-07 um und legt die Prüfung und Bewertung rezyklierter Gesteinskörnungen für die Verwendung in Beton fest. Rezyklierte Gesteinskörnungen müssen nach DIN EN 12620:2008-07 bezeichnet, gekennzeichnet und etikettiert werden. Ebenso ist eine Leistungserklärung des Herstellers sowie die CE-Kennzeichnung gemäß Bauproduktenverordnung erforderlich.

5.3 Zusammenfassung

Der Ressourcenschutz und die darunter einzuordnende Wiederverwendung werden im Rahmen des Produktrechts und des Kreislaufwirtschaftsrecht mitberücksichtigt. Verbindliche Vorgaben oder Verpflichtungen resultieren daraus jedoch nicht.

Die EU-Bauproduktenverordnung thematisiert die Wiederverwendung von Baustoffen nach dem Abriss. Spezifische Anforderungen an gebrauchte Bauprodukte, die sich daraus ergeben würden, werden in der Verordnung jedoch nicht aufgeführt.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz berücksichtigt die Wiederverwendung in der Abfallhierarchie an zweiter Stelle und betont damit deren Bedeutung für das Abfallrecht und daraus folgend für die Umweltpolitik. Mit der Produktverantwortung wird in § 23 KrWG versucht, auf die Produktentwicklung und -gestaltung von der letzten Lebenszyklusphase aus einzuwirken. Eine Abstimmung mit dem Produktrecht hinsichtlich des Öko-Designs fehlt jedoch.¹²³

¹²² §§ 20-23 BauO NRW.

¹²³ [RW16], S. 115.

6 Untersuchung der Wiederverwendungsquote

Um den Materialstrom von Baustahl vollständig zu erfassen und Anhaltspunkte für den Stellenwert der Wiederverwendung von Baustahl zu gewinnen, werden im Folgenden Statistiken ausgewertet, internationale Studien recherchiert und relevante Akteure des Baustahl-Lebenszyklus befragt.

6.1 Statistische Auswertung

Die Erhebung über die Aufbereitung und Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen aus Eisen und Stahl mit der Abfallverzeichnisnummer 17 04 05 erfolgt im Auftrag des Statistischen Bundesamtes alle zwei Jahre bei den Betreibern der jeweiligen Anlagen (hauptsächlich Schredderanlagen und Schrottscheren).¹²⁴ Etwa 20 Mio. Tonnen Stahlschrott fallen in Deutschland jährlich an.¹²⁵ Der Baubranche sind laut Angaben des Statistischen Bundesamtes 6,6 Mio. Tonnen zuzuordnen. Mit einem Anteil von 78,3 % landet der größte Teil dieser Eisen- und Stahlabfälle in Schredderanlagen und Schrottscheren. 11,8 % werden in sonstigen Behandlungsanlagen weiterverarbeitet, 9,8 % in Sortieranlagen, in denen gemischte Abfälle zur Rückgewinnung verwertbarer Rohstoffe getrennt werden. Der Input in Bauschutttaufbereitungsanlagen ist marginal (0,04 %). Dies zeigt, dass Betonstahl beim Rückbau (z. B. in Form von Bewehrung) nahezu vollständig separiert wird und anschließend über andere Wege entsorgt wird (vgl. Tabelle 3).¹²⁶

¹²⁴ [SB19b], S. 5.

¹²⁵ [WVS19b], S. 7.

¹²⁶ [SB19b], S. 28-155.

<i>Art der Anlage</i>	<i>Input insgesamt</i>	<i>davon aus dem Inland</i>	<i>davon aus dem Ausland</i>
	<i>[1.000 t]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>
Schredderanlagen und Schrottscheren	5.158,1	96,7	3,0
Sonstige Behandlungsanlagen	777,7	96,1	3,8
Sortieranlagen	649,2	98,0	1,6
Zerlegeeinrichtungen für Elektro- und Elektronikaltgeräte	4,4	100,0	---
Bauschuttzubereitungsanlagen	2,4	---	---
<i>Insgesamt</i>	<i>6.591,8</i>	<i>---</i>	<i>---</i>

Tabelle 3: Entsorgung von Bau- und Abbruchabfällen aus Stahl im Jahr 2017¹²⁷

Das Statistische Bundesamt führt keine Stoffstromanalysen durch, es wird lediglich der Input sowie der Output in Abfallbehandlungsanlagen der ersten Stufe ohne weitere Nachverfolgung erfasst. Eine vollständige Erfassung des Materialstromes für Eisen und Stahl ist mit der Abfallentsorgungsstatistik des Statistischen Bundesamtes somit nicht zu erzielen.

Auch die Wirtschaftsvereinigung Stahl veröffentlicht seit einigen Jahren keine statistischen Werte mehr zum speziellen Schrottsorteneinkauf ihrer Werke.

Die wirtschaftlichen Tätigkeiten von Unternehmen und Betrieben können mit Hilfe der Klassifikation der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes (WZ 2008) erfasst werden. Gemäß der Klassifikation werden die Verarbeitung und Rückgewinnung von metallischen Altmaterialien sowie der Großhandel mit Schrott, wie in Tabelle 4 aufgeführt, eingeordnet.

¹²⁷ Eigene Darstellung, Quelle: [SB19b], S. 28-155.

<i>Abschnitt</i>	<i>Abteilung</i>	<i>Unter- klasse</i>	<i>Erläuterung</i>
C: Verarbeitendes Gewerbe	24: Metallerzeugung und -bearbeitung	24.10.0	u. a. Einschmelzen von Schrottblöcken aus Eisen oder Stahl
E: Abfallentsorgung	38: Rückgewinnung	38.32.0	u. a. Verarbeitung von metallischen Altmaterialien, Reststoffen und Erzeugnissen zu Sekundärrohstoffen
G: Handel	46: Großhandel	46.77.0	u. a. Großhandel mit Schrott für die Rückgewinnung, einschließlich Sammeln, Sortieren, Trennen, Zerlegen

Tabelle 4: Wirtschaftszweige mit Bezug zum Stahlrecycling¹²⁸

Das Verarbeitende Gewerbe (Abschnitt C) umfasst gemäß Klassifikation die mechanische, physikalische oder chemische Umwandlung von Stoffen und Erzeugnissen wie z. B. Metallschrott. Das Einschmelzen von Schrottblöcken aus Eisen oder Stahl (Unterklasse 24.10.0) dient zur Herstellung neuer Enderzeugnisse und wird deswegen dem Verarbeitenden Gewerbe zugeordnet, auch wenn bei diesem Prozess Abfälle eingesetzt werden.¹²⁹

Der Abschnitt E (Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung und Beseitigung von Umweltverschmutzungen) beinhaltet Tätigkeiten, die mit der Entsorgung unterschiedlicher Abfälle aus Industrie, Gewerbe und Haushalten zusammenhängen. Dazu gehört ebenfalls die Rückgewinnung von Wertstoffen aus Abfallströmen, z. B. Metallen aus Abbruchmaterial (Unterklasse 38.32.0).¹³⁰

Der Abschnitt G (Handel; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen) enthält den Groß- und Einzelhandel, das heißt den Verkauf ohne jegliche Weiterverarbeitung. Der Wiederverkauf von Gebrauchsgütern an Einzelhändler oder Unternehmen ist ausdrücklich eingeschlossen. Zum Verkaufsprozess gehören üblicherweise Schritte wie Sortieren, Klassieren, Zusammenstellen oder Zerlegen.

¹²⁸ Eigene Darstellung, Quelle: [SB08], S. 253, 343, 387.

¹²⁹ [SB08], S. 186.

¹³⁰ [SB08], S. 337.

Betriebe des Altmetallgroßhandels sind der Unterklasse 46.77.0 zuzuordnen. Hierunter werden Betriebe erfasst, die Altschrott ankaufen, nach Materialien und Qualitäten trennen, sortieren und weiterverkaufen. Zur Unterklasse 46.77.0 ist somit auch der Handel mit Stahlbauteilen, die sich zur Wiederverwendung eignen, zu zählen.¹³¹

Im Gegensatz zu anderen Wertstoffströmen ist die Struktur der Recycling- und Entsorgungswirtschaft für Eisen- und NE-Metalle sehr stark durch Handelsunternehmen geprägt. So können Recyclingunternehmen der Eisen- und NE-Metallbranche mit Unternehmen der Rohstahl- oder Metallproduktion verknüpft sein.¹³² Wiederverwendbare Stahlbauteile werden beim Rückbau im Allgemeinen nicht gesondert erfasst, sondern direkt weitervermarktet. Sie landen ohne Umwege bei Händlern und Entsorgungsfachbetrieben, werden in der Regel nicht als Abfallprodukt gewertet und tauchen somit in der Abfallstatistik nicht auf. Mit dem Ende der Abfalleigenschaft für Eisen- und Stahlschrotte werden erhebliche Materialströme der statistischen Erfassung entzogen. Eine einheitliche Erfassung der für die Ressourceneffizienz bedeutsamen Stoffströme ist somit nicht möglich, da sich ein relevanter Anteil außerhalb der abfallwirtschaftlichen Statistik bewegt.¹³³

6.2 Internationale Untersuchungen

Untersuchungen zur Wiederverwendungsquote von Bauprodukten aus Stahl in Deutschland wurden bislang nicht durchgeführt. Auf internationaler Ebene existieren zwei Umfragen aus Großbritannien, deren Ergebnisse in zahlreichen weiteren Untersuchungen zitiert werden, so z. B. auch in der Umwelt-Produktdeklaration (EPD) von offenen Walzprofilen und Grobblechen. Deklarationsinhaber der EPD ist der Bauforumstahl e. V., der Gemeinschaftsverband des deutschen Stahlbaus.¹³⁴

Die erste Umfrage wurde im Jahr 2000 vom britischen Steel Construction Institute (SCI) im Rahmen eines von der EU geförderten Forschungsprojektes durchgeführt.¹³⁵ Das SCI befragte britische und niederländische Abbruchunternehmen zur Erfassung der Recycling- und Wiederverwendungsquoten von Baustahlprodukten. Von den insgesamt 160 befragten Unternehmen, die allesamt Mitglieder der National Federation of Demolition Contractors (NFDC) sind, antworteten 44, was einer Rücklaufquote

¹³¹ [SB08], S. 360.

¹³² [GIB09], S. 176.

¹³³ [UBA12], S. 133.

¹³⁴ [BFS13], S. 5.

¹³⁵ Vgl. [SM02].

von 28 % entspricht. Innerhalb der 12-monatigen Untersuchungsphase konnten so 5.430 Gebäudeabbrüche für die Befragungsergebnisse berücksichtigt werden.¹³⁶

Eine weitere Umfrage wurde 2012 von Tata Steel als Teil einer Eurofer¹³⁷-Umfrage durchgeführt. Ziel war es, die Recycling- und Wiederverwendungsquoten von Baustahl, der aus typischen Abbruchmaßnahmen stammt, zu quantifizieren. Die Umfrage, die vergleichbar mit der SCI-Umfrage ist, wurde ebenfalls an NFDC-Mitglieder gerichtet, die Rücklaufquote betrug hier 20 %. Im Rahmen der Untersuchung wurden jedoch weder die Größe des Abbruchunternehmens, noch die Anzahl der Gebäudeabbrüche im Berichtsjahr erfasst. Folgende Baustahlprodukte wurden im Rahmen der Umfrage abgefragt:

- Stahlträger, Rohre
- Bewehrung im Hochbau und Fundament
- Stahlspundwände
- Leichter Baustahl (z. B. Dachpfetten)
- Profilbleche (z. B. für Fassade oder Dach)
- Leichtbauprofile
- Sonstige (z. B. Edelstahlprodukte).

Nachfolgend werden die internationalen Werte zur Recyclingrate und Wiederverwendung von Stahlprodukten aufgeführt:

¹³⁶ [SA14], S. 92.

¹³⁷ Eurofer ist der Wirtschaftsverband der europäischen Eisen- und Stahlindustrie mit Sitz in Brüssel.

<i>Datenquelle</i>	<i>Produkt</i>	<i>Recycling</i>	<i>Wiederverwendung</i>	<i>Verlust</i>
SCI Survey, 2000	Heavy structural sections	87 %	11 %	2 %
	Profiled cladding / roofing panels	81 %	15 %	4 %
	Light gauge steel	87 %	11 %	2 %
Eurofer Survey, 2012	Heavy structural sections	93 %	7 %	0 %
	Profiled sheet cladding	89 %	10 %	1 %
	Light structural steel	98 %	5 %	2 %

Tabelle 5: Umfrageergebnisse zur Wiederverwendung von Stahlprodukten¹³⁸

Beim Vergleich der Wiederverwendungsquoten fällt auf, dass diese im Jahr 2012 durch die Umfrageteilnehmer wesentlich niedriger eingeschätzt wurden. Auch die Anteile an Baustahl, die verloren gehen bzw. deponiert werden (Verlust), werden 2012 wesentlich geringer als im Jahr 2000 eingeordnet. Sansom und Avery begründen die niedrigeren Wiederverwendungsquoten, die 2012 erfasst wurden, folgendermaßen:

- Die geringe Anzahl an Abbruchunternehmen, die an der Umfrage teilgenommen haben sowie unterschiedliche Produktdefinitionen und Interpretationen seitens der Befragten erhöhen die Fehlerquote.
- Hohe Arbeitsschutzanforderungen und der Kosten- und Zeitdruck in der Baubranche führen dazu, dass ein selektiver Rückbau und eine Wiederverwendung von Bauprodukten meist nicht stattfinden.
- Je nach Schrottpreis besteht ein höherer Anreiz für Abbruchunternehmen, Baustahl zu recyceln, anstatt ihn wiederzuverwenden.¹³⁹

Die Produktkategorien, die in den Umfragen vorgegeben waren, sind nicht ausnahmslos identisch, so dass eine Vergleichbarkeit zwischen den beiden Umfragen nur teilweise gegeben ist. Eine Übertragbarkeit der Umfrageergebnisse auf Deutschland ist, vor allem hinsichtlich der Produktvielfalt, nicht

¹³⁸ Eigene Darstellung, Quelle: [SA14], S. 93 und [SM02], S. 48.

¹³⁹ [SA14], S. 94, übersetzt.

ohne Weiteres möglich. Fundierte Aussagen zum Anteil der Wiederverwendung von Baustahl in Deutschland können somit nicht getroffen werden.

6.3 Umfragen bei Verbänden der Abbruch- und Entsorgungsbranche

6.3.1 Umfrage beim Deutschen Abbruchverband e.V. (DA)

Im November 2018 wurden die Mitglieder des Deutschen Abbruchverbands e.V. mit Hilfe einer Online-Umfrage befragt. Von knapp 700 Mitgliedern haben sich 44 Unternehmen aus dem Bauwerks- und Industrieabbruch an der Umfrage beteiligt. Dies entspricht einer Quote von ca. 6,5 %. 39 Rückläufer konnten ausgewertet werden. Nachfolgend sind die Fragestellungen aufgelistet.

No.	Fragestellungen
1	Wie groß ist Ihr Unternehmen?
2	In welchem Bundesland befinden Sie sich?
3	In welchem Umkreis sind Sie tätig?
4	Welche Gebäudetypen brechen Sie ab?
5	Welche Entfernungen zwischen Schrotthändlern oder eigenem Lagerplatz und Abbruchbaustelle sind für Sie wirtschaftlich?
6	Verkaufen Sie Nutzeisen zur Wiederverwendung an weitere Personen?
7	Würde sich der vermehrte Verkauf von Nutzeisen im Vergleich zur Verschrottung finanziell für Sie lohnen?
8	Wenn nein, warum nicht?
9	Was schätzen Sie: Wie viel Prozent des Baustahls, den Sie bei Gebäudeabbrüchen gewinnen, wird wiederverwendet? Wie viel Prozent wird eingeschmolzen (Recycling)? Und welcher Anteil geht verloren?
10	Gab oder gibt es Bauherren / Auftraggeber, welche die Wiederverwendung von Bauteilen (z. B. beim Bauen im Bestand) gezielt gefordert haben?
11	In welchen Projekten war dies der Fall? Für Beispiele sind wir Ihnen sehr dankbar.

Tabelle 6: Fragestellungen an Mitgliedsunternehmen des Deutschen Abbruchverbands e.V.

6.3.2 Umfrage bei der Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. (BDSV)

Im Februar 2019 wurden die Mitglieder der Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. (BDSV) ebenfalls mit Hilfe einer Online-Umfrage befragt. Von über 500 Mitgliedern haben sich 36 Teilnehmer der Stahlrecycling- und Entsorgungswirtschaft an der Umfrage beteiligt. Dies entspricht einer Rücklaufquote von etwa 7,5 %. 24 Rückläufer konnten ausgewertet werden.

No.	Fragestellungen
1	Wie groß ist Ihr Unternehmen?
2	In welchem Bundesland befinden Sie sich?
3	In welchem Umkreis sind Sie tätig?
4	Können Sie abschätzen, wie viel Stahlschrott Sie aus dem Bereich "Bau", also dem Abbruch von Gebäuden und Bauwerken, sammeln, aufbereiten und vermarkten?
5	Wenn ja, um wie viel Stahlschrott handelt es sich?
6	Wie viel Stahlschrott verarbeiten Sie insgesamt jährlich?
7	Haben Sie schon einmal aus Abbruchprojekten stammende Baustahlprodukte (Träger, Bleche etc.) aussortiert und an Kunden zur „direkten“ Wiederverwendung (d. h. ohne Verschrottung / Recycling) verkauft?
8	Wenn ja, um welche Bauprodukte / Bauteile handelte es sich dabei hauptsächlich?
9	An wen haben Sie gebrauchte Baustahlprodukte (Träger, Bleche etc.) verkauft?
10	Würde sich der vermehrte Verkauf von Baustahlprodukten im Vergleich zur Verschrottung finanziell für Sie lohnen?
11	Wenn nein, warum nicht?
12	Was schätzen Sie: Wie viel Prozent des Baustahls, der bei Gebäudeabbrüchen gewonnen wird, wird wiederverwendet? Wie viel Prozent wird eingeschmolzen (Recycling)?
13	Kennen Sie Planer, Bauherren oder Bauunternehmen, die gebrauchte Bauteile aus Baustahl für Bauvorhaben nutzen?
14	Wird der Baustahl Ihres Wissens nach eher im Hochbau oder im Tiefbau (z. B. für den Baugrubenverbau) wiederverwendet?

Tabelle 7: Fragestellungen an Mitgliedsunternehmen des BDSV

6.3.3 Auswertung der Umfragen

Mit Hilfe beider Umfragen konnten insgesamt 63 Rückläufer berücksichtigt werden. Da die Fragestellungen teils identisch waren, werden sie nachfolgend zusammengefasst. Dies gilt für die allgemeinen Fragen zur Größe des Unternehmens, zum Bundesland sowie zum Umkreis, in dem das Unternehmen tätig ist. Des Weiteren können die Fragen zum vermehrten Verkauf von Nutzeisen zur Wiederverwendung und die Abschätzung der Sammelraten zusammen ausgewertet werden.

6.3.3.1 Unternehmensgröße und -standort

Die teilnehmenden Unternehmen des Deutschen Abbruchverbands haben durchschnittlich 59 Mitarbeiter, die Unternehmen des BDSV durchschnittlich 36 Mitarbeiter¹⁴⁰.

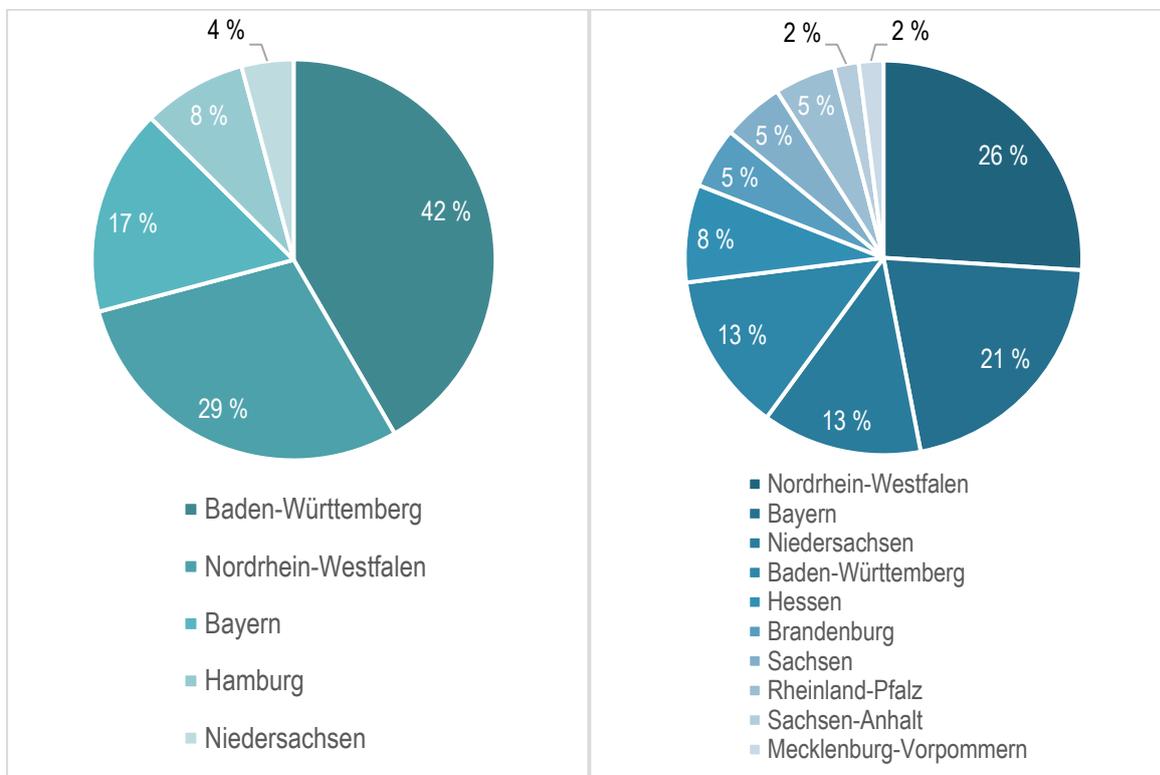


Abbildung 16: Unternehmensstandorte der Teilnehmer des BDSV (links) und des DA (rechts)

Die meisten teilnehmenden Unternehmen stammen aus Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Bayern und Niedersachsen (siehe Abbildung 16). Sie sind in einem Umkreis von ca. 149 km (BDSV) bzw. 189 km (DA) tätig.

¹⁴⁰ Ein Unternehmen mit 2.000 Mitarbeitern wurde bei der Berechnung der durchschnittlichen Mitarbeiteranzahl nicht berücksichtigt.

6.3.3.2 Abbruch von Gebäuden und Stahlschrottaufkommen

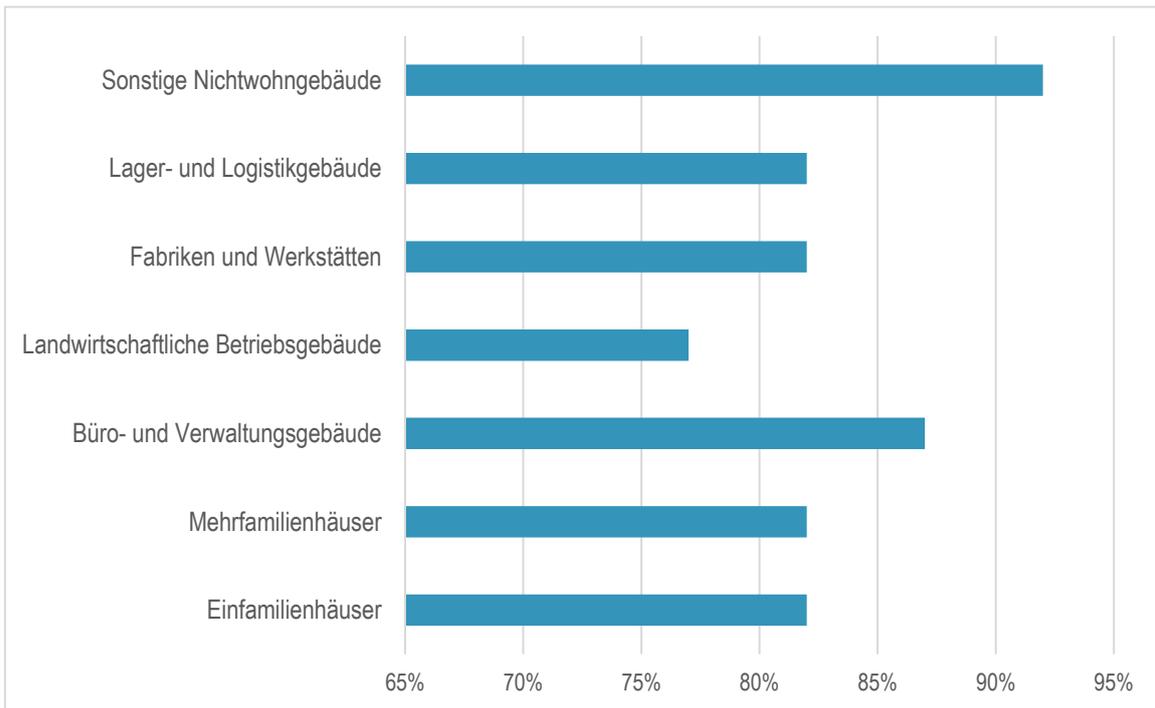


Abbildung 17: Abbruch von Gebäuden nach Typ (DA)

Die teilnehmenden Unternehmen des Deutschen Abbruchverbands brechen in der Regel mehrere Gebäudetypen ab, am häufigsten werden Nichtwohngebäude wie Büro- und Verwaltungsgebäude, Fabriken und Logistikgebäude abgebrochen.

87 % der Unternehmen des BDSV können abschätzen, wie viel Stahlschrott sie aus dem Abbruch von Gebäuden sammeln, aufbereiten und vermarkten. Das Aufkommen an Stahlschrott liegt demnach zwischen 2 und 100.000 t jährlich, durchschnittlich sind es 13.047 t Stahlschrott pro Jahr.

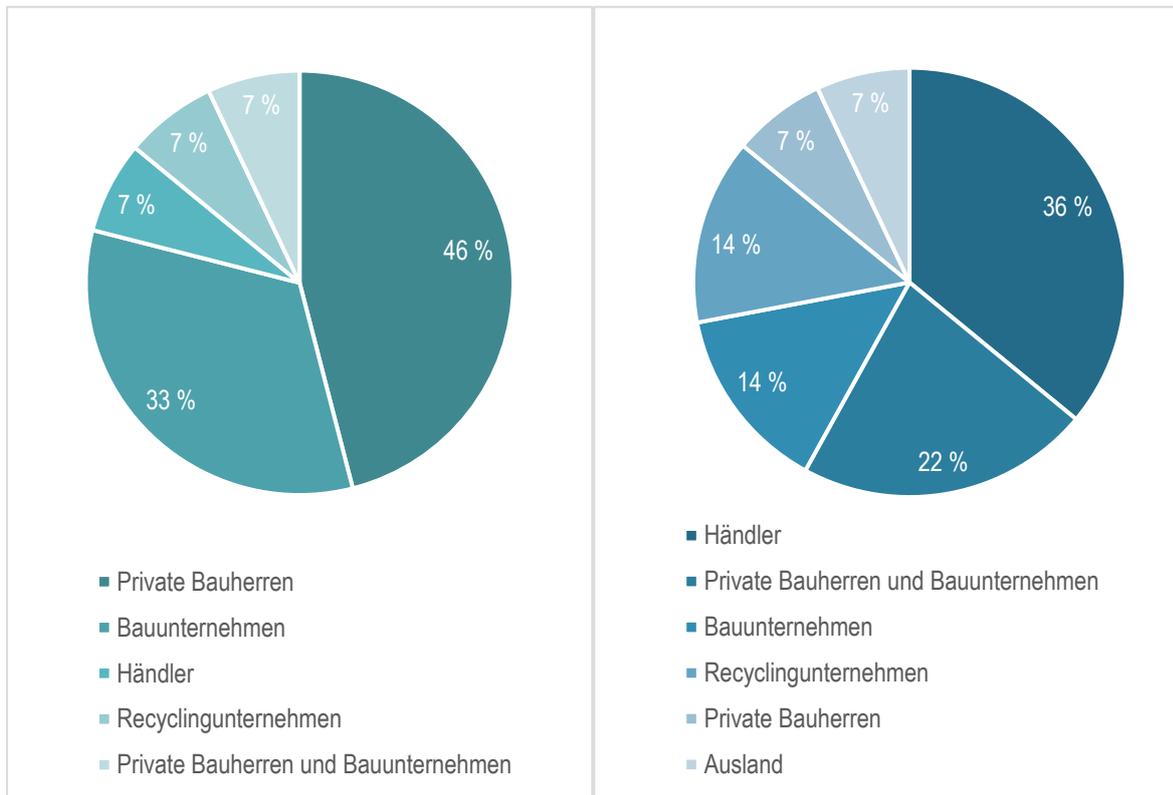
6.3.3.3 Nutzeisenverkauf

Abbildung 18: Verkauf von Nutzeisen durch Teilnehmer des BDSV (links) und des DA (rechts)

14 der 39 Teilnehmer des DA (36 %) gaben an, Nutzeisen zu Wiederverwendung zu verkaufen und zwar hauptsächlich an Händler, private Bauherren und Bauunternehmen. Beim BDSV sind es 63 % der Teilnehmer, die Nutzeisen weiterveräußern und zwar größtenteils an private Bauherren und Bauunternehmen (siehe Abbildung 18). Bei den weiterverkauften Stahlbauteilen handelt es sich in der Regel um Träger, Fassaden- und Profilbleche sowie Rohre.

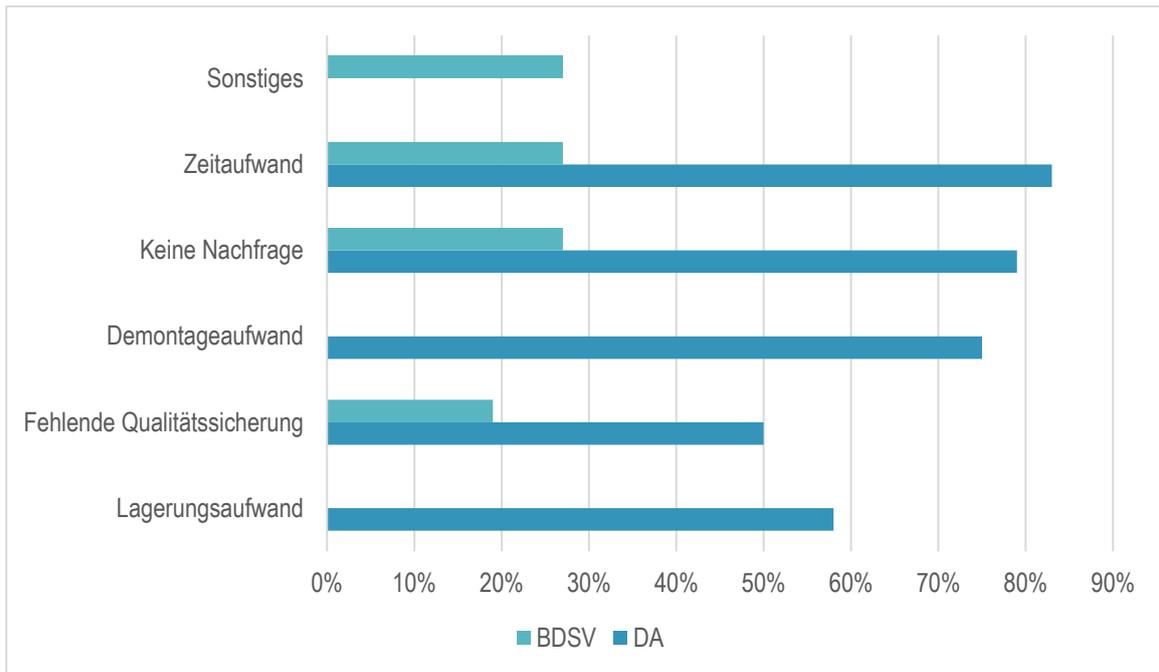


Abbildung 19: Hemmnisse für den vermehrten Verkauf von Nutzeisen

Beim DA sind nur 38 % der Teilnehmer der Meinung, dass sich ein vermehrter Nutzeisenverkauf lohnen würde, während beim BDSV 54 % dieser Meinung sind. Als größte Hemmnisse werden der Zeitaufwand für die Wiedernutzbarmachung von Baustahl und die fehlende Nachfrage nach gebrauchtem Baustahl gesehen (BDSV). Die teilnehmenden Abbruchunternehmen geben zudem den Demontageaufwand und den fehlenden Lagerplatz als Hemmnis an. Als wirtschaftlich wird eine max. Entfernung zwischen Abbruchbaustelle und Schrotthändler/Lagerplatz von 50 km aufgefasst.

6.3.3.4 Sammelraten

Die geschätzten Sammelraten (Wiederverwendung, Recycling, Verlust) werden für BDSV und DA gemeinsam ausgewertet. Insgesamt liegen 63 Antworten vor. Da die Werte eine hohe Streuung aufweisen, werden mittels der Boxplot-Methode zunächst Ausreißer nach oben und unten ermittelt (vgl. Abbildung 20).

Bei den Angaben zur Wiederverwendung liegt demnach ein Ausreißer (Wert = 30 %) vor. Alle Werte zwischen 0 und 20 % werden somit gewertet.

Bei den Angaben zum Recycling liegen zwei Ausreißer (60 und 65 %) vor. Alle Werte zwischen 70 und 100 % werden gewertet.

Bei den Angaben zum Verlust liegen neun Ausreißer zwischen 14 und 30 % vor. Alle Werte zwischen 0 und 10 % werden gewertet.

Da die Angaben zu Wiederverwendung, Recycling und Verlust insgesamt 100 % ergeben und somit voneinander abhängen, werden nur die Angaben gewertet, die in allen drei Kategorien keinen Ausreißer aufweisen.

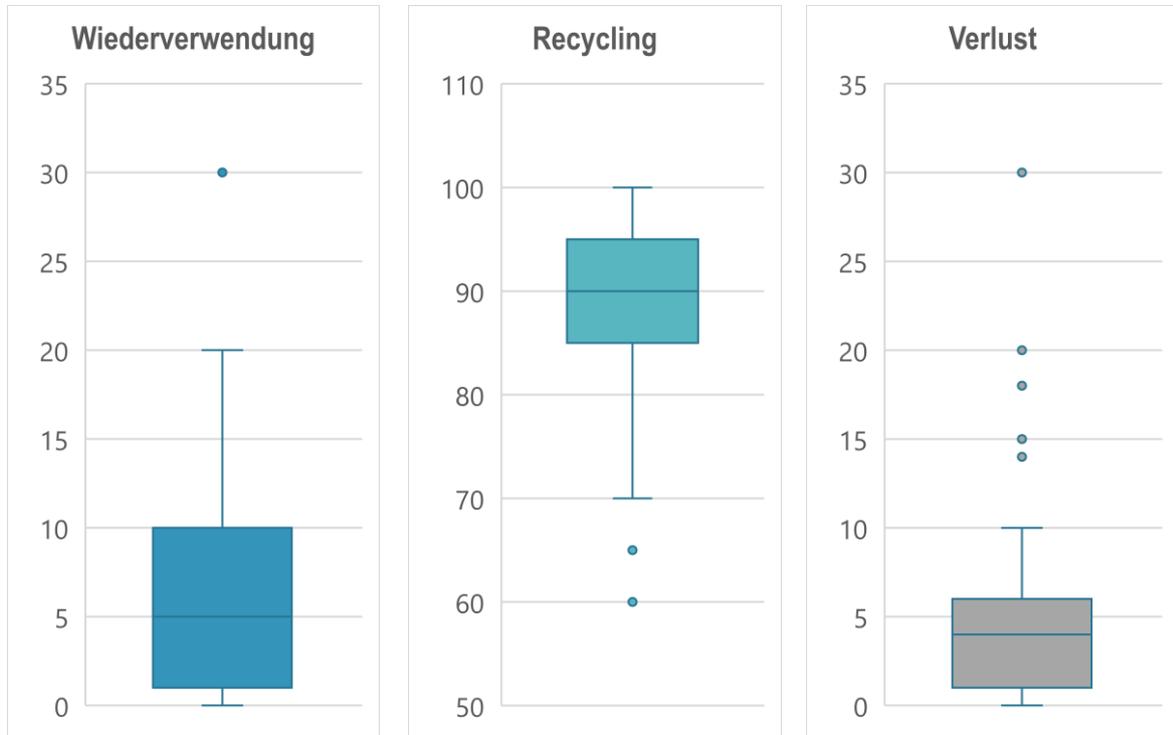


Abbildung 20: Boxplot-Diagramme

Werden nur die Angaben ohne Ausreißer berücksichtigt, bleiben 53 Antworten übrig. Aus diesen 53 Antworten wird jeweils der Mittelwert gebildet, der sich für Wiederverwendung, Recycling und Verlust wie folgt darstellt¹⁴¹:

Wiederverwendung: 5,3 %

Recycling: 91,6 %

Verlust: 3,1 %

¹⁴¹ Detaillierte Tabelle siehe Anhang 1.

6.3.3.5 Nachfrage nach gebrauchten Baustahlprodukten

Bezüglich der Marktnachfrage nach gebrauchten Baustahlprodukten ergibt sich folgendes Bild: 15 % der Abbruchunternehmen und 29 % der BDSV-Unternehmen kennen Bauherren oder Bauunternehmen, die die Wiederverwendung von Bauteilen gezielt fordern bzw. gebrauchte Bauteile für Bauvorhaben regelmäßig nutzen. Vier Abbruchunternehmen können konkrete Projekte nennen, in denen dies der Fall war. Zwei Teilnehmer des BDSV nennen den Tiefbau als gängigen Ort der Wiederverwendung von gebrauchtem Baustahl. Die Befragungsergebnisse zeigen, dass neben dem Recycling von Baustahl die Wiederverwendung durchaus eine Rolle spielt (vgl. auch Kapitel 6.3.3.3), eine gezielte Wiederverwendung, beispielsweise beim Bauen im Bestand, ist aber die Ausnahme.

6.4 Interviews mit Akteuren der Wertschöpfungskette Baustahl

6.4.1 Befragte Akteure

Um mehr Informationen und Details zu den Potenzialen der Wiederverwendung von Bauteilen und Bauprodukten aus Stahl zu erfahren, wurden weitere Akteure befragt. Es handelte sich dabei sowohl um Entsorgungsfachbetriebe, Handels- und Abbruchunternehmen, als auch um Architekten und Ingenieure. Meist decken die Unternehmen mehrere Geschäftsbereiche parallel ab, so z. B. Abbruchtätigkeiten und Entsorgungsdienstleistungen.

Die Interviews dienten in erster Linie der Vertiefung vorhandener Literaturaussagen zur aktuellen Praxis in der Branche. Folgende Unternehmen wurden befragt:

<i>Unternehmen</i>	<i>Branche</i>	<i>Anzahl Mitarbeiter</i>
RHH Rohstoffhandel Haiger GmbH Zum Haigerfeld 1 35708 Haiger	Entsorgungsfachbetrieb und Abbruchunternehmen	19
Theodor Claus GmbH Pfungstweidstraße 37 68199 Mannheim (Neckarau)	Entsorgungsfachbetrieb	6
Sülzle Nutzeisen GmbH Stützenstraße 10 72172 Sulz a.N.	Stahlhandel	50

<i>Unternehmen</i>	<i>Branche</i>	<i>Anzahl Mitarbeiter</i>
anonym	Entsorgungsfachbetrieb und Nutzeisenhandel	340
anonym	Schrotthandel	7
m. schneider a. hillebrandt architektur Ubierring 43 50678 Köln	Architekturbüro	4
energum GmbH Groner Allee 100 49479 Ibbenbüren	Ingenieurbüro	500
Paul Kamrath Ingenieurrückbau GmbH Hamburger Str. 97 44135 Dortmund	Abbruchunternehmen	40

Tabelle 8: Übersicht der befragten Unternehmen

6.4.2 Fragestellungen

Die Interviews umfassten einige Standardfragen sowie mehrere aktueursspezifische Fragen. Die Interviews wurden im April 2018 sowohl telefonisch, als auch schriftlich per E-Mail durchgeführt. Die Fragen sind nachfolgend aufgeführt:

No.	Fragestellungen
1	Wie groß ist Ihr Unternehmen, welche Tätigkeiten üben Sie aus und in welchem Umkreis sind Sie tätig?
2	Woher stammt das Nutzeisen, das Sie verkaufen/vermieten?
3	Wenn Sie Nutzeisen verkaufen/vermieten, können Sie dem Käufer/Mieter Angaben zur Stahlgüte, Sorte, Maße, Gewicht und Verwendbarkeit machen?
4	Wenn nein, verkaufen/vermieten Sie Nutzeisen unter Ausschluss einer Gewährleistung?
5	Überprüfen Sie das Nutzeisen hinsichtlich technischer Aspekte, z. B. auf Beschädigungen oder Korrosion?
6	Findet eine Überarbeitung der Bauteile zur Wiederverwendung statt?
7	An wen verkaufen/vermieten Sie in der Regel Nutzeisen?
8	Wissen Sie, wofür der Käufer/Mieter das Nutzeisen benötigt?
9	Was schätzen Sie: Wie viel Prozent der Eisen-Metalle verlässt Ihr Unternehmen als Schrott zum Einschmelzen, und wie viel Prozent wird wiederverwendet?
10	Wie hoch schätzen Sie den Anteil an Baustahl, der bei einem Gebäudeabbruch in der Regel zur Wiederverwendung gewonnen werden kann?

Tabelle 9: Fragestellungen zur Wiederverwendung von Baustahl an Entsorgungsfachbetriebe

No.	Fragestellungen
1	Wie groß ist Ihr Unternehmen und in welchem Umkreis sind Sie tätig?
2	Haben Sie bereits Erfahrungen mit der Wiederverwendung von Bauteilen aus Stahl machen können?
3	Wenn ja, in wie vielen Ihrer Projekte wurden bereits gebrauchte Bauteile aus Stahl wiederverwendet?
4	Um welche Produkte handelt es sich dabei?
5	Um welche Bauwerke handelt es sich dabei?
6	Aus welcher Motivation heraus sollten oder werden Bauteile aus Stahl wiederverwendet?
7	<p>Welche Hemmnisse treten bzgl. der Wiederverwendung von Baustahl auf?</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Nachfrage/Abneigung durch den Bauherrn ▪ Verfügbarkeit von brauchbaren Bauteilen, -elementen nicht gegeben ▪ Fehlende technische Daten (CE-Kennzeichnung) ▪ Erhöhte Kosten ▪ Trägheit der Baubranche

Tabelle 10: Fragestellungen zur Wiederverwendung von Baustahl an Architekten

No.	Fragestellungen
1	Wie groß ist Ihr Unternehmen und in welchem Umkreis sind Sie tätig?
2	An wen verkaufen Sie Nutzeisen/Schrott aus Abbrüchen?
3	Würde sich der Verkauf von Nutzeisen im Vergleich zur Verschrottung finanziell lohnen?
4	Wie hoch schätzen Sie den Anteil an Baustahl, der beim Abbruch zur Wiederverwendung gewonnen werden könnte?
5	Gibt es Bauherren, die die Wiederverwendung von Bauteilen gezielt fordern?

Tabelle 11: Fragestellungen zur Wiederverwendung von Baustahl an Abbruchunternehmen

6.4.3 Auswertung der Interviews

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Interviews zusammengefasst. Die detaillierten Beantwortungen der Fragen sind in Anhang 2-4 zu finden.

Die Anzahl der Mitarbeiter der befragten Unternehmen variiert zwischen 4 und 340, folglich handelt es sich sowohl um Kleinstunternehmen, kleine und mittlere Unternehmen (KMU), als auch um Großunternehmen. Die Kleinst- und Kleinunternehmen sind in einem Umkreis bis 150 km tätig, während die Großunternehmen deutschlandweit agieren.

Das Nutzeisen stammt zum Teil aus Gebäudeabbrüchen, aber auch aus Ersteigerungen, Über- und Fehlproduktionen. Deklassierte Produkte (sog. Ila-Material) sind neu, erfüllen hinsichtlich ihrer Eigenschaften, Maße oder äußeren Beschaffenheit jedoch nicht die Norm. Die Sülzle Nutzeisen GmbH vermietet Nutzeisen für Tiefbauunternehmen und bereitet die Bauteile vor dem erneuten Einsatz auf.

In der Regel können keine Angaben zur Stahlgüte, -sorte und Verwendbarkeit gemacht werden, gelegentlich sind Datenblätter vom Vorverkäufer verfügbar, die weitergegeben werden können. Größtenteils sind nur die Maße und das Gewicht bekannt, die maßgebend für den Verkaufspreis sind.

Fast alle befragten Unternehmen schließen eine Gewährleistung für Nutzeisen aus, bei den meisten gilt die Devise „gekauft wie gesehen“. Einige haben in ihren Verkaufsbedingungen oder Allgemeinen Geschäftsbedingungen eine Mängelhaftung ausgeschlossen. Abweichungen von Maß, Gewicht und

Güte nach DIN für Stahl und Eisen oder Handelsbrauch im Rahmen branchenüblicher Toleranzen stellen demnach keinen Sachmangel dar.¹⁴²

Technische Überprüfungen von Nutzeisen erfolgen größtenteils nicht, es wird jedoch teilweise kontrolliert, ob das Bauteil gerade ist oder ob es stark korrodiert ist.

Überarbeitungen der Bauteile finden, bis auf das Kürzen auf Transportlänge, üblicherweise nicht statt. Durch die Sülzle Nutzeisen GmbH wird eine fachmännische Aufbereitung gebrauchter Ware vor dem erneuten Einsatz durchgeführt, da das Nutzeisen vermietet wird.

Zu den Zielgruppen im Nutzeisenverkauf gehören in erster Linie Händler und weiterverarbeitende Betriebe. Vereinzelt werden auch private Bauherren oder Bauunternehmen bedient. Die Sülzle Nutzeisen GmbH verkauft und vermietet ausschließlich an Tiefbauunternehmen. Die Paul Kamrath Ingenieur-rückbau GmbH verkauft in der Regel an Schrotthändler.

Die Art der Weiterverwendung von Nutzeisen ist für die meisten der befragten Unternehmen nicht von Interesse, sie gehen aber davon aus, dass private Käufer Nutzeisen für Umbaumaßnahmen im Eigenheim oder Garten benötigen, Bauunternehmen hingegen für den Spezialtiefbau (Baugrubenverbau). Eine Wiederverwendung im Hochbau kann in Ausnahmefällen im Hallenbau stattfinden. Von den meisten wird eine Wiederverwendung im Hochbau jedoch ausgeschlossen und als nicht praktikabel eingestuft.

Die Anteile, die unternehmensintern verschrottet bzw. zur Wiederverwendung verkauft werden, unterscheiden sich in hohem Maße. Bei den Entsorgungsfachbetrieben und Schrotthändlern liegt der Anteil der Wiederverwendung bei 5 bzw. 30 %, die Sülzle Nutzeisen GmbH sortiert jährlich 5 % ihrer gebrauchten Bauteile aus und verschrottet sie. 95 % der Bauteile verbleiben dort also im Kreislauf und werden wiederverwendet.

Nach Ansicht der befragten Unternehmen ist eine Wiederverwendung von Bauteilen aus dem Gebäuderückbau grundsätzlich möglich, wird aber nur sehr selten durchgeführt. Abbruchmaßnahmen seien nicht zwangsläufig zerstörungsfrei, so dass Bauabfälle aus Eisen und Stahl in der Regel vollständig verschrottet werden. Zu den größten Hemmnissen zählen laut der RHH GmbH der hohe Zeit- und Kostenaufwand beim Rückbau, der sich nicht im Verkaufspreis widerspiegelt und die Gewährleistung auf das wiederzuverwendende Produkt, die kein Unternehmen übernehmen will oder kann. Die RHH GmbH schätzt, dass maximal 5 % Baustahl aus dem Gebäuderückbau tatsächlich wiederverwendet

¹⁴² Vgl. [DEU03], S. 2 und [SN17], S. 3.

werden. Das Abbruchunternehmen Paul Kamrath Ingenieurrückbau GmbH geht hingegen davon aus, dass sich theoretisch 60 % des Baustahls aus dem Abbruch zur Wiederverwendung eignen würde.

Das befragte Architekturbüro kann keine Erfahrung mit dem Einsatz von gebrauchten Stahlbauteilen aufweisen, ist aber der Ansicht, dass eine Wiederverwendung vor allem aus folgenden Gründen stattfindet: Denkmalschutz, Retro-Design und wenn die Anforderungen an das Bauteil nicht hoch sind (z. B. bei einem Türsturz). Die größten Hemmnisse liegen den Angaben zufolge in der lokalen Verfügbarkeit von brauchbaren Bauteilen, in der fehlenden Gewährleistung (CE-Kennzeichnung) und der effizienten und praktikablen Verschrottung von Stahl, die einer Wiederverwendung meist vorgezogen wird.

6.5 Zusammenfassung und Bewertung

Eine direkte Möglichkeit, die Recycling- und Wiederverwendungsraten von Baustahl zu identifizieren, gibt es nicht. Zwar werden unter der Abfallverzeichnisnummer 17 04 05 sämtliche Bau- und Abbruchabfälle aus Eisen und Stahl statistisch zusammengefasst, ein Rückschluss auf das Recycling oder die Wiederverwendung von einzelnen Produkten oder Materialgruppen ist jedoch nicht möglich. Ebenso wenig wird durch die Stahlwerke der Anteil an Bau- und Betonstahl erfasst, der eingeschmolzen wird.

Im Gegensatz zu anderen Wertstoffströmen ist die Struktur der Recycling- und Entsorgungswirtschaft für Eisen- und NE-Metalle sehr stark durch Handelsunternehmen geprägt. Wiederverwendbare Stahlbauteile werden beim Rückbau nicht gesondert erfasst, sondern werden von Händlern und Entsorgungsfachbetrieben direkt weitervermarktet. Die Ergebnisse internationaler Untersuchungen sind nicht grundsätzlich auf Deutschland übertragbar, zumal die Befragungen aus den Jahren 2000 und 2012 nicht veröffentlicht wurden und damit nicht transparent sind.

Die aus diesem Grund durchgeführten Interviews mit den Akteuren der Wertschöpfungskette Baustahl haben ergeben, dass es in Deutschland durchaus einen Markt für gebrauchte Bauteile aus Stahl gibt. Eine Wiederverwendung findet entweder im Rahmen von Umbaumaßnahmen im Eigenheim statt, oder im Spezialtiefbau. Rund ein Drittel der befragten Abbruchunternehmen und rund zwei Drittel der befragten Stahlrecycling- und entsorgungsunternehmen verkaufen Nutzeisen zu Wiederverwendung, dabei handelt es sich in der Regel um Träger, Fassaden- und Profilbleche sowie Rohre. Da bei keinem der befragten Unternehmen eine interne Dokumentation des verkauften Nutzeisens durchgeführt wird, kann der Status quo der Wiederverwendung von Baustahl nur grob abgeschätzt werden.

Bei der Abfrage der Sammelraten konnte eine große Streuung der Werte festgestellt werden. Die Angaben zum Verlust von Baustahl, also Material, welches z. B. durch eine Deponierung verloren

geht, lagen zwischen 0 und 30 %. Werte größer 10 % können aus Sicht der Verfasser für Baustahl jedoch ausgeschlossen werden und sind vermutlich auf unterschiedliche Produktdefinitionen und Interpretationsfehler seitens der Befragten zurückzuführen.

Auch wenn Experten davon ausgehen, dass sich theoretisch 60 % des Baustahls aus dem Abbruch zur Wiederverwendung eignen würden, liegt Aussagen der Abbruchunternehmen und Entsorgungsunternehmen zufolge der Anteil an Baustahl, der tatsächlich wiederverwendet wird, bei etwa 5 %. Diese Angabe deckt sich mit der ermittelten Wiederverwendungsquote von 5,3 % (siehe Kapitel 6.3.3.4).

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Sammelrate von Baustahl insgesamt sehr hoch ist (96,9 %), die Stahlrecyclingbranche ist somit ein wichtiger Rohstofflieferant für die Stahlindustrie, reduziert die Importabhängigkeit und spart Primärenergie sowie Ressourcen ein. Weiteres Ressourceneffizienzpotenzial besteht für die Bau- und Abbruchindustrie in der Erhöhung der Menge an wiederverwendbarem Baustahl.

In Zukunft können die Sammelraten von Baustahl nur durch regelmäßige Umfragen und/oder Interviews erfasst werden. Eine europaweite Umfrage wäre zudem sinnvoll, um die ermittelten Werte vom Steel Construction Institute und Eurofer aus den Jahren 2000 und 2012 zu aktualisieren.

7 Ökobilanzbasierte Sensitivitätsanalyse¹⁴³

7.1 Ziel der Analyse

Um die ökologische Vorteilhaftigkeit der Wiederverwendung darzustellen, werden die ökologischen Aufwände des stofflichen Recyclings gegenüber der Wiederverwendung eines Stahlträgers analysiert. Zudem wird der Einfluss von zwei verschiedenen Verrechnungsmethoden ermittelt, zum einen angelehnt an die Norm 15804-A1 (im Folgenden abgekürzt als Modul D), zum anderen an die „Circular Footprint Formula“ der „Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs)“ (im Folgenden abgekürzt als PEF Methode).

Für beide Verrechnungsmethoden werden zwei Szenarien mit 99 % stofflichem Recycling (im Weiteren Recycling benannt) und 1 % Deponie sowie 99 % Wiederverwendung (auch als Reuse bezeichnet) und 1% Deponie berechnet.

Zusätzlich werden folgende Misch-Szenarien für die Modul D-Verrechnungsmethode berechnet:

- 91,6 % Recycling, 5,3 % Reuse
- 88 % Recycling, 11 % Reuse
- 50 % Recycling, 50 % Reuse

Die Szenarien wurden anhand der Umfrageergebnisse (vgl. Kapitel 6.3.3.4) festgelegt.

Die Wiederverwendung steht in der Abfallhierarchie über dem Recycling, aufgrund der methodischen Vielfalt ist jedoch nicht garantiert, dass eine ökologische Lebenszyklusbewertung mit Hilfe der Ökobilanz dies auch wiedergibt und zweifelsfrei darstellt.

Darüber hinaus ist eine Wiederverwendung nicht aufwandsfrei zu realisieren. Trotz der Vermeidung von Aufwendungen zum Umschmelzen, Neulegieren bzw. Prozessen mit Downcycling- oder Upcycling-Effekten beim Recycling muss geprüft werden, wie viel Prozessaufwand zur Wiederverwendung nötig ist, welche Qualität des Produktes vorliegt bzw. welche unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten für das Wiederverwendungsprodukt gegenüber dem Neuprodukt mit und ohne Recyclinganteilen möglich sind.

¹⁴³ Die gesamte Analyse der thinkstep AG inkl. der Anlagen befindet sich in Anhang 5.

7.2 Untersuchungsrahmen

7.2.1 Funktionelle Einheit

Das untersuchte Produkt bezieht sich auf 1 t Baustahl (offene Walzprofile und Grobbleche). Es beinhaltet Baustähle der Sorten S235 bis S960, die als Stahlbauprofile, Stabstähle und Grobbleche ausgewalzt werden. Die Funktionelle Einheit für dieses Projekt ist dementsprechend 1 t mit einer Wiederverwendungsrate von 1. Weitere Informationen über das untersuchte Produkt sind der EPD für Baustähle „Offene Walzprofile und Grobbleche“ von bauforumstahl e.V. zu entnehmen.

7.2.2 Systemgrenze

Die Systemgrenze der Ökobilanz untersucht die verschiedenen Lebenswegzyklusstadien „von der Wiege bis zur Bahre“.

In der folgenden Abbildung werden die verschiedenen Lebenszyklusstadien dargestellt. Im oberen grünen Bereich sind diese nach EN15804-A1 beschrieben und im unteren blauen Bereich erfolgt eine vergleichbare Gruppierung der Stadien nach PEF.¹⁴⁴

EN15804-A1	PRODUCT STAGE			CONSTRUCTION PROCESS STAGE		USE STAGE							END OF LIFE STAGE				BENEFITS AND LOADS BEYOND THE SYSTEM BOUNDARIES
	Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport from the gate to the site	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling-potential
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
	X	X	X	X	X	MND	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	X	X	X	X	X
PEF	RAW MATERIAL ACQUISITION & PRE-PROCESSING		MANUFACTURING STAGE	DISTRIBUTION STAGE	USE STAGE							END OF LIFE STAGE					

Abbildung 21: Systemgrenze nach EN 15804-A1 und PEF

Es werden folgende Lebenswegzyklusstadien berücksichtigt:

- Produktstadium (A1-A3)
- Errichtung des Bauwerks (A4-A5)

¹⁴⁴ Die Gegenüberstellung der Lebenszyklusphasen basiert auf der Interpretation von thinkstep und dient nur einer Vereinfachung der Darstellung. Die Lebenszyklusphasen (Life Cycle Stages) sollten im Rahmen der Erstellung eines PEF-CRs für das bestimmte Produkt oder die Produktgruppe definiert werden, welches für Stahlträger nicht vorhanden ist.

- Entsorgungsstadium (C1-C4)
- Nutzenpotenziale und Lasten außerhalb der Systemgrenzen (D)

Die Einflüsse von Abfällen werden in den Modulen berücksichtigt, in denen diese anfallen.

Für alle Module gilt, dass die Bereitstellung von allen Stoffen, Produkten und Energie sowie die vollständige Abfallbehandlung bis zum Ende des Abfallstatus oder der Beseitigung der Restabfälle berücksichtigt werden.

Für die deklarierten Module wird die Verrechnung der Herstellung, Transport und Entsorgung von Verlusten in den Modulen durchgeführt, in denen sie auftreten (z. B. Umweltlasten des Transportes des in A5 anfallenden Installationsabfalls werden in A4 deklariert, die Herstellung des Installationsabfalls in A5).

Die Systemgrenze zur natürlichen Umwelt ist so definiert, dass die in das System Material- und Energieinputs liefernden Prozesse, die auf diese Prozesse folgenden Herstellungs- und Transportprozesse sowie die Behandlung aller Abfälle, die durch diese Prozesse entstehen, Teil des Systems sind.

7.2.3 Erfassungsbereich

Die Berechnung der Szenarien basieren auf dem EPD Modell von bauforumstahl, welches für dieses Projekt freigegeben wurde. Die EPD ist bis zum 24.10.2023 gültig.

Ziel der Analyse ist die Untersuchung des Einflusses der Wiederverwendung gegenüber dem Recycling. Dafür sind Daten für zwei Szenarien erhoben worden, welche die aktuelle Technologie abdecken. In Kapitel 7.3 werden die verwendeten Daten dargestellt.

Als geografischer Erfassungsbereich wurde Deutschland definiert.

7.2.4 Verrechnungsmethoden

Im Rahmen der Analyse wurden zwei Verrechnungsmethoden verwendet. Die sogenannte „Modul D“ Verrechnungsmethode bezieht sich auf die definierte End-of-Life Methode nach EN15804-A1. „Modul D“ basiert auf der „value of scrap“ Methodik des Stahlverbandes World Steel Association. Die darin verwendeten Gutschriften und Lasten basieren auf einem „virtuellen“ bauforumstahl-Durchschnitt für Stahlschrott. Das Material zur Wiederverwendung erhält eine Gutschrift aufgrund der vermiedenen Neuproduktion von Walzprofilen und Grobblechen.

Bei der PEF Verrechnungsmethode wird folgende Formel (CFF Formel) verwendet:

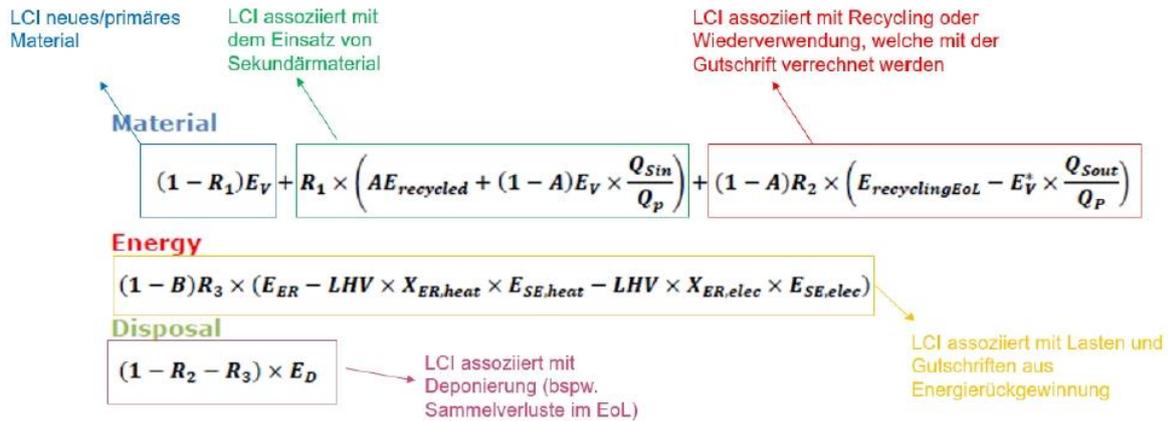


Abbildung 22: Circular Footprint Formula (CFF)

Die abgebildeten Variablen sind im „Guidance for the 13 development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs)“ definiert.

Für die Anwendung der Formel in dieser Analyse wurden folgende Parameter in Anlehnung an die CFF Default Parameters für Stahlprodukte angenommen:

A	0,2	allocation factor of burdens and credits between supplier and user of recycled materials
Q_{sin}	1	quality of the ingoing secondary material, i.e. the quality of the recycled material at the point of substitution
Q_{out}	1	quality of the outgoing secondary material, i.e. the quality of the recyclable material at the point of substitution
Q_p	1	quality of the primary material, i.e. quality of the virgin material
R₁	0,739	proportion of material in the input to the production that has been recycled from a previous system
R₂	0,975	proportion of the material in the product that will be recycled (or reused) in a subsequent system; shall therefore take into account the inefficiencies in the collection and recycling (or reuse) processes
R₃	0	proportion of the material in the product that is used for energy recovery at EoL

Tabelle 12: Parameter der CFF Formel

Die PEF-Methode unterscheidet bei der Verlängerung des Produktlebenszyklus durch Wiederverwendung oder Aufbereitung zwei Fälle. In dieser Analyse tritt der folgende Fall auf:

Ein Produkt das mit den ursprünglichen Produkteigenschaften die gleiche Funktion erfüllt. Dies soll in die funktionelle Einheit ("how long") und den Referenzfluss mit einfließen:

Basis = Wiederverwendungsrate, bspw. wenn 10 Mal wiederverwendet = 90 %

Die Berechnung des Bedarfs an Rohmaterial, Transport und EoL soll dementsprechend erfolgen (10 % des Rohmaterialeinsatzes bei einer Wiederverwendungsrate von 90 %)

7.2.5 Auswahl der Wirkungsabschätzungsmethodik und der Wirkungskategorien

Eine Auswahl an Wirkungskategorien und weiteren Sachbilanzgrößen, die für das Ziel der Analyse als relevant angesehen werden, ist in Tabelle 13 abgebildet. Eine Vielzahl an Bewertungsmethoden steht für eine Anwendung im europäischen Kontext zur Verfügung. Die vorliegende Analyse verwendet

hauptsächlich die Wirkungsabschätzungsmethodik CML 2001, Version April 2016. Die CML-Charakterisierungsfaktoren wurden für den europäischen Kontext entwickelt, sind unter LCA-Anwendern weit verbreitet und sind für Umweltproduktdeklarationen zwingend erforderlich.

Das Treibhauspotenzial (GWP) und der Primärenergiebedarf (PED) wurden aufgrund ihrer Relevanz für den Klimawandel und die Energieeffizienz ausgewählt. Letztere sind eng miteinander verbunden, genießen ein hohes öffentliches und institutionelles Interesse und repräsentieren einen der drängendsten Themenkomplexe unserer Zeit. Die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial wird anhand der aktuellen IPCC-Charakterisierungsfaktoren aus dem 5th Assessment Report für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren (GWP100) bewertet, da dies der zurzeit verbreiteste Indikator ist.

Überdüngungs- (EP), Versauerungs- (AP), und Sommersmogpotenziale (POCP) wurden ausgewählt, weil sie eng mit der Luft-, Wasser- und Bodenqualität zusammenhängen und weil sie die potenziellen Umweltlasten von allgemein gesetzlich geregelten Emissionen wie NO_x, SO₂, VOC und anderen erfassen. Das Ozonabbaupotenzial (ODP) wurde aufgrund seiner hohen politischen Relevanz ausgewählt, welche zum weltweiten Verbot der aktiveren ozonabbauenden Substanzen geführt hat, so dass wenige aktive Substanzen noch bis 2030 weiterverwendet werden dürfen. Aktuelle Ausnahmen des Verbots beinhalten weitgehend die Verwendung von ozonabbauenden Chemikalien in der Gewinnung nuklearer Brennstoffe. Diese Wirkungskategorie wird daher aus Gründen der Vollständigkeit untersucht, ihre Aussagekraft und Relevanz auf das Vordergrundsystem ist nicht repräsentativ, da nur noch einzelne Substanzen lokal auftreten und nicht im direkten Bezug zum Vordergrundsystem stehen, sondern in Hintergrunddaten der Ökobilanz-Datenbank vorliegen.

<i>Wirkungskategorie</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Einheit</i>
GWP100	Ein Maß für Treibhausgasemissionen wie CO ₂ und Methan. Ein verstärkter Treibhauseffekt kann nachteilige Auswirkungen auf die Ökosystemqualität, die menschliche Gesundheit und materiellen Wohlstand haben.	kg CO ₂ -Äquivalente
ADP	Der Verbrauch nicht-erneuerbarer Ressourcen führt zu einer verringerten Verfügbarkeit in der Zukunft. Der Verbrauch mineralischer und fossiler Ressourcen wird separat berichtet. Der Verbrauch mineralischer Ressourcen beruht auf deren ultimativen Reserven.	kg Sb-Äquivalente MJ (unterer Heizwert)

<i>Wirkungskategorie</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Einheit</i>
EP	Überdüngung deckt alle potenziellen Umweltwirkungen eines Überangebots an Makronährstoffen ab, deren wichtigste Vertreter Stickstoff (N)- und Phosphor (P)- Verbindungen sind. Nährstoffanreicherung kann einen unerwünschten Wandel der Artenzusammensetzung sowie eine gesteigerte Biomasseproduktion sowohl in aquatischen, als auch in terrestrischen Ökosystemen verursachen.	kg PO ₄ ³⁻ -Äquivalente
AP	Ein Maß für die Emissionen, die eine versauernde Auswirkung auf die Umwelt haben. Mögliche Auswirkungen sind Fischsterben, Waldsterben und die Zerstörung von Baumaterialien.	kg SO ₂ -Äquivalente
POCP	Ein Maß für die Emissionen von Ausgangsstoffen, die in Bodennähe unter dem Einfluss von UV-Licht und in Gegenwart von Stickoxiden durch die Reaktion von VOC und Kohlenmonoxid zur Smogbildung beitragen. Bodennahes Ozon kann schädlich für die menschliche Gesundheit, Ökosysteme und Pflanzen sein.	kg C ₂ H ₄ -Äquivalente
ODP	Ein Maß für Luftemissionen, die zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht beitragen. Daraus resultiert, dass ein höheres Maß ultravioletter Strahlen (UVB) die Erdoberfläche erreicht – mit nachteiligen Auswirkungen auf den Menschen und Pflanzen.	kg CFC-11-Äquivalente
PED	Ein Maß für die gesamte, aus der Erde extrahierte Primärenergie. PED aus nicht-erneuerbaren Energieträgern (z. B. Erdöl, Erdgas, etc.) und aus erneuerbaren Energieträgern (z. B. Wasserkraft, Windkraft, etc.) kann unterschieden werden. Der Wirkungsgrad der Energieumwandlung zu Strom, Wärme oder Dampf wird dabei berücksichtigt.	MJ (unterer Heizwert)

Tabelle 13: Beschreibung der CML 2001 Wirkungskategorien

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die obigen Wirkungskategorien Wirkpotenziale darstellen, d. h. sie sind Annäherungen an Umweltwirkungen, die auftreten könnten, falls die Emissionen (a) tatsächlich dem zugrundeliegenden Wirkmechanismus folgen und (b) in der Umwelt auf bestimmte Randbedingungen treffen. Hinzu kommt, dass die Sachbilanz nur diejenige Untermenge der absoluten

Umweltlasten beinhaltet, die mit der funktionellen Einheit korrespondieren. Wirkungsabschätzungsergebnisse sind daher relative Aussagen und machen keine Voraussagen über Auswirkungen auf Wirkungsendpunkte, Schwellenwertüberschreitungen, Sicherheitsspannen oder Risiken.

7.2.6 Software und Datenbanken

Das LCA-Modell wurde mittels der GaBi 8 Software der thinkstep AG erstellt. Die GaBi 2019 Datenbanken liefern die Sachbilanzdaten für die Hintergrundsysteme.

7.3 Sachbilanz

7.3.1 Datensammlung und Qualitätssicherung

Für diese Analyse wurden Daten für die Errichtung einer real errichteten Industriehalle in Deutschland sowie für den Rückbau der Halle gesammelt. Zudem wurden die Transportentfernungen zur Recyclingstelle und zum Wiederverwendungsort erhoben. Die Daten wurden von der Bergischen Universität Wuppertal und bauforumstahl zur Verfügung gestellt.

7.3.2 Vordergrunddaten

	<i>Modul A5 Aufbau</i>	<i>Modul C1 Rückbau/Recycling</i>	<i>Modul C1 Rückbau/Reuse</i>	<i>Einheit</i>
Gesamter Stromverbrauch auf der Baustelle	106	7,1	72	kWh
Gesamter Dieserverbrauch Kran 60 t (5,25 L/h)	317	0	294	l Diesel
Gesamter Dieserverbrauch Bagger 30 t (16,44 L/h)	0	385	0,0	l Diesel
Gesamtzeit	115	38	100	h
Stromverbrauch pro Tonne Stahl	0,64	0,04	0,44	kWh
Dieserverbrauch pro Tonne Stahl	1,92	3,13	1,78	l Diesel / t
Zeit pro Tonne Stahl	0,82	0,23	0,61	h

Tabelle 14: Vordergrunddaten für die Module A5 und C1¹⁴⁵

Für die Berechnung des Strom- und Dieserverbrauchs wurden folgende Verbräuche pro Gerät angenommen:

<i>Gerät</i>	<i>Verbrauch</i>	<i>Einheit</i>
Kran 60t	5,25	l/h
Bagger 30t	16,44	l/h
Arbeitsbühne	1,5	kW
Elektroschlagschrauber	0,5	kW
Elektrotrennschleifer	0,5	kW

¹⁴⁵ [Sie19].

<i>Gerät</i>	<i>Verbrauch</i>	<i>Einheit</i>
Schneidbrenner	1	kW
Schneidbrenner	Propan 5,5 Sauerstoff 55	m ³ /h

Tabelle 15: Verbräuche der Geräte für die Errichtung und den Rückbau¹⁴⁶

Als Transportentfernungen für die Module A4 und C2 wurden 500 km bzw. 149 km (vgl. 6.3.3.1) angenommen.

7.3.3 Hintergrunddaten und Hintergrunddatensätze

7.3.3.1 Hintergrunddaten

Für die Analyse wurde das bauforumstahl-Modell, welches für die Erstellung der EPD genutzt wurde, zur Verfügung gestellt. Der Baustahl aus der EPD stammt zu 26 % aus der Primärroute (Hochofen mit Konverter) und zu 74 % aus der Sekundärroute (Elektrolichtbogenofen), gemessen an der jährlichen Gesamtproduktion an offenen Walzprofilen und Grobblechen der beteiligten Unternehmen. Die verwendeten Daten decken mehr als 95 % der jährlichen Produktion an offenen Walzprofilen und Grobblechen der bauforumstahl Mitglieder ab.

Für die CFF Formel wurde als Sekundärmaterial ein reiner Sekundär-Baustahl aus den Primärdaten der Sekundärroute (74 %) verwendet. Als Primärmaterial wurde analog ein reiner Primär-Baustahl aus den Primärdaten der Primärroute (26 %) verwendet.

Für den Schrottwert wurde ein spezifischer bauforumstahl „value of scrap“ verwendet.

Es wurden aus den veröffentlichten, aggregierten Datensätzen Module herausgenommen, um eine getrennte Abschätzung der Primär- und Sekundärrouten durchführen zu können. Eine Zurückrechnung der firmenspezifischen Ergebnisse oder Inventare ist nicht möglich. Der Produktionsaufwand ist nicht Teil der Analyse.

Der gesamte Schrottinput der Primärroute aus der EPD wurde mit dem bauforumstahl „value of scrap“ abgesättigt, um einen reinen theoretischen Primärschrott für die CFF-Formel bereitzustellen.

¹⁴⁶ [Sie19].

7.3.3.2 Hintergrunddatensätze

Regionale Durchschnittswerte für Brennstoffeinsätze und Strommixe wurden den GaBi 2018 Datenbanken entnommen. Tabelle 16 zeigt die wichtigsten Datensätze, die in der Modellierung der Produktsysteme verwendet wurden.¹⁴⁷

	<i>Standort</i>	<i>Datensatz</i>	<i>Datenanbieter</i>	<i>Referenzjahr</i>	<i>Proxy</i>
Elektrizität	DE	Strom-Mix	thinkstep AG	2016	nein
Diesel	EU-28	Diesel mix at refinery	thinkstep AG	2016	nein
Dieseldgenerator	GLO	Diesel CHO ts	thinkstep AG	2016	ja
Dieselerbrennung	GLO	Diesel combustion	thinkstep AG	2018	ja
Sauerstoff	DE	Oxygen	thinkstep AG	2018	nein
Propan	EU-28	Propane at refinery		2018	Nein
Euro 5 Lkw, 34-40 t	GLO	Truck-trailer, diesel driven, Euro 6, cargo, 34-40 t, 27 t payload capacity	thinkstep AG	2018	nein

Tabelle 16: Hintergrunddatensätze in der Sachbilanz

In der folgenden Abbildung ist das GaBi-Modell dargestellt. Daraus können verschiedene Module und Prozesse entnommen werden.

¹⁴⁷ Die Dokumentation aller GaBi-Datensätze ist unter <http://www.gabi-software.com/international/support/gabi/gabi-database-2018-ici-documentation/> zu finden.

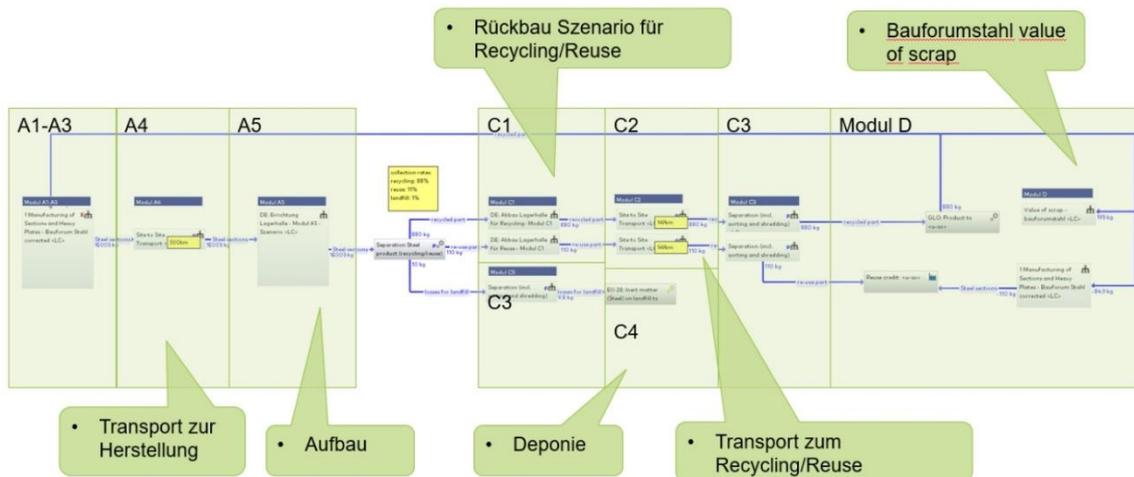


Abbildung 23: Ökobilanzmodell - Modul D

7.4 Wirkungsabschätzungsergebnisse und Interpretation

7.4.1 Rückbau (Modul C1) Recycling vs. Wiederverwendung

In Abbildung 24 ist das Treibhauspotenzial (auch Global Warming Potential, GWP) jeweils für die Aufwendungen des Rückbaus für das Recycling sowie für die Wiederverwendung dargestellt.

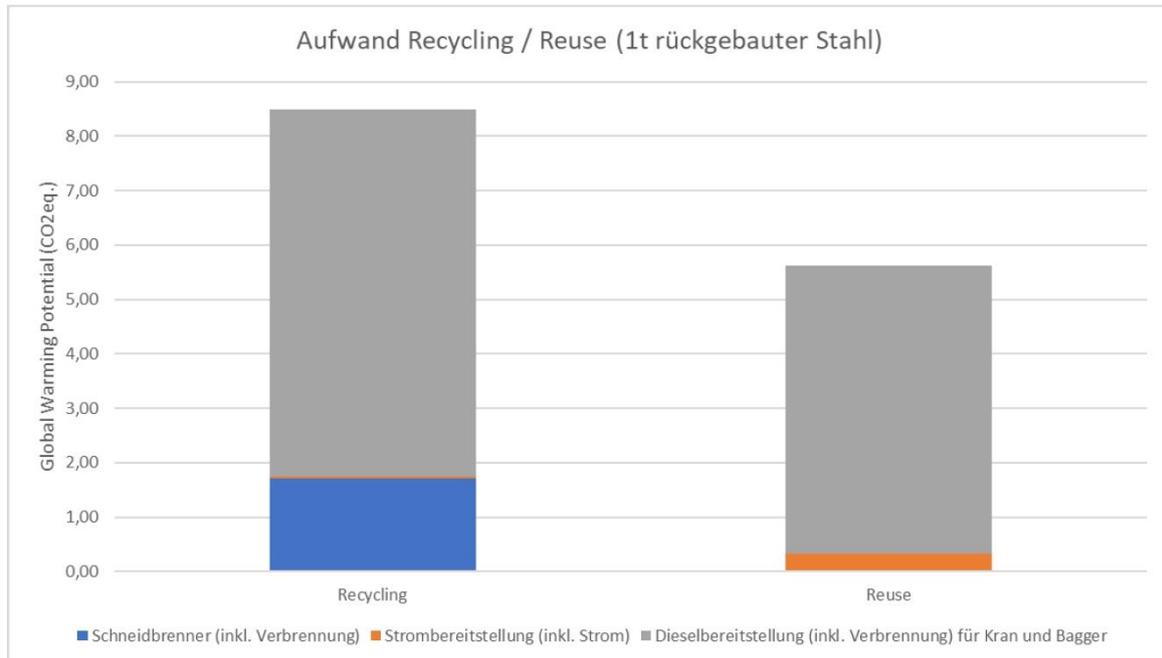


Abbildung 24: Aufwand Recycling vs. Reuse

Der Aufwand des Rückbaus ist beim Recycling 35 Prozentpunkte höher als bei der Wiederverwendung, welches auf den Dieserverbrauch des Baggers und des Schneidbrenners zurückzuführen ist.

Der Schneidbrenner trägt 20 % zu den gesamten Ergebnissen des Recyclingszenarios bei. Wenn dieser wegfallen sollte, beträgt der Unterschied zwischen Recycling und Reuse weiterhin 15 %.

Die Darstellung der Szenarien beruht auf den erhobenen Daten einer real errichteten Stahllagerhalle in Deutschland.

7.4.2 Gesamtaufwand Recycling vs. Wiederverwendung

In der folgenden Abbildung ist der Gesamtaufwand des Recyclings im Vergleich zur Wiederverwendung dargestellt. Der gesamte Aufwand beinhaltet den Rückbau, das Sortieren und Separieren sowie das Materialrecycling (Einschmelzen im Elektrolichtbogenofen).

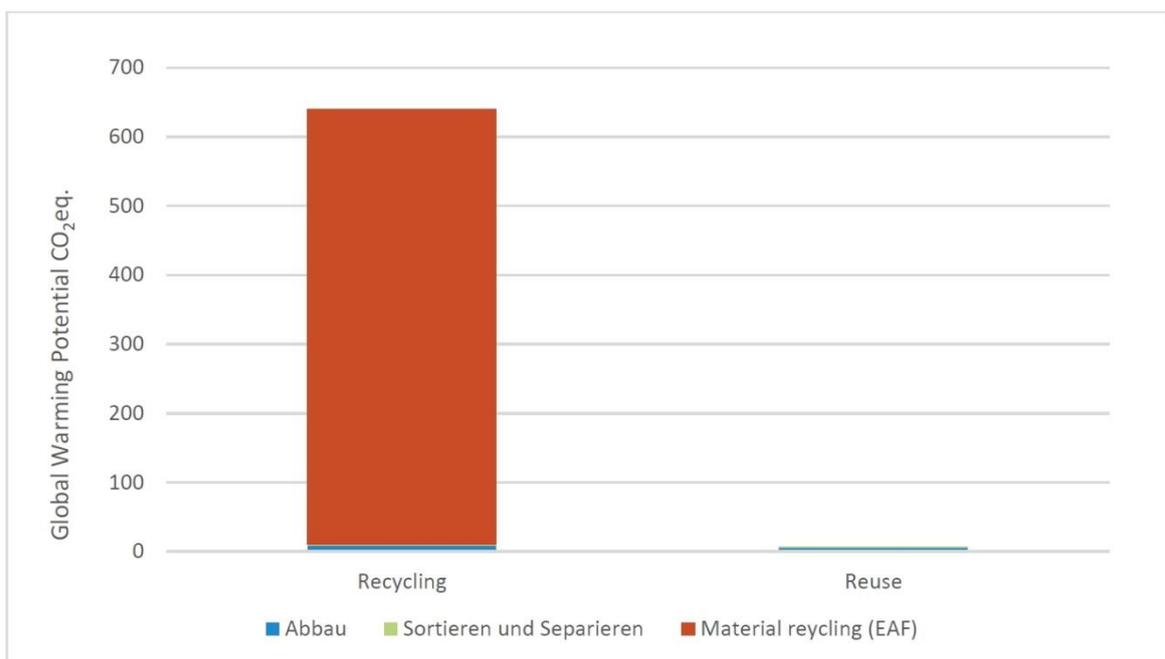


Abbildung 25: Gesamtaufwand Recycling vs. Wiederverwendung

Das Materialrecycling trägt zu 97 % zum gesamten Treibhauspotenzial bei, die Aufwendungen für den Rückbau (Modul C1) sind somit vernachlässigbar.

7.4.3 Ergebnisse nach Verrechnungsmethode „Modul D“

In Abbildung 26 sind die gesamten Lebenszyklusergebnisse für das Treibhauspotenzial nach der Verrechnungsmethode „Modul D“ pro Szenario dargestellt. Weitere Ergebnisse sind dem Anhang zu entnehmen. Die Beiträge der verschiedenen Module können aus der Abbildung abgeleitet werden.

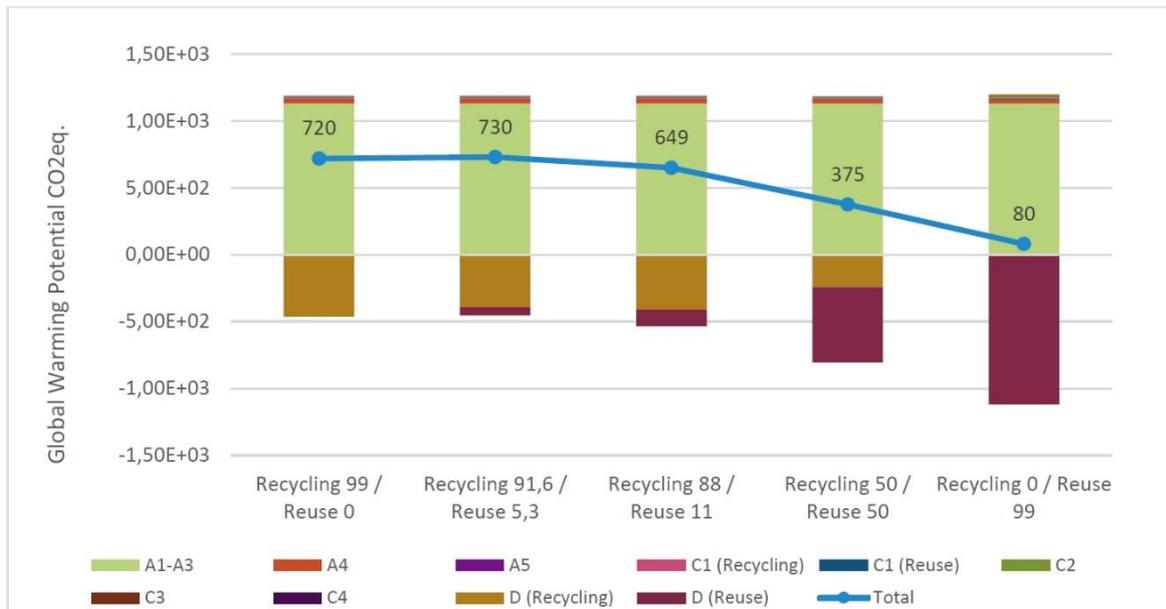


Abbildung 26: Treibhauspotenzial für 1 Tonne Stahl nach „Modul D“-Methode

In der folgenden Abbildung sind die numerischen Beiträge der verschiedenen Module nach EN15804 und pro Szenario dargestellt:

Szenario	Total	A1-A3	A4	A5	C1 (Rec.)	C1 (Reu.)	C2	C3	C4	D (Rec.)	D (Reu.)
Rec. 99 / Reuse 0	7,20E+02	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	8,40E+00	0,00E+00	8,84E+00	1,70E+00	1,46E-01	-4,64E+02	0,00E+00
Rec.91,6 / Reu. 5,3	7,30E+02	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	7,77E+00	2,92E-01	8,65E+00	1,70E+00	4,54E-01	-3,94E+02	-5,98E+01
Rec. 88 / Reuse 11	6,49E+02	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	7,47E+00	6,05E-01	8,84E+00	1,70E+00	1,46E-01	-4,11E+02	-1,24E+02
Rec. 50 / Reuse 50	3,75E+02	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	4,24E+00	2,75E+00	8,93E+00	1,70E+00	0,00E+00	-2,43E+02	-5,65E+02
Rec.0 / Reuse 99	7,99E+01	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	0,00E+00	5,45E+00	8,84E+00	1,70E+00	1,46E-01	1,64E+01	-1,12E+03

Abbildung 27: Treibhauspotenzial für 1 Tonne Stahl nach „Modul D“-Methode – Szenarien

Es ist deutlich zu sehen, dass sich das Treibhauspotenzial des gesamten Lebenszyklus mit steigendem Wiederverwendungsanteil verringert. Dies ist grundsätzlich auf die höhere Gutschrift im EoL zurückzuführen. Beim Recycling wird unter Modul D der Aufwand des Umschmelzens der Stahlträger nach Abbau in einem Elektrolichtbogenofen berücksichtigt und zu den Materialgutschriften addiert. Im Gegensatz dazu werden bei der Wiederverwendung keine weiteren Aufwände zur Aufbereitung berechnet (neben den Aufwendungen beim Rückbau, welche den direkten Einsatz ermöglichen) und somit wird die komplette Materialgutschrift erteilt. Dennoch denkbare und mögliche Aufwendungen in der Wiederverwendung wurden vernachlässigt, da diese als sehr gering eingestuft werden.

Das Szenario 91,6 % Recycling und 5,3 % Wiederverwendung (siehe rote Markierung) weist das höchste Ergebnis auf. Dies resultiert aus dem höheren deponierten Anteil (3,1%) und einer damit einhergehenden geringeren Gutschrift durch weniger Gesamtmaterial (nur 96,9 % im Gegensatz zu 99 % bei den anderen Szenarien).

Bei allen Szenarien tragen die Module A1-A3 sowie die Gutschriften in Modul D am meisten zum Treibhauspotenzial bei.

7.4.4 Ergebnisse nach Verrechnungsmethode „PEF“

In der folgenden Abbildung sind die gesamten Lebenszyklusergebnisse für das Treibhauspotenzial mit der CFF Formel pro Szenario dargestellt. Weitere Ergebnisse sind dem Anhang zu entnehmen. Die Beiträge der verschiedenen Module können aus der Abbildung abgeleitet werden.

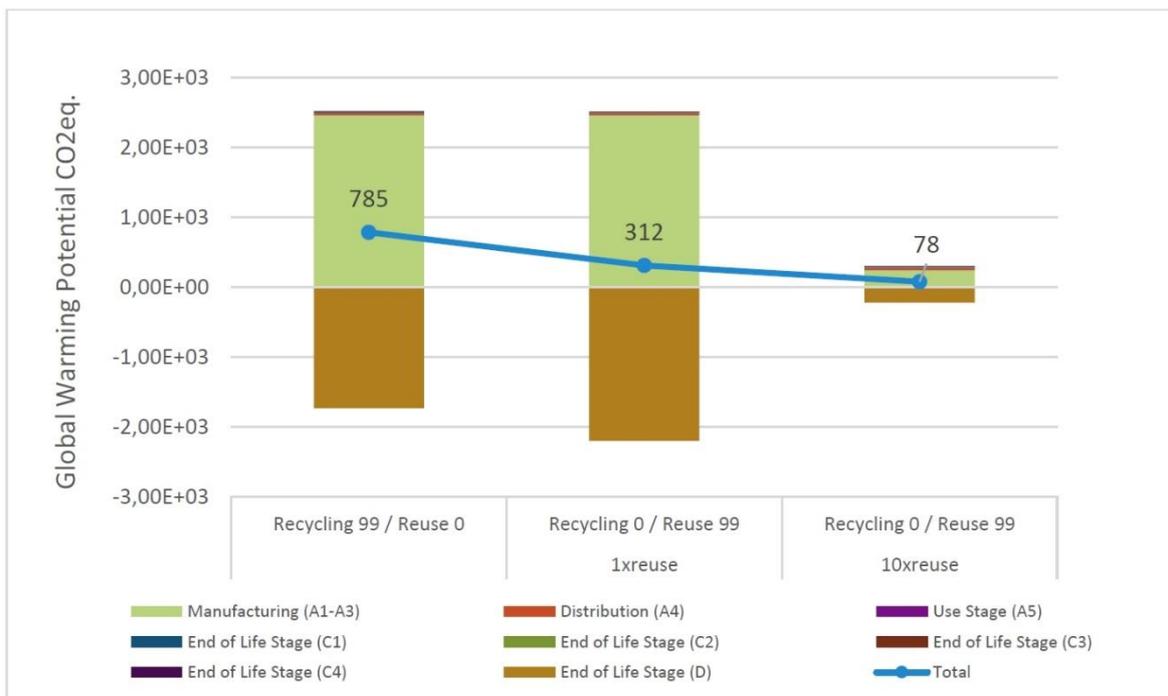


Abbildung 28: Treibhauspotenzial für 1 Tonne Stahl nach CFF Formel

Das Treibhauspotenzial für die Wiederverwendung (Recycling 0 % / Reuse 99 %, 1x wiederverwendet) ist erheblich geringer als für das Recycling. Dieser Unterschied ist grundsätzlich auf die Gutschrift zurückzuführen. Im Fall des Recyclings wird die Gesamtgutschrift durch das Materialrecycling (Aufwand für das Einschmelzen des Stahls im Elektrolichtbogenofen) reduziert, während beim Szenario der Wiederverwendung das gesamte Endprodukt ohne Zwischenaufbereitung gutgeschrieben wird.

Der Unterschied zwischen Recycling und Wiederverwendung erhöht sich weiter, wenn sich die Wiederverwendungsrate erhöht. Als Beispiel wurde eine Wiederverwendungsrate von 10 Mal berechnet,

damit der signifikante Einfluss der Wiederverwendungsrate deutlich dargestellt werden kann. Das gesamte Treibhauspotenzial reduziert sich damit um 75 %. Diese Verringerung ist einerseits auf den Bedarf der Rohmaterialien und andererseits auf die dementsprechend relativ hohen Gutschriften zurückzuführen. In der CFF Formel wird als Basis eine bestimmte Wiederverwendungsrate definiert. Im Beispiel „10 Mal“ bedeutet dies, dass der Bedarf an Rohmaterialien um 90 % reduziert wird oder umgekehrt beschrieben, nur 10 % der Rohmaterialien erforderlich sind, um die funktionelle Einheit zu erfüllen.

7.4.5 Ergebnisse im Vergleich

In der folgenden Abbildung sind die Szenarien 99 % Recycling für Modul D und PEF sowie 99 % Reuse für Modul D und PEF mit 1- und 10-maliger Nutzungsrate gegenübergestellt.

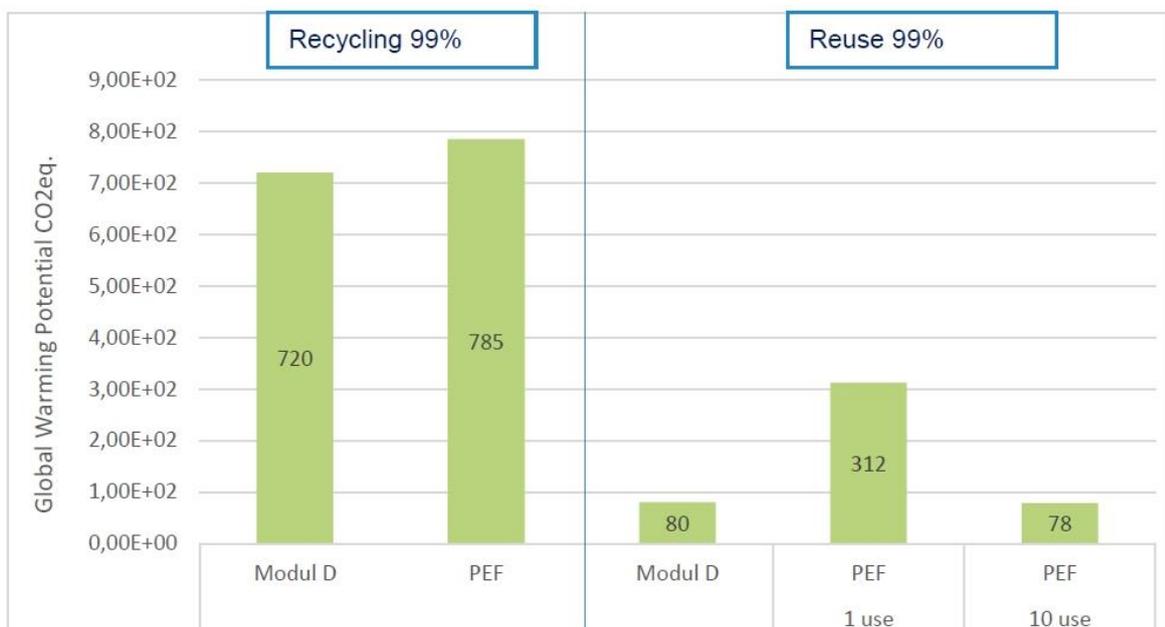


Abbildung 29: Ergebnisse für 1 Tonne Stahl – 99 % Recycling, 99 % Reuse

In der Gegenüberstellung der zwei Verrechnungsmethoden der Szenarien 99 % Recycling und 99 % Wiederverwendung sind die Ergebnisse der Verrechnungsmethode nach PEF höher als nach Modul D. Dies ist auf den höheren Primäranteil (Faktor A) und die dementsprechend geringere Gutschrift in der PEF-Methodik zurückzuführen.

Beide Verrechnungsmethoden zeigen jedoch, dass die Wiederverwendung ein deutlich niedrigeres Treibhauspotenzial im Vergleich zum Recycling aufweist.

7.4.6 Annahmen und Einschränkungen

- Es wurde angenommen, dass die abgebauten Stahlträger direkt wiederverwendet werden können. Die Aufbereitung der abgebauten Stahlträger wurde als sehr gering bewertet und ist für das Untersuchungsziel nicht relevant.
- Es wurden die PEF Variablen nach „Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs)“ angenommen.
- Es wurden Primärdaten für die Errichtung und den Abbau einer real errichteten Stahllagerhalle in Deutschland herangezogen.

7.4.7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

- Der Aufwand der Errichtung und des Abbaus (Recycling und Reuse) macht gegenüber Materialbereitstellung und Gutschriften einen sehr geringen Anteil im gesamten Lebenszyklus aus.
- Die Aufwände des Abbaus für das Recycling sind höher als bei der Wiederverwendung, trotz einer erheblich höheren Abbauphase bei der Wiederverwendung. Dies ist grundsätzlich auf den Dieseleinsatz des Baggers und den Einsatz des Schneidbrenners zurückzuführen. Die reine Dauer der Abbauphase spielt keine ökologische Rolle, nur der absolute Verbrauch über die Zeit ist relevant. Personal-, maschinen- und andere zeitabhängige Kosten werden ökologisch nicht berücksichtigt.
- Je höher der Reuse-Anteil ist, desto geringer ist das Treibhauspotenzial im gesamten Lebenszyklus.
- Die CFF Formel ermöglicht die Angabe einer Wiederverwendungsrate, womit das Gesamtergebnis nochmals reduziert dargestellt werden kann. Dies beruht jedoch lediglich auf dem methodischen Ansatz beider Herangehensweisen, die jeweils für sich betrachtet korrekt ist.
- Die Gesamtergebnisse sind bei der CFF Formel höher als beim Modul D, welches hauptsächlich auf den Einfluss des A-Faktors (Primärmaterialanteil) zurückzuführen ist.

8 Potenzial- und Hemmnisanalyse

Im Rahmen der Energieeinsparverordnung (EnEV) wurde der Fokus in den letzten Jahren stark auf den Energieverbrauch in der Nutzungsphase von Gebäuden gerichtet, so konnte der Energieverbrauch durch eine gut dämmende Gebäudehülle kontinuierlich gesenkt werden. Der relative Anteil der Nutzungsphase am Energiebedarf wird zukünftig jedoch sinken, so dass der Fokus vermehrt auf die Ressourceneffizienz der eingesetzten Bauprodukte gerichtet sein wird.¹⁴⁸

Stahl besitzt eine hohe Werthaltigkeit und ist ohne Qualitätseinbußen recycelbar. Dieses Potenzial wird aufgrund der hohen Sammelrate nahezu vollständig genutzt, so dass weitere Potenziale nur durch die Wiederverwendung von Baustahlprodukten und das Verbleiben im Wirtschaftskreislauf auszuschöpfen sind. Auf die Ressourceneffizienzpotenziale der Wiederverwendung und die dabei auftretenden Hemmnisse wird im Folgenden näher eingegangen.

8.1 Ressourceneffizienzpotenziale der Wiederverwendung

Unter Ressourceneffizienz ist gemäß VDI Richtlinie 4800 Blatt 1 das Verhältnis eines bestimmten Nutzens zum dafür nötigen Ressourceneinsatz zu verstehen:

$$\text{Ressourceneffizienz} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$$

Eine höhere Ressourceneffizienz kann entweder durch einen geringeren Einsatz an natürlichen Ressourcen (= Aufwand) erreicht werden oder aber durch einen erhöhten Nutzen. Gemäß Definition der VDI Richtlinie gehören zu den natürlichen Ressourcen u. a. erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe. Der jeweilige Nutzen der natürlichen Ressourcen ergibt sich aus ihrer Funktion als Energieträger oder Werkstoff.¹⁴⁹

Bezieht man die Wiederverwendung von Bauprodukten aus Stahl auf den Gebäudelebenszyklus (vgl. Abbildung 1), kann im Bereich der *Rohstoffgewinnung und Herstellung* der Einsatz von Primärrohstoffen wie Eisenerz und Koks Kohle reduziert werden. Ebenso können CO₂-Emissionen, die bei der Stahlherstellung entstehen, vermieden werden.

¹⁴⁸ [ZUH16], S. 439.

¹⁴⁹ [VDI16], S. 12 f.

Bei der *Gebäudeerrichtung* können unter idealen Umständen Umweltbelastungen, die durch Transportaufwendungen verursacht werden, verringert werden. Dies gelingt, wenn gebrauchte Stahlbauteile lokal verfügbar sind und neue Bauteile substituiert werden können.

In der *Nutzungsphase*, in der meist Energieeffizienz Aspekte im Vordergrund stehen, hat die Lebens- und Nutzungsdauer von Gebäuden und Bauteilen Einfluss auf die Ressourceneffizienz. Eine recyclinggerechte Konstruktion und die Fähigkeit zur Umnutzung verlängern die Nutzungsphase und führen durch den erhöhten Nutzen zu einer Ressourceneffizienzsteigerung.

Die *End-of-Life-Phase*, bestehend aus Rückbau und Abfallaufbereitung, schafft mit dem selektiven, zerstörungsfreien Rückbau die Bereitstellung marktfähiger Produkte. Durch die Wiederverwendung verbleiben die Produkte im Kreislauf und stehen nachfolgenden Generationen zur Verfügung. Gleichzeitig wird das Aufkommen von Bau- und Abbruchabfällen verringert.

Folgendes Beispiel kann das Ressourceneffizienzpotenzial der Wiederverwendung von Stahlkonstruktionen verdeutlichen:



Abbildung 30: Fachwerkkonstruktion aus Baustahl¹⁵⁰

Auf den Fotos ist eine Fachwerkkonstruktion aus Stahl zu sehen, die wiederverwendet werden soll. Die Konstruktion stammt aus einer ehemaligen Fertigungshalle eines Wuppertaler Unternehmens (Baujahr ca. 1928). Das Dach des Gebäudes wurde vom Abbruchunternehmen Paul Kamrath Ingeni-

¹⁵⁰ Eigene Fotos, 2018.

eurückbau händisch zurückgebaut. Die Stahlkonstruktion (9,1 t schwer) wurde mit einem Brennschneider zerlegt. Zur Identifizierung des Materials wurden zerstörungsfreie Prüfverfahren herangezogen. Dabei hat sich herausgestellt, dass der Carbonegehalt sehr hoch ist und der Stahl nicht schweißbar ist. Für den Wiedereinsatz wird der Stahl nun gesandstrahlt, lackiert und mit Schrauben verbunden. Laut Aussage des Abbruchunternehmers ist der Aufwand für den Rückbau viermal höher als normalerweise. Durch die Wiederverwendung der 9,1 t schweren Konstruktion konnten im Vergleich zum Recycling jedoch 5,8 t CO₂ eingespart werden (vgl. Abbildung 26). Der höhere Zeitaufwand hat keine ökologische Auswirkung und wird daher vernachlässigt.

8.2 Systemische und technische Hemmnisse

Die Best-practice-Beispiele (vgl. Kapitel 3) haben gezeigt, dass die Wiederverwendung von Baustahlelementen und -produkten zu einer Kostenreduzierung und einem Umweltvorteil durch die Einsparung von CO₂-Emissionen führen können. Eine recyclinggerechte Konstruktion begünstigt zudem die Demontage und anschließende Wieder-Montage. Es konnte jedoch auch festgestellt werden, dass für die Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen bestimmte Voraussetzungen gegeben sein müssen. Dass die vorhandenen Ressourceneffizienzpotenziale der Wiederverwendung aktuell nicht ausgeschöpft werden, ist auf eine Reihe von Hemmnissen und fehlende Anreizstrukturen zurückzuführen.

Tingley et al. konnten im Rahmen von Interviews mit unterschiedlichen Akteuren der Wertschöpfungskette Baustahl sowohl systemische, als auch technische Hemmnisse bzgl. der Wiederverwendung von Baustahl identifizieren. Diese sind nachfolgend aufgelistet:

<i>Systemische Hemmnisse</i>	<i>Technische Hemmnisse</i>
Kosten	Verbindungen
Verfügbarkeit/Lagerung der Bauteile	Verbundkonstruktionen
Rückverfolgbarkeit des Produkts	Zeitaufwand für den Rückbau

Tabelle 17: Systemische und technische Hemmnisse bei der Wiederverwendung¹⁵¹

Bezüglich der *Kosten* ist festzustellen, dass Abbruchunternehmen ein Interesse haben, Baustahl als Schrott zu verkaufen, denn eine gesicherte Nachfrage nach gebrauchtem Baustahl ist im Gegensatz zum Schrott nicht gegeben. Ob sich der Verkauf gebrauchter Bauteile lohnt, hängt demnach vom Schrottpreis und dem Kostenaufwand für den zerstörungsfreien Rückbau ab. Gebrauchte Bauteile lassen sich nur dann erfolgreich vermarkten, wenn es einen deutlichen Preisunterschied gegenüber neuen Produkten gibt.¹⁵²

Eine Methode zur Verbesserung der *Verfügbarkeit* gebrauchter Bauteile wäre die Schaffung einer Bauteilbörse für Stahlbauteile, über die gewährleistet werden kann, dass das richtige Bauteil lokal und schnell verfügbar ist und es nicht zu Zeitverzögerungen kommt. Die *Lagerung* und der Transport separierter Bauteile ist allerdings mit Kosten verbunden.

Die nicht vorhandene *Rückverfolgbarkeit* und das fehlende Qualitätssystem für gebrauchte Bauteile führt zu einer Rechtsunsicherheit bei der Benutzung von wiederverwendeten Bauteilen. Schrotthändler können keine Angaben zur Stahlgüte, -sorte und Verwendbarkeit machen und schließen eine Gewährleistung in der Regel aus.

Aufgrund des *Zeitaufwands* für das Abbruchunternehmen wird der Rückbau in der Regel selektiv, aber nicht zerstörungsfrei durchgeführt. Die meisten Bauweisen eignen sich aufgrund der *Bauteilverbindungen* und *Konstruktionen* nicht direkt für eine Wiederverwendung. Dies führt zu einem Mehraufwand bei der Demontage, der zwar ökologisch vorteilhafter ist, jedoch in der Regel zu Lasten des Abbruchunternehmers geht. Der gezielte Rückbau erfordert zudem entsprechendes Fachwissen bei den ausführenden Unternehmen, das aufgrund fehlender Kapazitäten in den jeweiligen Ausbildungsmodellen

¹⁵¹ [TCC16], S. 15, eigene Darstellung.

¹⁵² [TCC16], S. 4.

sowie Mangel an Informationen und Hilfsmitteln nicht vorausgesetzt werden kann. Vieles in der Branche beruht auf Erfahrung.¹⁵³

8.3 Zusammenfassung

Bezogen auf alle Wirtschaftszweige liegen Hemmnisse einer ressourceneffizienten Entwicklung vor allem in ungelösten, technischen Problemen, fehlenden Forschungs- und Entwicklungskapazitäten und unzureichenden ökonomischen Erfolgsaussichten. Der Einsatz neuer Techniken, Werkstoffe und Produkte ist mit finanziellen und rechtlichen Risiken verbunden, denen sich gerade kleine Unternehmen oft nicht aussetzen lassen möchten.

Die kleinbetriebliche Struktur des Baugewerbes und die Neigung der Branche, auf lang erprobte Materialien und Baukonzepte zurückzugreifen, stellen somit zwei übergeordnete Hemmnisse dar. Die Vielfalt der Hemmnisse (vgl. Kapitel 8.2), die bzgl. der Wiederverwendung von Baustahl auftreten können, zeigt, dass isolierte Maßnahmen ohne die Beteiligung aller relevanten Akteure keine wesentliche Erhöhung der Ressourceneffizienz bewirken können.

Eine optimale Ausschöpfung der Ressourceneffizienzpotenziale durch die Wiederverwendung kann nur durch die Verknüpfung von zerstörungsfreiem Rückbau, einer Qualitätskontrolle und anschließender Aufbereitung gelingen, die sich an den Marktanforderungen orientiert.

¹⁵³ [KH11], S. 279.

9 Ergebnisse und Interpretation

Ziel des Forschungsprojektes war es, den Lebenszyklusabschnitt „End-of-Life“ von Baustahl transparenter darzustellen. Hierzu wurde der Status quo des selektiven Rückbaus in Deutschland dargestellt und die rechtlichen und technischen Anforderungen an die Wiederverwendung von Baustahl untersucht. Um Anhaltspunkte für die Bedeutung der Wiederverwendung von Baustahl zu gewinnen, wurden nationale Statistiken ausgewertet, internationale Studien recherchiert und nicht zuletzt unterschiedliche Akteure des Baustahl-Lebenszyklus interviewt und befragt. Dabei konnten eine Reihe von Hemmnissen identifiziert werden, die bei der Nachnutzung und Vermarktung von Stahlbauteilen auftreten.

Aufgrund der hohen Werthaltigkeit von Stahl existieren in Deutschland hohe Recyclingquoten. Baustahl wird im Rahmen des selektiven Rückbaus sortenrein entnommen und zu einem hohen Prozentsatz recycelt. Recyclingbetriebe und Schrotthändler sind somit wichtige Rohstofflieferanten und unersetzlich für den Betrieb und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Stahlindustrie.

Die Recycling- und Wiederverwendungsraten von Bauprodukten aus Stahl sind schwer zu erfassen. Zum einen sind vorhandene Statistiken nicht spezifisch genug, um daraus Werte für Baustahl abzuleiten, zum anderen erfasst das Statistische Bundesamt lediglich den Input von Eisen und Stahl in Abfallbehandlungsanlagen. Eine vollständige Abbildung des Materialstromes ist aufgrund der direkten Weitervermarktung von wiederverwendbaren Bauteilen durch Händler und Entsorgungsfachbetriebe nicht möglich. Somit lässt sich das vorhandene Potenzial der Wiederverwendung von Bauprodukten aus Stahl nur abschätzen bzw. bei den Verbänden der Abbruch- und Stahlrecyclingunternehmen abfragen.

Aktuellen, internationalen Untersuchungen zufolge liegt die Wiederverwendungsquote von Baustahl derzeit zwischen 7 und 10 %. Diese Werte sind jedoch aufgrund der Produktvielfalt und der intransparenten Untersuchungsmethodik nur eingeschränkt auf Deutschland übertragbar.

Die im Rahmen der Interviews befragten Entsorgungsfachbetriebe und Händler schätzen den Anteil an Baustahl, der in Deutschland tatsächlich wiederverwendet wird, auf etwa 5 %. Anhand der Umfrage beim Deutschen Abbruchverband und bei der Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen konnte eine mittlere Wiederverwendungsquote von 5,3 % ermittelt werden.

Der deutsche Markt für gebrauchte Bauteile aus Stahl unterteilt sich in einen Markt für private Bauherren, die Baustahl für kleinere Projekte im Eigenheim oder Garten suchen und einen Markt für Tiefbau-

unternehmen, die das sog. Nutzeisen für den Spezialtiefbau benötigen. Es handelt sich demnach vorwiegend um die Wiederverwendung von einzelnen Gebäudeelementen (z. B. Stahlprofil), die auf einer neuen Baustelle zum Einsatz kommen. In beiden Fällen sind die Anforderungen hinsichtlich der Werkstoffeigenschaften, Maße oder äußeren Beschaffenheit des Baustahls eher gering. Aufgrund der fehlenden Angaben zur Stahlgüte, -sorte und Verwendbarkeit von Nutzeisen kann eine sichere Verwendung dieser Bauteile nur mittels Höherdimensionierung entsprechend der jeweiligen Normierung erfolgen.

Die Wiederverwendung ganzer Gebäude findet, bis auf einzelne Ausnahmen (vgl. Best-practice-Beispiele), nicht statt. Die Möglichkeit, Baukomponenten oder -elemente aus Stahl wiederzuverwenden und damit deren Nutzungsdauer zu verlängern, wird zum jetzigen Zeitpunkt nicht vollständig genutzt. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Da die Bauwirtschaft durch eine instationäre Produktion gekennzeichnet ist, sind die Arbeitsschritte Entwicklung, Planung, Konstruktion und Herstellung auf mehrere Akteure verteilt. Bauherren veranlassen Bauvorhaben, legen je nach Projekt Qualität, Zeitumfang und Kostenrahmen fest und beauftragen Architekten und Bauunternehmen. Sie zählen somit zu jenen Akteuren, die mit Veranlassung eines Bauvorhabens maßgeblich über das Ausmaß der Ressourceneffizienz des jeweiligen Bauwerks entscheiden. Zu den Aufgaben der Fachplaner (Architekten und Ingenieure) gehören Entwurf, Statik und Konstruktion, Erschließungsplanung und die Bauleitung. Als Bauherrenberater haben sie direkten Einfluss auf die Auswahl der Bauprodukte. Die kleinbetriebliche Struktur des Baugewerbes und die Neigung der Branche, auf lang erprobte Materialien und Baukonzepte zurückzugreifen, führt dazu, dass die bestehenden Potenziale der Wiederverwendung von Baustahl nicht voll ausgeschöpft werden können. Insgesamt hat sich gezeigt, dass isolierte Maßnahmen ohne die Beteiligung aller relevanten Akteure keine wesentliche Erhöhung der Ressourceneffizienz im Bauwesen bewirken können.

Vor diesem Hintergrund ist es unabdingbar, dass

- die Nutzung gebrauchter Bauteile zu einer Kostenersparnis führt, denn dies ist die grundsätzliche Erwartung des Bauherrn,
- gebrauchte Bauteile schnell und lokal verfügbar sind und
- ein entsprechendes Qualitätssystem die Rechtssicherheit der Wiederverwendung von gebrauchten Bauteilen gewährleistet.

Um die für die Wiederverwendung wichtige Verknüpfung zwischen Produktherstellung und End-of-Life zu erreichen, müssen entsprechende Maßnahmen bereits bei der Produktherstellung ansetzen. Die

spätere Rückbaubarkeit sollte bereits bei der Planung des Bauwerks berücksichtigt werden. Eine recyclinggerechte Konstruktion und die Fähigkeit zur Umnutzung verlängern die Nutzungsphase und können speziell bei Stahlkonstruktionen zu einer Ressourceneffizienzerhöhung führen. Dies hat die ökobilanzbasierte Sensitivitätsanalyse (vgl. Kapitel 7) gezeigt. Bei einer vollständigen Wiederverwendung von Baustahl liegt das Treibhauspotenzial 89 % niedriger im Vergleich zum derzeitigen Referenzwert (91,6 % Recycling und 5,3 % Wiederverwendung). In Zukunft kann eine Wiederverwendung von Baustahl vor allem bei Nichtwohngebäuden wie Lager- und Fabrikhallen relevant werden, bei denen der Baustoff Stahl eine zunehmend wichtiger werdende Rolle spielt.

Literaturverzeichnis

- [BAM18] BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG (BAM), 2018: *Ökodesign/Energielabel*, URL: <https://netzwerke.bam.de/Netzwerke/Navigation/DE/Evpg/EVPG-Produkte/Sonstige/evpg-sonstige.html>, Stand: 08.01.2018.
- [BBS12] BUNDESVERBAND BAUSTOFFE – STEINE UND ERDEN E.V., 2012: *Die neue Bauprodukte-Verordnung – Hinweise für Baustoffhersteller*, Berlin.
- [BBS18] BUNDESVERBAND BAUSTOFFE – STEINE UND ERDEN E.V. (Hrsg.), 2018: *Mineralische Bauabfälle. Monitoring 2016. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2016*, URL: <http://kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-11.pdf>, Stand: 04.04.2019.
- [BCS18a] BRITISH CONSTRUCTIONAL STEELWORK ASSOCIATION (BCSA), 2018a: *Honda central receiving building*, URL: https://www.steelconstruction.info/Honda_central_receiving_building, Stand: 31.01.2018.
- [BCS18b] BRITISH CONSTRUCTIONAL STEELWORK ASSOCIATION (BCSA), 2018b: *9 Cambridge Avenue*, URL: https://www.steelconstruction.info/9_Cambridge_Avenue, Stand: 31.01.2018.
- [BCS19] BRITISH CONSTRUCTIONAL STEELWORK ASSOCIATION (BCSA), 2019: *Circular building*, URL: https://www.steelconstruction.info/Circular_building, Stand: 28.11.2019.
- [BDS17] BUNDESVEREINIGUNG DEUTSCHER STAHLRECYCLING- UND ENTSORGUNGS-UNTERNEHMEN E.V. (BDSV), 2017: *Energieeinsparung*, URL: <https://www.bdsv.org/der-verband/>, Stand: 21.12.2017.
- [BFS13] BAUFORUMSTAHL E. V., 2013: *Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804, Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche*, herausgegeben vom Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU).
- [BGF11] BOLLINGER, K.; GROHMANN, M.; FELDMANN, M.; GIEBELER, G.; PFANNER, D.; ZEUMER, M., 2011: *Atlas Moderner Stahlbau*, Detail-Verlag, München.
- [BGR17] BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (BGR), 2017: *Deutschland – Rohstoffsituation 2016*, Hannover.

- [BM18] BLECK, W.; MOELLER, E. (Hrsg.), 2018: *Handbuch Stahl – Auswahl, Verarbeitung, Anwendung*, Carl Hanser Verlag, München.
- [BMU13] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU), 2013: *Abfallvermeidungsprogramm des Bundes unter Beteiligung der Länder*, Bonn.
- [BMU15] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (BMUB), 2015: *Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) – Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen*, Beschluss des Bundeskabinetts vom 29. Februar 2012, 2. Auflage, Berlin.
- [BMU16] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (BMUB), 2016: *Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II – Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen*, November 2016, Berlin.
- [BMU18] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (BMUB), 2018: *Ökodesign-Richtlinie*, URL: <http://www.bmub.bund.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/produkte-und-konsum/oekodesign-richtlinie/>, Stand: 08.01.2018.
- [DEU03] DEUMU DEUTSCHE ERZ- UND METALL-UNION GMBH, 2003: *Allgemeine Verkaufsbedingungen (AV) der DEUMU Deutsche Erz- und Metall-Union GmbH*, URL: https://www.deumu.de/fileadmin/mediadb/deumu/unternehmen/ekundvkbedingungen/AVdeutsch_02_2003.pdf, Stand: 17.04.2018.
- [DFL11] DAXBECK, H.; FLATH, J.; LIXIA, R.; BUSCHMANN, H., 2011: *"Bauwerke in Lebenszyklen denken" – Österreich auf dem Weg zur Ressourceneffizienz im Bauwesen*. In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, Volume 63, Issue 11-12, S. 205-210, Springer Verlag.
- [DIN02] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN), 2002: *DIN 4226-100: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel, Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen*, Berlin.
- [DIN05] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN), 2005: *DIN EN 10025-1: Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen - Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen*, Berlin.

- [DIN07] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN), 2007: DIN EN 10079: *Begriffsbestimmungen für Stahlerzeugnisse*, Berlin.
- [DIN10] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN), 2010: DIN EN 1993-1-1: *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*, Berlin.
- [DIN14] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN), 2014: DIN EN 15804: *Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte*, Berlin.
- [EK94] ENQUÊTE-KOMMISSION „SCHUTZ DES MENSCHEN UND DER UMWELT“ DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES, 1994: *Die Industriegesellschaft gestalten – Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen*, 12/8260, Bonn.
- [Fel11] FELDMANN, M., 2011: *Tragverhalten und Ausbildung von Stahlbauten, Aspekte der Bauphysik*. In: BOLLINGER, K.; GROHMANN, M.; FELDMANN, M.; GIEBELER, G.; PFANNER, D.; ZEUMER, M.: *Atlas Moderner Stahlbau; Material, Tragwerksentwurf, Nachhaltigkeit*, S. 102-123, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München.
- [GIB09] GESELLSCHAFT FÜR INNOVATIONSFORSCHUNG UND BERATUNG MBH; ARGUS GMBH, 2009: *Die wirtschaftliche Bedeutung der Recycling- und Entsorgungsbranche in Deutschland – Stand, Hemmnisse, Herausforderungen*, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi).
- [GMP18] GMP GENERALPLANUNGSGESELLSCHAFT MBH, 2018: *Christus-Pavillon auf der Expo 2000*, URL: <http://www.gmp-architekten.de/projekte/christus-pavillon-expo-2000.html>, Stand: 05.02.2018.
- [Hil17] HILLEBRANDT, A. 2017: *Design for Urban Mining – Bauwerke nachhaltig planen*. In: BUW Output, Nr. 18, S. 12-17, Wuppertal.
- [IZ18] IRMGARD ZABEL GMBH & CO. KG, 2018: *Verkauf von Nutzeisen*, URL: <http://schrottzabel.de/bau/index.php>, Stand: 06.04.2018.
- [KH11] KAMRATH, P.; HECHLER, O., 2011: *Eine Einführung in den Stand der Technik bei Abbruch- und Rückbauarbeiten: Konzepte, Möglichkeiten und Potential*. In: Bauingenieur, Band 86, Juni 2011, S. 269-280, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf.

- [LS16] LEHNERT, T., SCHRÖTER, F., 2016: *Stähle für den Stahlbau – Herstellung, Normung und Anwendung*. In: KUHLMANN, U. (Hrsg.), 2016: *Stahlbau Kalender 2016, Eurocode 3 - Grundnorm, Werkstoffe und Nachhaltigkeit*, S. 311-357, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, Berlin.
- [LSK02] LEY, J.; SANSOM, M.; KWAN, A., 2002: *Material flow analysis of the UK steel construction sector*, International Iron and Steel Institute, University of Wales, Cardiff.
- [Mey12] MEYER BOAKE, T., 2012: *Stahl verstehen – Entwerfen und konstruieren mit Stahl*, Birkhäuser GmbH, Basel.
- [Mün18] MÜNSTERMANN, S., 2018: *Stähle für den Hoch- und Ingenieurbau*. In: BLECK, W.; MOELLER, E. (Hrsg.), 2018: *Handbuch Stahl – Auswahl, Verarbeitung, Anwendung*, S. 363-382, Carl Hanser Verlag, München.
- [Ros17] ROSEN, A., 2017: *Bauen? In Zukunft nur recyclinggerecht*. *Factory – Magazin für nachhaltiges Wirtschaften*, Ausgabe 2/2017.
- [RS11] REICHEL, A.; SCHNELL, G., 2011: *Stahl – Herstellung und Produkte*. In: BOLLINGER, K.; GROHMANN, M.; FELDMANN, M.; GIEBELER, G.; PFANNER, D.; ZEUMER, M.: *Atlas Moderner Stahlbau; Material, Tragwerksentwurf, Nachhaltigkeit*, S. 66-91, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München.
- [RW16] ROßNAGEL, A.; WÜSTEFELD, F., 2016: *Stand des europäischen Ressourcenschutzes*. In: REIMER, F. (Hrsg.): *Ressourceneffizienz – Leitbild für das Umweltrecht?* S. 91-119, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden.
- [SA14] SANSOM, M.; AVERY, N., 2014: *Briefing: Reuse and recycling rates of UK steel demolition arisings*. In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Volume 167, Issue ES3, S. 89-94.
- [SB08] STATISTISCHES BUNDESAMT, 2008: *Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen*, Wiesbaden.
- [SB19a] STATISTISCHES BUNDESAMT, 2019a: *Bauen und Wohnen – Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff*, Lange Reihen ab 2000, Wiesbaden.

- [SB19b] STATISTISCHES BUNDESAMT, 2019b: *Abfallentsorgung 2017*, Fachserie 19, Reihe 1, URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallentsorgung-2190100177004.pdf?__blob=publicationFile, Stand: 07.11.2019.
- [SB19c] STATISTISCHES BUNDESAMT, 2019c: *Abfallbilanz 2017*, URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallbilanz-pdf-5321001.pdf;jsessionid=5ACF275118D03D495131FB03569FE81F.internet711?__blob=publicationFile, Stand: 08.11.2019.
- [SEP18] SCHWICH, H.; ENGINEER, S.; PRAHL, U., 2018: *Herstellung und Lieferformen von Stahl*. In: BLECK, W.; MOELLER, E. (Hrsg.), 2018: *Handbuch Stahl – Auswahl, Verarbeitung, Anwendung*, S. 77-102, Carl Hanser Verlag, München.
- [SFH16] STROETMANN, R.; FAßL, T.; HÜTTIG, L., 2016: *Nachhaltige Geschossbauten in Stahl- und Verbundbauweise*. In: KUHLMANN, U. (Hrsg.), 2016: *Stahlbau Kalender 2016, Eurocode 3 - Grundnorm, Werkstoffe und Nachhaltigkeit*, S. 571-665, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, Berlin.
- [SHH14] SIEBERS, R.; HECHLER, O.; HAUKE, B.; KUHNHENNE, M., 2014: *Bauprodukte aus Stahl im Kontext der Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken*. In: KUHLMANN, U. (Hrsg.), 2014: *Stahlbau Kalender 2014, Eurocode 3 - Grundnorm, Außergewöhnliche Einwirkungen*, S. 693-775, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, Berlin.
- [Sie19] SIEBERS, R., 2019: *Erfassung von Nachhaltigkeitskennzahlen für die Teilwertschöpfungskette - Errichtung und Rückbau - im Stahlbau*, noch unveröffentlichtes Manuskript, Bergische Universität Wuppertal.
- [SIZ02] STAHL-INFORMATIONEN-ZENTRUM (Hrsg.), 2002: *Christus-Pavillon – Von der EXPO 2000 Hannover nach Volkenroda (Thüringen) – Demontage und Wiederaufbau*, Düsseldorf.
- [SK14] SCHAUMANN, P.; KLEIBÖMER, I., 2014: *Brandschutztechnische Bemessung von Stahl- und Verbundkonstruktionen*. In: KUHLMANN, U. (Hrsg.), 2014: *Stahlbau Kalender 2014, Eurocode 3 - Grundnorm, Außergewöhnliche Einwirkungen*, S. 331-411, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, Berlin.

- [SM02] SANSOM, M.; MEIJER, J., 2002: *Life-cycle assessment (LCA) for steel construction*, European Commission technical steel research, Final report.
- [Sme16] SMEDDINCK, U., 2016: *Stand des deutschen Ressourcenschutz- und Ressourceneffizienzrechts – ein (rechtspolitischer) Rundgang*. In: REIMER, F. (Hrsg.): *Ressourceneffizienz – Leitbild für das Umweltrecht?* S. 121-142, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden.
- [SN17] SÜLZLE NUTZEISEN GMBH, 2017: *Allgemeine Lieferungs- und Vermietbedingungen der Sülzle Nutzeisen GmbH*, URL: http://suelzle-nutzeisen.de/wp-content/uploads/sites/2/2014/01/suelzle_nutzeisen_lieferungs_vermietbedingungen_lang_deutsch_0817-2.pdf, Stand: 18.04.2018.
- [TCC16] TINGLEY, D.; COOPER, S.; CULLEN, J., 2016: *Understanding and overcoming the barriers to structural steel reuse, a UK perspective*, Working Paper, January 2016, URL: https://www.researchgate.net/publication/303042123_Understanding_and_overcoming_the_barriers_to_structural_steel_reuse_a_UK_perspective, Stand: 22.12.2017.
- [UBA12] UMWELTBUNDESAMT (UBA) (Hrsg.), 2012: *Ermittlung des Beitrages der Abfallwirtschaft zur Steigerung der Ressourcenproduktivität sowie des Anteils des Recyclings an der Wertschöpfung unter Darstellung der Verwertungs- und Beseitigungspfade des ressourcenrelevanten Abfallaufkommens*, Texte 14/2012, Dessau-Roßlau.
- [UBA13] UMWELTBUNDESAMT (UBA) (Hrsg.), 2013: *Optimierung des Rückbaus/Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung*, Texte 05/2013, Dessau-Roßlau.
- [UBA15a] UMWELTBUNDESAMT (UBA) (Hrsg.), 2015a: *Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertiger Verwertung von Baustoffen*, Texte 93/2015, Dessau-Roßlau.
- [UBA15b] UMWELTBUNDESAMT (UBA) (Hrsg.), 2015b: *Analyse und Trendabschätzung der Belastung der Umwelt und von Lebensmitteln mit ausgewählten POPs und Erweiterung des Datenbestandes der POP-Dioxin-Datenbank des Bundes und der Länder mit dem Ziel pfadbezogener Ursachenaufklärung*, Anhang 1: PCB im Bausektor und daraus freigesetzte Emissionen – eine Bestandsaufnahme und Neubewertung, Dokumentationen 114/2015, Dessau-Roßlau.

- [UBA17] UMWELTBUNDESAMT (UBA) (Hrsg.), 2017: *Rechtliche Instrumente des allgemeinen Ressourcenschutzes*, Texte 23/2017, Dessau-Roßlau.
- [UBA18] UMWELTBUNDESAMT (UBA), 2018: *Produktverantwortung in der Abfallwirtschaft*, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft>, Stand: 09.01.2018.
- [VDI16] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E.V. (VDI), 2016: *VDI 4800 Blatt 1: Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien*, Düsseldorf.
- [WVS17a] WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL, 2017a: *Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland*. URL: https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2017/12/Fakten_Stahlindustrie_2017_rz_web.pdf, Stand: 04.04.2019.
- [WVS17b] WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL, 2017b: *Roheisen- und Rohstahlerzeugung*. URL: <http://www.stahl-online.de/index.php/themen/stahltechnologie/stahlerzeugung/>, Stand: 20.12.2017.
- [WVS17c] WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL, 2017c: *Engagement für Stahl, Jahresbericht 2017*, URL: http://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2017/12/WV-Stahl_Jahresbericht_2017-D-RZ_Web.pdf, Stand: 20.03.2018.
- [WVS19a] WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL, 2019a: *Statistiken*. URL: <https://www.stahl-online.de/index.php/statistiken/>, Stand: 28.03.2019.
- [WVS19b] WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL (Hrsg.), 2019b: *Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2018/2019*, Düsseldorf.
- [WVS19c] WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG STAHL, 2019c: *Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2019*. URL: https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2019/09/WVStahl_Fakten_zur_Stahlindustrie_2019.pdf, Stand: 13.11.2019.
- [ZUH16] ZINKE, T.; UMMENHOFER, T.; HAUKE, B.; SIEBERS, R., 2016: *Nachhaltigkeit und Normung*. In: KUHLMANN, U. (Hrsg.), 2016: *Stahlbau Kalender 2016, Eurocode 3 - Grundnorm, Werkstoffe und Nachhaltigkeit*, S. 411-454, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, Berlin.

- [ZVC11] ZEUMER, M.; VAN WYK, L.; CARDOSO, F., 2011: *Stahl und Nachhaltigkeit*. In: BOLLINGER, K.; GROHMANN, M.; FELDMANN, M.; GIEBELER, G.; PFANNER, D.; ZEUMER, M.: *Atlas Moderner Stahlbau; Material, Tragwerksentwurf, Nachhaltigkeit*, S. 126-139, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München.

Anhang 1: Ergebnisse der Umfrage beim DA und BDSV

A1.1 Deutscher Abbruchverband e.V. (n = 39)

1. Wie groß ist ihr Unternehmen? [Mitarbeiter]	2. In welchem Bundesland befinden Sie sich?	3. In welchem Umkreis sind Sie tätig? [km]	4. Welche Gebäudetypen brechen Sie ab?						
			Einfamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser	Büro- und Verwaltungsgebäude	Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	Fabriken und Werkstätten	Lager- und Logistikgebäude	sonstige Nichtwohngebäude
200	HE	100	1	1	1	1	1	1	1
	NW	300	1	1	1	1	1	1	1
10	BY	200	1				1		1
13	MV	250	1		1		1	1	1
140	NW	600	1	1	1	1	1	1	1
4	NI	150	1	1	1	1	1	1	1
14	BB	500	1	1	1	1	1	1	1
190	SN	200	1	1	1	1	1	1	1
16	BY	60	1	1	1	1	1	1	1
23	NI	600			1				1
60	NW	600		1	1		1	1	1
20	RP	100	1	1	1	1	1	1	1
70	BY	100	1	1	1	1	1	1	1
	BY	100	1	1	1	1	1	1	1
65	SN	500			1	1	1	1	1
	BY	100		1	1	1	1	1	1
12	NI	100	1	1	1	1	1	1	1

1. Wie groß ist ihr Unternehmen? [Mitarbeiter]	2. In welchem Bundesland befinden Sie sich?	3. In welchem Umkreis sind Sie tätig? [km]	4. Welche Gebäudetypen brechen Sie ab?							
			Einfamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser	Büro- und Verwaltungsgebäude	Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	Fabriken und Werkstätten	Lager- und Logistikgebäude	sonstige Nichtwohngebäude	
30	HE	300		1	1	1	1	1	1	
8	NW	70	1						1	
26	BW	100	1	1	1	1	1	1	1	
74	BW	50	1			1			1	
40	NW	200	1	1	1	1	1	1	1	
32	NI	100	1	1	1	1	1	1	1	
	NI	150	1	1	1			1		
	BW	50	1	1	1	1	1	1	1	
100	NW	150	1	1	1	1	1	1	1	
12	BW	50	1	1	1	1			1	
75	NW	150	1	1	1	1	1	1	1	
20	RP	400	1	1	1	1	1	1	1	
12	BB	100	1	1	1	1	1	1	1	
380	BW	100	1	1	1	1	1	1	1	
5	BY	100	1	1	1	1	1	1	1	
75	HE	100	1	1	1	1	1	1	1	
	ST	100	1	1		1			1	

1. Wie groß ist ihr Unternehmen? [Mitarbeiter]	2. In welchem Bundesland befinden Sie sich?	3. In welchem Umkreis sind Sie tätig? [km]	4. Welche Gebäudetypen brechen Sie ab?							
			Einfamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser	Büro- und Verwaltungsgebäude	Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	Fabriken und Werkstätten	Lager- und Logistikgebäude	sonstige Nichtwohngebäude	
4	NW	50								1
60	NW	50	1	1	1	1		1	1	1
34	BY	50	1	1	1				1	
12	NW	300	1	1	1	1	1	1	1	1
100	BY	100		1	1			1	1	1

Legende:

BW = Baden-Württemberg; BY = Bayern; BB = Brandenburg; HE = Hessen; MV = Mecklenburg-Vorpommern; NI = Niedersachsen; NW = Nordrhein-Westfalen; RP = Rheinland-Pfalz; SN = Sachsen; ST = Sachsen-Anhalt

0 = nein / 1 = ja

5. Welche Entfernungen zwischen Schrotthändlern oder eigenem Lagerplatz und Abbruchbaustelle sind für Sie wirtschaftlich? [km]	6. Verkaufen Sie Nutzeisen zur Wiederverwendung an weitere Personen?			7. Würde sich der vermehrte Verkauf von Nutzeisen im Vergleich zur Verschrottung finanziell für Sie lohnen?	8. Warum nicht?					
	private Bauherren	Bauunternehmen	Textfeld		händische Demontage zu aufwendig	zu hoher Zeitaufwand	keine gesicherte Nachfrage	keine Lagerung möglich	fehlendes Qualitätssystem für gebrauchte Bauteile	
50			Ausland (Rumänien)	ja						
50			nein	nein	1	1	1	1	1	1
200				nein	1					1
35		1		ja						
100				nein	1	1	1	1	1	1
50				nein	1	1	1	1	1	
100			nein	nein	1	1	1	1	1	
			selten	ja						
15			Entsorgungsfachbetrieb	nein		1		1	1	
20				nein	1			1	1	
20				nein	1	1				1
50				nein	1	1	1	1	1	1

5. Welche Entfernungen zwischen Schrotthändlern oder eigenem Lagerplatz und Abbruchbaustelle sind für Sie wirtschaftlich? [km]	6. Verkaufen Sie Nutzeisen zur Wiederverwendung an weitere Personen?		7. Würde sich der vermehrte Verkauf von Nutzeisen im Vergleich zur Verschrottung finanziell für Sie lohnen?	8. Warum nicht?				
	private Bauherren	Bauunternehmen		Textilfeld	händische Demontage zu aufwendig	zu hoher Zeitaufwand	keine gesicherte Nachfrage	keine Lagerung möglich
25	1		nein		1	1		1
50			nein		1			1
10			nein	Metallrecycling	1	1	1	
75			nein		1		1	
50		1	ja					
50			ja	Schrotthandel				
15			nein	Schrotthandel	1		1	
60	1	1	ja					
20			nein	Nein	1	1	1	
50			nein		1	1	1	1
50			ja					
100			nein		1	1	1	1

5. Welche Entfernungen zwischen Schrotthändlern oder eigenem Lagerplatz und Abbruchbaustelle sind für Sie wirtschaftlich? [km]	6. Verkaufen Sie Nutzeisen zur Wiederverwendung an weitere Personen?			7. Würde sich der vermehrte Verkauf von Nutzeisen im Vergleich zur Verschrottung finanziell für Sie lohnen?	8. Warum nicht?				
	private Bauherren	Bauunternehmen	Textfeld		händische Demontage zu aufwendig	zu hoher Zeitaufwand	keine gesicherte Nachfrage	keine Lagerung möglich	fehlendes Qualitätssystem für gebrauchte Bauteile
40				nein	1			1	1
100	1	1		ja					
30				ja					
100			selten	ja					
30			nein	nein	1	1	1		1
50			Altmetallhändler	nein	1	1	1		
30				ja					
100	1	1		ja					
30				ja					
20			nein	nein	1	1	1	1	1
20			Schrotthändler	nein	1	1	1	1	1
25				nein	1	1	1	1	1

5. Welche Entfernungen zwischen Schrotthändlern oder eigenem Lagerplatz und Abbruchbaustelle sind für Sie wirtschaftlich? [km]	6. Verkaufen Sie Nutzeisen zur Wiederverwendung an weitere Personen?		7. Würde sich der vermehrte Verkauf von Nutzeisen im Vergleich zur Verschrottung finanziell für Sie lohnen?	8. Warum nicht?					
	private Bauherren	Bauunternehmen	Textfeld		händische Demontage zu aufwendig	zu hoher Zeitaufwand	keine gesicherte Nachfrage	keine Lagerung möglich	fehlendes Qualitätssystem für gebrauchte Bauteile
20			Gebrauchthallenhändler	ja					
20			nein	ja					
50			Nein	nein					

Legende:
0 = nein / 1 = ja

9. Was schätzen Sie: Wie viel Prozent des Baustahls, den Sie bei Gebäudeabbrüchen gewinnen, wird wiederverwendet? Wie viel Prozent wird eingeschmolzen (Recycling)? Und welcher Anteil geht verloren?		10. Gab oder gibt es Bauherren / Auftraggeber, welche die Wiederverwendung von Bauteilen (z.B. beim Bauen im Bestand) gezielt gefordert haben?		11. In welchen Projekten war dies der Fall?		
Anteil Wiederverwendung (Nutzeisen) [%]	Anteil Recycling (Schrott) [%]	Anteil Verlust (Deponie) [%]		Projekt	Ort	Stahltonnage [t]
1	96	3	nein			
0	98	2	nein			
0	99	1	nein			
5	90	5	nein			
10	85	5	ja			
0	99	1	nein			
0	90	10	nein			
1	95	4	nein			
5	95	0	nein			
(0)	(80)	20	nein			
8	90	2	nein			
5	95	0	nein			
5	90	5	nein			
(5)	(80)	15	nein			

9. Was schätzen Sie: Wie viel Prozent des Baustahls, den Sie bei Gebäudeabbrüchen gewinnen, wird wiederverwendet? Wie viel Prozent wird eingeschmolzen (Recycling)? Und welcher Anteil geht verloren?		10. Gab oder gibt es Bauherren / Auftraggeber, welche die Wiederverwendung von Bauteilen (z.B. beim Bauen im Bestand) gezielt gefordert haben?		11. In welchen Projekten war dies der Fall?		
Anteil Wiederverwendung (Nutzstahl) [%]	Anteil Recycling (Schrott) [%]	Anteil Verlust (Deponie) [%]		Projekt	Ort	Stahltonnage [t]
0	100	0	nein			
5	94	1	nein			
10	90	0	nein			
10	89	1	nein			
(0)	(80)	20	nein			
5	90	5	nein			
10	87	3	nein			
2,5	95	2,5	ja	Abbruch Halle	Gennebrecker Str., Wuppertal	9,1
5	93	2	ja	Großmarkt LKW Witterungsschutz	Wuppertal	25
1	98	1	nein			
10	85	5	nein			
1	98	1	ja	Gastrohalle	Fichtenstr., Düsseldorf	50

9. Was schätzen Sie: Wie viel Prozent des Baustahls, den Sie bei Gebäudeabbrüchen gewinnen, wird wiederverwendet? Wie viel Prozent wird eingeschmolzen (Recycling)? Und welcher Anteil geht verloren?			10. Gab oder gibt es Bauherren / Auftraggeber, welche die Wiederverwendung von Bauteilen (z.B. beim Bauen im Bestand) gezielt gefordert haben?		11. In welchen Projekten war dies der Fall?		
Anteil Wiederverwendung (Nutzstahl) [%]	Anteil Recycling (Schrott) [%]	Anteil Verlust (Deponie) [%]			Projekt	Ort	Stahltonnage [t]
10	90	0	nein				
1	98	1	nein				
1	89	10	nein				
0	100	0	ja		Großräschen	Großräschen	500
					Triptis	Triptis	300
2	94	4	nein		Ehem. Brauerei	Cottbus	300
(1)	(85)	14	nein				
1	92	7	nein				
0	95	5	nein				
10	90	0	nein				
10	80	10	nein				
10	80	10	ja		Augustiner Weichhaus	München	60
					Ehem. Praktiker Baumarkt	Ingolstadt	250

9. Was schätzen Sie: Wie viel Prozent des Baustahls, den Sie bei Gebäudeabbrüchen gewinnen, wird wiederverwendet? Wie viel Prozent wird eingeschmolzen (Recycling)? Und welcher Anteil geht verloren?			10. Gab oder gibt es Bauherren / Auftraggeber, welche die Wiederverwendung von Bauteilen (z.B. beim Bauen im Bestand) gezielt gefordert haben?			11. In welchen Projekten war dies der Fall?		
Anteil Wiederverwendung (Nutzeisen) [%]	Anteil Recycling (Schrott) [%]	Anteil Verlust (Deponie) [%]				Projekt	Ort	Stahltonnage [t]
10	90	0	nein					
0	100	0	nein					

Legende:

Rote Markierung = Ausreißer

(Wert in Klammern) = nicht gewertet

A1.2 Bundesvereinig. Deutscher Stahlrecycling- u. Entsorgungsunternehmen (n = 24)

1. Wie groß ist ihr Unternehmen? [Mitarbeiter]	2. In welchem Bundesland befinden Sie sich?	3. In welchem Umkreis sind Sie tätig? [km]	4. Können Sie abschätzen, wie viel Stahlschrott Sie aus dem Bereich "Bau", also dem Abbruch von Gebäuden und Bauwerken, sammeln, aufbereiten und vermarkten?	5. Um wie viel Stahlschrott handelt es sich? [t]	6. Wie viel Stahlschrott verarbeiten Sie jährlich? [t]
25	BY	150	ja	2500	
33	BW	60	ja	3000	
25	BW	50	ja	100	
22	BY	120	ja	1.000	
65	BW	100	ja	5000	
	NI	360	nein		200000
14	BW	50	ja	2000	
250	NW	100	ja	50	
	BW	50	ja	800	
45	NW	100	ja	3000	
2000	NW	500	ja	100000	
14	NW	50	ja	120	
23	HH	500	ja	800	
3	NW	100	nein		4000
70	BY	250	ja	17000	
	BW	50	nein		10000
6	BW	150	ja	400	
	HH	50	ja	100000	

1. Wie groß ist ihr Unternehmen? [Mitarbeiter]	2. In welchem Bundesland befinden Sie sich?	3. In welchem Umkreis sind Sie tätig? [km]	4. Können Sie abschätzen, wie viel Stahlschrott Sie aus dem Bereich "Bau", also dem Abbruch von Gebäuden und Bauwerken, sammeln, aufbereiten und vermarkten?	5. Um wie viel Stahlschrott handelt es sich? [t]	6. Wie viel Stahlschrott verarbeiten Sie jährlich? [t]
13	NW	150	ja	4800	
4	BW	30	ja	2	
11	BY	150	ja	120	
30	BW	100	ja	6000	
	BW	100	ja	2300	
28	NW	100	ja	25000	

Legende:

BW = Baden-Württemberg; BY = Bayern; HH = Hamburg; NI = Niedersachsen; NW = Nordrhein-Westfalen

7. Haben Sie schon einmal aus Abbruchprojekten stammende Baustahlprodukte (Träger, Bleche etc.) aussortiert und an Kunden zur „direkten“ Wiederverwendung (d. h. ohne Verrottung / Recycling) verkauft?	8. Um welche Bauprodukte / Bauteile handelte es sich dabei hauptsächlich?	9. An wen haben Sie gebrauchte Baustahlprodukte (Träger, Bleche etc.) verkauft?	10. Würde sich der vermehrte Verkauf von Baustahlprodukten im Vergleich zur Verrottung finanziell für Sie lohnen?	11. Warum nicht?
ja	Mattenabfälle; Träger	Private Bauherren	ja	
ja	Fassadenbleche, Stahlträger	Private Bauherren	nein	Zu hoher Zeitaufwand
ja	Träger	Private Bauherren	nein	Keine gesicherte Nachfrage
ja	Fabrikationsabfall	Bauunternehmen	ja	
nein			nein	Zu hoher Zeitaufwand
ja	Träger	Handel	ja	
nein			nein	fehlendes Qualitätssystem für gebrauchte Bauteile
ja	Spundwandbohlen, Träger	Bauunternehmen	ja	
nein			nein	überwiegend Baustahl kurz
ja	Träger, Rohre	Private Bauherren	ja	
nein			nein	Keine gesicherte Nachfrage
ja	Träger, Matten, Eisen	Private Bauherren	ja	
nein			nein	ich würde alle vier Antworten ein Haken setzen
ja	Stahlträger, Geländer, Schiebetore	Private Bauherren	ja	
nein			ja	

7. Haben Sie schon einmal aus Abbruchprojekten stammende Baustahlprodukte (Träger, Bleche etc.) aussortiert und an Kunden zur „direkten“ Wiederverwendung (d. h. ohne Verrottung / Recycling) verkauft?	8. Um welche Bauprodukte / Bauteile handelte es sich dabei hauptsächlich?	9. An wen haben Sie gebrauchte Baustahlprodukte (Träger, Bleche etc.) verkauft?	10. Würde sich der vermehrte Verkauf von Baustahlprodukten im Vergleich zur Verrottung finanziell für Sie lohnen?	11. Warum nicht?
ja	Träger als Nutzmateriale mit Länge über 6 m	Bauunternehmen	ja	
ja	Träger, Flachstahl, Trapezbleche, Stahlrohre, Bodenbleche	Bauunternehmen	ja	
ja	Träger, Moniereisen, Moniereisen aus Brecheranlagen etc.	Stahlrecyclingunternehmen	ja	
ja	Träger, Profilbleche, Moniereisen	Private Bauherren sowie Bauunternehmen	ja	
nein			nein	Keine gesicherte Nachfrage
ja	Baustahlstangen und Träger	Private Bauherren	ja	
nein			nein	fehlendes Qualitätssystem für gebrauchte Bauteile
nein			nein	Schredder - nicht unser Material - nur Sortieraufwand
ja	Sandwichplatten; Fassadenbleche	Bauunternehmen	nein	Zu hoher Zeitaufwand

12. Was schätzen Sie: Wie viel Prozent des Baustahls, der bei Gebäudeabbrüchen gewonnen wird, wird wiederverwendet? Wie viel Prozent wird eingeschmolzen (Recycling)?			Anteil Verlust (Deponie) [%]	13. Kennen Sie Planer, Bauherren oder Bauunternehmen, die gebrauchte Bauteile aus Baustahl für Bauvorhaben nutzen?	14. Wird der Baustahl Ihres Wissens nach eher im Hochbau oder im Tiefbau (z. B. für den Baugrubenverbau) wiederverwendet?
Anteil Wiederverwendung (Nutzeisen) [%]	Anteil Recycling (Schrott) [%]				
1	99	0	nein		
(2)	(80)	18	ja	weiß nicht	
10	90	0	ja	Tiefbau	
10	80	10	nein		
3	92	5	nein		
10	90	0	nein		
0	96	4	nein		
(10)	60	30	ja	Tiefbau	
5	90	5	nein		
1	98	1	nein		
1	97,5	1,5	nein		
10	90	0	ja	weiß nicht	
5	90	5	nein		
10	85	5	nein		
10	90	0	nein		
15	80	5	nein		
30	65	(5)	ja	weiß nicht	

12. Was schätzen Sie: Wie viel Prozent des Baustahls, der bei Gebäudeabbrüchen gewonnen wird, wird wiederverwendet? Wie viel Prozent wird eingeschmolzen (Recycling)?			Anteil Verlust (Deponie) [%]	13. Kennen Sie Planer, Bauherren oder Bauunternehmen, die gebrauchte Bauteile aus Baustahl für Bauvorhaben nutzen?	14. Wird der Baustahl Ihres Wissens nach eher im Hochbau oder im Tiefbau (z. B. für den Baugrubenverbau) wiederverwendet?
Anteil Wiederverwendung (Nutzweisen) [%]	Anteil Recycling (Schrott) [%]				
5	90	5	nein		
(10)	(70)	20	ja	weiß nicht	
(10)	(70)	20	nein		
20	80	0	ja	weiß nicht	
5	90	5	nein		
(10)	(75)	15	nein		
3	90	7	nein		

Legende:

Rote Markierung = Ausreißer

(Wert in Klammern) = nicht gewertet

Anhang 2: Interviews mit Entsorgungsfachbetrieben und Händlern

<i>Interview mit Entsorgungsfachbetrieb und Nutzeisenhandel, anonym</i>	
1	<p>Wie groß ist Ihr Unternehmen, welche Tätigkeiten üben Sie aus und in welchem Umkreis sind Sie tätig?</p> <p>Antwort:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 340 Mitarbeiter ▪ Tätigkeiten: Schredder- und Schrottanlage, Handel mit Schrott, NE-Metallen und Nutzeisen, Brennanlage ▪ Umkreis deutschlandweit
2	<p>Woher stammt das Nutzeisen, das Sie verkaufen?</p> <p>Antwort: Deklassiertes Material aus Über- oder Fehlproduktionen</p>
3	<p>Wenn Sie Nutzeisen verkaufen, können Sie dem Käufer Angaben zur Stahlgüte, Sorte, Maße, Gewicht und Verwendbarkeit machen?</p> <p>Antwort: Maße und Gewicht werden ermittelt, die Güte wird geschätzt</p>
4	<p>Wenn nein, verkaufen Sie Nutzeisen unter Ausschluss einer Gewährleistung?</p> <p>Antwort: Geringfügige Qualitäts-, Sorten-, Mengen- und Größenabweichungen im Rahmen branchenüblicher Toleranzen (2 mm) stellen keinen Sachmangel dar. Für abgewertetes oder sonst als fehlerhaft verkauftes Material (sog. "Ila-Material") ist die Mängelhaftung ausgeschlossen.</p>
5	<p>Überprüfen Sie das Nutzeisen hinsichtlich technischer Aspekte, z. B. auf Beschädigungen oder Korrosion?</p> <p>Antwort: Nutzeisen wird max. 1 Jahr draußen gelagert, Flugrost vorhanden</p>

<i>Interview mit Entsorgungsfachbetrieb und Nutzeisenhandel, anonym</i>	
6	Findet eine Überarbeitung der Bauteile zur Wiederverwendung statt?
	Antwort: Brennschnitte für Transport
7	An wen verkaufen Sie in der Regel Nutzeisen?
	Antwort: <ul style="list-style-type: none">▪ 50 % Brennbetriebe▪ 50 % Händler
8	Wissen Sie, wofür der Käufer das Nutzeisen benötigt?
	Antwort: Weiterverkauf an Baubetriebe
9	Was schätzen Sie: Wie viel Prozent der Eisen-Metalle verlässt Ihr Unternehmen als Schrott zum Einschmelzen, und wie viel Prozent wird wiederverwendet?
	Antwort: <ul style="list-style-type: none">▪ 95 % Recycling▪ 5 % Wiederverwendung
10	Wie hoch schätzen Sie den Anteil an Baustahl, der bei einem Gebäudeabbruch in der Regel zur Wiederverwendung gewonnen werden kann?
	Antwort: Je nach Alter des Bauwerks können Trägerelemente wiederverwendet werden, in der Regel sind die Materialien mit anderen Baustoffen (Beton, Teer, Bleifarbe, etc.) behaftet und für die Wiederverwendung ungeeignet. Die Wiederverwendbarkeit ist zwar grundsätzlich gegeben, wird aber nur sehr selten durchgeführt.

<i>Interview mit RHH Rohstoffhandel Haiger GmbH (Entsorgungsfachbetrieb und Abbruchunternehmen)</i>	
1	<p>Wie groß ist Ihr Unternehmen, welche Tätigkeiten üben Sie aus und in welchem Umkreis sind Sie tätig?</p> <p>Antwort:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ 19 Mitarbeiter▪ Tätigkeiten: Handel mit Schrott, NE-Metallen, deklassiertem Material und Nutzeisen, Abbrucharbeiten, Containerdienst▪ Umkreis 50 km
2	<p>Woher stammt das Nutzeisen, das Sie verkaufen?</p> <p>Antwort:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ 98 % deklassierte Bauprodukte▪ 2 % Nutzeisen aus Gebäudeabbrüchen
3	<p>Wenn Sie Nutzeisen verkaufen, können Sie dem Käufer Angaben zur Stahlgüte, Sorte, Maße, Gewicht und Verwendbarkeit machen?</p> <p>Antwort: Gelegentlich können Daten vom Vorverkäufer weitergegeben werden. Alle Leistungsdaten wie Abbildungen, Maße, Gewichte oder ähnliches sind nur unverbindlich in etwa angegeben. Angaben über Eigenschaften jeglicher Art, Muster und Proben sind lediglich Anhaltspunkte für die Beschaffenheit der Ware.</p>
4	<p>Wenn nein, verkaufen Sie Nutzeisen unter Ausschluss einer Gewährleistung?</p> <p>Antwort: Ja</p>

<i>Interview mit RHH Rohstoffhandel Haiger GmbH (Entsorgungsfachbetrieb und Abbruchunternehmen)</i>	
5	Überprüfen Sie das Nutzeisen hinsichtlich technischer Aspekte, z. B. auf Beschädigungen oder Korrosion?
	Antwort: Nein
6	Findet eine Überarbeitung der Bauteile zur Wiederverwendung statt?
	Antwort: Nein
7	An wen verkaufen Sie in der Regel Nutzeisen?
	Antwort: Oft an Bauunternehmen, selten an private Bauherren
8	Wissen Sie, wofür der Käufer das Nutzeisen benötigt?
	Antwort: Hallenbau, Spezialtiefbau
9	Was schätzen Sie: Wie viel Prozent der Eisen-Metalle verlässt Ihr Unternehmen als Schrott zum Einschmelzen, und wie viel Prozent wird wiederverwendet?
	Antwort: keine Angabe
10	Wie hoch schätzen Sie den Anteil an Baustahl, der bei einem Gebäudeabbruch in der Regel zur Wiederverwendung gewonnen werden kann?
	Antwort: <ul style="list-style-type: none">▪ 95 % Recycling▪ 5 % Wiederverwendung

<i>Interview mit Theodor Claus GmbH (Entsorgungsfachbetrieb)</i>	
1	<p>Wie groß ist Ihr Unternehmen, welche Tätigkeiten üben Sie aus und in welchem Umkreis sind Sie tätig?</p> <p>Antwort:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 6 Mitarbeiter ▪ Tätigkeiten: Entsorgung sämtlicher metallischer Abfälle zur Verwertung, Nutzeisenlager ▪ Umkreis 150 km
2	<p>Woher stammt das Nutzeisen, das Sie verkaufen?</p> <p>Antwort: Aus Stahlwerken, Abbrüchen, Restmengen Autoindustrie, Chemie, Bau</p>
3	<p>Wenn Sie Nutzeisen verkaufen, können Sie dem Käufer Angaben zur Stahlgüte, Sorte, Maße, Gewicht und Verwendbarkeit machen?</p> <p>Antwort: Teilweise gestempelt, teils mit Herstellerzeugnis, Preis nach Gewicht, Selbstauswahl durch Kunde</p>
4	<p>Wenn nein, verkaufen Sie Nutzeisen unter Ausschluss einer Gewährleistung?</p> <p>Antwort: Gekauft wie gesehen, ohne Garantie</p>
5	<p>Überprüfen Sie das Nutzeisen hinsichtlich technischer Aspekte, z. B. auf Beschädigungen oder Korrosion?</p> <p>Antwort: Nein</p>
6	<p>Findet eine Überarbeitung der Bauteile zur Wiederverwendung statt?</p> <p>Antwort: Keine Überarbeitung, lediglich Kürzen auf Wunschlänge</p>
7	<p>An wen verkaufen Sie in der Regel Nutzeisen?</p> <p>Antwort: An jede Person, Privatpersonen, Firmen, Künstler</p>

<i>Interview mit Theodor Claus GmbH (Entsorgungsfachbetrieb)</i>	
8	Wissen Sie, wofür der Käufer das Nutzeisen benötigt? Antwort: nicht bekannt, evtl. Umbaumaßnahmen (Fenstersturz, Gartenzaun)
9	Was schätzen Sie: Wie viel Prozent der Eisen-Metalle verlässt Ihr Unternehmen als Schrott zum Einschmelzen, und wie viel Prozent wird wiederverwendet? Antwort: <ul style="list-style-type: none">▪ 70 % Recycling (Verkauf an Stahlwerke in Europa und Asien)▪ 30 % Wiederverwendung (Nutzeisen für Firmen, Bau, Chemie, Landwirte, Privatpersonen)
10	Wie hoch schätzen Sie den Anteil an Baustahl, der bei einem Gebäudeabbruch in der Regel zur Wiederverwendung gewonnen werden kann? Antwort: keine Angabe

<i>Interview mit Sülzle Nutzeisen GmbH (Stahlhandel)</i>	
1	<p>Wie groß ist Ihr Unternehmen, welche Tätigkeiten üben Sie aus und in welchem Umkreis sind Sie tätig?</p> <p>Antwort:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ 50 Mitarbeiter▪ Tätigkeiten: Verkauf und Vermietung von neuem, deklassiertem und gebrauchtem Stahl für den Baustellenbedarf, Aufbereitung gebrauchter Ware, Schweißarbeiten▪ Umkreis deutschlandweit
2	<p>Woher stammt das Nutzeisen, das Sie verkaufen/vermieten?</p> <p>Antwort:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ 95 % Bauteile, die immer wieder vermietet werden▪ 5 % Ankauf von Bauhöfen
3	<p>Wenn Sie Nutzeisen verkaufen/vermieten, können Sie dem Käufer/Mieter Angaben zur Stahlgüte, Sorte, Maße, Gewicht und Verwendbarkeit machen?</p> <p>Antwort: Ja, die Bauteile sind markiert</p>
4	<p>Wenn nein, verkaufen/vermieten Sie Nutzeisen unter Ausschluss einer Gewährleistung?</p> <p>Antwort: Nein, gebrauchtes Material entspricht mindestens der Stahlsorte S235JR nach DIN EN 10025-1,-2. Abweichungen von Maß, Gewicht und Güte nach DIN für Stahl und Eisen oder Handelsbrauch sind jedoch zulässig.</p>

<i>Interview mit Sülzle Nutzeisen GmbH (Stahlhandel)</i>	
5	Überprüfen Sie das Nutzeisen hinsichtlich technischer Aspekte, z. B. auf Beschädigungen oder Korrosion?
	Antwort: Ja
6	Findet eine Überarbeitung der Bauteile zur Wiederverwendung statt?
	Antwort: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fachmännische Aufbereitung gebrauchter Ware vor dem erneuten Einsatz ▪ Betonstahlschweißen ▪ Baustellenschweißen
7	An wen verkaufen oder vermieten Sie in der Regel Nutzeisen?
	Antwort: Tiefbauunternehmen
8	Wissen Sie, wofür der Käufer/Mieter das Nutzeisen benötigt?
	Antwort: Verwendung ausschließlich im Spezialtiefbau (Verbau etc.) oder Brückenbau
9	Was schätzen Sie: Wie viel Prozent der Eisen-Metalle verlässt Ihr Unternehmen als Schrott zum Einschmelzen, und wie viel Prozent wird wiederverwendet?
	Antwort: 5 % der Bauteile werden jährlich aussortiert und verschrottet, 95 % verbleiben im Kreislauf
10	Wie hoch schätzen Sie den Anteil an Baustahl, der bei einem Gebäudeabbruch in der Regel zur Wiederverwendung gewonnen werden kann?
	Antwort: Von sich aus wird kein Abbruchunternehmen Baustahl zerstörungsfrei separieren, so dass die Quote stark davon abhängt, ob die Wiederverwendung von Bauteilen durch den Bauherren gewollt ist und der Mehraufwand bezahlt wird.

<i>Interview mit Schrotthandel, anonym</i>	
1	Wie groß ist Ihr Unternehmen, welche Tätigkeiten üben Sie aus und in welchem Umkreis sind Sie tätig?
	Antwort: <ul style="list-style-type: none">▪ 7 Mitarbeiter▪ Tätigkeiten: Handel mit Schrott, NE-Metallen und Nutzeisen, Altkaros-Verwertung, Containerdienst▪ Umkreis 50 km
2	Woher stammt das Nutzeisen, das Sie verkaufen?
	Antwort: Ersteigerungen von Stahlbauunternehmen, Gebäudeabbrüche
3	Wenn Sie Nutzeisen verkaufen, können Sie dem Käufer Angaben zur Stahlgüte, Sorte, Maße, Gewicht und Verwendbarkeit machen?
	Antwort: nur Angaben zum Gewicht
4	Wenn nein, verkaufen Sie Nutzeisen unter Ausschluss einer Gewährleistung?
	Antwort: Ja
5	Überprüfen Sie das Nutzeisen hinsichtlich technischer Aspekte, z. B. auf Beschädigungen oder Korrosion?
	Antwort: Es wird nur kontrolliert, ob das Bauteil gerade ist
6	Findet eine Überarbeitung der Bauteile zur Wiederverwendung statt?
	Antwort: Auf Länge schneiden

<i>Interview mit Schrotthandel, anonym</i>	
7	An wen verkaufen Sie in der Regel Nutzeisen? Antwort: Oft an private Bauherren, selten an Bauunternehmen
8	Wissen Sie, wofür der Käufer das Nutzeisen benötigt? Antwort: Umbaumaßnahmen (z. B. Sturz einbauen)
9	Was schätzen Sie: Wie viel Prozent der Eisen-Metalle verlässt Ihr Unternehmen als Schrott zum Einschmelzen, und wie viel Prozent wird wiederverwendet? Antwort: <ul style="list-style-type: none">▪ 95 % Verkauf an Stahlwerk▪ 5 % Wiederverwendung
10	Wie hoch schätzen Sie den Anteil an Baustahl, der bei einem Gebäudeabbruch in der Regel zur Wiederverwendung gewonnen werden kann? Antwort: keine Angabe

Anhang 3: Interviews mit Architekten und Ingenieuren

Interview mit Annette Hillebrandt, Architektin BDA

m. schneider a. hillebrandt architektur

1	Wie groß ist Ihr Unternehmen und in welchem Umkreis sind Sie tätig?
	Antwort: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 4 Mitarbeiter ▪ Umkreis 100 km
2	Haben Sie bereits Erfahrungen mit der Wiederverwendung von Bauteilen aus Stahl machen können?
	Antwort: Nein
3	Wenn ja, in wie vielen Ihrer Projekte wurden bereits gebrauchte Bauteile aus Stahl wiederverwendet?
	Antwort: keine Angabe
4	Um welche Produkte handelt es sich dabei?
	Antwort: keine Angabe
5	Um welche Bauwerke handelt es sich dabei?
	Antwort: keine Angabe

Interview mit Annette Hillebrandt, Architektin BDA

m. schneider a. hillebrandt architektur

6 Aus welcher Motivation heraus sollten oder werden Bauteile aus Stahl wiederverwendet?

Antwort:

- Aus folgenden Gründen findet eine Wiederverwendung statt: Denkmalschutz, Retro-Design, wenn die Anforderungen an das Bauteil nicht hoch sind (z. B. Türsturz) und es keine Hemmnisse gibt (DIN, EU, Statik)
- Weitere wichtige Gründe: Energieeinsparung, Reduzierung des Transportaufwands

7 Welche Hemmnisse treten bzgl. der Wiederverwendung von Baustahl auf?

Antwort:

- Keine Nachfrage/Abneigung durch den Bauherrn: Eher nicht
- Verfügbarkeit von brauchbaren Bauteilen, -elementen nicht gegeben: Ja, eine Stahl-Bauteilbörse fehlt
- Fehlende technische Daten (CE-Kennzeichnung): Ja
- Erhöhte Kosten: Wenn dem so wäre, wäre es in der Tat sinnlos. Der Bauherr erwartet eine Kostenersparnis
- Trägheit der Baubranche: Eher nicht
- Sonstige: Stahl ist zu gut wiederzuverwerten. Wozu wiederverwenden, wenn da evtl. die Leistungsfähigkeit unklar ist oder das Produkt nicht kostengünstiger ist. Außerdem: Stahl altert ja nicht mit Patina, wie Eichenbalken oder Kupfer, also aus ästhetischen Gründen ist die Wiederverwendung uninteressant.

Interview mit Anja Rosen M.A. Architektin energum GmbH	
1	Wie groß ist Ihr Unternehmen und in welchem Umkreis sind Sie tätig?
	Antwort: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Anzahl Mitarbeiter: ca. 500 ▪ Umkreis: deutschlandweit, vereinzelt Ausland
2	Haben Sie bereits Erfahrungen mit der Wiederverwendung von Bauteilen aus Stahl machen können?
	Antwort: Nein
3	Wenn ja, in wie vielen Ihrer Projekte wurden bereits gebrauchte Bauteile aus Stahl wiederverwendet?
	Antwort: keine Angabe
4	Um welche Produkte handelt es sich dabei?
	Antwort: keine Angabe
5	Um welche Bauwerke handelt es sich dabei?
	Antwort: keine Angabe
6	Aus welcher Motivation heraus sollten oder werden Bauteile aus Stahl wiederverwendet?
	Antwort: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ökologische Gründe (Schonung stofflicher und - ggü. der Wiederverwertung - auch energetischer Ressourcen, Minimierung von Treibhausgasen und anderen Emissionen durch die Stahlherstellung) ▪ Ökonomische Gründe (Reduzierung von Herstellungskosten und Folgekosten/Umweltkosten)

*Interview mit Anja Rosen M.A. Architektin
energum GmbH*

7 Welche Hemmnisse treten bzgl. der Wiederverwendung von Baustahl auf?

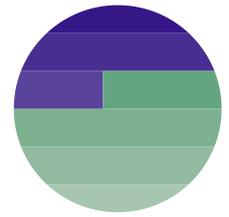
Antwort:

- Keine Nachfrage/fehlende Akzeptanz durch den Bauherrn
- Verfügbarkeit von brauchbaren Bauteilen, -elementen nicht gegeben
- Logistik (separate Lagerung, Transport)
- Fehlende technische Daten (CE-Kennzeichnung)
- Erhöhte Kosten: Schwer zu beurteilen, ob die hier aufgeführten Hemmnisse und damit verbundenen Kosten die Herstellungskosten neuer Bauteile übersteigen
- Trägheit der Baubranche
- Erhöhter Planungsaufwand: Recherche verfügbarer Bauteile, ggf. zusätzliche statische Berechnungen, Begutachtung gebrauchter Stahlbauteile, besondere Kennzeichnung gebrauchter Bauteile in den Plänen, aufwendigere Ausschreibung, Kontrollaufwand auf der Baustelle

Anhang 4: Interview mit einem Abbruchunternehmen

<i>Interview mit Dr. Paul Kamrath</i> <i>Paul Kamrath Ingenieurrückbau GmbH</i>	
1	<p>Wie groß ist Ihr Unternehmen und in welchem Umkreis sind Sie tätig?</p> <p>Antwort:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 40 Mitarbeiter ▪ Umkreis 100 km
2	<p>An wen verkaufen Sie Nutzeisen/Schrott aus Abbrüchen?</p> <p>Antwort: Ausschließlich an Schrotthändler</p>
3	<p>Würde sich der Verkauf von Nutzeisen im Vergleich zur Verschrottung finanziell lohnen?</p> <p>Antwort: In der Regel nicht. Um Nutzeisen zu separieren, müsste die Demontage maschinenunterstützt von Hand erfolgen, dies kostet Zeit und Geld.</p>
4	<p>Wie hoch schätzen Sie den Anteil an Baustahl, der beim Abbruch zur Wiederverwendung gewonnen werden könnte?</p> <p>Antwort: 60 % für die Wiederverwendung im Tiefbau (bspw. Berliner Verbau)</p>
5	<p>Gibt es Bauherren, die die Wiederverwendung von Bauteilen gezielt fordern?</p> <p>Antwort: Ja, dies kommt aber sehr selten vor. Ausnahmen bilden Hallenkonstruktionen, die sich einfach zurückbauen lassen und meist ins Ausland verkauft werden.</p>

Anhang 5: Analyse der ökologischen Vorteilhaftigkeit der Wiederverwendung



thinkstep

**Analyse der ökologischen Vorteilhaftigkeit der
Wiederverwendung gegenüber dem Recycling von
Stahlprodukten im Baubereich anhand von 2 EoL
Verrechnungsmethoden**

**Im Auftrag von BERGISCHE
UNIVERSITÄT WUPPERTAL**



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungen.....	5
Tabellen.....	6
Abkürzungen	7
Glossar	8
1. Ziel der Studie	10
2. Untersuchungsrahmen	11
2.1. Funktionelle Einheit	11
2.2. Systemgrenze.....	11
2.2.1. Zeitlicher Erfassungsbereich	12
2.2.2. Technologischer Erfassungsbereich	12
2.2.3. Geografischer Erfassungsbereich	12
2.3. Verrechnungsmethoden	12
2.4. Auswahl der Wirkungsabschätzungsmethodik und der Wirkungskategorien	14
2.5. Software und Datenbanken	16
3. Sachbilanz	17
3.1. Datensammlung & Qualitätssicherung	17
3.2. Vordergrunddaten.....	17
3.3. Hintergrunddaten und Hintergrunddatensätze	18
3.3.1. Hintergrunddaten.....	18
3.3.2. Hintergrunddatensätze	18
4. Wirkungsabschätzungsergebnisse & Interpretation.....	20
4.1. Rückbau (Modul C1) Recycling vs. Reuse.....	20
4.2. Gesamtaufwand Recycling versus Wiederverwendung.....	20
4.3. Ergebnisse nach Verrechnungsmethode „Modul D“	21
4.4. Ergebnisse nach Verrechnungsmethode „PEF“	22
4.5. Ergebnisse im Vergleich.....	23
4.6. Annahmen und Einschränkungen	24
4.7. Schlussfolgerungen, Einschränkungen, und Empfehlungen	24
Quellenverzeichnis	26
Anhang A – Ergebnisse.....	27



Anhang B – GaBi Model..... 31



Abbildungen

Abbildung 2-1: Systemgrenze nach EN 15804-A1 und PEF	11
Abbildung 2-2: Circular Footprint Formula (CFF) (European Commission , 2017).....	13
Abbildung 2-3: Screenshot aus „Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs)“ (European Commission , 2017).....	14
Abbildung 3-1: Ökobilanzmodell – Modul D	19
Abbildung 4-1: Aufwand Recycling versus Reuse	20
Abbildung 4-2: Gesamtaufwand Recycling versus Wiederverwendung	21
Abbildung 4-3: Treibhauspotential für 1 Tonne Stahl nach „Modul D“-Methode.....	21
Abbildung 4-4: Treibhauspotential für 1 Tonne Stahl nach CFF Formel	23
Abbildung 4-5: Ergebnisse für 1 Tonne Stahl – 99% Recycling, 99% Reuse.....	24



Tabellen

Tabelle 2-1: Parameter der CFF Formel (European Commission , 2017)	13
Tabelle 2-2: Beschreibung der CML 2001 Wirkungskategorien	15
Tabelle 2-3: Andere umweltbezogene Indikatoren.....	16
Tabelle 3-1: Vordergrunddaten für Modul A5, C1, und C2	17
Tabelle 3-2: Verbräuche der Geräte für die Errichtung und Rückbau.....	17
Tabelle 3-3: Transportentfernungen Modul A4 und C2.....	18
Tabelle 3-4: Hintergrunddatensätze in der Sachbilanz	18
Tabelle 4-1: Treibhauspotential [kg CO ₂ eq.] für 1 Tonne Baustahl nach „Modul D“-Methode	22



Abkürzungen

ADP	Abiotisches Ressourcenverbrauchspotential (<i>engl.: Abiotic Depletion Potential</i>)
AP	Versauerungspotential (<i>engl.: Acidification Potential</i>)
CML	Centre of Environmental Science at Leiden University
CFF	Carbon Footprint Formula
ELCD	European Life Cycle Database
EoL	End-of-Life
EP	Überdüngungspotential (<i>engl.: Eutrophication Potential</i>)
EPD	Environmental Product Declaration
GaBi	Ganzheitliche Bilanzierung
GHG	Treibhausgas (<i>engl.: Greenhouse Gas</i>)
GWP	Treibhauspotential (<i>engl.: Global Warming Potential</i>)
ILCD	International Life Cycle Data System
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Ökobilanz (<i>engl.: Life Cycle Assessment</i>)
LCI	Sachbilanz (<i>engl.: Life Cycle Inventory</i>)
LCIA	Wirkungsabschätzung (<i>engl.: Life Cycle Impact Assessment</i>)
NMVOG	Nicht-methanhaltige flüchtige organische Verbindung (<i>engl.: Non-Methane Volatile Organic Compound</i>)
ODP	Ozonabbaupotential (<i>engl.: Ozone Depletion Potential</i>)
POCP	Sommersmogpotential (<i>engl.: Photochemical Ozone Creation Potential</i>)
PEF	Product Environmental Footprint
PEFCR	Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
UNEP	United Nations Environment Programme
VOC	Flüchtige organische Verbindung (<i>engl.: Volatile Organic Compound</i>)



Glossar

Lebenszyklus

Die Betrachtung eines Produktsystems als "aufeinander folgende und miteinander verbundene Stufen eines Produktsystems von der Rohstoffgewinnung oder Rohstoffherzeugung bis zur endgültigen Beseitigung" (ISO 14040:2006, Abschnitt 3.1). Dies beinhaltet alle Material- und Energie-Inputs sowie die Emissionen in Luft, Boden und Wasser.

Ökobilanz

"Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges" (ISO 14040:2006, Abschnitt 3.2)

Sachbilanz

"Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines gegebenen Produktes im Verlauf seines Lebensweges umfasst" (ISO 14040:2006, Abschnitt 3.3)

Wirkungsabschätzung

"Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf des Lebensweges des Produktes dient" (ISO 14040:2006, Abschnitt 3.4)

Auswertung

"Bestandteil der Ökobilanz, bei dem die Ergebnisse der Sachbilanz oder der Wirkungsabschätzung oder beide bezüglich des festgelegten Ziels und Untersuchungsrahmens beurteilt werden, um Schlussfolgerungen abzuleiten und Empfehlungen zu geben" (ISO 14040:2006, Abschnitt 3.5)

Funktionelle Einheit

"Quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit" (ISO 14040:2006, Abschnitt 3.20)

Allokation

"Zuordnung der Input- oder Outputflüsse eines Prozesses oder eines Produktsystems zum untersuchten Produktsystem und zu einem oder mehreren anderen Produktsystemen" (ISO 14040:2006, Abschnitt 3.17)

Vordergrundsystem

„Diejenigen Prozesse des Systems, die spezifisch für es sind [...] und/oder direkt von den in der Studie untersuchten Entscheidungen betroffen sind“ (JRC, 2010, p. 97). Dies umfasst in der Regel Tier-1 Lieferanten, den Hersteller selbst, sowie alle nachgelagerten Phasen des Lebenszyklus, auf die der Hersteller einen maßgeblichen Einfluss ausübt. Als allgemeine Regel sollten spezifische (primäre) Daten für Vordergrundsystem verwendet werden.



Hintergrundsystem

„Diejenigen Prozesse, für die aufgrund des Mittelungseffekt über Lieferanten ein homogener Markt mit durchschnittlichen Daten als ausreichend repräsentativ für den Prozess angesehen werden kann“ [...] und/oder diejenigen Prozesse, die im Rahmen des Systems betrieben werden, aber die sich nicht unter direkter Kontrolle oder entscheidendem Einfluss des Produzenten befinden“ (JRC, 2010, p. 97f). Als allgemeine Regel sind sekundäre Daten für das Hintergrundsystem angemessen, insbesondere wo primäre Daten schwierig zu erhalten sind.



1. Ziel der Studie

Im Zuge des Forschungsvorhabens „Entwicklung und Validierung einer Methode zur Erfassung der Sammelraten von Bauprodukten aus Metall“ ist ein Ziel unter anderem, die ökologische Vorteilhaftigkeit der Wiederverwendung gegenüber dem Recycling von Stahlprodukten im Baubereich darzustellen.

Dafür werden die ökologischen Aufwände des stofflichen Recyclings gegenüber der Wiederverwendung eines Stahlträgers analysiert. Zudem wird der Einfluss von zwei verschiedenen Verrechnungsmethoden ermittelt, zum Einen angelehnt an der Norm 15804-A1 (im Folgenden abgekürzt als Modul D) zum Andren an der „Circular Footprint Formula der Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs)“ (im Folgenden abgekürzt als PEF Methode).

Für beide Verrechnungsmethoden werden 2 Szenarien mit 99% stofflichem Recycling (im Weiteren Recycling benannt) und 1% Deponie sowie 99% Wiederverwendung (auch als Reuse bezeichnet) und 1% Deponie berechnet.

Zusätzlich werden folgende Misch-Szenarien für die Modul D-Verrechnungsmethode berechnet:

- 91,6 % Recycling, 5,3 % Reuse
- 88 % Recycling, 11 % Reuse
- 50 % Recycling, 50 % Reuse

Die Szenarien in diesem Bericht sind von der Bergischen Universität Wuppertal in definiert worden und dienen einem besseren Verständnis zum Verlauf der Ergebnisse zwischen den Extremwerten von jeweils 99%.

Natürlich steht aus Sicht des Kreislaufwirtschaftsgesetzes die Wiederverwendung über dem Recycling. Aufgrund der methodischen Vielfalt ist jedoch nicht garantiert, dass eine ökologische Lebenszyklusbewertung mit Hilfe der Ökobilanz dies auch wiedergibt und zweifelsfrei darstellt.

Darüber hinaus ist ein Recycling nicht aufwandsfrei zu realisieren. Trotz der Vermeidung von Aufwendungen zum Umschmelzen, Neulegieren bzw. Prozessen mit Downcycling- oder Upcycling-Effekten beim Recycling muss geprüft werden, wie viel Prozessaufwand zur Wiederverwendung nötig ist, welche Qualität des Produktes vorliegt bzw. welche unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten für das Wiederverwendungsprodukt gegenüber dem Neuprodukt mit und ohne Recyclinganteilen möglich sind.

2. Untersuchungsrahmen

2.1. Funktionelle Einheit

Das untersuchte Produkt bezieht sich auf 1 t Baustahl (offene Walzprofile und Grobbleche). Es beinhaltet Baustähle der Sorten S235 bis S960, die als Stahlbauprofile, Stabstähle und Grobbleche ausgewalzt werden. Die Funktionelle Einheit für dieses Projekt ist dementsprechend 1 t mit einer Wiederverwendungsrate von 1 Mal (Kapitel 2.3).

Weitere Informationen über das untersuchte Produkt sind der EPD für Baustähle „Offene Walzprofile und Grobbleche“ von bauforumstahl e.V. zu entnehmen.

2.2. Systemgrenze

Die Systemgrenze der Ökobilanz untersucht die verschiedenen Lebenswegzyklusstadien „von der Wiege bis zur Bahre“.

In Abbildung 2-1 werden die verschiedenen Lebenszyklusstadien dargestellt. In dem oberen grünen Bereich sind diese nach EN15804-A1 beschrieben und im unteren blauen Bereich eine vergleichbare Gruppierung der Stadien nach PEF¹.

EN15804-A1	PRODUCT STAGE			CONSTRUCTION PROCESS STAGE		USE STAGE							END OF LIFE STAGE				BENEFITS AND LOADS BEYOND THE SYSTEM BOUNDARIES	
	Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport from the gate to the site	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal		Reuse-Recovery-Recycling-potential
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4		D
	X	X	X	X	X	MND	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	X	X	X	X		X
PEF	RAW MATERIAL ACQUISITION & PRE-PROCESSING		MANUFACTURING STAGE	DISTRIBUTION STAGE	USE STAGE							END OF LIFE STAGE						

Abbildung 2-1: Systemgrenze nach EN 15804-A1 und PEF

In der Studie werden folgende Lebenswegzyklusstadien berücksichtigt.

- Produktstadium (A1-A3)
- Stadium der Errichtung des Bauwerks (A4-A5)
- Entsorgungsstadium (C1-C4)

¹ Die Gegenüberstellung der Lebenszyklusphasen basiert auf der Interpretation durch thinkstep und dient nur einer Vereinfachung der Darstellung der Ergebnisse. Die Lebenszyklusphasen (Life Cycle Stages) sollten im Rahmen der Erstellung eines PEFCRs für das bestimmte Produkt oder die Produktgruppe definiert werden, welches für die Stahlträger nicht vorhanden ist.



- Nutzenpotentiale und Lasten außerhalb der Systemgrenzen (D)

Einflüsse von Abfällen werden in den Modulen berücksichtigt, in denen diese anfallen.

Für alle Module gilt, dass die Bereitstellung von allen Stoffen, Produkten und Energie sowie die vollständige Abfallbehandlung bis zum Ende des Abfallstatus oder der Beseitigung der Restabfälle berücksichtigt werden.

Für die deklarierten Module wird die Verrechnung der Herstellung, Transport und Entsorgung von Verlusten in den Modulen durchgeführt, in denen sie auftreten (z. B. Umweltlasten des Transportes des in A5 anfallenden Installationsabfalls werden in A4 deklariert, die Herstellung des Installationsabfalls in A5).

Die Systemgrenze zur natürlichen Umwelt ist so definiert, dass die in das System Material- und Energieinputs liefernden Prozesse, die auf diese Prozesse folgenden Herstellungs- und Transportprozesse sowie die Behandlung aller Abfälle, die durch diese Prozesse entstehen, Teil des Systems sind.

2.2.1. Zeitlicher Erfassungsbereich

Die Berechnung der Szenarien basieren auf dem EPD Modell vom bauforumstahl, welches für den Rahmen dieses Projektes freigegeben wurde. Die EPD ist bis 24.10.2023 gültig.

2.2.2. Technologischer Erfassungsbereich

Ziel der Studie ist die Untersuchung des Einflusses der Wiederverwendung gegenüber dem Recycling. Dafür sind Daten für zwei Szenarien erhoben worden, welche die aktuelle Technologie abdecken. In Kapitel 3.1 werden die verwendeten Daten dargestellt.

2.2.3. Geografischer Erfassungsbereich

Deutschland wurde als geografischer Erfassungsbereich definiert.

2.3. Verrechnungsmethoden

Im Rahmen der Studie wurden zwei Verrechnungsmethoden verwendet.

Die sogenannte „Modul D“ Verrechnungsmethode bezieht sich auf die definierte End-of-Life Methode nach EN15804-A1. „Modul D“ basiert auf der „value of scrap“ Methodik des Stahlverbandes worldsteel (World Steel Association, 2013). Die darin verwendeten Gutschriften und Lasten basieren auf einem „virtuellen“ bauforumstahl Durchschnitt für Stahlschrott. Das Material zur Wiederverwendung erhält eine Gutschrift aufgrund der vermiedenen Neuproduktion von Walzprofilen und Grobblechen.

Bei der PEF Verrechnungsmethode wird folgende Formel (CFF Formel) verwendet:

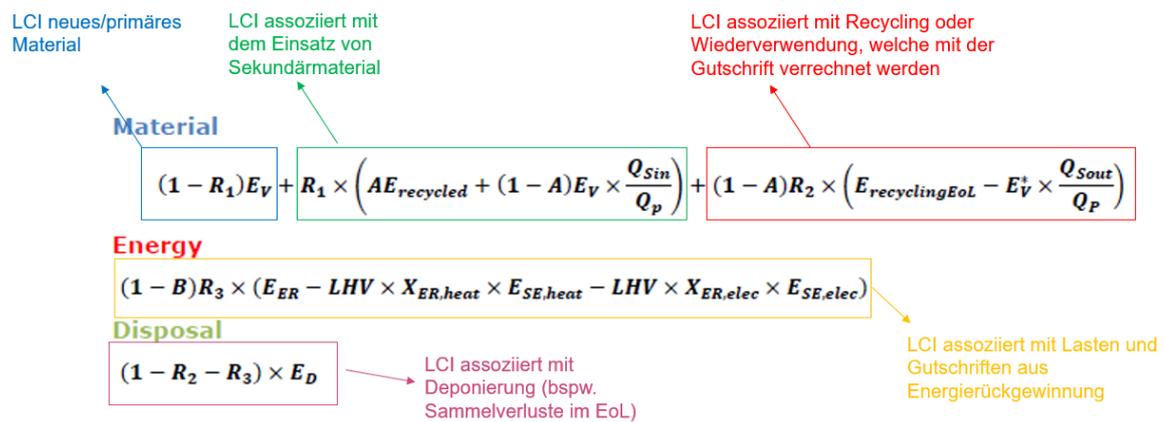


Abbildung 2-2: Circular Footprint Formula (CFF) (European Commission , 2017)

Die abgebildeten Variablen sind im „Guidance for the 13 development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs)“ (European Commission , 2017) definiert.

Für die Anwendung der Formel in dieser Studie wurden folgende Parameter in Anlehnung an die CFF Default Parameters für Stahlprodukte angenommen.

Tabelle 2-1: Parameter der CFF Formel (European Commission , 2017)

A	0,2	allocation factor of burdens and credits between supplier and user of recycled materials
Q_{sin}	1	quality of the ingoing secondary material, i.e. the quality of the recycled material at the point of substitution
Q_{out}	1	quality of the outgoing secondary material, i.e. the quality of the recyclable material at the point of substitution
Q_p	1	quality of the primary material, i.e. quality of the virgin material
R₁	0,739	proportion of material in the input to the production that has been recycled from a previous system
R₂	0,975	proportion of the material in the product that will be recycled (or reused) in a subsequent system; shall therefore take into account the inefficiencies in the collection and recycling (or reuse) processes
R₃	0	proportion of the material in the product that is used for energy recovery at EoL

Die PEF-Methode unterscheidet bei der Verlängerung des Produktlebenszyklus durch Wiederverwendung oder Aufbereitung zwei Fälle. In dieser Studie tritt der folgende Fall auf:

Ein Produkt das mit den ursprünglichen Produkteigenschaften die gleiche Funktion erfüllt:

Dies soll in die funktionelle Einheit (“how long”) und den Referenzfluss mit einfließen:

Basis = Wiederverwendungsrate, bspw. wenn 10 Mal wiederverwendet = 90 %

Die Berechnung des Bedarfs an Rohmaterial, Transport und EoL soll entsprechend erfolgen (10 % des Rohmaterialeinsatzes bei einer Wiederverwendungsrate von 90 %)



7.8.1 Reuse rates

Reuse rate is the number of times a material is used at the factory. This is often also called trip rates, reuse time or number of rotations. This may be expressed as the absolute number of reuse or as % of reuse rate. For example: a reuse rate of 80% equals 5 reuses. Equation 3 describes the conversion:

$$\text{Number of reuse} = \frac{1}{100\% - \% \text{ reuse rate}} \quad [\text{Equation 3}]$$

The number of reuse applied here refers to the total number of uses during the life of the material. It includes both the first use and all the following reuses.

Abbildung 2-3: Screenshot aus „Guidance for the 13 development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs)“ (European Commission , 2017)

2.4. Auswahl der Wirkungsabschätzungsmethodik und der Wirkungskategorien

Eine Auswahl an Wirkungskategorien und weiteren Sachbilanzgrößen, die für das Ziel der Studie als relevant angesehen werden, ist in Tabelle 2-2 und Tabelle 2-3 abgebildet. Eine Vielzahl an Bewertungsmethoden steht für eine Anwendung im europäischen Kontext zur Verfügung. Die vorliegende Studie verwendet hauptsächlich die Wirkungsabschätzungsmethodik CML 2001 (CML 2001, Version April 2016). Die CML-Charakterisierungsfaktoren wurden für den europäischen Kontext entwickelt, sind unter LCA-Anwendern weit verbreitet und respektiert und sind für Umweltproduktdeklarationen unter EN 15804 zwingend erforderlich.

Das Treibhauspotential (GWP) und der Primärenergiebedarf (PED) wurden aufgrund ihrer Relevanz für den Klimawandel und die Energieeffizienz ausgewählt. Letztere sind eng miteinander verbunden, genießen ein hohes öffentliches und institutionelles Interesse und repräsentieren einen der drängendsten Themenkomplexe unserer Zeit. Die Wirkungskategorie Treibhauspotential wird anhand der aktuellen IPCC-Charakterisierungsfaktoren aus dem 5th Assessment Report (IPCC, 2013) für einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren (GWP100) bewertet, da dies der zurzeit am meisten verbreitete Indikator ist.

Überdüngungs- (EP), Versauerungs- (AP), und Sommersmogpotentiale (POCP) wurden ausgewählt, weil sie eng mit der Luft-, Wasser- und Bodenqualität zusammenhängen und weil sie die potentiellen Umweltlasten von allgemein gesetzlich geregelten Emissionen wie NO_x, SO₂, VOC und Anderen erfassen.

Das Ozonabbaupotential (ODP) wurde aufgrund seiner hohen politischen Relevanz ausgewählt, welche zum weltweiten Verbot der aktiveren ozonabbauenden Substanzen geführt hat, so dass wenige aktive Substanzen noch bis 2030 weiterverwendet werden dürfen. Aktuelle Ausnahmen des Verbots beinhalten weitgehend die Verwendung von ozonabbauenden Chemikalien in der Gewinnung nuklearer Brennstoffe. Diese Wirkungskategorie wird daher aus Gründen der Vollständigkeit untersucht, ihre Aussagekraft und Relevanz auf das Vordergrundsystem ist nicht repräsentativ, da nur noch einzelne Substanzen lokal auftreten und nicht im direkten Bezug zum Vordergrundsystem stehen, sondern in Hintergrunddaten der Ökobilanz-Datenbank vorliegen.

**Tabelle 2-2: Beschreibung der CML 2001 Wirkungskategorien**

Wirkungskategorie	Beschreibung	Einheit	Referenz
Treibhauspotential (GWP100)	Ein Maß für Treibhausgas-Emissionen wie CO ₂ und Methan. Diese Emissionen verursachen einen Anstieg in der Absorption von Infrarotstrahlung, die von der Erde emittiert wird, durch die Atmosphäre, wodurch der natürliche Treibhauseffekt verstärkt wird. Dies kann wiederum nachteilige Auswirkungen auf die Ökosystemqualität, die menschliche Gesundheit und materiellen Wohlstand haben.	kg CO ₂ -Äquivalente	(IPCC, 2013)
Abiotisches Ressourcen-verbrauchspotential (ADP mineralisch, ADP fossil)	Der Verbrauch nicht-erneuerbarer Ressourcen führt zu einer verringerten Verfügbarkeit in der Zukunft. Der Verbrauch mineralischer und fossiler Ressourcen wird separat berichtet. Der Verbrauch mineralischer Ressourcen beruht auf deren ultimativen Reserven.	kg Sb-Äquivalente, MJ (unterer Heizwert)	(van Oers, de Koning, Guinée, & Huppes, 2002)
Überdüngungspotential (EP)	Überdüngung deckt alle potentiellen Umweltwirkungen eines Überangebots an Makronährstoffen ab, deren wichtigste Vertreter Stickstoff (N)- und Phosphor (P)-Verbindungen sind. Nährstoffanreicherung kann einen unerwünschten Wandel der Artenzusammensetzung sowie eine gesteigerte Biomasseproduktion sowohl in aquatischen als auch in terrestrischen Ökosystemen verursachen. In aquatischen Ökosystemen kann dies durch den zusätzlichen Sauerstoffbedarf der Biomassezersetzung zu einem unzureichendem Sauerstoffgehalt führen.	kg PO ₄ ³⁻ -Äquivalente	(Guinée, et al., 2002)
Versauerungspotential (AP)	Ein Maß für die Emissionen, die eine versauernde Auswirkung auf die Umwelt haben. Versauerungspotential ist ein Maß für die Fähigkeit eines Moleküls, in Gegenwart von Wasser die Wasserstoffionenkonzentration (H ⁺) zu erhöhen, wodurch der pH-Wert verringert wird. Mögliche Auswirkungen sind Fischsterben, Waldsterben und die Zerstörung von Baumaterialien.	kg SO ₂ -Äquivalente	(Guinée, et al., 2002)



Wirkungskategorie	Beschreibung	Einheit	Referenz
Sommersmog-potential (POCP)	Ein Maß für die Emissionen von Ausgangsstoffen, die in Bodennähe unter dem Einfluss von UV-Licht und in Gegenwart von Stickoxiden durch die Reaktion von VOC und Kohlenmonoxid zur Smogbildung (insbesondere Ozon O ₃) beitragen. Bodennahes Ozon kann schädlich für die menschliche Gesundheit, Ökosysteme und Pflanzen sein.	kg C ₂ H ₄ -Äquivalente	(Guinée, et al., 2002)
Ozonabbaupotential (ODP)	Ein Maß für Luftemissionen, die zum Abbau der stratosphärischen Ozonschicht beitragen. Daraus resultiert, dass ein höheres Maß ultravioletter Strahlen (UVB) die Erdoberfläche erreicht – mit nachteiligen Auswirkungen auf den Menschen und Pflanzen.	kg CFC-11-Äquivalente	(Guinée, et al., 2002)

Tabelle 2-3: Andere umweltbezogene Indikatoren

Indikator	Beschreibung	Einheit	Referenz
Primary Energy Demand (PED)	Ein Maß für die gesamte, aus der Erde extrahierte Primärenergie. PED aus nicht-erneuerbaren Energieträgern (z.B. Erdöl, Erdgas, etc.) und den aus erneuerbaren Energieträgern (z.B. Wasserkraft, Windkraft, etc.) kann unterschieden werden. Der Wirkungsgrad der Energieumwandlung zu Strom, Wärme oder Dampf wird dabei berücksichtigt.	MJ (unterer Heizwert)	(Guinée, et al., 2002)

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die obigen Wirkungskategorien Wirkpotentiale darstellen, d.h. sie sind Annäherungen an Umweltwirkungen, die auftreten könnten, falls die Emissionen (a) tatsächlich dem zugrundeliegenden Wirkmechanismus folgen und (b) in der Umwelt auf bestimmte Randbedingungen treffen. Hinzu kommt, dass die Sachbilanz nur diejenige Untermenge der absoluten Umweltlasten beinhaltet, die mit der funktionellen Einheit korrespondieren. Wirkungsabschätzungsergebnisse sind daher relative Aussagen und machen keine Voraussagen über Auswirkungen auf Wirkungsendpunkte, Schwellenwertüberschreitungen, Sicherheitsspannen oder Risiken.

2.5. Software und Datenbanken

Das LCA-Modell wurde mittels der GaBi 8 Software der thinkstep AG erstellt. Die GaBi 2019 Datenbanken liefern die Sachbilanzdaten für die Hintergrundsysteme.



3. Sachbilanz

3.1. Datensammlung & Qualitätssicherung

Für diese Studie wurden Daten für die Errichtung einer real errichteten Industriehalle in Deutschland, sowie der Rückbau der Halle gesammelt. Zudem wurden die Transportentfernungen zur Recyclingstelle und zum Wiederverwendungsort erhoben. Die Daten wurden von der Bergischen Universität Wuppertal und bauforumstahl zur Verfügung gestellt.

3.2. Vordergrunddaten

Folgende Vordergrunddaten wurden für die Studie gesammelt und verwendet:

Tabelle 3-1: Vordergrunddaten für Modul A5, C1, und C2

	Modul A5 – Aufbau	Modul C1 – Rückbau Recycling	Modul C1 – Rückbau Reuse	Einheit
Gesamter Stromverbrauch auf der Baustelle	106	7,1	72,0	kWh
Gesamter Dieserverbrauch Kran 60 t (5,25 L/h)	317	0	294,0	L Diesel
Gesamter Dieserverbrauch Bagger 30 t (16,44 L/h)	0	385	0,0	L Diesel
Gesamtzeit	115	38	100	h
Stromverbrauch pro Tonne Stahl	0,64	0,04	0,44	kWh
Dieserverbrauch pro Tonne Stahl	1,92	3,13	1,78	L Diesel / t
Zeit pro Tonne Stahl	0,82	0,23	0,61	h

Für die Berechnung des Strom- und Dieserverbrauchs wurden folgende Verbräuche pro Gerät angenommen:

Tabelle 3-2: Verbräuche der Geräte für die Errichtung und Rückbau

Gerät	Verbrauch	Einheit
Kran 60t	5,25	L / h
Bagger 30t	16,44	L/h
Arbeitsbühne	1,5	kW
Elektroschlagschrauber	0,5	kW
Elektrotrennschleifer	0,5	kW
Schneidbrenner	1	kW
Schneidbrenner	Propan 5,5 Sauerstoff 55	m ³ /h



Die Entfernungen für die Module A4 und Module C2 sind folgender Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 3-3: Transportentfernungen Modul A4 und C2

	Modul A4	Modul C2
Entfernung (km)	500	149

3.3. Hintergrunddaten und Hintergrunddatensätze

3.3.1. Hintergrunddaten

Für diese Studie wurde das bauforumstahl-Modell, welches für die Erstellung der EPD (bauforumstahl e.V., 2018) herangenommen wurde, von bauforumstahl zur Nutzung freigestellt. Der Baustahl aus der EPD stammt zu 26 % aus der Primärroute (Hochofen mit Konverter) und zu 74 % aus der Sekundärroute (Elektrolichtbogenofen), gemessen an der jährlichen Gesamtproduktion an offenen Walzprofilen und Grobblechen der beteiligten Unternehmen. Die verwendeten Daten decken mehr als 95 % der jährlichen Produktion an offenen Walzprofilen und Grobblechen der bauforumstahl Mitglieder ab.

Für die CFF Formel wurde als Sekundärmaterial ein reiner Sekundär-Baustahl aus den Primärdaten der Sekundärroute (74 %) verwendet. Als Primärmaterial wurde analog ein reiner Primär-Baustahl aus den Primärdaten der Primärroute (26 %) verwendet.

Für den Schrottwert wurde ein spezifischer bauforumstahl „value of scrap“ verwendet.

Es wurden aus den veröffentlichten, aggregierten Datensätzen Module herausgenommen, um eine getrennte Abschätzung der Primär- und Sekundärrouten durchführen zu können. Eine Zurückrechnung der firmenspezifischen Ergebnisse oder Inventare ist nicht möglich. Das Ziel der Studie ist das Recycling ggü. Wiederverwendung im Verhältnis unter gleichen Bedingungen zu vergleichen. Die Aufwände in der Produktion sind nicht Teil der Studie.

Der gesamte Schrotinput der Primärroute aus der EPD wurde mit dem bauforumstahl Schrottwert „Value of Scrap“ abgesättigt um einen reinen theoretischen Primärschrott für die CFF-Formel bereitzustellen (Abbildung-Anhang 1).

3.3.2. Hintergrunddatensätze

Regionale Durchschnittswerte für Brennstoffeinsätze und Strommixe wurden den GaBi 2018 Datenbanken entnommen. Tabelle 3-4 zeigt die wichtigsten Datensätze, die in der Modellierung der Produktsysteme verwendet wurden. Die Dokumentation aller GaBi-Datensätze ist unter <http://www.gabi-software.com/international/support/gabi/gabi-database-2018-lci-documentation/> zu finden.

Tabelle 3-4: Hintergrunddatensätze in der Sachbilanz

	Standort	Datensatz	Daten-anbieter	Referenz-jahr	Proxy?
Elektrizität	DE	DE: Strom-Mix	thinkstep AG	2016	nein
Diesel	EU-28	EU-28: Diesel mix at refinery	thinkstep AG	2016	nein
Dieselgenerator	GLO	Diesel CHP ts	thinkstep AG	2016	ja

	Standort	Datensatz	Daten-anbieter	Referenz-jahr	Proxy?
Dieselveverbrennung	GLO	Diesel combustion	thinkstep AG	2018	ja
Sauerstoff	DE	Oxygen	thinkstep AG	2018	nein
Propan	EU-28	Propane at refinery		2018	nein
Euro 5 Lkw, 34-40t	GLO	Truck-trailer - diesel driven, Euro 6, cargo - 34-40t gross weight / 27t payload capacity	thinkstep AG	2018	no

In Abbildung 3-1 ist das GaBi Modell dargestellt. Daraus können die verschiedenen Module und Prozesse entnommen werden.

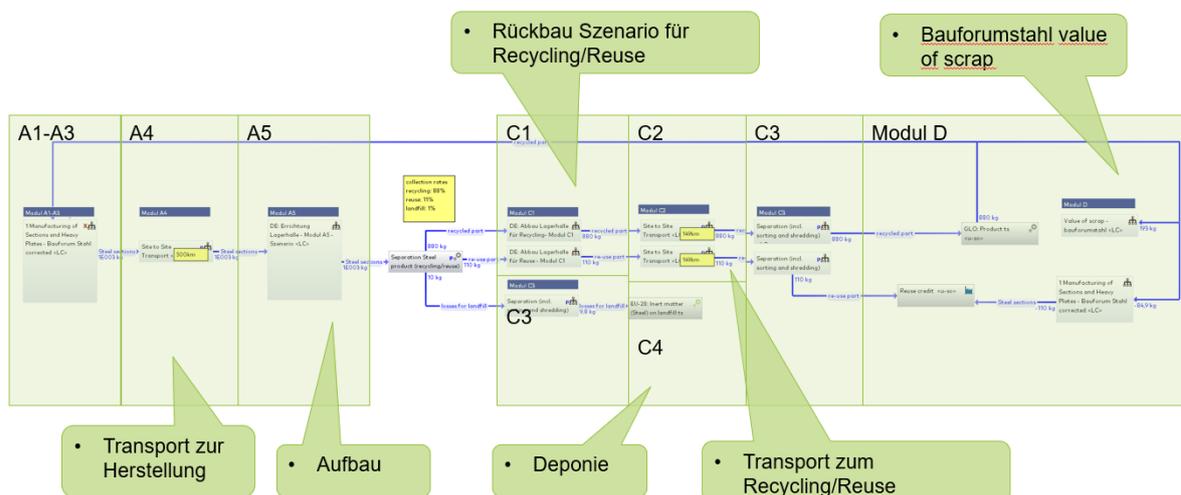


Abbildung 3-1: Ökobilanzmodell – Modul D

4. Wirkungsabschätzungsergebnisse & Interpretation

4.1. Rückbau (Modul C1) Recycling vs. Reuse

In Abbildung 4-1 ist das Treibhauspotential (auch Global Warming Potential, GWP) jeweils für die Aufwendungen des Rückbaus des Stahls für das Recycling sowie die Wiederverwendung dargestellt.

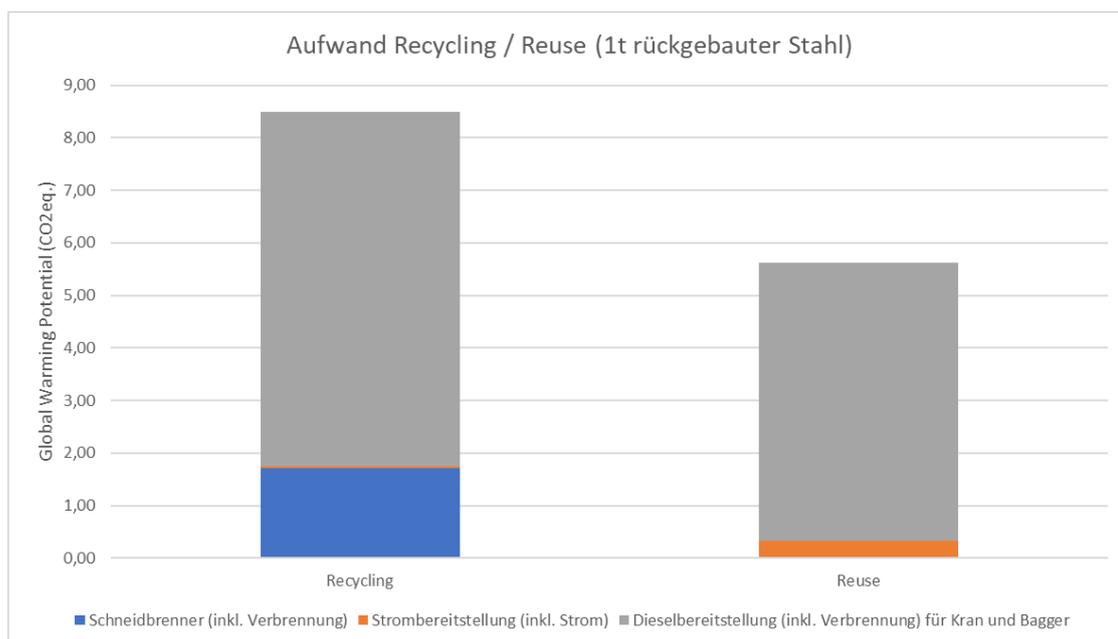


Abbildung 4-1: Aufwand Recycling versus Reuse

Der Aufwand des Rückbaus ist beim Recycling 35 % höher als bei der Wiederverwendung, welches auf den Dieserverbrauch des Baggers und des Schneidbrenners zurückzuführen ist.

Der Schneidbrenner trägt 20 % zu den gesamten Ergebnissen des Recyclingszenarios bei. Wenn dieser wegfallen sollte, beträgt der Unterschied zwischen Recycling und Reuse weiterhin 15 %.

Die Daten für die Darstellung der Szenarien beruhen auf den erhobenen Daten einer real errichteten Stahllagerhalle in Deutschland (siehe 3.1).

4.2. Gesamtaufwand Recycling versus Wiederverwendung

In der folgenden Abbildung ist der gesamte Aufwand des Recyclings gegen den Aufwand der Wiederverwendung dargestellt. Der gesamte Aufwand beinhaltet den Rückbau, das Sortieren und Separieren sowie das Materialrecycling (Aufbereitung des Stahls durch einen Electric Arc Furnace)

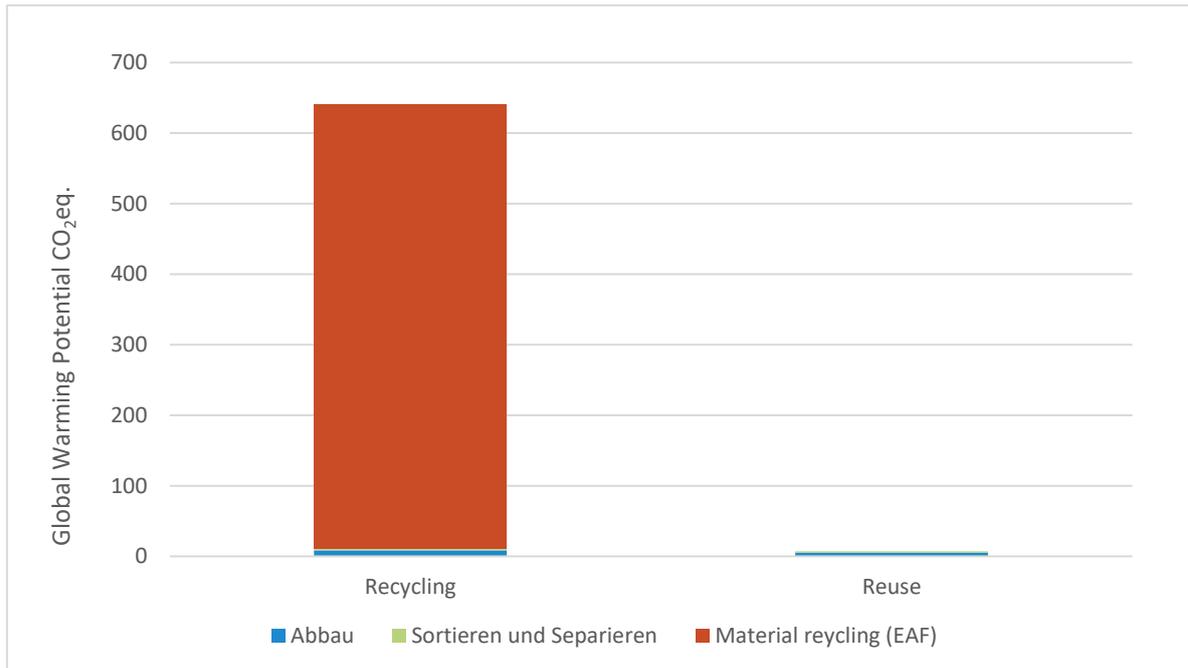


Abbildung 4-2: Gesamtaufwand Recycling versus Wiederverwendung

Das Materialrecycling trägt zu 97 % zum gesamten Treibhauspotential bei, die Aufwendungen für den Rückbau (Modul C1) haben einen sehr geringen Beitrag.

4.3. Ergebnisse nach Verrechnungsmethode „Modul D“

In Abbildung 4-3 sind die gesamten Lebenszyklusergebnisse für das Treibhauspotential nach der Verrechnungsmethode „Modul D“ pro Szenario dargestellt. Weitere Ergebnisse sind tabellarisch dem Anhang am Ende des Dokuments (Anhang A – Ergebnisse) zu entnehmen. Die Beiträge der verschiedenen Module (definiert in Abbildung 2-1) können aus Abbildung 4-3 abgeleitet werden.

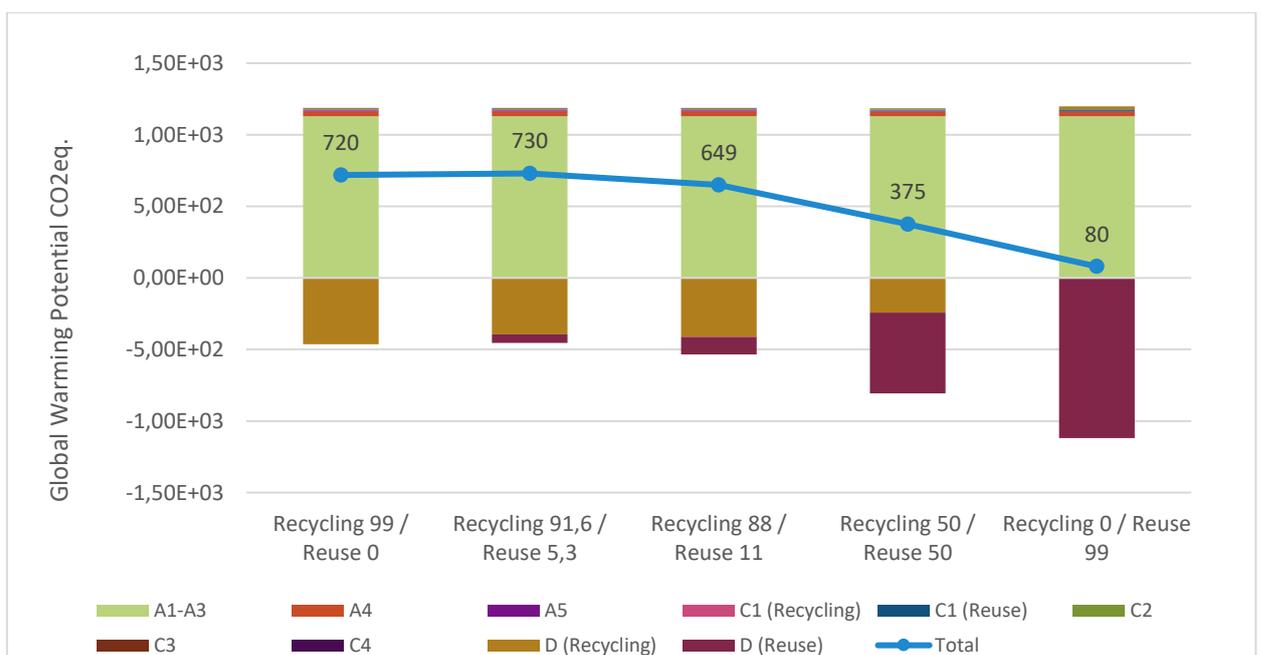


Abbildung 4-3: Treibhauspotential für 1 Tonne Stahl nach „Modul D“-Methode



In Tabelle 4-1 sind die numerischen Beiträge der verschiedenen Module nach EN15804 und pro Szenario dargestellt.

Tabelle 4-1: Treibhauspotential [kg CO₂ eq.] für 1 Tonne Baustahl nach „Modul D“-Methode

Szenario	Total	A1-A3	A4	A5	C1 (Rec.)	C1 (Reu.)	C2	C3	C4	D (Rec.)	D (Reu.)
Rec. 99 / Reuse 0	7,20E+02	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	8,40E+00	0,00E+00	8,84E+00	1,70E+00	1,46E-01	-4,64E+02	0,00E+00
Rec.91,6 / Reu. 5,3	7,30E+02	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	7,77E+00	2,92E-01	8,65E+00	1,70E+00	4,54E-01	-3,94E+02	-5,98E+01
Rec. 88 / Reuse 11	6,49E+02	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	7,47E+00	6,05E-01	8,84E+00	1,70E+00	1,46E-01	-4,11E+02	-1,24E+02
Rec. 50 / Reuse 50	3,75E+02	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	4,24E+00	2,75E+00	8,93E+00	1,70E+00	0,00E+00	-2,43E+02	-5,65E+02
Rec.0 / Reuse 99	7,99E+01	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	0,00E+00	5,45E+00	8,84E+00	1,70E+00	1,46E-01	1,64E+01	-1,12E+03

In Abbildung 4-3 ist zu sehen, wie sich das Treibhauspotential des gesamten Lebenszyklus mit steigendem Wiederverwendungsanteil verringert. Dieses ist grundsätzlich durch die höhere Gutschrift im EoL zurückzuführen. Im Fall des Recyclings wird unter Modul D der Aufwand des Materialaufwandes d.h. das Umschmelzen der Stahlträger nach Abbau in einem Elektrolichtbogenofen berücksichtigt und zu den Materialgutschriften addiert. Im Gegensatz dazu werden bei der Wiederverwendung keine weiteren Aufwände zur Aufbereitung berechnet (neben den Aufwendungen beim Rückbau, welche den direkten Einsatz ermöglichen) und somit wird die komplette Materialgutschrift erteilt. Dennoch denkbare und mögliche Aufwendungen in der Wiederverwendung wurden vernachlässigt, da diese als sehr gering eingestuft werden.

Das Szenario 91,6 % Recycling, 5,3 % Wiederverwendung weist das höchste Ergebnis auf. Dies resultiert aus dem höheren deponierten Anteil (3,1%) und einer damit geringeren Gutschrift durch weniger Gesamtmaterial (nur 96,9 % im Gegensatz zu 99 % / 100 % bei den anderen Fällen).

Bei allen Szenarien tragen die Module A1-A3 sowie die Gutschriften in Modul D am meisten zum Treibhauspotential bei.

4.4. Ergebnisse nach Verrechnungsmethode „PEF“

In Abbildung 4-4 sind die gesamten Lebenszyklusergebnisse für das Treibhauspotential mit der CFF Formel pro Szenario dargestellt. Weitere Ergebnisse sind tabellarisch dem Anhang (Anhang A – Ergebnisse) am Ende dieses Dokuments zu entnehmen. Die Beiträge der verschiedenen Module (definiert in Abbildung 2-1) können aus Abbildung 4-4 abgeleitet werden.

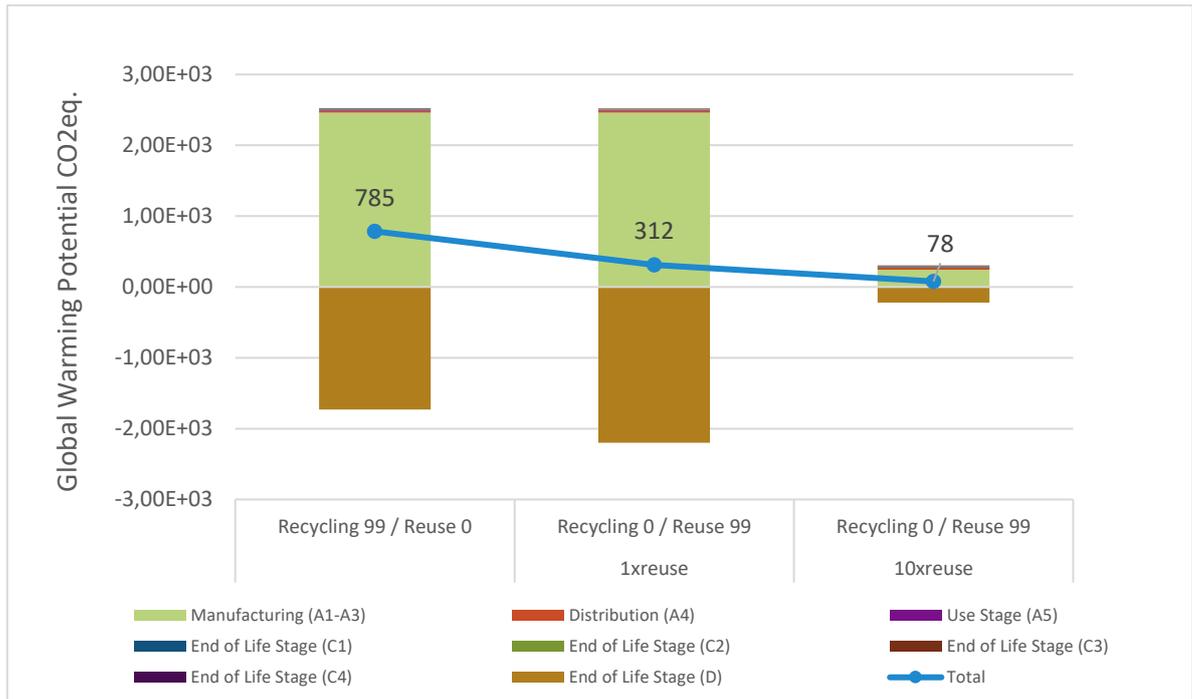


Abbildung 4-4: Treibhauspotential für 1 Tonne Stahl nach CFF Formel

Das Treibhauspotential für die Wiederverwendung (Recycling 0 % / 99 % Reuse, 1x wiederverwendet) ist erheblich geringer als für das Recycling. Dieser Unterschied ist grundsätzlich auf die Gutschrift zurückzuführen. Im Fall des Recyclings wird die Gesamtgutschrift durch das Materialrecycling (Aufwand durch das Aufschmelzen des Stahls im Elektrolichtbogenofen) reduziert, während bei dem Szenario der Wiederverwendung das gesamte Endprodukte ohne Zwischenaufbereitung gutgeschrieben wird.

Der Unterschied beim Treibhauspotential zwischen Recycling und Wiederverwendung erhöht sich weiter, wenn sich die Wiederverwendungsrate, d.h. wie oft ein Produkt im betrachteten Lebenszyklus wiederverwendet wird (siehe 2.3), erhöht. Als Beispiel wurde eine Wiederverwendungsrate von 10 Mal berechnet, damit der signifikante Einfluss der Wiederverwendungsrate deutlich dargestellt werden kann. Das gesamte Treibhauspotential senkt sich damit um 75 %. Diese Verringerung ist einerseits auf den Bedarf der Rohmaterialien und andererseits weiterhin auf die dementsprechend relativ hohen Gutschriften zurückzuführen. In der CFF Formel wird als Basis eine bestimmte Wiederverwendungsrate definiert, in diesem Fall die 1-mal und 10-mal, d.h. eine Wiederverwendungsrate von 10 Mal bedeutet, dass der Bedarf an Rohmaterialien zu 90 % reduziert wird oder umgekehrt beschrieben, nur 10 % der Rohmaterialien erforderlich sind um die Funktionelle Einheit zu erfüllen (siehe 2.3).

4.5. Ergebnisse im Vergleich

In Abbildung 4-5 sind die Szenarien 99 % Recycling (die ersten 2 Balken) für Modul D und PEF sowie 99 % Reuse (3 weitere Balken) für Modul D und PEF mit 1- und 10-maliger Nutzungsrate gegenübergestellt.

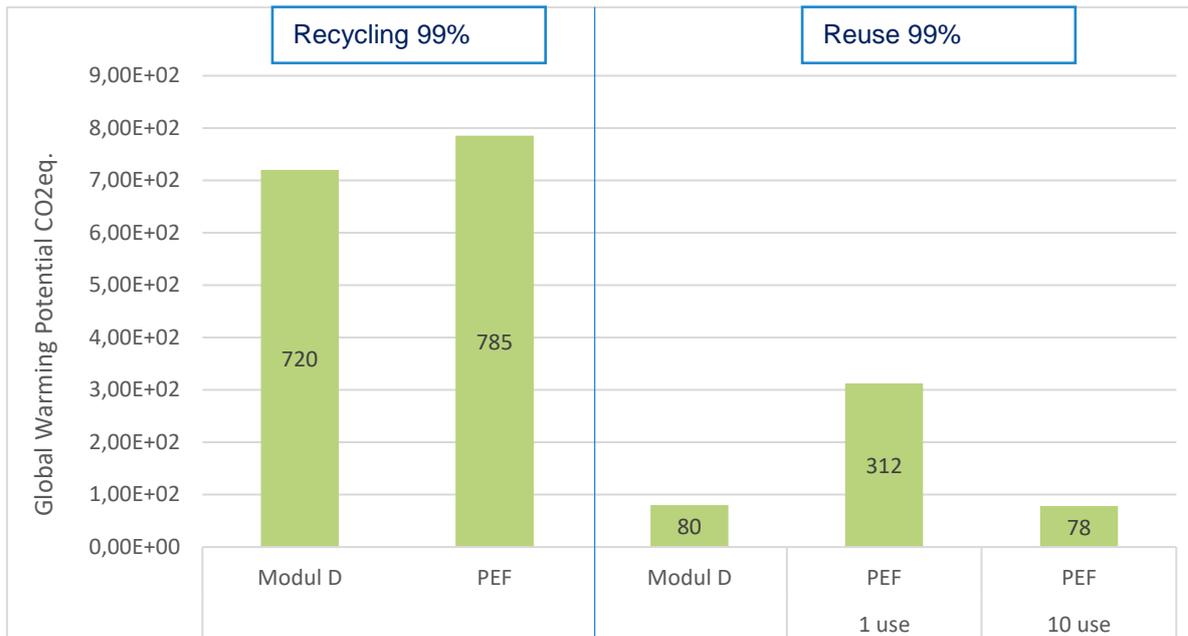


Abbildung 4-5: Ergebnisse für 1 Tonne Stahl – 99% Recycling, 99% Reuse

In der Gegenüberstellung der zwei Verrechnungsmethoden der Szenarien 99 % Recycling und 99 % Wiederverwendung sind die Ergebnisse der Verrechnungsmethode nach PEF höher als nach Modul D. Dies ist auf den höheren Primäranteil (Faktor A) und die dementsprechend geringere Gutschrift in der PEF Methodik zurückzuführen.

Beide Verrechnungsmethoden zeigen jedoch, dass die Wiederverwendung ein deutlich niedrigeres Treibhauspotential als Recycling hat.

4.6. Annahmen und Einschränkungen

- Es wurde angenommen, dass die abgebauten Stahlträger direkt wiederverwendet werden können. Die Aufbereitung der abgebauten Stahlträger wurde als sehr gering bewertet und ist für das Untersuchungsziel nicht relevant.
- Es wurden die PEF Variablen nach „Guidance for the 13 development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs)“ angenommen.
- Es wurden Primärdaten für die Errichtung und den Abbau einer real errichteten Stahllagerhalle in Deutschland herangezogen.

4.7. Schlussfolgerungen, Einschränkungen, und Empfehlungen

- Der Aufwand der Errichtung und des Abbaus (Recycling und Reuse) macht gegenüber Materialbereitstellung und Gutschriften einen sehr geringen Anteil im gesamten Lebenszyklus aus.
- Die Aufwände des Abbaus für das Recycling sind höher als bei der Wiederverwendung, trotz einer erheblich höheren Abbauezeit bei der Wiederverwendung. Dies ist grundsätzlich auf den Dieseleinsatz des Baggers und den Einsatz des Schneidbrenners zurückzuführen. Die reine Dauer der Abbauezeit spiegelt keine ökologische Rolle, nur der absolute Verbrauch über die Zeit ist relevant. Personal- Maschinen- und andere zeitabhängige Kosten werden ökologisch nicht berücksichtigt.



- Je höher der Reuse-Anteil desto geringer ist das Treibhauspotential im gesamten Lebenszyklus (Beitrag zur Dekarbonisierung möglich).
- Die CFF Formel ermöglicht die Angabe einer Wiederverwendungsrate, womit das Gesamtergebnis nochmals reduziert dargestellt werden kann. Dies beruht jedoch lediglich auf dem methodischen Ansatz beider Herangehensweisen, der jeweils für sich betrachtet korrekt ist.
- Die Gesamtergebnisse sind bei der CFF Formel höher als beim Modul D, welches hauptsächlich auf den Einfluss des A-Faktors (Primärmaterialanteil) zurückzuführen ist.



Quellenverzeichnis

- bauforumstahl e.V. (2018, Oktober 25). *Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche*. Retrieved from https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/resource/sources/05a82283-1a9a-493d-999b-3ff6338c90e7/Baustaehle_Offene_Walzprofile_und_Grobbleche.pdf;version=00.01.000:www.bauforumstahl.de
- EN 15804:2012-04. (2012). Sustainability of construction works — Environmental product declarations — Core rules for the product category of construction products. .
- European Commission . (2017, December). PEFCR Guidance document. *Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs)*. version 6.3.
- Guinée, J. B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., . . . Huijbregts, M. (2002). *Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards*. Dordrecht: Kluwer.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Genf, Schweiz: IPCC.
- ISO. (2006). *ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*. Geneva: International Organization for Standardization.
- JRC. (2010). *ILCD Handbook: General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance*. EUR 24708 EN (1st ed.). Luxembourg: Joint Research Centre.
- thinkstep. (2018). *GaBi LCA Database Documentation*. Retrieved from thinkstep AG: <http://www.gabi-software.com/international/support/gabi/gabi-database-2018-lci-documentation/>
- van Oers, L., de Koning, A., Guinée, J. B., & Huppes, G. (2002). *Abiotic resource depletion in LCA*. The Hague: Ministry of Transport, Public Works and Water Management.
- World Steel Association, E. (2013). Methodology to determine the LCI of steel industry coproducts.



Anhang A – Ergebnisse

Tabelle - Anhang 1: Szenario 88% Recycling, 11% Reuse – Modul D

Environmental quantities	Gesamt	A1-A3	A4	A5	C1 (Rec.)	C1 (Reuse)	C2	C3	C4	D (Rec.)	D (Reuse)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb eq.]	4,95E-04	4,38E-04	2,34E-06	4,79E-07	6,47E-07	4,78E-08	6,92E-07	5,05E-07	5,37E-08	1,00E-04	-4,82E-05
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	6,95E+03	1,02E+04	4,08E+02	8,35E+01	1,03E+02	8,33E+00	1,20E+02	1,86E+01	2,04E+00	-2,89E+03	-1,12E+03
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ eq.]	1,74E+00	2,11E+00	1,25E-01	4,90E-02	4,88E-02	4,87E-03	3,67E-02	4,90E-03	8,74E-04	-4,13E-01	-2,33E-01
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate eq.]	2,00E-01	2,19E-01	3,15E-02	1,22E-02	1,22E-02	1,22E-03	9,30E-03	5,39E-04	9,91E-05	-6,19E-02	-2,41E-02
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ eq.]	6,49E+02	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	7,47E+00	6,05E-01	8,84E+00	1,70E+00	1,46E-01	-4,11E+02	-1,24E+02
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11 eq.]	7,60E-12	6,66E-12	4,98E-15	1,02E-15	1,51E-14	1,01E-16	1,47E-15	4,31E-14	8,47E-16	1,61E-12	-7,32E-13
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene eq.]	7,24E-02	3,99E-01	-4,61E-02	5,18E-03	5,31E-03	5,18E-04	-1,36E-02	3,31E-04	6,82E-05	-2,34E-01	-4,39E-02
Primary energy demand from ren. and non ren. resources (net cal. value) [MJ]	9,95E+03	1,30E+04	4,34E+02	8,87E+01	1,11E+02	8,84E+00	1,28E+02	4,12E+01	2,38E+00	-2,43E+03	-1,43E+03

Tabelle - Anhang 2: Szenario 50 % Recycling, 50 % Reuse – Modul D

Environmental quantities	Gesamt	A1-A3	A4	A5	C1 (Rec.)	C1 (Reuse)	C2	C3	C4	D (Rec.)	D (Reuse)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb eq.]	2,83E-04	4,38E-04	2,34E-06	4,79E-07	3,68E-07	2,17E-07	6,99E-07	5,05E-07		5,93E-05	-2,19E-04
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	4,13E+03	1,02E+04	4,08E+02	8,35E+01	5,85E+01	3,78E+01	1,22E+02	1,86E+01		-1,71E+03	-5,11E+03
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ eq.]	1,08E+00	2,11E+00	1,25E-01	4,90E-02	2,77E-02	2,21E-02	3,71E-02	4,90E-03		-2,44E-01	-1,06E+00
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate eq.]	1,39E-01	2,19E-01	3,15E-02	1,22E-02	6,95E-03	5,54E-03	9,40E-03	5,39E-04		-3,66E-02	-1,10E-01
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ eq.]	3,75E+02	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	4,24E+00	2,75E+00	8,93E+00	1,70E+00		-2,43E+02	-5,65E+02
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11 eq.]	4,34E-12	6,66E-12	4,98E-15	1,02E-15	8,57E-15	4,61E-16	1,48E-15	4,31E-14		9,50E-13	-3,33E-12
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene eq.]	1,20E-02	3,99E-01	-4,61E-02	5,18E-03	3,02E-03	2,35E-03	-1,37E-02	3,31E-04		-1,38E-01	-2,00E-01
Primary energy demand from ren. and non ren. resources (net cal. value) [MJ]	5,86E+03	1,30E+04	4,34E+02	8,87E+01	6,33E+01	4,02E+01	1,29E+02	4,12E+01		-1,43E+03	-6,49E+03



Tabelle - Anhang 3: Szenario 0 % Recycling, 99 % Reuse – Modul D

Environmental quantities	Gesamt	A1-A3	A4	A5	C1 (Rec.)	C1 (Reuse)	C2	C3	C4	D (Rec.)	D (Reuse)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb eq.]	4,88E-06	4,38E-04	2,34E-06	4,79E-07		4,30E-07	6,92E-07	5,05E-07	5,37E-08	-4,01E-06	-4,34E-04
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	9,26E+02	1,02E+04	4,08E+02	8,35E+01		7,49E+01	1,20E+02	1,86E+01	2,04E+00	1,16E+02	-1,01E+04
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ eq.]	2,98E-01	2,11E+00	1,25E-01	4,90E-02		4,38E-02	3,67E-02	4,90E-03	8,74E-04	1,65E-02	-2,09E+00
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate eq.]	6,93E-02	2,19E-01	3,15E-02	1,22E-02		1,10E-02	9,30E-03	5,39E-04	9,91E-05	2,48E-03	-2,17E-01
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ eq.]	7,99E+01	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00		5,45E+00	8,84E+00	1,70E+00	1,46E-01	1,64E+01	-1,12E+03
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11 eq.]	5,46E-14	6,66E-12	4,98E-15	1,02E-15		9,13E-16	1,47E-15	4,31E-14	8,47E-16	-6,43E-14	-6,59E-12
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene eq.]	-3,61E-02	3,99E-01	-4,61E-02	5,18E-03		4,66E-03	-1,36E-02	3,31E-04	6,82E-05	9,37E-03	-3,95E-01
Primary energy demand from ren. and non ren. resources (net cal. value) [MJ]	1,00E+03	1,30E+04	4,34E+02	8,87E+01		7,96E+01	1,28E+02	4,12E+01	2,38E+00	9,71E+01	-1,29E+04

Tabelle - Anhang 4: Szenario 91,6 % Recycling, 5,3 % Reuse - Modul D

Environmental quantities	Gesamt	A1-A3	A4	A5	C1 (Rec.)	C1 (Reuse)	C2	C3	C4	D (Rec.)	D (Reuse)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb eq.]	5,16E-04	4,38E-04	2,34E-06	4,79E-07	6,74E-07	2,30E-08	6,77E-07	5,05E-07	1,66E-07	9,61E-05	-2,32E-05
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	7,65E+03	1,02E+04	4,08E+02	8,35E+01	1,07E+02	4,01E+00	1,18E+02	1,86E+01	6,33E+00	-2,77E+03	-5,42E+02
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ eq.]	1,88E+00	2,11E+00	1,25E-01	4,90E-02	5,08E-02	2,34E-03	3,60E-02	4,90E-03	2,71E-03	-3,96E-01	-1,12E-01
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate eq.]	2,15E-01	2,19E-01	3,15E-02	1,22E-02	1,27E-02	5,87E-04	9,11E-03	5,39E-04	3,07E-04	-5,93E-02	-1,16E-02
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ eq.]	7,30E+02	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	7,77E+00	2,92E-01	8,65E+00	1,70E+00	4,54E-01	-3,94E+02	-5,98E+01
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11 eq.]	7,91E-12	6,66E-12	4,98E-15	1,02E-15	1,57E-14	4,89E-17	1,44E-15	4,31E-14	2,63E-15	1,54E-12	-3,53E-13
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene eq.]	1,05E-01	3,99E-01	-4,61E-02	5,18E-03	5,53E-03	2,50E-04	-1,33E-02	3,31E-04	2,11E-04	-2,25E-01	-2,11E-02
Primary energy demand from ren. and non ren. resources (net cal. value) [MJ]	1,08E+04	1,30E+04	4,34E+02	8,87E+01	1,16E+02	4,26E+00	1,25E+02	4,12E+01	7,38E+00	-2,33E+03	-6,88E+02



Tabelle - Anhang 5: Szenario 99 % Recycling, 0 % Reuse - Modul D

Environmental quantities	Gesamt	A1-A3	A4	A5	C1 (Rec.)	C1 (Reuse)	C2	C3	C4	D (Rec.)	D (Reuse)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb eq.]	5,56E-04	4,38E-04	2,34E-06	4,79E-07	7,28E-07		6,92E-07	5,05E-07	5,37E-08	1,13E-04	
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	7,70E+03	1,02E+04	4,08E+02	8,35E+01	1,16E+02		1,20E+02	1,86E+01	2,04E+00	-3,27E+03	
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ eq.]	1,92E+00	2,11E+00	1,25E-01	4,90E-02	5,49E-02		3,67E-02	4,90E-03	8,74E-04	-4,67E-01	
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate eq.]	2,17E-01	2,19E-01	3,15E-02	1,22E-02	1,38E-02		9,30E-03	5,39E-04	9,91E-05	-7,00E-02	
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ eq.]	7,20E+02	1,13E+03	3,00E+01	6,07E+00	8,40E+00		8,84E+00	1,70E+00	1,46E-01	-4,64E+02	
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11 eq.]	8,54E-12	6,66E-12	4,98E-15	1,02E-15	1,70E-14		1,47E-15	4,31E-14	8,47E-16	1,82E-12	
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene eq.]	8,60E-02	3,99E-01	-4,61E-02	5,18E-03	5,97E-03		-1,36E-02	3,31E-04	6,82E-05	-2,65E-01	
Primary energy demand from ren. and non ren. resources (net cal. value) [MJ]	1,11E+04	1,30E+04	4,34E+02	8,87E+01	1,25E+02		1,28E+02	4,12E+01	2,38E+00	-2,74E+03	

Tabelle - Anhang 6: Szenario 99 % Recycling, 0 % Reuse – CFF Formula

Environmental quantities	Gesamt	Manufacturing (A1-A3)	Distribution (Modul A4)	Use stage (Modul A5)	EoL (Modul C1)	EoL (Modul C2)	EoL (Modul C3)	EoL (Modul C4)	EoL (Modul D)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb eq.]	5,41E-04	1,14E-04	2,34E-06	4,79E-07	7,35E-07	6,99E-07	5,05E-07	5,48E-08	4,22E-04
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	8,05E+03	19500	408	83,5	117	122	18,6	2,08	-12200
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ eq.]	1,98E+00	3,45E+00	1,25E-01	4,90E-02	5,54E-02	3,71E-02	4,90E-03	8,92E-04	-1,74E+00
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate eq.]	2,26E-01	4,19E-01	3,15E-02	1,22E-02	1,39E-02	9,40E-03	5,39E-04	1,01E-04	-2,61E-01
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ eq.]	7,85E+02	2,46E+02	3,00E+01	6,07E+00	5,50E+00	8,93E+00	1,70E+00	1,49E-01	-2,20E+02
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11 eq.]	8,31E-12	1,47E-12	4,98E-15	1,02E-15	1,71E-14	1,48E-15	4,31E-14	8,64E-16	6,77E-12
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene eq.]	1,26E-01	1,16E+00	-4,61E-02	5,18E-03	6,03E-03	-1,37E-02	3,31E-04	6,96E-05	-9,86E-01
Primary energy demand from ren. and non ren. resources (net cal. value) [MJ]	1,14E+04	2,08E+04	4,34E+02	8,87E+01	1,27E+02	1,29E+02	4,12E+01	2,43E+00	-1,02E+04



Tabelle - Anhang 7: Szenario 99 % Reuse, 0 % Recycling – CFF Formula 1 x reuse rate

Environmental quantities	Gesamt	Manufacturing (A1-A3)	Distribution (Modul A4)	Use stage (Modul A5)	EoL (Modul C1)	EoL (Modul C2)	EoL (Modul C3)	EoL (Modul C4)	EoL (Modul D)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb eq.]	8,95E-05	1,14E-04	2,34E-06	4,79E-07	4,35E-07	6,99E-07	5,05E-07	5,48E-08	-2,94E-05
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	3,01E+03	1,95E+04	4,08E+02	8,35E+01	7,57E+01	1,22E+02	1,86E+01	2,08E+00	-1,72E+04
Acidification Potential (AP) [kg SO2 eq.]	7,26E-01	3,45E+00	1,25E-01	4,90E-02	4,42E-02	3,71E-02	4,90E-03	8,92E-04	-2,98E+00
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate eq.]	1,14E-01	4,19E-01	3,15E-02	1,22E-02	1,11E-02	9,40E-03	5,39E-04	1,01E-04	-3,70E-01
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ eq.]	3,12E+02	2,46E+03	3,00E+01	6,07E+00	5,50E+00	8,93E+00	1,70E+00	1,49E-01	-2,20E+03
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11 eq.]	1,34E-12	1,47E-12	4,98E-15	1,02E-15	9,22E-16	1,48E-15	4,31E-14	8,64E-16	-1,79E-13
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene eq.]	4,77E-02	1,16E+00	-4,61E-02	5,18E-03	4,71E-03	-1,37E-02	3,31E-04	6,96E-05	-1,06E+00
Primary energy demand from ren. and non ren. resources (net cal. value) [MJ]	3,62E+03	2,08E+04	4,34E+02	8,87E+01	8,04E+01	1,29E+02	4,12E+01	2,43E+00	-1,80E+04

Tabelle - Anhang 8: Szenario 99 % Reuse, 0 % Recycling – CFF Formula 10 x reuse rate

Environmental quantities	Gesamt	Manufacturing (A1-A3)	Distribution (Modul A4)	Use stage (Modul A5)	EoL (Modul C1)	EoL (Modul C2)	EoL (Modul C3)	EoL (Modul C4)	EoL (Modul D)
Abiotic Depletion (ADP elements) [kg Sb eq.]	1,30E-05	1,14E-05	2,34E-06	4,79E-07	4,35E-07	6,99E-07	5,05E-07	5,48E-08	-2,94E-06
Abiotic Depletion (ADP fossil) [MJ]	9,40E+02	1,95E+03	4,08E+02	8,35E+01	7,57E+01	1,22E+02	1,86E+01	2,08E+00	-1,72E+03
Acidification Potential (AP) [kg SO2 eq.]	0,307	0,345	0,125	0,049	0,0442	0,0371	0,0049	0,000892	-0,298
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate eq.]	6,98E-02	4,19E-02	3,15E-02	1,22E-02	1,11E-02	9,40E-03	5,39E-04	1,01E-04	-3,70E-02
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ eq.]	7,83E+01	2,46E+02	3,00E+01	6,07E+00	5,50E+00	8,93E+00	1,70E+00	1,49E-01	-2,20E+02
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11 eq.]	1,81E-13	1,47E-13	4,98E-15	1,02E-15	9,22E-16	1,48E-15	4,31E-14	8,64E-16	-1,79E-14
Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene eq.]	-3,98E-02	1,16E-01	-4,61E-02	5,18E-03	4,71E-03	-1,37E-02	3,31E-04	6,96E-05	-1,06E-01
Primary energy demand from ren. and non ren. resources (net cal. value) [MJ]	1,06E+03	2,08E+03	4,34E+02	8,87E+01	8,04E+01	1,29E+02	4,12E+01	2,43E+00	-1,80E+03

Anhang B – GaBi Model

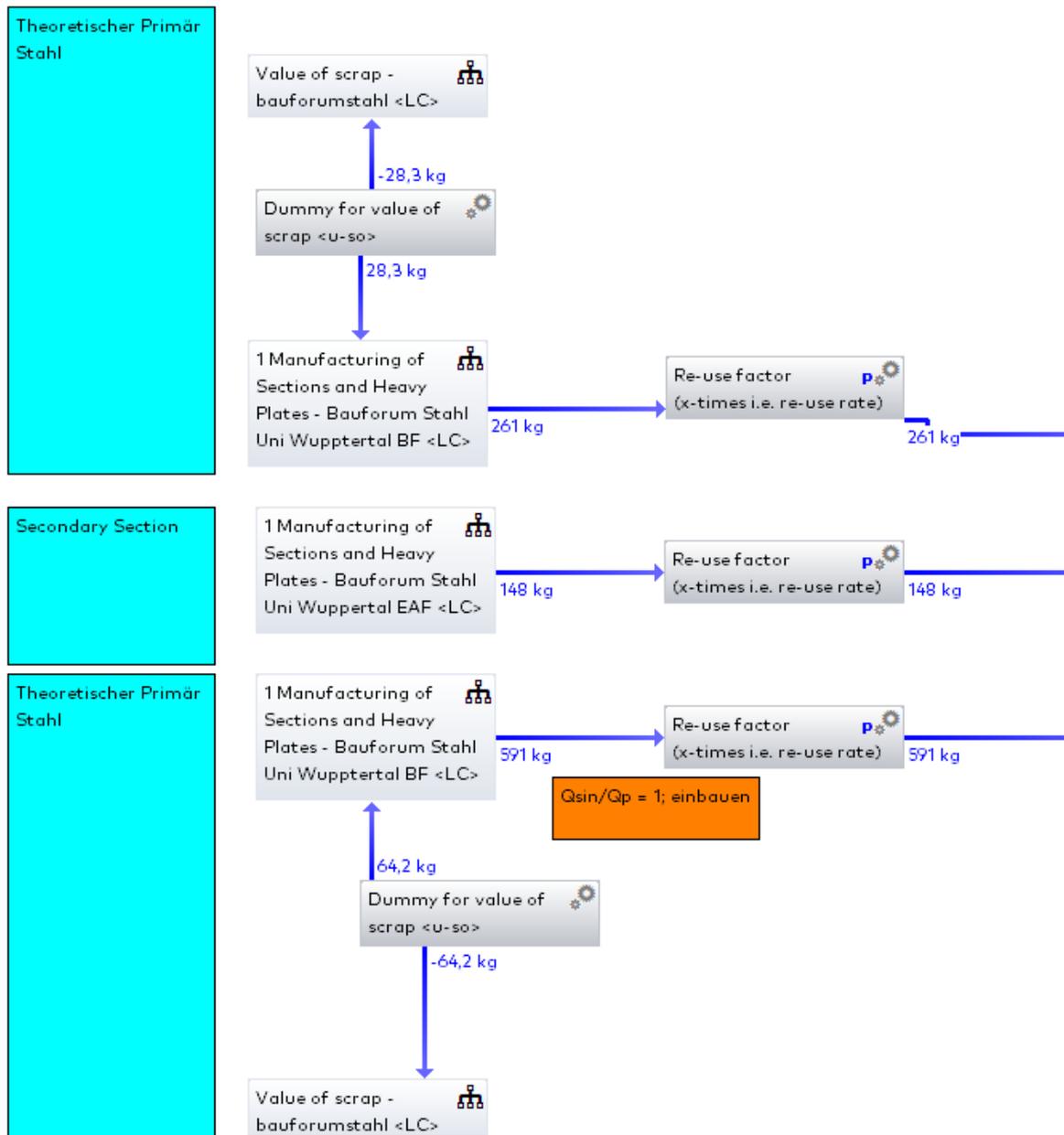


Abbildung-Anhang 1: Theoretischer Primärstahl, Sekundärstahl