



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

**Erfassung von
Nachhaltigkeitskennzahlen für die
Teilwertschöpfungskette
– Errichtung und Rückbau –
im Stahlbau**

**Dissertation
zur Erlangung eines Doktorgrades
(Dr.-Ing.)**

in der
Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen
der
Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von
Raban W. D. Siebers
aus Goch

Wuppertal 2020

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20210330-131931-6

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20210330-131931-6>]

DOI: 10.25926/7qn2-qy81

[<https://doi.org/10.25926/7qn2-qy81>]

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand größtenteils während meiner Tätigkeit als Referent und Leiter Baubetrieb und Nachhaltigkeit bei bauforumstahl sowie meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Baubetrieb und Baumanagement der Universität Duisburg-Essen.

Mein besonderer Dank für die Unterstützung gilt meinem Doktorvater Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus, der mich als externen Promovenden wissenschaftlich betreute. Bei der Prüfungskommission möchte ich mich ebenso bedanken. Hier sind der Vorsitzende Univ. Prof. Dr.-Ing. Bernd Naujoks und Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Kuhnhenne sowie Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Anders für die Zweit- und Drittbegutachtung zu nennen.

Außerdem gilt mein Dank den zahlreichen Praxispartnern in Form der Stahlbauunternehmen, die mir Projekt- und Baugerätedaten zur Verfügung gestellt haben. Ich möchte auch Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Malkwitz hervorheben, der mir während meiner Zeit an der Universität Duisburg-Essen ebenfalls neue Anregungen und Impulse für meine Arbeit gegeben hat. Dr. Rolf Heddrich danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts und Dr. Bernhard Hauke für die Ermöglichung der Promotion während seiner Zeit als Geschäftsführer bei bauforumstahl.

Das größte Dankeschön gilt meiner Familie. Ohne die großartige Unterstützung meiner Frau Melanie Siebers sowie meiner Eltern und Geschwister wäre die Bearbeitung und der Abschluss dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Zusammenfassung

Erfassung von Nachhaltigkeitskennzahlen für die Teilwertschöpfungskette – Errichtung und Rückbau – im Stahlbau

Diese Forschungsarbeit liefert sowohl ökobilanzielle Ergebnisse als auch Verbrauchs- und Aufwandswerte für die Errichtung, den Rückbau und Abbruch von Stahlkonstruktionen. Als Exkurs in den Bereich der Stahlbaufertigung werden zusätzlich Ergebnisse für die Schweißtechnik präsentiert. Diese bisher unerforschten Daten können für Umwelt-Produktdeklarationen (EPD) von Baustahlprodukten nach DIN EN 15804+A2 und für Ökobilanzen auf Gebäudeebene nach DIN EN 15978 verwendet werden. Eine umfassende Einführung in das Thema „Nachhaltiges Bauen“, die Besonderheiten des Stahlbaus, der aktuelle Stand der Normung sowie statistische Auswertungen und Marktanalysen bilden die Grundlage der Forschung. Auf dieser Basis wird eine Projektdatenbank mit umfassenden Informationen zu Errichtung und den potenziellen Rückbau und/oder Abbruch von real gebauten Stahlkonstruktionen erstellt. Mithilfe neuer Datenerhebungen zu Aufwandswerten von Stahlbauarbeiten wird die Aussagekraft der Datenbank verifiziert. Die Projektdatenbank wird anschließend ökobilanziell ausgewertet. Besonderheiten und typische Vorgänge sowie Umweltdaten für einzelne Geräte im Stahlbau werden elaboriert und dargestellt. Die Darstellung der Gesamtergebnisse für Errichtung, Rückbau und Abbruch erfolgt für eine Tonne Baustahl. Als Ergebnisse dieser Forschungsarbeit werden neben den für den Markt in Deutschland gültigen Kennzahlen auch nach Industrie- und Hallenbau sowie Geschossbau getrennt gültige Daten zur Verfügung gestellt. Zusätzlich sind die nötigen Sachbilanzdaten wie Strom- und Treibstoffverbrauch pro Tonne Baustahl aufgeführt. So können aus den Ergebnissen auch individuelle Ökobilanzen für spezielle Anwendungsfälle oder abgestimmt auf länderspezifische Gegebenheiten erstellt werden. Die aus den Forschungsergebnissen ersichtlichen Unterschiede bei Errichtung, Rückbau und Abbruch werden erläutert und begründet. Es zeigt sich, dass der Anteil von Errichtung und Rückbau zusammen im Vergleich zur Baustahlherstellung bei Treibhauspotenzial (GWP) mit 2,7 % und Primärenergieverbrauch (PET) mit 3,4 % eher gering ist, sie aber auch einzeln nicht unter das Abschneidekriterium der geltenden Normen fallen. Bei EPDs nach DIN EN 15804+A2 werden diese Angaben somit spätestens ab Oktober 2022 zur Pflicht. Bei anderen Umweltwirkungskategorien ist der Einfluss von Errichtung, Rückbau und Abbruch mit bis zu 26 % deutlich höher. Durch die Mitarbeit des Autors in CEN/TC 135 WG 17 “Product category rules complementary to EN 15804 for Steel and Aluminium structural products for use in construction works” ist der direkte Weg der Forschungsergebnisse in die Normung gegeben. Mit drei typischen Anwendungsbeispielen wird die Anwendung der neuen Kennzahlen gezeigt und die entstehenden Umweltwirkungen durch Vergleiche veranschaulicht.

Abstract

Development of sustainability key figures for the value chain stages – erection and dismantling – in steel construction

This research provides life cycle assessment results, as well as consumption and effort values, for the construction, dismantling and demolition of steel structures. As a brief digression into the field of steel manufacturing results for welding processes are presented. These previously unresearched datasets can be used for environmental product declarations (EPD) of structural steel products according to EN 15804+A2 and for life cycle assessments at building level according to EN 15978. A comprehensive introduction to the topic of sustainable building, the features of steel construction, the status of standardization as well as statistical evaluations and market analyses form the base of this work. On this basis a project database is created with varied information on the construction, potential dismantling or demolition of real built steel structures. The value of this database is verified by a survey on the effort values for steel construction processes. The project database is then used for a life cycle assessment. Characteristics and typical processes as well as environmental data for individual construction equipment are elaborated and displayed. The overall results for construction, dismantling and demolition are presented for one ton of structural steel. In addition to key figures valid for the market in Germany this research provides separate data for industry and single-storey constructions as well as multi-storey buildings. Furthermore, the necessary inventory data such as electricity and fuel consumption per ton of structural steel are listed. Thus, individual life cycle assessments for special applications or country-specific conditions can also be calculated from the presented results. The evident differences resulting from construction, dismantling and demolition are explained. The elaborated datasets show that the share of construction, dismantling and demolition in comparison to the production phase of structural steel is rather low. For global warming potential (GWP) it is 2,7 % and for primary energy consumption (PET) it is 3,4 %. But even individually the results are higher than the 1 % cut-off criterion of the valid standards. For other environmental impact categories, the influence of construction, dismantling and demolition, is significantly higher at up to 26 %. Thus, for EPDs according to EN 15804+A2, this information will be mandatory from October 2022. The participation of the author in CEN/TC 135 WG 17 “Product category rules complementary to EN 15804 for Steel and Aluminum structural products for use in construction works” provides the direct input of the results into the standardization. The benefits of the new figures are shown in three typical application examples and the results are exemplified.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Problemstellung.....	2
1.2	Zielsetzung.....	3
1.3	Vorgehensweise	4
2	Grundlagen - Nachhaltigkeit im Bauwesen.....	8
2.1	Der Einfluss des Bausektors.....	8
2.2	Die Ziele des nachhaltigen Bauens	9
2.2.1	Ökologische Ziele.....	9
2.2.2	Soziale Faktoren	10
2.2.3	Ökonomische Ziele	11
2.3	Normativer Hintergrund.....	12
2.3.1	Modulare Lebenszyklusstadien	15
2.3.2	Funktionales Äquivalent.....	16
2.3.3	Szenarien für die deklarierten Module	16
2.3.4	Auswahl der Daten	16
2.3.5	Kriterien für eine Nichtbetrachtung von Inputs und Outputs	17
2.4	Rechtlicher Hintergrund	17
2.4.1	EU-Bauproduktenverordnung.....	17
2.4.2	Abfallvermeidung & Recycling	18
2.5	Ökobilanz und funktionelle Einheit	22
2.6	Umwelt-Produktdeklarationen.....	25
3	Voruntersuchungen	26
3.1	Weltweit verfügbare EPDs für Baustahl	26
3.2	Stahlbau in Deutschland.....	32
3.3	Jahrestonnagen von Baustahl in Deutschland	35
4	Projektdatenbank.....	41
4.1	Eingeschossige Industrie- und Hallengebäude.....	42
4.1.1	Projekt E1 – Tankstellendach als Kragarm	42
4.1.2	Projekt E2 – Industriehalle in Rosenfeld	43
4.1.3	Projekt E3 – Lagerhalle in Krefeld	44
4.1.4	Projekt E4 – Industriehalle Kreuztal	45

4.1.5	Projekt E5 – Industriehalle in Görwiel	46
4.1.6	Projekt E6 – Produktionshalle Haller	47
4.1.7	Projekt E7 – Dachkonstruktion auf Stahlbetonstützen.....	48
4.1.8	Projekt E8 – Industriehalle Augsburg.....	49
4.1.9	Projekt E9 – Industriehalle C&P	50
4.2	Geschossbauten/Parkhäuser	51
4.2.1	Projekt M1 – DHL Parkhaus in Dorsten.....	51
4.2.2	Projekt M2 – Phillips Parkhaus in Hamburg.....	52
4.2.3	Projekt M3 – Parkhaus Helios Duisburg.....	53
4.2.4	Projekt M4 – Parkhaus TU Darmstadt	54
4.2.5	Projekt M5 – Parkhaus Hofaue in Wuppertal.....	55
4.2.6	Projekt M6 – Parkhaus IDR Düsseldorf	56
4.2.7	Projekt M7 – Parkhaus BER.....	57
4.3	Projektdatenbank Zusammenfassung.....	58
4.4	Verifikation und Repräsentativität der Projektdatenbank	64
5	Ökobilanz	72
5.1	Definition Ziel und Untersuchungsrahmen	72
5.2	Hintergrunddatenbank.....	73
5.3	Geräte für Errichtung, Abbruch und Rückbau.....	75
5.3.1	Ermittlung von Dieserverbrauchsdaten	75
5.3.2	Turmdrehkrane	78
5.3.3	Autokrane.....	79
5.3.4	Raupen/Kettenkrane.....	81
5.3.5	Ladekrane.....	82
5.3.6	Teleskoplader	83
5.3.7	Hubarbeitsbühnen	84
5.3.8	Bagger	84
5.3.9	Kleingeräte	86
5.4	Auswertung der Projektdatenbank und Sachbilanz.....	90
5.4.1	Errichtung.....	90
5.4.2	Abbruch.....	92
5.4.3	Rückbau.....	96
5.5	Wirkungsabschätzung	98

5.5.1	Errichtung	99
5.5.2	Abbruch	100
5.5.3	Rückbau	102
5.6	Auswertung und Ergebnisdarstellung der Ökobilanz	104
6	Exkurs Fertigung: Ökobilanzierung des Schweißprozesses	107
6.1	Versuchsaufbau	108
6.2	Ergebnisse - Schweißtechnik	109
7	Anwendungsbeispiele	111
7.1	Halle	111
7.2	Dreigeschossiges Bürogebäude	117
7.3	Sechsgeschossiges Bürogebäude	120
7.4	Anwendungsbeispiele Zusammenfassung	123
8	Diskussion der Ergebnisse der Forschungsarbeit	124
8.1	Vergleich mit anderen verfügbaren Daten	124
8.2	Kritische Betrachtung und Schwierigkeiten bei der Erarbeitung	126
8.3	Fazit und Ausblick	127
9	Literaturverzeichnis	131
10	Anhang	I
I.	Anhang – Hintergrunddaten der eingeschossigen Stahlbauprojekte	I
II.	Anhang – Hintergrunddaten der mehrgeschossigen Stahlbauprojekte	XXXVIII
III.	Anhang – Ökobilanzergebnisse detailliert	LXXII
IV.	Anhang – Sachbilanz und Wirkungsabschätzung – tabellarisch	LXXXII
V.	Anhang – Ökobilanzergebnisse - Zusammenfassung	LXXXIV
VI.	Anhang – Sachbilanzergebnisse - Zusammenfassung	LXXXIX

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1.1 LEBENSZYKLUSSTADIEN VON GEBÄUDEN UND BAUPRODUKTEN GEMÄß DIN EN 15804+A2 UND DIN EN 15978 FÜR NACHHALTIGE BAUWERKE ; ROT DIE IN DIESER FORSCHUNGSARBEIT BETRACHTETEN MODULE, GRÜN DIE BEREITS VORHANDENEN DATEN	1
ABBILDUNG 1.2 GRAFISCHE DARSTELLUNG DER VORGEHENSWEISE	6
ABBILDUNG 2.1 DIE DREI DIMENSIONEN DER NACHHALTIGKEIT	8
ABBILDUNG 2.2 NACHHALTIGE GEBÄUDE MÜSSEN HOHE ANFORDERUNGEN AN IHRE ÖKOLOGISCHE, GESELLSCHAFTLICHE UND ÖKONOMISCHE QUALITÄT ERFÜLLEN.	12
ABBILDUNG 2.3 LEBENSZYKLUSSTADIEN VON GEBÄUDEN UND BAUPRODUKTEN GEMÄß DIN EN 15804+A2 UND DIN EN 15978 FÜR NACHHALTIGE BAUWERKE.....	16
ABBILDUNG 3.1 ANTEIL DER GEBÄUDE MIT STAHL ALS ÜBERWIEGEND VERWENDETEN BAUSTOFF NACH BRI (DURCHSCHNITT NEUBAUGENEHMIGUNGEN DEUTSCHLAND DER JAHRE 2015 - 2017).....	33
ABBILDUNG 3.2 ANTEIL DER GEBÄUDE MIT STAHL ALS ÜBERWIEGEND VERWENDETEN BAUSTOFF NACH BRI (DURCHSCHNITT BAUFERTIGSTELLUNGEN DEUTSCHLAND DER JAHRE 2015 - 2017).....	33
ABBILDUNG 3.3 VERTEILUNG DER GEBÄUDEARTEN MIT STAHL ALS ÜBERWIEGEND VERWENDETEN BAUSTOFF IM BEREICH ANTRÄGE VON NICHTWOHN- GEBÄUDEN UND WOHN- GEBÄUDEN (DURCHSCHNITT NEUBAU DER JAHRE 2015 - 2017); BLAU GEKENNZEICHNET SIND GEBÄUDEARTEN, DIE DURCH IHRE GERINGE BEDEUTUNG FÜR DEN STAHLBAU BEI DER ERSTELLUNG DER PROJEKTDATENBANK NICHT BERÜCKSICHTIGT WERDEN MÜSSEN.....	34
ABBILDUNG 3.4 VERTEILUNG DER GEBÄUDEARTEN MIT STAHL ALS ÜBERWIEGEND VERWENDETEN BAUSTOFF IM BEREICH FERTIGSTELLUNG VON NICHTWOHN- GEBÄUDEN UND WOHN- GEBÄUDEN (DURCHSCHNITT DER JAHRE 2015 - 2017); BLAU GEKENNZEICHNET SIND GEBÄUDEARTEN, DIE DURCH IHREN GERINGE BEDEUTUNG FÜR DEN STAHLBAU BEI DER ERSTELLUNG DER PROJEKTDATENBANK NICHT BERÜCKSICHTIGT WERDEN MÜSSEN.....	35
ABBILDUNG 4.1 TANKSTELLENDACH ALS KRAGARM	42
ABBILDUNG 4.2 INDUSTRIEHALLE IN ROSENFELD.....	43
ABBILDUNG 4.3 LAGERHALLE IN KREFELD.....	44
ABBILDUNG 4.4 INDUSTRIEHALLE SINNER INDUSTRIEBAU	45
ABBILDUNG 4.5 INDUSTRIEHALLE IN GÖRWIEL	46
ABBILDUNG 4.6 PRODUKTIONSHALLE HALLER	47
ABBILDUNG 4.7 DACHKONSTRUKTION AUF STAHLBETONSTÜTZEN	48
ABBILDUNG 4.8 INDUSTRIEHALLE AUGSBURG WÄHREND DER ERRICHTUNG.....	49
ABBILDUNG 4.9 INDUSTRIEHALLE C&P.....	50
ABBILDUNG 4.10 DHL PARKHAUS IN DORSTEN.....	51
ABBILDUNG 4.11 PHILLIPS PARKHAUS IN HAMBURG	52
ABBILDUNG 4.12 PARKHAUS HELIOS DUISBURG IN SPLIT-LEVEL BAUWEISE	53
ABBILDUNG 4.13 PARKHAUS TU DARMSTADT	54
ABBILDUNG 4.14 PARKHAUS HOFAUE IN WUPPERTAL MIT VOLLGESCHOSSRAMPEN	55
ABBILDUNG 4.15 PARKHAUS IDR DÜSSELDORF.....	56
ABBILDUNG 4.16 SÜDANSICHT (OBEN) UND WESTANSICHT EINES DER PARKHÄUSER FLUGHAFEN BERLIN	57
ABBILDUNG 4.17 UNTERSCHIED BEIM GERÄTEEINSATZ FÜR DIE ERRICHTUNG DER STAHLKONSTRUKTIONEN	58
ABBILDUNG 4.18 VERGLEICH DER VERTEILUNGEN DER AUFWANDSWERTE FÜR HALLEN; MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND FEHLER- GRENZEN FÜR EIN KONFIDENZNIVEAU VON 95 % SIND ZUR VERDEUTLICHUNG EINGEZEICHNET	70
ABBILDUNG 4.19 VERGLEICH DER VERTEILUNGEN DER AUFWANDSWERTE FÜR GESCHOSSBAUTEN; MITTELWERTE, STANDARDABWEICHUNGEN UND FEHLER- GRENZEN FÜR EIN KONFIDENZNIVEAU VON 95 % SIND ZUR VERDEUTLICHUNG EINGEZEICHNET.....	70
ABBILDUNG 4.20 GRAFISCHE DARSTELLUNG DER STAHLTONNAGE ALLER BETRACHTETEN PROJEKTE NACH GRÖÖÖE SORTIERT	71
ABBILDUNG 5.1 ZUR HERSTELLUNG EINER GELENKWIRKUNG KÖNNEN VERSCHIEDENE SCHNITTE MIT DEM SCHNEIDBRENNER GESETZT WERDEN (SCHNITTART A). MIT DER SCHNITTART B LASSEN SICH Z.B. TRÄGER SO DURCHTRENNEN, DASS BIS ZUM UMZIEHEN DER KONSTRUKTION DURCH DEN BAGGER EINE GERINGE QUERKRAFTTRAGFÄHIGKEIT ERHALTEN BLEIBT UND SO EIN UNKONTROLLIERTES EINSTÜRZEN VERHINDERT WIRD.	89
ABBILDUNG 5.2 DIESELVERBRAUCH FÜR DIE ERRICHTUNG VON BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN	90

ABBILDUNG 5.3 STROMVERBRAUCH FÜR DIE ERRICHTUNG VON BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN	91
ABBILDUNG 5.4 AUFWANDSWERTE FÜR DIE ERRICHTUNG VON BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN (ACHSE LINKS) UND GESAMTTONNAGE DER PROJEKTE (ACHSE RECHTS, GRAUE KURVE)	92
ABBILDUNG 5.5 DARSTELLUNG EINER MÖGLICHEN KORRELATION VON AUFWANDSWERT UND GESAMTTONNAGE BEI DER ERRICHTUNG VON STAHLKONSTRUKTIONEN (M7 LIEGT MIT 2566 T AUßERHALB DES DIAGRAMMBEREICHS, WIRD JEDOCH DURCH DIE TRENDLINIE BERÜCKSICHTIGT)	92
ABBILDUNG 5.6 DIESELVERBRAUCH FÜR DEN ABRUCH VON BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	93
ABBILDUNG 5.7 SAUERSTOFFVERBRAUCH FÜR DEN ABRUCH VON BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	94
ABBILDUNG 5.8 PROPANVERBRAUCH FÜR DEN ABRUCH VON BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	94
ABBILDUNG 5.9 AUFWANDSWERTE FÜR DEN ABRUCH VON BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN (ACHSE LINKS) UND GESAMTTONNAGE DER PROJEKTE (ACHSE RECHTS, GRAUE KURVE).....	95
ABBILDUNG 5.10 DARSTELLUNG EINER MÖGLICHEN KORRELATION VON AUFWANDSWERT UND GESAMTTONNAGE BEI ABRUCHBAUSTELLEN (M7 MIT 2566 T AUßERHALB DES DIAGRAMMS)	95
ABBILDUNG 5.11 DIESELVERBRAUCH FÜR DEN RÜCKBAU VON BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	96
ABBILDUNG 5.12 STROMVERBRAUCH FÜR DEN RÜCKBAU VON BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN	97
ABBILDUNG 5.13 AUFWANDSWERTE FÜR DEN RÜCKBAU VON BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN (ACHSE LINKS) UND GESAMTTONNAGE DER PROJEKTE (ACHSE RECHTS, GRAUE KURVE).....	97
ABBILDUNG 5.14 DARSTELLUNG DER KORRELATION VON AUFWANDSWERT UND GESAMTTONNAGE BEI RÜCKBAUSTELLEN.....	98
ABBILDUNG 5.15 TREIBHAUSPOTENZIAL (GWP) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE	99
ABBILDUNG 5.16 GESAMTPRIMÄRENERGIE (PET) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	99
ABBILDUNG 5.17 ERNEUERBARE PRIMÄRENERGIE (PERT) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	100
ABBILDUNG 5.18 OZONSCHICHTABBAUPOTENZIAL (ODP) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	100
ABBILDUNG 5.19 TREIBHAUSPOTENZIAL (GWP) FÜR DEN ABRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE	101
ABBILDUNG 5.20 GESAMTPRIMÄRENERGIE (PET) FÜR DEN ABRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	101
ABBILDUNG 5.21 OZONSCHICHTABBAUPOTENZIAL (ODP) FÜR DEN ABRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	102
ABBILDUNG 5.22 TREIBHAUSPOTENZIAL (GWP) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE	102
ABBILDUNG 5.23 GESAMTPRIMÄRENERGIE (PET) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	103
ABBILDUNG 5.24 ERNEUERBARE PRIMÄRENERGIE (PERT) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	103
ABBILDUNG 5.25 OZONSCHICHTABBAUPOTENZIAL (ODP) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	104
ABBILDUNG 5.26 TREIBHAUSPOTENZIAL (GWP) FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN	106
ABBILDUNG 5.27 GESAMTPRIMÄRENERGIE (PET) FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN	106
ABBILDUNG 6.1 SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER VORGÄNGE WÄHREND DER WERKSTATTFERTIGUNG IM STAHLBAU (EXKLUSIVE BESCHICHTUNG); DER BEREICH „SCHWEIßEN“ WIRD HIER NÄHER BETRACHTET.	107
ABBILDUNG 6.2 SYSTEMGRENZE DER ÖKOBILANZ FÜR SCHWEIßPROZESSE.....	108
ABBILDUNG 6.3 SCHEMATISCHER AUFBAU ZUR MESSUNG DER PROZESSGRÖßEN/SACHBILANZDATEN FÜR DIE ÖKOBILANZIERUNG VON SCHWEIßPROZESSEN	109
ABBILDUNG 7.1 PROZENTUALE VERTEILUNG DER UMWELTWIRKUNGEN FÜR DIE LEBENSZYKLUSABSCHNITTE DES STAHLTRAGWERKS EINER TYPISCHEN HALLENKONSTRUKTION	116
ABBILDUNG 7.2 PROZENTUALE VERTEILUNG DER UMWELTWIRKUNGEN FÜR DIE LEBENSZYKLUSABSCHNITTE DES STAHLTRAGWERKS EINES DREIGESCHOSSIGEN BÜROGEBÄUDES.....	119
ABBILDUNG 7.3 PROZENTUALE VERTEILUNG DER UMWELTWIRKUNGEN FÜR DIE LEBENSZYKLUSABSCHNITTE DES STAHLTRAGWERKS EINES SECHSGESCHOSSIGEN BÜROGEBÄUDES.....	122
ANHANG	
ABBILDUNG A 1 TREIBHAUSPOTENZIAL (GWP) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE	LXXII
ABBILDUNG A 2 TREIBHAUSPOTENZIAL (GWP) FÜR DEN ABRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE	LXXII
ABBILDUNG A 3 TREIBHAUSPOTENZIAL (GWP) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE	LXXII
ABBILDUNG A 4 GESAMTPRIMÄRENERGIE (PET) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXIII
ABBILDUNG A 5 GESAMTPRIMÄRENERGIE (PET) FÜR DEN ABRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXIII
ABBILDUNG A 6 GESAMTPRIMÄRENERGIE (PET) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXIII
ABBILDUNG A 7 ERNEUERBARE PRIMÄRENERGIE (PERT) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXIV
ABBILDUNG A 8 ERNEUERBARE PRIMÄRENERGIE (PERT) FÜR DEN ABRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXIV
ABBILDUNG A 9 ERNEUERBARE PRIMÄRENERGIE (PERT) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXIV

ABBILDUNG A 10 NICHT ERNEUERBARE PRIMÄRENERGIE (PENRT) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXV
ABBILDUNG A 11 NICHT ERNEUERBARE PRIMÄRENERGIE (PENRT) FÜR DEN ABBRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXV
ABBILDUNG A 12 NICHT ERNEUERBARE PRIMÄRENERGIE (PENRT) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXV
ABBILDUNG A 13 POT. FÜR DEN ABIOT. ABBAU N. FOSSILER RESS. (ADPE) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXVI
ABBILDUNG A 14 POT. FÜR DEN ABIOT. ABBAU N. FOSSILER RESS. (ADPE) FÜR DEN ABBRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXVI
ABBILDUNG A 15 POT. FÜR DEN ABIOT. ABBAU N. FOSSILER RESS. (ADPE) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXVI
ABBILDUNG A 16 POT. FÜR DEN ABIOT. ABBAU FOSS. BRENNST. (ADPF) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXVII
ABBILDUNG A 17 POT. FÜR DEN ABIOT. ABBAU FOSS. BRENNST. (ADPF) FÜR DEN ABBRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXVII
ABBILDUNG A 18 POT. FÜR DEN ABIOT. ABBAU FOSS. BRENNST. (ADPF) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXVII
ABBILDUNG A 19 VERSAUERUNGSPOTENZIAL (AP) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXVIII
ABBILDUNG A 20 VERSAUERUNGSPOTENZIAL (AP) FÜR DEN ABBRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXVIII
ABBILDUNG A 21 VERSAUERUNGSPOTENZIAL (AP) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXVIII
ABBILDUNG A 22 ÜBERDÜNGUNGSPOTENZIAL (EP) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXIX
ABBILDUNG A 23 ÜBERDÜNGUNGSPOTENZIAL (EP) FÜR DEN ABBRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXIX
ABBILDUNG A 24 ÜBERDÜNGUNGSPOTENZIAL (EP) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXIX
ABBILDUNG A 25 OZONBILDUNGSPOTENZIAL (POCP) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXX
ABBILDUNG A 26 OZONBILDUNGSPOTENZIAL (POCP) FÜR DEN ABBRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXX
ABBILDUNG A 27 OZONBILDUNGSPOTENZIAL (POCP) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXX
ABBILDUNG A 28 OZONSCHICHTABBAUPOTENZIAL (ODP) FÜR DIE ERRICHTUNG DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXXI
ABBILDUNG A 29 OZONSCHICHTABBAUPOTENZIAL (ODP) FÜR DEN ABBRUCH DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXXI
ABBILDUNG A 30 OZONSCHICHTABBAUPOTENZIAL (ODP) FÜR DEN RÜCKBAU DER BETRACHTETEN PROJEKTE.....	LXXXI
ABBILDUNG A 31 TREIBHAUSPOTENZIAL (GWP) FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	LXXXIV
ABBILDUNG A 32 GESAMTPRIMÄRENERGIE (PET) FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	LXXXIV
ABBILDUNG A 33 ERNEUERBARE GESAMTPRIMÄRENERGIE (PERT) FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	LXXXV
ABBILDUNG A 34 NICHT ERNEUERBARE GESAMTPRIMÄRENERGIE (PENRT) FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	LXXXV
ABBILDUNG A 35 OZONSCHICHTABBAUPOTENZIAL (ODP) FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	LXXXVI
ABBILDUNG A 36 OZONBILDUNGSPOTENZIAL (POCP) FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	LXXXVI
ABBILDUNG A 37 VERSAUERUNGSPOTENZIAL AP FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	LXXXVII
ABBILDUNG A 38 ÜBERDÜNGUNGSPOTENZIAL (EP) FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	LXXXVII
ABBILDUNG A 39 POTENZIAL FÜR DEN ABIOTISCHEN ABBAU FOSSILER BRENNSTOFFE (ADPF) FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN..	LXXXVIII
ABBILDUNG A 40 POTENZIAL FÜR DEN ABIOTISCHEN ABBAU NICHT FOSSILER RESSOURCEN (ADPE) FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN	LXXXVIII
ABBILDUNG A 41 AUFWANDSWERTE FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	LXXXIX
ABBILDUNG A 42 DIESELVERBRAUCH FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	LXXXIX
ABBILDUNG A 43 STROMVERBRAUCH FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	XC
ABBILDUNG A 44 SAUERSTOFFVERBRAUCH FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	XC
ABBILDUNG A 45 PROPANVERBRAUCH FÜR BAUSTAHLKONSTRUKTIONEN.....	XCI

Tabellenverzeichnis

TABELLE 2.1 AKTUELLER NORMATIVER HINTERGRUND FÜR DAS NACHHALTIGE BAUEN	14
TABELLE 2.2 DURCHSCHNITTLICHE END-OF-LIFE SZENARIOS FÜR STAHLPRODUKTE.....	21
TABELLE 3.1 AKTUELL VERFÜGBARE EPDS FÜR BAUSTÄHLE	27
TABELLE 3.2 PRODUKTION VON BAUSTAHLELEMENTEN FÜR DEN HALLEN UND GESCHOSSBAU (IN 1000 T) ALLE BAUWEISEN.....	36
TABELLE 3.3 DURCHSCHNITTLICHER LAGERABSATZ LAUT BDS JAHRESMELDUNGEN VON 2015 - 2017; BETRACHTUNG VON BAUSTAHLPRODUKTEN FÜR DIE UNMITTELBAR IM BAUSEKTOR TÄTIGEN ABNEHMERGRUPPEN; PROZENTUALE VERTEILUNG UND ABSOLUTE TONNAGE.	37
TABELLE 3.4 LAGERABSATZ LAUT BDS JAHRESMELDUNG FÜR 2018; BETRACHTUNG VON BAUSTAHLPRODUKTEN FÜR DIE UNMITTELBAR IM BAUSEKTOR TÄTIGEN ABNEHMERGRUPPEN; PROZENTUALE VERTEILUNG UND ABSOLUTE TONNAGE	38
TABELLE 3.5 BAUSTAHLTONNAGE PRO TAUSEND KUBIKMETER BRUTTO-RAUMINHALT (BRI) FÜR UNTERSCHIEDLICHE GEBÄUDEARTEN MIT BAUSTAHL ALS ÜBERWIEGEND VERWENDETEN BAUSTOFF	39
TABELLE 3.6 BAUSTAHLERZEUGNISSE IN DEUTSCHLAND (IN 1000 T)	40
TABELLE 4.1 STECKBRIEF PROJEKT E1 – TANKSTELLENDACH ALS KRAGARM	42
TABELLE 4.2 STECKBRIEF PROJEKT E2 – INDUSTRIEHALLE IN ROSENFELD.....	43
TABELLE 4.3 STECKBRIEF PROJEKT E3 – LAGERHALLE IN KREFELD	44
TABELLE 4.4 STECKBRIEF PROJEKT E4 – INDUSTRIEHALLE KREUZTAL	45
TABELLE 4.5 STECKBRIEF PROJEKT E5 – INDUSTRIEHALLE IN GÖRWIEL	46
TABELLE 4.6 STECKBRIEF PROJEKT E6 – PRODUKTIONSHALLE HALLER	47
TABELLE 4.7 STECKBRIEF PROJEKT E7 – DACHKONSTRUKTION AUF STAHLBETONSTÜTZEN	48
TABELLE 4.8 STECKBRIEF PROJEKT E8 – INDUSTRIEHALLE AUGSBURG.....	49
TABELLE 4.9 STECKBRIEF PROJEKT E9 – INDUSTRIEHALLE C&P	50
TABELLE 4.10 STECKBRIEF PROJEKT M1 – DHL PARKHAUS IN DORSTEN	51
TABELLE 4.11 STECKBRIEF PROJEKT M2 – PHILLIPS PARKHAUS IN HAMBURG.....	52
TABELLE 4.12 STECKBRIEF PROJEKT M3 – PARKHAUS HELIOS DUISBURG IN SPLIT-LEVEL BAUWEISE.....	53
TABELLE 4.13 STECKBRIEF PROJEKT M4 – PARKHAUS TU DARMSTADT.....	54
TABELLE 4.14 STECKBRIEF PROJEKT M5 – PARKHAUS HOFUAUE IN WUPPERTAL	55
TABELLE 4.15 STECKBRIEF PROJEKT M6 – PARKHAUS IDR DÜSSELDORF	56
TABELLE 4.16 STECKBRIEF PROJEKT M7 – PARKHAUS BER.....	57
TABELLE 4.17 PROJEKTDATENBANK – ÜBERBLICK ERRICHTUNG	58
TABELLE 4.18 TYPISCHE PARAMETER FÜR DIE STAHLBAUMONTAGE VERSCHIEDENER BAUWERKSKATEGORIEN	60
TABELLE 4.19 PROJEKTDATENBANK – ÜBERBLICK ABBRUCH FÜR RECYCLING	61
TABELLE 4.20 TYPISCHE PARAMETER FÜR DEN ABBRUCH VERSCHIEDENER BAUWERKSKATEGORIEN	62
TABELLE 4.21 PROJEKTDATENBANK – ÜBERBLICK RÜCKBAU FÜR WIEDERVERWENDUNG UND RECYCLING	62
TABELLE 4.22 TYPISCHE PARAMETER FÜR DEN RÜCKBAU.....	63
TABELLE 4.23 ABFRAGEBEREICHE DER STUDIENARBEITEN ZUM THEMA AUFWANDSWERTE IM STAHLBAU; BLAU DIE HIER GENUTZTEN DATEN	65
TABELLE 4.24 UMFRAGEERGEBNISSE UND AUSWERTUNG FÜR STAHLTRAGWERKE VON EIN- UND MEHRGESCHOSSBAUTEN	66
TABELLE 4.25 UMFRAGEERGEBNISSE UND AUSWERTUNG FÜR KURZ BIS WEITGESPANNTE HALLENTAGWERKE	67
TABELLE 4.26 AUFWANDSWERTE FÜR DIE ERRICHTUNG DER EINGESCHOSSIGEN KONSTRUKTIONEN UND HALLENBAUTEN AUS DER PROJEKTDATENBANK.....	69
TABELLE 4.27 AUFWANDSWERTE FÜR DIE ERRICHTUNG DER MEHRGESCHOSSIGEN STAHLKONSTRUKTIONEN AUS DER PROJEKTDATENBANK	69
TABELLE 5.1 BETRACHTUNGSRAHMEN DER ÖKOBILANZ	73
TABELLE 5.2 HINTERGRUNDDATEN FÜR DIE ÖKOBILANZ NACH CML 2001 - JAN. 2016 DATENBANKEN: GABI TS UND ÖKOBAUDAT ..	74
TABELLE 5.3 UMWELTWIRKUNGEN PRO STUNDE FÜR VERSCHIEDENE TURMDREHKRANE BASIEREND AUF 20 % VOLLAST UND 30 % TEILLAST IM BETRIEB; LEISTUNGSDATEN NACH UND; DATENGRUNDLAGE FÜR ÖKOBILANZ: GABI TS UND ÖKOBAUDAT UM DIE VERSCHIEDENEN VERSORUNGSLAGEN AUF BAUSTELLEN ABZUBILDEN WURDE EINE MISCHUNG AUS 50 % STROMMIX DEUTSCHLAND UND 50 % DIESELGENERATOR GEWÄHLT; DER AUF- UND ABBAU DER KRANE IST NICHT BERÜCKSICHTIGT.	78

TABELLE 5.4 UMWELTWIRKUNGEN PRO STUNDE FÜR VERSCHIEDENE MOBILKRANE BASIEREND AUF 20 % VOLLAST UND 30 % TEILLAST IM BETRIEB; LEISTUNGSDATEN NACH UND; DATENGRUNDLAGE FÜR ÖKOBILANZ: GABI TS UND ÖKOBAUDAT	80
TABELLE 5.5 UMWELTWIRKUNGEN PRO STUNDE FÜR KETTENKRANE; LEISTUNGS- UND VERBRAUCHSDATEN NACH AUSKUNFT DER FIRMA SPIERINGS CRANES; DATENGRUNDLAGE FÜR ÖKOBILANZ: GABI TS	81
TABELLE 5.6 UMWELTWIRKUNGEN PRO STUNDE FÜR LKW MIT LADEKRAN BASIEREND AUF 20 % VOLLAST UND 30 % TEILLAST IM KRANBETRIEB; LEISTUNGSDATEN NACH, DATENGRUNDLAGE FÜR ÖKOBILANZ: GABI TS	82
TABELLE 5.7 UMWELTWIRKUNGEN PRO STUNDE FÜR TELESKOPLADER BASIEREND AUF 20 % VOLLAST UND 30 % TEILLAST IM BETRIEB; LEISTUNGSDATEN NACH, DATENGRUNDLAGE FÜR ÖKOBILANZ: GABI TS	83
TABELLE 5.8 UMWELTWIRKUNGEN PRO STUNDE FÜR TELESKOPARBEITSBÜHNE BASIEREND AUF 20 % VOLLAST UND 30 % TEILLAST IM BETRIEB; LEISTUNGSDATEN NACH, DATENGRUNDLAGE FÜR ÖKOBILANZ: GABI TS	84
TABELLE 5.9 UMWELTWIRKUNGEN PRO STUNDE FÜR KETTENBAGGER BASIEREND AUF 33 % VOLLAST UND 67 % TEILLAST IM BETRIEB; LEISTUNGSDATEN NACH. DATENGRUNDLAGE FÜR ÖKOBILANZ: GABI TS	85
TABELLE 5.10 UMWELTWIRKUNGEN PRO STUNDE FÜR VERSCHIEDENE KLEINGERÄTE BASIEREND AUF LEISTUNGSDATEN NACH UND; DATENGRUNDLAGE FÜR ÖKOBILANZ: GABI TS UND ÖKOBAUDAT; UM DIE VERSCHIEDENEN VERSORGUNGSLAGEN AUF BAUSTELLEN ABZUBILDEN WURDE ÜBERSCHLÄGIG EINE MISCHUNG AUS 50 % STROMMIX DEUTSCHLAND UND 50 % DIESELGENERATOR GEWÄHLT; ZUR ERMITTLUNG DER UMWELTWIRKUNGEN DES SCHNEIDBRENNERS IST DAS BEI DER EXOTHERMEN REAKTION FREIWERDENDE CO ₂ DIREKT DEM GWP ZUZUORDNEN (SIEHE TABELLE 5.11).....	87
TABELLE 5.11 ERMITTLUNG DER ZUSÄTZLICHEN UMWELTWIRKUNGEN DURCH DIE VERBRENNUNG VON PROPAN UND SAUERSTOFF IM SCHNEIDBRENNER	88
TABELLE 5.12 ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZ MIT WIRKUNGSABSCHÄTZUNG NACH CML 2001 MIT BERÜCKSICHTIGUNG DER MARKTANTEILE VON 86 % INDUSTRIE- UND HALLENBAU UND 14 % GESCHOSSBAU SOWIE 89 % ABBRUCH UND 11 % RÜCKBAU	105
TABELLE 6.1 SCHWEIßNÄHTE FÜR DIE DREI MUSTERGEBÄUDE (DETAILLIERTE INFORMATIONEN ZU DEN MUSTERGEBÄUDEN IN KAPITEL 7)	108
TABELLE 6.2 ÖKOBILANZERGEBNISSE FÜR DIE SCHWEIßTECHNIK VERSCHIEDENER MUSTERGEBÄUDE NACH CML 2001	110
TABELLE 7.1 EIGENSCHAFTEN DER HALLENKONSTRUKTION	111
TABELLE 7.2 UMWELTWIRKUNGEN FÜR DEN LEBENSZYKLUS DES STAHLTRAGWERKS EINER TYPISCHEN HALLE (ABSOLUT UND PROZENTUAL BEZOGEN AUF DEN GESAMTWERT)	115
TABELLE 7.3 EIGENSCHAFTEN DES DREIGESCHOSSIGEN BÜROGEBÄUDES	117
TABELLE 7.4 UMWELTWIRKUNGEN FÜR DEN LEBENSZYKLUS DES STAHLTRAGWERKS EINES DREIGESCHOSSIGEN BÜROGEBÄUDES (ABSOLUT UND PROZENTUAL BEZOGEN AUF DEN GESAMTWERT).....	118
TABELLE 7.5 EIGENSCHAFTEN DES SECHSGESCHOSSIGEN GEBÄUDES	120
TABELLE 7.6 UMWELTWIRKUNGEN FÜR DEN LEBENSZYKLUS DES STAHLTRAGWERKS EINES SECHSGESCHOSSIGEN BÜROGEBÄUDES (ABSOLUT UND PROZENTUAL BEZOGEN AUF DEN GESAMTWERT).....	121
TABELLE 7.7 TREIBHAUSPOTENZIAL UND PRIMÄRENERGIEVERBRAUCH FÜR DIE ERRICHTUNG UND DEN ABBRUCH BZW. RÜCKBAU VON BEISPIELHAFTEN STAHLKONSTRUKTIONEN	123
TABELLE 8.1 VERGLEICH DER NEU ERHOBENEN DATEN MIT BEREITS VORHANDENEN EPDS	124
TABELLE 8.2 JAHRESTONNAGEN FÜR BAUSTAHL IN DEUTSCHLAND UND DAS SICH DARAUS ERGEBENDE JÄHRLICHE TREIBHAUSPOTENZIAL	129

ANHANG

TABELLE A 1 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT E1 - TANKSTELLENDACH ALS KRAGARM	I
TABELLE A 2 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABBRUCH PROJEKT E1 - TANKSTELLENDACH ALS KRAGARM	III
TABELLE A 3 DEMONTAGESCHRITTE FÜR DEN RÜCKBAU PROJEKT E1 - TANKSTELLENDACH ALS KRAGARM.....	III
TABELLE A 4 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT E2 - INDUSTRIEHALLE IN ROSENFELD.....	IV
TABELLE A 5 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABBRUCH PROJEKT E2 - INDUSTRIEHALLE IN ROSENFELD	VI
TABELLE A 6 DEMONTAGESCHRITTE FÜR DEN RÜCKBAU PROJEKT E2 - INDUSTRIEHALLE IN ROSENFELD	VII
TABELLE A 7 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT E3 - LAGERHALLE IN KREFELD.....	IX
TABELLE A 8 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABBRUCH PROJEKT E3 - LAGERHALLE IN KREFELD	X
TABELLE A 9 DEMONTAGESCHRITTE FÜR DEN RÜCKBAU PROJEKT E3 - LAGERHALLE IN KREFELD.....	XI
TABELLE A 10 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT E4 - INDUSTRIEHALLE IN KREUZTAL.....	XIII
TABELLE A 11 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABBRUCH PROJEKT E4 - INDUSTRIEHALLE IN KREUZTAL	XIV

TABELLE A 12 DEMONTAGESCHRITTE FÜR DEN RÜCKBAU PROJEKT E4 - INDUSTRIEHALLE IN KREUZTAL.....	XV
TABELLE A 13 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT E5 - INDUSTRIEHALLE IN GÖRWIEL.....	XVII
TABELLE A 14 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABRUCH PROJEKT E5 - INDUSTRIEHALLE IN GÖRWIEL	XVIII
TABELLE A 15 DEMONTAGESCHRITTE FÜR DEN RÜCKBAU PROJEKT E5 - INDUSTRIEHALLE IN GÖRWIEL.....	XX
TABELLE A 16 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT E6 - PRODUKTIONSHALLE HALLER.....	XXI
TABELLE A 17 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABRUCH PROJEKT E6 - PRODUKTIONSHALLE HALLER	XXII
TABELLE A 18 DEMONTAGESCHRITTE FÜR DEN RÜCKBAU PROJEKT E6 - PRODUKTIONSHALLE HALLER	XXIV
TABELLE A 19 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT E7 - DACHKONSTRUKTION AUF STAHLBETONSTÜTZEN	XXVI
TABELLE A 20 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABRUCH PROJEKT E7 - DACHKONSTRUKTION AUF STAHLBETONSTÜTZEN	XXVII
TABELLE A 21 DEMONTAGESCHRITTE FÜR DEN RÜCKBAU PROJEKT E7 - DACHKONSTRUKTION AUF STAHLBETONSTÜTZEN	XXVIII
TABELLE A 22 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT E8 - INDUSTRIEHALLE AUGSBURG	XXIX
TABELLE A 23 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABRUCH PROJEKT E8 - INDUSTRIEHALLE AUGSBURG	XXX
TABELLE A 24 DEMONTAGESCHRITTE FÜR DEN RÜCKBAU PROJEKT E8 - INDUSTRIEHALLE AUGSBURG.....	XXXII
TABELLE A 25 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT E9 - INDUSTRIEHALLE C&P	XXXIV
TABELLE A 26 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABRUCH PROJEKT E9 - INDUSTRIEHALLE C&P.....	XXXV
TABELLE A 27 DEMONTAGESCHRITTE FÜR DEN RÜCKBAU PROJEKT E9 - INDUSTRIEHALLE C&P	XXXVI
TABELLE A 28 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT M1 - DHL PARKHAUS IN DORSTEN.....	XXXVIII
TABELLE A 29 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABRUCH PROJEKT M1 - DHL PARKHAUS IN DORSTEN; DIE ARBEITSSCHRITTE ZUM ABRUCH DER STAHLVERBUNDBAUTEILE SIND ZUR INFORMATION ENTHALTEN (HELLGRAU) WERDEN JEDOCH NICHT IN DEN ZEITEN BERÜCKSICHTIGT	XXXIX
TABELLE A 30 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT M2 - PHILLIPS PARKHAUS IN HAMBURG	XLII
TABELLE A 31 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABRUCH PROJEKT M2 - PHILLIPS PARKHAUS IN HAMBURG; DIE ARBEITSSCHRITTE ZUM ABBRUCH DER STAHLVERBUNDBAUTEILE SIND ZUR INFORMATION ENTHALTEN (HELLGRAU) WERDEN JEDOCH NICHT IN DEN ZEITEN BERÜCKSICHTIGT	XLIII
TABELLE A 32 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT M3 - PARKHAUS HELIOS DUISBURG.....	XLVIII
TABELLE A 33 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABRUCH PROJEKT M3 - PARKHAUS HELIOS DUISBURG; DIE ARBEITSSCHRITTE ZUM ABRUCH DER STAHLVERBUNDBAUTEILE SIND ZUR INFORMATION ENTHALTEN (HELLGRAU) WERDEN JEDOCH NICHT IN DEN ZEITEN BERÜCKSICHTIGT	XLIX
TABELLE A 34 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT M4 - PARKHAUS TU DARMSTADT	LIII
TABELLE A 35 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABRUCH PROJEKT M4 - PARKHAUS TU DARMSTADT; DIE ARBEITSSCHRITTE ZUM ABRUCH DER STAHLVERBUNDBAUTEILE SIND ZUR INFORMATION ENTHALTEN (HELLGRAU) WERDEN JEDOCH NICHT IN DEN ZEITEN BERÜCKSICHTIGT	LIV
TABELLE A 36 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT M5 - PARKHAUS HOFAUE IN WUPPERTAL.....	LVIII
TABELLE A 37 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABRUCH PROJEKT M5 - PARKHAUS HOFAUE IN WUPPERTAL; DIE ARBEITSSCHRITTE ZUM ABBRUCH DER STAHLVERBUNDBAUTEILE SIND ZUR INFORMATION ENTHALTEN (HELLGRAU) WERDEN JEDOCH NICHT IN DEN ZEITEN BERÜCKSICHTIGT	LIX
TABELLE A 38 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT M6 - PARKHAUS IDR DÜSSELDORF	LXIII
TABELLE A 39 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABRUCH PROJEKT M6 - PARKHAUS IDR DÜSSELDORF; DIE ARBEITSSCHRITTE ZUM ABRUCH DER STAHLVERBUNDBAUTEILE SIND ZUR INFORMATION ENTHALTEN (HELLGRAU) WERDEN JEDOCH NICHT IN DEN ZEITEN BERÜCKSICHTIGT	LXIV
TABELLE A 40 MONTAGESCHRITTE FÜR DIE ERRICHTUNG PROJEKT M7 - PARKHAUS BER	LXVIII
TABELLE A 41 ARBEITSSCHRITTE FÜR DEN ABRUCH PROJEKT M7 - PARKHAUS BER; DIE ARBEITSSCHRITTE ZUM ABRUCH DER STAHLVERBUNDBAUTEILE SIND ZUR INFORMATION ENTHALTEN (HELLGRAU) WERDEN JEDOCH NICHT IN DEN ZEITEN BERÜCKSICHTIGT	LXIX
TABELLE A 42 ERGEBNISSE DER SACHBILANZ UND WIRKUNGSABSCHÄTZUNG AUS DER PROJEKTDATENBANK FÜR INDUSTRIE- UND HALLENBAUTEN	LXXXII
TABELLE A 43 ERGEBNISSE DER SACHBILANZ UND WIRKUNGSABSCHÄTZUNG AUS DER PROJEKTDATENBANK FÜR GESCHOSSBAUTEN	LXXXIII

Abkürzungsverzeichnis

ADPE *Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen*

ADPF *Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe*

AP *Versauerungspotenzial*

BAM *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung*

BFS *bauforumstahl e.V.*

BMI *Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat*

BMVBS *Bundesministerium für Verkehr-, Bau- und Stadtentwicklung*

BNB *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen*

BOF *Blast oxygen furnace - Hochofenroute*

BREEAM *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

BRI *Brutto-Rauminhalt*

CEN *Comité Européen de Normalisation*

DBU *Deutsche Bundesstiftung Umwelt*

Destatis *Statistisches Bundesamt*

DGNB *Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*

DIN *Deutsches Institut für Normung*

DStV *Deutscher Stahlbauverband*

EAF *Electric arc furnace - Elektroofenroute*

EN *Europäische Norm*

EnEV *Energieeinsparverordnung*

EP *Überdüngungspotenzial*

EPD *Umwelt-Produktdeklaration*

GWP *Treibhauspotenzial*

IBB *Institut für Baubetrieb und Baumanagement der Universität Duisburg-Essen*

ISO *International Organisation for Standardization*

KrWG *Kreislaufwirtschaftsgesetz*

LEED *Leadership in Energy and Environmental Design*

MSG *Metallschutzgasschweißen*

ODP *Ozonabbaupotenzial*

PENRT *Primärenergie, nicht erneuerbar*

PERT *Primärenergie, erneuerbar*

PET *Primärenergie gesamt*

POCP *Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial*

1 Einleitung

Das nachhaltige Bauen ist ein aktuelles und sich stetig entwickelndes Themenfeld, das für viele am Planen und Bauen Beteiligte immer wichtiger wird. Die mit der nach heutigem Nachhaltigkeitsverständnis ganzheitliche Betrachtungsweise fordert Informationen entlang des gesamten Lebenszyklus. Hierzu wurden seit 2007 Normen, Bewertungssysteme für Gebäude und die ersten notwendigen Datenbanken entwickelt. Die Einteilung des Lebenszyklus eines Baustoffs bzw. einer Immobilie in verschiedene Module geschieht in der Norm DIN EN 15804+A2¹ bzw. DIN EN 15978² und vereinheitlicht die Betrachtung (Abbildung 1.1).

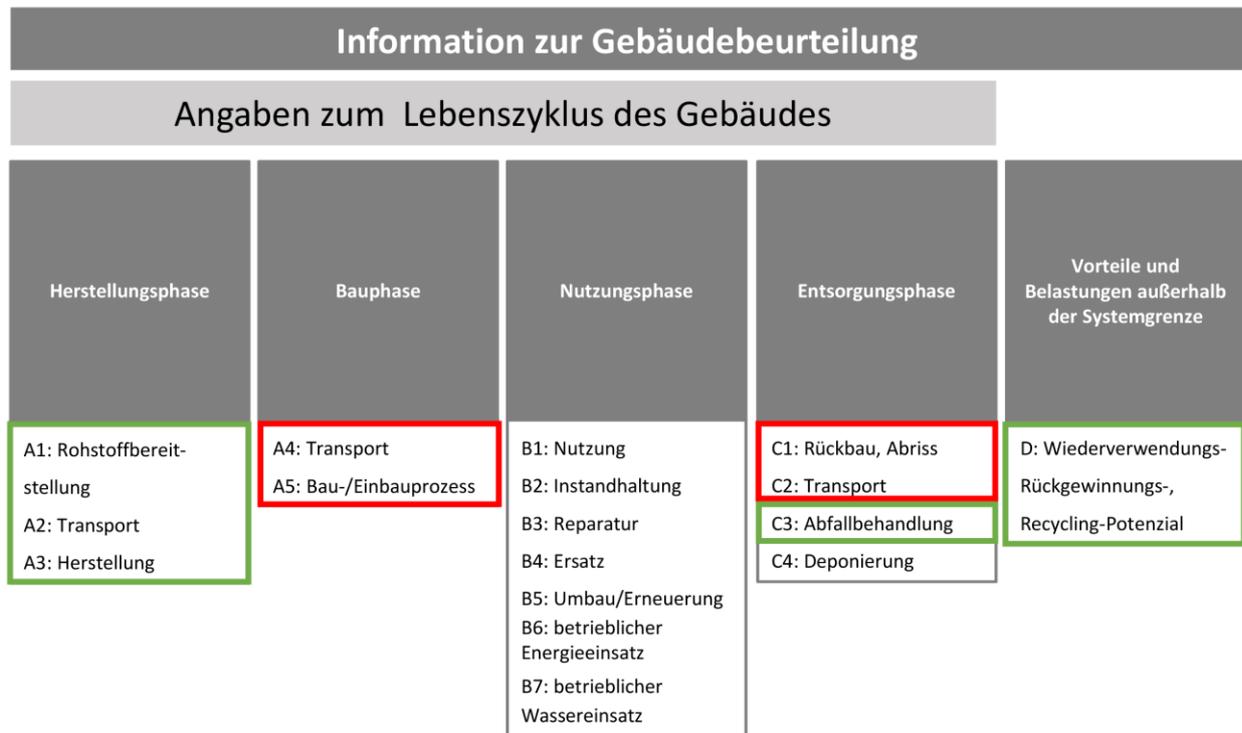


Abbildung 1.1 Lebenszyklusstadien von Gebäuden und Bauprodukten gemäß DIN EN 15804+A2 und DIN EN 15978 für nachhaltige Bauwerke^{1 2}; rot die in dieser Forschungsarbeit betrachteten Module, grün die bereits vorhandenen Daten

Müssen in einer Umwelt-Produktdeklaration (EPD) nach DIN EN 15804+A1 nur die Module A1-A3 (Abbildung 1.1) verpflichtend deklariert werden, so werden in Zukunft alle Module mit belastbaren Zahlenwerten hinterlegt sein. Dazu verpflichtet die neue DIN EN 15804+A2 seit Oktober 2019 – allerdings mit dreijähriger Übergangsregelung. Außerdem ist abzusehen, dass die Erstellung von EPDs für jedes Bauprodukt zur Pflicht wird (siehe auch Kapitel 2.4.1). Der Fokus der Betrachtungen liegt zurzeit noch auf der Nachhaltigkeit von Gebäuden in der Nutzungsphase sowie der Baustoffherstellung. In wenigen Fällen – vor allem bei Materialien, die nach der Nutzung einem hochwertigen Recycling zugeführt werden können – werden auch die Entsorgung und das Recyclingpotenzial ausgewiesen.

¹ (DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 2020) S. 14, 16 f.

² (DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 2012) S. 19-29

Einleitung

Ein weiteres Thema, das immer stärker in den Fokus von Öffentlichkeit und Politik gelangt, ist die Kreislaufwirtschaft. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), das in seinen unmittelbar wirkenden Rechtspflichten seit dem 01.06.2012 gilt und die EU-Abfallrahmenrichtlinie vom 19.11.2008 in deutsches Recht umsetzt, entwickelt das bisherige Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz weiter. In diesem Gesetzestext wird das langfristige Ziel einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft ohne Abfälle und mit hochwertigem Recycling und Wiederverwendung formuliert. An erster Stelle, noch deutlich vor den bestehenden und in Entwicklung befindlichen Recycling- und Verwertungsverfahren, stehen hier die Produkte selbst, die so beschaffen und eingesetzt werden müssen, dass ein Recycling oder sogar eine Wiederverwendung nach der Nutzungsphase möglich ist. Eine Betrachtung auf Ebene der Planungs- und Errichtungsphase mit einem Design für Rückbau und der Nutzung von recycling- und wiederverwendungsfähigen Baustoffen wird derzeit selten durchgeführt und geschieht häufig nur auf ausdrücklichen Wunsch ambitionierter Bauherren. Es zeigt sich auch, dass durch die Bestrebungen zu einem nachhaltigen Bauen, die Bautechnik bzw. Bauweise selbst wenig beeinflusst wird. Durch die jüngsten Entwicklungen wurde lediglich ein Mittel geschaffen die bisherigen Erfolge der bautechnischen Entwicklung messbar zu machen. Großes Potenzial für eine nachhaltige Zukunft des Bausektors hat die moderne Stahlbauweise, da hier nicht nur das Recycling, sondern auch eine Wiederverwendung von Bauteilen möglich ist.

1.1 Problemstellung

Bisher noch nicht im Hinblick auf Nachhaltigkeit betrachtete Teile des in den Normen dargestellten Lebenszyklus von Gebäuden und Bauprodukten, sind das Bau- und Installationsstadium Modul A5 sowie der Rückbau und Abbruch Modul C1 (Abbildung 1.1). Mit Inkrafttreten der DIN EN 15804+A2 im Oktober 2019 wurde die Deklaration dieser Module allerdings zur Pflicht für EPDs aller Baustoffe. Es gibt zwar eine dreijährige Übergangsfrist, in der noch die DIN EN 15804+A1 angewendet werden darf, doch die Verfügbarmachung einer stabilen Datenbasis für die Deklaration dieser Module ist dringlicher denn je. Die dort auftretenden Umweltwirkungen mögen nach erster Abschätzung im Verhältnis zum gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes oder auch Produktes sehr gering erscheinen. In diesen Bereichen bestehen jedoch wesentliche Unterschiede zwischen den in Deutschland verbreiteten Bauweisen. Frühere Untersuchungen des Autors haben gezeigt, dass die Unterschiede bei den verschiedenen Bauweisen (Stahl, Stahlbeton, Holz) sehr gering sind, wenn nur die aktuell mit Daten hinterlegten Module betrachtet werden.^{3 4 5}

Die Stahlbauweise bietet nach allgemeiner Einschätzung Vorteile gegenüber anderen Bauweisen, die es zu erfassen und abzubilden gilt. Hierzu gehört beispielsweise die für den Stahlbau typische Vorfertigung, die eine kurze Bauzeit ermöglicht, wodurch eine frühe Nutzung inklusive der damit einhergehenden Zahlungsrückflüsse stattfinden kann. Eine hohe Demontage- und Recyclingfähigkeit führt zu niedrigen Rückbau- und Entsorgungskosten. Auch zu beachten ist, dass die reinen Materialpreise nur einen geringen Teil der Herstellungskosten eines Bauwerks ausmachen. Viel entscheidender sind die Kosten für Fertigung, Baustelleneinrichtung, Montage,

³ (Siebers, Hubauer, Lange, & Hauke, 2012)

⁴ (Siebers, Hauke, Pyschny, Feldmann, & Kuhnhenne, 2014)

⁵ (Hauke & Siebers, 2011)

Einleitung

Arbeitslöhne und Transport. Hinzu kommen Kapitalkosten, die sich aus der Finanzierung des Bauprojektes ergeben. Gelingt es diese Kosten mit Hilfe einer guten Planung und Ausführung zu minimieren, wird die Gesamtwirtschaftlichkeit des Projektes erhöht.

Mit diesen ökonomischen Vorteilen gehen die ökologischen Qualitäten Hand in Hand. Der entstehende Energie-, Material- und Zeitaufwand hat direkten Einfluss auf die Umweltauswirkungen wie Primärenergiebedarf (PET), erneuerbar (PERT) und nicht erneuerbar (PENRT), Treibhauspotenzial (GWP), Ozonabbaupotenzial (ODP), Versauerungspotenzial (AP), Eutrophierungspotenzial (EP) und Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP), wie sie in den etablierten Zertifizierungssystemen wie zum Beispiel dem der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) verwendet werden⁶ (siehe auch Kapitel 2.5). In Umwelt-Produktdeklarationen und Datenbanken für diese Ökokennzahlen von Baustoffen werden verpflichtend nur die Module A1-A3 und selten – da bisher freiwillig – Modul D ausgewiesen (siehe auch Kapitel 3.1). Bei Ökobilanzen auf Gebäudeebene spielen zusätzlich die Module B1-B7 eine große Rolle. Die Module A5 und C1 finden so gut wie keine Berücksichtigung. Erst die seit Oktober 2019 in Kraft getretene DIN EN 15804+A2 macht die Deklaration aller Module zur Pflicht. Dies fordert nun die Erstellung einer soliden Datenbasis als Ziel dieser Forschungsarbeit.

1.2 Zielsetzung

Erstes Ziel dieser Arbeit soll sein, erste mit Hintergrundinformationen gestützte Umweltkennzahlen für die Nachhaltigkeit bei der Errichtung von Stahlbauten und -konstruktionen im Hochbau zu erfassen und zu analysieren. Der Betrachtungsrahmen hierfür entspricht dem Modul A5 der DIN EN 15804+A2 bzw. DIN EN 15978.

Der zweite Fokus soll auf dem Rückbau liegen. Einflüsse verschiedener Absichten – Recycling oder Wiederverwendung des Baustahls – auf die Prozesse während des Rückbaus sollen untersucht werden. Der Betrachtungsrahmen hierfür entspricht dem Modul C1 der genannten Normen. Umweltkennzahlen zu Modul C3 „Abfallbehandlung“ sind bereits vorhanden und Modul C4 „Deponierung“ spielt für Baustähle mit nur 1 % Sammelverlust⁷ keine Rolle. Daher werden diese Abschnitte nicht betrachtet. (Nähere Diskussion hierzu in Kapitel 2.4.2)

Die Module A4 und C2, welche den Transport zur Baustelle und von der Abbruchbaustelle beinhalten, lassen sich mit vorhandenen Daten zu Umweltwirkungen von Transporten individuell ermitteln. Hierauf geht diese Arbeit in den Anwendungsbeispielen in Kapitel 7.1 ein.

Die Betrachtung setzt somit nach der Bauteilerstellung ein und geht bis zur fertig errichteten Stahlkonstruktion. Dann folgt die Betrachtung des vollständigen Rückbaus nach dem Lebensende des Gebäudes. Dies umfasst insbesondere die Aufwendungen (Energie, Kraftstoff, Material, Zeit, Personal, Geräte) und daraus resultierende Umweltkennzahlen der folgenden Wertschöpfungsschritte:

⁶ (DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (Hrsg.), 2018) S. 68

⁷ (Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hrsg.), 2018) S. 4

Einleitung

- Logistik zur Baustelle (Betrachtung im Anwendungsbeispiel)
- Baustellenmontage (Datenerfassung: Abläufe, Aufwandswerte, Geräte, Personal, Verbräuche)
- Rückbau (Datenerfassung: Abläufe, Aufwandswerte, Geräte, Personal, Verbräuche)
- Logistik von der Baustelle (Betrachtung im Anwendungsbeispiel).

In dieser Forschungsarbeit soll die bislang fehlende Verknüpfung zwischen Baubetrieb und Stahlbau bzgl. der Datenlage und Erfassung der ökologischen Nachhaltigkeit in den Lebenszyklusabschnitten der Module A5 und C1 der DIN EN 15978 tiefgehend untersucht und für alle am Bau Beteiligten verfügbar gemacht werden. Hierzu wird eine Tonne eingesetzter Baustahl als deklarierte Einheit gewählt. Insbesondere Planer, Stahlbauer und Stahlhersteller profitieren von den Ergebnissen, die ihre Einflüsse messbar machen und die noch fehlende Datengrundlage für die Erfüllung der zukünftigen Normen bilden. Durch die Mitarbeit des Autors in CEN/TC 135 WG 17 "Product category rules complementary to EN 15804 for Steel and Aluminium structural products for use in construction works" ist der direkte Weg der Forschungsergebnisse in die Normung gegeben und wird von diesem Gremium unterstützt und als sehr wichtig erachtet. Zusätzlich sind die Ergebnisse für Systementwickler von Nachhaltigkeitszertifizierungen (DGNB, BNB, LEED, BREEAM) von großem Nutzen. Es ist möglich, dass durch die Sichtbarmachung der Einflüsse von Errichtung und Rückbau nicht nur ein Mittel geschaffen wird, die noch fehlenden Lücken in der Lebenszyklusbetrachtung von Baustahl zu schließen, sondern auch bisher nicht quantifizierbare Vorteile der Stahlbauweise aufzuzeigen.

1.3 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise kann grob in sechs Schritte von a) bis f) eingeteilt werden:

a) Zur Einführung in das komplexe und sich stetig weiter entwickelnde Thema der Nachhaltigkeit im Bauwesen wird zunächst ein Überblick gegeben und der aktuelle Stand der Normung in diesem Bereich dargestellt. Um das Thema zu umreißen und eine Basis für die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zu bilden, liegt hierbei der Fokus auf der Beantwortung folgender Fragen:

- Was bedeutet „Nachhaltigkeit“?
- Wie groß ist der Einfluss des Bausektors?
- Was sind die Ziele des nachhaltigen Bauens?
- Wie hat sich der normative und rechtliche Hintergrund entwickelt und wie sind diese Vorgaben insbesondere für den Stahlbau zu interpretieren?
- Was sind die normativen Grundlagen der Ökobilanz?
- Warum sind Umweltproduktdeklarationen als Datenbasis so wichtig?

b) Danach folgen die Schritte zur Erfüllung des gesetzten Forschungsziels (siehe Abbildung 1.2). Der exklusive Zugriff auf die Mitgliedsdatenbank von bauforumstahl e.V. (BFS) bzw. dem Deutschen Stahlbauverband (DStV) und die umfassende Mitgliederstruktur des Verbandes stellen für diese Forschungsarbeit eine wichtige Quelle zur Datenerhebung für den Bereich der Module A4 und A5 (siehe Abbildung 1.1) dar.

Einleitung

Information: *„bauforumstahl e.V. ist der Spitzenverband für das Bauen mit Stahl in Deutschland. Gemeinsam mit dem Deutschen Stahlbau-Verband DStV vertritt er die Anliegen seiner Mitglieder gegenüber Politik, Fachwelt, Medien und Öffentlichkeit, bietet Wissenstransfer und engagiert sich in Forschung und Normung. Übergeordnetes Ziel ist es, die Stahlbauweise unter Berücksichtigung ganzheitlicher Aspekte wie Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Flexibilität und Nachhaltigkeit zu fördern. Zu den rund 350 Mitgliedern zählen alle namhaften deutschen Stahlbauunternehmen, Vorlieferanten und Folgegewerke, Architektur- und Ingenieurbüros sowie Hochschulen und Universitäten.“*⁸

Durch gezielten Kontakt und Interviews mit Mitgliedern des Verbandes wird eine Projektdatenbank von real gebauten Projekten in Stahlbauweise aufgebaut. Diese Datenbank bildet den Kern dieser Arbeit und enthält alle relevanten Informationen, die zur Kennzahlenermittlung für den Bereich Errichtung von Stahlkonstruktionen notwendig sind (Kapitel 4). Zunächst wird durch Recherche und Auswertung von Literatur und Statistiken eruiert welche Gebäudetypen repräsentativ für die Stahlbauweise sind und welche Informationen zu den Projekten gesammelt werden müssen, um die spätere Ökobilanz durchzuführen (Kapitel 3).

Für den Bereich Rückbau (Modul C1 nach DIN EN 15804+A2 bzw. DIN EN 15978, siehe. Abbildung 1.1) kann diese Arbeit von der Mitarbeit an dem Forschungsprojekt „Entwicklung und Validierung einer Methode zur Erfassung der Sammelraten von Bauprodukten aus Metall“⁹ der Bergischen Universität Wuppertal gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) profitieren. Hierbei kann zum einen auf eine bestehende Projektdatenbank und Expertise eines Praxispartners aus der Abbruchbranche¹⁰ zurückgegriffen werden, zum anderen wird durch Datenerfassung bei aktuellen Rückbauprojekten, Rückbauunternehmen, Entsorgern und Schrotthändlern eine Ausweitung und Verifizierung der Informationen stattfinden. Aufbauend auf den so errungenen Erkenntnissen, kann die im zweiten Schritt erstellte Projektdatenbank um Informationen zum Rückbau erweitert werden (siehe Abbildung 1.2 und Kapitel 4).

⁸ (bauforumstahl e.V., 2019)

⁹ (Helmus, Randel, Siebers, & Pütz, 2019)

¹⁰ Dr.-Ing. Paul Kamrath, Paul Kamrath Ingenieurrückbau GmbH



Abbildung 1.2 Grafische Darstellung der Vorgehensweise

c) Die Projektdatenbank wird anschließend ausgewertet, Besonderheiten und typische Vorgänge im Stahlbau werden herausgearbeitet. Mögliche Unterschiede bei verschiedenen Gebäudeklassen (Hallenbau, Industriebau, Geschossbau) werden dargestellt (Kapitel 4.3). Die später ermittelten Ökobilanzdaten sollen den Anforderungen der DIN EN 15804+A2 (siehe Kapitel 2.3.1.4) für den späteren Einsatz in EPDs entsprechen. Um die ermittelten Projektdaten zu verifizieren, werden diese mit einer Onlineerhebung mit Teilnahme von 58 Stahlbauexperten abgeglichen und durch die üblichen statistischen Methoden auf Repräsentativität geprüft (Kapitel 4.4).

d) Anschließend dient die Projektdatenbank als Datenlieferant für die Ökobilanz. Es werden hierbei alle bei Errichtung und Rückbau stattfindenden Prozesse betrachtet und zur Ermittlung der in Kapitel 1.1 beschriebenen Umweltauswirkungen mithilfe der GaBi ts „Software and Database for Life Cycle Engineering“ verrechnet. Hierbei profitiert diese Forschungsarbeit von einer engen Zusammenarbeit mit der Sphera Solutions, Inc. (ehemals Thinkstep), die den Zugriff auf diese etablierte Software und Databasis^{11 12} ermöglichte und für eine hohe Datenqualität steht. Die Sphera Solutions, Inc. ist ebenfalls an dem zuvor genannten DBU Forschungsprojekt beteiligt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt für eine Tonne Baustahl (siehe Abbildung 1.2.).

e) Als Exkurs und um zusätzlich Erkenntnisse für den Bereich der Vorfertigung von Baustahlelementen im Werk zu erhalten, werden Betrachtungen zu verschiedenen Abläufen in der Stahlbaufertigung insbesondere der Schweißtechnik gemacht. Hierbei stützt sich die Arbeit

¹¹ (thinkstep AG, 2018)

¹² (thinkstep AG, 2018)

Einleitung

auf die Mitarbeit und Forschung für den NA 092 DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS) - NA 092 BR-02 SO Sonderausschuss NAS-Nachhaltigkeit in der Fügechnik aus dem die DIN SPEC 35235 Nachhaltigkeit in der Schweißtechnik – Ökobilanzierung von Schweißverfahren – Anleitung und Beispiele hervorgegangen ist (siehe Abbildung 1.2. und Kapitel 6).

f) Anhand der Tragwerke von drei Mustergebäuden werden die Ergebnisse angewendet und über den Lebenszyklus bilanziert. Es handelt sich hierbei um eine typische Hallenkonstruktion, ein einfaches dreigeschossiges Bürogebäude und ein sechsgeschossiges Bürogebäude, die aus abgeschlossenen und veröffentlichten Studien mit Beteiligung des Autors stammen^{13 14 15} und für diese Ausführungen herangezogen und aktualisiert werden. So lässt sich der Einfluss der nun neu mit Daten hinterlegten bisher fehlenden Lebenszyklusabschnitte darstellen und für die verschiedenen Gebäudeklassen vergleichen (Kapitel 7). Diese Darstellung erfolgt für die typischen Umweltindikatoren (siehe Kapitel 2.5). Anhand dieser Mustergebäude wird auch der Einfluss des Transportes Modul A4 und C2 dargestellt.

¹³ (Siebers, Hauke, Pyschny, Feldmann, & Kuhnhenne, 2014)

¹⁴ (Siebers, Hubauer, Lange, & Hauke, 2012)

¹⁵ (Hauke & Siebers, 2011)

2 Grundlagen - Nachhaltigkeit im Bauwesen

Das Wort „nachhaltig“ taucht bereits 1713 im Zusammenhang mit der Forstwirtschaft auf. Dort drückte es aus, dass immer nur so viele Bäume gerodet werden dürfen, wie im selben Zeitraum nachwachsen können. Die heute gängige Definition des Begriffs „Nachhaltigkeit“ findet sich im 1987 veröffentlichten Brundtland-Bericht der Vereinten Nationen: „Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne die Bedürfnisbefriedigung zukünftiger Generationen zu gefährden.“¹⁶ Hierbei sind Bedürfnisse ökologischer, ökonomischer und sozialer Natur und deren Zusammenspiel ausschlaggebend. Nur wenn in allen Bereichen ein gewisser Standard erreicht wird und dieses Maß auch zukünftig sichergestellt werden kann, ist eine Entwicklung oder Handlung als nachhaltig zu bezeichnen. Ein weiterer Meilenstein bei der Entwicklung zu unserem heutigen Verständnis von Nachhaltigkeit war der Weltgipfel in Rio de Janeiro 1992, auf dem unter anderem die Agenda 21 geboren wurde.¹⁷ Besonderheit hierbei war die Erweiterung der bisher hauptsächlich ökologischen Betrachtung auf gesellschaftliche Gerechtigkeit, Verbesserung der Lebensqualität und des Wohlbefindens, Ethik und Gesundheit.¹⁸ Zwanzig Jahre später fand die Rio+20 Conference in New York statt. Dort liegt das heutige Nachhaltigkeitsverständnis als Einklang von ökologischen, ökonomischen und sozialen Bedürfnissen begründet¹⁹ (siehe Abbildung 2.1).



Abbildung 2.1 Die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit

2.1 Der Einfluss des Bausektors

Im Jahr 2019 wurden in der Europäischen Union rund 1.324 Milliarden € in den Bausektor investiert, was 9,5 % des Bruttoinlandsprodukts der EU ausmachte. 27,4 % der Beschäftigten in

¹⁶ (United Nations, 1987) S.37

¹⁷ (United Nations, 1992)

¹⁸ (United Nations, 1992)

¹⁹ (United Nations, 2012)

Industrieverberufen sind im Baubereich tätig, das entspricht 6,1 % der Gesamtbeschäftigten.²⁰ Allein in Deutschland gehen über 60 % aller Abfallmaterialien, ungefähr 50 % der nichtbiologischen Rohstoffe sowie über 40 % des Primärenergiebedarfs auf die Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Bauwerken zurück.²¹ Neben den ökonomischen und ökologischen Einflüssen spielt die Bauindustrie auch eine große Rolle für die Gesellschaft. Der Lebensunterhalt von Millionen Menschen auf der Welt hängt direkt oder indirekt mit dieser Industrie zusammen. Gebäude, Straßen, Brücken und auch die Wasser- und Energieversorgung haben einen immensen Einfluss auf das Wohlergehen der Menschen. Auch der wirtschaftliche Einfluss des Immobiliensektors hat sich vergrößert. Während Immobilieneigentum früher vorwiegend als Altersabsicherung diente, sind Immobilien heute über Fonds und Kreditabsicherungen mit dem weltweiten Finanzmarkt verwoben. Welche gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen dies haben kann, zeigte die letzte Finanzkrise. Aufgrund der scheinbaren Wertbeständigkeit von Gebäuden konnten in den USA hohe Hypothekendarlehen aufgenommen werden. Die anschließende Zahlungsunfähigkeit vieler privater Kreditnehmer führte innerhalb kurzer Zeit zur Insolvenz wichtiger Banken und Versicherer und zu Kursstürzen an den internationalen Börsen, worunter schließlich auch die deutsche Wirtschaft litt. Diese Zahlen machen deutlich, dass verantwortungsbewusstes Handeln im Baubereich einen wesentlichen Beitrag zur Umwelt- und Ressourcenschonung sowie auch Wirtschaftlichkeit leisten kann.

2.2 Die Ziele des nachhaltigen Bauens

In der Vergangenheit standen bei der Planung von Gebäuden primär die Herstellkosten im Vordergrund. Im Rahmen der Wärmeschutzverordnung bzw. der darauffolgenden Energieeinsparverordnung (EnEV) wird eine gut dämmende Gebäudehülle benötigt, wodurch sich der Energieverbrauch während der Nutzung stark reduziert. Heute werden Gebäude entwickelt, die durch Ihre Eigenschaften eine hohe ökonomische, ökologische und soziale Qualität aufweisen (siehe auch Abbildung 2.2).

2.2.1 Ökologische Ziele

Energieeffizienz

In Deutschland sind hochwertige Feuchtigkeits- und Wärmeschutzkonzepte zum Standard geworden. Nach der Einführung der Wärmeschutzverordnung in den 1970er Jahren entwickelten sich die Kenntnisse der Planer über die Bauphysik und die Qualität der Dämmstoffe weiter. Aufgrund kontinuierlicher Produktverbesserungen, steigender Energiepreise und strenger gesetzlicher Anforderungen lohnt es sich jedoch, das gesamte Gebäudekonzept zu optimieren. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass mit intelligenten Konzepten Energieeinsparungen von bis zu 60 % gegenüber herkömmlichen Gebäuden möglich sind.²² Neben dem Energiebedarf bei der Nutzung des Gebäudes ist immer mehr die in den Baustoffen enthaltene "graue" Energie zu berücksichtigen, d.h. die Energie, die zur Herstellung der Baustoffe selbst verwendet werden muss. Ein aus energetischer Sicht gut geplantes Gebäude zeichnet sich dadurch aus, dass es die Anforderungen an Wirtschaftlichkeit, Benutzerkomfort und Benutzergesundheit erfüllt und

²⁰ (FIEC: European Construction Industry Federation, 2020) S. 2

²¹ (Hegner, 2010) S.408

²² (Siebers, Hauke, Hechler, & Kuhnhenne, 2014) S. 699

während des gesamten Lebenszyklus (einschließlich Herstellung, Nutzung und Entsorgung) den niedrigsten Gesamtenergiebedarf aufweist.

Ressourceneffizienz

Strukturen so auszulegen, dass sie die gestellten Anforderungen mit möglichst wenig Ressourceneinsatz erfüllen, ist Grundlage eines jeden ingenieurmäßigen Vorgehens. Ein sorgfältiger Umgang mit Ressourcen bedeutet aber auch, dass neben dem Einsatz von Recyclingmaterialien bei der Herstellung von Bauprodukten auch das erneute Recycling oder sogar eine Wiederverwendungsfähigkeit von Bauprodukten nach der Nutzungsphase des Gebäudes möglich ist. Wiederverwendung und Recycling sind wichtige Aspekte der Ressourceneffizienz, da sie dazu beitragen, den Verbrauch wichtiger primärer Rohstoffe zu reduzieren. Wiederverwendbare und recycelbare Materialien sind auch für zukünftige Generationen nutzbar, wenn primäre Rohstoffe nicht mehr in beliebiger Menge zur Verfügung stehen. Gleichzeitig tragen sie dazu bei, die Abfallmenge zu reduzieren und so eine ineffiziente Verbrennung oder sogar die Deponierung zu verhindern. Eine kluge Kreislaufwirtschaft trägt daher doppelt zum ökologischen Bauen bei.

Emissionen senken

Neben dem effektiven Einsatz von Ressourcen hat die Emission schädlicher Substanzen auch erhebliche Auswirkungen auf die ökologische Qualität von Gebäuden. Hierbei ist es auch wichtig den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes einschließlich der Herstellung und Entsorgung der verwendeten Baumaterialien zu berücksichtigen. Öffentlichkeit und Politik konzentrieren sich derzeit auf die Reduzierung klimaschädlicher Treibhausgase, von denen Kohlendioxid mit rund 75 % den größten Anteil ausmacht. Es müssen jedoch auch andere Emissionen vermieden werden, z.B. Schwefeldioxid, das sauren Regen verursacht, oder Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), die die Ozonschicht zerstören.

2.2.2 Soziale Faktoren

Die sozialen Aspekte umfassen im Gebäudesektor sehr unterschiedliche Dimensionen. Einerseits müssen soziale Standards bei der Herstellung, Wartung und Rückbau von Bauwerken und Bauprodukten beachtet werden, zum anderen sollen Gebäude optimal ihren Nutzern dienen. Außerdem gibt es andere Interessengruppen, die direkt oder indirekt von Gebäuden betroffen sind, wie z.B. Anwohner. Alles in allem müssen Gebäude die menschlichen Bedürfnisse nach komfortablen und effizienten Arbeitsplätzen, erschwinglichem und gesundem Wohnen, Nutzerkomfort, Funktionalität und attraktiven Innen- und Außendesigns in allen Lebensphasen berücksichtigen. In den in dieser Arbeit betrachteten Bereichen – Errichtung und Rückbau oder Abbruch– spielt die Beurteilung von sozialen Faktoren, zumindest für die Situation in Deutschland und Europa keine bedeutende Rolle. Durch die hohen sozialen und arbeitsrechtlichen Standards in Europa ist eine Betrachtung von Themen wie Kinderarbeit und mangelnde Arbeitssicherheit nicht sinnvoll. Hier ist nur zu erwähnen, dass die Vorfertigung als grundlegende Methode im Stahlbau höhere Standards in Arbeitssicherheit und Qualität erlaubt als eine Baustellenfertigung. Die Fertigungswerke sind von Witterungseinflüssen weitgehend unabhängig. Just-in-time-Prozesse sorgen für eine optimale Baustellenlogistik mit geringem Transportaufkommen und schlanker Baustelleneinrichtung. Bauablauf und Bauzeit sind zeitlich verkürzt und das Bauwerk

kann unter Umständen früher genutzt werden. Verkehrsstörungen können so ebenfalls verringert werden, Abfälle vor Ort werden vermieden sowie Lärm- und Staubbelastungen im Baustellenumfeld gesenkt. Dies sind Faktoren, die einen direkten Einfluss auf die Menschen haben und den sozialen Aspekt zugeordnet werden.

2.2.3 Ökonomische Ziele

Die Wirtschaftlichkeit eines Bauvorhabens ist ein ebenso wichtiger Faktor bei einer Nachhaltigkeitsbetrachtung wie die Erreichung der sozialen und ökologischen Ziele. In Bezug auf die Ausgaben aber auch möglicher Einnahmen muss die Bilanz des Gebäudes während seines gesamten Lebenszyklus (d.h. von der Herstellung des Gebäudes über die Nutzung bis zur Entsorgung oder zum Recycling) berücksichtigt werden. Grundvoraussetzung für zukünftige Erlöse ist die Wertbeständigkeit des Gebäudes über einen möglichst langen Zeitraum. Die Wirtschaftlichkeit hängt zum einen vom Gebäude selbst ab, beispielsweise von der Haltbarkeit der Baustoffe und Anlagen, zum anderen haben externe Änderungen, wie z.B. die Entwicklung des Standortes, wechselnde Anforderungen der Nutzer und Energiekosten einen Einfluss. Ein Gebäude mit hoher Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit lässt sich an die veränderlichen Ansprüche anpassen. Die entstehenden Kosten für die in dieser Arbeit betrachteten Bereiche – Errichtung und Rückbau oder Abbruch – sind nur ein geringer Teil der beschriebenen Gesamtkostenbilanz für ein Bauwerk. Der seit 2010 alle zwei Jahre erscheinende und stets mit neu erhobenen Daten aktualisierte Leitfaden „Kosten im Stahlbau“ liefert Informationen zu den Marktpreisen von Baustahlkonstruktionen. Der Anteil von Lieferung und Montage macht demnach ca. 20 % der Gesamtkosten für die Errichtung aus.²³

²³ (bauforumstahl e.V., 2020) S. 38 f.

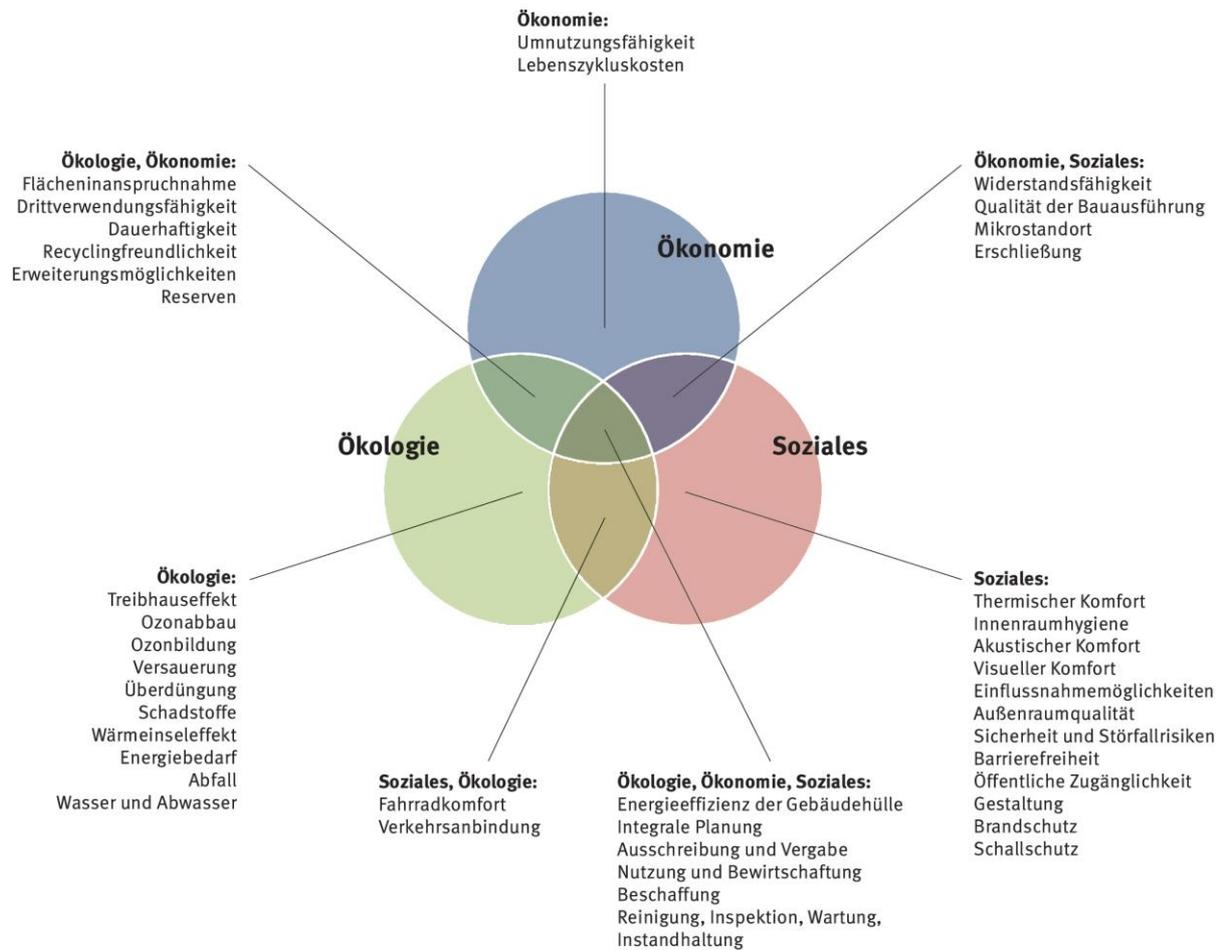


Abbildung 2.2 Nachhaltige Gebäude müssen hohe Anforderungen an ihre ökologische, gesellschaftliche und ökonomische Qualität erfüllen.²⁴

2.3 Normativer Hintergrund

Ende 2007 wurde das „Nachhaltige Bauen“ (sustainable construction), eng verknüpft damit das Recycling (recycling), von der EU-Kommission offiziell zu den Leitmärkten Europas erklärt. Weitere der insgesamt sechs Leitmärkte sind die elektronischen Gesundheitsdienste (eHealth), Schutztextilien (protective textiles), biobasierte Produkte (bio-based products) und erneuerbare Energien (renewable energys). Ziel der Initiative ist es, innovationsfreundliche Märkte gezielt zu entwickeln und die Vermarktung von Innovationen zu erleichtern.²⁵ Die Bedeutung des Marktes „Nachhaltiges Bauen“ liegt nach Meinung der Europäischen Kommission darin, dass der höchste Anteil des Endenergieverbrauchs der EU (42 %) auf Gebäude entfällt. Zudem sind Gebäude auch für ca. 35 % aller Treibhausgasemissionen verantwortlich. Für den Leitmarkt des Nachhaltigen Bauens sind in einem Aktionsplan (Action Plan for Sustainable Construction) Aufgaben und Ziele zusammengestellt worden. Als wichtige Instrumente zur Umsetzung werden Rechtsvorschriften, das öffentliche Auftragswesen, die Normung, Produktkennzeichnung und Zertifizierung auf Gebäudeebene gesehen.²⁶

²⁴ (Siebers, Hauke, Hechler, & Kuhnhenne, 2014) S. 698 (Farben angepasst)

²⁵ (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2007) S. 5-7

²⁶ (Europäische Kommission, 2013)

In der Normung wird das Thema „Nachhaltigkeit“ innerhalb und außerhalb des Baubereichs bereits aufgegriffen. Da der normative Hintergrund wichtig für die Ökobilanzierung von Bauprodukten und gesamten Bauwerken ist, wird im Folgenden eine kurze Einleitung in die Normung gegeben:

Es ist zu unterscheiden zwischen dem internationalen, dem europäischen und dem deutschen Normungsausschuss: Die Internationale Organisation für Normung (International Organisation for Standardisation – ISO) ist die weltweite Vereinigung von Normungsorganisationen. Das Europäische Komitee für Normung (Comité Européen de Normalisation – CEN) erstellt die europäischen Normen (EN). Das Deutsche Institut für Normung (DIN) vertritt die deutsche Normungsarbeit im CEN und in der ISO. Das CEN wurde gegründet, um die europäischen Normungsarbeiten zu harmonisieren. CEN-Normen sind daher von allen 30 im CEN vertretenen Ländern – darunter Deutschland – zu übernehmen. Die Normen werden in Deutschland dann als „DIN EN“ eingeführt. Auch ISO-Normen können direkt oder indirekt als deutsche Normen übernommen werden. Sie werden dann bezeichnet als DIN EN ISO oder DIN ISO. Die Erstellung einer Norm ist ein langwieriger Prozess, da viele unterschiedliche Interessen und normative Zusammenhänge berücksichtigt werden müssen. Daher gibt es trotz intensiver Beschäftigung mit dem Thema in der ISO und im CEN bisher nur wenige bereits verabschiedete Normen zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden. Der bestehende und zukünftige normative Hintergrund für das nachhaltige Bauen ist in Tabelle 2.1²⁷ dargestellt.

²⁷ Aktualisierung von (Siebers, Hauke, Hechler, & Kuhnhenne, 2014)

Tabelle 2.1 Aktueller normativer Hintergrund für das nachhaltige Bauen

<p>Nachhaltigkeit in der Bauwirtschaft ISO 15392: Nachhaltigkeit: Definition, Ziele, wesentliche bauwerksbezogene Aspekte ISO 12720: Anwendung grundsätzlicher Nachhaltigkeitsprinzipien ISO 21932: Terminologie</p>		<p>Nachhaltigkeit von Ingenieurbauwerken prEN WI 00350028: Voraussichtlich ähnlich 21929-1 mit speziellen Indikatoren für Ingenieurbauwerke</p>
<p>Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden ISO 21929-1: Indikatoren: Definition, Anforderungen an Indikatoren, wesentliche Indikatoren zur Gebäudebewertung EN 15643-1: Ziele der Bewertung, Definition Gebäudelebenszyklus; Definition der Systemgrenzen eines Gebäudes; ISO gibt zudem noch Kriterien an, die bewertet werden sollten. EN 15978: Anleitung zum Bewertungsprozess allgemein und Handlungsanweisungen für die ökologische Bewertung inkl. Angabe wesentlicher Indikatoren</p>		
<p>Ökologische Qualität</p>	<p>EN 15978: siehe oben EN 15643-2: Allgemeine Anforderungen an die Analyse der umweltbezogenen Qualität und zu untersuchende Wirkkategorien Umwelt-Produktdeklarationen ISO 14025: (nicht nur für Bauprodukte) Typ III Umweltdeklarationen; Integration der Ökobilanz, allgemeine Anforderungen, z.B. zum Verifizierungsprozess ISO 21930: (ähnlich 14025, aber speziell für Bauprodukte) Wozu dienen Deklarationen, welche Informationen über Bauprodukte sollen sie enthalten, Erläuterung der Phasen des Gebäudelebenszyklus, welche Dokumente müssen bei der Entwicklung einer Deklaration für Bauprodukte angefertigt werden und welche Informationen sollen diese beinhalten? DIN CEN/TR 15941: Verwendung generischer Daten (Datenherkunft und Sicherstellung der Datenqualität) EN 15804+A2: Inhalt und allgemeine Informationen zu einer Umwelt-Produktdeklaration (EPD) für Bauprodukte, z.B. Festlegen von Lebenszyklusphasen und Systemgrenzen auf Produktebene, Gültigkeit, Besitzverhältnisse EN 15942: Kommunikationsformat (Gliederungs- und Darstellungsregeln)</p>	<p>Soziale Qualität EN 15643-3: Konzentration auf die Nutzungsphase, beinhaltet Indikatoren zur Bewertung der sozialen Qualität EN 16309: Verfahren zur Bewertung der sozialen Qualität von Gebäuden</p>
		<p>Ökonomische Qualität EN 15643-4: Beschreibt bisher nur die Indikatoren „Werthaltigkeit“ und „Lebenszykluskosten“, soll später aber auch Einzelheiten zur Bewertung zur Verfügung stellen EN 16627: Verfahren zur Bewertung der ökonomischen Qualität von Gebäuden</p>
	<p>ISO 14040: Allgemeine Beschreibung „Ökobilanz“ inkl. wesentlicher Definitionen – Hintergrundinformation für Nutzer oder Anwender von Umwelt-Produktdeklarationen ISO 14044: Anleitung zur Erstellung einer Ökobilanz inkl. zu beachtender Hinweise und Informationen aus ISO 14040 – richtet sich an Ersteller einer Ökobilanz</p>	

Alle dargestellten Normungsvorhaben bilden die Grundlagen für eine gemeinsame Bewertungsbasis für nachhaltige Gebäude sowie die Definition hierfür geeigneter Indikatoren und Berechnungsgrundlagen. Auf Gebäudeebene wurden insbesondere zur Bewertung der ökologischen Qualität viele Normen entwickelt. Die Entwicklung von Normen zur Bewertung der sozialen und ökonomischen Qualität ist bislang noch nicht so weit fortgeschritten. Während auf Gebäudeebene schon viele Normen entwickelt wurden, besteht für Ingenieurbauwerke aktuell nur eine allgemein gefasste Norm. Die in dieser Arbeit erhobenen Daten für Baustahl müssen in Einklang mit dem aktuellen Stand der Normung sein. Daher wird hier ein Einblick in die wichtigsten Normen DIN EN 15804+A2 und DIN EN 15978 gegeben und erläutert welche Regeln hierbei zu beachten sind. Ergänzende Informationen sind auch in der DIN SPEC 18941²⁸ zu finden. Diese gibt Empfehlungen für die Auswahl und Verwendung von generischen Daten.

2.3.1 Modulare Lebenszyklusstadien

In der DIN EN 15804+A2 und DIN EN 15978 sind die Grundregeln für die Erstellung von Umwelt-Produktdeklarationen (Environmental Product Declaration – EPD) für Bauprodukte (DIN EN 15804+A2) und für die Berechnung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden (DIN EN 15978) festgelegt.

Die beiden Normen sind insofern stark miteinander verknüpft, als dass sie auf einer einheitlichen modularen Lebenszyklusdarstellung beruhen (Abbildung 2.3). Dadurch können die Umweltdaten aus EPDs, die nach DIN EN 15804+A2 erstellt wurden, direkt für eine Gebäudebewertung nach DIN EN 15978 herangezogen werden. Der Lebensweg eines Bauproduktes startet demnach mit dem Rohstoffabbau und der Herstellung, geht dann mit der Bauphase weiter und endet mit Rückbau und Abfallbehandlung. Nach dem Lebensende eines Gebäudes werden z.B. recyclingfähige Bauprodukte aus Stahl wieder in den Produktionskreislauf zurückgegeben. Deshalb muss im Sinne einer kompletten Beschreibung der Umweltwirkungen eines Gebäudes auch das Modul D, welches unter anderem die Gutschriften und Belastungen aus Recycling und Wiederverwendung beschreibt, mitberücksichtigt werden. Im Folgenden werden relevante Ausschnitte aus den genannten Normen zitiert und der Bezug zu dieser Forschungsarbeit in Form einer Kommentierung hergestellt:

DIN EN 15804+A2 6.2.1: „Die Umweltinformationen einer EPD, die alle Phasen des Lebenszyklus und Modul D umfassen (von der Wiege bis zur Bahre und Modul D), müssen in die Module A1-A3, A4-A5, B1-B7, C1-C4 und Modul D unterteilt werden.“

Mussten bis jetzt in einer Umwelt-Produktdeklaration (EPD) nach DIN EN 15804+A1 nur die Module A1-A3 (Produktherstellung) verpflichtend deklariert werden, so sollen in Zukunft für nahezu alle Bauprodukte alle Module mit belastbaren Zahlenwerten hinterlegt sein. Dazu verpflichtet die neue DIN EN 15804+A2 seit Oktober 2019 – allerdings mit dreijähriger Übergangsregelung.

Für die Module A5 und C1 liegen für Baustahl und viele andere Produkte allerdings noch keine belastbaren Daten vor, hier soll diese Arbeit eine Datenbasis schaffen (siehe Kapitel 1.1).

²⁸ (DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 2010)

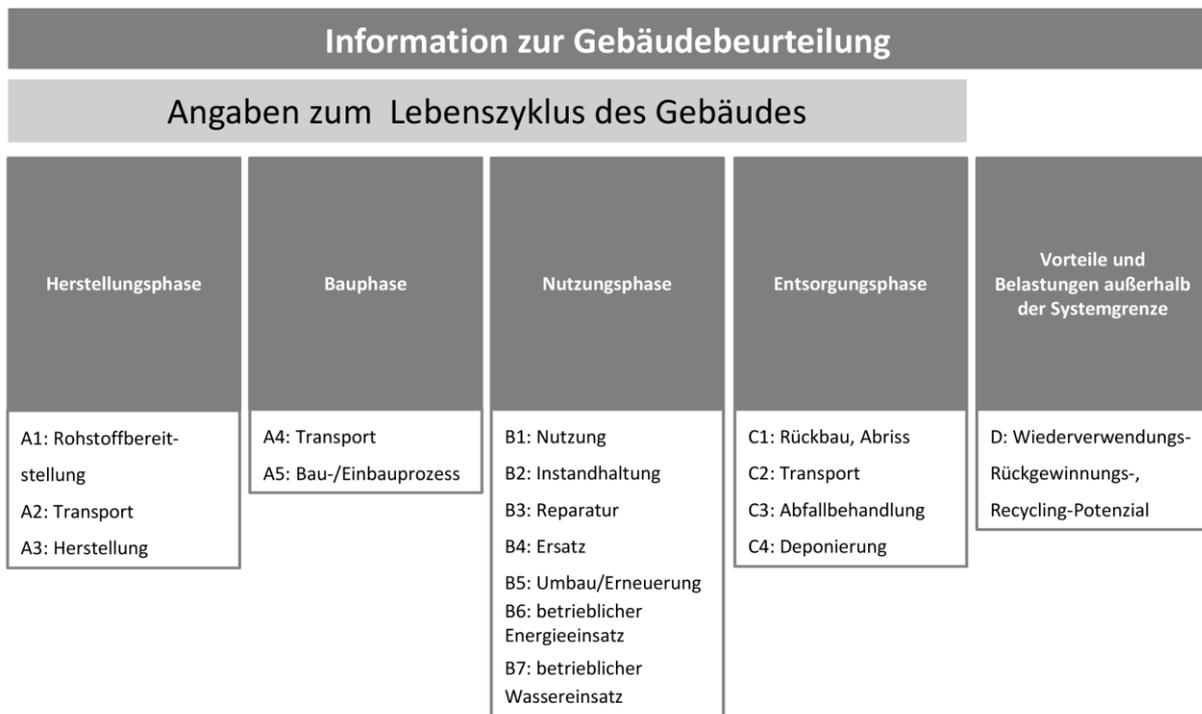


Abbildung 2.3 Lebenszyklusstadien von Gebäuden und Bauprodukten gemäß DIN EN 15804+A2 und DIN EN 15978 für nachhaltige Bauwerke

2.3.2 Funktionales Äquivalent

DIN EN 15978 7.2: „Vergleiche zwischen den Ergebnissen der Bewertung von Gebäuden oder Bauwerksteilen dürfen nur auf Basis ihrer funktionalen Äquivalenz durchgeführt werden. Werden Bewertungsergebnisse, die auf unterschiedlichen funktionalen Äquivalenten beruhen, für Vergleiche herangezogen, so muss die Vergleichsgrundlage deutlich erkennbar sein.“

Für die in dieser Arbeit ermittelten Daten, die sich auf Errichtung und Rückbau von Konstruktionen aus Baustahl beziehen, wird als funktionelles Äquivalent jeweils eine Tonne Baustahl gewählt. So kann später über die Tonnage eines Bauwerks auf die Aufwendung für Errichtung und Rückbau geschlossen werden.

2.3.3 Szenarien für die deklarierten Module

DIN EN 15804+A2 6.3.9: „Die Berechnung der Informationsmodule, die ausgewählte oder alle Phasen des Lebenszyklus des Bauprodukts außer die Module A1-A3 betreffen, muss von Szenarien unterstützt werden. Ein Szenario muss der Realität entsprechen und für eine der wahrscheinlichsten Alternativen repräsentativ sein. (Wenn z.B. drei verschiedene Anwendungen möglich sind, müssen entweder das wahrscheinlichste oder alle drei Szenarios deklariert werden). Szenarios dürfen keine Prozesse oder Verfahren enthalten, die nicht in aktuellem Gebrauch sind, oder für die nicht belegt ist, dass sie praktikabel sind.“

Auch in diesem Bereich muss die Forschungsarbeit die normativen Anforderungen erfüllen. Welche Szenarien in dieser Forschungsarbeit zugrunde gelegt werden und dass diese repräsentativ für die aktuelle Marktsituation sind, wird in Kapitel 4.3 und Kapitel 4.4 behandelt.

2.3.4 Auswahl der Daten

DIN EN 15804+A2 6.3.7: „....eine EPD, die ein Durchschnittsprodukt beschreibt, muss mit Daten berechnet werden, die einen repräsentativen Durchschnitt für die mit der EPD deklarierten

Produkte darstellen;..“ und „eine EPD, die ein spezifisches Produkt beschreibt, muss mindestens für die Prozesse, auf die der Hersteller Einfluss hat, mit spezifischen Daten berechnet werden. Generische Daten dürfen für die Prozesse verwendet werden, die der Hersteller nicht beeinflussen kann.“

Dies gilt nicht nur für Herstellungs- und Recyclingverfahren, die bereits in den verfügbaren EPDs (siehe Kapitel 2.6) deklariert werden, sondern auch für die hier neu zu ermittelnden Daten für Errichtung, Rückbau und Abbruch. Um diese Vorgabe der Norm zu erfüllen, wird eine Analyse der Marktsituation durchgeführt (Kapitel 3). Auf Basis der so erlangten Informationen wird eine Projektdatenbank erstellt, deren Repräsentativität für die Ermittlung von generischen Daten ausreichend ist. Dies wird in Kapitel 4.4 nachgewiesen.

2.3.5 Kriterien für eine Nichtbetrachtung von Inputs und Outputs

DIN EN 15804+A2 6.3.6 + DIN EN 15978 9.4.3:“....Im Fall von unzureichenden Input-Daten oder Datenlücken für einen (Einheits-)Prozess müssen die Abschneidekriterien von 1 % des erneuerbaren und des nicht erneuerbaren Einsatz von Primärenergie und 1 % der Gesamtmasse dieses Einheitsprozesses eingehalten werden.....“

Es ist zu ermitteln, ob die in dieser Arbeit zu ermittelnden Umweltwirkungen für Errichtung und Rückbau bzw. Abbruch ggf. so gering sind, dass Sie unter das Abschneidekriterium fallen und nicht berücksichtigt werden müssten (siehe Kapitel 5.6).

2.4 Rechtlicher Hintergrund

2.4.1 EU-Bauproduktenverordnung

Seit der europaweit verbindlichen Einführung der EU-Bauproduktenverordnung (BauPVO) am 1. Juli 2013 müssen Hersteller von Bauprodukten eine Leistungserklärung für ihr Bauprodukt abgeben. Im Anhang 1 der Bauproduktenverordnung werden Basisanforderungen an Bauwerke genannt, die in vielerlei Hinsicht die wesentlichen Aspekte der Nachhaltigkeit berühren:

- Basisanforderung 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- Basisanforderung 2: Brandschutz
- Basisanforderung 3: Hygiene, Gesundheit und Umwelt
- Basisanforderung 4: Nutzungssicherheit
- Basisanforderung 5: Lärmschutz
- Basisanforderung 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz
- Basisanforderung 7: Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen

Grundsätzlich sind mit weiteren Verschärfungen der Gesetze und Anforderungen in Bezug auf Umweltschutz zu rechnen. Daher müssen sich alle Wirtschaftszweige auf die neuen Rahmenbedingungen einstellen. Es gilt daraus resultierende Chancen frühzeitig zu erkennen und zu nutzen. Für die Basisanforderungen 3 und 7 können Umwelt-Produktdeklarationen direkt als Nachweisgrundlage herangezogen werden. Die BauPVO und DIN EN 1090-1²⁹ legen die Anforderungen an den Konformitätsnachweis von tragenden Stahl- und Aluminiumbauteilen fest, die als Bauprodukte in Verkehr gebracht werden. Die Leistungserklärung und die

²⁹ (DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 2011)

CE-Kennzeichnung auf der Basis von BauPVO und EN 1090-1 müssen für Bauprodukte erbracht werden, für welche die folgenden vier Bedingungen erfüllt sind:

- Das Bauprodukt wird vom Anwendungsbereich von DIN EN 1090-1:2009+A1:2011 abgedeckt, siehe Listen in CEN/TR 17052 Anhang A und Anhang B³⁰.
- Das Bauprodukt ist aus Stahl oder Aluminium hergestellt und erfüllt die technischen Anforderungen von EN 1090-2³¹ bzw. EN 1090-3³².
- Das Produkt ist ein tragendes Bauprodukt im Sinne der EU-Bauproduktenverordnung 305/2011 (BauPVO), das heißt:
 - es ist dafür gedacht auf Dauer in ein Bauwerk (Gebäude oder Ingenieurbauwerk) integriert zu werden,
 - es hat in dem Bauwerk eine tragende Funktion („structural function“), d.h. sein Versagen würde die Erfüllung der Grundanforderung BR1 an Bauwerke gemäß BauPVO beeinträchtigen,
 - das Bauprodukt wird nicht durch eine andere europäische, technische Spezifikation abgedeckt. Falls eine spezifische harmonisierte EN-Produktnorm, eine Leitlinie für europäische Zulassungen ETAG, eine europäische Zulassung ETA oder ein europäisches Bewertungsdokument EAD existiert, muss die CE-Kennzeichnung auf deren Basis erfolgen.

Leider sind einige Begrifflichkeiten nicht völlig identisch zwischen der BauPVO und DIN EN 1090-1. Wir befinden uns damit zurzeit in einem höchst unbefriedigenden Zwischenzustand hinsichtlich der zu beachtenden Vorschriften: Einerseits ist die BauPVO für alle Bauprodukte absolut verbindlich. Andererseits ist die Norm DIN EN 1090-1 noch nicht an die neue Struktur und Terminologie der BauPVO angepasst, gilt aber trotzdem kraft ihrer Funktion als harmonisierte Europäische Norm ebenfalls als rechtsverbindliche Grundlage für den Konformitätsnachweis für tragende Stahlbauteile. Die Umsetzung der BauPVO sowie der DIN EN 1090-1 werden in Zukunft zur verpflichtenden Angabe von Umweltwirkungen von Bauprodukten führen. Da EPDs hierfür das optimale und bereits normativ geregelte Mittel sind, werden die Bauproduktehersteller alle Produkte mit diesen Deklarationen ausstatten (siehe Kapitel 2.6).

2.4.2 Abfallvermeidung & Recycling

Das neue Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) setzt seit dem 01.06.2012 die EU-Abfallrahmenrichtlinie vom 19.11.2008 in deutsches Recht um. In diesem Gesetz wird das langfristige Ziel einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft ohne Abfälle und mit hochwertigem Recycling und Wiederverwendung gefordert. Insbesondere wird die Produktverantwortung der Hersteller hervorgehoben. Sie steht noch vor den bestehenden und neuen Recycling- und Verwertungsverfahren. Wichtig für die Anforderungen an Bauprodukte und -verfahren ist der §23 des KrWG:

³⁰ (DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 2017)

³¹ (DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 2011)

³² (DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 2008)

„Produktverantwortung

(1) Wer Erzeugnisse entwickelt, herstellt, be- oder verarbeitet oder vertreibt, trägt zur Erfüllung der Ziele der Kreislaufwirtschaft die Produktverantwortung. Erzeugnisse sind möglichst so zu gestalten, dass bei ihrer Herstellung und ihrem Gebrauch das Entstehen von Abfällen vermindert wird und sichergestellt ist, dass die nach ihrem Gebrauch entstandenen Abfälle umweltverträglich verwertet oder beseitigt werden.

Die Produktverantwortung umfasst insbesondere:

1. die Entwicklung, die Herstellung und das Inverkehrbringen von Erzeugnissen, die mehrfach verwendbar, technisch langlebig und nach Gebrauch zur ordnungsgemäßen, schadlosen und hochwertigen Verwertung sowie zur umweltverträglichen Beseitigung geeignet sind,
2. den vorrangigen Einsatz von verwertbaren Abfällen oder sekundären Rohstoffen bei der Herstellung von Erzeugnissen,
3. die Kennzeichnung von schadstoffhaltigen Erzeugnissen, um sicherzustellen, dass die nach Gebrauch verbleibenden Abfälle umweltverträglich verwertet oder beseitigt werden,
4. den Hinweis auf Rückgabe-, Wiederverwendungs- und Verwertungsmöglichkeiten oder -pflichten und Pfandregelungen durch Kennzeichnung der Erzeugnisse sowie
5. die Rücknahme der Erzeugnisse und der nach Gebrauch der Erzeugnisse verbleibenden Abfälle sowie deren nachfolgende umweltverträgliche Verwertung oder Beseitigung.“

In §6 des KrWG werden Maßnahmen der Vermeidung und der Abfallbewirtschaftung in folgende Rangfolge gebracht:

1. *Vermeidung,*
2. *Vorbereitung zur Wiederverwendung,*
3. *Recycling,*
4. *sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung,*
5. *Beseitigung.*

Diese verschiedenen Abfallwege werden wie folgt beschrieben:

- Wiederverwendung von bereits genutzten Produkten oder Bauteilen in gleicher oder vergleichbarer Funktion: *„(21) Wiederverwendung im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren.“*
KrWG § 3(21)
- Recycling mit gleichwertiger oder besserer (Upcycling) Materialqualität: *„(25) Recycling im Sinne dieses Gesetzes ist 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.“ KrWG § 3(25)

- Verwertung von Abfällen als Sekundärrohstoffe für andere Funktionen; die ursprüngliche Materialqualität wird nicht erreicht (Downcycling): *„(23) Verwertung im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis die Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie entweder andere Materialien ersetzen, die sonst zur Erfüllung einer bestimmten Funktion verwendet worden wären, oder indem die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen.“ KrWG § 3(23)*
- Verbrennung von Abfällen: *„(26) Beseitigung im Sinne dieses Gesetzes ist jedes Verfahren, das keine Verwertung ist, auch wenn das Verfahren zur Nebenfolge hat, dass Stoffe oder Energie zurückgewonnen werden.“ KrWG § 3(26)*

Ziel ist die Vermeidung von Abfällen durch effiziente Produktherstellung und recyclingtaugliche und dauerhafte Planung vgl. KrWG §3(20). Zudem ist für die Bau- und Immobilienwirtschaft sowohl die in der europäischen Abfallrahmenrichtlinie als auch im deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz für 2020 festgesetzte Recycling- und Verwertungsquote von 70 % relevant. Da per Definition des KrWG §3(23) auch eine Verfüllung und das Downcycling in die Möglichkeiten zur Quotenerfüllung fallen, wird das gesteckte Ziel zumindest in Deutschland schon jetzt erfüllt. Der Bundesverband Baustoffe –Steine und Erden e.V. äußert sich dazu wie folgt: „Mit einer Verwertungsquote von 95,0 Prozent für die körnigen Fraktionen, für die die EU-Abfallrahmenrichtlinie zukünftig eine mindestens 70-prozentige Verwertung fordert, erfüllt die Initiative aktuell – ebenso wie in den vergangenen Berichtszeiträumen – weit ehrgeizigere politische Ziele.“³³ Daher wäre ein Quotenziel das qualitativ hochwertiges Recycling fordert deutlich zielführender. Um dieses noch zu definierende Ziel zu erreichen, sind Baustoffe in Zukunft so auszuwählen, dass sie nach dem Lebensende eines Gebäudes möglichst wiederverwendet bzw. hochwertig recycelt werden können. Für Bauprodukte aus Stahl lassen sich anhand von veröffentlichten Studien sowie EPDs die in der folgenden Tabelle 2.2 aufgeführten Recycling- und Wiederverwendungsraten ermitteln. Deutlich zu erkennen ist, dass die Vorgabe des Kreislaufwirtschaftsgesetzes von Stahlprodukten im Baubereich überschritten wird. Die etablierte Recyclingindustrie und die Wiederverwertung sind laut der Abfallhierarchie deutlich höherwertig als eine stoffliche Verwertung anzusehen.

³³ (Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (Hrsg.), 2018)

Tabelle 2.2 Durchschnittliche End-of-life Szenarios für Stahlprodukte

Quelle	Stahlprodukt	Sammelrate	Recycling	Wiederverwendung	Sammelverlust
Office Technique pour l'Utilisation de l'Acier ³⁴	Stahlträger	98 %	87 %	11 %	2 %
Sansom/Meijer ³⁵	Stahlträger	99 %	88 %	11 %	1 %
Ley/Sansom/Kwan ³⁶	Baustahlprofile	99 %	86 %	13 %	1 %
Steel Recycling Institute ³⁷	Baustahlprofile	k. A.	97,5 %	k. A.	2,5 %
Durmisevic/Noort ³⁸	Baustahl	97 %	83 %	14 %	3 %
Geyer/Jackson/Clift ³⁹	Baustahlprofile	99 %	86 %	13 %	1 %
Institut Bauen und Umwelt e.V. EPD-BFS-20180116-IBG2 ⁴⁰	Offene Walzprofile und Grobbleche	99 %	88 %	11 %	1 %
Institut Bauen und Umwelt e.V. EPD-VAL-20150248-IBB1 ⁴¹	Kreisförmige, quadratische und rechteckige Stahlbauhohlprofile	99 %	88 %	11 %	1 %
DBU Projekt 2019 Az 32396/01 ⁴²	Stahlprofile und Grobblech	96,9 %	91,6 %	5,3 %	3,1 %

³⁴ (Office technique Pour l'utilisation de l'acier, 2007)

³⁵ (Sansom & Meijer, 2002) S. 42

³⁶ (Ley, Sansom, & Kwan, 2001) S. 262

³⁷ (Steel recycling institute, 2008) S.2

³⁸ (Durmisevic & Noort, 2003) S. 3

³⁹ (Geyer, Jackson, & Clift, 2002) S. 3

⁴⁰ (Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hrsg.), 2018)

⁴¹ (Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hrsg.), 2015)

⁴² (Helmus, Randel, Siebers, & Pütz, 2019) S. 58

2.5 Ökobilanz und funktionelle Einheit

Die Ökobilanz ist ein Verfahren, um umweltrelevante Vorgänge zu erfassen und zu bewerten. Ursprünglich vor allem zur Bewertung von Produkten entwickelt, wird sie heute auch bei Prozessen, Dienstleistungen, menschlichen Verhaltensweisen und für Gebäude angewendet. Grundsätze und Regeln zur Durchführung von Ökobilanzen wurden in den ISO-Standards 14040 und 14044 international festgelegt und in das deutsche Normenwerk übertragen (DIN EN ISO 14040, DIN EN ISO 14044). Danach umfasst die Ökobilanz vier Elemente:

- Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen,
- Sachbilanz,
- Wirkungsabschätzung,
- Auswertung.

In der Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen wird zuerst festgelegt, wofür die Ökobilanz verwendet werden soll. Diese Festlegung beeinflusst alle weiteren Entscheidungen und ist damit ein sehr wichtiger Schritt in einer Ökobilanz. Danach werden Nutzen und Funktionen des Objektes festgelegt und der grundsätzliche Lebensweg beginnend bei der Rohstoffgewinnung und endend mit der entsprechenden Entsorgung definiert. Außerdem werden Wechselbeziehungen berücksichtigt, Annahmen und Einschränkungen definiert, sowie die vorläufigen Grenzen der Untersuchung festgelegt, sogenannte Abschneidekriterien. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Definition der deklarierten Einheit. Darunter versteht man die produktspezifische Größe, auf die nachher die Umweltwirkungen bezogen werden z.B. ein Quadratmeter Bruttogeschossfläche⁴³ (siehe Kapitel 5.1 und Kapitel 2.3.2).

In der anschließenden Sachbilanz werden quantitative Aussagen über den eben erfassten Produktlebensweg gemacht. Dazu werden die Ressourcenverbräuche (Eingangsinformationen, „Inputs“) dem Nutzen (funktionelle Einheit) bzw. den damit korrelierenden Emissionen (Ausgangsgrößen, „Outputs“) gegenübergestellt. Die Sachbilanz ist an sich ein rein beschreibendes Modell ohne jegliche Wertung (siehe Kapitel 5.4).

Die Wirkungsabschätzung teilt anschließend die Ergebnisse der Sachbilanz nach wissenschaftlich basierten, qualitativen Gesichtspunkten in verschiedene Wirkungskategorien ein und zeigt beispielsweise die Relevanz verschiedener Emissionen für den Treibhauseffekt oder zur Bildung des Ozonlochs. Das Ergebnis der Wirkungsabschätzung ist eine Anzahl (üblicherweise 5-10) quantitativer Umweltauswirkungen, die ein Produkt oder Prozess verursacht (siehe Kapitel 5.5). In den Normen ISO 14040 bzw. 14044 wird eine Wirkungsabschätzung gefordert, die der Struktur der CML-Methode entspricht. CML 2001 ist eine wirkungsorientierte Folgenabschätzungsmethode, die vom Institut für Umweltwissenschaften der Universität Leiden (Centrum voor Milieukunde Leiden - CML) in den Niederlanden entwickelt und veröffentlicht wurde⁴⁴. Die Hauptprinzipien der Methodik stehen seitdem fest und werden nicht mehr weiterentwickelt. Die Charakterisierungsfaktoren können allerdings aktualisiert werden, wenn

⁴³ übersetzt und überarbeitet nach (Siebers, 3.3 Life.cycle assessment and functional unit, 2016)

⁴⁴ (Guinée, 2002)

neue Erkenntnisse zum Stoffgehalt von Emissionen vorliegen. In dieser Arbeit werden die aktuell verfügbaren Hintergrunddaten von Januar 2016 verwendet (Kapitel 5.2). Neben den erneuerbaren (PERT) und nicht erneuerbaren (PENRT) Primärenergieverbräuchen und deren Summe (PET) werden üblicherweise die nachfolgend aufgelisteten Umweltwirkungen betrachtet:⁴⁵

Treibhauspotenzial (GWP)

Die Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre führt zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten (Treibhauseffekt). Das Treibhauspotenzial oder auch Globales Erwärmungspotenzial eines Stoffes wird stets im Vergleich zum Treibhauspotenzial von Kohlendioxid (CO₂) angegeben, das heißt, treibhauswirksame Emissionen werden als CO₂-Äquivalente ausgedrückt. Da die Treibhausgase unterschiedlich lange in der Atmosphäre verweilen, muss der GWP-Wert auf einen Zeitraum bezogen werden. Für die Charakterisierung der Beiträge zum GWP wird ein Zeitraum von 100 Jahren zugrunde gelegt. Des Weiteren wird über Wirkungsfaktoren beschrieben, in welchem Ausmaß verschiedene Stoffe zum Treibhauspotenzial beitragen. Über den Zeitraum von 100 Jahren betrachtet hat Methan bei gleicher Masse bspw. den 25-fachen Wirkungsfaktor im Vergleich zu CO₂. Damit beträgt das CO₂-Äquivalent von Methan 25. Das bedeutet, Methan trägt bei gleicher Masse 25-mal mehr zum Treibhauseffekt bei als CO₂ (mit dem GWP-Wert von 1).

Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)

Ozon, das nur in geringer Konzentration in der Atmosphäre vorhanden ist, hat für das Leben auf der Erde eine große Bedeutung. Es ist in der Lage, die kurzweilige UV-Strahlung zu absorbieren und diese richtungsunabhängig mit größerer Wellenlänge wieder abzugeben. Die Ozonschicht schirmt einen großen Teil der UV-A- und UV-B-Strahlung der Sonne von der Erde ab, verhindert eine zu starke Erwärmung der Erdoberfläche und schützt Flora und Fauna. Die Anreicherung von schädlichen halogenierten Kohlenwasserstoffen in der Atmosphäre trägt dazu bei, die Ozonschicht zu zerstören. Zu den Folgen gehören u.a. Tumorbildungen bei Menschen und Tieren sowie Störungen der Fotosynthese von Pflanzen. Das Ozonschichtabbaupotenzial wird in kg R11-Äqu. angegeben; die ODP-Werte beziehen sich auf die Vergleichssubstanz Fluorchlorkohlenwasserstoff CFC-11. Alle Stoffe mit Werten unter 1,0 wirken weniger ozonabbauend, Werte über 1,0 stärker ozonabbauend als CFC-11 (auch als R11 bezeichnet).

Ozonbildungspotenzial (POCP)

Das POCP bezeichnet das auf die Masse bezogene Äquivalent schädlicher Spurengase. Diese Spurengase, wie zum Beispiel Stickoxide und Kohlenwasserstoffe, tragen in Verbindung mit UV-Strahlung dazu bei, bodennahes Ozon zu bilden. Die Verunreinigung der bodennahen Luftschichten durch eine hohe Ozonkonzentration wird auch als Sommersmog bezeichnet. Der Sommersmog greift die Atmungsorgane an und schädigt Pflanzen und Tiere. Die Konzentration

⁴⁵ übersetzt und überarbeitet nach (Siebers, 3.3 Life.cycle assessment and functional unit, 2016)

von bodennahem Ozon wird regelmäßig durch Luftmessstationen ermittelt und in Belastungskarten festgehalten.

Versauerungspotenzial (AP)

Das Versauerungspotenzial gibt die Auswirkung versauernder Emissionen an; es wird in Schwefeldioxid (SO₂) Äquivalenten gemessen. Luftschadstoffe, wie zum Beispiel Schwefel- und Stickstoffverbindungen reagieren in der Luft mit Wasser zu Schwefel- bzw. Salpetersäure. Diese fällt dann als „Saurer Regen“ zur Erde und gelangt so in Boden und Gewässer. Dadurch werden Lebewesen und Gebäude geschädigt. Beispielsweise werden in versauerten Böden Nährstoffe rasch chemisch aufgeschlossen und somit schneller ausgewaschen. Ebenso können im Boden giftige Substanzen entstehen, die die Wurzelsysteme angreifen und den Wasserhaushalt der Pflanzen stören. In der Summe verursachen die vielen einzelnen Wirkungen der Versauerung zwei schwerwiegende Folgen: das Sterben von Wäldern und von Fischen. Saure Niederschläge greifen aber auch Gebäude an. Vor allem der Sandstein an historischen Bauwerken ist davon betroffen.

Überdüngungspotenzial (EP)

Überdüngung (Eutrophierung) bezeichnet den Übergang von Gewässern und Böden von einem nährstoffarmen (oligotrophen) in einen nährstoffreichen (eutrophen) Zustand. Sie wird verursacht durch die Zufuhr von Nährstoffen, insbesondere Phosphor- und Stickstoffverbindungen. Diese können bei der Herstellung von Bauprodukten und durch die Auswaschung von Verbrennungsemissionen in die Umwelt gelangen. Steigt die Konzentration von verfügbaren Nährstoffen in Gewässern, nimmt dort auch das Algenwachstum zu. Dies kann u.a. Fischsterben zur Folge haben.

Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)

Dieser Wert wird eher selten ausgewiesen und beschreibt die Reduktion des globalen Bestandes an nicht erneuerbaren Rohstoffen (Metalle, Mineralien, Stein, Kies, Erde etc.). Unter nicht erneuerbar wird ein Zeitraum von mindestens 500 Jahren definiert. Der elementar abiotische Ressourcenverbrauch stellt das Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen dar und wird in Sb-Äquivalenten dargestellt. Sb bezeichnet dabei das Element Antimon (Stibium). Vor allem die Abfallbehandlung am Ende des Lebenszyklus trägt zu einem hohen ADPE-Wert bei. Lange Lebensdauer, Recycling, Wiederverwendung und Nutzung nachwachsender Rohstoffe reduzieren den abiotischen Ressourcenverbrauch.

Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)

Der fossile abiotische Ressourcenverbrauch wird ebenfalls selten verwendet und stellt das Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe dar. Die Maßeinheit von ADPF ist MJ, angegeben wird der spezifische/untere Heizwert. Vor allem die Abfallbehandlung, die Herstellung von Vorprodukten bei der Baustoffherstellung und Transporte erhöhen das Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe.

In der abschließenden Auswertung werden für das Ergebnis wichtige Parameter (z.B. einzelne Lebenswegabschnitte oder Wirkungskategorien) identifiziert. Während der gesamten Rechnungen erfolgen Konsistenz-, Vollständigkeits- und Sensitivitätsanalysen (siehe Kapitel 5.6).

2.6 Umwelt-Produktdeklarationen

Zur Bewertung von Gebäuden wurden in den letzten Jahren Zertifizierungssysteme entwickelt, mit denen über verschiedenste Kriterien die Qualitäten eines Gebäudes bestimmt werden können. Beispiele sind das von der Deutschen Gesellschaft Nachhaltiges Bauen entwickelte DGNB-Siegel oder das amerikanische LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Bei einer Zertifizierung spielen die verwendeten Bauprodukte eine große Rolle. Daher müsse Hersteller Informationen zu den hinter jedem Bauprodukt stehenden Prozessen (Rohstoffabbau, Transport zum Werk und zur Baustelle, Verarbeitung usw.) zur Verfügung stellen können. Zu Beginn der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden wurden für viele Produkte auf Durchschnittsdaten basierende Ökobilanzen erstellt und in der Datenbank „ÖKOBAUDAT“ des Bundesministeriums für Verkehr-, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) – heute Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) – veröffentlicht. Die Entwicklung dieser Grunddatenbank war ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur ökologischen Betrachtung von Bauwerken. Allerdings ist bei der Verwendung der Daten zu beachten, dass die ÖKOBAUDAT nur die Ergebnisse der Ökobilanz, aber keine darüberhinausgehenden Produktinformationen enthält. Da es sich bei den enthaltenen Daten um einen Durchschnitt für Deutschland handelt, werden auch außereuropäische Hersteller einbezogen, die Bauprodukte nach Deutschland liefern. Außerdem sind einige Daten in der ÖKOBAUDAT nicht unabhängig geprüft und werden daher je nach Repräsentativität und Vollständigkeit mit Sicherheitsaufschlägen von 10 % - 30 % versehen. Aus diesen Gründen kann jeder Einzelne bzw. auch ein Verband unterschiedlicher Hersteller auf freiwilliger Basis eine Umwelt-Produktdeklaration (Environmental Product Declaration, EPD) erstellen. Hersteller können mit Hilfe von EPDs die Umweltwirkungen ihrer Produkte transparent darstellen und ggf. beweisen, dass sie besonders umweltschonend oder ressourceneffizient arbeiten. EPDs können weitere umweltrelevante Angaben über das Produkt beispielsweise zur Recyclingfähigkeit oder auch technische Hinweise wie Wartungsintervalle während der Nutzung enthalten. Bei der Erstellung einer EPD werden zunächst die für eine Ökobilanzierung erforderlichen Informationen wie Angaben zu Menge und Art der für die Produktion benötigten Rohstoffe gesammelt – die Sachbilanz. Aus den erhobenen Daten wird dann eine herstellereigenspezifische Ökobilanz erstellt – Wirkungsabschätzung (siehe auch Kapitel 2.5), deren Ergebnisse in einer EPD veröffentlicht werden. Als Qualitätssicherung für die Umwelt-Produktdeklarationen gibt es Zertifizierungsstellen, welche die Richtigkeit der Grundlagen und Angaben in einer EPD von Sachverständigen unabhängig prüfen lassen. So wird sichergestellt, dass die in der ISO 14025 und DIN EN 15804+A2 angegebenen Regeln zur Ökobilanzierung und zum Inhalt einer EPD eingehalten werden. Eine der führenden Zertifizierungsstellen in Deutschland ist das Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU). Gültige EPDs werden auf der Internetseite kostenlos zur Verfügung gestellt. Die ÖKOBAUDAT wird außerdem kontinuierlich mit geprüften Umwelt-Produktdeklarationen erweitert.

3 Voruntersuchungen

3.1 Weltweit verfügbare EPDs für Baustahl

Die Profilverhersteller ArcelorMittal, Peiner Träger, Stahlwerk Thüringen sowie der Grobblechhersteller Dillinger haben sich unter der Federführung von bauforumstahl zusammengeschlossen, um ihre Umweltdaten in einer Branchen-EPD nach DIN EN 15804+A2 zu deklarieren. Die entstandene EPD für Baustahl – Offene Walzprofile und Grobbleche (EPD-BFS-20180116-IBG2) gilt für Stahlbauprofile, Stabstähle und Grobbleche der Güten S235 bis S960. Baustahl wird auf zwei unterschiedliche Herstellungsrouten hergestellt: Beim Hochofenverfahren (BOF) wird Stahl im Wesentlichen aus Eisenerz, Koks, Kohle und Schrott (bis zu 35 %) hergestellt und anschließend gewalzt. Im Elektrolichtbogenofen (EAF) wird nach der Nutzung zurückgewonnener Stahlschrott eingeschmolzen und anschließend ebenfalls zu neuen Stahlprodukten gewalzt. Bei den teilnehmenden Stahlwerken werden beide Verfahren angewandt, sodass in der EPD ein Mix aus Hochofen- und Elektroofenroute abgebildet wird. Die Umweltdaten der in der EPD deklarierten Baustähle liegen um mehr als 28 % unter den Angaben der ÖKOBAUDAT, bei einzelnen Umweltgrößen sogar noch deutlicher darunter. Als Datenbasis wurden spezifische Daten der Herstellungsprozesse aller beteiligten Werke sowie die Datenbank „GaBi ts“ herangezogen, die auch für die Untersuchungen in dieser Forschungsarbeit angewendet wird. Im Folgenden sind weitere weltweit verfügbare EPDs mit Umweltdaten für Baustahl und deren Besonderheiten aufgelistet.

Es werden zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Zusammenstellung verfügbare EPDs betrachtet. Sind die für diese Arbeit interessanten Module A5 und C1 enthalten, so folgt eine kurze Information zur Herkunft bzw. Ermittlung dieser Daten. Tabelle 3.1 zeigt, dass eine Deklaration von mehr als den aktuell verpflichtenden Modulen A1-A3 selten geschieht. Öfter werden zusätzlich zwar die Module A4 Transport, C3 Abfallbewirtschaftung und das für Stahlprodukte vorteilhafte Modul D - Recyclingpotenzial ausgewiesen. Informationen zu A5 Errichtung und C1 Rückbau/Abbruch sind eine Seltenheit. Wenn es Informationen zu diesen Modulen gibt, sind diese nur als unwissenschaftliche Annäherung und/oder auf unklarem Weg ermittelt worden und entsprechen nicht den normativen Vorgaben für generische Daten. In Kapitel 8 werden die in dieser Arbeit neu ermittelten Daten mit den verfügbaren verglichen und die Abweichung und deren Ursache ermittelt.

Tabelle 3.1 Aktuell verfügbare EPDs für Baustähle

Deklarationsnummer und Name	Programmhalter und Herkunftsland des Programms	Gültigkeit nach Herstellern und Werken Kommentar zu Modulen A5 und C1	Gültigkeitszeitraum	Hintergrunddatenbank	Deklarierte Module nach EN 15804	Normengrundlage
<p>EPD-BFS-20180116-IBG2 Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche bauforumstahl e.V.</p>	<p>Institut Bauen und Umwelt (IBU) Deutschland</p>	<p>Grobbleche hergestellt von: Dillinger mit den Werken Dillingen (Deutschland) und Dünkirchen (Frankreich) Walzprofile hergestellt von: ArcelorMittal mit den Werken Differdange (Luxemburg), Dabrowa (Polen), EschBelval (Luxemburg), Bergara (Spanien), Hunedoara (Rumänien), Olaberria (Spanien), Warszawa (Polen) und Rodange (Luxemburg) - Peiner Träger (Deutschland) - Stahlwerk Thüringen (Deutschland)</p>	<p>10/2018 - 10/2023</p>	<p>Gabits</p>	<p>A1-A3, C3, D</p>	<p>EN 15804 ISO 14025</p>
<p>ÖKOBAUDAT oekobau.dat: 4.1.03 Metalle / Stahl und Eisen / Stahlprofile</p>	<p>Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat Deutschland</p>	<p>Der Datensatz bildet die länderspezifische Situation in Deutschland ab. Dabei werden Haupttechnologien, spezifische regionale Charakteristiken und ggf. Importstatistiken berücksichtigt. C1: Rücksprache mit Sphera Solutions, Inc. als Ersteller des Datensatzes. Die Umweltindikatoren wurden überschlägig berechnet mit einem 100kW Bagger mit einem Dieselvebrauch von 0,172l/h. Kommentar des Autors: Die Leistung und der Dieselvebrauch des Baggers wurden deutlich zu gering ausgewählt, zusätzlich wurden andere Abbruchgeräte wie Schneidbrenner, Trennschleifer Teleskoplader und Arbeitsbühnen außer Acht gelassen. Die Aussagekraft im Bereich C1 ist als unzureichend einzustufen.</p>	<p>2018 - 2022</p>	<p>Gabits</p>	<p>A1-A3, C1, C2, D</p>	<p>EN 15804 ISO 14025</p>

Fortsetzung Tabelle 3.1

Deklarationsnummer und Name	Programhalter und Herkunftsland des Programms	Gültigkeit nach Herstellern und Werken Kommentar zu Modulen A5 und C1	Gültigkeitszeitraum	Hintergrund-Datenbank	Deklarierte Module nach EN 15804	Normen-grundlage
EPD-ARM-20190015-CBD1 Structural steel sections and merchant bars	Institut Bauen und Umwelt (IBU) Deutschland	ArceorMittal mit den Werken Differdange (Luxemburg), Dabrowa (Polen), Esch-Belval (Luxemburg), Bergara (Spanien), Hunedoara (Rumänien), Olaberria (Spanien) und Rodange (Luxemburg)	02/2019 - 02/2024	Gabi ts	A1-A3, C3, D	EN 15804 ISO 14025
EPD-CEL-20130219-IBD1 Structural section steel	Institut Bauen und Umwelt (IBU) Deutschland	CELSA Group mit den Werken: Huta Ostrowiec (Poland) und Barcelona (Spain)	03/2014 - 03/2019	Gabi ts	A1-A3, C3, D	EN 15804 ISO 14025
EPD-VAL-20150248-IBB1 Kreisförmige, quadratische und rechteckige Stahlbauhohlprofile	Institut Bauen und Umwelt (IBU) Deutschland	Vallourec Werke in Düsseldorf Rath und Mülheim (Deutschland).	09/2015 - 09/2020	Gabi ts	A1-A3, C3, D	EN 15804 ISO 14025

Fortsetzung Tabelle 3.1

Deklarationsnummer und Name	Programmhalter und Herkunftsland des Programms	Gültigkeit nach Herstellern und Werken Kommentar zu Modulen A5 und C1	Gültigkeitszeitraum	Hintergrund-Datenbank	Deklarierte Module nach EN 15804	Normen-grundlage
4786774590.101.1 Primary structural steel frame components	Underwriters Laboratories USA	Mitglieder der Metal Building Manufacturers Association	01/2016 - 01/2021	n.b.	A1-A3	ISO 14025 ISO 21930
9.2.00011.004 Steel construction products - Heavy construction products	MRPI Niederlande	Bouwen met Staal for Steel construction products produced in Western-Europe and applied on the Dutch market. A5: Keine Informationen zur Datenherkunft verfügbar C1: Keine Informationen zur Datenherkunft verfügbar Kommentar des Autors: Keine Angabe in Modulen nach EN 15804. Jedoch sind Daten für "Construction" und "demolition, dismantling" verfügbar. Die Datenqualität und Herkunft für A5 und C1 ist nicht nachzuvollziehen. Die EPD ist nicht mehr gültig.	01/2013 - 01/2018	n.b.	keine Module	n.b.
NEPD-324-204 Welded and coated sections, trusses and beams made of hot-rolled plate, sheet and coil	The Norwegian EPD Foundation (EPD-Norge) Norwegen	Ruukki Construction Oy mit den Werken Peräseinäjoki und Ylivieska (Finnland), Gargzdai (Litauen) und Oborniki (Polen)	04/2015 - 04/2020	n.b.	A1-A3, D	EN 15804 ISO 14025 ISO 21930

Fortsetzung Tabelle 3.1

Deklarationsnummer und Name	Programmierer und Herkunftsland des Programms	Gültigkeit nach Herstellern und Werken Kommentar zu Modulen A5 und C1	Gültigkeitszeitraum	Hintergrund-Datenbank	Deklarierte Module nach EN 15804	Normen-grundlage
NEPD-402-281 Steel structures	The Norwegian EPD Foundation (EPD-Norge) Norwegen	UPB AS Steel structures for use in buildings. A5: Angabe innerhalb des EPD-Dokuments: „A5 includes energy use in building machines.“ C1: Keine Informationen zur Datenherkunft verfügbar Kommentar des Autors: Die Datenqualität und Aussagekraft für A5 und C1 ist nicht nachzuvollziehen. Der im Dokument angegebene Energieverbrauch für Baumaschinen mit 0,02 MJ ist deutlich zu gering und eine Bezugsgröße (pro h oder pro t) fehlt.	01/2016 - 01/2021	Econinvent v3	A1-A5, B2-B5, C1-D	EN 15804 ISO 14025 ISO 21930
NEPD-00230 I, H, U, L, T and wide flats hot-rolled sections	The Norwegian EPD Foundation (EPD-Norge) Norwegen	EMV Construction AS in 2240 Magnor (Norwegen) A5: Angaben innerhalb des EPD-Dokuments: “To account for the impacts generated in the construction phase, electricity has been allocated to the phase by a fraction of 1/3 of the manufacturing phase (A3).” C1: Keine Informationen zur Datenherkunft verfügbar Kommentar des Autors: Die Datenqualität und Aussagekraft für A5 und C1 ist als unzureichend einzustufen da in der Realität kein Zusammenhang der Aufwendungen für die Produktherstellung zum Einbau besteht.	01/2014 - 01/2019	Gabi 6	A1-A5, C1-C2, D	EN 15804 ISO 14025 ISO 21930

Fortsetzung Tabelle 3.1

Deklarationsnummer und Name	Programhalter und Herkunftsland des Programms	Gültigkeit nach Herstellern und Werken Kommentar zu Modulen A5 und C1	Gültigkeitszeitraum	Hintergrund-Datenbank	Deklarierte Module nach EN 15804	Normen-grundlage
S-P-01342 Steel Beams and Angles	The International EPD System RINA Services S.p.A. (Gruppo Registro Italiano Navale) Italien	Duferdofin-Nucor (Italien)	07/2018 - 06/2024	Econinvent v3	A1-A4	EN 15804 ISO 14025
S-P-01421 Hot rolled structural shapes	The International EPD System EPD Latin America, Mexiko und Chile	Altos Hornos de México (AHMSA) (Mexico)	01/2019 - 01/2024	Econinvent v3.3	A1-A4	EN 15804 ISO 14025
S-P-01420 Hot rolled steel-plate	The International EPD System EPD Latin America, Mexiko und Chile	Altos Hornos de México (AHMSA) (Mexico)	01/2019 - 01/2024	Econinvent v3.3	A1-A4	EN 15804 ISO 14025
S-P-00856 Hot rolled structural products	The Australasian EPD® Programme Limited Neuseeland	OneSteel NSW Pty Ltd. (Australien)	11/2016 - 11/2021	n.b.	A1-A3, C3, D	EN 15804 ISO 14025

3.2 Stahlbau in Deutschland

Eine Marktübersicht für den Stahlbau in Deutschland geben folgende Datenquellen:

1. Statistiken des Statistischen Bundesamtes (Destatis) aus Fachserie 5 Reihe 1⁴⁶ und Fachserie 4 Reihe 3.1⁴⁷,
2. Studien zur Ermittlung der Marktanteile von Konstruktionsbaustoffen und Hüllmaterialien in neu errichteten Geschoss- und Hallenbauten in Deutschland von bauforumstahl e.V. (basieren auf „1.“ in Kombination mit Erhebungen von bauforumstahl)⁴⁸,
3. das statistische Jahrbuch der Stahlindustrie⁴⁹ der Wirtschaftsvereinigung Stahl,
4. die quartalsmäßigen Veröffentlichungen des Bundesverband Deutscher Stahlhändler (BDS)⁵⁰,

Die Untersuchung dieser Datenquellen hat den Zweck den Anteil des Stahlbaus im Hochbau in Deutschland zu ermitteln und die überwiegend in Stahlbauweise errichteten Bauwerkstypen festzustellen. Nach dieser Voruntersuchung kann die in Kapitel 1.3 erwähnte Projektdatenbank (Kapitel 4) sinnvoll zusammengestellt werden. Außerdem sollen Zahlen zur eingesetzten Stahltonnage ermittelt werden, um in einem späteren Schritt den Einfluss der Forschungsergebnisse insgesamt darzustellen. Hauptquelle ist die jährlich erscheinende Statistik mit Zahlen zu den Baugenehmigungen⁵¹ und zu den Baufertigstellungen⁵².

Es folgt zunächst die Betrachtung des Brutto-Rauminhalts (BRI) von Neubauten im Hochbau mit Stahl als überwiegend verwendeten Baustoff. Die Statistik macht darüber hinaus Angaben zur Anzahl der Baugenehmigungen bzw. Baufertigstellungen und zu den veranschlagten Kosten. Eine Betrachtung dieser Größen ist allerdings zu diesem Zeitpunkt nicht sinnvoll, da es vorrangig darum geht über das Bauvolumen und die damit verbundenen Massen die Marktanteile zu ermitteln. Die Qualität der Daten ist als hoch einzustufen, da sie auf den Angaben aus den in Deutschland obligatorischen Baugenehmigungen bzw. Meldungen über Baufertigstellungen beruhen und nicht auf Meldungen aus der Industrie. Um für den hier verfolgten Zweck belastbare Werte zu erhalten, wurde der Durchschnitt aus den letzten drei Jahren gebildet. Ältere Daten sind zwar in der Statistik verfügbar, aber sie wurden nicht mit der gleichen Methodik der Aufteilung nach Gebäudearten ermittelt und lassen sich daher nur unzureichend mit den seit 2015 erhobenen Daten kombinieren. Dies stellt allerdings kein Problem dar, weil für die in dieser Arbeit zu ermittelnden Kenngrößen die Betrachtung der letzten drei Jahre als realistische Darstellung des aktuellen Marktes ausreichend ist.

Legt man nun die oben genannten Statistiken zugrunde, so liegt der durchschnittliche Marktanteil des Stahlbaus im Bereich Wohnungs- und Nichtwohnungsbau in den Jahren

⁴⁶ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2018)

⁴⁷ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2020)

⁴⁸ (bauforumstahl e.V., 2017)

⁴⁹ (Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2019)

⁵⁰ (Bundesverband Deutscher Stahlhändler, 2017) (Bundesverband Deutscher Stahlhändler, 2018) (Bundesverband Deutscher Stahlhändler, 2019) (Bundesverband Deutscher Stahlhändler, 2020)

⁵¹ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2018)

⁵² (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2018)

Voruntersuchungen

2015 - 2017 bei etwa 14 % - 15 %. Die Verteilung bei Baugenehmigungen und Baufertigstellungen ist nahezu identisch (Abbildung 3.1 und Abbildung 3.2).

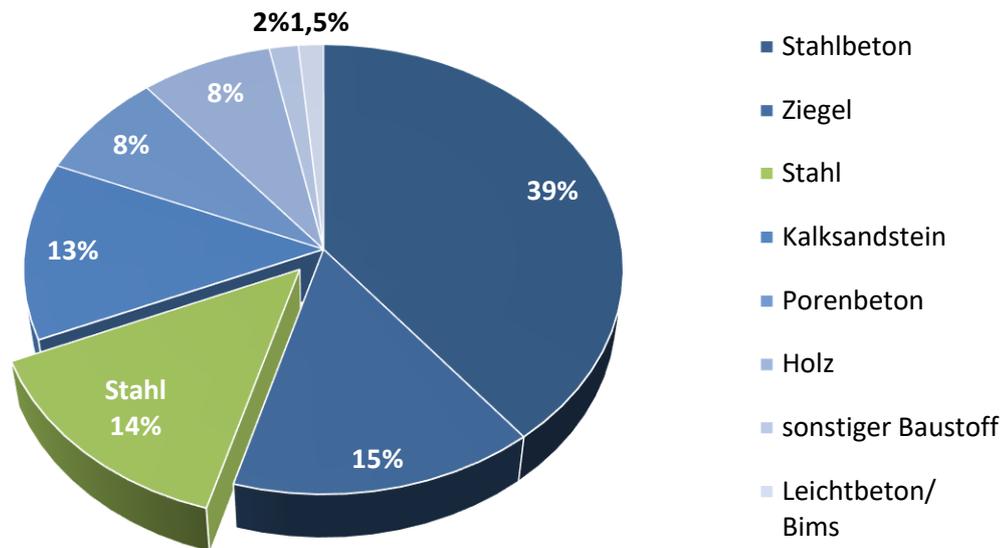


Abbildung 3.1 Anteil der Gebäude mit Stahl als überwiegend verwendeten Baustoff nach BRI (Durchschnitt Neubaugenehmigungen Deutschland der Jahre 2015 - 2017)⁵³

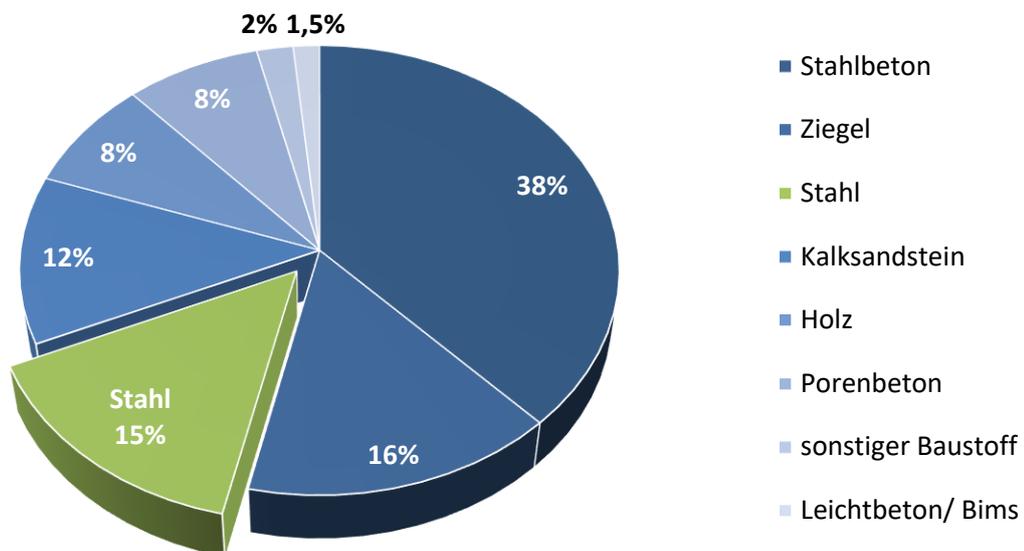


Abbildung 3.2 Anteil der Gebäude mit Stahl als überwiegend verwendeten Baustoff nach BRI (Durchschnitt Baufertigstellungen Deutschland der Jahre 2015 - 2017)⁵⁴

Im Wohnungsbau, der in den Jahren 2015 - 2017 zusammen etwa 82 % aller Baugenehmigungen aber nur 43 % des gebauten BRI ausmachte, ist der Anteil des Stahlbaus mit 0,07 %⁵⁵ sehr gering. Eine Betrachtung von Wohnungsbauprojekten ist für diese Forschungsarbeit also nicht

⁵³ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2018)

⁵⁴ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2018)

⁵⁵ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2018)

zielführend. Im Nichtwohnungsbau liegt der Marktanteil des Stahlbaus bei 25 %.⁵⁶ Das zeigt, dass der Stahlbau im Bereich der Betriebs-, Lager- und Industriebauten etabliert ist und hier seine Vorteile deutlich zum Tragen kommen.⁵⁷ Die folgenden Grafiken zeigen die Verteilung der in Stahlbauweise beantragten bzw. errichteten Gebäude im Hochbau (Abbildung 3.3. und Abbildung 3.4). Die Verteilung bei Baugenehmigungen und Baufertigstellungen ist nahezu identisch.

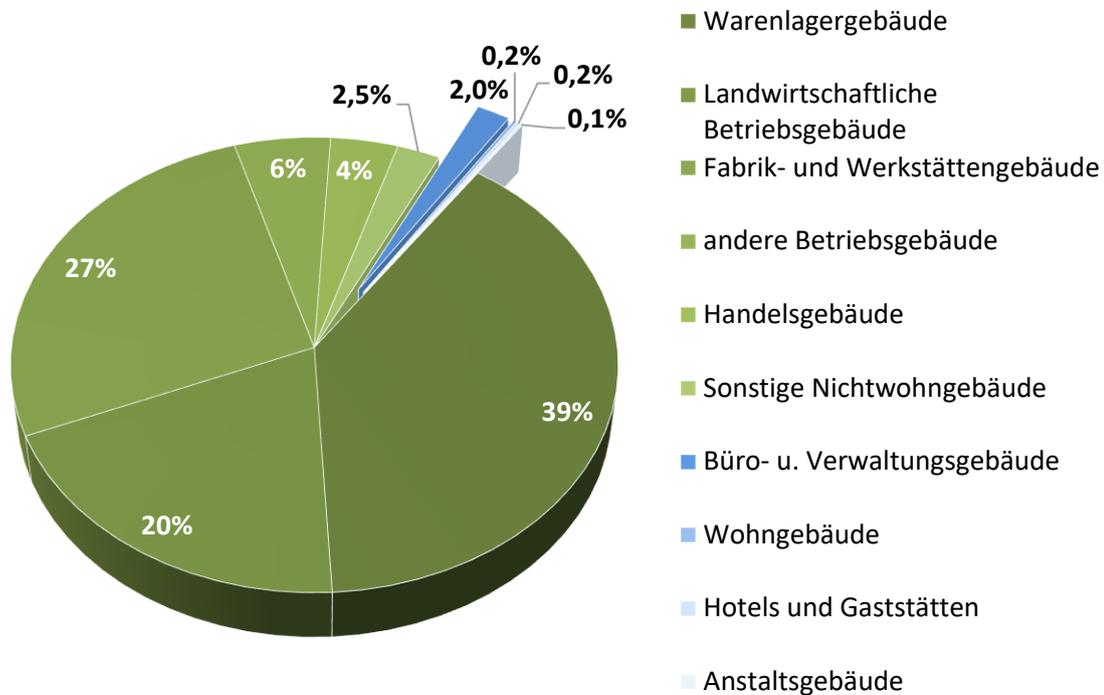


Abbildung 3.3 Verteilung der Gebäudearten mit Stahl als überwiegend verwendeten Baustoff im Bereich Anträge von Nichtwohngebäuden und Wohngebäuden (Durchschnitt Neubau der Jahre 2015 - 2017)⁵⁸; blau gekennzeichnet sind Gebäudearten, die durch ihre geringe Bedeutung für den Stahlbau bei der Erstellung der Projektdatenbank nicht berücksichtigt werden müssen

Baustahl wird im Hochbau überwiegend im Hallenbau d.h. für Warenlagergebäude, landwirtschaftliche Betriebsgebäude, Fabrik- und Werkstättengebäude eingesetzt. Dieser Bereich macht in Summe etwa 86 % aus. Andere Betriebsgebäude, Handelsgebäude und sonstige Nichtwohngebäude wie Parkhäuser stellen als Geschossbauten in Stahl den übrigen Anteil. Büro- und Verwaltungsgebäude, Wohngebäude, Hotels und Gaststätten sowie Anstaltsgebäude haben aufgrund ihres geringen Marktanteils in dieser Forschungsarbeit eine untergeordnete Rolle. Eine Projektdatenbank die Hallenbauten sowie Geschossbauten wie Parkhäuser in Stahlbauweise enthält, deckt somit ca. 98,5 % der in Stahlbauweise errichteten Gebäude im Hochbau ab. In diesem Bereich wird die Datenerhebung stattfinden, um allgemeingültige Ergebnisse zu liefern (Kapitel 4).

⁵⁶ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2018)

⁵⁷ Weitere Informationen: (bauforumstahl e.V., 2017)

⁵⁸ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2018)

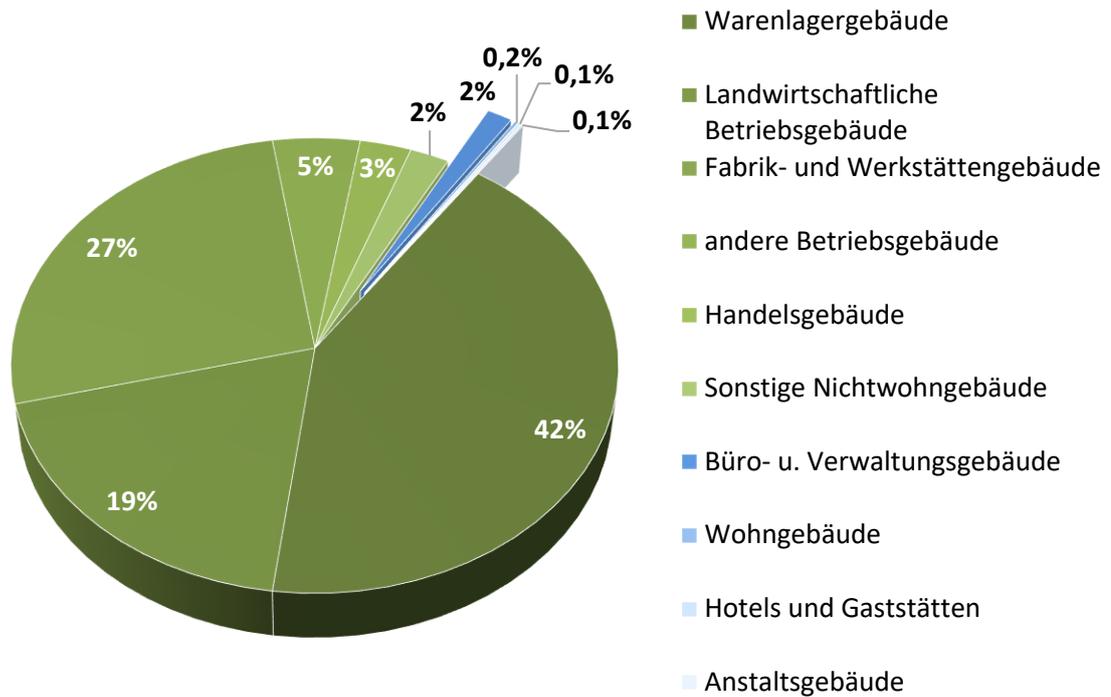


Abbildung 3.4 Verteilung der Gebäudearten mit Stahl als überwiegend verwendeten Baustoff im Bereich Fertigstellung von Nichtwohngebäuden und Wohngebäuden (Durchschnitt der Jahre 2015 - 2017)⁵⁹; blau gekennzeichnet sind Gebäudearten, die durch ihren geringe Bedeutung für den Stahlbau bei der Erstellung der Projektdatenbank nicht berücksichtigt werden müssen

Ein weiterer Bereich in dem Baustahl eingesetzt wird, ist der Ingenieurbau zu dem Brücken aller Art, Türme und Gittermaste sowie der Anlagen- und Wasserbau zählen. Die Nachhaltigkeitsbewertung spielt in diesem Bereich noch eine sehr geringe Rolle. Dies bestätigt auch die nicht abgeschlossene normative Entwicklung (siehe Kapitel 2.3) und die fehlenden Gebäudezertifikate.

3.3 Jahrestonnagen von Baustahl in Deutschland

Um den Einfluss der in dieser Forschungsarbeit ermittelten Umweltkennzahlen zeigen zu können, werden Daten zu der jährlich verbauten Baustahltonnage benötigt. Es gibt mehrere Quellen, um die benötigten Zahlen zu erhalten, allerdings sind die Daten nicht vollständig bis zum Jahr 2017 verfügbar und weichen teilweise stark voneinander ab. Aufgrund der Zielsetzung und Art der Erhebungen sind die Informationen von unterschiedlicher Verlässlichkeit und können teilweise nur indirekt genutzt werden. Im Folgenden werden die verschiedenen Quellen aufgezeigt und die Unterschiede erläutert. Die Daten und Ergebnisse werden für eine Veranschaulichung im Fazit (Kapitel 8.3) genutzt.

⁵⁹ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2018)

Quelle 1: DESTATIS Fachserie 4 Reihe 3.1.⁶⁰

Die Statistischen Landesämter erfassen in regelmäßigen Abständen die Produktionsmengen und Produktionswerte im Stahlbau und senden diese zur gemeinsamen Veröffentlichung in der Fachserie 4 Reihe 3.1 an das Statistische Bundesamt (DESTATIS). In Tabelle 3.2 sind die Tonnagen für sämtlichen dem konstruktiven Stahlbau zuzuordnenden Produktgruppen dargestellt. Die Kategorie „sonstige Zwecke“ ist nicht näher definiert, macht hier aber ca. 21 % der Gesamttonnage aus. Da der Marktanteil der Stahlverbundbauweise im Bereich der Parkhäuser bei ca. 80 %⁶¹ liegt und dieser Gebäudetyp sonst keiner der anderen Kategorien zuordbar ist, kann davon ausgegangen werden, dass diese darin zu einem großen Teil enthalten sind.

Tabelle 3.2 Produktion von Baustahlelementen für den Hallen und Geschossbau (in 1000 t) alle Bauweisen

Produktgruppe / Jahr	2015	2016	2017	Durchschnitt der Jahre 2015 - 2017	2018
Hallen (ein- und mehrgeschossig)	582	575	592	583	596
Büro- und Verwaltungsgebäude, Bahnhöfe, Flughäfen, usw.	92	92	94	93	90
sonstige Zwecke	419	411	475	435	437
Anlagenbau	210	193	199	201	172
Türme und Gittermaste, ortsfeste Gerüstkonstruktionen	675	728	646	683	469
Brücken u. Brückenelemente	61	66	71	66	83
Wasserbau-Konstruktionen	25	23	26	25	23
Summe Konstruktiver Stahlbau	2064	2088	2103	2085	1870

Bei näherer Betrachtung dieser Statistiken zeigt sich, dass die von DESTATIS erhobenen Kennzahlen aus verschiedenen Gründen lücken- bzw. fehlerhaft sein können. Wesentliche Gründe hierfür sind beispielsweise unterschiedliche Interpretationen der Meldenummern und Bezeichnungen, fehlende Kenntnis über die Auswirkungen der Meldungen und auch veraltete und selten infrage gestellte Zuordnungen von Seiten der Statistischen Landesämter. Hinzu kommen stahlbauspezifische Besonderheiten, die in den allgemeinen Hinweisen zum Ausfüllen der Fragebögen nicht adressiert werden. Hierzu gehören beispielsweise Abrechnungsverfahren und die in der Meldung zu berücksichtigenden Leistungen und Massen. Es ist auch nicht auszuschließen, dass dieselben Daten in unterschiedliche Meldenummern/Kategorien einfließen und so doppelt erfasst werden. Ein Beispiel hierfür sind z.B. „Hallen mit Einbauten“ und „Hallen ohne Einbauten“ sowie „Skelettkonstruktionen für Hallen“. Um diesen Schwierigkeiten entgegenzuwirken, hat bauforumstahl 2019 eine Ausfüllhilfe herausgegeben. Sie umfasst sowohl allgemeine als auch stahlbauspezifische Hinweise zum Ausfüllen des Meldebogens und konkretisiert die Vorgaben der Statistischen Landesämter. Sie soll den für die Meldung Verantwortlichen somit als umfassende Ausfüllanleitung dienen und dazu beitragen, die

⁶⁰ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2020)

⁶¹ Wert für 2014 aus (Büscher, 2020)

Datenqualität der entsprechenden Veröffentlichungen in Zukunft zu verbessern.⁶² Die zurzeit verfügbaren Daten sind noch mit Einschränkung zu verwenden.

Quelle 2: Bundesverband Deutscher Stahlhändler (BDS)⁶³

Die Jahresmeldung des BDS – in der aktuellen Version erschienen 2020 für das Jahr 2018 – bildet die Situation des Lagerabsatzes, Lagerbestandes und der Lagerreichweite von Stahlerzeugnissen ab. Aus den Daten lassen sich für Baustahl folgende Informationen zum Lagerabsatz entnehmen. Dieser Wert spiegelt indirekt den Einsatz des Stahls im Bausektor wider, stellt aber keinen endgültigen Wert für den Baustahleinsatz in Deutschland dar. Die Besonderheit ist, dass nur Tonnagen abgebildet werden, die über den Stahlhandel mit Lagerhaltung in Deutschland distribuiert wurden. Kommt eine Lieferung aus einem außerhalb von Deutschland gelegenen Lager oder ein Stahlhersteller liefert direkt an den Stahlbauer, so taucht die Tonnage nicht in dieser Statistik auf. Trotzdem lohnt sich eine Betrachtung dieser Statistik, auch um weitere Marktinformationen zu erhalten.

Tabelle 3.3 Durchschnittlicher Lagerabsatz laut BDS Jahresmeldungen von 2015 - 2017; Betrachtung von Baustahlprodukten für die unmittelbar im Bausektor tätigen Abnehmergruppen; prozentuale Verteilung und absolute Tonnage.^{64 65 66}

Abnehmergruppe	Baustahlprodukte			
	Schwere Profile	Stabstahl	Grobblech	Gesamt Baustahl
Stahlbau	62 %	26 %	33 %	41 %*
Bauwirtschaft	9 %	6 %	7 %	7 %*
Bausektor	71 %	32 %	39 %	48 %*
Stahlbau	660.264 t	246.916 t	383.828 t	1.291.008 t
Bauwirtschaft	96.297 t	51.520 t	78.561 t	226.378 t
Bausektor	756.560 t	298.437 t	462.389 t	1.517.386 t

* Anteil an der Gesamttonnage von abgesetztem Baustahl

Ergänzend zu den Angaben in Tabelle 3.4 lassen sich folgende Aussagen treffen. Ca. 63 % aller im Stahlbau eingesetzten Stahlprodukte sind der Produktgruppe Baustahl zuzuordnen. In der übrigen Bauwirtschaft sind es ca. 10 % aller eingesetzten Stahlprodukte. Insgesamt sind ca. 38 % aller Stahlprodukte, die in den Bausektor verkauft werden als Baustahl zu bezeichnen. Der Rest ist hauptsächlich Betonstahl 33 % und Feinblech 19 %.⁶⁷

⁶² (bauforumstahl e.V. (Hrsg.), 2019)

⁶³ (Bundesverband Deutscher Stahlhändler, 2020)

⁶⁴ errechnet aus (Bundesverband Deutscher Stahlhändler, 2017)

⁶⁵ errechnet aus (Bundesverband Deutscher Stahlhändler, 2018)

⁶⁶ errechnet aus (Bundesverband Deutscher Stahlhändler, 2019)

⁶⁷ errechnet aus (Bundesverband Deutscher Stahlhändler, 2020)

Tabelle 3.4 Lagerabsatz laut BDS Jahresmeldung für 2018; Betrachtung von Baustahlprodukten für die unmittelbar im Bausektor tätigen Abnehmergruppen; prozentuale Verteilung und absolute Tonnage⁶⁸

Abnehmergruppe	Baustahlprodukte			
	Schwere Profile	Stabstahl	Grobblech	Gesamt Baustahl
Stahlbau	60 %	22 %	27 %	36 %*
Bauwirtschaft	7 %	4 %	6 %	6 %*
Bausektor	66 %	26 %	33 %	42 %*
Stahlbau	647.514 t	216.455 t	305.257 t	1.169.226 t
Bauwirtschaft	73.238 t	40.877 t	63.019 t	177.134 t
Bausektor	720.752 t	257.332 t	368.276 t	1.346.360 t

**Anteil an der Gesamttonnage von abgesetztem Baustahl*

Quelle 3: bauforumstahl Marktstudie⁶⁹

Die in Kapitel 3.2 ausgewertete Statistik zu den Baufertigstellungen wird auch in der von bauforumstahl in Auftrag gegebenen Studie zur Ermittlung der Marktanteile von Konstruktionsbaustoffen und Hüllmaterialien in neu errichteten Geschoss- und Hallenbauten in Deutschland genutzt. Sie wird dort allerdings teilweise verrechnet und mit eigenen Erhebungen ergänzt, um Zahlen zur jährlich im Neubau eingesetzten Baustahltonnage zu erhalten. Die letzte veröffentlichte Studie stammt aus dem Jahr 2017 und bezieht sich auf das Jahr 2016⁷⁰. Die in dieser Studie angewendete Methodik wird hier für die Durchschnittsdaten aus den Jahren 2015 - 2017 angewendet. Seit der Durchführung der ersten Studie zur Ermittlung der Marktanteile von Konstruktionsbaustoffen in 2012⁷¹ wurde die Berechnungsmethode mehrfach weiterentwickelt. Nachstehend wird die aktuelle Vorgehensweise, die seit dem Berichtsjahr 2014⁷² verfolgt wird, kurz vorgestellt und angewendet.

⁶⁸ errechnet aus (Bundesverband Deutscher Stahlhändler, 2020)

⁶⁹ (bauforumstahl e.V., 2017)

⁷⁰ (bauforumstahl e.V., 2017)

⁷¹ (M & P GbR für bauforumstahl e.V., 2012)

⁷² (Ingenieurbüro Fischer für bauforumstahl e.V., 2014)

Voruntersuchungen

Als Datenbasis gibt es folgende Informationen:

- (A) Materialmengen pro tausend Kubikmeter Brutto-Rauminhalt (BRI) für unterschiedliche Gebäudearten aus den vorangegangenen Studien von bauforumstahl.
- (B) Informationen von Destatis zum insgesamt in Deutschland und in den einzelnen Bundesländern fertiggestellten BRI, unterteilt nach Gebäudeart und überwiegend verwendetem Baustoff (Fachserie 5 Reihe 1⁷³).

Es werden hier nicht die Zahlen zu Baugenehmigungen, sondern zu Baufertigstellungen verwendet, da hier auf wirklich verbaute Tonnagen geschlossen werden soll. Mit den Angaben zu Baugenehmigungen könnte auf zukünftige Entwicklungen geschlossen werden, wobei nicht jedes genehmigte Projekt realisiert wird.

Mit diesen beiden Informationen (A und B) können die nach Baufertigstellungen zu erwartenden Baustoffmengen für Baustahl berechnet werden. Hierbei sind nur Gebäude enthalten, die mit Baustahl als überwiegenden Baustoff errichtet wurden.

Tabelle 3.5 Baustahltonnage pro tausend Kubikmeter Brutto-Rauminhalt (BRI) für unterschiedliche Gebäudearten mit Baustahl als überwiegend verwendeten Baustoff^{74 75}

Gebäudetyp	Tonnage Baustahl je Tsd. m ³ BRI	Umbauter Raum in Tsd. m ³ BRI ⁷⁶ Nach Baufertigstellungen (Durchschnitt der Jahre 2015 - 2017)	jährlich eingesetzte Stahltonnage für Gebäude mit Baustahl als überwiegend verwendeten Baustoff (Durchschnitt der Jahre 2015 - 2017 in t)
Alle		46.752	270.656
Warenlagergebäude	6,98	19.798	138.190
Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	3,86 ⁷⁷	8.904	34.385
Fabrik- und Werkstättegebäude	5,29	12.375	65.462
andere Betriebsgebäude	3,86	2.337	9.026
Handelsgebäude	6,98	1.379	9.628
Sonstige Nichtwohngebäude	6,22 ⁷⁸	1.050	6.531
Büro- u. Verwaltungsgebäude	8,52	696	5.933
Wohngebäude	8,52	95	807
Hotels und Gaststätten	8,52	59	500
Anstaltsgebäude	3,30	59	196

Aus Tabelle 3.5 ergeben sich jährlich im Durchschnitt eingesetzte 256.690 t Baustahl für den Hallenbau und 13.966 t für den Geschossbau. Beide Werte beziehen sich allerdings nur auf fertiggestellte Gebäude mit Baustahl als überwiegend verwendeten Baustoff

⁷³ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2018)

⁷⁴ (Ingenieurbüro Fischer für bauforumstahl e.V., 2014)

⁷⁵ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2018)

⁷⁶ (Destatis - Statistisches Bundesamt, 2018)

⁷⁷ Anpassung laut (bauforumstahl e.V., 2017)

⁷⁸ Anpassung nach (bauforumstahl e.V., 2017)

Voruntersuchungen

(siehe Abbildung 3.2) – also Gebäude in Stahlbauweise. In den Gebäuden, die in anderer Bauweise, z.B. Stahlbetonbau- oder Holzbau errichtet werden, wird Baustahl in etwa gleicher Größenordnung eingesetzt. Beispielsweise ergaben sich im Jahr 2016 insgesamt 565.600 t eingesetzter Baustahl gegenüber einer Tonnage von 242.179 t, die in Gebäuden in Stahlbauweise eingesetzt wurden⁷⁹. Ein weiterer Grund für die starken Abweichungen der Gesamttonnagen von den Ergebnissen aus den Quellen 1 und 2 ist das Fehlen von einigen wichtigen Bauwerkstypen in der grundlegenden Statistik des Statistisches Bundesamtes. Die nicht erfassten Brücken, Parkhäuser, Türme und Gittermaste, Sporthalle/Stadien, der Anlagenbau, Wasserbau und Tiefbau besitzen ebenfalls einen hohen Baustahlanteil.

Quelle 4: Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie⁸⁰

Das Statistische Jahrbuch Stahl enthält in komprimierter Form die wichtigsten Kennzahlen und Strukturdaten der Stahlindustrie in Deutschland und der Welt. Unter anderem sind Informationen zu den für diese Arbeit interessanten Kategorien Produktion und Lieferungen, Außenhandel und Marktversorgung vorhanden. Die Daten stammen zum einen von der Wirtschaftsvereinigung Stahl und Statistiken anderer Institutionen, insbesondere Worldsteel, zum anderen werden die jeweiligen nationalen amtlichen Außenhandelsstatistiken verarbeitet. Es sind nur Daten bis 2016 verfügbar.

Tabelle 3.6 Baustahlerzeugnisse in Deutschland (in 1000 t)

Jahr	2013	2014	2015	2016
Erzeugung - Ausfuhr + Einfuhr	7706	8154	7851	8180
Lieferung	7018	7427	7366	7387
Marktversorgung	7280	7600	7444	7777

In Tabelle 3.6 sind Zahlen für Breitflanschträger (H-Profile), Stabstahl, Breitflachstahl, Quattoblech, schwere Profile, Formstahl, Stabstahl und leichte Profile zusammengefasst um die als Baustahl bezeichneten Produkte abzubilden. Es ist nicht absehbar wieviel Tonnen dieser Produkte letztendlich im Bausektor Verwendung finden und wieviel von diesem Teil dann im eigentlichen Stahlbau eingesetzt werden. Lagerung und Handel von Baustahlprodukten bilden zudem einen schwer einzuschätzenden Puffer zwischen Produktion und Verwendung. Verwendet man die hier aufgeführten Zahlen, so kann lediglich ein Potenzial für die in Deutschland verfügbaren Baustahlprodukte aufgezeigt werden.

⁷⁹ errechnet nach (bauforumstahl e.V., 2017)

⁸⁰ (Wirtschaftsvereinigung Stahl, 2019)

4 Projektdatenbank

Wie in Kapitel 1.3 beschrieben bildet eine selbst erstellte Projektdatenbank aus real gebauten Stahlbauprojekten die Grundlage der Ökobilanz für die Errichtungs- und Rückbauphase. Die Projekte wurden nach den in Kapitel 3.2 ermittelten Ergebnissen für den Stahlbau in Deutschland ausgewählt. Es wurde für jedes Projekt ein Steckbrief angelegt, in dem die grundlegenden Informationen enthalten sind. Im Anhang dieser Arbeit sind die detaillierten, vollständigen Arbeitsabläufe für Errichtung, Abbruch und ggf. (nur Hallen) Rückbau enthalten. Teile der in diesem Kapitel enthaltenen Grundinformationen und Abbildungen zu Beispielprojekten sind aus den vom Autor betreuten Abschlussarbeiten von Sparmann⁸¹ und von der Heiden⁸² entnommen. Die Projektdaten wurden vom Autor verifiziert und erweitert. Die Informationen stammen aus Telefoninterviews mit Ansprechpartnern aus Stahlbauunternehmen. Die Stahlbauunternehmen, von denen die Informationen ursprünglich stammen, werden unter den jeweiligen Steckbriefen genannt.

⁸¹ (Sparmann, Betreuer: Siebers, & Malkwitz, 2017)

⁸² (von der Heiden, Betreuer: Siebers, & Malkwitz, 2016)

4.1 Eingeschossige Industrie- und Hallengebäude

4.1.1 Projekt E1 – Tankstellendach als Kragarm⁸³

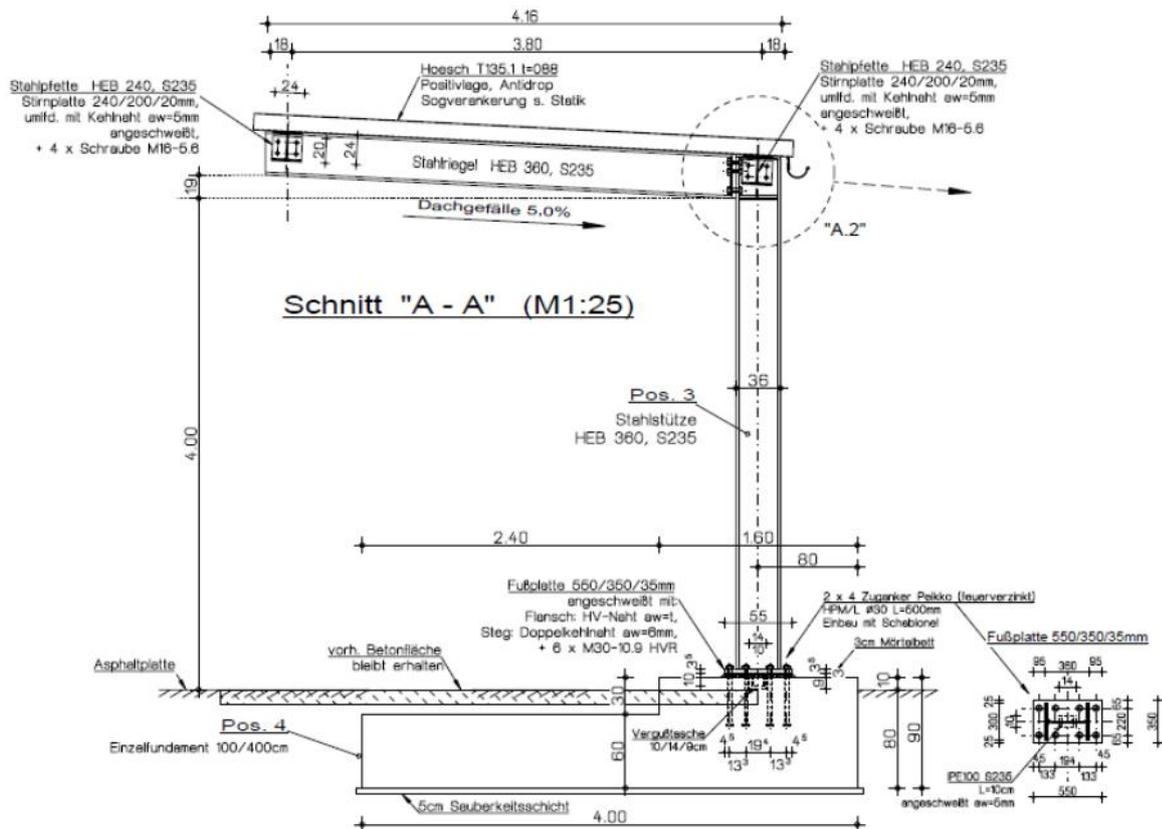


Abbildung 4.1 Tankstellendach als Kragarm

Tabelle 4.1 Steckbrief Projekt E1 – Tankstellendach als Kragarm

Projektart:	Tankstellendach
Stahlbauer:	Buthmann Ingenieur-Stahlbau AG
Zeitpunkt der Errichtung:	Oktober 2016
Baustahltonnage:	6 t
Grundfläche:	-
BRI:	-
Geräte (Errichtung):	LKW mit Ladekran 12 t, 2 Teleskoparbeitsbühnen, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	2 Monteure, 1 LKW/Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Mittelrahmen, Kragarm Stützen: HEB 360, ca. 4 m; Riegel: HEB 360, ca. 4 m; Pfetten: HEB 240, 11,40 m
Zusätzliche Informationen:	Gründung: 4 m breites Stahlbetoneinzelfundament mit eingelassenen Zugankern in den Stützenbereichen. Einbau durch NU.
Hintergrunddaten:	Tabelle A 1 - Tabelle A 3, S. I - III

⁸³ Informationen und Abbildungen von Buthmann Ingenieur-Stahlbau AG

4.1.2 Projekt E2 – Industriehalle in Rosenfeld⁸⁴

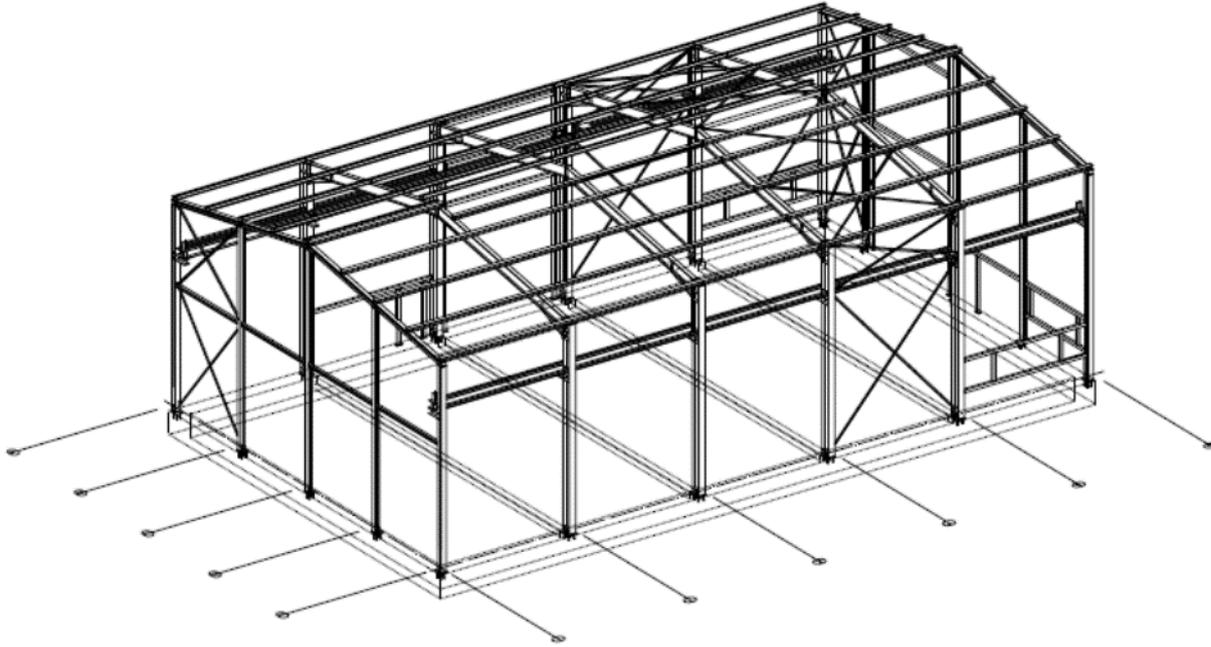


Abbildung 4.2 Industriehalle in Rosenfeld

Tabelle 4.2 Steckbrief Projekt E2 – Industriehalle in Rosenfeld

Projektart:	Industriehalle
Stahlbauer:	Friedrich Bühler GmbH & Co. KG
Zeitpunkt der Errichtung:	Dezember 2016
Baustahltonnage:	55 t
Grundfläche:	300 m ²
BRI:	-
Geräte (Errichtung):	Autokran 40 t, 2 Teleskoparbeitsbühnen, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	3 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Achswise Montage ausgehend vom Verbandsfeld, Zweigelenkrahmen
Zusätzliche Informationen:	-
Hintergrunddaten:	Tabelle A 4 - Tabelle A 6, S. IV - VII

⁸⁴ Informationen und Abbildungen von Friedrich Bühler GmbH & Co. KG

4.1.3 Projekt E3 – Lagerhalle in Krefeld⁸⁵

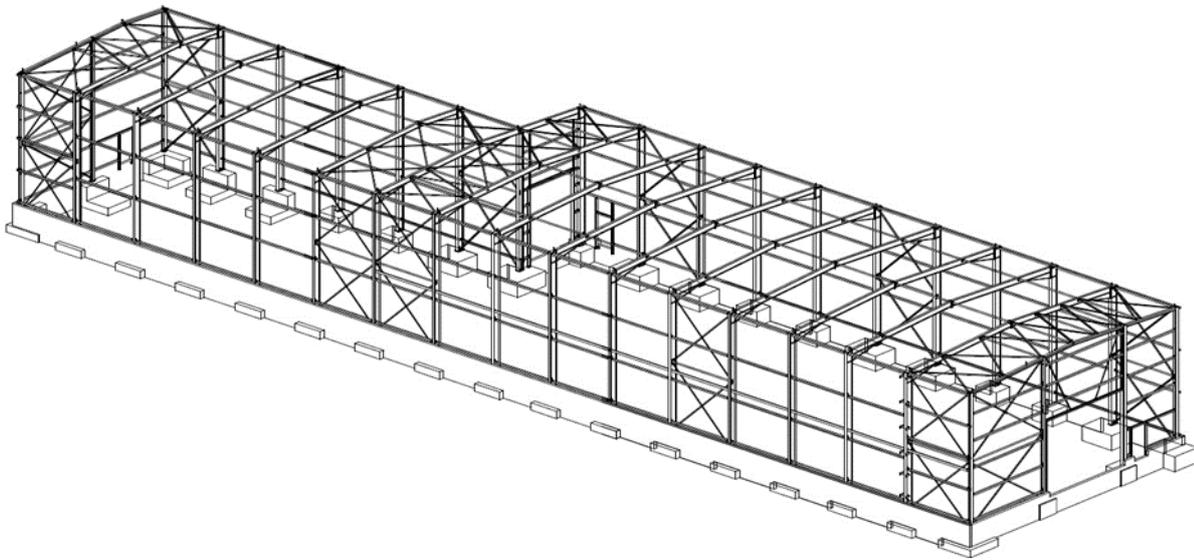


Abbildung 4.3 Lagerhalle in Krefeld

Tabelle 4.3 Steckbrief Projekt E3 – Lagerhalle in Krefeld

Projektart:	Lagerhalle
Stahlbauer:	Siebert & Möller GmbH & Co. KG
Zeitpunkt der Errichtung:	Januar 2017
Baustahltonnage:	68 t
Grundfläche:	1435 m ²
BRI:	14.000 m ³
Geräte (Errichtung):	Autokran 60 t, 2 Teleskoparbeitsbühnen, 2 Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	3 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Achsweise Montage ausgehend vom ersten Verbandsfeld, Stützen/Längswand IPE500 und IPE550, ca. 10 m; Stützen/Giebelwand HEA 220 und HEA 240, ca. 10 m; Druckrohre/Binder RO88,9x4,5; Dachträger IPE300 und IPE330, 10 m + 10 m und 10 m + 4 m
Zusätzliche Informationen:	-
Hintergrunddaten:	Tabelle A 7 - Tabelle A 9, S. IX - XI

⁸⁵ Informationen und Abbildungen von Siebert & Möller GmbH & Co. KG

4.1.4 Projekt E4 – Industriehalle Kreuztal⁸⁶

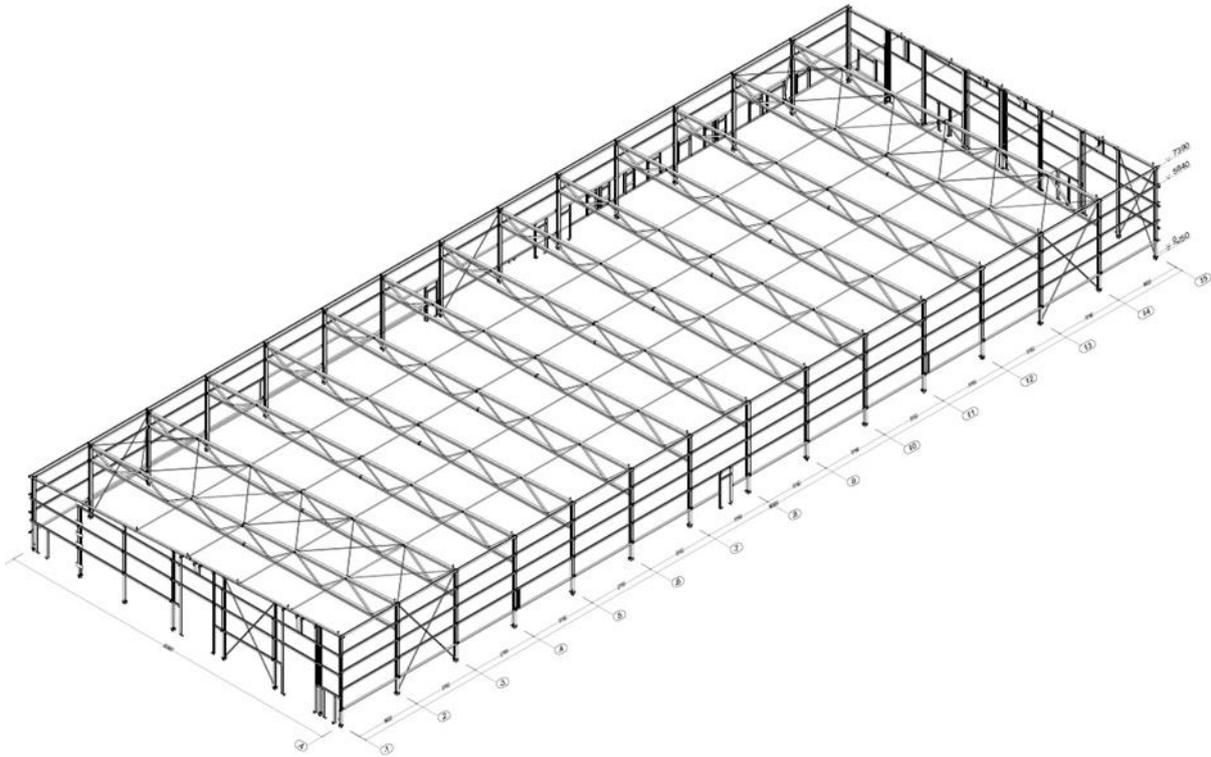


Abbildung 4.4 Industriehalle Sinner Industriebau

Tabelle 4.4 Steckbrief Projekt E4 – Industriehalle Kreuztal

Projektart:	Industriehalle
Stahlbauer:	Sinner Stahl- und Industriebauten GmbH
Zeitpunkt der Errichtung:	Ende 2016
Baustahltonnage:	79,5 t
Grundfläche:	2.443 m ²
BRI:	18.000 m ³
Geräte (Errichtung):	Autokran 40 t, 2 Teleskoparbeitsbühnen, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	3 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Achswise Montage ausgehend vom ersten Verbandsfeld, Stützen: 7,40 m; Fachwerkträger: 14,50 m
Zusätzliche Informationen:	-
Hintergrunddaten:	Tabelle A 10 - Tabelle A 12, S. XIII - XV

⁸⁶ Informationen und Abbildungen von Sinner Stahl- und Industriebauten GmbH

4.1.5 Projekt E5 – Industriehalle in Görwihl⁸⁷

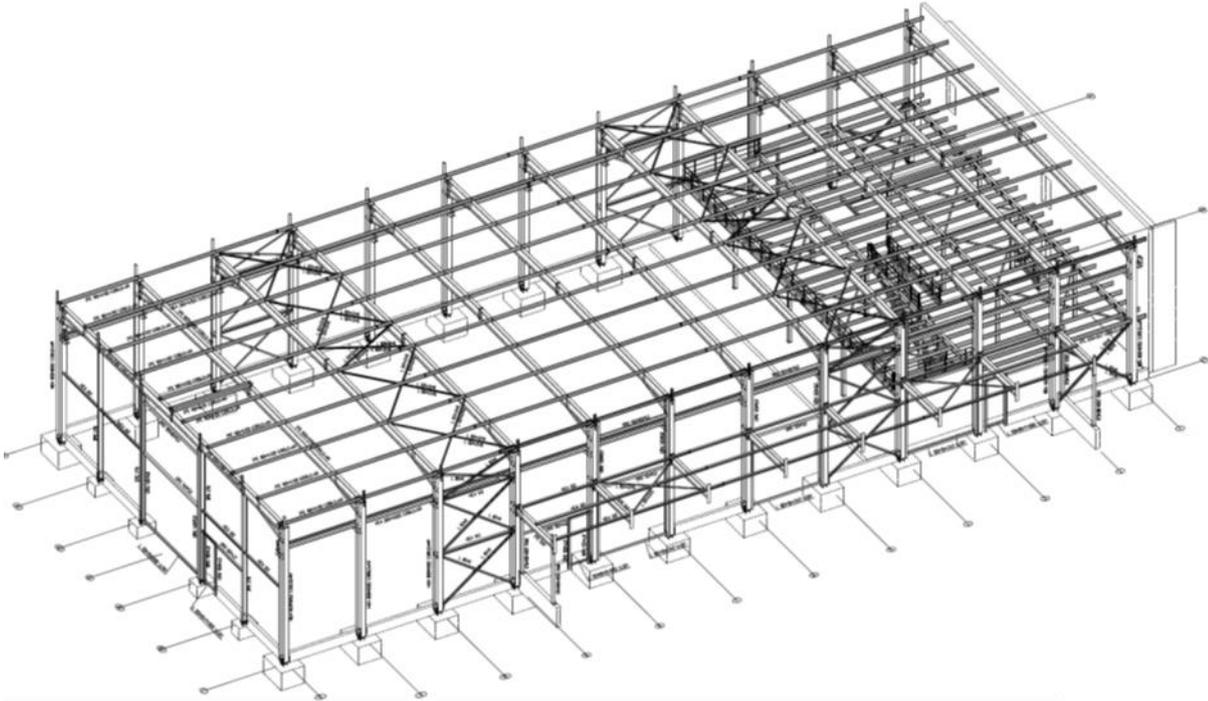


Abbildung 4.5 Industriehalle in Görwihl

Tabelle 4.5 Steckbrief Projekt E5 – Industriehalle in Görwihl

Projektart:	Industriehalle
Stahlbauer:	Friedrich Bühler GmbH & Co. KG
Zeitpunkt der Errichtung:	November 2016
Baustahltonnage:	165 t
Grundfläche:	1155 m ²
BRI:	10.800 m ³
Geräte (Errichtung):	Autokran 60 t, 2 Teleskoparbeitsbühnen, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	3 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Achsweise Montage ausgehend von den zwei Verbandsfeldern, Stützen: Kopfseite: IPE 270; Seite HEA 600, 9,35 m; Dachträger: IPE 600, 2*12,16 m; Pfetten: IPE 180, 14,10 m; Aussteifungen: L-Profil 60*40*6, HEA 100/280,
Zusätzliche Informationen:	-
Hintergrunddaten:	Tabelle A 13 - Tabelle A 15, S. XVII - XX

⁸⁷ Informationen und Abbildungen von Friedrich Bühler GmbH & Co. KG

4.1.6 Projekt E6 – Produktionshalle Haller⁸⁸

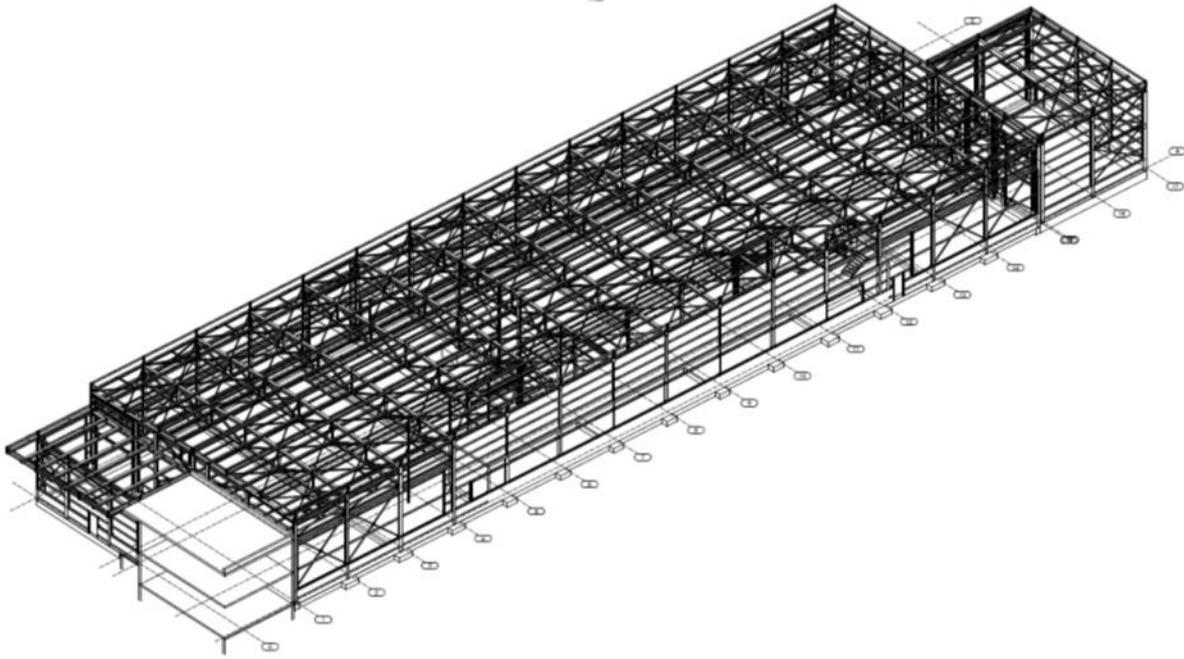


Abbildung 4.6 Produktionshalle Haller

Tabelle 4.6 Steckbrief Projekt E6 – Produktionshalle Haller

Projektart:	Produktionshalle/Industriehalle
Stahlbauer:	Haller Industriebau GmbH
Zeitpunkt der Errichtung:	2016
Baustahltonnage:	275 t
Grundfläche:	2.548 m ²
BRI:	24.800 m ³
Geräte (Errichtung):	Autokran 100 t, 2 Teleskoparbeitsbühnen, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	3 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Achswise Montage ausgehend vom ersten Verbandsfeld, Stützen: HEA 280, ca. 9,50 m; Fachwerkträger: Untergurt HEA 140, Obergurt HEA 280, 2*14 m; Pfetten: HEA 180 Aussteifungen: L80*8 Profile
Zusätzliche Informationen:	-
Hintergrunddaten:	Tabelle A 16 - Tabelle A 18, S. XXI - XXIV

⁸⁸ Informationen und Abbildungen von Haller Industriebau GmbH

4.1.7 Projekt E7 – Dachkonstruktion auf Stahlbetonstützen⁸⁹

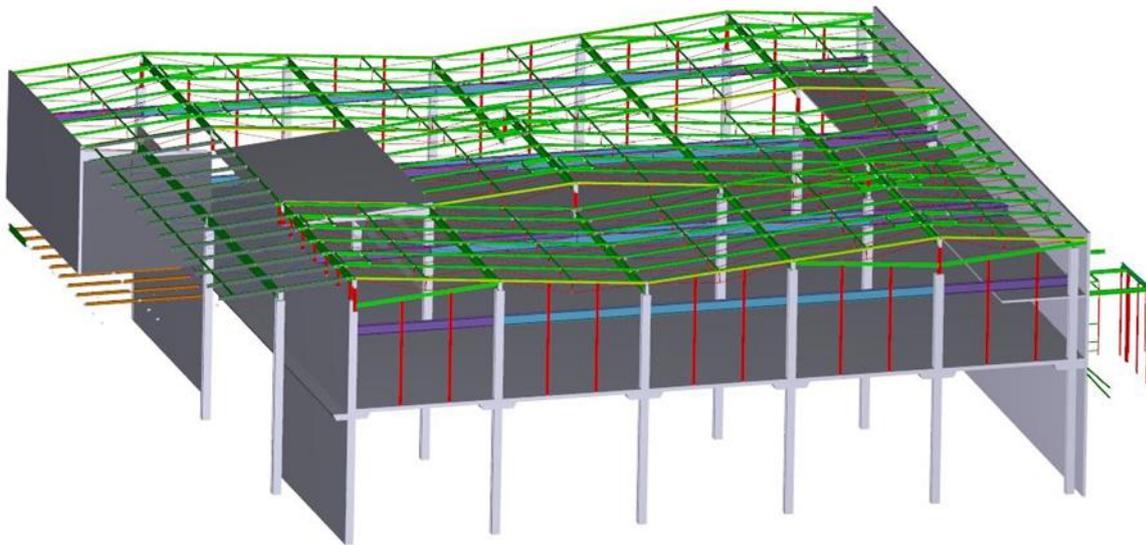


Abbildung 4.7 Dachkonstruktion auf Stahlbetonstützen

Tabelle 4.7 Steckbrief Projekt E7 – Dachkonstruktion auf Stahlbetonstützen

Projektart:	Dachkonstruktion/Industrie Halle
Stahlbauer:	Haller Industriebau GmbH
Zeitpunkt der Errichtung:	Dezember 2016
Baustahltonnage:	375 t
Grundfläche:	6.163 m ²
BRI:	24.800 m ³
Geräte (Errichtung):	Autokran 100 t, 2 TDK 10 t, 2 Teleskopstapler, 2 Scherenbühnen, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	3 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Feldweise Montage, Querträger: HEA 500; Längsträger HEB 240, 14,4 m
Zusätzliche Informationen:	Aufgrund der insgesamt längeren Bauzeit der gesamten Baustelle stehen für die Deckenkonstruktion auch zwei Turmdrehkrane zur Verfügung, die mitbenutzt werden. Hierbei wird aufgrund der Größe der einzubauenden Baustahlelemente ein Verhältnis von 60 % Errichtung mit Autokran und 40 % mit TDK angenommen.
Hintergrunddaten:	Tabelle A 19 - Tabelle A 21, S. XXVI - XXVIII

⁸⁹ Informationen und Abbildungen von Haller Industriebau GmbH

4.1.8 Projekt E8 – Industriehalle Augsburg⁹⁰

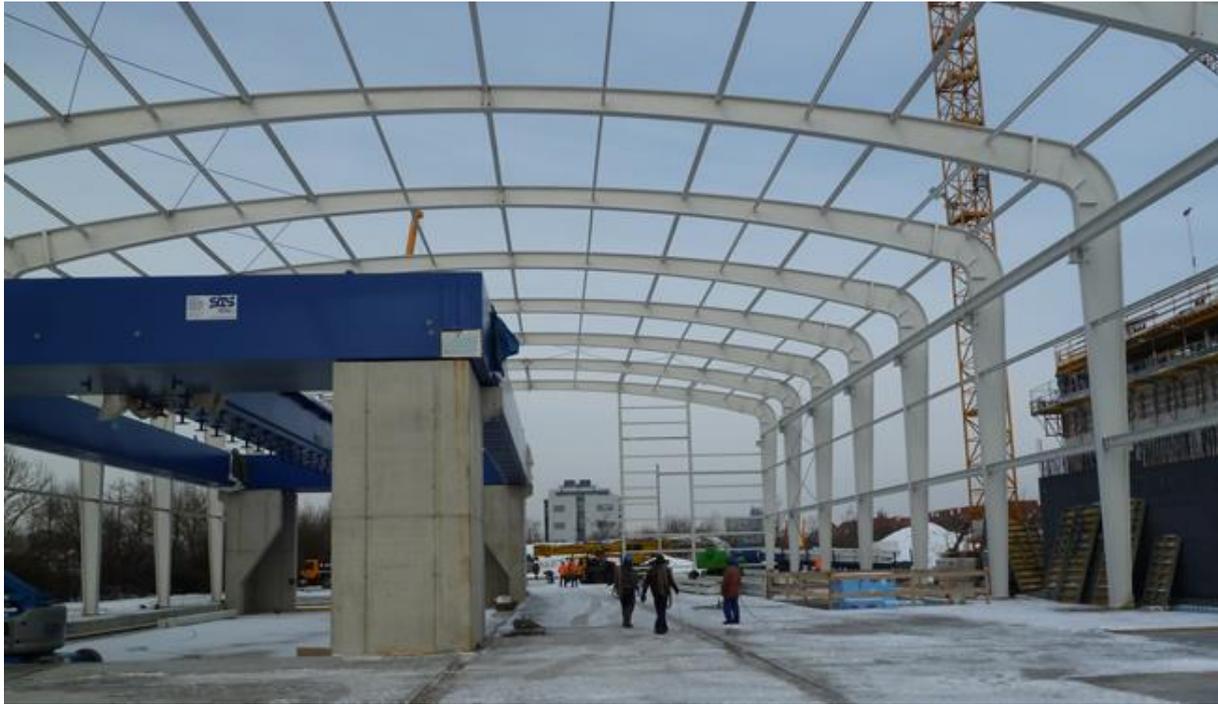


Abbildung 4.8 Industriehalle Augsburg während der Errichtung

Tabelle 4.8 Steckbrief Projekt E8 – Industriehalle Augsburg

Projektart:	Industriehalle
Stahlbauer:	sts-Stahltechnik GmbH
Zeitpunkt der Errichtung:	2012
Baustahltonnage:	423 t
Grundfläche:	-
BRI:	-
Geräte (Errichtung):	2 TDK 40 t, 2 Kran 60 t, 2 Arbeitsbühne, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	4 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Achswise Montage; Aufrichten von 4 Stützen inkl. Koppelstäben und ggf. Verbänden; dann Einheben der Träger; individuell geschweißte Profile
Zusätzliche Informationen:	Aufgrund der insgesamt längeren Bauzeit der gesamten Baustelle stehen auch zwei Turmdrehkrane zur Verfügung, die mitbenutzt werden. Hierbei wird aufgrund der Größe der Baustahlelemente ein Verhältnis von 50 % Errichtung mit den Autokranen und 50 % mit TDK angenommen.
Hintergrunddaten:	Tabelle A 22 - Tabelle A 24, S. XXIX - XXXII

⁹⁰ Informationen und Abbildungen von sts-Stahltechnik GmbH

4.1.9 Projekt E9 – Industriehalle C&P⁹¹

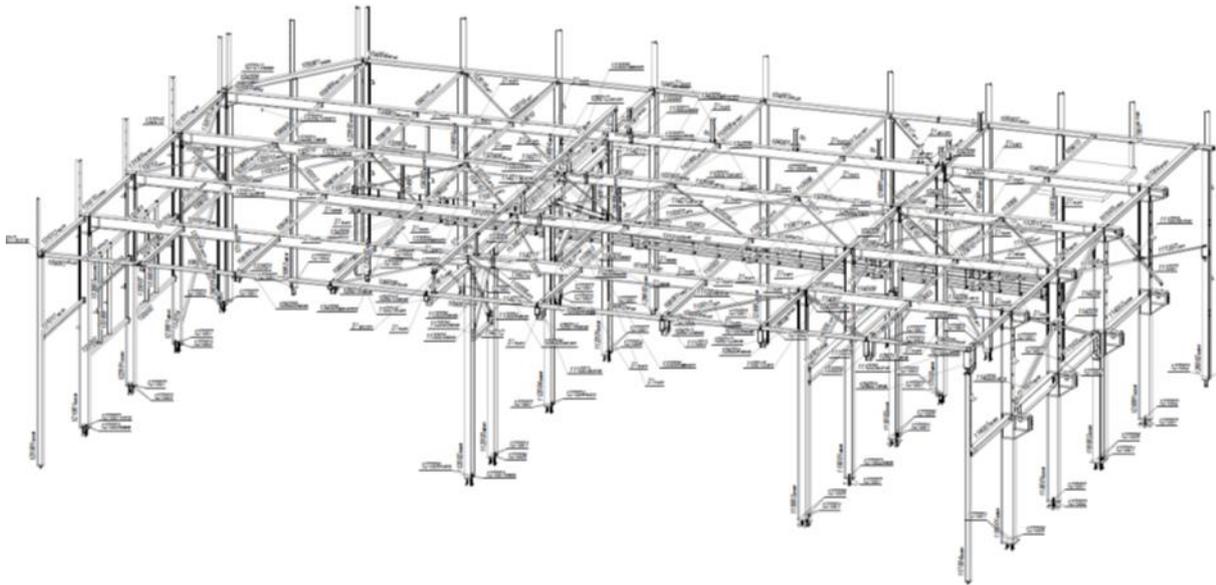


Abbildung 4.9 Industriehalle C&P

Tabelle 4.9 Steckbrief Projekt E9 – Industriehalle C&P

Projektart:	Industriehalle
Stahlbauer:	Christmann & Pfeifer Construction GmbH & Co. KG
Zeitpunkt der Errichtung:	-
Baustahltonnage:	500 t
Grundfläche:	-
BRI:	-
Geräte (Errichtung):	1 Kran 100 t, 1 Teleskopstapler, 4 Arbeitsbühnen, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	6 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Achsweise Montage; Aufrichten von 4 Stützen inkl. Koppelstäben und ggf. Verbänden; dann Einheben der Träger; individuell geschweißte Profile
Zusätzliche Informationen:	-
Hintergrunddaten:	Tabelle A 25 - Tabelle A 27, S. XXXIV - XXXVI

⁹¹ Informationen und Abbildungen von Christmann & Pfeifer Construction GmbH & Co. KG

4.2 Geschossbauten/Parkhäuser

4.2.1 Projekt M1 – DHL Parkhaus in Dorsten⁹²

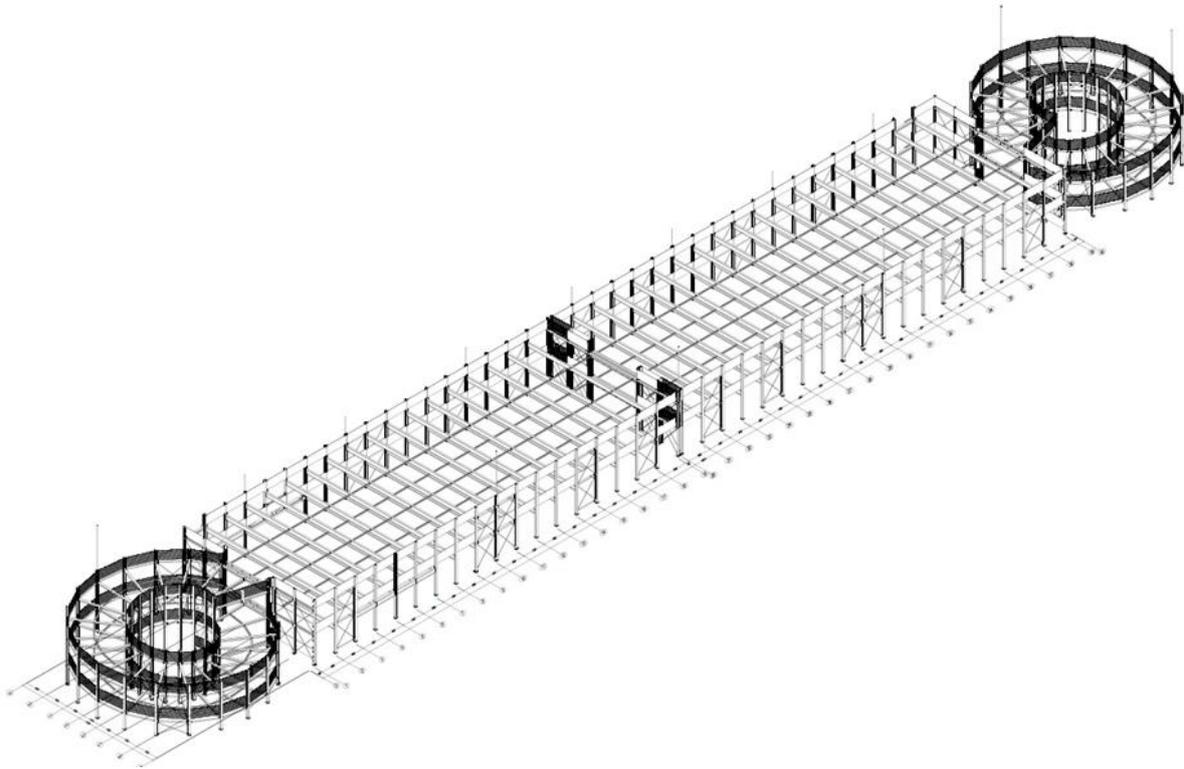


Abbildung 4.10 DHL Parkhaus in Dorsten

Tabelle 4.10 Steckbrief Projekt M1 – DHL Parkhaus in Dorsten

Projektart:	Parkhaus
Stahlbauer:	Goldbeck West GmbH
Zeitpunkt der Errichtung:	Januar 2017
Baustahltonnage:	170 t
Grundfläche:	2.088 m ² , 3 Geschosse
BGF:	6.264 m ²
BRI:	14.355 m ³
Geräte (Errichtung):	1 Kran 100 t, 2 Arbeitsbühnen, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	4 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Stahlskelettbau, Spindelrampen, Achsweisse Montage, Schweißträger aus Eigenproduktion
Zusätzliche Informationen:	-
Hintergrunddaten:	Tabelle A 28 - Tabelle A 29, S. XXXVIII - XXXIX

⁹² Informationen und Abbildungen von Goldbeck West GmbH

4.2.2 Projekt M2 – Phillips Parkhaus in Hamburg⁹³

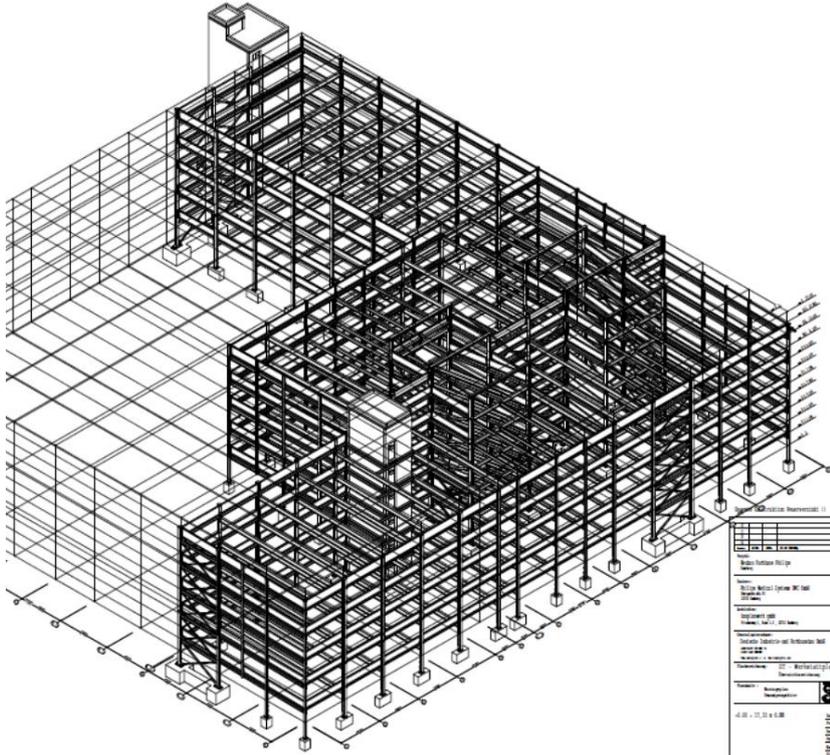


Abbildung 4.11 Phillips Parkhaus in Hamburg

Tabelle 4.11 Steckbrief Projekt M2 – Phillips Parkhaus in Hamburg

Projektart:	Parkhaus
Stahlbauer:	Deutsche Industrie- und Parkhausbau GmbH -dip
Zeitpunkt der Errichtung:	Januar 2017
Baustahltonnage:	220 t
Grundfläche:	1950 m ² , 6 Geschosse
BGF:	11.700 m ²
BRI:	27.300 m ³
Geräte (Errichtung):	1 TDK 10 t, 2 Arbeitsbühnen, 1 Teleskoplader, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	3 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Stahlskelettbau feuerverzinkt, Achsweise Montage IPE 500 Deckenträger, bei 16m Spannweite, Stützen HEB 200 - HEB 360
Zusätzliche Informationen:	Turmdrehkran wird eingesetzt, weil er aufgrund der schlüsselfertigen Bauweise und der längeren Vorhaltezeit wirtschaftlicher ist als ein Autokran.
Hintergrunddaten:	Tabelle A 30 - Tabelle A 31, S. XLII - XLIII

⁹³ Informationen und Abbildungen von Deutsche Industrie- und Parkhausbau GmbH -dip

4.2.3 Projekt M3 – Parkhaus Helios Duisburg⁹⁴

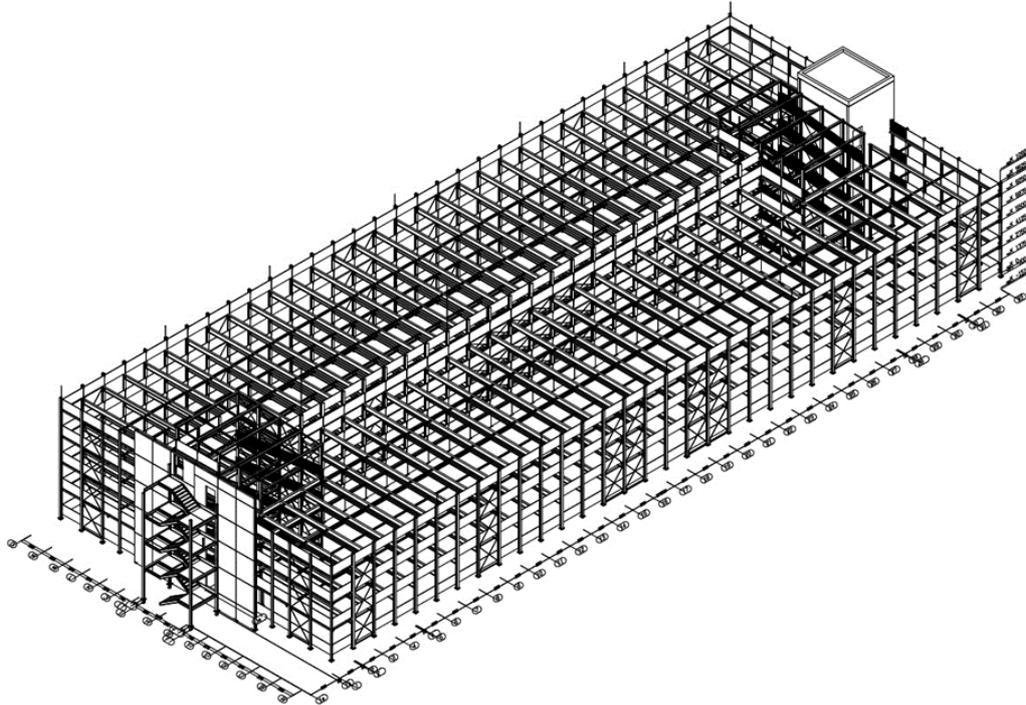


Abbildung 4.12 Parkhaus Helios Duisburg in Split-Level Bauweise

Tabelle 4.12 Steckbrief Projekt M3 – Parkhaus Helios Duisburg in Split-Level Bauweise

Projektart:	Parkhaus
Stahlbauer:	Goldbeck West GmbH
Zeitpunkt der Errichtung:	April 2014
Baustahltonnage:	305 t
Grundfläche:	1.280 m ² , 5 Geschosse
BGF:	5.760 m ²
BRI:	15.840 m ³
Geräte (Errichtung):	1 TDK 10 t, 2 Arbeitsbühnen, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	4 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Stahlskelettbau, Split-Level-Rampen, Geschossweise Montage Schweißträger aus Eigenproduktion
Zusätzliche Informationen:	Turmdrehkran wird eingesetzt, weil er aufgrund der schlüsselfertigen Bauweise und der längeren Vorhaltezeit wirtschaftlicher ist als ein Autokran.
Hintergrunddaten:	Tabelle A 32 - Tabelle A 33, S. XLVIII - XLIX

⁹⁴ Informationen und Abbildungen von Goldbeck West GmbH

4.2.4 Projekt M4 – Parkhaus TU Darmstadt⁹⁵

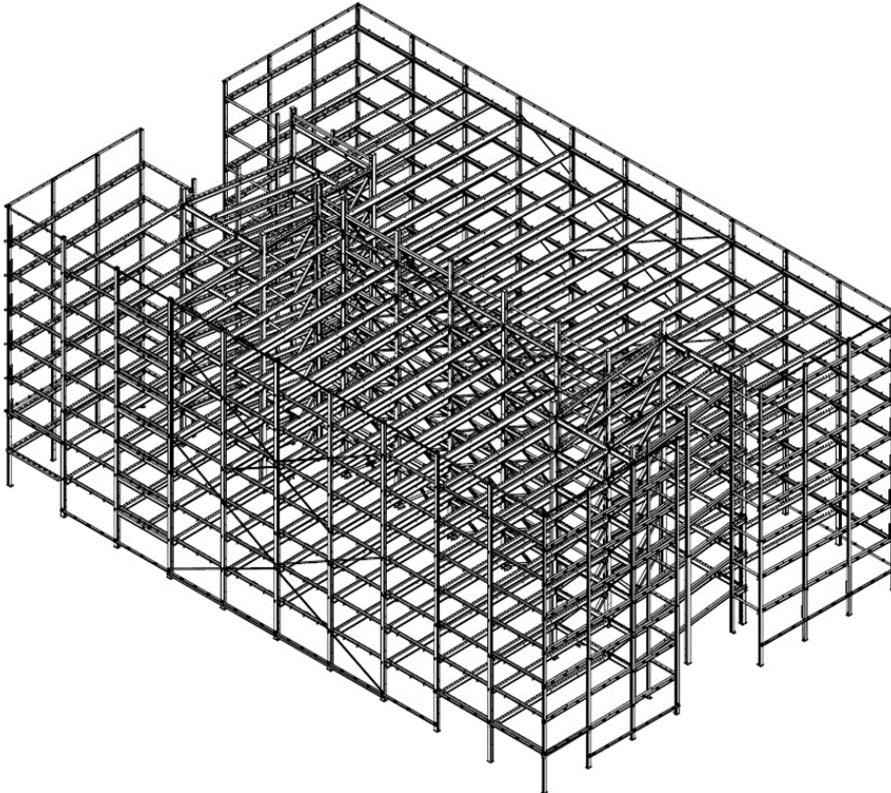


Abbildung 4.13 Parkhaus TU Darmstadt

Tabelle 4.13 Steckbrief Projekt M4 – Parkhaus TU Darmstadt

Projektart:	Parkhaus
Stahlbauer:	Deutsche Industrie- und Parkhausbau GmbH -dip
Zeitpunkt der Errichtung:	2014
Baustahltonnage:	387 t
Grundfläche:	1.540 m ² , 8 Geschosse
BGF:	12.320 m ²
BRI:	28.705 m ³
Geräte (Errichtung):	1 TDK 10 t, 2 Arbeitsbühnen, 1 Teleskoplader, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	3 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Stahlverbundkonstruktion, Achsweise Montage IPE 500 Deckenträger, bei 16m Spannweite, Stützen HEB 200 – HEB 360
Zusätzliche Informationen:	Turmdrehkran wird eingesetzt, weil er aufgrund der schlüsselfertigen Bauweise und der längeren Vorhaltezeit wirtschaftlicher ist als ein Autokran.
Hintergrunddaten:	Tabelle A 34 - Tabelle A 35, S. LIII - LIV

⁹⁵ Informationen und Abbildungen von Deutsche Industrie- und Parkhausbau GmbH -dip

4.2.5 Projekt M5 – Parkhaus Hofaue in Wuppertal⁹⁶

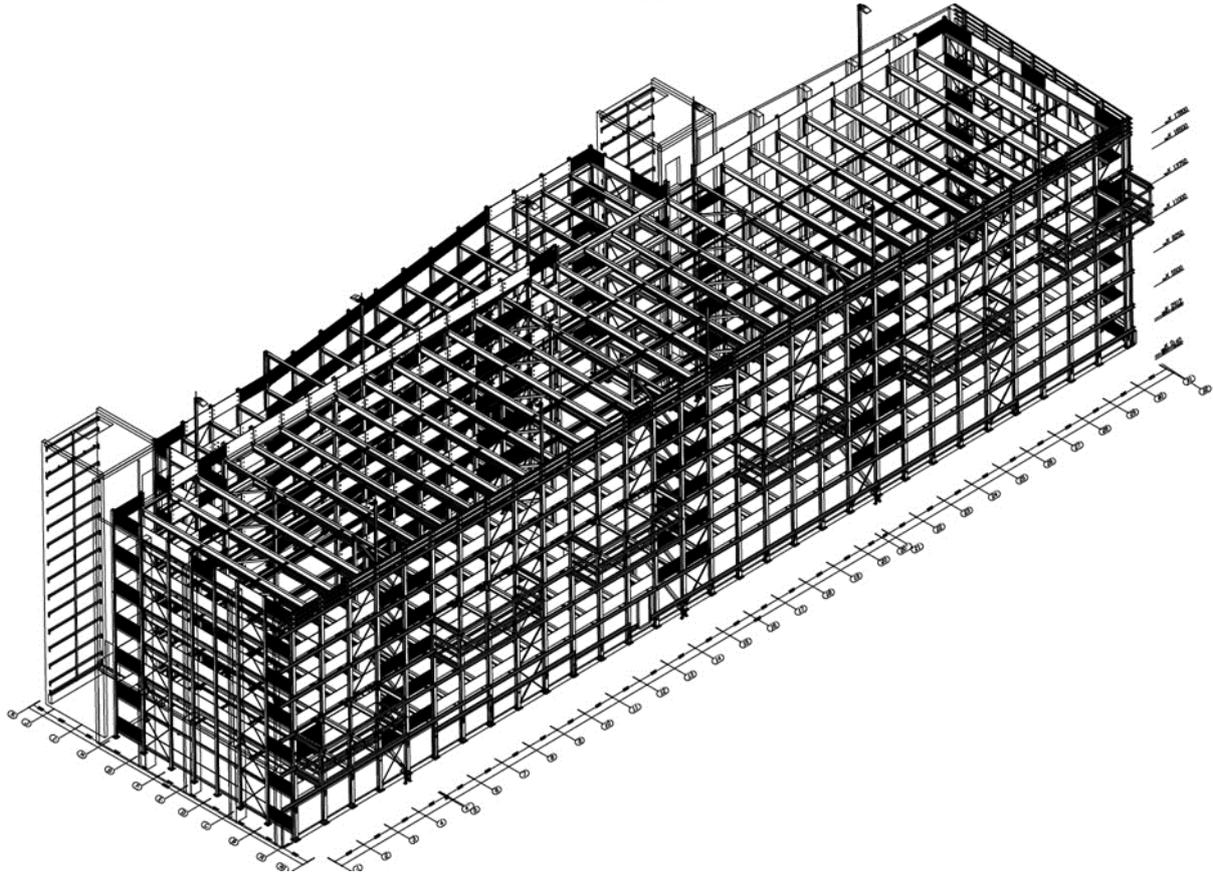


Abbildung 4.14 Parkhaus Hofaue in Wuppertal mit Vollgeschossrampen

Tabelle 4.14 Steckbrief Projekt M5 – Parkhaus Hofaue in Wuppertal

Projektart:	Parkhaus
Stahlbauer:	Goldbeck West GmbH
Zeitpunkt der Errichtung:	Januar 2012
Baustahltonnage:	435 t
Grundfläche:	1.720 m ² , 7 Geschosse
BGF:	12.155 m ²
BRI:	30.388 m ³
Geräte (Errichtung):	Raupenkran SK 2400R, 3 Scherenbühnen
Personal:	4 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Stahlskelettbau, Vollgeschossrampen, Achsweise Montage Schweißträger aus Eigenproduktion
Zusätzliche Informationen:	Raupenkran wird eingesetzt, weil er aufgrund der schlüsselfertigen Bauweise und der längeren Vorhaltezeit wirtschaftlicher ist als ein Autokran.
Hintergrunddaten:	Tabelle A 36 - Tabelle A 37, S. LVIII - LIX

⁹⁶ Informationen und Abbildungen von Goldbeck West GmbH

4.2.6 Projekt M6 – Parkhaus IDR Düsseldorf⁹⁷

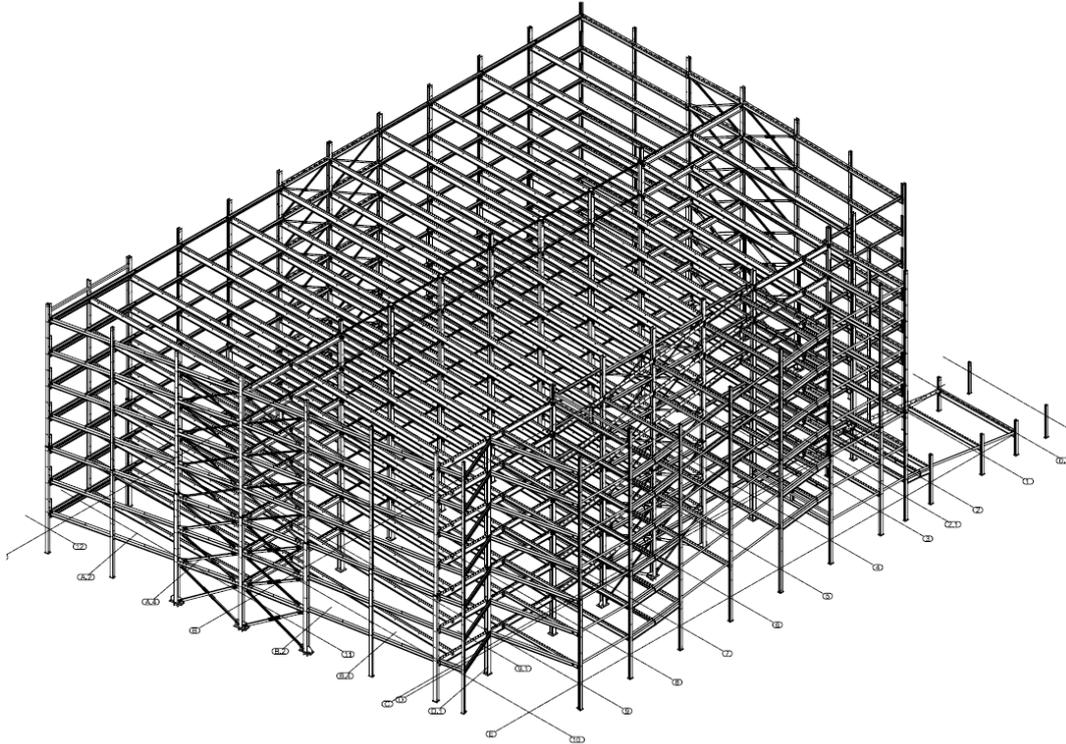


Abbildung 4.15 Parkhaus IDR Düsseldorf

Tabelle 4.15 Steckbrief Projekt M6 – Parkhaus IDR Düsseldorf

Projektart:	Parkhaus
Stahlbauer:	Deutsche Industrie- und Parkhausbau GmbH -dip
Zeitpunkt der Errichtung:	2015
Baustahltonnage:	460 t
Grundfläche:	1870 m ² , 8 Geschosse
BGF:	14.960 m ²
BRI:	34.850 m ³
Geräte (Errichtung):	1 TDK 10 t, 2 Arbeitsbühnen, 1 Teleskoplader, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	3 Monteure, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Stahlverbundkonstruktion, Achsweisse Montage IPE 500 Deckenträger, bei 16 m Spannweite, Stützen HEB 200 – HEB 360
Zusätzliche Informationen:	Turmdrehkran wird eingesetzt, weil er aufgrund der schlüsselfertigen Bauweise und der längeren Vorhaltezeit wirtschaftlicher ist als ein Autokran.
Hintergrunddaten:	Tabelle A 38 - Tabelle A 39, S. LXIII - LXIV

⁹⁷ Informationen und Abbildungen von Deutsche Industrie- und Parkhausbau GmbH -dip

4.2.7 Projekt M7 – Parkhaus BER⁹⁸

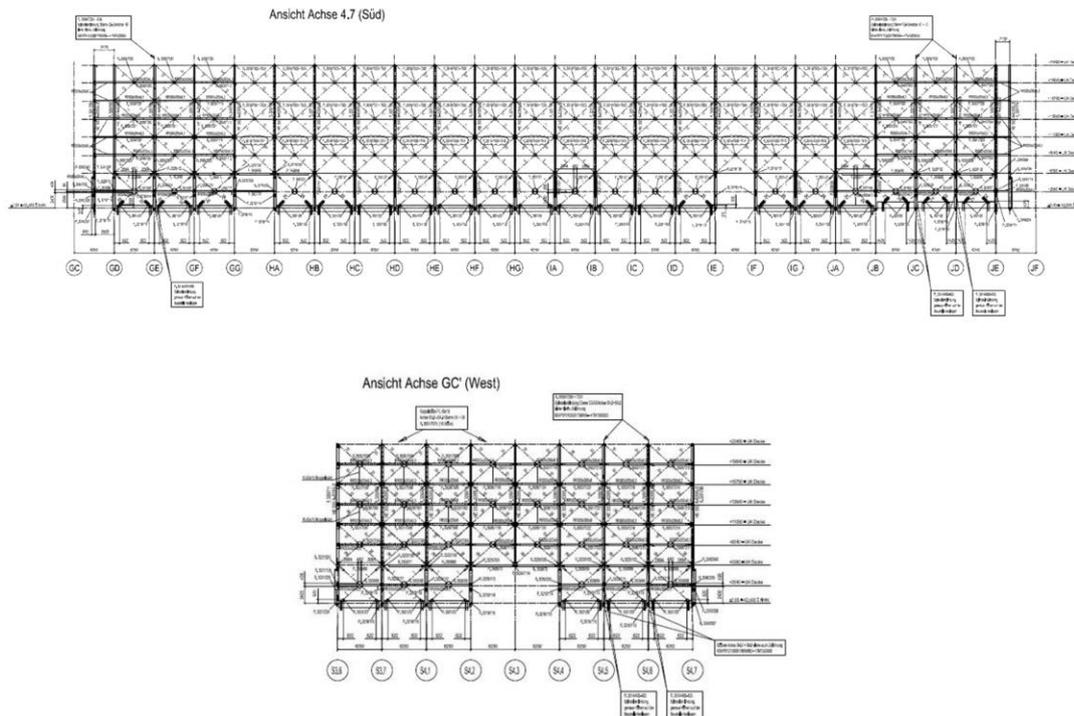


Abbildung 4.16 Südansicht (oben) und Westansicht eines der Parkhäuser Flughafen Berlin

Tabelle 4.16 Steckbrief Projekt M7 – Parkhaus BER

Projektart:	Parkhaus
Stahlbauer:	Deutsche Industrie- und Parkhausbau GmbH -dip
Zeitpunkt der Errichtung:	Juni 2010
Baustahltonnage:	2566 t
Grundfläche:	7.800 m ² , 8 Geschosse
BGF:	70.200 m ²
BRI:	175.000 m ³
Geräte (Errichtung):	2 TDK 10 t, 4 Arbeitsbühnen, Elektroschlagschrauber, Drehmomentschlüssel
Personal:	6 Monteure, 2 Richtmeister, 2 Kranfahrer
Angaben zu Montage / Konstruktion:	Stahlverbundkonstruktion, Achsweise Montage (1.-2. OG), Geschossweise Montage (3.-7. OG) Deckenträger: IPE 600; Stützen: HEA/HEB 360-300
Zusätzliche Informationen:	Die Gründung der Konstruktion erfolgt wegen des sandigen Untergrundes mit sehr großen Streifenfundamenten von vier Meter Tiefe und sechs Meter Breite. Die Gründe für die Wahl von Stahlverbundstützen für die ersten beiden Stockwerke liegen im optischen Erscheinungsbild.
Hintergrunddaten:	Tabelle A 40 - Tabelle A 41, S. LXVIII - LXIX

⁹⁸ Informationen und Abbildungen von stahl + verbundbau GmbH

4.3 Projektdatenbank Zusammenfassung

Die folgenden Tabelle 4.17 bis Tabelle 4.21 fassen die Informationen zur Errichtung, Abbruch und Rückbau der Projekte zusammen. Der unterschiedliche Geräteeinsatz bei der Errichtung wird zusätzlich in Abbildung 4.17 veranschaulicht. Die bei der Errichtung von allen Projekten eingesetzten Elektroschlagschrauber werden in der Ökobilanz berücksichtigt, sind aber in der Tabelle nicht extra aufgeführt. Gleiches gilt für die Trennschleifer, die beim Rückbau zum Trennen der Schraubverbindungen verwendet werden.

Tabelle 4.17 Projektdatenbank – Überblick Errichtung

Nr.	Projektart	Geräte				Personal	Bauzeit für Ökobilanz (h)	Baustahl (t)
		Mobilkran	Turm-drehkran	Teleskop-lader	Arbeits-bühne			
E1	Tankstellendach	1 (12 t)	-	-	2	3	7	6
E2	Industriehalle	1 (40 t)	-	-	2	5	34	55
E3	Lagerhalle	1 (60 t)	-	-	2	5	56	68
E4	Industriehalle	1 (40 t)	-	-	2	5	65	80
E5	Industriehalle	1 (60 t)	-	-	2	5	64	165
E6	Industriehalle	1 (100 t)	-	-	2	5	114	275
E7	Dachkonstruktion	1 (100 t)	2 (10 t)	2	2	5	130	372
E8	Industriehalle	1 (60 t)	2 (40 t)	-	2	6	117	423
E9	Industriehalle	1 (100 t)	-	1	4	8	134	500
M1	Parkhaus	1 (100 t)	-	-	2	6	192	170
M2	Parkhaus	-	1 (10 t)	1	2	5	159	220
M3	Parkhaus	-	1 (10 t)	-	2	6	134	305
M4	Parkhaus	-	1 (10 t)	1	2	5	179	387
M5	Parkhaus	Kettenkran (18 t)		-	3	3	364	435
M6	Parkhaus	-	1(10 t)	1	2	5	156	460
M7	Parkhaus	-	2(10 t)	-	4	10	558	2566

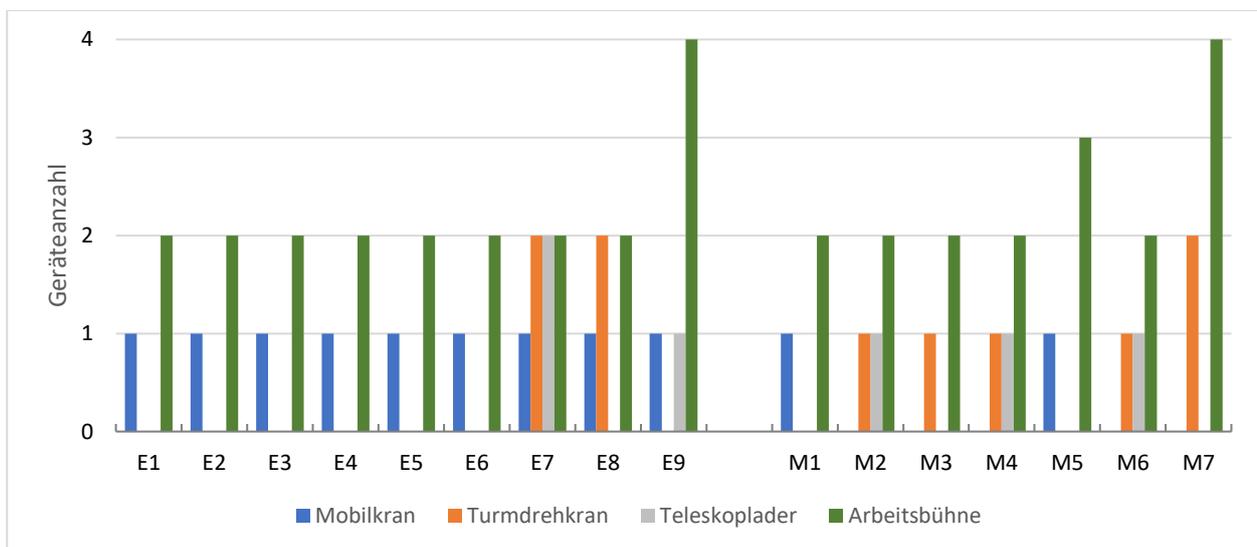


Abbildung 4.17 Unterschiede beim Geräteeinsatz für die Errichtung der Stahlkonstruktionen

Die Zeitrahmen der Errichtungen für die reine Stahlkonstruktion sind bei Industrie- und Hallenbauten mit 7 - 134 h in einer Größenordnung, in der die Verwendung von Autokranen am wirtschaftlichsten ist. In einigen Fällen (E7 und E8) wird ein für weitere Gewerke vorgehaltener Turmdrehkran mit genutzt. Die Größe der Krane liegt zwischen 12 t und 100 t. Bei den Errichtungen im Geschossbau werden wegen der längeren Bauzeiten von 192 - 558 h hauptsächlich Turmdrehkrane eingesetzt. Die Bauzeiten gelten nur für die deckenlose, reine Stahlkonstruktion. Die Bauzeit der gesamten Konstruktion ist deutlich länger und erfordert weitere Gewerke, daher sind Turmdrehkrane die wirtschaftlichere Wahl. Bei beengten Platzverhältnissen kommt bei den betrachteten Parkhäusern (M1 und M5) auch ein Mobilkran zum Einsatz. Tabelle 4.18 fasst die typischen Parameter für die Stahlbaumontage zusammen (siehe auch Kapitel 5.3).

Tabelle 4.18 Typische Parameter für die Stahlbaumontage verschiedener Bauwerkskategorien

Kategorie	Industrie- und Hallenbau	Geschossbau/Parkhausbau
Montageverfahren	Achsweise	Achsweise/Geschossweise
Stahltonnage der betrachteten Projekte (t)	6 - 500	170 - 2566
Zeitraumen der Errichtung (h)	7 - 134	192 - 558
Aufwandswerte (h/t)⁹⁹	6 - 10	4 - 23
Kranarten- und Größe	Autokrane 12 t - 100 t	Turmdrehkran, Mobile Baukrane, Autokrane 100 t
Typische Baugeräte	Autokrane, Teleskoparbeitsbühnen, Teleskopstapler, elektrische Schraubgeräte insbesondere für Schraubengarnituren > M20, Drehmomentschlüssel, Anschlagmittel: Lastböcke, Schäkel, Rundschlingen	Turmdrehkrane, Autokrane, Raupenkrane, Teleskoparbeitsbühnen, Scherenarbeitsbühnen, Teleskopstapler, elektrische Schraubgeräte insbesondere für Schraubengarnituren > M20, Drehmomentschlüssel, Anschlagmittel: Lastböcke, Schäkel, Rundschlingen
Hauptverbindungart bei der Montage	Schraubverbindungen	Schraubverbindungen
Kolonnengrößen und Beruf	4 - 6 Schlosser, 1 Richtmeister, 1 Kranfahrer	3 - 7 Schlosser, 1 - 2 Richtmeister, 1 - 2 Kranfahrer

⁹⁹ Siehe auch Kapitel 4.4

Tabelle 4.19 Projektdatenbank – Überblick Abbruch für Recycling

Nr.	Projektart	Geräte			Personal	Abbruchzeit für Ökobilanz (h)	Baustahl (t)
		Bagger mit Schrottschere	Schneidbrenner	Arbeitsbühne			
E1	Tankstellendach	1 (30 t)	2	1	3	4	6
E2	Industriehalle	1 (30 t)	2	1	3	14	55
E3	Lagerhalle	1 (30 t)	2	1	3	30	68
E4	Industriehalle	1 (30 t)	2	1	3	30	80
E5	Industriehalle	1 (30 t)	2	1	3	30	165
E6	Industriehalle	1 (30 t)	2	1	3	51	275
E7	Dachkonstruktion	1(55 t)	2	1	3	104	372
E8	Industriehalle	1(77 t)	2	1	3	55	423
E9	Industriehalle	1(55 t)	2	1	3	103	500
M1	Parkhaus	2(55 t)	4	2	6	102	170
M2	Parkhaus	2(55 t)	4	2	6	97	220
M3	Parkhaus	2(55 t)	4	2	6	119	305
M4	Parkhaus	2(55 t)	4	2	6	94	387
M5	Parkhaus	2(55 t)	4	2	6	179	435
M6	Parkhaus	2(55 t)	4	2	6	121	460
M7	Parkhaus	4(77 t)	8	4	12	357	2566

Beim Abbruch werden in der Regel Kettenbagger von 30-77 t mit hydraulischen Abbruchzangen für Stahl und Beton eingesetzt. Für die höheren Geschossbauten werden sie mit zusätzlichen Auslegern mit einer Arbeitshöhe von bis zu 50 m ausgerüstet. Stahlprofile bis zu 300 mm können mit den gängigen Abbruchzangen ohne vorherige Schwächung durchtrennt werden. Die Stahlbauteile werden je nach Größe am Boden per Schneidbrenner zerlegt oder müssen schon im eingebauten Zustand für die schweren Abbruchgeräte geschwächt werden. Arbeitsbühnen helfen den Arbeitern an die benötigten Orte des Abbruchgebäudes zu gelangen und selbst einen sicheren Stand zu haben. Tabelle 4.20 fasst die typischen Parameter für die Stahlbaumontage zusammen (siehe auch Kapitel 5.3.8 und 0).

Tabelle 4.20 Typische Parameter für den Abbruch verschiedener Bauwerkskategorien

Kategorie	Industrie- und Hallenbau	Geschossbau/Parkhausbau
Abbruchverfahren	Feldweises umlegen der Rahmen	Top-Down Verfahren (Treppenstruktur)
Stahltonnage der betrachteten Projekte (t)	6 - 500	170 - 2566
Zeitraumen für den Abbruch (h)	4 - 103	94 - 357
Aufwandswerte (h/t)¹⁰⁰	0,4 - 1,9	1,5 - 3,6
Baggerarten	Kettenbagger 30 - 77 t mit Schrottschere	Kettenbagger 30 - 77 t mit Schrottschere, Ausleger oder Longfront Bagger
Typische Baugeräte	Kettenbagger mit Schrottscheren, Teleskoparbeitsbühnen, Schneidbrenner, Trennschleifer	Kettenbagger, Teleskoparbeitsbühnen, Schneidbrenner, Trennschleifer
Kolonnengrößen und Beruf	2 Bauwerksmechaniker, 1 Baggerfahrer	2 - 8 Bauwerksmechaniker, 1 - 4 Baggerfahrer

Tabelle 4.21 Projektdatenbank – Überblick Rückbau für Wiederverwendung und Recycling

Nr.	Projektart	Geräte			Personal	Rückbauzeit für Ökobilanz (h)	Baustahl (t)
		Mobilkran	Arbeitsbühne	Teleskop-lader			
E1	Tankstellendach	1 (12 t)	2	1	4	7	6
E2	Industriehalle	1 (40 t)	2	1	4	45	55
E3	Lagerhalle	1 (60 t)	2	1	4	62	68
E4	Industriehalle	1 (40 t)	2	1	4	78	80
E5	Industriehalle	1 (60 t)	2	1	4	87	165
E6	Industriehalle	1 (100 t)	2	1	4	118	275
E7	Dachkonstruktion	1 (100 t)	2	1	4	142	372
E8	Industriehalle	1 (100 t)	2	1	4	127	423
E9	Industriehalle	1 (100 t)	2	1	4	143	500

¹⁰⁰ Siehe auch Kapitel 4.4

Der Rückbau ist prinzipiell eine Montage in umgekehrter Reihenfolge. Es ist wichtig die Bauteile zerstörungsfrei und ohne Verformungen voneinander zu trennen. Daher werden zusätzlich zu den Mobilkränen von 12 t - 100 t auch Teleskoplader eingesetzt. Mit deren Hilfe können die Bauteile besser kontrolliert und spannungsfrei in Position gehalten werden. Da eine Wiederverwendung der Bolzen grundsätzlich nicht sinnvoll ist, werden die Schraubverbindungen häufig schneller per Trennschleifer gelöst. Tabelle 4.22 fasst die typischen Parameter für den Rückbau zusammen (siehe auch Kapitel 5.3.3 und 0).

Tabelle 4.22 Typische Parameter für den Rückbau

Kategorie	Industrie- und Hallenbau
Abbruchverfahren	Feldweise Demontage
Stahltonnage der betrachteten Projekte (t)	6 - 500
Zeitraumen für den Rückbau (h)	7 - 143
Aufwandswerte (h/t)¹⁰¹	1,1 - 4,7
Baggerarten	Autokrane 12 t - 100 t
Typische Baugeräte	Autokrane, Teleskoparbeitsbühnen, Teleskopstapler, Trennschleifer ggf. elektrische Schraubgeräte, Schneidbrenner Anschlagmittel: Lastböcke, Schäkel, Rundschlingen
Kolonnengrößen und Beruf	3 Schlosser, 1 Kranfahrer

¹⁰¹ Siehe auch Kapitel 4.4

4.4 Verifikation und Repräsentativität der Projektdatenbank

Die später aus der Projektdatenbank ermittelten Ökobilanzdaten sollen den Anforderungen der DIN EN 15804+A2 (siehe Kapitel 2.3.1.4) für den späteren Einsatz in EPDs entsprechen. Um die ermittelten Projektdaten zu verifizieren und festzustellen, ob die untersuchten Projekte repräsentativ sind, werden daher einige statistische Berechnungen durchgeführt. Von Repräsentativität wird gesprochen, wenn sich aus einer Stichprobe zutreffende Rückschlüsse auf eine Grundgesamtheit ziehen lassen. Da die Anzahl und Art der Geräte sowie der Personaleinsatz innerhalb der betrachteten Projekte sehr unterschiedlich ist und die Art des Energieverbrauchs entweder auf Diesel oder auf elektrischem Strom basiert lassen sich hiermit schwer Vergleiche anstellen. Die einzige Vergleichsgröße der Projekte untereinander und zur Verifikation gegenüber Angaben aus Literatur und anderen Erhebungen ist der Aufwandswert. Der Aufwandswert einer Bauleistung ist wie folgt definiert:¹⁰²

$$\text{Aufwandswert} = \text{Arbeitsstunden/Mengeneinheit} = h/t$$

Er beschreibt also die Zeit (in Stunden angegeben) die ein Arbeiter/Monteur für die Erbringung einer Einheit (im Stahlbau pro Tonne) benötigt. Zu allgemeinen Bauleistungen aus dem Hochbau gibt es eine Vielzahl an Quellen. Zu Aufwandswerten im Stahlbau hingegen existieren kaum Quellen, die zudem veraltet sind. Hier ist das Handbuch der Stahlmontage¹⁰³ zu nennen. Die Erstauflage dieses Werkes stammt von 1991, die zweite und letzte Auflage ist im Jahre 2000 erschienen. Aus den dort angegebenen Literaturangaben ist erkennbar, dass die neusten Quellen, die in Bezug zu den Aufwandswerten stehen, aus dem Jahr 1990 stammen und somit bei der Neuauflage nicht aktualisiert wurden. Das bedeutet, dass die Angaben der Aufwandswerte jetzt mindestens 30 Jahren alt sind. Im Jahr 2012 wurden jedoch zwei Studienarbeiten zu dem Thema am Institut für Baubetrieb und Baumanagement der Universität Duisburg - Essen (IBB) durchgeführt. Bei diesen Abschlussprojekten des Masterstudiengangs Bauingenieurwesen konnten die Aufwandswerte für verschiedene Stahlbaugewerke anhand verschiedener Umfragen ermittelt und aktualisiert werden.^{104 105} Durch meine Tätigkeit am IBB hatte ich Zugriff auf diese bisher nicht genutzten oder veröffentlichten Datenerhebungen und konnte die Zahlen beider Erhebungen zusammenführen und auswerten. Die Aufwandswerte wurden, mit Hilfe einer online basierten Umfrage für die Montage im Stahlbau ermittelt. Hierzu sind ca. 200 Stahlbau-, Ingenieur- und Metallbauunternehmen telefonisch kontaktiert worden und im Anschluss wurde der Zugangslink für die Umfrage zugesandt. Für den hier ausgewerteten Bereich haben 58 Stahlbauexperten Angaben gemacht. Es wurden vier Hauptbereiche des Stahlbaus abgefragt, die sich teilweise in weitere Unterpunkte aufteilen (siehe Tabelle 4.23).

¹⁰² (Bauer, 2017) S. 546

¹⁰³ (Petzschmann & Skufca, 2000) S. 3-39

¹⁰⁴ (Ehlers, 2012)

¹⁰⁵ (Scherhag, 2012)

Tabelle 4.23 Abfragebereiche der Studienarbeiten zum Thema Aufwandswerte im Stahlbau; blau die hier genutzten Daten

Hauptbereich	Unterkategorie	Abfrage
Hochbau	<i>Ein- und Mehrgeschossbauten</i>	1 Stahltragwerke 2 Aussteifungen 3 Stahlblechdecken
Hochbau	<i>Großräume/Hallen</i>	4 Weitgespannte Hallentragwerke 5 Mittelweit und kurz ges. Hallentragwerke
Hochbau	Industriehallen	6 Dacheindeckung 7 Fassadenverkleidung
Brückenbau		8 Eisenbahnbrücken 9 Straßenbrücken
Gitterroste		10 Kleinere Flächen 11 Größere Flächen 12 Gitterstufen
Geländer		13 Rohrgeländer

Zur Verifikation der Projektdatenbank dieser Arbeit sind nur die Ergebnisse für Stahltragwerke von Ein- und Mehrgeschossbauten sowie weitgespannte Hallentragwerke und mittelweit und kurzgespannte Hallentragwerke interessant und werden im Folgenden dargestellt und ausgewertet. Im ersten Schritt werden alle getätigten Angaben beider Studienarbeiten unverfälscht aufgelistet. Mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests konnte die Nullhypothese, dass eine Standardnormalverteilung vorliegt, mit dem üblichen Signifikanzniveau $\alpha=0,05$ für beide Betrachtungsbereiche bestätigt werden. Es wird bei der Auswertung also die Standardnormalverteilung zugrunde gelegt. Der Kolmogorov-Smirnov-Test wurde gewählt da er ist auch für kleinere Stichproben geeignet ist und auf alle Skalenniveaus angewendet werden kann. Vereinfacht ausgedrückt wird bei diesem Test ein Vergleich der empirischen Verteilungsfunktion mit der theoretischen Normalverteilung unter Zuhilfenahme einer Teststatistik durchgeführt.

Um etwaige statistische Ausreißer bzw. mögliche fehlerhafte Angaben, verschiedener Teilnehmer ausschließen zu können, wird ein Intervall mit dem Mittelwert (μ) und der Standardabweichung (σ) in beide Richtungen aufgespannt. Das Intervall von $[\mu-\sigma$ bis $\mu+\sigma]$ stellt nun den Bereich dar, in dem die angegebenen Werte als für die Auswertung nutzbar erachtet werden. Nach der Streichung von Ausreißern wird also auf der Basis der verbliebenen Werte ein neuer Mittelwert gebildet.¹⁰⁶ (siehe Tabelle 4.24 und Tabelle 4.25)

¹⁰⁶ Methode nach (Fahrmeir, Heumann, Künstler, Pigeot, & Tutz, 2016)

Tabelle 4.24 Umfrageergebnisse und Auswertung für Stahltragwerke von Ein- und Mehrgeschossbauten

Laufende Nr.	Von (h/t)	Bis (h/t)	Mittelwert
1	0,5	0,7	0,6
2	1	3	2
3	1,35	3,5	2,425
4	2,6	3,5	3,05
5	1,5	5,5	3,5
6	3	5	4
7	2,5	6	4,25
8	2,5	6	4,25
9	4	6	5
10	4	6	5
11	3	8	5,5
12	3	8	5,5
13	5	8	6,5
14	5	10	7,5
15	5	10	7,5
16	7	12	9,5
17	5	15	10
18	5	15	10
19	6,5	14	10,25
20	8	13	10,5
21	5	16	10,5
22	6	15	10,5
23	5	18	11,5
24	4	20	12
25	4	20	12
26	8	18	13
27	10	18	14
28	10	20	15
29	12	18	15
30	10	20	15
31	10	20	15
32	8	25	16,5
33	12	22	17
34	16	28	22
35	20	24	22
36	20	25	22,5
37	15	32	23,5
38	26	33	29,5
39	15	50	32,5
40	30	35	32,5
Mittelwert μ	8,0	15,9	12,0
Standardabweichung σ	-	-	8,2
Mittelwert μ - neu	6,2	14	10,1
Standardabweichung σ - neu	-	-	4,1

Tabelle 4.25 Umfrageergebnisse und Auswertung für kurz bis weitgespannte Hallentragwerke

Laufende Nr.	Von (h/t)	Bis (h/t)	Mittelwert
1	0,4	0,5	0,45
2	0,4	0,7	0,55
3	1	2	1,5
4	1,5	2,5	2
5	1,5	2,5	2
6	3,5	1,3	2,4
7	0	5	2,5
8	2	3	2,5
9	2	3,2	2,6
10	1,8	4	2,9
11	2	4	3
12	2,6	3,5	3,05
13	2	5	3,5
14	2	6	4
15	3	5	4
16	3	5	4
17	3	5	4
18	3	6	4,5
19	4	6	5
20	4	6	5
21	4	6	5
22	5	7	6
23	5	8	6,5
24	6	8	7
25	6	8	7
26	6	8	7
27	5	10	7,5
28	5	10	7,5
29	5	10	7,5
30	5	10	7,5
31	8	10	9
32	6	12	9
33	6	12	9
34	7	12	9,5
35	8	12	10
36	8	12	10
37	8	12	10
38	7	15	11
39	8	14	11
40	9	13	11
41	8	15	11,5
42	8	15	11,5
43	8	16	12

Fortsetzung Tabelle 4.25

Laufende Nr.	Von (h/t)	Bis (h/t)	Mittelwert
44	10	15	12,5
45	10	15	12,5
46	8	17	12,5
47	12	15	13,5
48	10	20	15
49	10	20	15
50	10	20	15
51	14	16	15
52	10	20	15
53	10	20	15
54	12	20	16
55	8	25	16,5
56	18	20	19
57	18	30	24
58	30	35	32,5
Mittelwert μ	6,6	11	8,8
Standardabweichung σ	-	-	6,1
Mittelwert μ - neu	5,8	9,8	7,8
Standardabweichung σ - neu	-	-	3,2

Die nun verfügbaren einzelnen und gesamten Mittelwerte und ihre Verteilung werden mit den Aufwandswerten aus der erstellten Projektdatenbank aus Kapitel 4.3 verglichen. Nach Petzmann & Skufca¹⁰⁷ teilt sich der Aufwandswert für den Hochbau im Stahlbau in 2/3 Fertigung im Betrieb und 1/3 Montage auf der Baustelle. Die in Kapitel 4.3 dargestellten Errichtungszeiten für die Projekte müssen also mit der Anzahl des Personals multipliziert und auf 3/3 hochgerechnet werden, um auf einen mit der Erhebung des IBB vergleichbaren Umfang der Betrachtung zu kommen (Ergebnisse siehe Tabelle 4.26 und Tabelle 4.27). Mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests konnte die Nullhypothese, dass eine Standardnormalverteilung vorliegt, mit dem üblichen Signifikanzniveau $\alpha=0,05$ für die Aufwandswerte aus der Projektdatenbank ebenfalls bestätigt werden. Es wird bei der Auswertung die Standardnormalverteilung zugrunde gelegt.

¹⁰⁷ (Petzschmann & Skufca, 2000) Abb. 3-15

Tabelle 4.26 Aufwandswerte für die Errichtung der eingeschossigen Konstruktionen und Hallenbauten aus der Projektdatenbank

Nr.	Projektart	Aufwandswert [h/t]
E1	Tankstellendach	10,50
E2	Industriehalle	9,27
E3	Lagerhalle	12,35
E4	Industriehalle	12,36
E5	Industriehalle	5,82
E6	Industriehalle	6,26
E7	Dachkonstruktion	5,24
E8	Industriehalle	4,98
E9	Industriehalle	6,43
Mittelwert μ		8,1
Standardabweichung σ		3,0

Tabelle 4.27 Aufwandswerte für die Errichtung der mehrgeschossigen Stahlkonstruktionen aus der Projektdatenbank

Nr.	Projektart	Aufwandswert [h/t]
M1	Parkhaus	20,33
M2	Parkhaus	10,81
M3	Parkhaus	7,91
M4	Parkhaus	6,92
M5	Parkhaus	15,06
M6	Parkhaus	5,09
M7	Parkhaus	7,82
Mittelwert μ		10,6
Standardabweichung σ		5,4

Die Abbildung 4.18 und Abbildung 4.19 zeigen deutlich, dass die Mittelwerte und Verteilungen der Aufwandswerte aus der neu erstellen Projektdatenbank und der hier kombiniert ausgewerteten Umfragen von Ehlers und Scherhag sehr gut zusammenpassen. Die im Vorfeld geprüfte Standardnormalverteilung bestätigt sich auch grafisch. Das 90-Konfidenzintervall der Projektdatenbank und die Konfidenzintervalle der Umfrage liegen übereinander. Da die Umfrage eine deutlich höhere Stichprobengröße hat kann hier auch das 95-Konfidenzintervall mit ausreichend kleinem Abstand gewählt werden. Das Konfidenzniveau (hier 90 % bzw. 95 %) gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Ergebnis aus einer Stichprobenerhebung auch für die Grundgesamtheit zutreffend ist. Die Konfidenzintervalle aller Datengruppen liegen deutlich unter den Standardabweichungen. Der Mittelwert aus den Projektdatenbanken liegt in beiden Fällen über dem der Umfrage, weicht aber maximal 5 % ab. Die in Kapitel 5.4 errechneten Ökobilanzergebnisse werden also etwas erhöht auf der sicheren Seite liegen und die Anwendung

der Projektdatenbank für diesen Zweck ist gegeben. Die Grafiken zeigen auch, dass die Aufwandswerte für den Geschossbau sowohl in der Projektdatenbank als auch bei der Umfrage etwas mehr streuen, was durch die etwas flacheren Kurven deutlich wird.

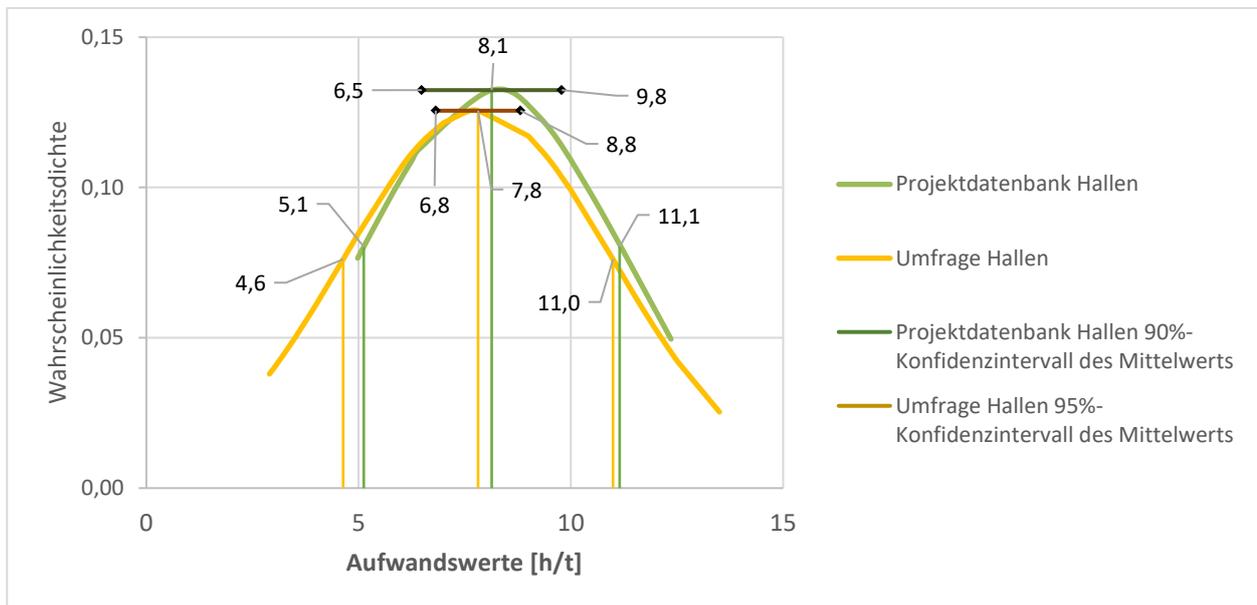


Abbildung 4.18 Vergleich der Verteilungen der Aufwandswerte für Hallen; Mittelwerte, Standardabweichungen und Fehlergrenzen für ein Konfidenzniveau von 95 % sind zur Verdeutlichung eingezeichnet

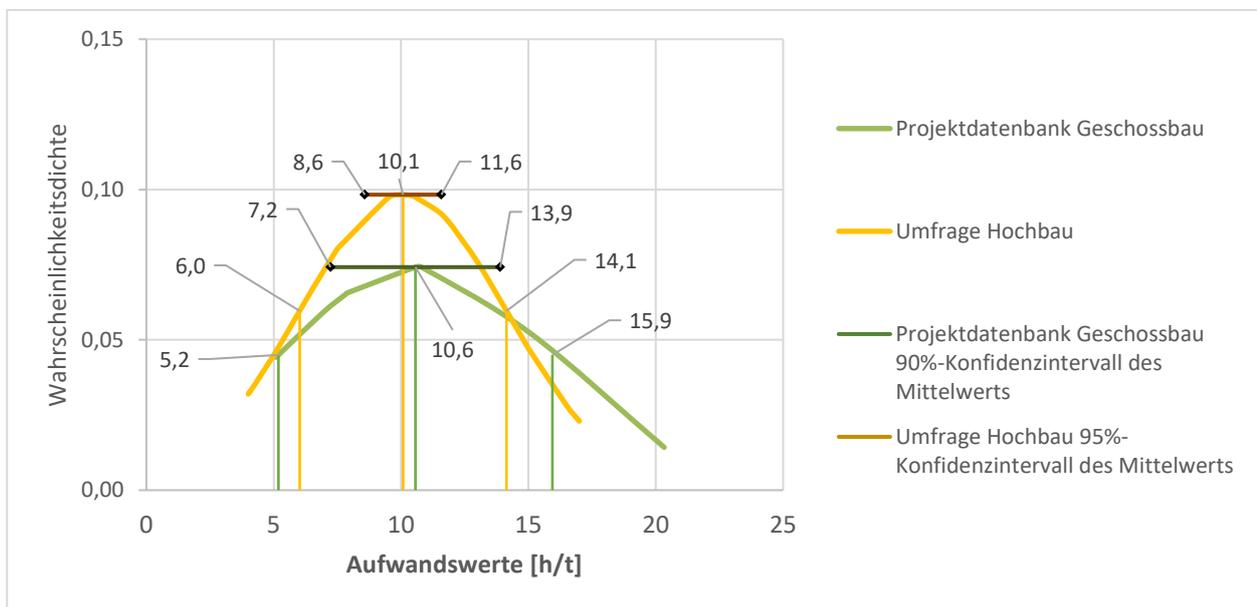


Abbildung 4.19 Vergleich der Verteilungen der Aufwandswerte für Geschossbauten; Mittelwerte, Standardabweichungen und Fehlergrenzen für ein Konfidenzniveau von 95 % sind zur Verdeutlichung eingezeichnet

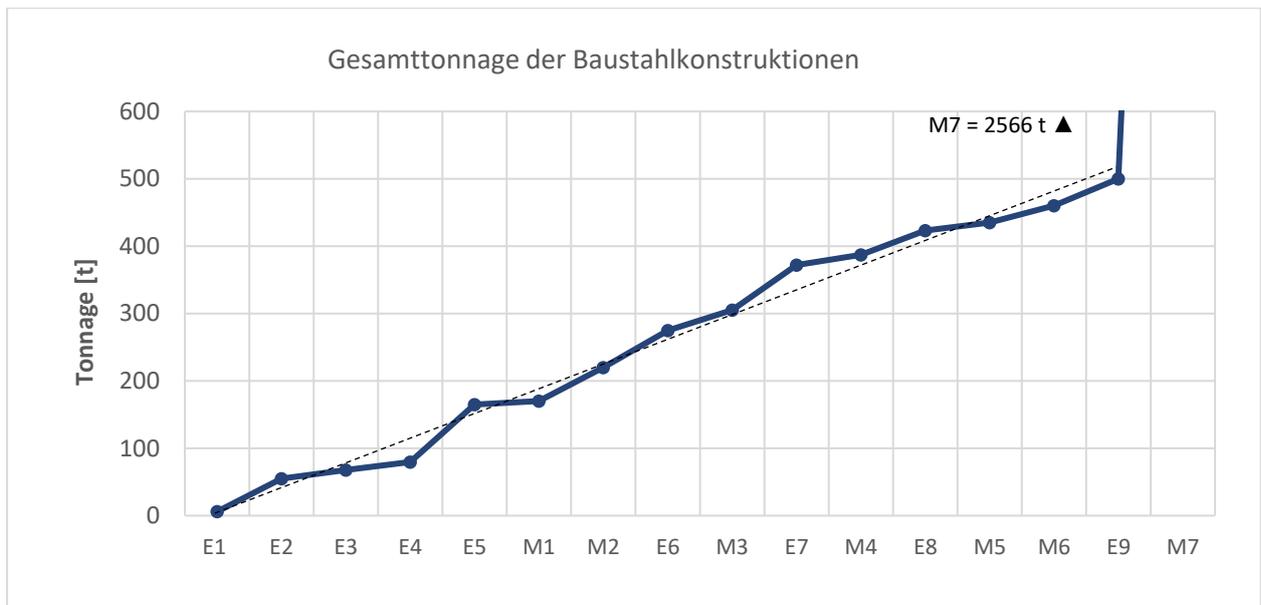


Abbildung 4.20 Grafische Darstellung der Stahltonnage aller betrachteten Projekte nach Größe sortiert

Abbildung 4.20 zeigt deutlich, dass die betrachteten Beispielprojekte einen großen Bereich der üblichen Tonnagen abdecken und der Verlauf gleichmäßig steigend ist. Als Ausnahme und für eine später Sensitivitätsanalyse nutzbar, ist das Projekt M7 (Parkhaus am Flughafen BER) mit einer deutlich höheren Gesamttonnage (mehr dazu in Kapitel 5.6).

5 Ökobilanz

5.1 Definition Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel dieser Ökobilanz ist es, aus den Informationen der Projektdatenbank (Kapitel 4) die Umweltwirkungen für eine Tonne Baustahl, bei Errichtung und Rückbau von Stahlkonstruktionen zu ermitteln. Der Betrachtungsrahmen für die Lebenszyklusabschnitte richtet sich nach den Definitionen der DIN EN 15804+A2 für die Module A5 und C1.¹⁰⁸ Die Ergebnisse sollen als deutschlandspezifische Mittelwerte in zukünftigen EPDs für Baustahlprodukte eingebunden werden und bei der späteren Gebäudebewertung mit einfließen. Hierzu wird ein auf den Marktbedingungen und aktuellen Wiederverwendungs- und Recyclingraten (siehe Kapitel 3) basierender Durchschnittswert ermittelt. Zusätzlich können die ausgewiesenen Zwischenergebnisse für bestimmte Anwendungsfälle (Hallenbau, Geschossbau und Kombinationen daraus) sowie für unterschiedliche Szenarien (Wiederverwendung, Recycling und Kombinationen daraus) am Lebensende entnommen und von einem Anwender neu verrechnet werden (Tabelle 5.1). Als Zwischenschritt werden ebenfalls die Umweltkennzahlen für den Einsatz verschiedener Baugeräte ermittelt. Auch diese Daten können für andere Studien weiterverwendet werden. Der Untersuchungsrahmen wird auf die Abläufe bei der Errichtung, dem Abbruch und dem Rückbau von reinen Baustahlkonstruktionen aus Profilen und Grobblech auf der Baustelle beschränkt. Andere Baustoffe wie Blechverkleidungen, Bewehrungsstahl, Betonfundamente etc. werden nicht berücksichtigt. Die Sortierung und Vorbereitung zum Abtransport der rückgebauten bzw. abgebrochenen Baustahlkonstruktion ist enthalten. Die Herstellung der Geräte und der Transport zur Baustelle sind nicht enthalten. Verzögerungen, Warte- und Rüstzeiten sind über die ermittelte Auslastung der Geräte berücksichtigt. Strom, Verbrauchs- und Treibstoffe gehen inkl. Herstellung und Verbrennung in die Ökobilanz ein. Die Verbrauchswerte werden einzeln ausgewiesen sodass eine Ökobilanzierung mit anderen Hintergrunddatenbanken als der hier verwendeten Gabi ts (siehe Kapitel 5.2) möglich ist. Schmier- und andere Hilfsstoffe wurden wegen ihrer Geringfügigkeit nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse der Ökobilanz sind vollständig mit der DIN EN 15804+A2¹⁰⁹ und DIN EN 15978¹¹⁰ konform und können für Baustahl-EPDs sowie zur Gebäudezertifizierung eingesetzt werden.

¹⁰⁸ (DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 2020) S. 27, 32

¹⁰⁹ (DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 2020)

¹¹⁰ (DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 2012)

Tabelle 5.1 Betrachtungsrahmen der Ökobilanz

Modul nach DIN EN 15804+A2	Industrie- und Hallenbau	Geschossbau	Mittelwert der Projektdatenbank	Mittelwert basierend auf den Marktanteilen in Deutschland
A5	Errichtung	Errichtung	Errichtung	Errichtung
C1 AB ¹¹¹	Abbruch für Recycling	Abbruch für Recycling	Abbruch für Recycling	Abbruch für Recycling
C1 RÜ ¹¹²	Rückbau für Recycling und Wiederverwendung	-	Rückbau für Recycling und Wiederverwendung	Rückbau für Recycling und Wiederverwendung
C1	Abbruch und Rückbau für Recycling bzw. Wiederverwendung	Abbruch für Recycling	Abbruch und Rückbau für Recycling bzw. Wiederverwendung	Abbruch und Rückbau für Recycling bzw. Wiederverwendung

5.2 Hintergrunddatenbank

Die als Hintergrunddatenbank genutzten Umweltwirkungen sind nach der CML 2001 Methode abgebildet und stammen direkt aus der Gabi ts Software¹¹³ beziehungsweise aus Datensätzen der ÖKOBAUDAT¹¹⁴, die mit der Gabi ts Software erstellt wurden und ebenfalls auf der Methodengrundlage CML 2001 basieren (mehr dazu in Kapitel 2.5). Tabelle 5.2 listet alle in dieser Arbeit verwendeten Hintergrunddaten auf. Um alle Baumaschinen und Geräte abzubilden, ist eine Verrechnung und Kombinierung dieser Datensätze nötig (Kapitel 5.3).

¹¹¹ Die Bezeichnung C1 AB ist nicht in DIN EN 15804 enthalten - die Benutzung erfolgt hier nur zur Verdeutlichung

¹¹² Die Bezeichnung C1 RÜ ist nicht in DIN EN 15804 enthalten - die Benutzung erfolgt hier nur zur Verdeutlichung

¹¹³ (thinkstep AG, 2018)

¹¹⁴ (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, 2020)

Tabelle 5.2 Hintergrunddaten für die Ökobilanz nach CML 2001 - Jan. 2016 Datenbanken: Gabi ts und ÖKOBAUDAT

Datensatzquelle und Name		Einheit	ÖKOBAUDAT 2020: Prozess-Datensatz: Strom Mix 2018	ÖKOBAUDAT 2020: Prozess-Datensatz: Strom Mix 2018	Electricity generator (incl. Diesel)	Diesel consumption incl. combustion	DE: Oxygen (gaseous) ts	EU-28: Propane at refinery ts
Umwelt-wirkungs-kategorie	ÖKOBAUDAT 2020: Prozess-Datensatz: 9.3.01 Sonstige / Güter - Transporte [t km] / LKW	9.2.05 Sonstige / Energieträger - Bereitstellung frei Verbraucher / Strom	9.2.05 Sonstige / Energieträger - Bereitstellung frei Verbraucher / Strom	9.2.05 Sonstige / Energieträger - Bereitstellung frei Verbraucher / Strom	9.2.05 Sonstige / Energieträger - Bereitstellung frei Verbraucher / Strom	9.2.05 Sonstige / Energieträger - Bereitstellung frei Verbraucher / Strom	9.2.05 Sonstige / Energieträger - Bereitstellung frei Verbraucher / Strom	9.2.05 Sonstige / Energieträger - Bereitstellung frei Verbraucher / Strom
Kommentar	Transport von 1 t über 1 km	Versorgung der Baustelle mit Netzstrom	Versorgung der Baustelle mit Netzstrom	Versorgung der Baustelle mit Netzstrom	Stromerzeugung vor Ort mit Dieselgenerator	Herstellung und Verbrennung	Herstellung	Herstellung
ADPE Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen	pro t km	pro kWh	pro MJ	pro kWh	pro kWh	pro l	pro kg	pro kg
	7,87E-09	2,58E-07	7,15E-08	6,37E-08	1,77E-08	2,28E-07	5,99E-08	1,07E-07
ADPF Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe	MJ							
	1,20E+00	5,25E+00	1,46E+00	1,11E+01	3,08E+00	3,98E+01	1,38E+00	5,35E+01
AP Versauerungspotenzial	kg SO2 Äq.	2,19E-04	2,26E-04	7,38E-03	2,05E-03	2,30E-02	2,19E-04	2,06E-03
EP Überdüngungspotenzial	kg PO4 Äq.	5,23E-05	3,65E-05	1,45E-03	4,02E-04	5,86E-03	3,57E-05	1,62E-04
GWP Treibhauspotenzial	kg CO2 Äq.	8,97E-02	5,26E-01	1,46E-01	2,26E-01	2,89E+00	1,42E-01	5,45E-01
ODP Ozonabbaupotenzial	kg R11 Äq.	4,12E-17	2,53E-14	7,03E-15	3,75E-17	4,85E-16	5,93E-15	5,07E-16
POCP Ozonbildungspotenzial	kg C2H4 Äq.	-7,35E-05	5,36E-05	1,49E-05	1,66E-04	2,50E-03	1,45E-05	3,85E-04
PET Gesamtprimärenergie	MJ	1,28E+00	3,10E+00	1,18E+01	3,27E+00	4,22E+01	2,79E+00	5,38E+01
PERT Erneuerbare Primärenergie	MJ	7,22E-02	4,40E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT Nicht erneuerbare Primärenergie	MJ	1,21E+00	6,76E+00	1,88E+00	3,27E+00	4,22E+01	2,79E+00	5,38E+01

5.3 Geräte für Errichtung, Abbruch und Rückbau

Im Stahlbau – vor allem bei Industrie- und Geschossbau – ist der Bauablauf geprägt durch große, vorgefertigte Bauteile und Elemente, die eingehoben und dann verschraubt oder verschweißt werden, beim Rückbau geschieht dies in umgekehrter Reihenfolge. Das erfordert bei Errichtung und Rückbau einer Reihe von standardmäßig eingesetzten Geräten. Das sind zum einen Hebezeuge, die als Großgeräte schwere Lasten und Personal an die erforderlichen Montageorte bewegen. Zum anderen gehören Kleingeräte und Werkzeuge wie beispielsweise Wasserwaage, Hammer, Elektroschlagschrauber, Trennschleifer und Drehmomentschlüssel zu einer typischen Stahlbaustelle.¹¹⁵ Der Abbruch von Stahlkonstruktionen wird durch Kettenbagger mit Abbruchzangen und per Hand geführten Schneidbrennern durchgeführt. Die folgenden Kapitel stellen die typischen Geräte kurz vor und zeigen ihre Rolle bei Errichtung, Abbruch und Rückbau auf. In den jeweils enthaltenen Tabellen werden Leistungsdaten, Verbräuche und die Umweltwirkungen der Geräte dargestellt. Diese Daten sind neben den Informationen aus der Projektdatenbank die Grundlage für die in Kapitel 5.4 und 5.5 durchgeführte Ökobilanz. Mit den hier dargestellten Geräten lassen sich alle Gebäude aus der Projektdatenbank (Kapitel 4) und ca. 98 % aller Hochbauprojekte im Stahlbau errichten bzw. rückbauen oder abrechen (siehe auch Kapitel 3.2).

Auf Grundlage der Voraussetzungen auf der Baustelle und den Leistungsanforderungen an das Hebezeug, werden passende Geräte für das jeweilige Bauvorhaben ausgewählt. Ist die Baustelle von langer Dauer oder der Stahlbauer liefert als Generalunternehmer schlüsselfertig, ist es sinnvoll, einen fest installierten Turmdrehkran zu verwenden. Beträgt die Vorhaltedauer des Hebezeugs nur einige Wochen oder muss regelmäßig den Aufstellort wechseln, ist ein Mobilkran von Vorteil. Bei größeren und zusammenhängenden Bauvorhaben – z.B. Halle + Bürogebäude ist in der Regel ein Kran für andere Gewerke vorhanden und eine volle oder teilweise Mitnutzung durch den Stahlbauer sinnvoll. Je nach Anforderungen sind bei Kranen mehrere Auswahlkriterien zu beachten, die für die Dimensionierung ausschlaggebend sind. So sind in erster Linie das Gewicht und die Art der zu hebenden Last eine Grundlage für die Bemessung. Aber auch die örtlichen Begebenheiten mit Entfernung und Höhe in welche der Hub erfolgen soll, spielen eine Rolle.¹¹⁶ Eine kleinere Reichweite und damit verbundene Rüstzeiten für mehrmaliges Versetzen z.B. eines Mobilkrans können zu einer verlängerter Einsatzdauer und erhöhten Kosten führen. Stehen dem Stahlbauer verschiedene Krane zur Auswahl, kann bei der Arbeitsvorbereitung optimiert werden.

5.3.1 Ermittlung von Dieserverbrauchsdaten

Während beim Pkw der offizielle Kraftstoffverbrauch längst ausgewiesen wird, fehlt diese Angabe bislang noch bei Baumaschinen. Verlässliche Angaben zum Dieserverbrauch von Baugeräten sind sehr schwer zu erhalten. Einzig der Hersteller Liebherr bietet auf seiner Website und als App einen sogenannten Spritsparrechner¹¹⁷ an, der tagesaktuelle Durchschnittsdaten von Liebherr-Geräten über das Flottenmanagementsystem „LiDAT“ erhält. Dass Daten aus diesem Datenübertragungs- und Ortungssystem öffentlich verfügbar sind, ist für diesen Hersteller

¹¹⁵ nach (Petzschmann & Skufca, 2000) S. 8-1

¹¹⁶ weiterführende Informationen (Petzschmann & Skufca, 2000) S. 8-3

¹¹⁷ (Liebherr-International Deutschland GmbH, 2019)

Ökobilanz

einzigartig und das System funktioniert nur mit den aktuellen Gerätemodellen. Die Datenlieferung der Nutzer an Lieberr ist freiwillig und es ist nicht ersichtlich, welche Arbeiten die Geräte verrichtet haben. Im Markt werden jedoch auch nicht in der Datenbank enthaltene oder Baugeräte anderer Hersteller genutzt. Die Verbrauchsdaten aus dieser Datenbank wurden aus diesem Grund nur als Kontrollinstrument für allgemein ermittelte, durchschnittliche Verbrauchsdaten herangezogen.

Eine weitere Quelle für Verbrauchsdaten stellt die aus dem Forschungsprojekt „DeLa Bau“ (Standardisierung definierter Lastzyklen zur Energieverbrauchsermittlung von Baumaschinen) hervorgegangene Dissertation von Marco Fecke dar.¹¹⁸ Bei dem an der Bergischen Universität Wuppertal durchgeführten Forschungsprojekt konnte am Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bauwirtschaft von Prof. Dr.-Ing. Manfred Helmus ein auf einem standardisierten Lastzyklus basierendes Messverfahren entwickelt werden, um den Energieverbrauch von Baumaschinen zu erfassen. Praxisnahe Versuche sowie Flottenverbrauchsdaten von großen und mittelständischen Bauunternehmen wurden in der Dissertation ausgewertet. Im Fokus der Betrachtung standen bei den Untersuchungen Mobilbagger, Kettenbagger und Radlader. Die Verbrauchsdaten für Kettenbagger verschiedener Größen dienen hier als Quelle und Vergleichswert für die eigenen Berechnungen des Kraftstoffverbrauchs für den Einsatz beim Abbruch von Baustahlkonstruktionen.

Messeinterviews mit vielen Baugeräteherstellern, -händlern und -nutzern ergaben die folgenden Gründe für das Fehlen von öffentlichen Verbrauchsdaten wie etwa bei PKW und LKW üblich:

- Durch die große Variabilität in der Gerätenutzung und die ständig wechselnden Arbeitsmuster sind Hersteller zurückhaltend spezifische Kraftstoffverbräuche anzugeben. Erfasste Verbrauchsdaten lassen sich nicht reproduzieren.
- Projektbedingungen wie Standort, Materialdicke, Robustheit der Konstruktion, Bodenbedingungen, Bedienerstil, Wetter usw. haben Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch.
- Bei den eingesetzten Baugeräten bestehen beträchtliche Unterschiede in Alter und Wartungszustand, die sich alle auf den Kraftstoffverbrauch auswirken.
- Die Art der mechanischen und hydraulischen Anbaugeräte variieren je nach Art des Projekts und haben erhebliche Auswirkungen auf den tatsächlichen Kraftstoffverbrauch.
- Der Gesamtkraftstoffverbrauch ist eine Kombination aus Laufzeit und Leerlaufzeit. Das Verhältnis von tatsächlicher Nutzung zu Leerlauf ist sehr projektabhängig und schwer zu verallgemeinern.

Um trotz all dieser Herausforderungen für die Ökobilanz verwendbare Verbrauchsdaten zu erhalten, musste sich daher mit einer überschlägigen Rechnung beholfen werden: Die durchschnittlichen Leistungsangaben für typische Baugeräte sind in der Baugeräteliste (BGL)¹¹⁹ verfügbar. So konnten zuerst typische Leistungsklassen für die eingesetzten Baugeräte festgelegt werden – beispielsweise über wieviel kW ein typischer 100 t Kran verfügt oder wieviel

¹¹⁸ (Fecke, 2019)

¹¹⁹ (Bauverlag GmbH, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (Herausgeber), 2015)

Ökobilanz

kW ein 35 t Bagger üblicherweise hat. Aus den bei Interviews inoffiziell angegebenen Verbrauchsangaben von Baugeräteherstellern und -nutzern, der Liebherr-Datenbank sowie den Ergebnissen von Fecke, M.¹²⁰ wurde ein Faktor ermittelt, mit dem sich ein Kraftstoffverbrauch überschlägig aus der Geräteleistung für die eingesetzten Baumaschinen ermitteln lässt. Die erhaltene Formel lautet:

$$\text{Geräteleistung in kW} * 0,12 = \text{Verbrauch bei Vollast in l/h}$$

Der Verbrauchswert daraus wird auf die, von Stahlbauern und Abrissunternehmern angegebenen, Voll- und Teillastbetriebe für Geräte bei Stahlbauprojekten angepasst und gilt ausschließlich pro h Einsatz für die Abläufe bei Errichtung bzw. den Rückbau und Abbruch von Stahlkonstruktionen. Dieser Verbrauchswert gilt nicht für den Geräteeinsatz für andere Gewerke. Die Verbräuche an Schmier- und anderen Hilfsstoffen werden aufgrund ihrer Geringfügigkeit in der Ökobilanz nicht berücksichtigt.

Als Vorgriff auf die in späteren Kapiteln dargestellten Ökobilanzergebnisse ist hier anzumerken, dass durch die Wirkungsabschätzung in Kapitel 5.5 die Anteile der verschiedenen Baugeräte an der benötigten Gesamtprimärenergie sichtbar werden (siehe Abbildung 5.16). Dieser Wert ist unabhängig von der ursprünglichen Energiequelle und es zeigt sich, dass die Verhältnisse hier zwischen mit Strom und Diesel betriebenen Geräten sehr homogen sind. Die mit der zuvor beschriebenen Formel errechneten Dieselverbräuche können also nicht erheblich zu hoch oder zu niedrig sein. Diese Annäherung kann daher für das Ziel der Arbeit als ausreichend genau betrachtet werden.

¹²⁰ (Fecke, 2019) S 38, S. 58, S. 117-120

5.3.2 Turmdrehkrane

Turmdrehkrane werden mithilfe von Mobilkranen stationär auf der Baustelle aufgestellt. Bei einigen Modellen ist auch eine Selbstaufstellung möglich. Aufgrund des Auf- und Abbaus sowie ihrer Immobilität sind sie für längere Bauvorhaben konzipiert. Sie überragen in der Höhe den geplanten Bau und sind deshalb dazu in der Lage, an jedem Ort in ihrem Auslegerbereich Hubarbeit zu verrichten. Modelle mit obenliegendem Führerhaus ermöglichen dem Kranführer einen Überblick über die Baustelle.¹²¹ Turmdrehkrane können mit Baustrom aus dem örtlichen Stromnetz oder per Dieselgenerator betrieben werden. Dieser Generator kann extern oder direkt eingebaut sein. Für die Berechnung der Umweltwirkungen von Turmdrehkranen wurde hier eine gleichwertige Mischung von Elektrizität aus dem deutschen Strommix und von vor Ort per Dieselgenerator erzeugter Elektrizität angesetzt (Tabelle 5.3).

Tabelle 5.3 Umweltwirkungen pro Stunde für verschiedene Turmdrehkrane basierend auf 20 % Volllast und 30 % Teillast im Betrieb; Leistungsdaten nach¹²² und¹²³; Datengrundlage für Ökobilanz: Gabi ts¹²⁴ und ÖKOBAUDAT¹²⁵ Um die verschiedenen Versorgungslagen auf Baustellen abzubilden wurde eine Mischung aus 50 % Strommix Deutschland und 50 % Dieselgenerator gewählt; Der Auf- und Abbau der Krane ist nicht berücksichtigt.

Montagegerät Umwelt- wirkungs- kategorie	Einheit	TDK mit Laufkatzenausleger 10-12 t	TDK mit Laufkatzenausleger 40 t
Beispiele:		Liebherr 220 EC-B 10, WOLFF 6031.12 clear	WOLFF 8540.40 cross, 630 EC-H 40 Litronic
Typische Anschlussleistung	kW	110	160
Durchschnittlicher Stromverbrauch im Betrieb 20 % Voll- und 30 % Teillast	kWh	38,5	56,0
ADPE Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen	kg Sb Äq./h	6,18E-06	8,99E-06
ADPF Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe	MJ/h	3,15E+02	4,58E+02
AP Versauerungspotenzial	kg SO ₂ Äq./h	1,58E-01	2,29E-01
EP Überdüngungspotenzial	kg PO ₄ Äq./h	3,04E-02	4,42E-02
GWP Treibhauspotenzial	kg CO ₂ Äq./h	2,58E+01	3,75E+01
ODP Ozonabbaupotenzial	kg R11 Äq./h	4,90E-13	7,12E-13
POCP Ozonbildungspotenzial	kg C ₂ H ₄ Äq./h	1,25E-02	1,82E-02
PET Gesamtprimärenergie	MJ/h	4,41E+02	6,42E+02
PERT Erneuerbare Primärenergie	MJ/h	8,46E+01	1,23E+02
PENRT Nicht erneuerbare Primärenergie	MJ/h	3,57E+02	5,19E+02

¹²¹ weiterführende Informationen (Petzschmann & Skufca, 2000) S. 8-11

¹²² (Bauverlag GmbH, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (Herausgeber), 2015)

¹²³ (Deutscher Stahlbau Verband DStV (Herausgeber), 1985)

¹²⁴ (thinkstep AG, 2018)

¹²⁵ (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, 2020)

5.3.3 Autokrane

Bei zeitlich begrenzten Bauvorhaben eignen sich Autokrane besonders gut. Sie gehören neben den Raupenkranen zu den Fahrzeugkranen. Durch schnellen Auf- und Abbau – auch während des Bauablaufs – ist ein zügiger Standortwechsel möglich. Ihr Einsatz wird dann erforderlich, wenn die Hublast von Turmdrehkranen überschritten wird oder das Aufstellen eines Turmdrehkrans aufgrund von kurzer Bauzeit nicht wirtschaftlich ist. Durch die Mobilität von Autokrane sind diese sehr flexibel und kurzfristig einsetzbar. Um einsatzbereit zu sein, müssen dennoch einige Faktoren erfüllt sein. Die Zufahrt zum Einsatzort, Wendemöglichkeiten sowie ausreichend dimensionierte Aufstellflächen müssen gewährleistet sein. Weil diese Krane hohe Lasten auf Ihren Aufstellflächen verursachen, ist die Standsicherheit durch einen Statiker zu ermitteln, um eine Schiefelage oder gar ein Umkippen zu verhindern. „Kranplätze müssen verdichtet sein.“¹²⁶ Weil Autokrane während der Hubarbeit aufgestützt sein müssen, ist eine Fahrt mit angehängter Last nicht möglich.¹²⁷ Je nach Größe sind sie mit einem zusätzlichen kleineren Motor für den Kranbetrieb ausgestattet. So wird das Haupttriebwerk entlastet, Kraftstoff gespart und daraus folgend verringern sich die Umweltwirkungen während des Betriebs. Beim zerstörungsfreien Rückbau werden Mobilkrane ebenfalls eingesetzt. Vor der Trennung der Verbindungsmittel werden die Bauteile angeschlagen und durch den Kran und ggf. Teleskoplader in Position gehalten. Ist das Bauteil gelöst, wird es abgesenkt und weiter zerlegt oder direkt verladen. Für die Berechnung der Umweltwirkungen von Autokrane ist der Dieselverbrauch ausschlaggebend (Tabelle 5.4).

¹²⁶ Ronny Schäfer (Bauleiter Stahlachterbahn „Speed Monster“ in Tusenfryd)

¹²⁷ weiterführende Informationen (Petzschmann & Skufca, 2000) S. 8-5

Tabelle 5.4 Umweltwirkungen pro Stunde für verschiedene Mobilkrane basierend auf 20 % Volllast und 30 % Teillast im Betrieb; Leistungsdaten nach¹²⁸ und¹²⁹; Datengrundlage für Ökobilanz: Gabi ts¹³⁰ und ÖKOBAUDAT¹³¹

Montagegerät	Einheit	Mobilkran 100 t	Mobilkran 60 t	Mobilkran 40 t
Umwelt- wirkungs- kategorie				
Beispiel:		Liebherr LTM 1100-4.2	Liebherr LTM 1060-3.1	Liebherr LTM 1040-2.1
Motorleistung Kran	kW	136	106	95
Durchschnittlicher Dieselverbrauch im Kranbetrieb 20 % Voll- und 30 % Teillast	l/h	5,7	4,5	4,0
ADPE Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen	kg Sb Äq./h	1,30E-06	1,02E-06	9,10E-07
ADPF Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe	MJ/h	2,27E+02	1,77E+02	1,59E+02
AP Versauerungspotenzial	kg SO2 Äq./h	1,31E-01	1,02E-01	9,18E-02
EP Überdüngungspotenzial	kg PO4 Äq./h	3,35E-02	2,61E-02	2,34E-02
GWP Treibhauspotenzial	kg CO2 Äq./h	1,65E+01	1,29E+01	1,15E+01
ODP Ozonabbaupotenzial	kg R11 Äq./h	2,77E-15	2,16E-15	1,94E-15
POCP Ozonbildungspotenzial	kg C2H4 Äq./h	1,43E-02	1,11E-02	9,98E-03
PET Gesamtprimärenergie	MJ/h	2,41E+02	1,88E+02	1,68E+02
PERT Erneuerbare Primärenergie	MJ/h	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT Nicht erneuerbare Primärenergie	MJ/h	2,41E+02	1,88E+02	1,68E+02

¹²⁸ (Bauverlag GmbH, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (Herausgeber), 2015)

¹²⁹ (Deutscher Stahlbau Verband DStV (Herausgeber), 1985)

¹³⁰ (thinkstep AG, 2018)

¹³¹ (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, 2020)

5.3.4 Raupen/Kettenkrane

Im Gegensatz zu Autokranen sind Raupenkrane aufgrund ihrer Kettenantriebe und der somit deutlich größeren Auflagefläche und damit geringeren Bodenpressung geländegängiger, dafür aber deutlich langsamer. Weil Raupenkrane keine zusätzlichen Abstützungen benötigen, besteht die Möglichkeit im Gegensatz zu Autokranen, mit angehobenen Lasten zu fahren. Ihre Anwendung ist in Bereichen sinnvoll, wo sehr hohe Lasten gehoben und größere Strecken versetzt werden sollen. Je nach Größe des Raupenkrans sind Hublasten von bis zu 3000 t möglich.¹³² Auch diese Art von Kranen kann je nach Situation für einen Rückbau eingesetzt werden (siehe Kapitel 5.3.3). Für die Berechnung der Umweltwirkungen von Raupen und Kettenkranen ist der Dieserverbrauch ausschlaggebend (Tabelle 5.5).

Tabelle 5.5 Umweltwirkungen pro Stunde für Kettenkrane; Leistungs- und Verbrauchsdaten nach Auskunft der Firma Spieringscranes; Datengrundlage für Ökobilanz: Gabi ts ¹³³

Umwelt- wirkungskategorie	Montagegerät	Einheit	Kettenkran Spieringscranes SK2400R
Motorleistung Kran		kW	168
Durchschnittlicher Dieserverbrauch im Kranbetrieb 20 % Voll- und 30 % Teillast		l/h	7
ADPE Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen		kg Sb Äq./h	1,60E-06
ADPF Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe		MJ/h	2,79E+02
AP Versauerungspotenzial		kg SO ₂ Äq./h	1,61E-01
EP Überdüngungspotenzial		kg PO ₄ Äq./h	4,10E-02
GWP Treibhauspotenzial		kg CO ₂ Äq./h	2,02E+01
ODP Ozonabbaupotenzial		kg R11 Äq./h	3,40E-15
POCP Ozonbildungspotenzial		kg C ₂ H ₄ Äq./h	1,75E-02
PET Gesamtprimärenergie		MJ/h	2,95E+02
PERT Erneuerbare Primärenergie		MJ/h	0,00E+00
PENRT Nicht erneuerbare Primärenergie		MJ/h	2,95E+02

¹³²weiterführende Informationen (Petzschmann & Skufca, 2000) S. 8-10

¹³³ (thinkstep AG, 2018)

5.3.5 Ladekrane

Lastkraftwagen, die durch eine fest angebaute Kranvorrichtung dafür konzipiert sind Lasten selbstständig zu be- und entladen, werden als Ladekrane bezeichnet. Konstruktionsbedingt sind die möglichen Hublasten und Ausladung im Vergleich zu anderen Mobilkranen begrenzt. Diese Krane eignen sich in der Regel nur bei kleinen Bauvorhaben oder zum Löschen der Ladung. Hier wird der Motor des LKW in der Regel auch für den Kranbetrieb genutzt. Auch diese Art von Kranen kann je nach Situation für einen Rückbau eingesetzt werden (siehe Kapitel 5.3.3). Für die Berechnung der Umweltwirkungen von Ladekranen ist der Dieserverbrauch ausschlaggebend (Tabelle 5.6).

Tabelle 5.6 Umweltwirkungen pro Stunde für LKW mit Ladekran basierend auf 20 % Volllast und 30 % Teillast im Kranbetrieb; Leistungsdaten nach¹³⁴, Datengrundlage für Ökobilanz: Gabi ts¹³⁵

Umwelt- wirkungskategorie	Montagegerät	Einheit	LKW mit Ladekran 12 t
Beispiel:			Palfinger PK 41002 EH auf MAN TGS
Motorleistung Kran		kW	280*
Durchschnittlicher Dieserverbrauch im Kranbetrieb 20 % Voll- und 30 % Teillast		l/h	3,9
ADPE Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen		kg Sb Äq./h	8,94E-07
ADPF Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe		MJ/h	1,56E+02
AP Versauerungspotenzial		kg SO ₂ Äq./h	9,02E-02
EP Überdüngungspotenzial		kg PO ₄ Äq./h	2,30E-02
GWP Treibhauspotenzial		kg CO ₂ Äq./h	1,13E+01
ODP Ozonabbaupotenzial		kg R11 Äq./h	1,90E-15
POCP Ozonbildungspotenzial		kg C ₂ H ₄ Äq./h	9,80E-03
PET Gesamtprimärenergie		MJ/h	1,65E+02
PERT Erneuerbare Primärenergie		MJ/h	0,00E+00
PENRT Nicht erneuerbare Primärenergie		MJ/h	1,65E+02

*Ein Motor für Fahren und Kranbetrieb, 1/3 Leistung für Kranbetrieb

¹³⁴ (Bauverlag GmbH, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (Herausgeber), 2015)

¹³⁵ (thinkstep AG, 2018)

5.3.6 Teleskoplader

Teleskoplader oder auch Teleskoparmstapler sind geländetaugliche Stapler mit ausfahrbarem Arm. Eine Ausrüstung mit unterschiedlichsten Anbauteilen am Ende des Teleskoparms ist möglich. Der Teleskoplader ist dafür geeignet, mit angehängter Hublast zu fahren. Je nach Größe und Leistung eignen sich diese Fahrzeuge, um Lasten über die Baustelle zu transportieren oder Hilfestellung bei Montagen zu geben, indem sie beispielweise die schweren Stahlträger an dem Ort ihres Einbaus halten, während die Monteure diese Träger fixieren. Mit diesen Eigenschaften sind sie auch bei dem selektiven Rückbau von Stahlkonstruktionen das richtige Gerät. Für die Berechnung der Umweltwirkungen von Teleskopladern ist der Dieserverbrauch ausschlaggebend (Tabelle 5.7).

Tabelle 5.7 Umweltwirkungen pro Stunde für Teleskoplader basierend auf 20 % Volllast und 30 % Teillast im Betrieb; Leistungsdaten nach¹³⁶, Datengrundlage für Ökobilanz: Gabi ts¹³⁷

Umwelt- wirkungskategorie	Montagegerät	Einheit	Teleskoplader 6 t
Beispiel:			Liebherr T 60-9s
Motorleistung		kW	75
Durchschnittlicher Dieserverbrauch im Betrieb 20 % Voll- und 30 % Teillast		l/h	3,2
ADPE Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen		kg Sb Äq./h	7,18E-07
ADPF Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe		MJ/h	1,25E+02
AP Versauerungspotenzial		kg SO ₂ Äq./h	7,25E-02
EP Überdüngungspotenzial		kg PO ₄ Äq./h	1,85E-02
GWP Treibhauspotenzial		kg CO ₂ Äq./h	9,10E+00
ODP Ozonabbaupotenzial		kg R11 Äq./h	1,53E-15
POCP Ozonbildungspotenzial		kg C ₂ H ₄ Äq./h	7,88E-03
PET Gesamtprimärenergie		MJ/h	1,33E+02
PERT Erneuerbare Primärenergie		MJ/h	0,00E+00
PENRT Nicht erneuerbare Primärenergie		MJ/h	1,33E+02

¹³⁶ (Liebherr-International Deutschland GmbH, 2019)

¹³⁷ (thinkstep AG, 2018)

5.3.7 Hubarbeitsbühnen

Arbeitsbühnen ermöglichen dem Personal auf einer gegen Absturz geschützten Bühne auch größere Höhen zu erreichen und dort sicher zu arbeiten. Je nach der erforderlichen Arbeitshöhe und dem Einsatzgebiet können Arbeitsbühnen über Teleskoparme an einem Anhänger, einem LKW oder auf einem dafür konzipierten Fahrzeug installiert sein. Die Steuerung dieses Fahrzeugs erfolgt über eine Fernbedienung in der Arbeitsbühne. Ein Vorteil dieser Teleskoparbeitsbühnen ist im Gegensatz zur Scherenbühne, dass das Unterfahrzeug nicht unter dem Arbeitsort stehen muss. Bei Abbruch und Rückbau werden Arbeitsbühnen eingesetzt, um das Personal mit Schneidbrennern und Trennschleifern an die erforderlichen Trennungspunkte oder Schraubverbindungen zu bringen. Es gibt elektrische und per Verbrennungsmotor betriebene Arbeitsbühnen. Für die Berechnung der Umweltwirkungen von Teleskoparbeitsbühnen wurde hier als Vereinfachung nur die Variante mit Dieselmotor betrachtet (Tabelle 5.8).

Tabelle 5.8 Umweltwirkungen pro Stunde für Teleskoparbeitsbühne basierend auf 20 % Volllast und 30 % Teillast im Betrieb; Leistungsdaten nach¹³⁸, Datengrundlage für Ökobilanz: Gabi ts¹³⁹

Umwelt-wirkungskategorie	Montagegerät	Einheit	Teleskoparbeitsbühne
Beispiel:			Mateco T 202 D 4x4
Motorleistung		kW	37
Durchschnittlicher Dieserverbrauch im Betrieb 20 % Voll- und 30 % Teillast		l/h	1,6
ADPE Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen		kg Sb Äq./h	3,54E-07
ADPF Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe		MJ/h	6,18E+01
AP Versauerungspotenzial		kg SO ₂ Äq./h	3,57E-02
EP Überdüngungspotenzial		kg PO ₄ Äq./h	9,11E-03
GWP Treibhauspotenzial		kg CO ₂ Äq./h	4,49E+00
ODP Ozonabbaupotenzial		kg R11 Äq./h	7,54E-16
POCP Ozonbildungspotenzial		kg C ₂ H ₄ Äq./h	3,89E-03
PET Gesamtprimärenergie		MJ/h	6,56E+01
PERT Erneuerbare Primärenergie		MJ/h	0,00E+00
PENRT Nicht erneuerbare Primärenergie		MJ/h	6,56E+01

5.3.8 Bagger

Hauptsächlich werden beim Abbruch Kettenbagger in verschiedenen Größen und Leistungsklassen eingesetzt. Je nach Gebäudehöhe können sie mit zusätzlichen Auslegern für eine Arbeitshöhe von bis zu 50 m versehen werden. Spezielle Longfront-Bagger verfügen serienmäßig über Arme mit einer sehr großen Reichweite. Zum Abbruch von Stahl- und Verbundkonstruktionen werden sie mit hydraulischen Abbruchzangen für Stahl und/oder Beton ausgerüstet. Die Vorteile von solchen durch Bagger geführte Abbruchwerkzeuge sind die präzise Kontrolle des Geräts und die Möglichkeit eine Separierung und Sortierung der Baustoffe schon während des Rückbaus vornehmen zu können. Stahlprofile bis zu 300 mm können mit den

¹³⁸ (Bauverlag GmbH, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (Herausgeber), 2015)

¹³⁹ (thinkstep AG, 2018)

gängigen Abbruchzangen ohne vorherige Schwächung durchtrennt werden. Auch wenn beim Abbruch von Stahlkonstruktion mit Baggern die Elemente teilweise verformt werden, so ist die Sortierung, Verladung und der Transport der noch weitgehend intakten Baustahlelemente deutlich einfacher als beispielsweise für eine Mischung aus Betonbruch und Bewehrungsstahl. Für die Berechnung der Umweltwirkungen von Baggern ist der Dieserverbrauch ausschlaggebend (Tabelle 5.9). Die Bagger sind, anders als die Geräte bei der Montage, mit einem Verhältnis von 33 % Volllast und 67 % Teillast im Betrieb da es keine Unterbrechungen durch das Anschlagen und in Position halten von Personal oder Lasten gibt. Die sich ergebenden Verbrauchsdaten für Kettenbagger sind im Wertebereich der Verbrauchsdaten aus den Untersuchungen von Fecke, M.¹⁴⁰ einzuordnen, auch wenn dort eine für den Erdbau spezialisierte Lastverteilung zugrunde gelegt wurde.

Tabelle 5.9 Umweltwirkungen pro Stunde für Kettenbagger basierend auf 33 % Volllast und 67 % Teillast im Betrieb; Leistungsdaten nach¹⁴¹. Datengrundlage für Ökobilanz: Gabi ts¹⁴²

Montagegerät	Einheit	Bagger 30 - 35 t	Bagger 55 - 75 t	Bagger 77 - 98 t
Umweltwirkungskategorie				
Beispiel:		Liebherr R 934 C	Liebherr R 954 C Abbruch	Liebherr R 960 C Abbruch
Motorleistung	kW	150	250	350
Durchschnittlicher Dieserverbrauch bei Mischanwendung 33 % Voll- und 67 % Teillast	l/h	12,0	20,0	27,9
ADPE Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen	kg Sb Äq./h	2,73E-06	4,55E-06	6,37E-06
ADPF Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe	MJ/h	4,76E+02	7,94E+02	1,11E+03
AP Versauerungspotenzial	kg SO ₂ Äq./h	2,75E-01	4,59E-01	6,42E-01
EP Überdüngungspotenzial	kg PO ₄ Äq./h	7,01E-02	1,17E-01	1,64E-01
GWP Treibhauspotenzial	kg CO ₂ Äq./h	3,46E+01	5,77E+01	8,07E+01
ODP Ozonabbaupotenzial	kg R11 Äq./h	5,81E-15	9,68E-15	1,35E-14
POCP Ozonbildungspotenzial	kg C ₂ H ₄ Äq./h	2,99E-02	4,99E-02	6,98E-02
PET Gesamtprimärenergie	MJ/h	5,05E+02	8,42E+02	1,18E+03
PERT Erneuerbare Primärenergie	MJ/h	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT Nicht erneuerbare Primärenergie	MJ/h	5,05E+02	8,42E+02	1,18E+03

¹⁴⁰ (Fecke, 2019) S 38, S. 58, S. 117-120

¹⁴¹ (Bauverlag GmbH, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (Herausgeber), 2015)

¹⁴² (thinkstep AG, 2018)

5.3.9 Kleingeräte

Grundsätzlich sind für die Montage, Abbruch und Rückbau von Stahlkonstruktionen, wie bei jedem Bauvorhaben, Kleingeräte notwendig. Neben den typischen Werkzeugen für Baustellen werden im Stahlbau insbesondere diese Werkzeuge häufig verwendet:

- Anschlagmittel (Stahlseile, Ketten, Schäkel, Hebebänder, Hebegurtschlingen, Rundschlingen, usw.),
- Elektroschlagschrauber zur Herstellung und ggf. Trennung von Schraubverbindungen,
- Drehmomentschlüssel zum Aufbringen der richtigen Vorspannung,
- Trennschleifer für kleinere Anpassungen und Trennung von Schrauben und Bolzen beim Rückbau,
- Schneidbrenner zum Schwächen und Zerlegen großer Querschnitte und Abtrennen kleinerer Stahlbauteile wie Verbände und Koppelstäbe beim Abbruch. Durch gezielt gesetzte Schnitte werden künstliche Gelenke erzeugt und ein kontrollierter Abbruch kann erfolgen (Abbildung 5.1.).

Kleingeräte können mit Baustrom aus dem örtlichen Stromnetz oder per Dieselgenerator betrieben werden. Auch akkubetriebene Varianten kommen immer mehr zum Einsatz. Für die Berechnung der Umweltwirkungen von Elektroschlagschraubern und -trennschleifern wurde hier eine gleichwertige Mischung von Elektrizität aus dem deutschen Strommix und von vor Ort per Dieselgenerator erzeugter Elektrizität angesetzt. Für Schneidbrenner ist der Propan- und Sauerstoffverbrauch sowie das bei der Verbrennung freigesetzte CO₂ ausschlaggebend. Beim Brennschneiden wird der Stahl an der Schnittstelle bis zur Weißglut erhitzt. Durch den Sauerstoffstrahl wird dann das sich verflüssigende Material aus der Schnittfuge geblasen. Daher wird mehr Sauerstoff verbraucht als für eine reine Verbrennung des Propans nötig wäre. Die Berechnung wurde auf der sicheren Seite basierend auf den Gasverbräuchen für eine Blechdicke bis 60 mm durchgeführt¹⁴³ und deckt alle in den Projekten verwendeten Profilgrößen ab (Tabelle 5.10).

¹⁴³ (Mechanische Werkstätten Wurzen GmbH, 2014) S. 7

Tabelle 5.10 Umweltwirkungen pro Stunde für verschiedene Kleingeräte basierend auf Leistungsdaten nach¹⁴⁴ und¹⁴⁵; Datengrundlage für Ökobilanz: Gabi ts und ÖKOBAUDAT; Um die verschiedenen Versorgungslagen auf Baustellen abzubilden wurde überschlägig eine Mischung aus 50 % Strommix Deutschland und 50 % Dieselgenerator gewählt; Zur Ermittlung der Umweltwirkungen des Schneidbrenners ist das bei der exothermen Reaktion freiwerdende CO₂ direkt dem GWP zuzuordnen (siehe Tabelle 5.11)

Montagegerät \ Umweltwirkungskategorie	Einheit	Schneidbrenner (bis 60 mm Baustahl)	Elektroschlagschrauber	Elektrotrennschleifer
Beispiel:				
Leistungsaufnahme	kW	-	0,5	0,5
Sauerstoffverbrauch	kg/h	6,7	-	-
Propanverbrauch	kg/h	0,4	-	-
ADPE Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen	kg Sb Äq./h	4,46E-07	8,03E-08	8,03E-08
ADPF Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe	MJ/h	3,07E+01	4,09E+00	4,09E+00
AP Versauerungspotenzial	kg SO ₂ Äq./h	2,30E-03	2,05E-03	2,05E-03
EP Überdüngungspotenzial	kg PO ₄ Äq./h	3,05E-04	3,95E-04	3,95E-04
GWP Treibhauspotenzial	kg CO ₂ Äq./h	2,37E+00	3,35E-01	3,35E-01
ODP Ozonabbaupotenzial	kg R11 Äq./h	4,01E-14	6,36E-15	6,36E-15
POCP Ozonbildungspotenzial	kg C ₂ H ₄ Äq./h	2,52E-04	1,63E-04	1,63E-04
PET Gesamtprimärenergie	MJ/h	4,03E+01	5,73E+00	5,73E+00
PERT Erneuerbare Primärenergie	MJ/h	0,00E+00	1,10E+00	1,10E+00
PENRT Nicht erneuerbare Primärenergie	MJ/h	6,19E+01	4,63E+00	4,63E+00

Die in Kapitel 5.2 dargestellten Hintergrunddaten bilden nur die Umweltwirkungen zur Herstellung von Sauerstoff und Propan für den Betrieb eines Schneidbrenners ab. Die bei der Verbrennung der beiden Gase entstehenden Emissionen müssen zusätzlich berechnet werden. Tabelle 5.11 zeigt die chemische Reaktionsgleichung und wie daraus die zusätzlichen CO₂-Emissionen berechnet werden.

¹⁴⁴ (Bauverlag GmbH, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (Herausgeber), 2015)

¹⁴⁵ (Deutscher Stahlbau Verband DStV (Herausgeber), 1985)

Tabelle 5.11 Ermittlung der zusätzlichen Umweltwirkungen durch die Verbrennung von Propan und Sauerstoff im Schneidbrenner

Reaktionsgleichung:		
$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$		
Molare Massen:		
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	44,01 g/mol
Wasser	H ₂ O	18 g/mol
Propan	C ₃ H ₈	44,1 g/mol
Sauerstoff	O ₂	32 g/mol
<p>Setzt man die molaren Massen in die Reaktionsgleichung ein, so zeigt sich, dass das Verhältnis von Propan zu freigesetztem CO₂ bei der Verbrennung ein Verhältnis von ca. 1:3 hat. Das bedeutet, dass bei der Verbrennung von 1 kg Propan (C₃H₈) 3 kg Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasserdampf (H₂O) freigesetzt werden. Wasserdampf generiert keinen Beitrag zu den Umweltwirkungen.</p> <p>Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist dem Treibhauspotenzial (GWP) 1:1 zuzuordnen (siehe auch Kapitel 2.5).</p>		

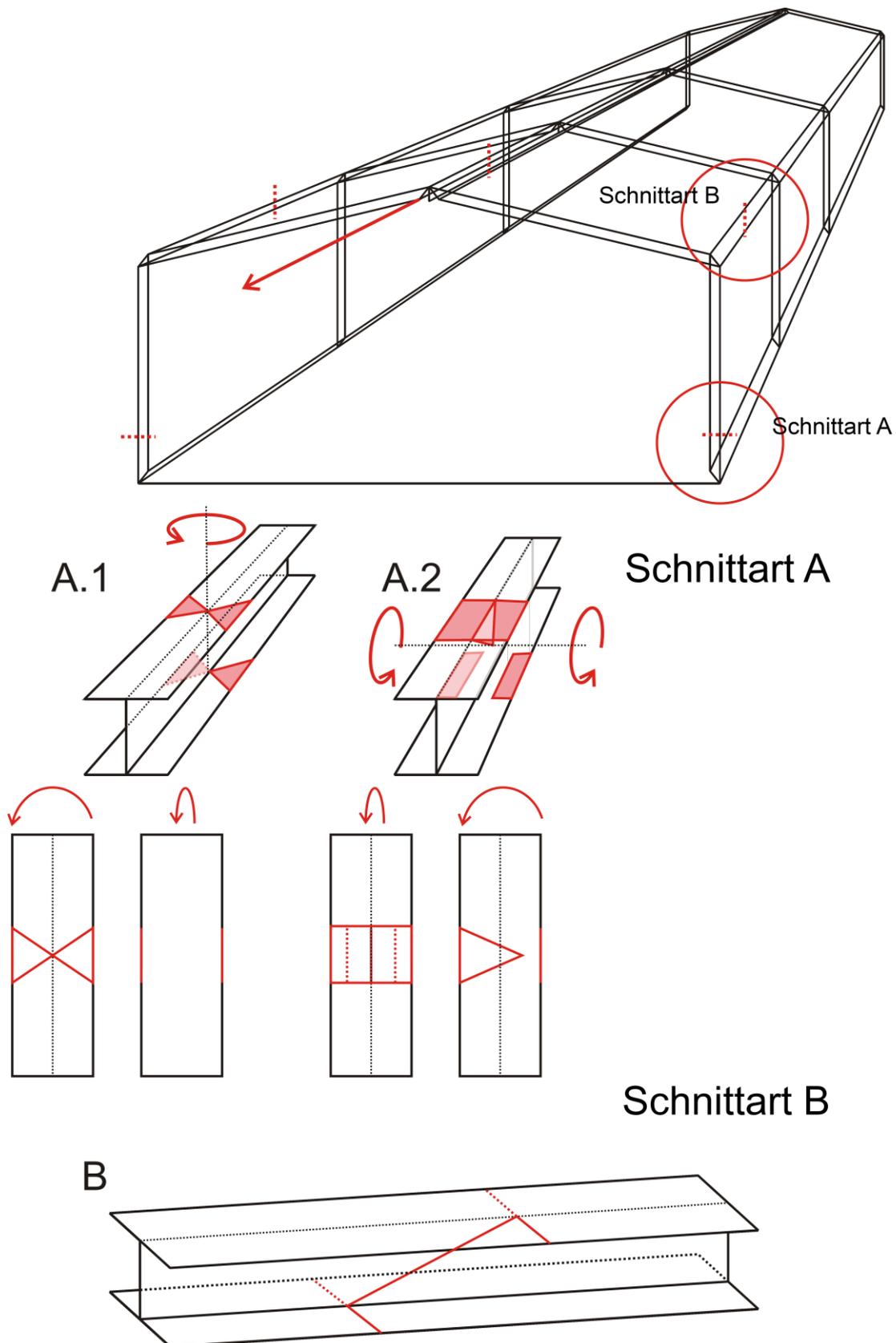


Abbildung 5.1 Zur Herstellung einer Gelenkwirkung können verschiedene Schnitte mit dem Schneidbrenner gesetzt werden (Schnittart A). Mit der Schnittart B lassen sich z.B. Träger so durchtrennen, dass bis zum Umziehen der Konstruktion durch den Bagger eine geringe Querkrafttragfähigkeit erhalten bleibt und so ein unkontrolliertes Einstürzen verhindert wird.¹⁴⁶

¹⁴⁶ Abbildung zur Verfügung gestellt durch Dr. Paul Kamrath (Paul Kamrath Ingenieurückbau GmbH)

5.4 Auswertung der Projektdatenbank und Sachbilanz

Durch Kombination der aus der Projektdatenbank entnehmbaren, detaillierten Vorgänge bei Errichtung, Abbruch und Rückbau (siehe Anhang Tabelle A 1 - Tabelle A 41) mit den Leistungs- und Verbrauchsdaten der jeweils eingesetzten Baugeräte lässt sich eine Sachbilanz erstellen. Es werden pro Projekt folgende Eingangsgrößen für die Ökobilanz ermittelt:

- Dieserverbrauch [l/t]
- Stromverbrauch [kWh/t]
- Sauerstoffverbrauch [kg/t]
- Propanverbrauch [kg/t]

Zusätzlich, aber für die Ökobilanz nur indirekt relevant, werden die Aufwandswerte für Errichtung, Rückbau und Abbruch auf der Baustelle dargestellt (siehe auch Kapitel 4.4) und ein möglicher Zusammenhang mit andern Faktoren wie der Gesamttonnage, den Bauteilgrößen oder den eingesetzten Geräten untersucht. Die vollständigen Daten sind tabellarisch in Anhang IV aufbereitet.

5.4.1 Errichtung

Die Verbräuche von Diesel oder Strom sind von den eingesetzten Baugeräten abhängig. Im Hallenbau werden häufig Mobilkrane eingesetzt, daher ist der Dieserverbrauch pro Tonne für die eingeschossigen Projekte fast konstant. Leichte Schwankungen treten abhängig vom eingesetzten Mobilkran und der Komplexität der Struktur auf. Bei den Projekten E7 (SD Haller) und E8 (IH Augsburg) ist am Stromverbrauch zu erkennen, dass neben Mobilkranen auch Turmdrehkrane zum Einsatz kamen. Die Projekte M1 (PH DHL) und M5 (PH Hofaue) weisen einen erhöhten Dieserverbrauch auf, da dort Mobilkrane zum Einsatz kamen. Dementsprechend ist der Stromverbrauch hier geringer. Mit allgemein leicht erhöhten Verbrauchswerten fällt das Projekt M2 (PH Phillips) auf. Grund hierfür ist die kleinteilige und verwinkelte Struktur des Parkhauses, die viele Hübe mit eher leichten Bauteilen erfordert. Ein kontinuierliches Arbeiten mit immer gleichen Bauteilen war hier nicht gegeben.

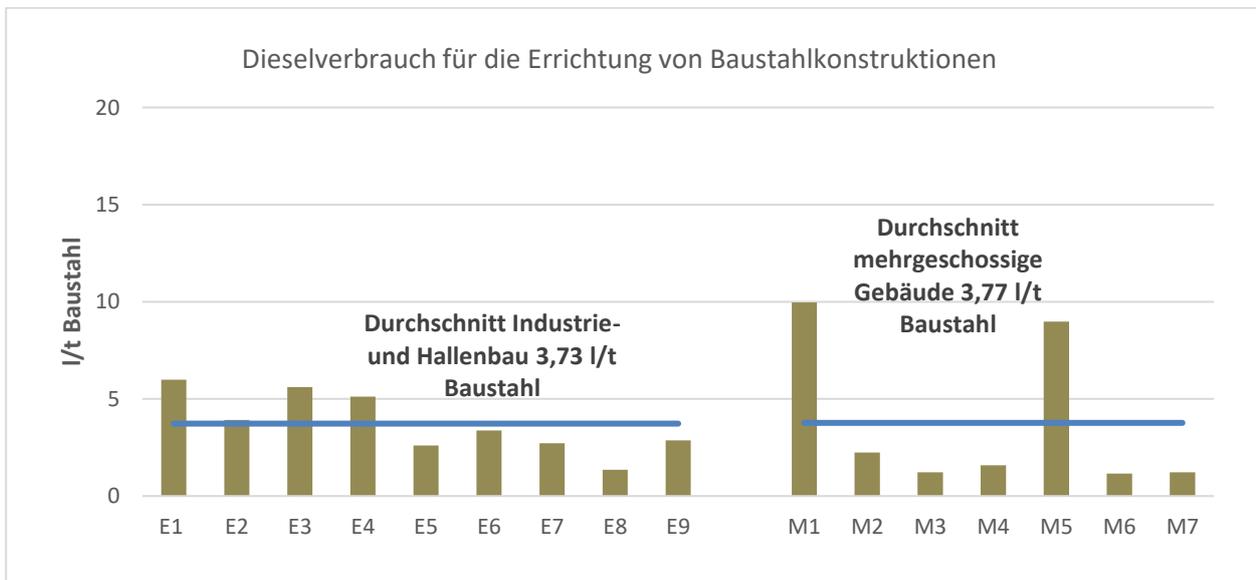


Abbildung 5.2 Dieserverbrauch für die Errichtung von Baustahlkonstruktionen

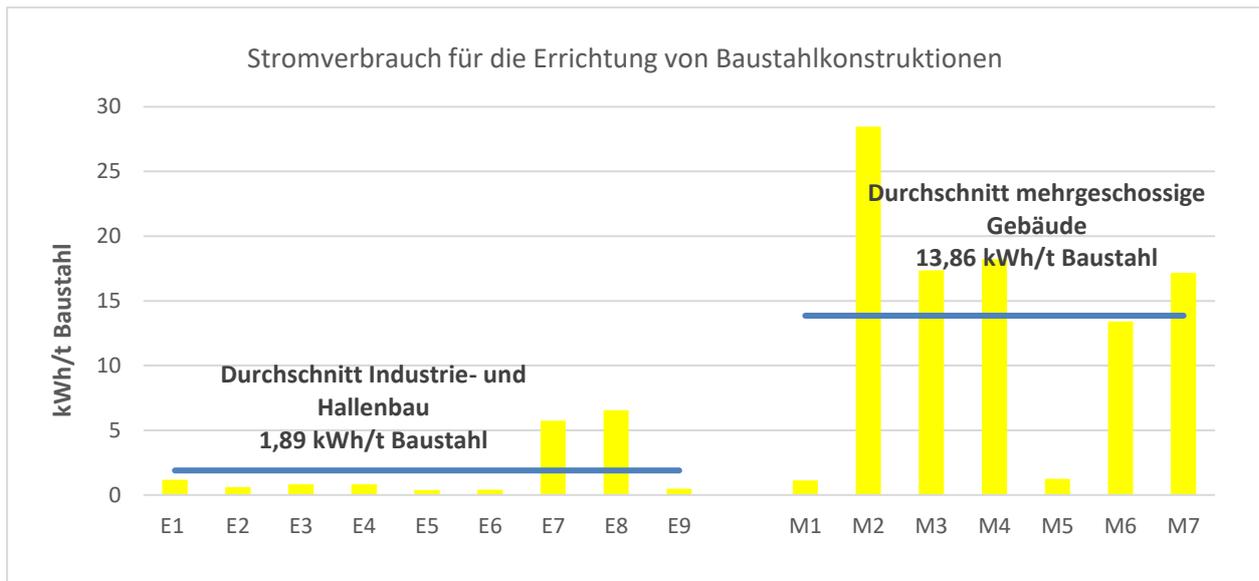


Abbildung 5.3 Stromverbrauch für die Errichtung von Baustahlkonstruktionen

Werden die Aufwandswerte betrachtet, so fällt auf, dass diese für mehrgeschossige Projekte erhöht sind, wenn Mobilkrane anstatt Turmdrehkrane eingesetzt wurden (M1 und M5). Ansonsten liegen die Aufwandswerte auf ähnlichem Niveau (Abbildung 5.4). Bei Betrachtung der Abbildung 5.4 liegt die Vermutung nahe, dass die Aufwandswerte mit steigender Tonnage leicht sinken. Allerdings zeigt das Projekt M7 mit deutlich erhöhter Gesamttonnage, dass dieser mögliche Zusammenhang nur bedingt besteht und sich der Aufwandswert nicht erheblich verkleinert. Die in Abbildung 5.5 gezeigte Trendlinie hat nur eine sehr geringe, negative Steigung und auch rechnerisch drückt dies ein sehr geringer Korrelationskoeffizient von $-0,2$ deutlich aus. Ein Zusammenhang von Gesamttonnage und Aufwandswerten lässt sich also mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ausschließen. Die genauere Betrachtung der Projekte, der eingesetzten Baugeräte und der Errichtungsweise zeigt, dass ein Zusammenhang von Bauteilgröße, der Komplexität der Struktur und der Art der eingesetzten Geräte wahrscheinlicher ist. Von einer tiefgehenden Untersuchung dieser Hypothese wird hier aufgrund fehlender Daten sowie geringer Relevanz für die Zielerreichung dieser Arbeit abgesehen.

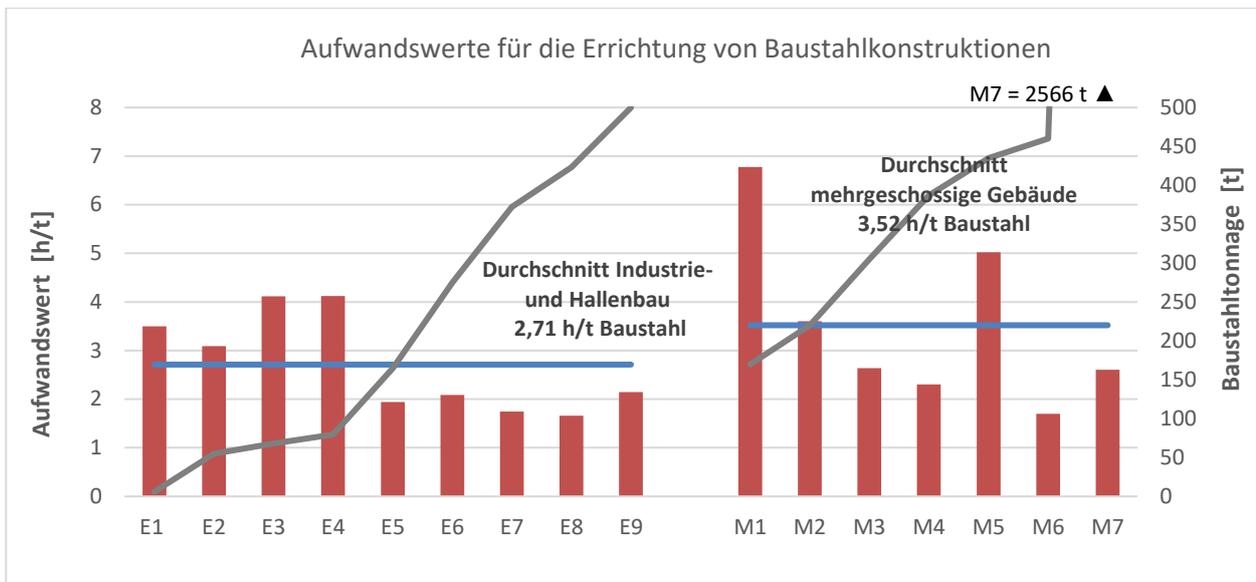


Abbildung 5.4 Aufwandswerte für die Errichtung von Baustahlkonstruktionen (Achse links) und Gesamttonnage der Projekte (Achse rechts, graue Kurve)

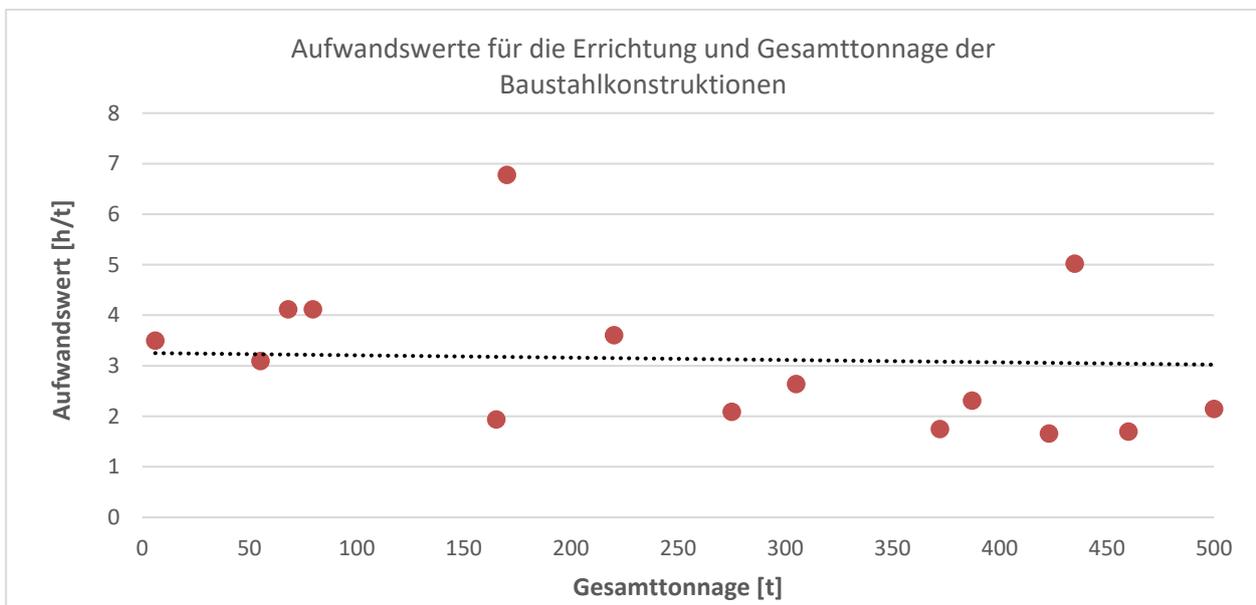


Abbildung 5.5 Darstellung einer möglichen Korrelation von Aufwandswert und Gesamttonnage bei der Errichtung von Stahlkonstruktionen (M7 liegt mit 2566 t außerhalb des Diagrammbereichs, wird jedoch durch die Trendlinie berücksichtigt)

5.4.2 Abbruch

Die Diagramme für die Verbräuche und die Aufwandswerte beim Abbruch zeigen einen deutlichen Zusammenhang dieser Größen. Es ist erkennbar, dass bei Abbruchbaustellen mit erhöhtem Schneidbrennereinsatz (Verbrauch von Propan und Sauerstoff) der Dieselverbrauch durch den Baggereinsatz etwas geringer ist und umgekehrt. Beispiele hierfür sind die Projekte E3, E4, E7, M1, M2 und M6. Die zu zerlegenden Stahlprofilgrößen geben vor, ob Stützen und Träger sofort per Schrottschere durchtrennt werden können (Stahlprofile $\leq 300\text{mm}$) oder ob eine vorherige Querschnittsschwächung durch Anschnitte mit dem Schneidbrenner nötig sind (Stahlprofile $> 300\text{mm}$). Der durchschnittliche Verbrauch und Aufwand für die mehrgeschossigen Gebäude sind deutlich höher als für den Industrie- und Hallenbau. Grund dafür ist, dass die

Stützen bei Errichtung oft bis zur kompletten Gebäudehöhe in einem Arbeitsschritt montiert werden. In wenigen Fällen werden sie aufgrund der begrenzten Transportlänge gestoßen. Beim Abbruch jedoch muss das Tragwerk geschossweise abgetragen werden und die Stützen werden in durch die Geschosshöhe begrenzte Stücke zerlegt und abgesenkt. Beim Abbruch können sich je nach Umgebung des Abbruchgebäudes mehrere Bagger aus verschiedenen Richtungen vorarbeiten. Hierbei wird geschoss- und achsweise von oben nach unten vorgegangen, sodass sich eine Treppenstruktur ergibt, bei der der Bauschutt und Schrott immer auf das nächsttiefere Geschoss geschoben werden kann. Für den Abbruch von Hallen entfällt dieses Vorgehen. Die Rahmen werden einzeln umgelegt und dann per Schneidbrenner zerlegt (genaue Abläufe beim Abbruch siehe Anhang I und II). Daten für den Stromverbrauch sind nicht vorhanden, da beim Abbruch in der Regel nur dieselbetriebene Geräte (Kettenbagger und Arbeitsbühnen) bzw. Schneidbrenner eingesetzt werden. Der sporadische Einsatz von Trennschleifern kann vernachlässigt werden.

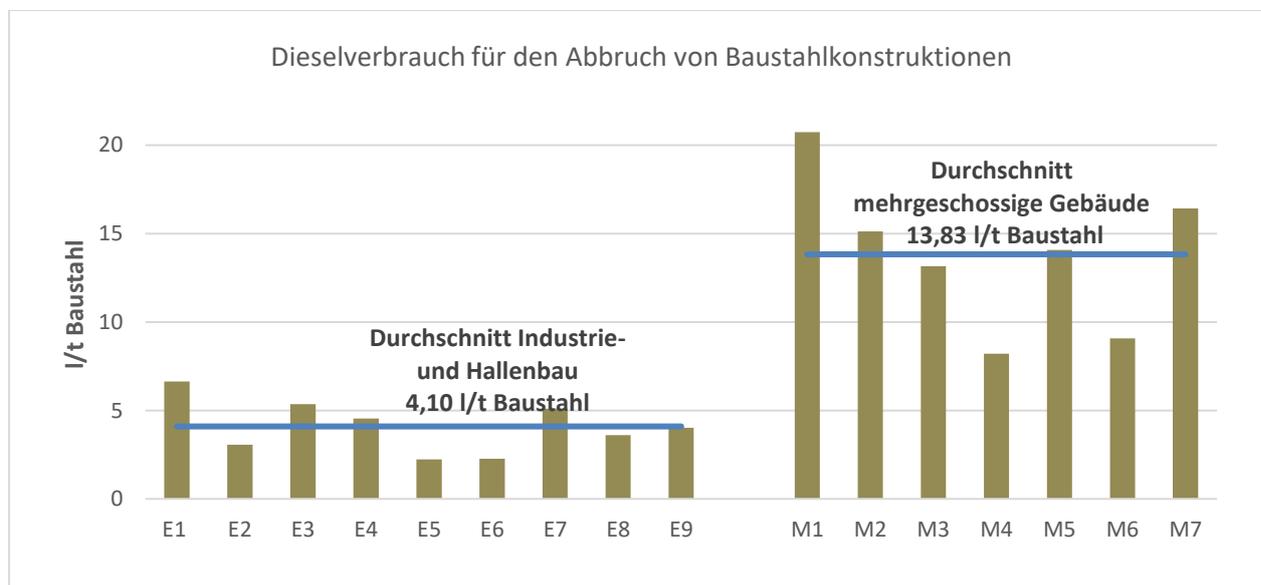


Abbildung 5.6 Dieselverbrauch für den Abbruch von Baustahlkonstruktionen

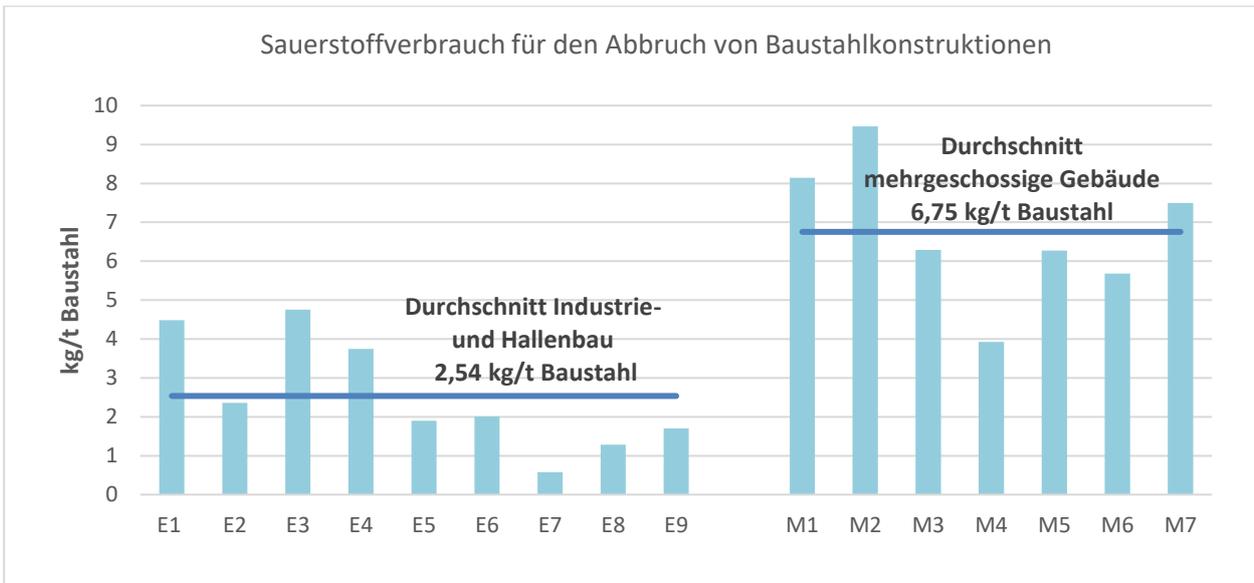


Abbildung 5.7 Sauerstoffverbrauch für den Abbruch von Baustahlkonstruktionen

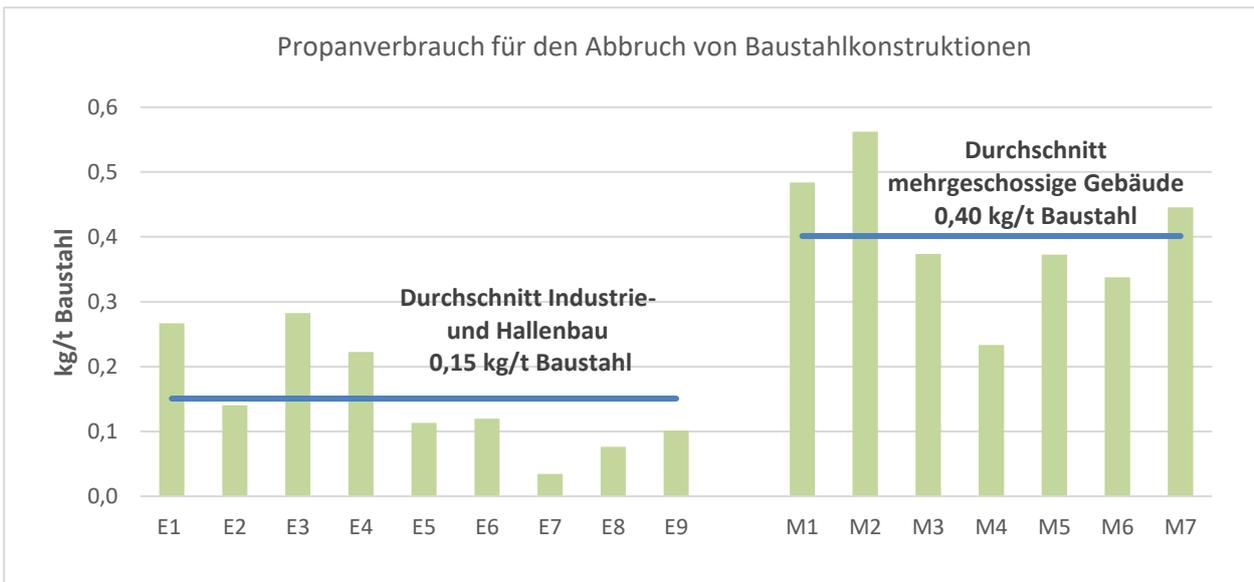


Abbildung 5.8 Propanverbrauch für den Abbruch von Baustahlkonstruktionen

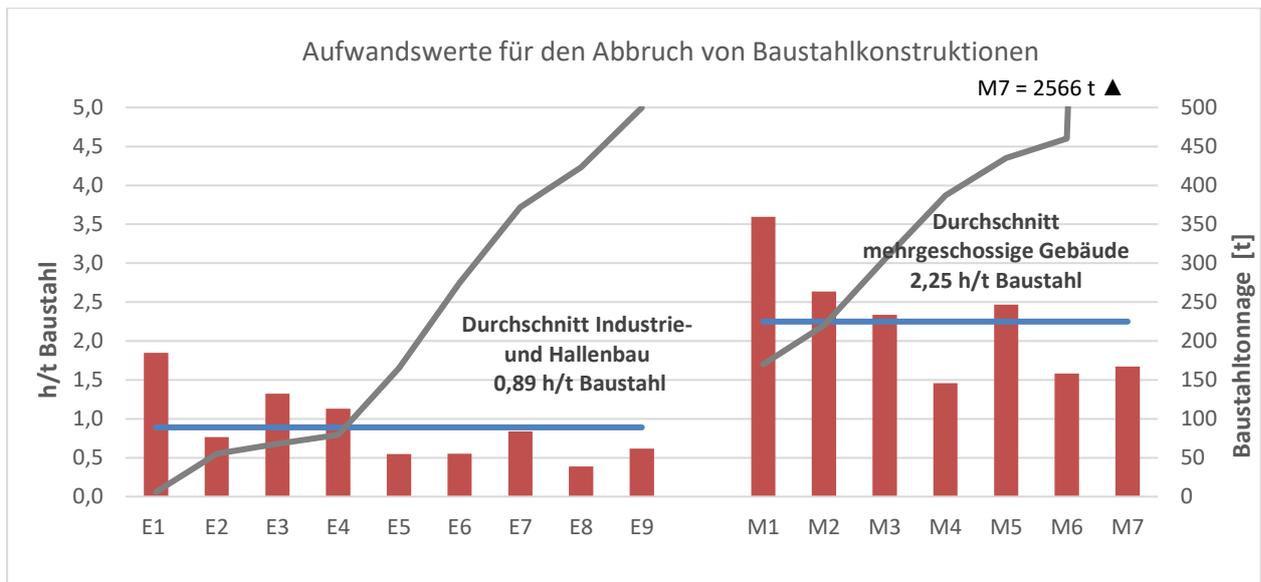


Abbildung 5.9 Aufwandswerte für den Abbruch von Baustahlkonstruktionen (Achse links) und Gesamttonnage der Projekte (Achse rechts, graue Kurve)

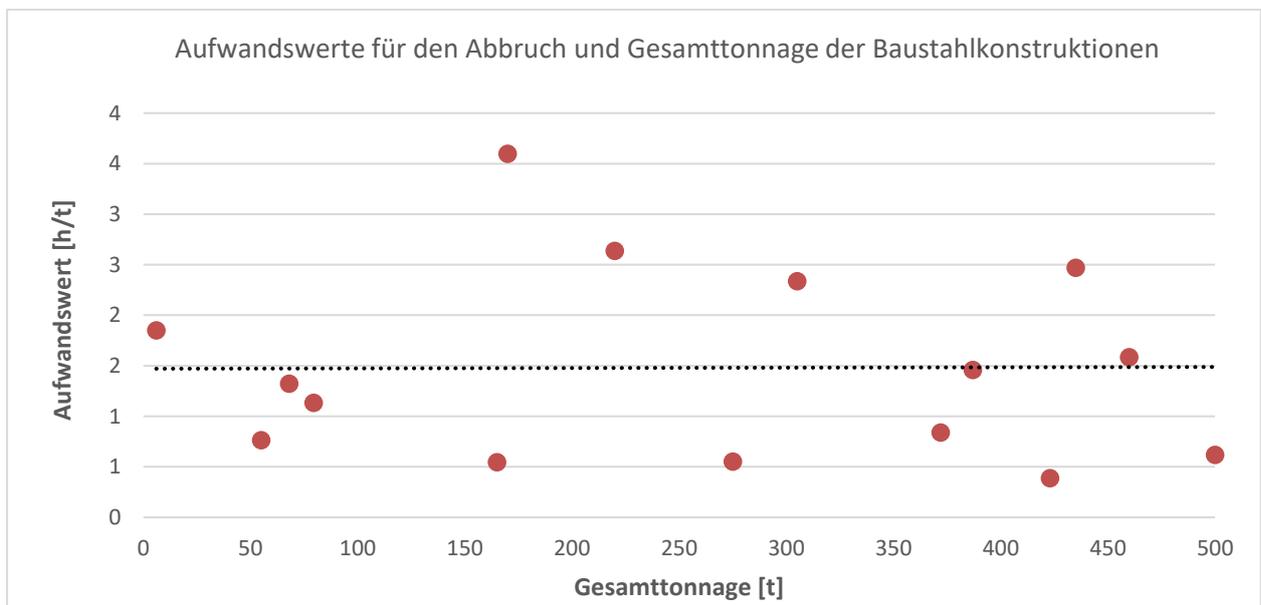


Abbildung 5.10 Darstellung einer möglichen Korrelation von Aufwandswert und Gesamttonnage bei Abbruchbaustellen (M7 liegt mit 2566 t außerhalb des Diagrammbereichs, wird jedoch durch die Trendlinie berücksichtigt)

Wie auch bei der Errichtung ist keine Korrelation von Aufwandswerten und Gesamttonnage nachweisbar (Abbildung 5.10). Die hier dargestellten Aufwandswerte ergeben sich aus der für den Abbruch typischen Art und Anzahl an Geräten sowie der üblichen Stärke der Bauptrups (s. Tabelle 4.19). Veränderungen an diesen Grundvoraussetzungen verkürzen oder verlängern die benötigte Zeit. Enthalten ist nur der Abbruch der eigentlichen Baustahlkonstruktion. Aufwände für Fundamente, Gebäudehülle, Gebäudetechnik etc. sind nicht enthalten. Je nach Komplexität der Struktur kann die benötigte Zeit für den Rückbau einer Tonne Baustahl auch unabhängig von der Gesamttonnage sein (Bsp. E7, M5).

5.4.3 Rückbau

Ein zerstörungsfreier Rückbau wird nur für die Projekte Industrie- und Hallenbau betrachtet, da er durch die Verbunddecken in den mehrgeschossigen Parkhäusern nicht möglich ist. Es gibt allerdings auch im Geschossbau real gebaute Projekte, die für eine Wiederverwendung des Tragwerkes ausgelegt sind. Dies stellt aber eine zu seltene Ausnahme dar, als dass eine Betrachtung in dieser Studie ausschlaggebend wäre. Häufiger kommt es jedoch vor, dass ein gesamtes Tragwerk direkt wiederverwendet wird. Hier wird das Gebäude entkernt und nur das Tragwerk bleibt an Ort und Stelle – ein Rückbau findet nicht statt.

Abbildung 5.11 - Abbildung 5.13 zeigen, dass der Dieserverbrauch, der aus Kran, Teleskoplader und Arbeitsbühneneinsatz stammt, für alle Projekte ähnlich ist. Der Stromverbrauch ist wie die Aufwandswerte mit sinkender Gesamttonnage erhöht. Grund hierfür ist die im Verhältnis zur Tonnage nahezu gleichbleibende Zahl an Verbindungsmitteln, die unabhängig von der Bauteilgröße gelöst werden muss.

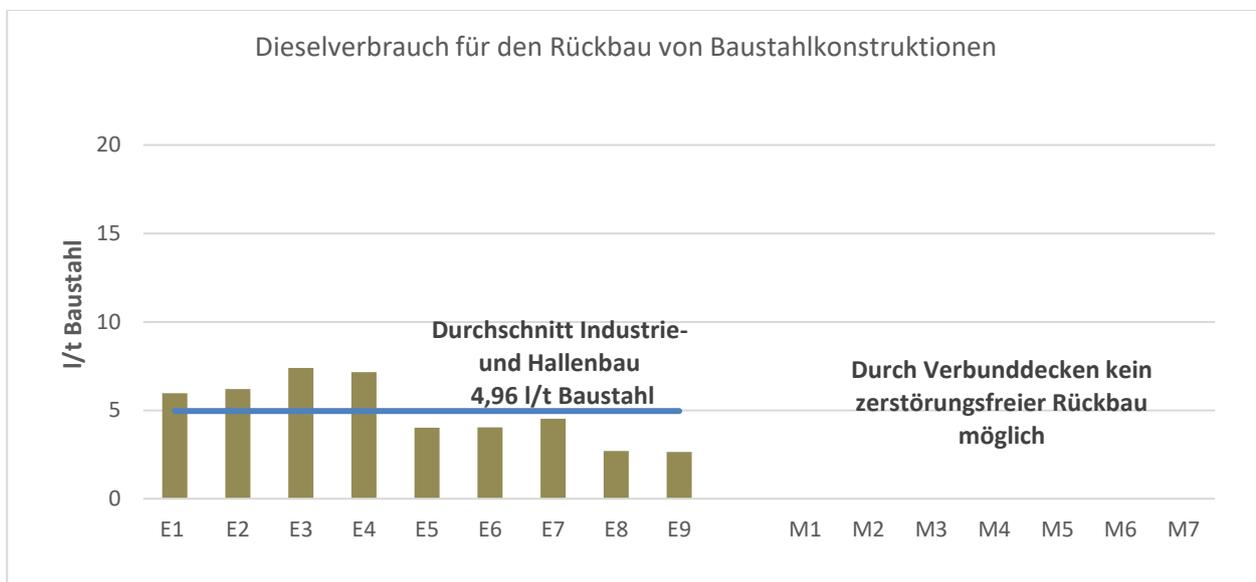


Abbildung 5.11 Dieserverbrauch für den Rückbau von Baustahlkonstruktionen

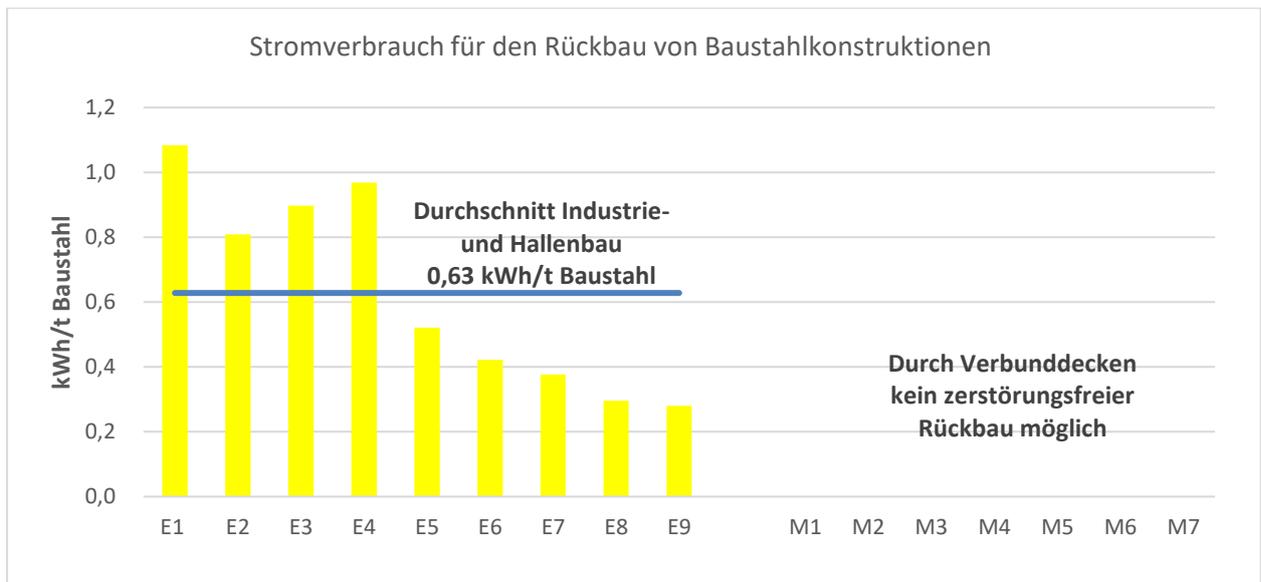


Abbildung 5.12 Stromverbrauch für den Rückbau von Baustahlkonstruktionen

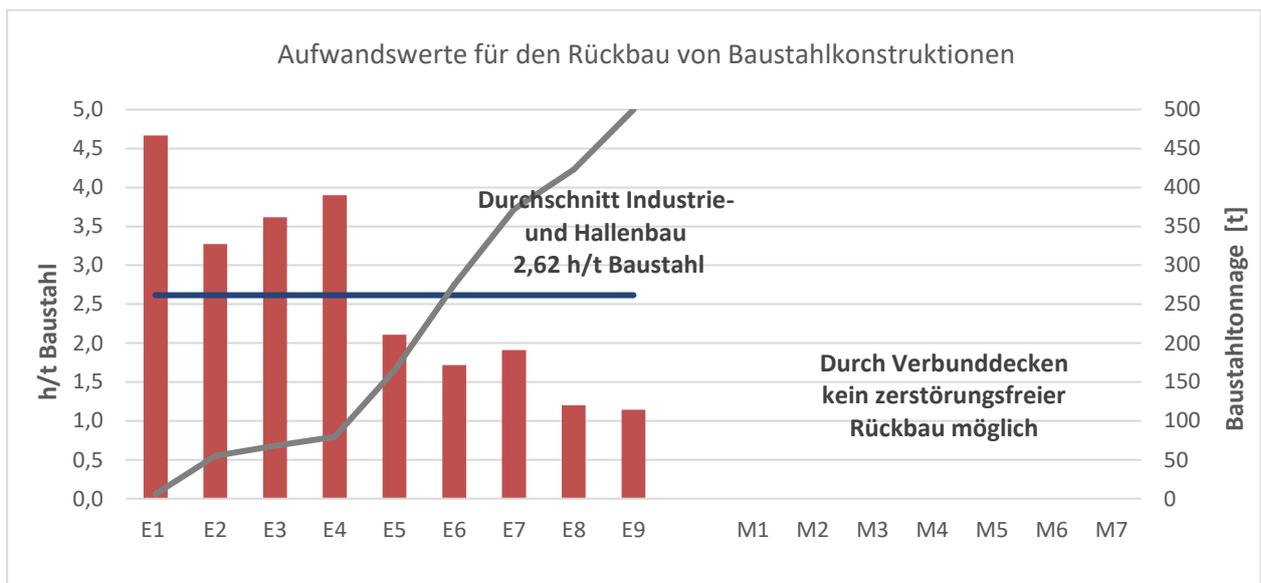


Abbildung 5.13 Aufwandswerte für den Rückbau von Baustahlkonstruktionen (Achse links) und Gesamttonnage der Projekte (Achse rechts, graue Kurve)

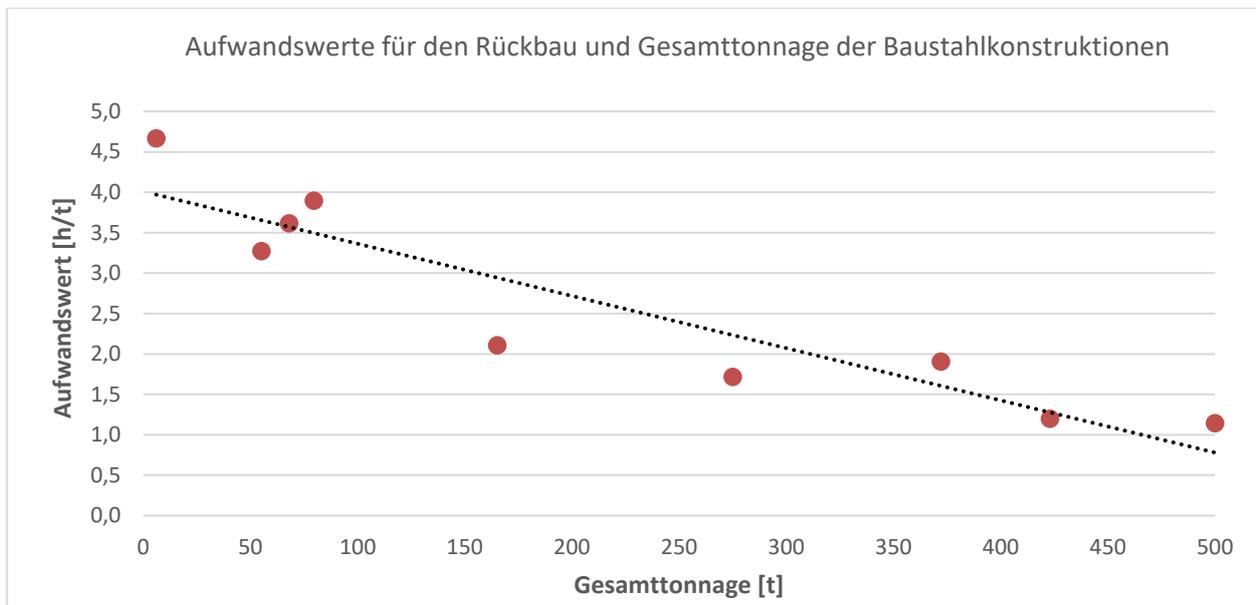


Abbildung 5.14 Darstellung der Korrelation von Aufwandswert und Gesamttonnage bei Rückbaustellen (M7 liegt mit 2566 t außerhalb des Diagrammbereichs, wird jedoch durch die Trendlinie berücksichtigt)

Die hier dargestellten Aufwandswerte ergeben sich aus der für den Rückbau typischen Art und Anzahl an Geräten sowie der üblichen Stärke der Baupatrups (siehe Tabelle 4.21). Veränderungen an diesen Grundvoraussetzungen verkürzen oder verlängern die benötigte Gesamtzeit. Enthalten ist nur der Rückbau der eigentlichen Baustahlkonstruktion. Aufwände für Fundamente, Gebäudehülle, Gebäudetechnik etc. sind nicht enthalten. Es ist die Tendenz zu erkennen, dass die Aufwandswerte bei steigender Gesamttonnage sinken. Da Hallen in der Regel eine Aneinanderreihung von Rahmentragwerken sind, verringert sich der Aufwand pro Tonne, je größer die Rahmen bzw. die verbauten Stahlprofilquerschnitte sind. Ist die hohe Gesamttonnage allerdings einer großen Rahmenanzahl geschuldet, so ist der Aufwandswert ähnlich wie bei Hallen mit geringeren Tonnagen. Je nach Komplexität der Struktur und Anzahl der zu lösenden Schraubverbindungen ist die benötigte Zeit für den Rückbau einer Tonne Baustahl unabhängig von der Gesamttonnage (Bsp. E4, E7). Die Aufwandswerte für den zerstörungsfreien Rückbau sind ca. dreimal höher als für einen Abbruch.

5.5 Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung ergibt sich aus der Sachbilanz (Kapitel 5.4) und der Hintergrunddatenbank (Kapitel 5.2). Mit einigen Ausnahmen verhalten sich alle Umweltwirkungskategorien tendenziell ähnlich. Dies ist auch an der Verteilung der Säulen in Abbildung 5.15 im Vergleich zu Abbildung 5.16 sowie in den Grafiken in Anhang III zu sehen. Zur übersichtlicheren Darstellung sind hier nur die bekanntesten und am häufigsten kommunizierten Umweltwirkungskategorien Treibhauspotenzial (GWP) und Gesamtprimärenergie (PET) dargestellt. Zusätzlich werden einige Kategorien, bei deren Auswertung sich interessante Beobachtungen machen lassen, gezeigt. Im Anhang III und IV sind die vollständigen Daten grafisch und tabellarisch zu finden. Es wird deutlich, dass Projekt M7 mit seiner deutlich höheren Tonnage bei keiner Umweltwirkungskategorie aus dem Rahmen fällt. Im Gegenteil – die Ergebnisse bewegen sich in der Nähe des Durchschnitts.

5.5.1 Errichtung

Es fällt auf, dass die Werte für GWP und PET sich mit wenigen Ausnahmen in einem Bereich bewegen. Der Einsatz von strombetriebenen Turmdrehkränen im Gegensatz zu den mit Diesel betriebenen Mobilkränen hat keine große Auswirkung auf das GWP. Im Geschossbau sind die erhöhten Werte von Projekt M1 und M5 eher auf die höheren Aufwandswerte als auf den Dieselbetrieb zurückzuführen (siehe auch Abbildung 5.4).

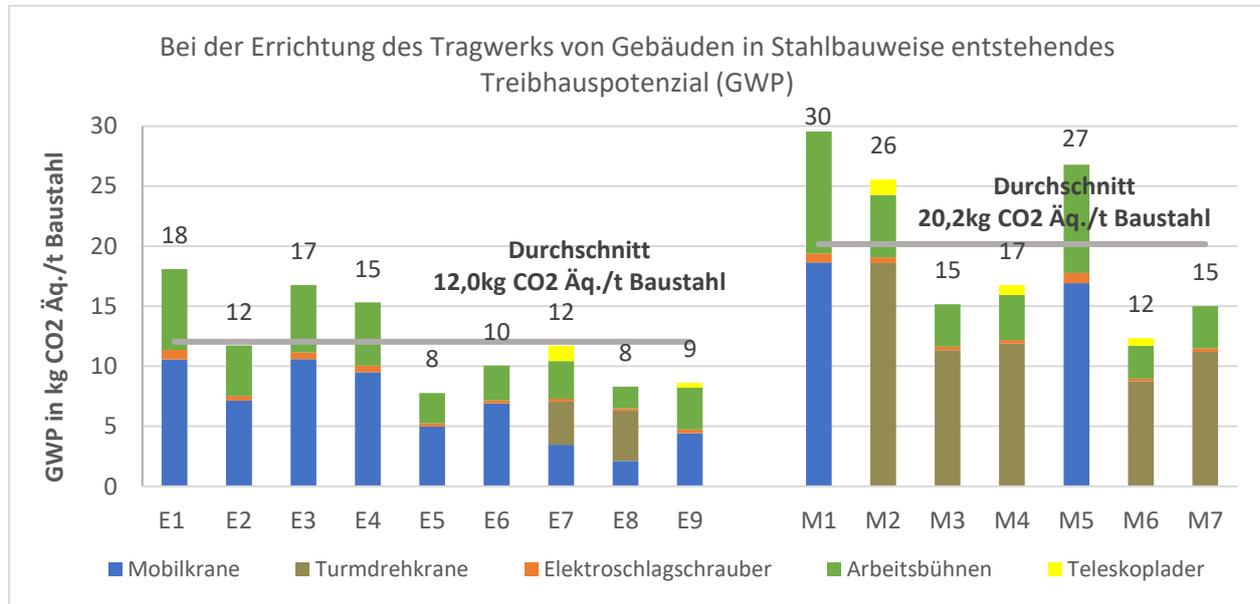


Abbildung 5.15 Treibhauspotenzial (GWP) für die Errichtung der betrachteten Projekte

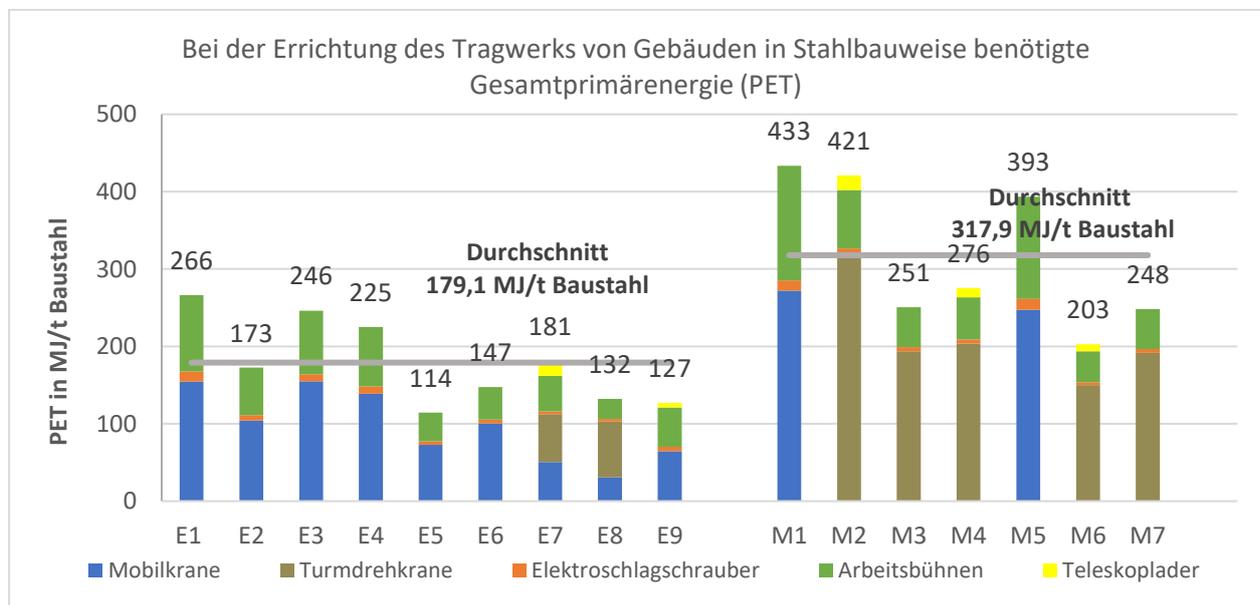


Abbildung 5.16 Gesamtprimärenergie (PET) für die Errichtung der betrachteten Projekte

Im Bereich der erneuerbaren Primärenergie haben die Projekte mit TDK Einsatz einen Vorteil, da sich der Anteil an Ökostrom aus dem deutschen Stromnetz hier direkt auswirkt (Abbildung 5.17). Negativ wirkt sich der deutsche Strommix beim Ozonschichtabbaupotenzial aus. Hier sind die Werte durch eingesetzte Kältemittel bei der Stromerzeugung in Kraftwerken erhöht (Abbildung 5.18).

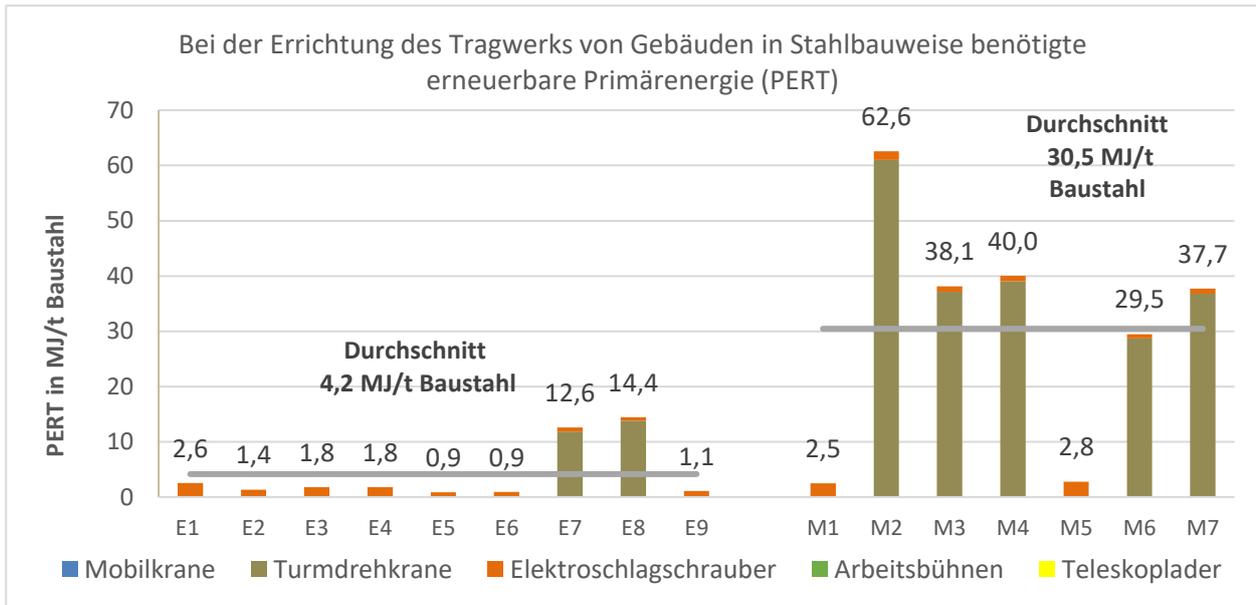


Abbildung 5.17 Erneuerbare Primärenergie (PERT) für die Errichtung der betrachteten Projekte

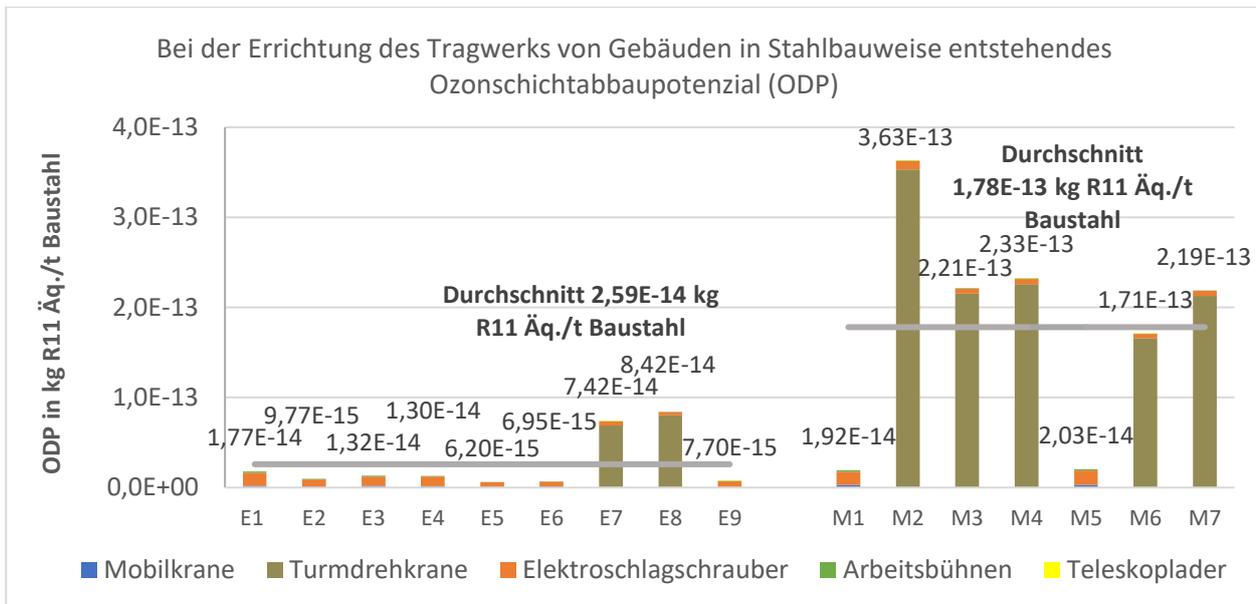


Abbildung 5.18 Ozonschichtabbaupotenzial (ODP) für die Errichtung der betrachteten Projekte

5.5.2 Abbruch

Die in Kapitel 5.4.2 gemachten Beobachtungen zu den erhöhten Aufwänden beim Abbruch von mehrgeschossigen Gebäuden zeigen Auswirkungen auf GWP und PET. Die Umweltwirkungen für den Abbruch von Geschossbauten sind ca. fünfmal höher als für Industrie- und Hallenbauten. Durch den ausschließlichen Einsatz von dieselbetriebenen Geräten und Schneidbrennern gibt es in keinem Fall einen Verbrauch an erneuerbarer Primärenergie.

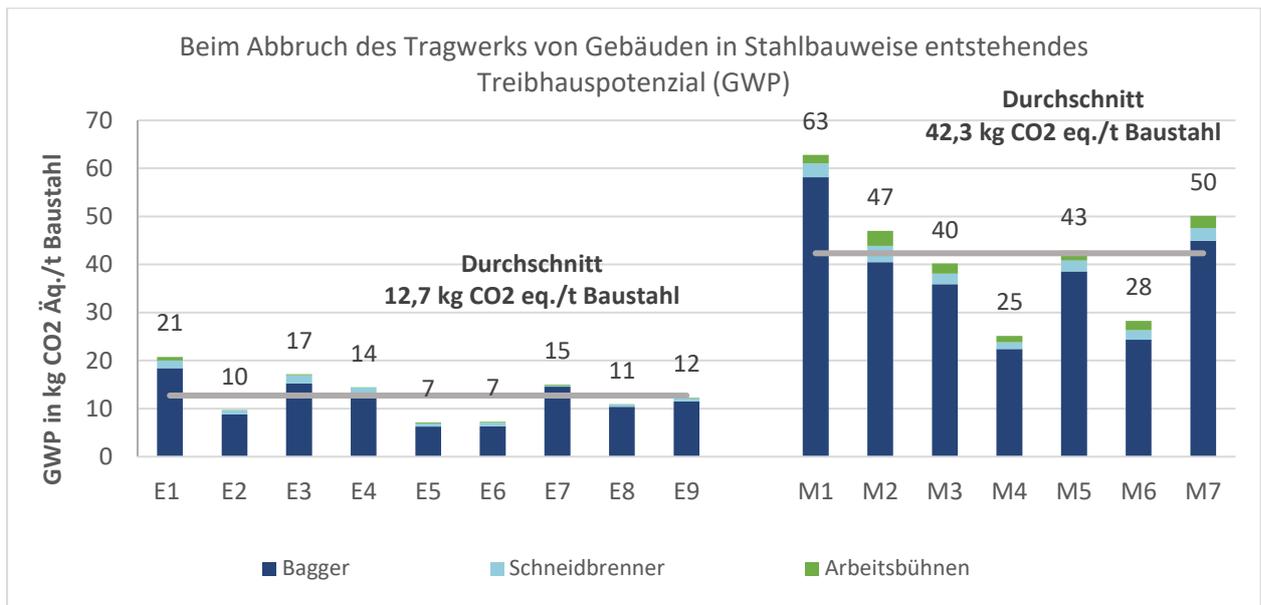


Abbildung 5.19 Treibhauspotenzial (GWP) für den Abbruch der betrachteten Projekte

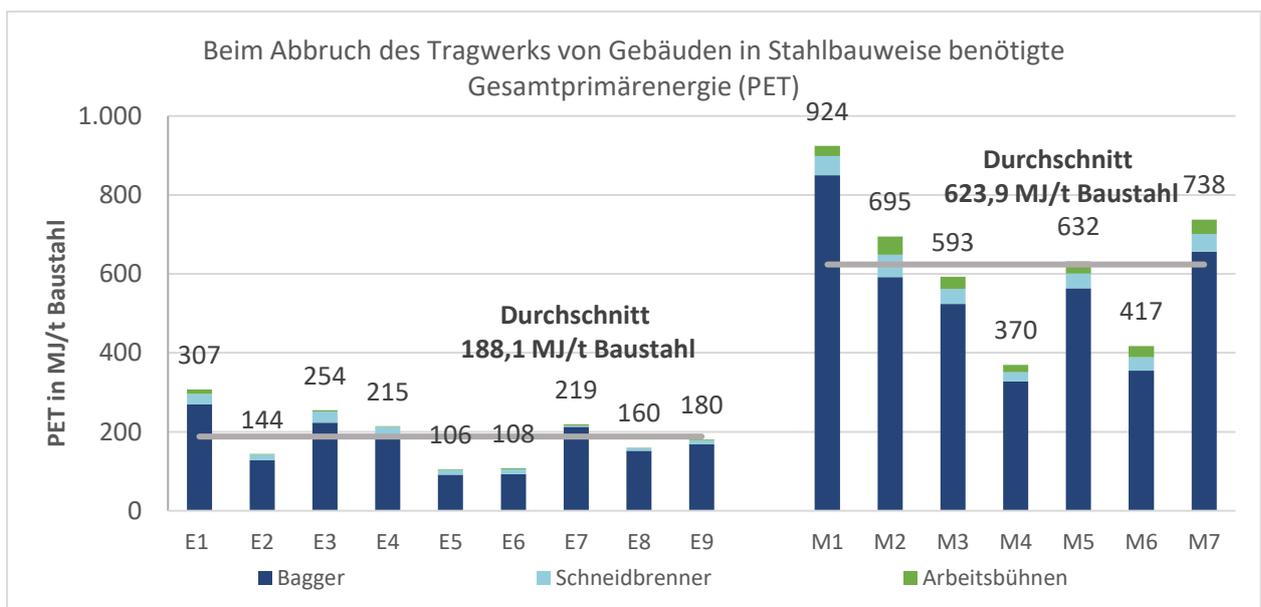


Abbildung 5.20 Gesamtprimärenergie (PET) für den Abbruch der betrachteten Projekte

Bei der Betrachtung des Ozonschichtabbaupotenzials (ODP) fallen die erhöhten Werte für den Schneidbrenner ins Auge. Grund hierfür ist der Kühlmiteleininsatz bei der Herstellung von Sauerstoff und Propan. Die Werte hierfür liegen aber im Durchschnitt noch deutlich unter denen für die Errichtung (vgl. Abbildung 5.21 und Abbildung 5.18).

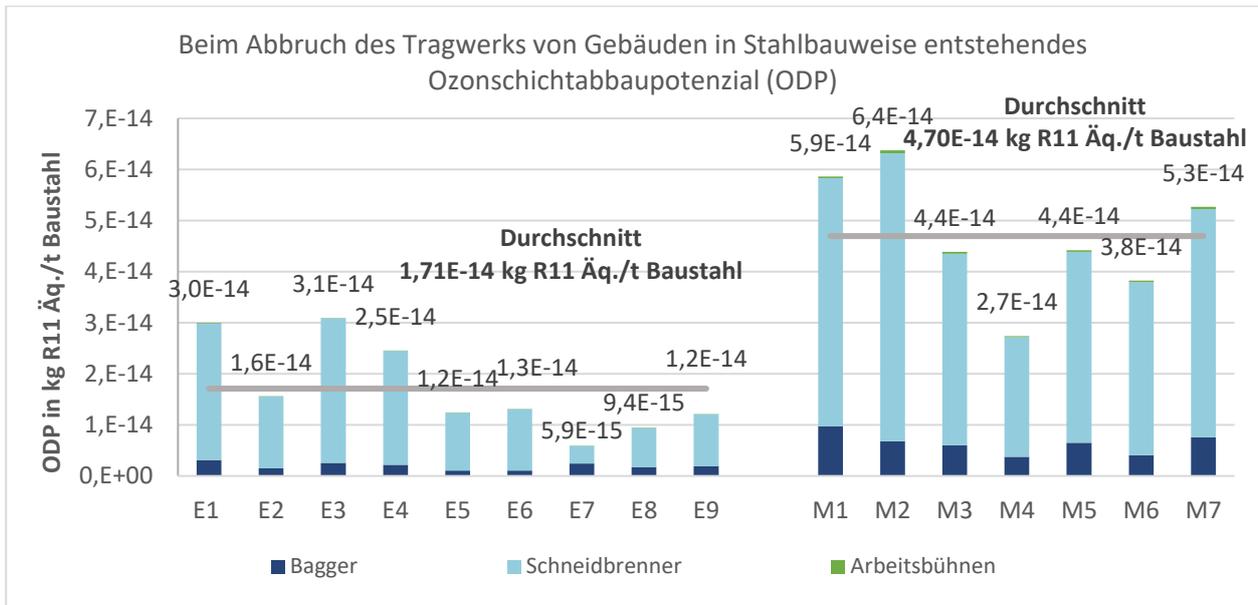


Abbildung 5.21 Ozonschichtabbaupotenzial (ODP) für den Abbruch der betrachteten Projekte

5.5.3 Rückbau

Die in Kapitel 5.4.2 gemachten Beobachtungen zu den leicht sinkenden Aufwänden beim Rückbau von Projekten mit steigender Tonnage zeigen ebenfalls Auswirkungen auf GWP und PET. Verteilung zwischen Mobilkränen und den anderen für den Rückbau nötigen Geräten ist in etwa gleich. Der typische Einsatz von Teleskoplädern zur Stabilisierung der Konstruktion bei der zerstörungsfreien Demontage führt zu leicht erhöhten Umweltwirkungen im Verhältnis zur Errichtung (Abbildung 5.22 und Abbildung 5.23).

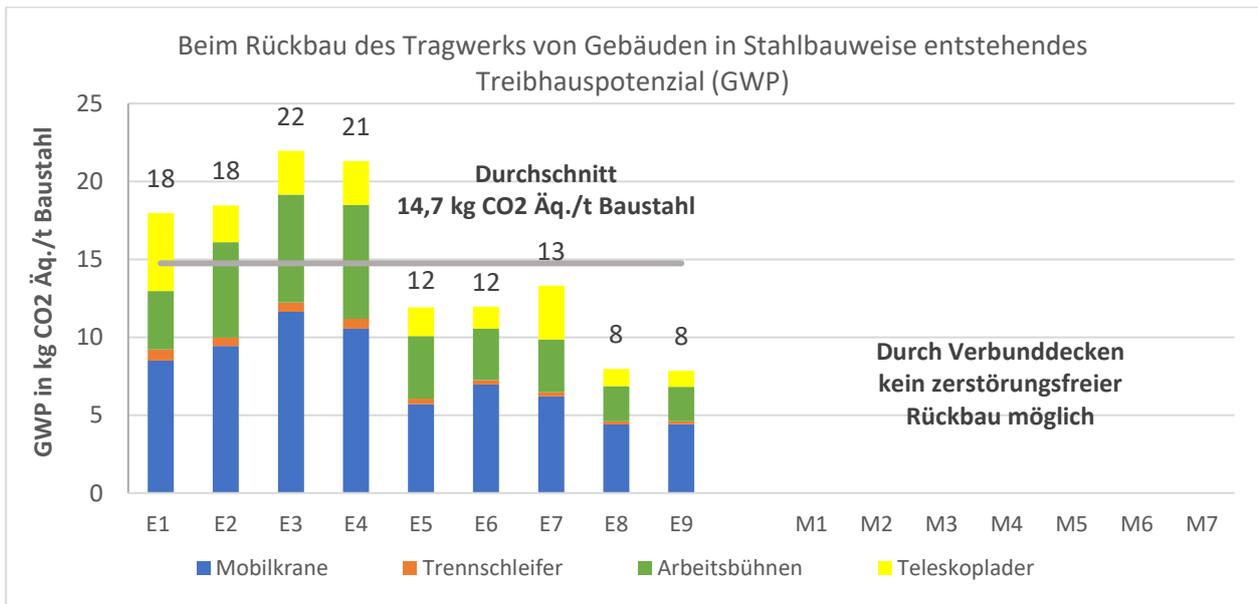


Abbildung 5.22 Treibhauspotenzial (GWP) für den Rückbau der betrachteten Projekte

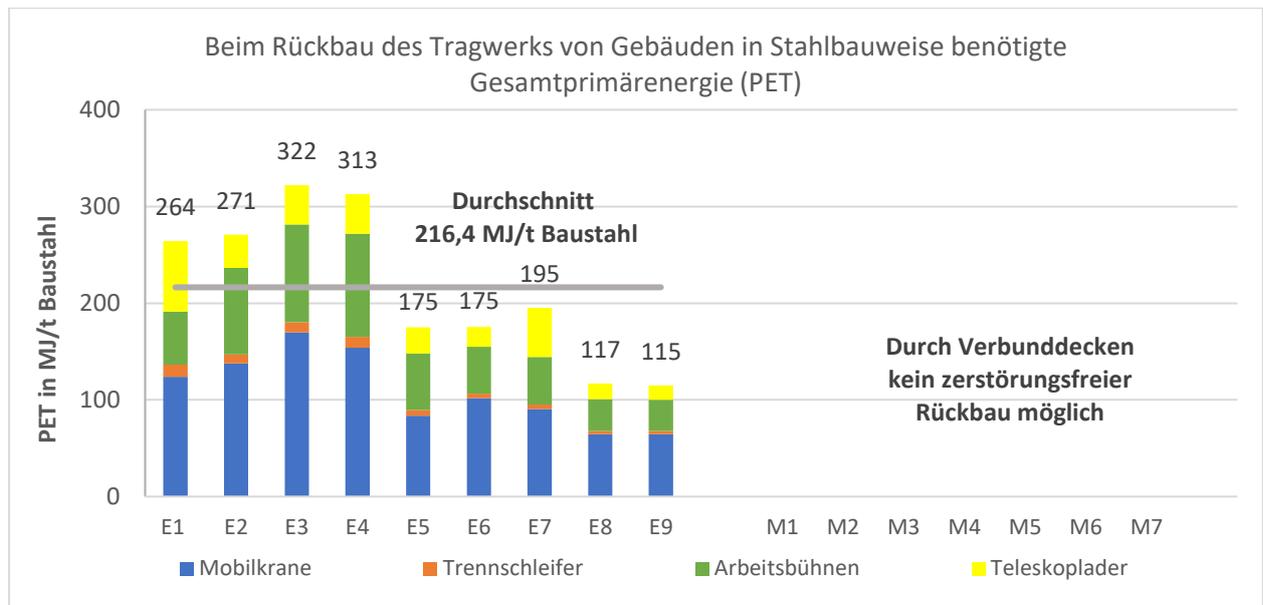


Abbildung 5.23 Gesamtprimärenergie (PET) für den Rückbau der betrachteten Projekte

Im Bereich der erneuerbaren Primärenergie wirkt sich die Verwendung von elektrisch betriebenen Trennschleifern aus, da der Anteil an Ökostrom aus dem deutschen Stromnetz hier einfließt (Abbildung 5.24). Negativ wirkt sich der deutsche Strommix beim Ozonschichtabbau aus. Hier sind die Werte durch eingesetzte Kältemittel bei der Stromerzeugung in Kraftwerken für die Trennschleifer erhöht (Abbildung 5.25).

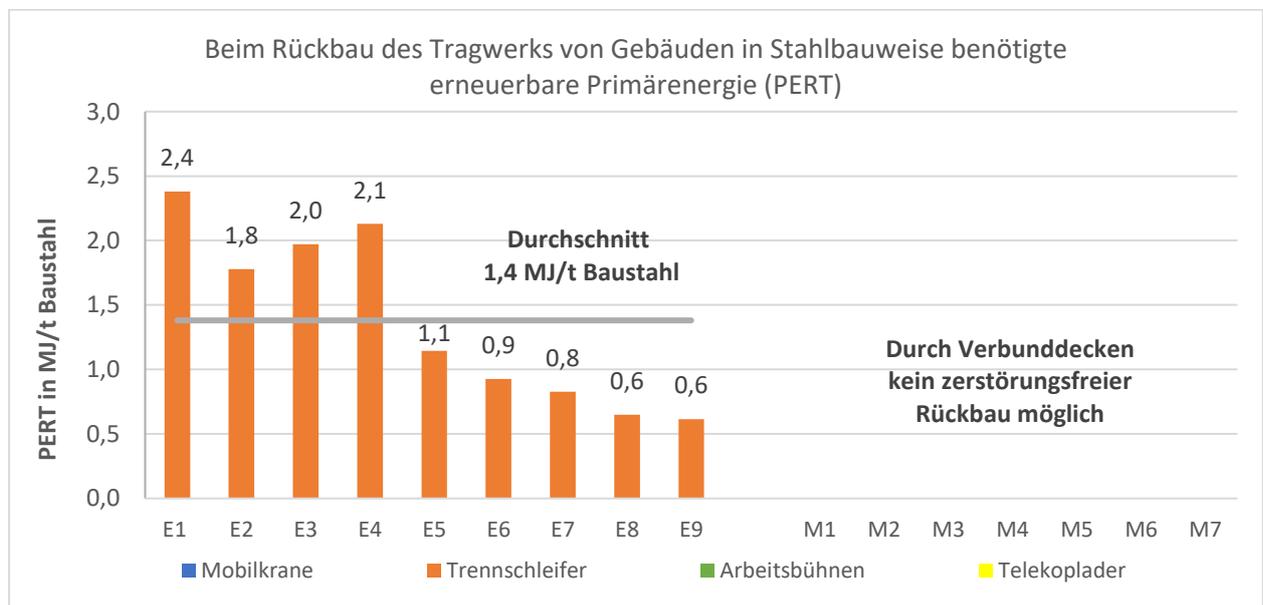


Abbildung 5.24 Erneuerbare Primärenergie (PERT) für den Rückbau der betrachteten Projekte

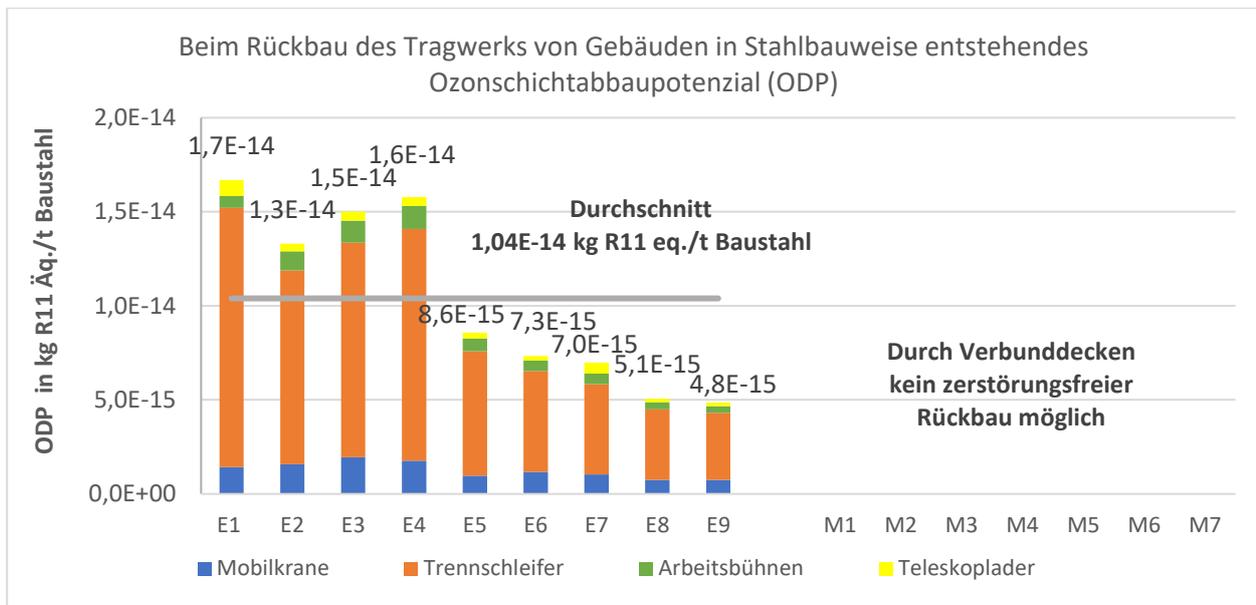


Abbildung 5.25 Ozonschichtabbaupotenzial (ODP) für den Rückbau der betrachteten Projekte

5.6 Auswertung und Ergebnisdarstellung der Ökobilanz

Abschließend werden nun die Ergebnisse der einzelnen Projekte der Datenbank zusammengefasst und ein Mittelwert für Industrie- und Hallenbau sowie Geschossbau gebildet. Aus den Voruntersuchungen in Kapitel 3 ist das für Europa geltende Verhältnis von 88 % Recycling zu 11 % Wiederverwendung¹⁴⁷ von Baustahlprodukten am Lebensende des Gebäudes bekannt (siehe auch Tabelle 2.2). Diese Zahlen gehen von einem Sammelverlust von 1 % aus. Trotzdem wird in der Realität die gesamte Stahlkonstruktion abgebrochen, wenn sie recycelt werden soll bzw. zurückgebaut, wenn eine Wiederverwendung stattfinden soll. Der Sammelverlust tritt erst später im Prozess auf. Um die volle Tonnage zu berücksichtigen, wird die Recyclingrate auf der sicheren Seite liegend auf 89 % angepasst. Nun lassen sich neben den einzelnen Werten für Abbruch und Rückbau auch ein allgemeiner Wert für Industrie- und Hallenbau und für den Geschossbau bilden. Konform mit der DIN EN 15804+A2 basieren diese Werte auf einem marktüblichen Szenario. Auch der nächste Schritt, in dem ein vollständiges Endergebnis aller ökobilanziellen Untersuchungen dieser Arbeit gebildet wird, soll auf den marktüblichen Verhältnissen von Industrie- und Hallenbau zu Geschossbau basieren. Daher werden die ebenfalls in Kapitel 3 für Deutschland ermittelten Marktanteile von 86 % Industrie- und Hallenbau und 14 % Geschossbau (siehe auch Abbildung 3.4) für die Verrechnung zugrunde gelegt. In Tabelle 5.12 sind die Ergebnisse aller ermittelten Umweltwirkungen aufgelistet und werden mit den Umweltwirkungen für die Stahlherstellung aus der EPD verglichen. Sie liegen über dem Abschneidekriterium, das in DIN EN 15804+A2 - 6.3.5 auf 1 % für PET festgelegt wurde (siehe auch Kapitel 2.3.5) und müssen somit in zukünftigen EPDs für Baustahlprodukte berücksichtigt werden. Werden die neu ermittelten Kennzahlen mit der Summe der bisher verfügbaren Lebenszyklusdaten von Baustahl – also die Module A1-A3 (Herstellung) + C3 (Abfallbewirtschaftung) + D (Recyclingpotenzial) – verglichen, so ist der Einfluss mit 4,2 % (GWP)

¹⁴⁷ (Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hrsg.), 2018)

und 4,9 % (PET) signifikanter. Bei der Ökobilanzerstellung wurden die in Kapitel 2.5 beschriebenen Grundlagen der Ökobilanzierung beachtet.

Tabelle 5.12 Ergebnisse der Ökobilanz mit Wirkungsabschätzung nach CML 2001 mit Berücksichtigung der Marktanteile von 86 % Industrie- und Hallenbau und 14 % Geschossbau sowie 89 % Abbruch und 11 % Rückbau

Umwelt- wirkungs- kategorie Modul und Bezeichnung nach DIN EN 15804+A2	GWP	PET	PERT	PENRT	ODP	POCP	AP	EP	ADPF	ADPE
	Einheit [kg CO2 Äq./t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[kg R11 Äq./t]	[kg C2H4 Äq./t]	[kg SO2 Äq./t]	[kg (PO4) ³ Äq./t]	[MJ/t]	[kg Sb Äq./t]
A5, Einbau in das Gebäude	13,2	198,5	7,8	190,7	4,72E-14	1,05E-02	1,01E-01	2,47E-02	177,8	1,42E-06
Vergleich zu A1-A3 Herstellung aus EPD¹⁴⁸	1,2 %	1,5 %	0,5 %	1,7 %	0 %	2,6 %	4,7 %	11,3 %	1,7 %	0,3 %
C1, Rückbau, Abriss	16,6	245,5	0,2	245,3	2,01E-14	1,36E-02	1,26E-01	4,14E-02	228,3	1,43E-06
Vergleich zu A1-A3 Herstellung aus EPD¹⁴⁹	1,5 %	1,9 %	0 %	2,1 %	0 %	3,4 %	5,8 %	14,5 %	2,2 %	0,3 %

Der Anteil an POCP, AP und EP liegt mit 3,4 % bis 14,5 % etwas höher als bei den übrigen Umweltwirkungskategorien. Hier wirkt sich vor allem aus, dass die motorbedingten Emissionen von Baumaschinen noch einen relevanten Anteil an Feinstaub- und Rußpartikeln haben und die im Einsatz befindlichen Baumaschinen und Dieselgeneratoren noch nicht die neusten Abgasgesetzgebungen erfüllen. Diese gelten ähnlich wie bei den Schadstoffklassen für PKW und LKW nur für neu in den Markt gebrachte Geräte. Die Abgasgesetzgebung für mobile Maschinen und Geräte erfolgt durch die EU-Verordnung 2016/1628. Erst seit Anfang 2019 gelten auch in Deutschland die Emissionsgrenzwerte der Stufe V. In der Leistungsklasse 56 kW bis 560 kW wurde die neue Abgasstufe ab 2020 eingeführt und verschärft auch bei diesen Maschinen die Grenzwerte für den Ausstoß von Dieselpartikeln. In Zukunft werden sich die Emissionen, die für die angesprochenen Umweltwirkungen verantwortlich sind, also verringern.

In Abbildung 5.26 und Abbildung 5.27 ist das Globale Erwärmungspotenzial und die benötigte Gesamtprimärenergie grafisch und tabellarisch dargestellt. Die vollständigen Ergebnisse für die übrigen Umweltwirkungskategorien befinden sich im Anhang V.

¹⁴⁸ (Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hrsg.), 2018)

¹⁴⁹ (Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hrsg.), 2018)

Ökobilanz

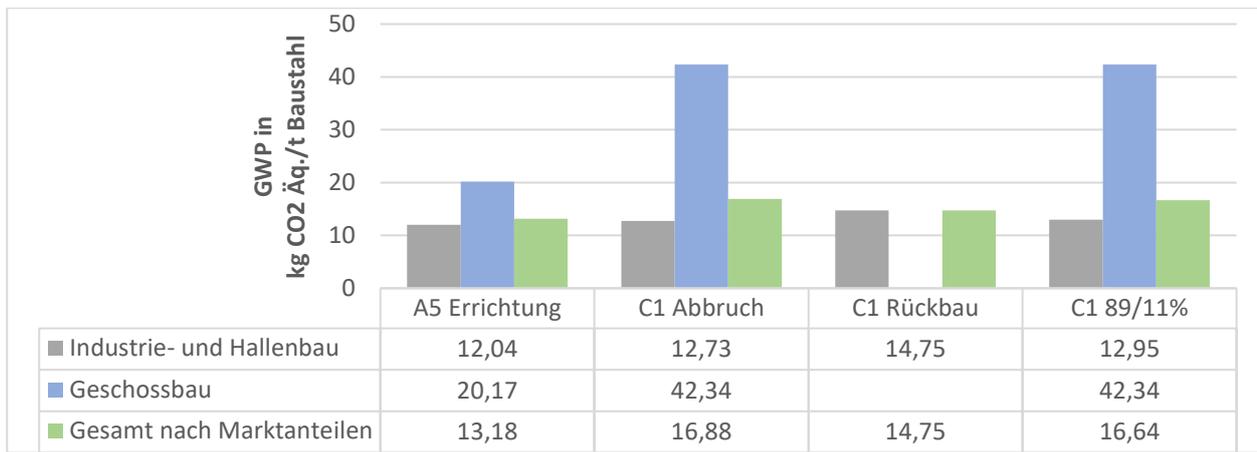


Abbildung 5.26 Treibhauspotenzial (GWP) für Baustahlkonstruktionen

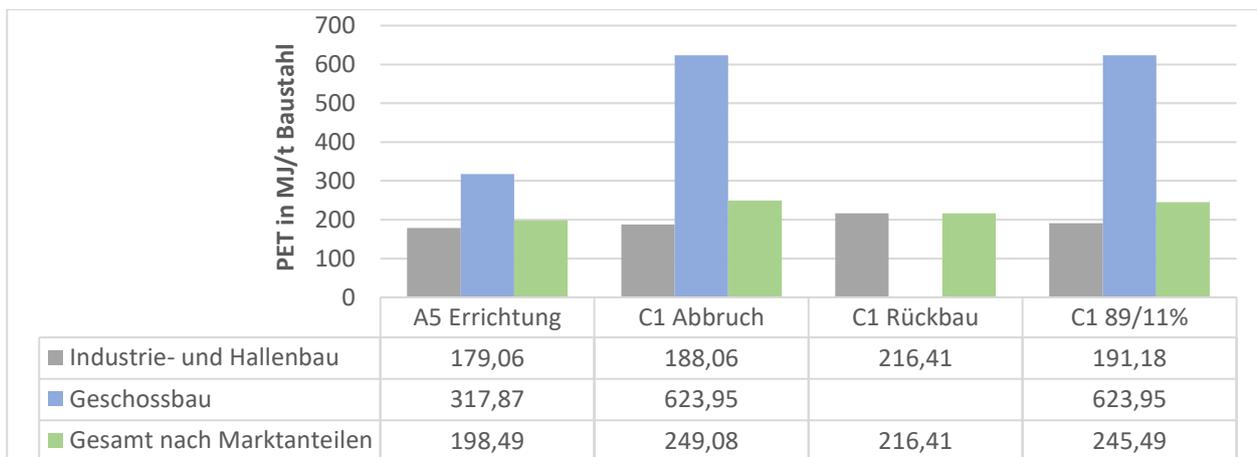


Abbildung 5.27 Gesamtprimärenergie (PET) für Baustahlkonstruktionen

6 Exkurs Fertigung: Ökobilanzierung des Schweißprozesses

Für die Prozesse bei der Vorfertigung von Bauelementen in der Stahlbauwerkstatt ist die Datenlage für eine Ökobilanz genauso dürftig wie für Errichtung und Rückbau – dem Thema dieser Forschungsarbeit (Kapitel 1.1). Um diesen Bereich trotzdem besser einschätzen zu können, werden hier zusätzliche Betrachtungen zum Bereich der Schweißtechnik gemacht (Abbildung 6.1). Die übrigen Fertigungsprozesse könnten Thema von zukünftigen Forschungsarbeiten sein (mehr dazu in Kapitel 8.3). Bei der ökobilanziellen Untersuchung der Schweißtechnik konnte der Autor besonders von der Mitarbeit am NA 092 DIN-Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS) - NA 092 BR-02 SO Sonderausschuss Nachhaltigkeit in der Fügetechnik profitieren. Aus diesem Ausschuss ist die DIN SPEC 35235 Nachhaltigkeit in der Schweißtechnik – Ökobilanzierung von Schweißverfahren – Anleitung und Beispiele hervorgegangen.

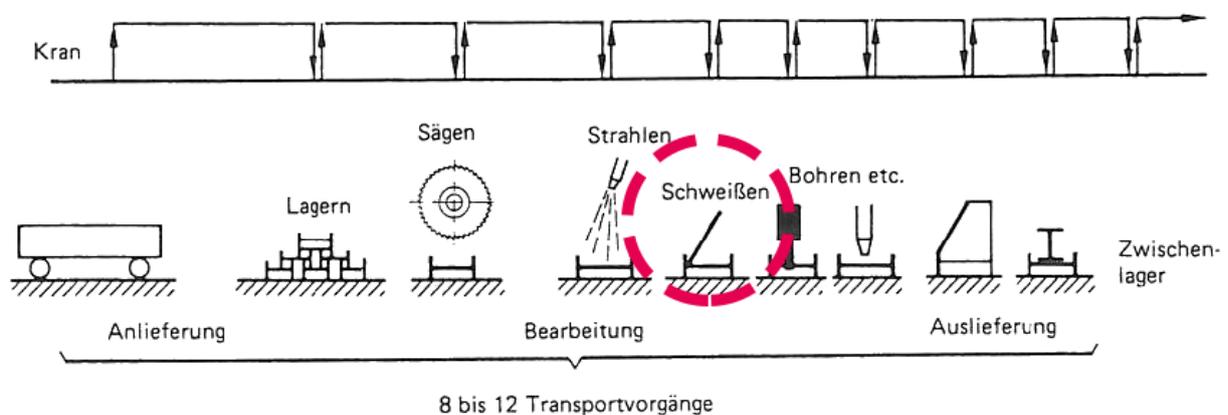


Abbildung 6.1 Schematische Darstellung der Vorgänge während der Werkstattfertigung im Stahlbau¹⁵⁰ (exklusive Beschichtung); der Bereich „Schweißen“ wird hier näher betrachtet.

Neben verschiedenen Schweißverfahren die vor allem im Maschinen- und Fahrzeugbau Anwendung finden konnte der Autor initiieren, dass mit dem unter anderem für das Normungsvorhaben entwickelten Versuchsaufbau der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) auch die im Stahlbau üblichen Kehlnähte im Metallschutzgasschweißverfahren (MSG) untersucht wurden. Die Grundlage für die Versuchsreihen waren die Schweißnähte aus drei beispielhaften Stahlbauprojekten. Es handelt sich hierbei um eine typische Hallenkonstruktion, ein einfaches dreigeschossiges Bürogebäude und ein sechsgeschossiges Bürogebäude^{151 152 153} (nähere Informationen zu den Tragwerken siehe Kapitel 7). Die Schweißnahtlängen und -dicken wurden aus den Werkstattplänen ermittelt und an die BAM geliefert. In Abstimmung mit dem Normungsgremium wurden die Schweißverbindungen der Kopfbolzendübel für die Verbundträger der Geschossbauten als umlaufende 3mm Kehlnähte angenommen (Tabelle 6.1). In der Praxis werden Kopfbolzendübel durch das Bolzenschweißen

¹⁵⁰ Angepasste Grafik von (Petzschmann & Skufca, 2000) Abb. 1-1

¹⁵¹ (Siebers, Hauke, Pyschny, Feldmann, & Kuhnhenne, 2014)

¹⁵² (Siebers, Hubauer, Lange, & Hauke, 2012)

¹⁵³ (Hauke & Siebers, 2011)

Exkurs Fertigung: Ökobilanzierung des Schweißprozesses

mit dem Stahlträger verbunden. Nach Versuchsdurchführung durch die BAM wurden die Ökobilanzergebnisse für diese Forschungsarbeit zur Verfügung gestellt. Im Folgenden werden der Versuchsaufbau und die Ökobilanzergebnisse kurz dargestellt.

Tabelle 6.1 Schweißnähte für die drei Mustergebäude (detaillierte Informationen zu den Mustergebäuden in Kapitel 7)

	Halle	3-stöckiger Geschossbau	6-stöckiger Geschossbau
a-Maß Kehlnaht	Länge Schweißnähte		
[mm]	[m]		
3	13,1	63,3	110,3
4	103,6	128,9	265,4
5	46,2	13,0	58,5
6	14,96	-	-
7	4,84	-	-
8	26	-	-
Gesamtlänge:	208,7	205,5	434,1

6.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau und das genaue Vorgehen bei der Ökobilanzierung der BAM sind in einigen Veröffentlichungen der am NA 092 BR-02 SO mitwirkenden Wissenschaftler detailliert beschrieben.^{154 155 156} Aus diesem Grund wird an dieser Stelle nur das prinzipielle Vorgehen erläutert. Die Abbildung 6.2 zeigt die gewählte Systemgrenze für die Ökobilanz.

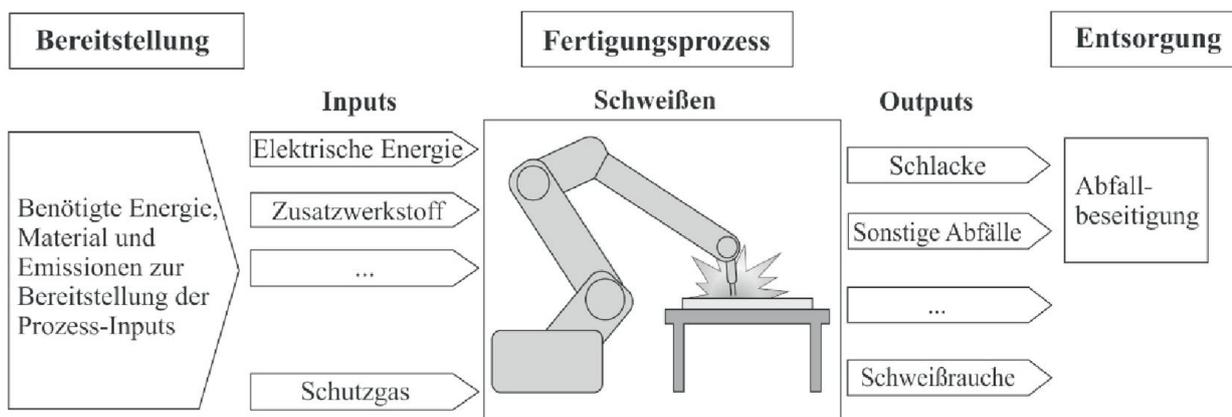


Abbildung 6.2 Systemgrenze der Ökobilanz für Schweißprozesse¹⁵⁷

¹⁵⁴ (Sproesser, Chang, Pittner, Finkbeiner, & Rethmeier, Sustainable Technologies for Thick Metal Plate Welding, 2017)

¹⁵⁵ (Sproesser, Chang, Pittner, Finkbeiner, & Rethmeier, Energy efficiency and environmental impacts of high power gas metal arc welding, 2017)

¹⁵⁶ (Sproesser, Chang, Pittner, Finkbeiner, & Rethmeier, Environmental energy efficiency of single wire and tandem gas metal arc welding, 2017)

¹⁵⁷ Grafik übersetzt aus (Sproesser, Chang, Pittner, Finkbeiner, & Rethmeier, Sustainable Technologies for Thick Metal Plate Welding, 2017) S. 74

Bei dem Versuchsaufbau wird mit einer zentralisierten Steuerungsumgebung und Datenerfassung gearbeitet, durch die alle Prozessgrößen (Strom, Spannung, Drahtvorschub, Gasfluss) sowie die Wirkleistung der Stromquelle (Aufnahme aus Stromnetz → Energieverbrauch) und die Erfassung der geometrischen Kenngrößen (Fuge, Schweißnahtdicke = a-Maß) erfolgen. Um alle bei den oben genannten Stahlkonstruktionen vorkommenden Schweißnahtdicken abzudecken, wurden Schweißversuche für die a-Maße von 3-8 mm durchgeführt. Die Abbildung 6.3 zeigt den schematischen Versuchsaufbau zur Messung der Prozessgrößen, die als Sachbilanzdaten in die Ökobilanz eingehen.

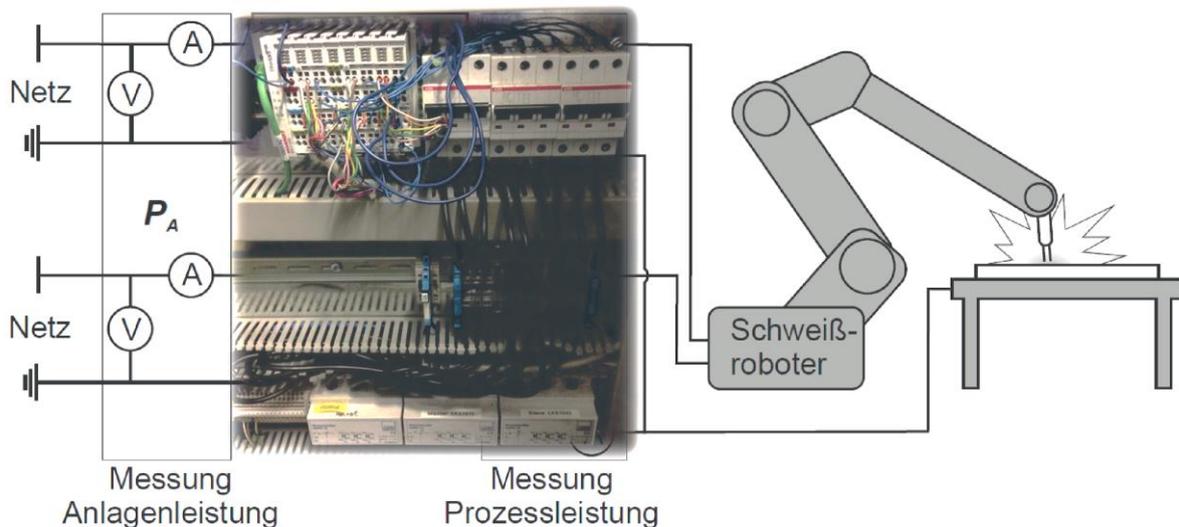


Abbildung 6.3 Schematischer Aufbau zur Messung der Prozessgrößen/Sachbilanzdaten für die Ökobilanzierung von Schweißprozessen¹⁵⁸

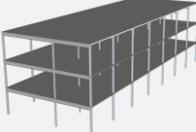
6.2 Ergebnisse - Schweißtechnik

Durch Anbindung der zentralisierten Steuerungsumgebung und Datenerfassung an die – auch für die Ökobilanzierung in dieser Arbeit verwendeten – Gabi-Datenbank¹⁵⁹ (siehe auch Kapitel 5.2) werden sofort nach der Versuchsdurchführung die Ergebnisse für die verschiedenen Wirkungskategorien ausgegeben. Den größten Einfluss haben hierbei die benötigte Menge des Schweißdrahts und der Stromverbrauch. Für die insgesamt 208,7 m Schweißnahtlänge der Hallenkonstruktion werden z.B. 10,5 kg Schweißdraht ($\varnothing=1,2$ mm) benötigt. Das entspricht einer Drahtlänge von ca. 1183 m. Es werden 37,4 kWh Strom aus dem Netz entnommen. Die 13 kg als Schutzgas eingesetztes Argon haben nur minimalen Einfluss auf die Ökobilanz und der Energiegehalt des Gases fällt unter die erneuerbare Primärenergie (PERT). Tabelle 6.2 zeigt die Ergebnisse für die drei Mustergebäude sowie den Mittelwert für eine Tonne Baustahlkonstruktion. Die hier dargestellten Ökobilanzdaten werden in Kapitel 7 anhand von Ökobilanzen auf Tragwerksebene mit den Umweltwirkungen für Herstellung und Errichtung sowie Rückbau verglichen.

¹⁵⁸ Grafik vereinfacht und übersetzt aus (Sproesser, Chang, Pittner, Finkbeiner, & Rethmeier, Energy efficiency and environmental impacts of high power gas metal arc welding, 2017)

¹⁵⁹ (thinkstep AG, 2018)

Tabelle 6.2 Ökobilanzergebnisse für die Schweißtechnik verschiedener Mustergebäude nach CML 2001

	GWP	PET	PERT	PENRT	ODP	POCP	AP	EP	ADPF	ADPE
Einheit	[kg CO2 Äq./t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[kg R11 Äq./t]	[kg C2H4 Äq./t]	[kg SO2 Äq./t]	[kg (PO4) ³ Äq./t]	[MJ/t]	[kg Sb Äq./t]
Halle 	2,39	181	169	12	4,78E-09	4,68E-04	4,35E-03	5,25E-04	0	1,57E-06
3-stöckiger Geschossbau 	0,95	67	62	4	2,07E-09	1,88E-04	1,71E-03	2,10E-04	0	3,56E-07
6-stöckiger Geschossbau 	1,36	97	90	6	2,95E-09	2,69E-04	2,46E-03	3,00E-04	0	5,17E-07
Mittelwert	1,57	115	107	7	3,26E-09	3,08E-04	2,84E-03	3,45E-04	0	8,13E-07

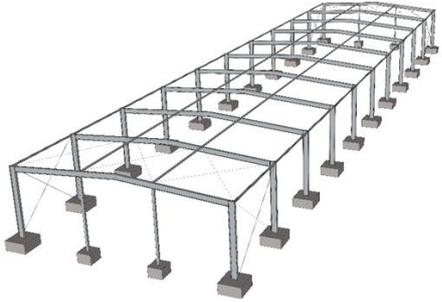
7 Anwendungsbeispiele

Als Anwendungsbeispiele und um Erkenntnisse über die Auswirkungen der in dieser Arbeit ermittelten Ökobilanzdaten im Verhältnis zum gesamten Lebenszyklus einer Stahlkonstruktion zu erlangen, werden im Folgenden drei verschiedenen Mustergebäude ökobilanziell untersucht. Der Vorteil der Nutzung dieser Beispiele ist, dass sie aus früheren Studien des Autors gemeinsam mit der RWTH Aachen (Typenhalle¹⁶⁰, 6-stöckiger Geschossbau¹⁶¹) bzw. der TU Darmstadt (3-stöckiger Geschossbau¹⁶²) stammen und so ein Zugriff auf alle erforderlichen Informationen (Bauteilmassen, Pläne etc.) gegeben ist. Die Mustergebäude basieren auf in der Realität häufig vorkommenden Gebäudetypen. In diesen Studien stand der Vergleich von verschiedenen Bauweisen mit gleicher Funktionalität im Vordergrund. Nun werden jedoch nur die Stahlbauvarianten betrachtet. Der Fokus liegt darauf, die Einflüsse der neu ermittelten Daten einschätzen zu können. Zusätzlich werden die Aufwendungen für die Schweißtechnik aus dem Exkurs in Kapitel 6 und der Transport zur Baustelle ermittelt und verglichen.

7.1 Halle

Das Hallentragwerk basiert auf den typengeprüften Musterstatiken für kleine und mittelgroße Stahlhallen, die bauforumstahl kostenfrei zur Verfügung stellt.¹⁶³ Die Konstruktion des Tragwerkes einer Halle kann mit unterschiedlichen statischen Systemen erfolgen. Betrachtet wird hier die Stahlhalle als Zweigelenkrahmen mit biegesteifen Rahmenecken und Blockfundamenten. In Tabelle 7.1 sind die wichtigsten Informationen zur Hallenkonstruktion enthalten.

Tabelle 7.1 Eigenschaften der Hallenkonstruktion

	<ul style="list-style-type: none"> • Spannweite 15 m • Traufhöhe 5 m • Dachneigung 5° • Binderabstand 6 m • Schneelast 0,75 kN/m² • Länge 60 m • Bruttogrundfläche 900 m² • Baustahltonnage 21,35 t • Schweißtechnik siehe Tabelle 6.1
	Baustahl S 355
Stützen	IPE 400
Binder	IPE 360

¹⁶⁰ (Kuhnhenne, Döring, & Pyschny, 2010) und (Hauke & Siebers, 2011)

¹⁶¹ (Siebers, Hauke, Pyschny, Feldmann, & Kuhnhenne, 2014)

¹⁶² (Siebers, Hubauer, Lange, & Hauke, 2012)

¹⁶³ (bauforumstahl e.V., 2016)

Tabelle 7.2 Umweltwirkungen für den Lebenszyklus des Stahltragwerks einer typischen Halle (absolut und prozentual bezogen auf den Gesamtwert)

	GWP	PET		PERT		PENRT		ODP		POCP		AP		EP		
		[kg CO2 Äq./t]	[MJ/t]	[%]	[MJ/t]	[%]	[MJ/t]	[%]	[kg R11 Äq./t]	[%]	[kg C2H4 Äq./t]	[%]	[kg SO2 Äq./t]	[%]	[kg (PO4)3 Äq./t]	[%]
A1-A3	Herstellung	24.126	277.977	125,5	32.452	86,2	245.525	133,5	4,18E-08	0,1	8,58	189,4	46,12	127,2	4,68	92,7
	Schweißen	51	3.857	1,7	3.611	9,6	246	0,1	1,02E-07	0,3	0,01	0,2	0,09	0,3	0,01	0,2
A4	Transport zur Baustelle	766	10.933	4,9	617	1,6	10.316	5,6	3,52E-13	0,0	-0,63	-13,9	1,87	5,1	0,45	8,9
A5	Errichtung	281	4.238	1,9	167	0,4	4.070	2,2	1,01E-12	0,0	0,22	4,9	2,15	5,9	0,53	10,5
C1	Rückbau/Abbruch	355	5.241	2,4	3	0,0	5.238	2,8	4,29E-13	0,0	0,29	6,4	2,68	7,4	0,68	13,5
C2	Transport zum Recycling	191	2.733	1,2	154	0,4	2.579	1,4	8,80E-14	0,0	-0,16	-3,5	0,47	1,3	0,11	2,2
C3+D	Recyclingpotenzial	-8.778	-83.416	-37,6	656	1,7	-84.072	-45,7	3,46E-05	99,6	-3,79	-83,7	-17,10	-47,2	-1,41	-27,9
A1-D	Gesamt	16.993	221.563	100	37.660	100	183.903	100	3,47E-05	100	4,53	100	36,26	100	5,04	100

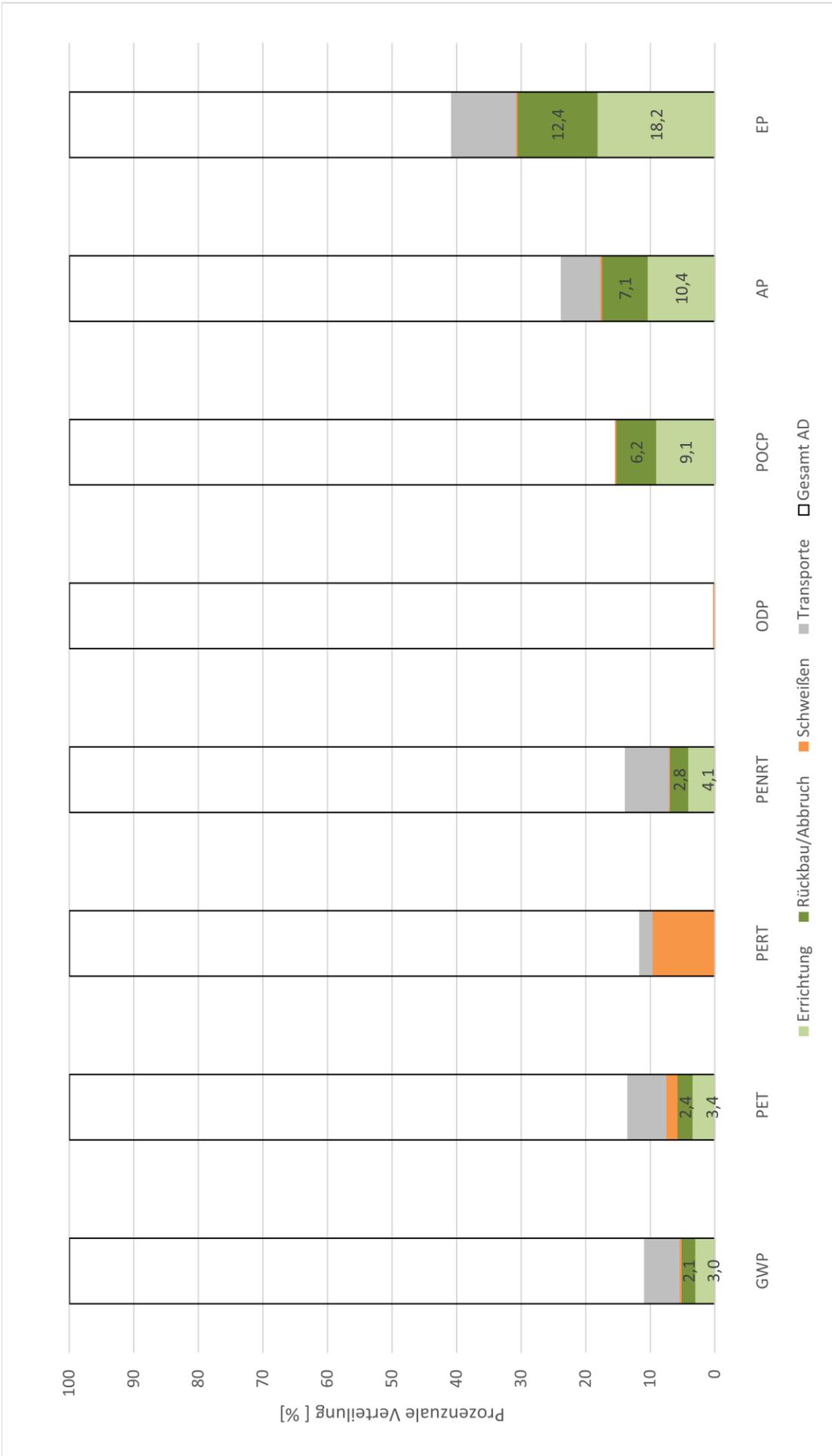


Abbildung 7.1 Prozentuale Verteilung der Umweltwirkungen für die Lebenszyklusabschnitte des Stahltragwerks einer typischen Hallenkonstruktion

Anwendungsbeispiele

Tabelle 7.2 zeigt die Umweltwirkungen, die während des Lebenszyklus des Stahltragwerks einer typischen Halle entstehen. Neben der Gesamtsumme sind die Werte für die einzelnen Lebensabschnittsmodule nach DIN EN 15804+A2 bzw. DIN EN 15978 angegeben. Die Module für Abfallbehandlung zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling C3 und das Wiederverwendungs- und Recyclingpotenzial als Gutschriften D wurden vereinfachend zusammengefasst, da sie bei Stahlprodukten eng verbunden sind. Für die Transporte wurden als Durchschnittswerte 400km vom Werk zur Baustelle und 100km für Recycling und Wiederverwendung angesetzt. Auf der sicheren Seite liegend wird ein Transport per LKW (EURO 5) mit 20-26 t zulässigem Gesamtgewicht und 17,3 t Nutzlast im Speditionsverkehr mit 85 % Auslastung angesetzt. Die Umweltwirkungen für LKWs mit größerer Nutzlast sind pro Tonne etwas geringer. Die Gewinnung und Aufbereitung des Treibstoffes sind einbezogen. Die Herstellung des Fahrzeugs ist nicht in der Bilanz enthalten (Hintergrunddaten siehe auch Kapitel 5.2). Diese Werte werden zurzeit in CEN/TC 135 WG 17 "Product category rules complementary to EN 15804 for Steel and Aluminium structural products for use in construction works" diskutiert und stellen den aktuellen Stand der Expertenmeinungen dar, könnten in Zukunft aber angepasst werden. Für Errichtung und Abbruch/Rückbau werden die neu ermittelten Gesamtwerte aus Tabelle 5.12 verwendet.

In Tabelle 7.2 und Abbildung 7.1 ist deutlich zu sehen, dass die Anteile der Errichtung und des Rückbaus bzw. Abbruchs bei GWP und PET mit 1,7 bis 2,4 % recht gering sind. Sie liegen jedoch noch deutlich über dem Abschneidekriterium, das in DIN EN 15978¹⁶⁴ festgelegt wurde. Diese Norm bezieht sich in Abschnitt 9.4.3 auf die DIN EN 15804 - 6.3.5 in der das Kriterium auf 1 % festgelegt ist (siehe auch Kapitel 2.3.5). Zusammen ist das GWP vergleichbar mit einer 2920 km langen PKW fahrt¹⁶⁵. Die Einflüsse auf das ODP sind verschwindend gering, allerdings gilt das für alle Module außer dem Modul D. Die hohen Werte in diesem Bereich stammen aus dem internationalen Strommix, der in der genutzten EPD¹⁶⁶ für das Recycling angesetzt wurde. Hier ist noch ein erheblicher Anteil an Atomstrom enthalten, der für den erhöhten Wert beim OPD sorgt. Der Anteil an POCP, AP und EP liegt mit 4,9 % bis 13,5 % etwas höher als bei den übrigen Umweltwirkungskategorien. Hier wirkt sich vor allem aus, dass die Emissionen von Baumaschinen noch einen relevanten Anteil an Feinstaub- und Rußpartikeln haben (Erläuterung siehe Kapitel 5.6). Die Schweißtechnik (siehe Kapitel 6) spielte in der Gesamtbilanz für das Tragwerk einer Halle in Stahlbauweise mit 0,3 % am GWP und 1,7 % an der PET eher eine untergeordnete Rolle. Das Schweißen tritt aber bei der erneuerbaren Primärenergie mit einem Anteil von 9,6 % in den Vordergrund. Hier wirkt sich aus, dass der Energiegehalt des als Schutzgas verwendeten Argon nach CML 2001 als erneuerbar eingestuft ist.

¹⁶⁴ (DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), 2012)

¹⁶⁵ Errechnet mit dem CO₂-Rechner (Umweltbundesamt, 2020)

¹⁶⁶ (Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hrsg.), 2018)

Tabelle 7.2 Umweltwirkungen für den Lebenszyklus des Stahltragwerks einer typischen Halle (absolut und prozentual bezogen auf den Gesamtwert)

	GWP	PET	PERT	PENRT	ODP	POCP	AP	EP
	[kg CO2 Äq./t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[kg R11 Äq./t]	[kg C2H4 Äq./t]	[kg SO2 Äq./t]	[kg (PO4) ³ Äq./t]
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
A1-A3	24.126	277.977	32.452	245.525	4,18E-08	8,58	46,12	4,68
	142,0	125,5	86,2	133,5	0,1	189,4	127,2	92,7
	0,3	3.857	3.611	246	1,02E-07	0,01	0,09	0,01
A4	766	10.933	617	10.316	3,52E-13	-0,63	1,87	0,45
	4,5	4,9	1,6	5,6	0,0	-13,9	5,1	8,9
A5	281	4.238	167	4.070	1,01E-12	0,22	2,15	0,53
	1,7	1,9	0,4	2,2	0,0	4,9	5,9	10,5
C1	355	5.241	3	5.238	4,29E-13	0,29	2,68	0,68
	2,1	2,4	0,0	2,8	0,0	6,4	7,4	13,5
C2	191	2.733	154	2.579	8,80E-14	-0,16	0,47	0,11
	1,1	1,2	0,4	1,4	0,0	-3,5	1,3	2,2
C3+D	-8.778	-83.416	656	-84.072	3,46E-05	-3,79	-17,10	-1,41
	-51,7	-37,6	1,7	-45,7	99,6	-83,7	-47,2	-27,9
A1-D	16.993	221.563	37.660	183.903	3,47E-05	4,53	36,26	5,04
	100	100	100	100	100	100	100	100

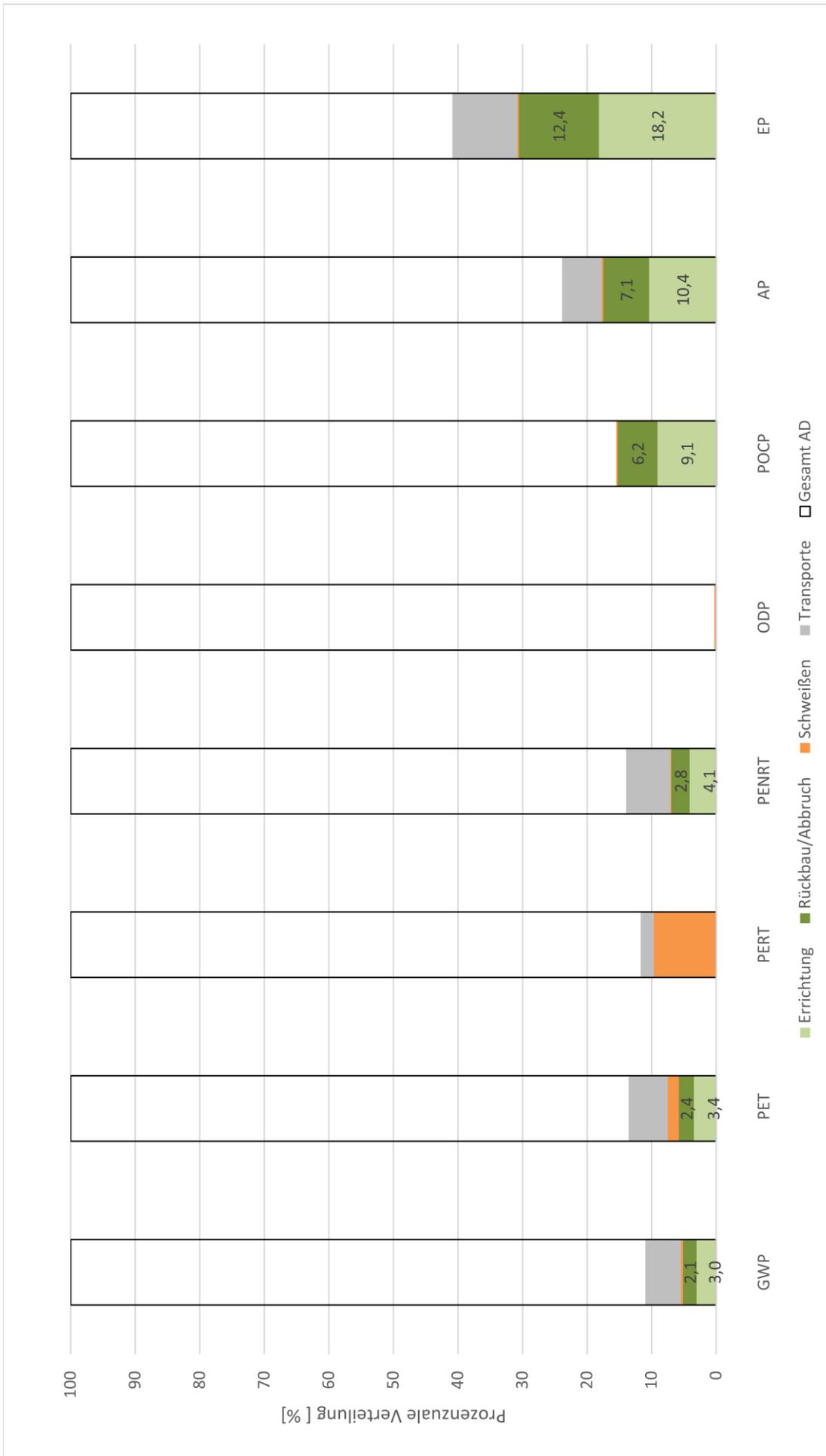
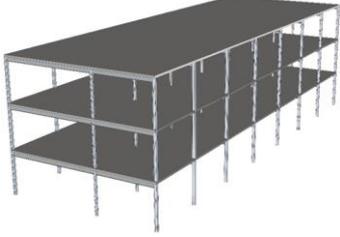


Abbildung 7.1 Prozentuale Verteilung der Umweltwirkungen für die Lebenszyklusabschnitte des Stahltragwerks einer typischen Hallenkonstruktion

7.2 Dreigeschossiges Bürogebäude

Um Erkenntnisse zu den Baukosten für mittelgroße Bürogebäude zu erlangen, wurden in der FOSTA Studie P826 – durchgeführt von der TU Darmstadt – verschiedene Konstruktionsarten untersucht. Im Vordergrund stand hier vor allem der Kostenvergleich unter Einbeziehung des Brandschutzes. Aufbauend auf den in dieser Studie entwickelten vergleichbaren Mustergebäuden wurde ein ökobilanzieller Vergleich der verschiedenen Bauweisen erstellt.¹⁶⁷ An dieser Stelle wird allerdings nur die Variante in Stahlverbundbauweise ökobilanziell untersucht. In Tabelle 7.3 sind die wichtigsten Informationen zu dem beispielhaften Geschossbau enthalten.

Tabelle 7.3 Eigenschaften des dreigeschossigen Bürogebäudes

	<ul style="list-style-type: none"> • Abmessungen: 34,80 x 12,40 m • Geschosshöhe: 3,47 m • Bruttogeschossfläche: 1351 m² • Baustahltonnage: 28,9 t • Schweißtechnik siehe Tabelle 6.1
	Baustahl S 235 - S460
Durchlaufstützen	HEB200, HEM160
Verbundträger	HEA160, IPE 300, IPE 330

Die folgende Tabelle 7.4 zeigt die Umweltwirkungen, die während des Lebenszyklus des Stahltragwerks des Geschossbaus entstehen. Neben der Gesamtsumme sind die Werte für die einzelnen Lebensabschnittsmodule nach DIN EN 15804+A2 bzw. DIN EN 15978 angegeben. Die Module für Abfallbehandlung zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling C3 und das Wiederverwendungs- und Recyclingpotenzial als Gutschriften D wurden wie bei der Ökobilanz der Halle zusammengefasst. Ebenfalls wurden die gleichen Ansätze für den Baustoff- und Schrottransport gewählt. Für Errichtung und Abbruch werden hier jedoch die nur für den Geschossbau geltenden Werte aus Tabelle A43 verwendet. In Tabelle 7.4 und Abbildung 7.2 ist deutlich zu sehen, dass die Anteile der Errichtung und des Abbruchs dadurch bei GWP und PET mit 2,4 bis 5,8 % etwas höher sind als beim Hallenbau. Zusammen sind sie vom Treibhauspotenzial vergleichbar mit einem achtstündigen Flug in der Business Class innerhalb von Europa (z.B. Düsseldorf - Fuerteventura hin und zurück)¹⁶⁸. Die Einflüsse auf das ODP sind auch hier verschwindend gering, Der Anteil an POCP, AP und EP ist mit 5,9 % bis 27,7 % recht hoch. Hier wirkt sich der erhöhte Baggereinsatz beim Abbruch von Geschossbauten aus (Erläuterung siehe Kapitel 5.6). Die Schweißtechnik (siehe Kapitel 6) spielte in der Gesamtbilanz auch hier eine untergeordnete Rolle und hat mit 0,1 % nahezu keinen Einfluss, tritt aber bei der erneuerbaren Primärenergie auch etwas in den Vordergrund.

¹⁶⁷ (Siebers, Hubauer, Lange, & Hauke, 2012)

¹⁶⁸ Errechnet mit dem CO₂-Rechner (Umweltbundesamt, 2020)

Tabelle 7.4 Umweltwirkungen für den Lebenszyklus des Stahltragwerks eines dreigeschossigen Bürogebäudes (absolut und prozentual bezogen auf den Gesamtwert)

	GWP	PET		PERT		PENRT		ODP		POCP		AP		EP			
		[kg CO2 Äq./t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[kg R11 Äq./t]	[kg C2H4 Äq./t]	[kg SO2 Äq./t]	[kg (PO4)3 Äq./t]	[kg (PO4)3 Äq./t]	[%]	[%]			
A1-A3	Herstellung	32.663	136,6	376.346	121,0	43.936	90,5	332.410	126,6	5,67E-08	0,1	11,62	169,9	62,44	111,7	6,33	74,5
	Schweißen	27	0,1	1.927	0,6	1.800	3,7	127	0,0	5,98E-08	0,1	0,01	0,1	0,05	0,1	0,01	0,1
A4	Transport zur Baustelle	1.037	4,3	14.802	4,8	835	1,7	13.967	5,3	4,76E-13	0,0	-0,85	-12,4	2,53	4,5	0,60	7,1
A5	Errichtung	583	2,4	9.188	3,0	880	1,8	8.308	3,2	5,15E-12	0,0	0,40	5,9	4,15	7,4	0,95	11,2
C1	Abbruch	1.224	5,1	18.035	5,8	0	0,0	18.035	6,9	1,36E-12	0,0	1,01	14,7	9,26	16,6	2,35	27,7
C2	Transport zum Recycling	259	1,1	3.700	1,2	209	0,4	3.492	1,3	1,19E-13	0,0	-0,21	-3,1	0,63	1,1	0,15	1,8
C3+D	Recyclingpotenzial	-11.885	-49,7	-112.935	-36,3	888	1,8	-113.823	-43,4	4,68E-05	99,8	-5,13	-75,1	-23,16	-41,4	-1,91	-22,4
A1-D	Gesamt	23.909	100	311.062	100	48.548	100	262.515	100	4,69E-05	100	6,84	100	55,89	100	8,49	100

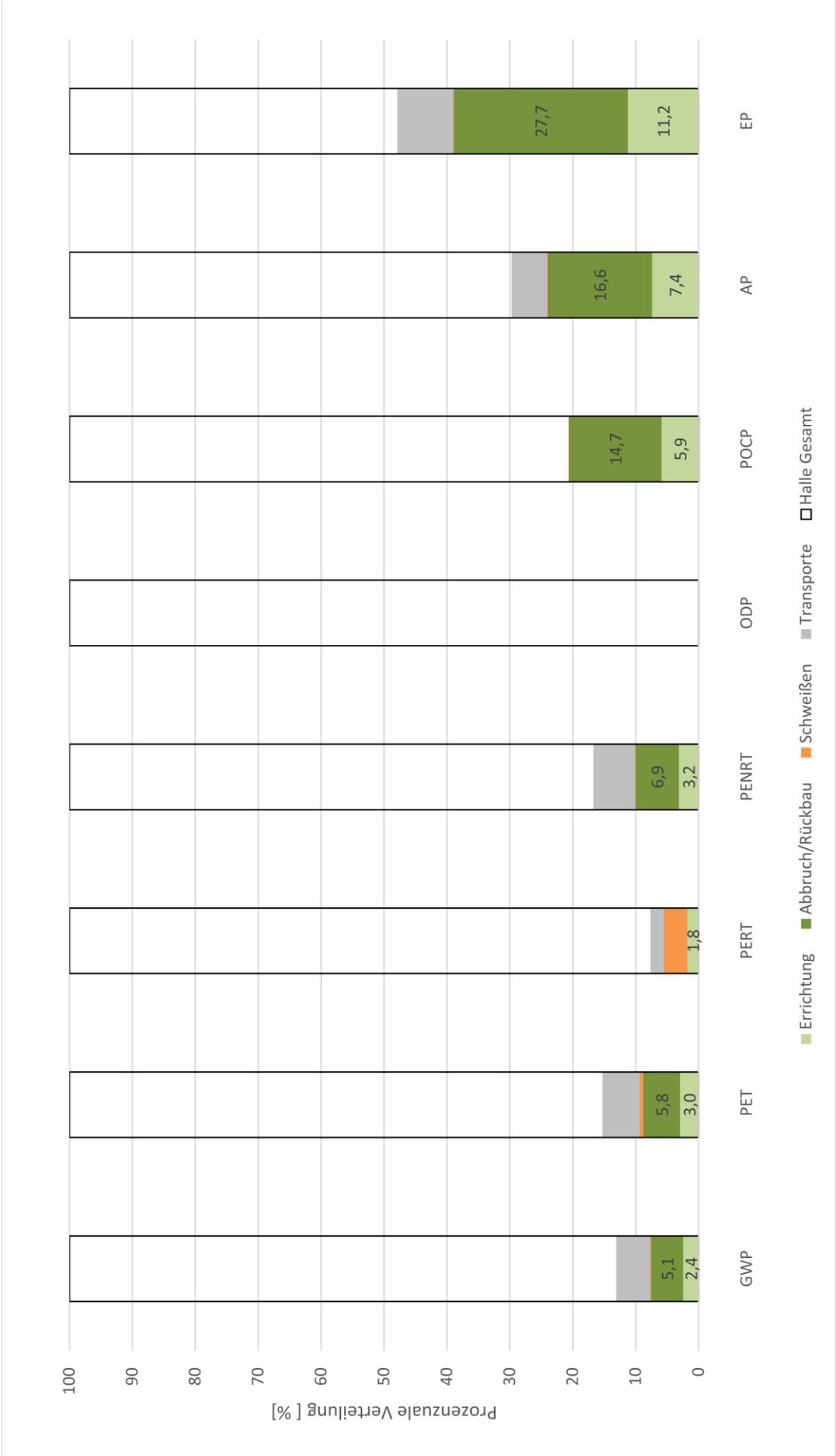
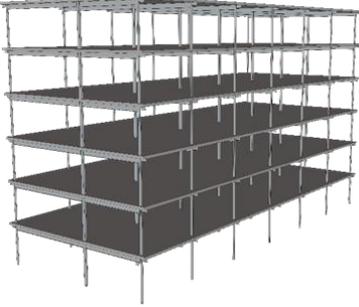


Abbildung 7.2 Prozentuale Verteilung der Umweltwirkungen für die Lebenszyklusabschnitte des Stahltragwerks eines dreigeschossigen Bürogebäudes

7.3 Sechsgeschossiges Bürogebäude

Um Erkenntnisse zu den Umweltauswirkungen verschiedener Bauweisen für große Bürogebäude zu erlangen, wurden in einer Studie, die bauforumstahl zusammen mit der RWTH Aachen¹⁶⁹ durchführte, verschiedene Konstruktionsarten untersucht. Im Vordergrund stand vor allem der Vergleich der unterschiedlichen Bauweisen für das Tragwerk ohne Fundamente und den aussteifenden Kern. Die verglichenen Tragwerke basieren auf einem in der Realität in Stahlbetonweise errichteten Gebäude, aus dem zur Betrachtung ein typischer Gebäudeabschnitt herausgelöst wurde. Passend zu der Stahlbetonversion wurde eine Lösung in Stahlverbund geplant, die nun auch hier als Anwendungsbeispiel genutzt wird. In Tabelle 7.5 sind die wichtigsten Informationen zu dem Geschossbau enthalten.

Tabelle 7.5 Eigenschaften des sechsgeschossigen Gebäudes

	<ul style="list-style-type: none"> • Abmessungen: 32,40 x 13,70 m • Geschosshöhe: 3,50 m • Bruttogeschossfläche: 2688 m² • Stützenraster: 5,40 m x 7,45 m bzw. 5,40 m x 5,25 m • Baustahltonnage: 46 t • Schweißtechnik siehe Tabelle 6.1
	Baustahl S 355
Verbundstützen	Randstützen: HEB 120, Mittelstützen: HEB 180
Verbundträger	IPE 360

Die folgende Tabelle 7.6 zeigt die Umweltwirkungen, die während des Lebenszyklus des Stahltragwerks des sechsgeschossigen Gebäudes entstehen. Neben der Gesamtsumme sind die Werte für die einzelnen Lebensabschnittsmodulen nach DIN EN 15804+A2 bzw. DIN EN 15978 angegeben. Die Module für Abfallbehandlung zur Wiederverwendung, Rückgewinnung und Recycling C3 und das Wiederverwendungs- und Recyclingpotenzial als Gutschriften D wurden wie bei der Ökobilanz der Halle zusammengefasst. Es wurden die gleichen Ansätze für den Baustoff- und Schrotttransport gewählt. Für Errichtung und Abbruch werden hier jedoch wie bei dem dreigeschossigen Bürogebäude, die nur für den Geschossbau geltenden Werte aus Tabelle A 43 verwendet. In Tabelle 7.6 und Abbildung 7.3 sind die gleichen Beobachtungen zu machen wie für das dreigeschossige Bürogebäude (siehe Kapitel 7.2). Das GWP für Errichtung und Abbruch liegt knapp über dem eines achtstündigen Fluges in der Business Class (z.B. Frankfurt - New York)¹⁷⁰.

¹⁶⁹ (Siebers, Hauke, Pyschny, Feldmann, & Kuhnhenne, 2014)

¹⁷⁰ Errechnet mit dem CO₂-Rechner (Umweltbundesamt, 2020)

Tabelle 7.6 Umweltwirkungen für den Lebenszyklus des Stahltragwerks eines sechsgeschossigen Bürogebäudes (absolut und prozentual bezogen auf den Gesamtwert)

	GWP	PET	PERT	PENRT	POCP	AP	EP
	[kg CO2 Äq./t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[kg C2H4 Äq./t]	[kg SO2 Äq./t]	[kg (PO4) ³ Äq./t]
A1-A3	51.980	598.920	69.920	529.000	18,49	99,36	10,07
	136,5	120,6	89,0	126,6	0,1	169,9	111,7
	0,2	0,9	5,3	0,1	0,01	0,11	0,1
A4	1.650	23.555	1.328	22.227	-1,35	4,02	0,96
	4,3	4,7	1,7	5,3	-12,4	4,5	7,1
A5	928	14.622	1.401	13.221	0,64	6,60	1,52
	2,4	2,9	1,8	3,2	5,9	7,4	11,2
C1	1.948	28.701	0	28.701	1,60	14,74	3,74
	5,1	5,8	0,0	6,9	14,7	16,6	27,7
C2	413	5.889	332	5.557	-0,34	1,01	0,24
	1,1	1,2	0,4	1,3	-3,1	1,1	1,8
C3+D	-18.913	-179.726	1.413	-181.139	-8,17	-36,85	-3,03
	-49,7	-36,2	1,8	-43,3	-75,0	-41,4	-22,4
A1-D	38.067	496.415	78.557	417.858	10,89	88,98	13,52
	100	100	100	100	100	100	100

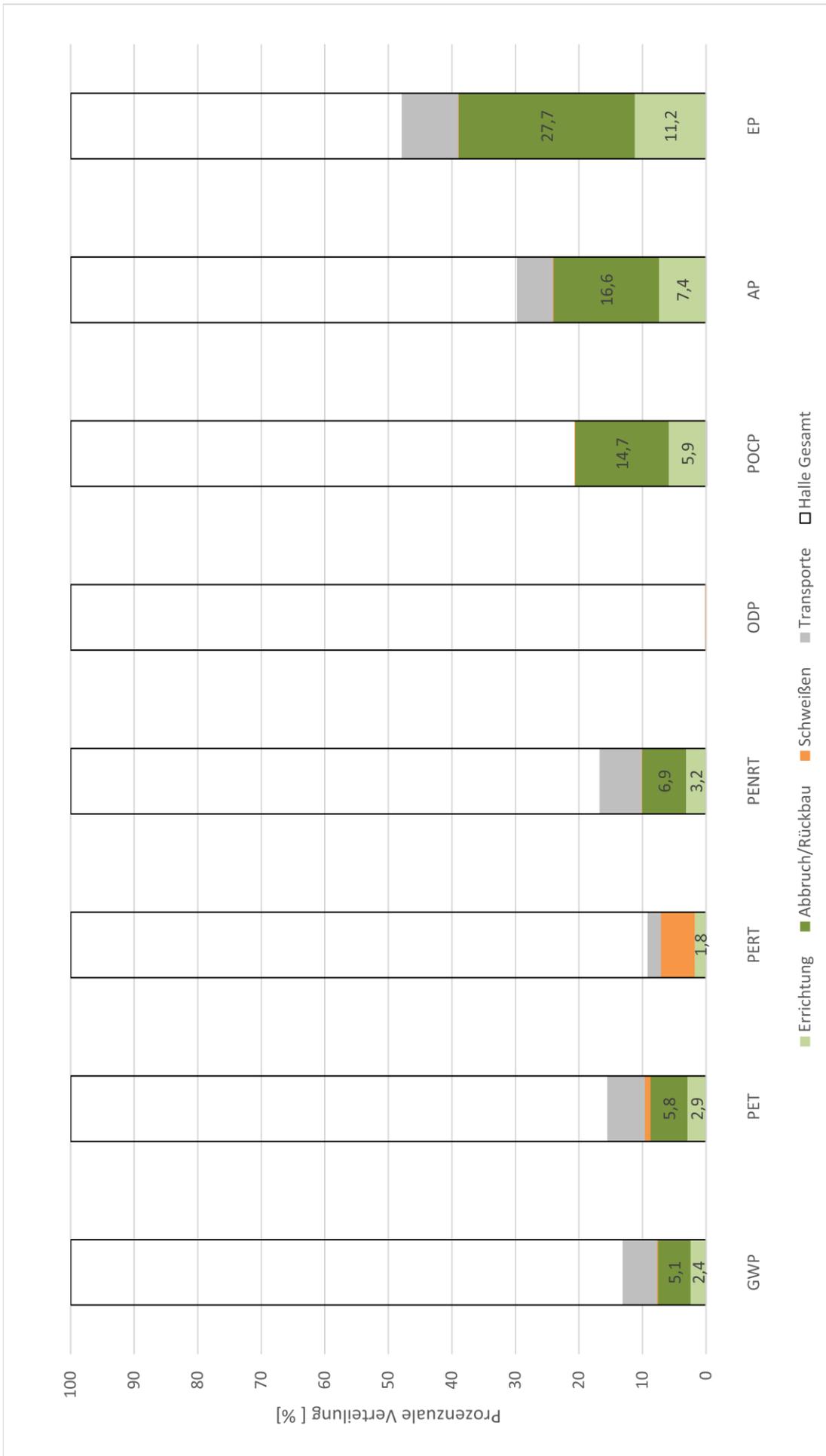
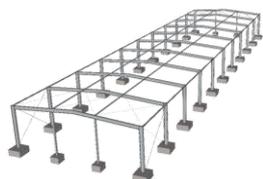
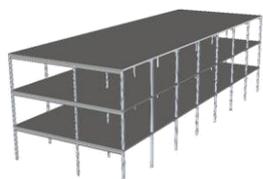
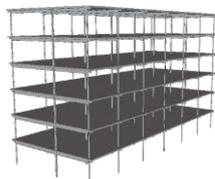


Abbildung 7.3 Prozentuale Verteilung der Umweltwirkungen für die Lebenszyklusabschnitte des Stahltragwerks eines sechsgeschossigen Bürogebäudes

7.4 Anwendungsbeispiele Zusammenfassung

Tabelle 7.7 fasst die Ökobilanzergebnisse für die drei Mustergebäude zusammen. Zur Veranschaulichung werden sie mit PKW-Reisekilometern und Reiseflugstunden verglichen.

Tabelle 7.7 Treibhauspotenzial und Primärenergieverbrauch für die Errichtung und den Abbruch bzw. Rückbau von beispielhaften Stahlkonstruktionen

Beispiel	Module nach DIN EN 15804+A2	Treibhauspotenzial (GWP)	Primärenergieverbrauch (PET)	Vergleich (GWP)	
				 ¹⁷¹	 ¹⁷²
 Typische Halle	A5 Errichtung	766 kg CO ₂ Äq.	10.933 MJ	1.280 km	0,8 h
	C1 Abbruch/ Rückbau	257 kg CO ₂ Äq.	3.823 MJ	1.640 km	1,1 h
 Dreigeschossiges Gebäude	A5 Errichtung	1.037 kg CO ₂ Äq.	14.802 MJ	2.650 km	1,7 h
	C1 Abbruch	583 kg CO ₂ Äq.	9.188 MJ	5.560 km	3,6 h
 Sechsgeschossiges Gebäude	A5 Errichtung	1.650 kg CO ₂ Äq.	23.555 MJ	4.220 km	2,7 h
	C1 Abbruch	928 kg CO ₂ Äq.	14.622 MJ	8.853 km	5,7 h

¹⁷¹ Errechnet mit dem CO₂-Rechner (Umweltbundesamt, 2020) Durchschnittlicher Mix Diesel und Benzin PKW

¹⁷² Errechnet mit dem CO₂-Rechner (Umweltbundesamt, 2020) Transkontinental Business Class

8 Diskussion der Ergebnisse der Forschungsarbeit

8.1 Vergleich mit anderen verfügbaren Daten

Wie in Kapitel 3.1 dargestellt gibt es bereits einige EPDs, die Daten für die Errichtung und den Rückbau pro kg oder Tonne Baustahl zur Verfügung stellen. Allerdings sind die Methoden wie diese Daten ermittelt wurden teilweise sehr kritisch zu betrachten oder es gibt keine Angabe zu Methode oder Quelle. Die folgende Tabelle 8.1 zeigt Vergleiche der in dieser Forschungsarbeit neu ermittelten Daten mit den bereits verfügbaren Werten und beschreibt die Wertigkeit dieser Vergleiche und die Probleme, die sich dabei ergeben. Zur Übersichtlichkeit wurden nur die Daten für das Treibhauspotenzial (GWP) und die Gesamtprimärenergie verglichen.

Tabelle 8.1 Vergleich der neu erhobenen Daten mit bereits vorhandenen EPDs

Datenquelle	Modul	GWP [kg CO2 Äq./t]	Prozentuale Abweichung	PET [MJ/t]	Prozentuale Abweichung
Ergebnisse dieser Forschungsarbeit	A5	13,18	-	198	-
	C1	16,64	-	245	-
Datenqualität siehe Kapitel 2.5 und 8.3.					
ÖKOBAUDAT 4.1.03 Metalle / Stahl und Eisen / Stahlprofile	C1	0,67	-96 %	9,44	-96 %
Nach Rücksprache mit dem Ersteller des Datensatzes (Sphera Solutions, Inc.) konnte in Erfahrung gebracht werden, dass die Umweltindikatoren für den Rückbau/Abbruch nur überschlägig berechnet wurden. Es wurde ein einzelner Bagger mit einer Leistung von 100kW und einem Dieserverbrauch von 0,172 l/h angesetzt. Die Leistung und der Dieserverbrauch des Baggers sind erheblich zu gering gewählt. Außerdem wurden andere Abbruchgeräte wie Schneidbrenner, Trennschleifer Teleskoplader und Arbeitsbühnen außer Acht gelassen. Die Datenqualität für den Bereich C1 ist daher als sehr gering einzustufen und weicht aufgrund der Annahmefehler deutlich von den Ergebnissen dieser Arbeit ab.					

Fortsetzung Tabelle 8.1

Datenquelle	Modul	GWP [kg CO2 Äq./t]	Prozentuale Abweichung	PET [MJ/t]	Prozentuale Abweichung
NEPD-402-281 Steel structures EPD-Norge	A5	2,54	-81 %	39,4	-80 %
	C1	59,00	254 %	913	272 %
<p>Die Angabe der EPD: „A5 includes energy use in building machines“ ist leider zu ungenau, um daraus Rückschlüsse auf etwaige Szenarien oder Untersuchungen zu ziehen, die Grundlage für die Daten sein könnten. Zudem ist der im Dokument angegebene Energieverbrauch für Baumaschinen mit 0,02 MJ deutlich zu gering und eine Bezugsgröße wie pro h oder pro t fehlt. Dies spiegelt sich auch in der prozentualen Abweichung wider. Zu C1 sind keinerlei Informationen verfügbar. Da diese EPD mit der Ecoinvent Hintergrunddatenbank erstellt wurde, ist ein Vergleich mit den auf Basis von Gabi ermittelten Werten aus dieser Arbeit kritisch zu betrachten.</p>					
NEPD-00230 I, H, U, L, T and wide flats hot- rolled sections EPD-Norge	A5	4,10	-69 %	482	143 %
	C1	2,05	-88 %	241	-2 %
<p>Innerhalb des EPD-Dokuments ist die folgende Erklärung zu finden: „To account for the impacts generated in the construction phase, electricity has been allocated to the phase by a fraction of 1/3 of the manufacturing phase (A3).“ Zur Berechnung von Modul C1 wird keine Informationen gegeben. Die Datenqualität und Aussagekraft für A5 ist als unzureichend einzustufen da in der Realität kein Zusammenhang der Aufwendungen für die Produktherstellung zu denen für den Einbau besteht. Außerdem lassen die Schwankungen der Abweichungen von GWP zu PET einen Fehler innerhalb der Berechnung der Umweltkennzahlen vermuten. Da für diese EPD ebenfalls die Gabi-Datenbank genutzt wurde, sollten die Abweichungen zumindest in die gleiche Richtung gehen und im niedrigen Prozentbereich übereinstimmen. Der fast gleiche Wert für die PET bei C1 ist als Zufallstreffer zu interpretieren.</p>					

Fortsetzung Tabelle 8.1

Datenquelle	Modul	GWP [kg CO2 Äq./t]	Prozentuale Abweichung	PET [MJ/t]	Prozentuale Abweichung
MRPI 9.2.00011.004 Steel construction products – Heavy construction products Niederlande	A5	17	29 %	287	45 %
	C1	40,3	142 %	589	140 %
<p>In der EPD sind keine Angaben zu einem normativen Hintergrund zu finden. Die Lebenszyklusabschnitte werden nicht mit den nach DIN EN 15804+A2 gängigen Modulbezeichnungen betitelt. Für den Vergleich wird hier "Construction" als A5 und "demolition, dismantling" als C1 interpretiert. Die Datenqualität und Herkunft für die Daten sind nicht nachvollziehbar. Zudem ist diese EPD nicht mehr gültig und es wurde keine aktuelle Version veröffentlicht. Die Daten liegen allerdings recht nah an den in dieser Arbeit ermittelten Werten. Trotz der guten Kontakte des Autors zu dem Inhaber der Deklaration „Bouwen met Staal“ dem niederländischen Stahlbauverband, konnte nicht geklärt werden auf welcher Grundlage die Werte ermittelt wurden.</p>					

8.2 Kritische Betrachtung und Schwierigkeiten bei der Erarbeitung

Die Auswertung von Statistiken zur Marktsituation im Bauwesen und zur Baustahltonnage in Deutschland gestaltete sich wider Erwarten recht schwierig. Es sind zwar viele Quellen verfügbar, aus denen auf die benötigten Informationen geschlossen werden kann, allerdings bildet keine den Markt für Stahlbau vollständig ab. Zudem gibt es wenige Übereinstimmungen der Quellen untereinander. Auch der Verband des Deutschen Stahlbaus (bauforumstahl) behilft sich bei seinen regelmäßig veröffentlichten Wirtschaftsdaten mit Hintergrunddaten aus selbst in Auftrag gegebenen Studien (Kapitel 3.3). Dieses Problem sei hier angemerkt, ist aber für die Betrachtungen in dieser Arbeit nicht kritisch, da die Jahresgesamtonnage nur für die abschließende Einschätzung des Potenzials der ermittelten Umweltwirkung benötigt wurde. In Tabelle 8.2 sind aus diesem Grund verschiedene Werte zur Einschätzung angegeben. Die für die Erstellung der Projektdatenbank nötige Marktverteilung basiert auf sicheren und ohne Umrechnung verfügbaren Quellen des statistischen Bundesamtes (Kapitel 3.2).

Die Verbrauchsdaten für Baugeräte ließen sich aus den in Kapitel 5.3 beschriebenen Gründen nur annäherungsweise ermitteln. Gerätehersteller und -nutzer konnten selten verbindlichen Angaben machen. Mit lokalen Aufzeichnungen bei real gebauten Projekten könnten qualitativ hochwertigere Daten erhalten werden. Allerdings wurde die Wiederholbarkeit von Ergebnissen auch bei diesem Vorgehen von den befragten Experten bezweifelt. Eine Differenzierung von Einsatzzweck und -zeit wäre nur mit erheblichem Aufwand zu bewerkstelligen. Eine durchgängige

Datenaufzeichnung allein ist nicht ausreichend, um zu ermitteln, ob ein Gerät im Stahlbau oder in einem anderen Gewerk verwendet wird. Für diese Arbeit wurde allerdings eine für die Ökobilanz ausreichend genaue und zielführende Methode gefunden und angewendet, um die Durchschnittsverbräuche der eingesetzten Baugeräte zu ermitteln (Kapitel 5.3).

Die Erstellung der Projektdatenbank hat mehr Zeit in Anspruch genommen als im Vorfeld der Untersuchungen geplant. Durch den Zugriff des Autors auf die Kontaktdatenbank von bauforumstahl war die Möglichkeit gegeben Informationen zu Stahlbauprojekten auf direktem Weg zu erlangen. Die Kontaktaufnahme und Terminfindung mit den Experten stellten sich trotzdem schwierig dar. Leider möchten viele Unternehmen keine Auskünfte zu ihren Projekten geben oder die Ansprechpartner verfügten nur über knappe Zeitreserven, um die gewünschten Informationen zusammenzustellen. Trotz alledem konnte eine für das Ziel der Arbeit ausreichende Anzahl von verschiedenen Stahlbauprojekten mit den nötigen Informationen zusammengestellt werden (Kapitel 4). Für einen besseren Überblick wäre es wünschenswert gewesen, wenn auch ein bis zwei Bürogebäude in der hier erstellten Projektdatenbank enthalten wären. Allerdings ergaben die Marktstudien, dass in Stahlbauweise errichtete Geschossbauten, die keine Parkhäuser sind, in Deutschland von so geringer Bedeutung sind, dass deren Betrachtung für die Auswertung nicht notwendig war. Zudem stimmen die Vorgänge bei der Errichtung des Stahlskeletts eines geschlossenen Geschossbaus mit dem eines Parkhauses grundsätzlich überein. Daher können die in dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse auch für die Stahlkonstruktion von Bürogebäuden verwendet werden (Kapitel 7.2 und 7.3).

8.3 Fazit und Ausblick

Die in Kapitel 1.2 gesetzten Ziele der Forschungsarbeit konnten mit der gewählten Vorgehensweise erreicht werden. Die umfassende Einführung in das Thema des nachhaltigen Bauens, der Besonderheiten des Stahlbaus und den aktuellen Stand der Normung schafften die Grundlage eine normgerechte Vorgehensweise zur Ermittlung der ökobilanziell bisher unerforschten Lebenszyklusabschnitte zu planen und durchzuführen. Die als Ergebnis dieser Arbeit entstandenen Umweltkennzahlen für die Errichtung, den Rückbau sowie Abbruch von Hallen und Geschossbauten können unmittelbar in Umwelt-Produktdeklarationen für Baustahlprodukte oder für Ökobilanzen auf Gebäudeebene verwendet werden. Die erstellte Projektdatenbank ist durch die vorherige Auswertung von Statistiken zur Marktanalyse so gestaltet worden, dass sie durch ihre Zusammensetzung eine solide Datenbasis für die darauffolgende Ökobilanz darstellt. Der Zugriff auf die Mitgliederdatenbank von bauforumstahl und dem DStV war ein besonderer Vorteil und vereinfachte den Kontakt zu Stahlbauunternehmen und die Sammlung von umfassenden Informationen zu real gebauten Stahlbauprojekten. Für die Informationen zum Vorgehen bei Rückbau und Abbruch konnte vor allem der über ein DBU-Forschungsvorhaben bestehende Kontakt zu Abbruchunternehmen genutzt werden. Im Anschluss wurden die Aufwandswerte, die sich aus der Projektdatenbank ergaben, mit Daten aus bisher nicht ausgewerteten und veröffentlichten Datenerhebungen aus Studienarbeiten am IBB abgeglichen und verifiziert. In dieser Forschungsarbeit sind daher als Zwischenergebnis auch neue Aufwandswerte für den Stahlbau enthalten. Die letzten Literaturdaten dieser Art stammen aus dem Jahr 2000. Die verifizierte Projektdatenbank dient anschließend als Datenlieferant für den Kern der Arbeit – die Ökobilanz. Als Exkurs in den Bereich

Diskussion der Ergebnisse der Forschungsarbeit

der Stahlbaufertigung wurden mit Unterstützung der BAM versuchs-basierte Ökobilanz-ergebnisse für die Schweißtechnik ermittelt. Als Hintergrunddatenbank für sämtliche Betrachtungen diente die „GaBi ts Software and Database“ die am Markt für sämtliche ökobilanzielle Betrachtungen etabliert ist und für eine hohe Datenqualität steht. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt für eine Tonne Baustahl. Es werden neben den für den Gesamtmarkt in Deutschland gültigen Kennzahlen auch für Industrie- und Hallenbau sowie Geschossbau getrennt gültige Daten zur Verfügung gestellt. Eine Unterteilung in Rückbau und Abbruch ist ebenfalls erfolgt. Zusätzlich sind die nötigen Sachbilanzdaten wie Strom- und Treibstoffverbräuche pro Tonne Baustahl für alle Szenarien aufgeführt. So können aus den Ergebnissen auch individuelle Ökobilanzen für spezielle Anwendungsfälle oder mit länderspezifischen Besonderheiten erstellt werden. Mit drei verschiedenen Anwendungsbeispielen wurde der Nutzen der neuen Kennzahlen veranschaulicht. Es zeigt sich, dass die Anteile von Errichtung und Rückbau zusammen im Vergleich zur Baustahlherstellung bei Treibhauspotenzial (GWP) mit 2,7 % und Primärenergieverbrauch (PET) mit 3,4 % eher gering sind, aber sie auch einzeln nicht unter das Abschneidekriterium der geltenden Normen fallen. Bei anderen Umweltwirkungskategorien ist der Einfluss von Errichtung, Rückbau und Abbruch deutlich höher. Betrachtet man die Jahrestonnagen für Baustahl in Deutschland aus verschiedenen Quellen (Kapitel 3.3), so zeigt sich das Potenzial deutlicher. Ein Vergleich mit dem Treibhauspotenzial von Passagierflugstunden dient zur Veranschaulichung der Ergebnisse (siehe Tabelle 8.2).

Tabelle 8.2 Jahrestonnagen für Baustahl in Deutschland¹⁷³ und das sich daraus ergebende jährliche Treibhauspotenzial

Quelle	Jahrestonnage Baustahlerzeugnisse in Deutschland	Treibhauspotenzial (GWP) für die Errichtung von Baustahlkonstruktionen	Vergleich Flugzeit ¹⁷⁴ 
DESTATIS Fachserie 4 Reihe 3.1	2.085.000 t ¹⁷⁵	27.482 t CO2 Äq./a	80.832 h
Bundesverband Deutscher Stahlhändler (BDS)	1.517.386 t ¹⁷⁶	20.001 t CO2 Äq./a	58.826 h
Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie	7.777.000 t ¹⁷⁷	102.510 t CO2 Äq./a	301.502 h

In Zukunft könnten ökobilanzielle Untersuchungen auf die Stahlbaufertigung ausgeweitet werden. Die Betrachtung der Schweißtechnik in Kapitel 6 stellt einen ersten Einblick in diesen Bereich dar. Die zunehmende Digitalisierung wird es erleichtern an belastbare Daten für die verschiedenen Fertigungsprozesse im Werk, aber auch auf der Baustelle zu gelangen. Anlieferzeiten, Montagezeiten, Personal und Geräteinsatz können so genauer als bisher erfasst werden. Das in Kapitel 5.3 angesprochene Flottenmanagementsystem „LiDAT“ der Firma Liebherr ist ein Beispiel für die Entwicklungen in diese Richtung und war eine der Datenquellen für diese Forschungsarbeit. Wie in Kapitel 2.3 beschrieben wird die Deklaration von allen Modulen für EPDs nach DIN EN 15804+A2 mit wenigen Ausnahmen bis Oktober 2022 zur Pflicht. Die durch diese Forschungsarbeit verfügbar gemachten Umweltkennzahlen können ab sofort für alle EPDs für Baustahlprodukte verwendet werden. Durch die Mitarbeit des Autors in CEN/TC 135 WG 17 “Product category rules complementary to EN 15804 for Steel and Aluminium structural products for use in construction works” ist der direkte Weg der Forschungsergebnisse in die Normung gegeben. Die entsprechende Norm wird voraussichtlich im 2. Quartal 2021 veröffentlicht.

Abschließend ist festzustellen, dass die in dieser Arbeit ermittelten Daten eine wichtige Datenbasis für die bisher nicht deklarierten Module des Lebenszyklus von Baustahl darstellen. Für Akteure, deren Haupttätigkeiten im Bereich der Errichtung, des Abbruchs oder Rückbaus liegen, sind die neuen Daten der essenzielle Indikator für ihre ökologische Nachhaltigkeit. Im Kontext des gesamten Lebenszyklus von Baustahl zeigt sich deutlich, dass der Großteil der Umweltwirkungen nach wie vor bei der Stahlherstellung auftritt. Vielversprechende

¹⁷³ Erläuterungen siehe Kapitel 3.3

¹⁷⁴ Errechnet mit dem CO2-Rechner (Umweltbundesamt, 2020) Transkontinental Business Class

¹⁷⁵ Durchschnitt der Jahre 2015 - 2017

¹⁷⁶ Durchschnitt der Jahre 2015 - 2017

¹⁷⁷ Nur 2016

Diskussion der Ergebnisse der Forschungsarbeit

Innovationen zur Verbesserung der Umweltperformance bei der Stahlerzeugung sind ein steigender Anteil von Ökostrom in der Elektroofenroute¹⁷⁸ und die Nutzung von Wasserstoff als Substitut für Steinkohle in der Hochofenroute.¹⁷⁹ Das an der Bergischen Universität Wuppertal bearbeitete Forschungsprojekt „Entwicklung und Validierung einer Methode zur Erfassung der Sammelraten von Bauprodukten aus Metall“ zeigte aber auch, dass bei einer Betrachtung des gesamten Lebenszyklus von Baustahl vor allem in Deutschland noch erhebliches Verbesserungspotenzial in der Erhöhung der Wiederverwendungsrate von Stahlbauteilen liegt. Die Studie stellt bei konsequenter Wiederverwendung eine Reduzierung des Treibhauspotenzials (GWP) von Stahlkonstruktionen um bis zu 88 % in Aussicht.¹⁸⁰ Hierzu ist keine kostenintensive Forschung an neuen Technologien notwendig, sondern ein gezieltes Design für Rückbau und Wiederverwendung durch die planenden Architekten und Ingenieure. Durch die fortschreitende Digitalisierung im Baubereich werden auch in mehreren Jahrzehnten Informationen zu den eingebauten Bauelementen zur Verfügung stehen und eine Wiederverwendung von Bauteilen wird vereinfacht.

¹⁷⁸ (Cloughley, 2020) S. 14

¹⁷⁹ (Dierig, 2019)

¹⁸⁰ (Helmus, Randel, Siebers, & Pütz, 2019) S. 21

9 Literaturverzeichnis

Bauer, H. (2017). *Baubetrieb*. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag.

bauforumstahl e.V. (Hrsg.). (2019). *Ausfüllhilfe für Stahlbauunternehmen zur Meldung der monatlichen bzw. vierteljährlichen Produktion an die statistischen Landesämter Ausgabe 01/2019 Basierend auf dem Güterverzeichnis für Produktionsstatistiken 2019 (GP 2019)*. Düsseldorf: bauforumstahl e.V.

bauforumstahl e.V. (2016). *Typenhallen aus Stahl Musterstatik - überarbeitete Ausgabe Nr. B501*. Düsseldorf: bauforumstahl e.V.

bauforumstahl e.V. (2017). *Nachhaltige Argumente für das Bauen mit Stahl*. Düsseldorf: bauforumstahl e.V.

bauforumstahl e.V. (2017). *Studien zur Ermittlung der Marktanteile von Konstruktionsbaustoffen und Hüllmaterialien in neu errichteten Geschoss- und Hallenbauten in Deutschland - Aktualisierung für das Jahr 2016*. Düsseldorf.

bauforumstahl e.V. (2019). *bauforumstahl.de*. Abgerufen am 04. 05. 2019 von <https://bauforumstahl.de/ueber-uns/>

bauforumstahl e.V. (2019). *Wirtschaftsbericht Stahlbau IV. Quartal 2018*. Düsseldorf.

bauforumstahl e.V. (2020). *Kosten im Stahlbau 2019*. Düsseldorf: bauforumstahl e.V.

Bauverlag GmbH, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (Hrsg.). (2015). *BGL Baugeräteliste 2015*. Berlin: Bauverlag BV GmbH.

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. (01.05.2020). *ÖKOBAUDAT Informationsportal nachhaltiges Bauen*. Abgerufen am 12. 03. 2020 von <https://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat.html>

Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (Hrsg.). (2018). *Mineralische Bauabfälle Monitoring 2016 Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2016*. Berlin.

Bundesverband Deutscher Stahlhändler. (2017). *BDS-Jahresmeldung 2015*. Düsseldorf: Bundesverband Deutscher Stahlhändler.

Bundesverband Deutscher Stahlhändler. (2018). *BDS-Jahresmeldung 2016*. Düsseldorf: Bundesverband Deutscher Stahlhändler.

Bundesverband Deutscher Stahlhändler. (2019). *BDS-Jahresmeldung 2017*. Düsseldorf: Bundesverband Deutscher Stahlhändler.

Bundesverband Deutscher Stahlhändler. (2020). *BDS-Jahresmeldung 2018*. Düsseldorf: Bundesverband Deutscher Stahlhändler.

- Burgan, B. & Sansom, M. (2006).** Sustainable steel construction. *Journal of Constructional Steel Research* 62 (11), 1178-1183.
- Büscher, B. (12.09.2020).** *Deutscher Stahlbautag - Stahlbau ist bedeutender Wirtschaftsfaktor in Deutschland.* Abgerufen am 12. 09. 2020 von Allgemeine Bauzeitung:
<https://allgemeinebauzeitung.de/abz/deutscher-stahlbautag-stahlbau-ist-bedeutender-wirtschaftsfaktor-in-deutschland-1283.html>
- Cloughley, B. (2020).** Grüner Stahl - Umdenken hinsichtlich Herstellung und Einsatz für eine nachhaltigere Entwicklung. *BOLTED 1 - 2020*, S. 13-14.
- Destatis - Statistisches Bundesamt. (2018).** *Bauen und Wohnen – Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff 2017 - Lange Reihen ab 2000.* Berlin.
- Destatis - Statistisches Bundesamt. (2018).** *Bauen und Wohnen – Baugenehmigungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach überwiegend verwendetem Baustoff 2017 - Lange Reihen ab 1980.* Berlin.
- Destatis - Statistisches Bundesamt. (2018).** *Fachserie 5 Reihe 1 Bautätigkeit und Wohnungen Bautätigkeit 2017.* Berlin.
- Destatis - Statistisches Bundesamt. (2020).** *Fachserie 4 Reihe 3.1 Produzierendes Gewerbe - Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden 2018.* Berlin.
- Deutscher Stahlbau Verband DStV (Hrsg.). (1985).** *Montage-Gerätebuch.* Köln: Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH Köln.
- DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (Hrsg.). (2018).** *DGNB System Kriterienkatalog Gebäude Neubau, DGNB Global Benchmark for Sustainability.* Stuttgart: DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.
- Dierig, C. (29.03.2019).** *Welt.de.* Abgerufen am 15. 07. 2020 von Hier beginnt die nächste Wasserstoff-Revolution:
<https://www.welt.de/wirtschaft/article191008291/ArcelorMittal-startet-Wasserstoff-Revolution-im-Stahlwerk.html>
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.). (2008).** *DIN EN 1090-3:2008-09: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-3:2008.* Berlin: Beuth Verlag.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.). (2010).** *DIN SPEC 18941 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Methoden für Auswahl und Verwendung von generischen Daten; Deutsche Fassung CEN/TR 15941:2010.* Berlin: Beuth Verlag.

- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.). (2011).** *DIN EN 1090-1:2012-02: Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile; Deutsche Fassung EN 1090-1:2009+A1:2011.* Berlin: Beuth Verlag.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.). (2011).** *DIN EN 1090-2:2011-10, Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011.* Berlin: Beuth Verlag.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.). (2012).** *DIN EN 15978:2012-10 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden - Berechnungsmethode; Deutsche Fassung EN 15978:2011.* Berlin: Beuth Verlag.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.). (2017).** *DIN CEN/TR 17052:2017-07; DIN SPEC 18118:2017-07: Leitfaden für die Umsetzung von EN 1090-1:2009+A1:2011, Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile; Deutsche Fassung CEN/TR 170.* Berlin: Beuth Verlag.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.). (2020).** *DIN EN 15804 Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A2:2019.* Berlin: Beuth Verlag.
- Durmisevic, E. & Noort, N. (2003).** Re-use potential of steel in building construction. In A. R. Chini, *Deconstruction and Material Reuse.* Rotterdam, Niederlande.
- Ehlers, J. (2012).** *Baubetriebliche Analyse von Aufwandswerten im Stahlbau - Abschlussprojekt Masterstudiengang (unveröffentlicht), Betreuer: Karl, C.; Poloczek, A. & Malkwitz, A.* Essen: Universität Duisburg-Essen, Institut für Baubetrieb und Baumanagement.
- Europäische Kommission. (2013).** *European Commission.* Abgerufen am 14. 05. 2019 von Sustainable construction action plan forges ahead: https://ec.europa.eu/growth/content/sustainable-construction-action-plan-forges-ahead-0_en
- Fahrmeir, L.; Heumann, C.; Künstler, R.; Pigeot, I. & Tutz, G. (2016).** *Statistik: Der Weg zur Datenanalyse.* Wiesbaden: Springer Berlin Heidelberg.
- Fecke, M. (2019).** *Dissertation: Bewertung der Energieeffizienz von Baumaschinen mithilfe einer praxisnahen Lastzyklusentwicklung für einen In-Situ-Test.* Wuppertal: Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen der Bergischen Universität Wuppertal.
- FIEC: European Construction Industry Federation. (2020).** *Annual Report 2020.* Brüssel.
- Geyer, R.; Jackson, T. & Clift, R. (2002).** *Economic and environmental comparison between recycling and reuse of structural steel sections.* Surrey.
- Guinée, J. (Hrsg.). (2002).** *Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Hauke, B. & Siebers, R. (2011).** *Life cycle assessment comparison of a typical single storey building*. Düsseldorf: bauforumstahl e.V.
- Hegner, H.-D. (2010).** Nachhaltiges Bauen in Deutschland – Bewertungssystem des Bundes für Büro- und Verwaltungsbauten. *Stahlbau* (Ausgabe 6). S. 408.
- Helmus, M.; Randel, A.; Siebers, R. & Pütz, C. (2019).** *Deutsche Bundesstiftung Umwelt - Abschlussbericht Az: 32396/01-23: Entwicklung und Validierung einer Methode zur Erfassung der Sammelraten von Bauprodukten aus Metall*. Wuppertal: Bergische Universität Wuppertal.
- Ingenieurbüro Fischer für bauforumstahl e.V. (2014).** *Studie zur Ermittlung der Marktanteile von Konstruktionsbaustoffen in neu errichteten Geschossbauten und Industrie- und Gewerbehallen in Deutschland*. Krefeld.
- Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hrsg.). (2015).** *Kreisförmige, quadratische und rechteckige Stahlbauhohlprofile*. Berlin.
- Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hrsg.). (2018).** *Umwelt-Produktdeklarationen für Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche*. Berlin: Institut Bauen und Umwelt (IBU).
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft. (2007).** *Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - Eine Leitmarktinitiative für Europa*. Brüssel.
- Kuhlmann, U. (2015).** *Stahlbau-Kalender 2015. Eurocode 3 - Grundnorm, Leichtbau*. New York: John Wiley & Sons.
- Kuhnhenne, M.; Döring, B. & Pyschny, D. (2010).** *Ökobilanzierung von Typenhallen*. Aachen.
- Ley, J.; Sansom, M. & Kwan, A. (2001).** *Material flow analysis of the UK steel construction sector*.
- Liebherr-International Deutschland GmbH. (15. 11. 2019).** *Liebherr Spritsparrechner*.
Abgerufen am 20. 03. 2020 von
<https://www.liebherr.com/de/deu/specials/spritsparrechner/tool/kalkulator.html>
- M & P GbR für bauforumstahl e.V. (2012).** *Studie zur Verwendung von Konstruktionsstahl im Büro- und Verwaltungsbau in Deutschland*. Mettmann.
- Mechanische Werkstätten Wurzen GmbH. (2014).** *Bedienungsanleitung Schneidbrenner Brenner 90*. Deuben: Mechanische Werkstätten Wurzen GmbH.
- Office technique Pour l'utilisation de l'acier. (2007).** *Declaration Environnementale et Sanitaire*. St Denis.
- Petzschmann, E. & Skufca, K.-H. (2000).** *Handbuch der Stahlbaumontage, 2. überarbeitete Auflage*. Düsseldorf: Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH.

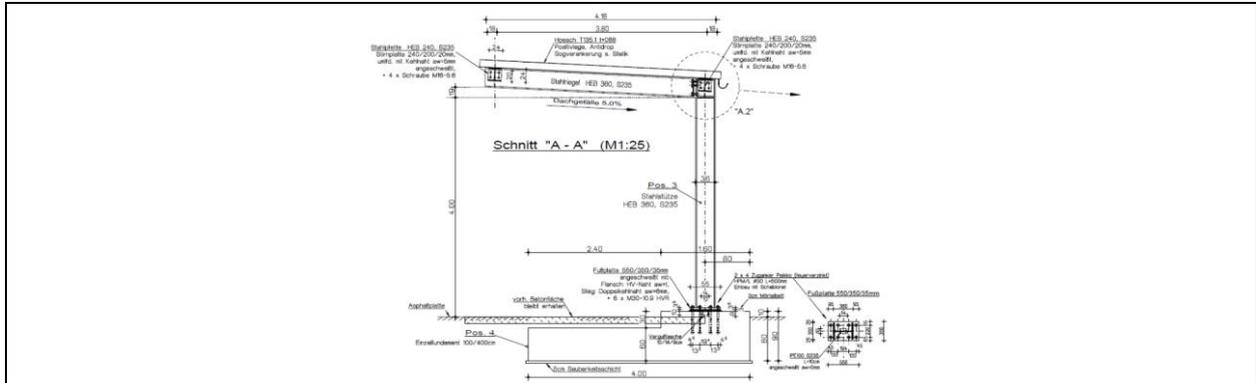
- Sansom, M. & Meijer, J. (2002).** *Life-cycle assessment (LCA) for steel construction*. Luxembourg.
- Scherhag, T. (2012).** *Zusammenstellung von Aufwandswerten verschiedener Stahlkonstruktionen - Abschlussprojekt Masterstudiengang (unveröffentlicht), Betreuer: Karl, C.; Poloczek, A. & Malkwitz, A.* Essen: Universität Duisburg-Essen, Institut für Baubetrieb und Baumanagement.
- Schink, A.; Frenz, W. & Queitsch, P. (2012).** *Das neue Kreislaufwirtschaftsgesetz 2012: Textausgabe mit Schnelleinstieg*. München: Hüthig Jehle Rehm.
- Siebers, R. (2016).** 3.3 Life.cycle assessment and functional unit. In Hauke, B.; Veljkovic, M.; Kuhnhenne, M. & Lawson, M. *Sustainable Steel Buildings: A Practical Guide for Structures and Envelopes*. (S. 29-95). New York: John Wiley & Sons.
- Siebers, R.; Hauke, B.; Hechler, O. & Kuhnhenne, M. (2014).** Bauprodukte aus Stahl im Kontext der Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken. In Kuhlmann, U. *Stahlbau-Kalender 2014 - Eurocode 3 - Grundnorm, Außergewöhnliche Einwirkungen* (S. 694-768). Stuttgart: Ernst & Sohn.
- Siebers, R.; Hauke, B.; Pyschny, D.; Feldmann, M. & Kuhnhenne, M. (2014).** Ecological efficiency of office buildings. In Raffaele Landolfo F. M., *EUROSTEEL 2014: 7th European Conference on Steel and Composite Structures*. Naples: ECCS European Convention for Constructional Steelwork.
- Siebers, R.; Hubauer, A.; Lange, J. & Hauke, B. (2012).** Eco efficiency of structural frames for low rise office buildings. In Koukkari, H.; Branganca L. & Boudjabeur, S. *Concepts and methods for steel intensive Buildings* (S. S. 55-70). München: ECCS - European Convention for Constructional Steelwork.
- Siebers, R.; Malkwitz, A.; Helmus, M. & Meins-Becker, A. (2018).** *Baubetrieb im Stahlbau. 1. Aufl.* Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag.
- Sparmann, M. Betreuer: Siebers, R. & Malkwitz, A. (2017).** *Betrachtungen zur Errichtung von Stahlkonstruktionen mit besonderem Fokus auf Baustellenlogistik und Bauablauf - Masterarbeit (unveröffentlicht)*. Essen: Universität Duisburg-Essen, Institut für Baubetrieb und Baumanagement.
- Sproesser, G.; Chang, Y.; Pittner, A.; Finkbeiner, M. & Rethmeier, M. (2017).** Energy efficiency and environmental impacts of high power gas metal arc welding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, S. 3503–3513. doi:10.1007/s00170-017-9996-7
- Sproesser, G.; Chang, Y.; Pittner, A.; Finkbeiner, M. & Rethmeier, M. (2017).** Environmental energy efficiency of single wire and tandem gas metal arc welding. *Welding in the World*, S. 733–743. doi:10.1007/s40194-017-0460-y

- Sproesser, G.; Chang, Y.; Pittner, A.; Finkbeiner, M. & Rethmeier, M. (2017).** Sustainable Technologies for Thick Metal Plate Welding. In Stark, R.; Seliger, G. & Bonvoisin, J. *Sustainable Manufacturing - Challenges, Solutions and Implementation Perspectives*. Berlin, Heidelberg : Springer.
- Steel recycling institute. (2008).** *Steel recycling rates at a glance*. Pittsburgh.
- thinkstep AG. (2018).** *GaBi LCA Datenbank Dokumentation*. (Institut für Akustik und Bauphysik, Universität Stuttgart und thinkstep AG) Abgerufen am 04. 05. 2019 von <http://www.gabi-software.com/deutsch/my-gabi/gabi-documentation/>
- thinkstep AG. (2018).** GaBi ts, Software and Databasis for Life Cycle Engineering. Stuttgart.
- Umweltbundesamt. (12. 08. 2020).** *CO2-Rechner*. Abgerufen am 23. 09. 2020 von https://uba.co2-rechner.de/de_DE/mobility-flight#panel-calc
- United Nations. (1987).** *Our Common Future - Brundland Report*. Oxford: Oxford University Press.
- United Nations. (1992).** *Agenda 21: Earth Summit - The United Nations Programme of Action from Rio*. Rio de Janeiro.
- United Nations. (1992).** *Declaration on Environment and Development*. Rio de Janeiro.
- United Nations. (2012).** *Report of the United Nations Conference on Sustainable Development*. New York.
- von der Heiden, M. Betreuer: Siebers, R. & Malkwitz, A. (2016).** *Betrachtungen zur Errichtung von Stahlkonstruktionen mit besonderem Fokus auf die Abläufe und eingesetzten Baugeräte - Bachelorarbeit (unveröffentlicht)*. Essen: Universität Duisburg-Essen, Institut für Baubetrieb und Baumanagement.
- Wirtschaftsvereinigung Stahl. (2019).** *Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2018/2019*. Düsseldorf: Wirtschaftsvereinigung Stahl.

10 Anhang

I. Anhang - Hintergrunddaten der eingeschossigen Stahlbauprojekte

Tabelle A 1 Montageschritte für die Errichtung Projekt E1 - Tankstellendach als Kragarm



Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Gründung				
	Gründung der Fundamente und Bodenplatte durch Stahlbetonbauer, Einbauteile für Befestigung	NU	/	/
Anlieferung				
	Liefern Material	/	LKW mit Ladekran 12 t	/
Stütze 1				
1	Anhängen	2	LKW mit Ladekran 12 t, Rundschlingen	1
	Heben			
	Einsetzen Monteure	3	LKW mit Ladekran 12 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Stütze 2				
2	Anhängen	2	LKW mit Ladekran 12 t, Rundschlingen	1
	Heben			
	Einsetzen Monteure	3	LKW mit Ladekran 12 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Riegel				
3	Anhängen	2	LKW mit Ladekran 12 t, Rundschlingen	1
	Heben			
	Einsetzen Monteure	3	LKW mit Ladekran 12 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
2x Kragarme				
4	Anhängen	1	LKW mit Ladekran 12 t, Rundschlingen	2
	Heben			

Anhang

	Einsetzen Monteure	3	LKW mit Ladekran 12 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Pfetten				
5	Anhängen	2	LKW mit Ladekran 12 t, Rundschlingen	2
	Heben			
	Einsetzen Monteure	3	LKW mit Ladekran 12 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
6	Ausrichten, endgültiges Anziehen (Vorspannen)			
7	Ausbesserung der Montageschäden			
Gesamtdauer nur Stahlbau			7h	
Prüfstatiker: Tragwerk, Schrauben, Vorspannung				
Abnahme				

Anhang

Tabelle A 2 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt E1 - Tankstellendach als Kragarm

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Dachbedeckung				
Nicht betrachtet			Bsp. 1 Bagger 10 t, Greifer	/
2x Pfetten				
1	Pfetten heraustrennen, absenken, lagern	3	1 Bagger 30 t, Schrottschere	1
Riegel				
2	Riegel heraustrennen, absenken	3	1 Bagger 30 t, Schrottschere	0,5
	Riegel zerlegen und lagern		2 Schneidbrenner	
2x Kragarme				
3	Kragarme an den Anschlusspunkten keilförmig anschneiden	3	2 Schneidbrenner	1
	Kragarme heraustrennen, absenken und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
2x Stützen				
4	Stützen an den Fußpunkten keilförmig anschneiden	3	2 Schneidbrenner	1
	Stützen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Rahmen zerlegen und lagern		2 Schneidbrenner	
Sortieren				
5	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 30 t, Greifer	0,2
Gesamtdauer nur Stahlbau		≈4h		
Abtransport				
Beladen		2	LKW 9,3 t Nutzlast (ca. 1 Ladung), 1 Bagger 30 t, Greifer	0,5
Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk		1	LKW 9,3t Nutzlast (ca. 1 Ladung)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

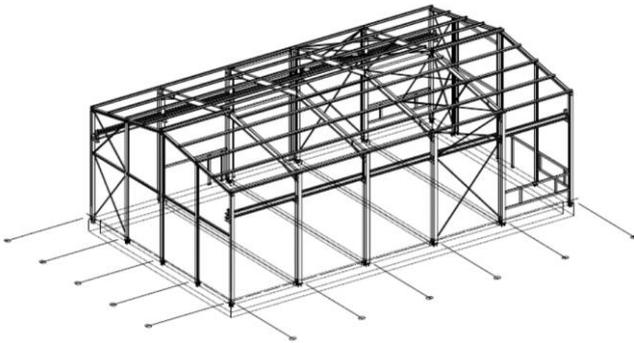
Tabelle A 3 Demontageschritte für den Rückbau Projekt E1 - Tankstellendach als Kragarm

Rückbau für Wiederverwendung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Dachbedeckung				
Nicht betrachtet			Bsp. 1 Bagger 10 t, Greifer	/
2x Pfetten				
1	Pfetten anschlagen, demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	1,5
Riegel				

Anhang

2	Riegel anschlagen, demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	1
2x Element aus Stütze + Kragarm				
3	Element 1 anschlagen Stütze an Fußpunkt lösen	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	4
	Element kontrolliert umlegen			
	Element 1 zerlegen			
	Element 2 anschlagen Stütze an Fußpunkt lösen			
	Element 2 kontrolliert umlegen			
	Element 2 zerlegen			
Sortieren				
4	Sortieren und lagern der Bauteile	2	1 Kran 60 t, Rundschlingen	0,5
Gesamtdauer nur Stahlbau		7h		
Abtransport				
	Bauteile anschlagen und sicher aufladen	3	LKW 17,3 t Nutzlast (1 Fahrt) 1 Kran 60 t, Rundschlingen	1
	Transport bis zum neuen Standort	1	LKW 17,3 t Nutzlast (1 Fahrt)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

Tabelle A 4 Montageschritte für die Errichtung Projekt E2 - Industriehalle in Rosenfeld

				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Gründung				
	Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss	NU	/	/
Anlieferung				
	Liefern Material	/	LKW	/
Die Montage erfolgt achsweise, ausgehend von dem statisch erforderlichen Verbandsfeld.				
Stütze 1				
1	Anhängen	2	Kran 40 t, Rundschlingen	0,75
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 40 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	

Anhang

Stütze 2				
2	Anhängen	2	Kran 40 t, Rundschlingen	0,75
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 40 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Dachträger				
3	Vormontage (Mittelstoß)	3	Kran 40 t, Rundschlingen, Elektroschlagschrauber	0,5
	Anhängen	2	Kran 40 t, Rundschlingen	
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 40 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
9 Pfetten und Koppelstäbe für ein Feld				
4	Anhängen	2	Kran 40 t, Rundschlingen	3
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 40 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 6 Mal</i>				
Aussteifung für ein Feld				
5	Anhängen	1	Kran 40 t, Rundschlingen	4
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Eine Seite 3x Windstützen montieren				
6	Anhängen	2	Kran 40 t, Rundschlingen	1,5
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Arbeitsbühne	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
7	Ausbesserung der Montageschäden			
Gesamtdauer nur Stahlbau		34h		
Prüfstatischer: Tragwerk, Schrauben, Vorspannung				
Abnahme				

Tabelle A 5 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt E2 - Industriehalle in Rosenfeld

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
Nicht betrachtet			Bsp. 1 Bagger 10 t, Greifer	/
Windstützen				
1	Windstützen heraustrennen	1	1 Bagger 30 t, Schrottschere	1,5
Feldart 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäbe/Pfetten)				
2	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen den Rahmen), lagern	3	1 Bagger 30 t, Schrottschere	3,5
	Stützen des 1. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	1. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	1. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen 2. Rahmen und nächstem Feld), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Stützen des 2. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	2. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	2. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 2x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Feldart 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäben/Pfetten)				
3	Verbände ausschneiden (zwischen den Rahmen), lagern	3	Arbeitsbühne	4,5
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen den Rahmen), lagern		2 Schneidbrenner	
	Stützen des 1. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	1. Rahmen umziehen		2 Schneidbrenner	
	1. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen 2. Rahmen und nächstem Feld), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Stützen des 2. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	2. Rahmen umziehen		2 Schneidbrenner	
			1 Bagger 30 t, Schrottschere	

Anhang

	2. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 1x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Sortieren				
4	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 30 t, Greifer	1
Gesamtdauer nur Stahlbau		14h		
Abtransport				
	Beladen	2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 6 Ladungen), 1 Bagger 30 t, Greifer	3
	Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 6 Ladungen)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

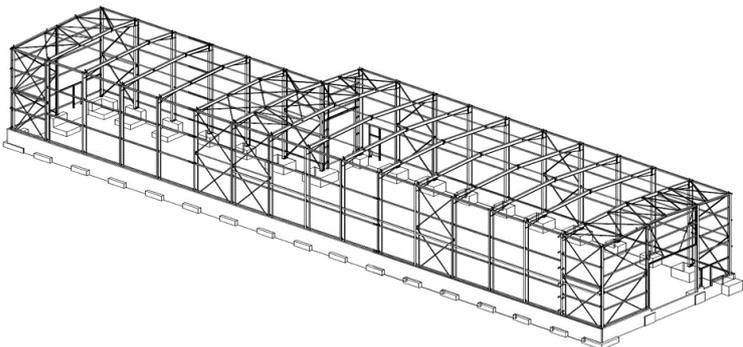
Tabelle A 6 Demontageschritte für den Rückbau Projekt E2 - Industriehalle in Rosenfeld

Rückbau für Wiederverwendung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
	Nicht betrachtet		Bsp. 1 Bagger 10 t, Greifer	/
Windstützen				
1	Windstützen anschlagen, demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	2
Feld 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäben)				
3	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 1 und 2) demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	11
	Rahmen 1 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 1 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 1 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten demontieren (zwischen Rahmen 2 und 3), lagern			
	Rahmen 2 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 2 kontrolliert umlegen			
Rahmen 2 zerlegen und lagern				
<i>Vorgänge wiederholen sich 2,5x bis zum vollständigen Rückbau des Oberbaus</i>				
Feld 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäbe)				
4	Verbände (zwischen Rahmen 3 und 4) demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	15
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 3 und 4) anschlagen, demontieren, lagern			

Anhang

	Rahmen 3 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 3 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 3 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 4 und 5) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 4 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 4 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 4 zerlegen und lagern			
<i>Vorgänge wiederholen sich 1x bis zum vollständigen Rückbau des Oberbaus</i>				
Sortieren				
5	Sortieren und lagern der Bauteile	2	1 Kran 60 t, Rundschlingen	0,5
Gesamtdauer nur Stahlbau		45h		
Abtransport				
	Bauteile anschlagen und sicher aufladen	3	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 5 Fahrten), 1 Kran 60 t, Rundschlingen	5
	Abtransport bis zum neuen Standort	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 5 Fahrten)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

Tabelle A 7 Montageschritte für die Errichtung Projekt E3 - Lagerhalle in Krefeld

				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Gründung				
	Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss	NU	/	/
Anlieferung				
	Liefern Material	/	LKW	/
Die Montage erfolgt achsweise, ausgehend von den ersten Verbandsfeld.				
Stütze 1				
1	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	0,5
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Stütze 2				
2	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	0,5
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Dachträger				
3	Vormontage (Mittelstoß)	3	Kran 60 t, Rundschlingen, Elektroschlagschrauber	0,75
	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Koppelstäbe für ein Feld				
4	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	1
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 17x</i>				
<i>Bei der Errichtung des ersten, sechsten, siebten und 17. Dachträgers wird das Feld ausgesteift</i>				
Aussteifung für ein Feld				
5	Anhängen	1	Kran 60 t, Rundschlingen	1
	Heben			

Anhang

	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Eine Seite 4x Windstützen montieren				
6	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	1
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Arbeitsbühne	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
7	Ausbesserung der Montageschäden			
Gesamtdauer nur Stahlbau		56h		
Prüfstatiker: Tragwerk, Schrauben, Vorspannung				
Abnahme				

Tabelle A 8 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt E3 - Lagerhalle in Krefeld

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
	Nicht betrachtet		Bsp. 1 Bagger 10 t, Greifer	/
Windstützen				
1	Windstützen heraustrennen	1	1 Bagger 30 t, Schrottschere	0,5
Feldart 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäbe/Pfetten)				
2	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen den Rahmen), lagern	3	1 Bagger 30 t, Schrottschere	3
	Stützen des 1. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	1. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	1. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen 2. Rahmen und nächstem Feld), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Stützen des 2. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	2. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	2. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 4x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Feldart 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäben/Pfetten)				
3	Verbände ausschneiden (zwischen den Rahmen), lagern	3	Arbeitsbühne	4
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen den Rahmen), lagern		2 Schneidbrenner	
			1 Bagger 30 t, Schrottschere	

Anhang

	Stützen des 1. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	1. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	1. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen 2. Rahmen und nächstem Feld), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Stützen des 2. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	2. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	2. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 5x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Sortieren				
4	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 30 t, Greifer	1,5
Gesamtdauer nur Stahlbau		30h		
Abtransport				
	Beladen	2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 8 Ladungen), 1 Bagger 30 t, Greifer	4
	Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 8 Ladungen)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet. Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

Tabelle A 9 Demontageschritte für den Rückbau Projekt E3 - Lagerhalle in Krefeld

Rückbau für Wiederverwendung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
	Nicht betrachtet.		Bsp. Arbeitsbühne Kran 60 t, Rundschlingen	/
Windstützen				
1	Windstützen anschlagen, demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	2
Feld 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäbe)				
2	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 1 und 2) demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	6
	Rahmen 1 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 1 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 1 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten demontieren (zwischen Rahmen 2 und 3), lagern			

Anhang

	Rahmen 2 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 2 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 2 zerlegen und lagern			
<i>Vorgänge wiederholen sich 4,5x bis zum vollständigen Rückbau des Oberbaus</i>				
Feld 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäben)				
3	Verbände (zwischen Rahmen 3 und 4) demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	8
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 3 und 4) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 3 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 3 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 3 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 4 und 5) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 4 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 4 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 4 zerlegen und lagern			
<i>Vorgänge wiederholen sich 4x bis zum vollständigen Rückbau des Oberbaus</i>				
Sortieren				
4	Sortieren und lagern der Bauteile	2	1 Kran 60 t, Rundschlingen	0,5
Gesamtdauer nur Stahlbau		61,5h		
Abtransport				
	Bauteile anschlagen und sicher aufladen	3	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 5 Fahrten), 1 Kran 60 t, Rundschlingen	6
	Abtransport bis zum neuen Standort	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 5 Fahrten)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

Tabelle A 10 Montageschritte für die Errichtung Projekt E4 - Industriehalle in Kreuztal

Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Gründung				
	Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss	NU	/	/
Anlieferung				
	Liefern Material	/	LKW	/
Die Montage erfolgt achsweise, ausgehend von dem statisch erforderlichen Verbandsfeld.				
Stütze 1				
1	Anhängen	2	Kran 40 t, Rundschlingen	0,5
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 40 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Stütze 2				
2	Anhängen	1	Kran 40 t, Rundschlingen	0,5
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 40 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Dachträger (Fachwerk)				
3	Vormontage (Mittelstoß)	3	Kran 40 t, Rundschlingen, Elektroschlagschrauber	1,5
	Anhängen	2	Kran 40 t, Rundschlingen	
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 40 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Koppelstäbe für ein Feld				
4	Anhängen	2	Kran 40 t, Rundschlingen	1
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 40 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 15x</i>				
<i>Bei der Errichtung des dritten und vierzehnten Dachträgers wird das Feld ausgesteift</i>				
Aussteifung für ein Feld				
5	Anhängen	2	Kran 40 t, Rundschlingen	1
	Heben			

Anhang

	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 40 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Eine Seite 6x Windstützen montieren				
6	Anhängen	2	Kran 40 t, Rundschlingen	6
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 40 t, Rundschlingen, 1 Arbeitsbühne	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
7	Ausbesserung der Montageschäden			
Gesamtdauer nur Stahlbau		65,5h		
Prüfstatiker: Tragwerk, Schrauben, Vorspannung				
Abnahme				

Tabelle A 11 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt E4 - Industriehalle in Kreuztal

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
	Nicht betrachtet		Bsp. 1 Bagger 10 t, Greifer	/
Windstützen				
1	Windstützen heraustrennen	1	1 Bagger 30 t, Schrottschere	2
Feldart 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäbe/Pfetten)				
2	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen den Rahmen), lagern	3	1 Bagger 30 t, Schrottschere	3,5
	Stützen des 1. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	1. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	1. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen 2. Rahmen und nächstem Feld), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Stützen des 2. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	2. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	2. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 5x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Feldart 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäbe/Pfetten)				
3	Verbände ausschneiden (zwischen den Rahmen), lagern	3	Arbeitsbühne, 2 Schneidbrenner	4,5
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen den Rahmen), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	

Anhang

	Stützen des 1. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	1. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	1. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen 2. Rahmen und nächstem Feld), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Stützen des 2. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	2. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	2. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere 2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 2x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Sortieren				
4	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 30 t, Greifer	1,5
Gesamtdauer nur Stahlbau		30h		
Abtransport				
	Beladen	2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 9 Ladungen), 1 Bagger 30 t, Greifer	5
	Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 9 Ladungen)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

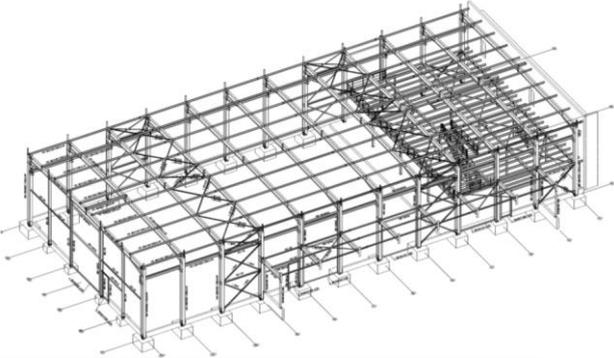
Tabelle A 12 Demontageschritte für den Rückbau Projekt E4 - Industriehalle in Kreuztal

Rückbau für Wiederverwendung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
	Nicht betrachtet		Bsp. Arbeitsbühne, Kran 60 t, Rundschlingen	/
Windstützen				
1	Windstützen anschlagen, demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	3
Feld 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäbe)				
2	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 1 und 2) demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen, 1 Teleskoplader, 2 Elektrotrennschleifer	10
	Rahmen 1 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 1 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 1 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten demontieren (zwischen Rahmen 2 und 3), lagern			

Anhang

	Rahmen 2 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 2 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 2 zerlegen und lagern			
<i>Vorgänge wiederholen sich 5x bis zum vollständigen Rückbau des Oberbaus</i>				
Feld 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäben)				
3	Verbände (zwischen Rahmen 3 und 4) demontieren	3	1 Kran 60t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen, 1 Teleskoplader, 2 Elektrotrennschleifer	12
	, lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 3 und 4) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 3 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 3 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 3 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 4 und 5) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 4 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 4 kontrolliert umlegen			
Rahmen 4 zerlegen und lagern				
<i>Vorgänge wiederholen sich 2x bis zum vollständigen Rückbau des Oberbaus</i>				
Sortieren				
4	Sortieren und lagern der Bauteile	2	1 Kran 60 t, Rundschlingen	0,5
Gesamtdauer nur Stahlbau		77,5h		
Abtransport				
	Bauteile anschlagen und sicher aufladen	3	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 5 Fahrten), 1 Kran 60 t, Rundschlingen	7
	Abtransport bis zum neuen Standort	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 5 Fahrten)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

Tabelle A 13 Montageschritte für die Errichtung Projekt E5 - Industriehalle in Görwiel

				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Gründung				
	Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss	NU	/	/
Anlieferung				
	Liefern Material	/	LKW	/
Die Montage erfolgt achsweise, ausgehend von den zwei statisch erforderlichen Verbandsfeldern.				
Stütze 1				
1	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	0,75
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Stütze 2				
2	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	0,75
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Dachträger				
3	Vormontage (Mittelstoß)	3	Kran 60 t, Rundschlingen, Elektroschlagschrauber	0,75
	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
10 Pfetten und Koppelstäbe für 3 Felder				
4	Anhängen	1	Kran 60 t, Rundschlingen	5
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 12x</i>				
<i>Bei der Errichtung des vierten und neunten Dachträgers wird das Feld ausgesteift</i>				
Aussteifung für ein Feld				
5	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	4
	Heben			

Anhang

	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschnlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Eine Seite 4x Windstützen montieren				
6	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschnlingen	3
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschnlingen, 1 Arbeitsbühne	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Vordach montieren				
7	8x Kragarm Anhängen	4	Kran 60 t, Rundschnlingen, Elektroschlagschrauber	8
	8x Kragarm Heben			
	8x Kragarm Einsetzen Monteure + Richtmeister	2	Kran 60 t, Rundschnlingen	
	Fixieren durch Schrauben	4	Kran 60 t, Rundschnlingen, 1 Arbeitsbühne	
	Aussteifen	4	Kran 60 t, Rundschnlingen, 1 Arbeitsbühne, Elektroschlagschrauber	
8	Ausbesserung der Montageschäden			
Gesamtdauer nur Stahlbau			64h	
Prüfstatiker: Tragwerk, Schrauben, Vorspannung				
Abnahme				

Tabelle A 14 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt E5 - Industriehalle in Görwiel

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
	Nicht betrachtet		Bsp. 1 Bagger 10 t, Greifer	/
Windstützen				
1	Windstützen heraustrennen	3	1 Bagger 30 t, Schrottschere	1
Vordach				
2	Koppelstäbe und Verbände heraustrennen, lagern	3	Arbeitsbühne, 2 Schneidbrenner	4
	Kragarme abtrennen, lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
Feld 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäbe/Pfetten)				
3	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen Rahmen 1 und 2), lagern	3	1 Bagger 30 t, Schrottschere	3,5
	Stützen Rahmen 1 an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	Rahmen 1 umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Rahmen 1 zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen Rahmen 2 und 3), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	

Anhang

	Stützen von Rahmen 2 an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	Rahmen 2 umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Rahmen 2 zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere 2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 4x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Feld 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäbe/Pfetten)				
4	Verbände herauschneiden (zwischen Rahmen 3 und 4), lagern	3	Arbeitsbühne 2 Schneidbrenner	4,5
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen Rahmen 3 und 4), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Stützen Rahmen 3 an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	Rahmen 3 umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Rahmen 3 zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen Rahmen 4 und 5), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Stützen Rahmen 4 an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	Rahmen 4 umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
Rahmen 4 zerlegen und lagern	1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner			
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 2x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Sortieren				
5	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 30 t, Greifer	2
Gesamtdauer nur Stahlbau		30h		
Abtransport				
Beladen		2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 18 Ladungen), 1 Bagger 30 t, Greifer	8
Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk		1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 18 Ladungen)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

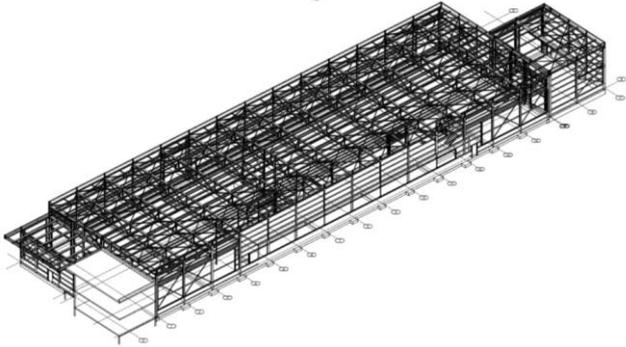
Tabelle A 15 Demontageschritte für den Rückbau Projekt E5 - Industriehalle in Görwiel

Rückbau für Wiederverwendung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
Nicht betrachtet			Bsp. Arbeitsbühne, Kran 60 t, Rundschlingen	/
Windstützen				
1	Windstützen anschlagen, demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	2
Vordach				
2	Koppelstäbe und Verbände demontieren, lagern Kragarme, anschlagen und demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	8
Feld 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäben)				
3	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 1 und 2) demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	12
	Rahmen 1 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 1 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 1 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten demontieren (zwischen Rahmen 2 und 3), lagern			
	Rahmen 2 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 2 kontrolliert umlegen			
Rahmen 2 zerlegen und lagern				
<i>Vorgänge wiederholen sich 4x bis zum vollständigen Rückbau des Oberbaus</i>				
Feld 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäben)				
4	Verbände (zwischen Rahmen 3 und 4) demontieren, lagern	3	1 Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	14
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 3 und 4) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 3 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 3 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 3 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 4 und 5) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 4 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
Rahmen 4 kontrolliert umlegen				
Rahmen 4 zerlegen und lagern				
<i>Vorgänge wiederholen sich 2x bis zum vollständigen Rückbau des Oberbaus</i>				
Sortieren				
5	Sortieren und lagern der Bauteile	2	1 Kran 60 t, Rundschlingen	1

Anhang

Gesamtdauer nur Stahlbau		87h	
Abtransport			
Bauteile anschlagen und sicher aufladen	3	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 10 Fahrten), 1 Kran 60 t, Rundschlingen	10
Abtransport bis zum neuen Standort	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 10 Fahrten)	/
Fundamente			
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden			

Tabelle A 16 Montageschritte für die Errichtung Projekt E6 - Produktionshalle Haller

				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Gründung				
	Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss	NU	/	/
Anlieferung				
	Liefern Material	/	Mobilkran 100 t, LKW	/
Die Montage erfolgt achsweise, ausgehend von den zwei statisch erforderlichen Verbandsfeldern.				
Stütze 1				
1	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	0,33
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	3	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	2 Elektroschlagschrauber	
Stütze 2				
2	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	0,33
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	3	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	2 Elektroschlagschrauber	
Fachwerkträger				
3	Vormontage (Mittelstoß)	4	Kran 100 t, Rundschlingen, Elektroschlagschrauber	1,5
	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	3	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	2 Elektroschlagschrauber	

Pfetten und Koppelstäbe für ein Feld				
4	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	4
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	2	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	2 Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 17x</i>				
<i>Bei der Errichtung des vierten und neunten Dachträgers wird das Feld ausgesteift</i>				
Aussteifung für ein Feld				
5	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	4
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	3	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	2 Elektroschlagschrauber	
Eine Seite 4x Windstützen montieren				
6	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	1,5
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	3	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	2 Elektroschlagschrauber	
7	Ausbesserung der Montageschäden			
Gesamtdauer nur Stahlbau		≈115h		
Prüfstatiker: Tragwerk, Schrauben, Vorspannung				
Abnahme				

Tabelle A 17 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt E6 - Produktionshalle Haller

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
Nicht betrachtet			Bsp. 1 Bagger 10 t, Greifer	/
Windstützen				
1	Windstützen heraustrennen	3	1 Bagger 30 t, Schrottschere	1
Vordach/Anbau				
2	Koppelstäbe und Verbände heraustrennen, lagern	3	Arbeitsbühne, 2 Schneidbrenner	8
	Kragarme abtrennen, lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
Feldart 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäbe/Pfetten/Dachverbände)				
3	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen den Rahmen), lagern	3	1 Bagger 30 t, Schrottschere	4
	Stützen des 1. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	1. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	1. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	

Anhang

	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen 2. Rahmen und nächstem Feld), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Stützen des 2. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	2. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	2. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 4x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Feldart 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäbe/Pfetten)				
4	Verbände ausschneiden (zwischen den Rahmen), lagern	3	Arbeitsbühne, 2 Schneidbrenner	4,5
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen den Rahmen), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Stützen des 1. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	1. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	1. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen 2. Rahmen und nächstem Feld), lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	Stützen des 2. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	2. Rahmen umziehen		1 Bagger 30 t, Schrottschere	
	2. Rahmen zerlegen und lagern		1 Bagger 30 t, Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 5x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Sortieren				
Gesamtdauer nur Stahlbau			50,5h	
5	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 30 t, Greifer	3
Abtransport				
	Beladen	2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 16 Fahrten), 1 Kran 60 t, Rundschlingen	9
	Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk	1	LKW 17,3 t Nutzlast (16 Fahrten)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

Tabelle A 18 Demontageschritte für den Rückbau Projekt E6 - Produktionshalle Haller

Rückbau für Wiederverwendung				
Vorgangs-Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
Nicht betrachtet.			Bsp. Arbeitsbühne, Kran 100 t, Rundschnngen	/
Windstützen				
1	Windstützen anschlagen, demontieren, lagern	4	1 Kran 100 t, Rundschnngen 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	2
Vordach/Anbau				
2	Koppelstäbe und Verbände demontieren, lagern Kragarme, anschlagen und demontieren, lagern	4	1 Kran 100 t, Rundschnngen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	8
Feldart 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäben/Pfetten/Dachverbänden)				
3	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 1 und 2) demontieren, lagern	4	1 Kran 100 t, Rundschnngen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	14
	Rahmen 1 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 1 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 1 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten demontieren (zwischen Rahmen 2 und 3), lagern			
	Rahmen 2 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 2 kontrolliert umlegen Rahmen 2 zerlegen und lagern			
<i>Vorgänge wiederholen sich 3x bis zum vollständigen Rückbau des Oberbaus</i>				
Feldart 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäben/Pfetten)				
4	Verbände (zwischen Rahmen 3 und 4) demontieren, lagern	4	1 Kran 100 t, Rundschnngen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	16
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 3 und 4) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 3 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 3 kontrolliert umlegen Rahmen 3 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 4 und 5) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 4 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 4 kontrolliert umlegen Rahmen 4 zerlegen und lagern			
<i>Vorgänge wiederholen sich 4x bis zum vollständigen Rückbau des Oberbaus</i>				
Sortieren				
5	Sortieren und lagern der Bauteile	2	1 Kran 100 t, Rundschnngen	2

Anhang

Gesamtdauer nur Stahlbau		118h	
Abtransport			
Bauteile anschlagen und sicher aufladen	3	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 16 Fahrten), 1 Kran 60 t, Rundschlingen	16
Abtransport bis zum neuen Standort	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 10 Fahrten)	/
Fundamente			
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden			

Tabelle A 19 Montageschritte für die Errichtung Projekt E7 - Dachkonstruktion auf Stahlbetonstützen

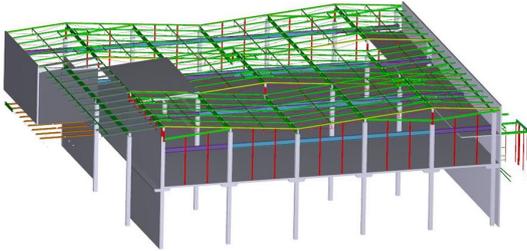
				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Gründung				
Die Konstruktion erfolgt auf Stahlbetonstützen und Wänden, die bauseits vorhanden sind.		GU	/	/
Anlieferung				
Liefere Material		/	Mobilkran 100 t, LKW	/
Die Montage erfolgt Feldweise.				
Querträger 1				
1	Anhängen	2	Kran 100 t, TDK 7,3 t, Rundschnigen	1,5
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 100 t, TDK 7,3 t, Rundschnigen, 2 Arbeitsbühnen	
	Ausrichten	2	Kran 100 t, TDK 7,3 t, Rundschnigen, 2 Arbeitsbühnen, Teleskopklader	
Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber		
Querträger 2				
2	Anhängen	2	Kran 100 t, TDK 7,3 t, Rundschnigen	1,5
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 100 t, TDK 7,3 t, Rundschnigen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
7x Längsträger				
3	Vormontage (Mittelstoß)	3	Kran 100 t, TDK 7,3 t, Rundschnigen, Elektroschlagschrauber	10
	Anhängen	2	Kran 100 t, TDK 7,3 t, Rundschnigen	
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 100 t, TDK 7,3 t, Rundschnigen, 2 Arbeitsbühnen	
Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber		
<i>Vorgänge wiederholen sich 10x</i>				
4	Ausbesserung der Montageschäden			
Gesamtdauer nur Stahlbau		130h		
Prüfstatiker: Tragwerk, Schrauben, Vorspannung				
Abnahme				

Tabelle A 20 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt E7 - Dachkonstruktion auf Stahlbetonstützen

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer: in h
Fassade/Dachdeckung				
Nicht betrachtet.			Bsp.: 2 Bagger 55 t, Ausleger, Greifer	/
Der Abbruch erfolgt Feldweise.				
7x Längsträger				
1	Längsträger heraustrennen, absenken, lagern	3	1 Bagger 55 t + Ausleger + Schrottschere	8
Querträger 1				
2	Querträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner Arbeitsbühne	1
	Querträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
Querträger 2				
3	Querträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner Arbeitsbühne	1
	Querträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
<i>Vorgänge wiederholen sich 10x</i>				
Sortieren				
4	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 55 t, Greifer	4
Gesamtdauer nur Stahlbau		104h		
Abtransport				
Beladen		2	1 Bagger 55 t, Greifer, LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 22 Fahrten),	10
Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk		1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 22 Fahrten)	/
Stahlbetontragwerk				
Nicht betrachtet				

Tabelle A 21 Demontageschritte für den Rückbau Projekt E7 - Dachkonstruktion auf Stahlbetonstützen

Rückbau für Wiederverwendung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade/Dacheindeckung				
Nicht betrachtet.			Bsp.: 2 Bagger 55 t, Ausleger, Greifer	/
7x Längsträger				
1	Längsträger anschlagen, demontieren, lagern	3	1 Kran 100 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	10
Querträger 1				
2	Querträger anschlagen, demontieren, lagern	3	1 Kran 100 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	2
Querträger 2				
3	Querträger anschlagen, demontieren, lagern	3	1 Kran 100 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	2
<i>Vorgänge wiederholen sich 10x bis zum vollständigen Rückbau des Dachtragwerks</i>				
Sortieren				
4	Sortieren und lagern der Bauteile	2	1 Teleskoplader, Rundschlingen	2
Gesamtdauer nur Stahlbau		142h		
Abtransport				
Bauteile anschlagen und sicher aufladen		3	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 16 Fahrten), 1 Teleskoplader, Rundschlingen	16
Abtransport bis zum neuen Standort		1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 10 Fahrten)	/
Betontragwerk				
Hier nicht betrachtet				

Tabelle A 22 Montageschritte für die Errichtung Projekt E8 - Industriehalle Augsburg

Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Gründung				
	Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss	NU	/	/
Anlieferung				
	Liefern Material	/	LKW	/
Die Montage erfolgt achsweise				
Stütze 1+2				
1	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	3
	Heben	2	Kran 60 t, Rundschlingen	
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Stütze 3+4				
2	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	3
	Heben	2	Kran 60 t, Rundschlingen	
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Dachträger 1+2				
3	Vormontage (Mittelstoß)	3	Kran 60 t, Rundschlingen, Elektroschlagschrauber	4
	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	
	Heben	2	Kran 60 t, Rundschlingen	
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
Pfetten und Koppelstäbe für 1 Feld				
4	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	8
	Heben	2	Kran 60 t, Rundschlingen	
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 5x</i>				
<i>Bei der Errichtung des vierten und neunten Dachträgers wird das Feld ausgesteift s.u.</i>				
Aussteifung für ein Feld				
5	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	2
	Heben	2	Kran 60 t, Rundschlingen	

Anhang

	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 2x</i>				
Eine Seite 5x Windstützen montieren				
6	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	5
	Heben	2	Kran 60 t, Rundschlingen	
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Arbeitsbühne	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 2x</i>				
Vordach montieren				
7	Anhängen	2	Kran 60 t, Rundschlingen	8
	Heben	2	Kran 60 t, Rundschlingen	
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	4	Kran 60 t, Rundschlingen, 1 Arbeitsbühne	
	Fixieren durch Schrauben	3	2 Elektroschlagschrauber	
8	Ausbesserung der Montageschäden			
Gesamtdauer nur Stahlbau		117h		
Prüfstatiker: Tragwerk, Schrauben, Vorspannung				
Abnahme				

Tabelle A 23 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt E8 - Industriehalle Augsburg

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
	Nicht betrachtet		Bsp. 1 Bagger 30 t, Greifer	/
Windstützen				
1	Windstützen heraustrennen	1	Bagger 55 t mit Schrottschere	1,5
Feldart 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäbe/Pfetten)				
2	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen den Rahmen), lagern	3	Bagger 55 t mit Schrottschere	6
	Stützen des 1. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	1. Rahmen umziehen		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	1. Rahmen zerlegen und lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen 2. Rahmen und nächstem Feld), lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	Stützen des 2. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	2. Rahmen umziehen		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	2. Rahmen zerlegen und lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere, 2 Schneidbrenner	

Anhang

<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 5x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Feldart 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäben/Pfetten)				
3	Verbände herausschneiden (zwischen den Rahmen), lagern	3	Arbeitsbühne 2 Schneidbrenner	8
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen den Rahmen), lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	Stützen des 1. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	1. Rahmen umziehen		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	1. Rahmen zerlegen und lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Koppelstäbe und Pfetten heraustrennen (zwischen 2. Rahmen und nächstem Feld), lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	Stützen des 2. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	2. Rahmen umziehen		Bagger 55 t mit Schrottschere	
2. Rahmen zerlegen und lagern	Bagger 55 t mit Schrottschere, 2 Schneidbrenner			
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 2x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Sortieren				
4	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	Bagger 55 t mit Greifer	5
Gesamtdauer nur Stahlbau		54,5h		
Abtransport				
	Beladen	2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 25 Ladungen), Bagger 50 t mit Greifer	3
	Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 25 Ladungen)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

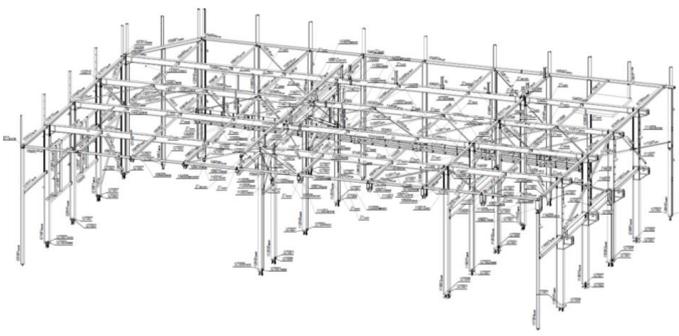
Tabelle A 24 Demontageschritte für den Rückbau Projekt E8 - Industriehalle Augsburg

Rückbau für Wiederverwendung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
Nicht betrachtet			Bsp. Arbeitsbühne, Kran 100 t, Rundschnngen	/
Windstützen				
1	Windstützen anschlagen, demontieren, lagern	4	1 Teleskoplader, Rundschnngen, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	12
Feldart 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäben/Pfetten)				
2	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 1 und 2) demontieren, lagern	4	1 Kran 100 t, Rundschnngen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	15
	Rahmen 1 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 1 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 1 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten demontieren (zwischen Rahmen 2 und 3), lagern			
	Rahmen 2 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 2 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 2 zerlegen und lagern			
<i>Vorgänge wiederholen sich 5x bis zum vollständigen Rückbau des Oberbaus</i>				
Feldart 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäben/Pfetten)				
3	Verbände (zwischen Rahmen 3 und 4) demontieren, lagern	4	1 Kran 100 t, Rundschnngen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	19
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 3 und 4) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 3 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 3 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 3 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 4 und 5) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 4 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 4 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 4 zerlegen und lagern			
<i>Vorgänge wiederholen sich 2x bis zum vollständigen Rückbau des Oberbaus</i>				
Sortieren				
4	Sortieren und lagern der Bauteile	2	1 Teleskoplader, Rundschnngen	2
Gesamtdauer nur Stahlbau			125h	
Abtransport				

Anhang

Bauteile anschlagen und sicher aufladen, auch während des Rückbaus	3	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 30 Fahrten), 1 Teleskoplader, Rundschlingen	16
Abtransport bis zum neuen Standort	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 30 Fahrten)	/
Fundamente			
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden			

Tabelle A 25 Montageschritte für die Errichtung Projekt E9 - Industriehalle C&P

				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Gründung				
	Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss	NU	/	/
Anlieferung				
	Liefern Material	/	Mobilkran 100 t, LKW	/
Die Montage erfolgt achsweise				
Stütze 1				
1	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	1,5
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	6	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	4	2 Elektroschlagschrauber	
Stütze 2				
2	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	1,5
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	6	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	4	2 Elektroschlagschrauber	
Dachträger				
3	Vormontage (Mittelstoß)	3	Kran 100 t, Rundschlingen, Elektroschlagschrauber	2
	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	6	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	5	2 Elektroschlagschrauber	
Koppelstäbe für ein Feld				
4	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	4
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	6	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	4	2 Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 12x</i>				
<i>Bei der Errichtung des vierten und neunten Dachträgers wird das Feld ausgesteift</i>				
Aussteifung für ein Feld				
5	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	4
	Heben			

Anhang

	Einsetzen Monteure + Richtmeister	3	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	2 Elektroschlagschrauber	
Eine Seite 4x Windstützen montieren				
6	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	6
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	3	Kran 100 t, Rundschlingen, 1 Arbeitsbühne	
	Fixieren durch Schrauben	2	2 Elektroschlagschrauber	
7	Ausbesserung der Montageschäden			
Gesamtdauer nur Stahlbau		134h		
Prüfstatiker: Tragwerk, Schrauben, Vorspannung				
Abnahme				

Tabelle A 26 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt E9 - Industriehalle C&P

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
	Nicht betrachtet		Bsp. 1 Bagger 30 t, Greifer	/
12x Windstützen				
1	Windstützen heraustrennen	1	Bagger 55 t mit Schrottschere	1,5
Feldart 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäben)				
2	Koppelstäbe heraustrennen (zwischen den Rahmen), lagern	3	Bagger 55 t mit Schrottschere	10
	Stützen des 1. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	1. Rahmen umziehen		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	1. Rahmen zerlegen und lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Koppelstäbe heraustrennen (zwischen 2. Rahmen und nächstem Feld), lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	Stützen des 2. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	2. Rahmen umziehen		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	2. Rahmen zerlegen und lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 4x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
Feldart 2 (2 Rahmen inkl. Verbänden und Koppelstäben)				
3	Verbände herauschneiden (zwischen den Rahmen), lagern	3	Arbeitsbühne 2 Schneidbrenner	12
	Koppelstäbe heraustrennen (zwischen den Rahmen), lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	Stützen des 1. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	1. Rahmen umziehen		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	1. Rahmen zerlegen und lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere, 2 Schneidbrenner	

Anhang

	Koppelstäbe heraustrennen (zwischen 2. Rahmen und nächstem Feld), lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	Stützen des 2. Rahmen an Fußpunkten keilförmig anschneiden		2 Schneidbrenner	
	2. Rahmen umziehen		Bagger 55 t mit Schrottschere	
	2. Rahmen zerlegen und lagern		Bagger 55 t mit Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 2x bis zur vollständigen Entfernung des Oberbaus</i>				
16x Träger und Pfetten zwischen den Rahmen				
4	Träger keilförmig anschneiden, heraustrennen, absenken, lagern	3	Arbeitsbühne 2 Schneidbrenner Bagger 55 t mit Schrottschere	16
	Koppelstäbe heraustrennen (zwischen den Trägern), lagern			
Sortieren				
5	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	Bagger 55 t mit Greifer	5
Gesamtdauer nur Stahlbau		103h		
Abtransport				
	Beladen	2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 30 Ladungen), Bagger 50 t mit Greifer	3
	Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 30 Ladungen)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

Tabelle A 27 Demontageschritte für den Rückbau Projekt E9 - Industriehalle C&P

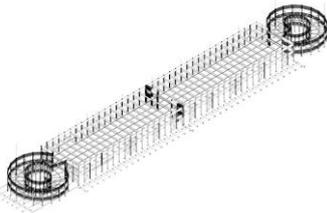
Rückbau für Wiederverwendung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer (h):
Fassade				
	Nicht betrachtet.		Bsp. Arbeitsbühne, Kran 100 t, Rundschlingen	/
Windstütze				
1	Windstütze anschlagen, demontieren, lagern	4	1 Teleskoplader, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	0,5
<i>Vorgänge wiederholen sich 12x</i>				
Feldart 1 (2 Rahmen inkl. Koppelstäben/Pfetten)				
2	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 1 und 2) demontieren, lagern	4	1 Kran 100 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	16
	Rahmen 1 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 1 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 1 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten demontieren (zwischen Rahmen 2 und 3), lagern			
Rahmen 2 anschlagen Stützen an Fußpunkten lösen				

Anhang

	Rahmen 2 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 2 zerlegen und lagern			
<i>Vorgänge wiederholen sich 4x</i>				
Feldart 2 (2 Rahmen inkl. Verbände und Koppelstäbe/Pfetten)				
3	Verbände (zwischen Rahmen 3 und 4) demontieren, lagern	4	1 Kran 100 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	20
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 3 und 4) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 3 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 3 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 3 zerlegen und lagern			
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 4 und 5) anschlagen, demontieren, lagern			
	Rahmen 4 anschlagen, Stützen an Fußpunkten lösen			
	Rahmen 4 kontrolliert umlegen			
	Rahmen 4 zerlegen und lagern			
<i>Vorgänge wiederholen sich 2x</i>				
16x Träger und Pfetten zwischen den Rahmen				
4	Verbände (zwischen Rahmen 3 und 4) demontieren, lagern	3	1 Kran 100 t, Rundschlingen, 1 Teleskoplader, 2 Arbeitsbühnen, 2 Elektrotrennschleifer	30
	Koppelstäbe und Pfetten (zwischen Rahmen 3 und 4) anschlagen, demontieren, lagern			
	Träger demontieren absenken und lagern			
Sortieren				
5	Sortieren und lagern der Bauteile	2	1 Teleskoplader, Rundschlingen	3
Gesamtdauer nur Stahlbau		143h		
Abtransport				
	Bauteile anschlagen und sicher aufladen	3	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 35 Fahrten), 1 Teleskoplader, Rundschlingen	16
	Abtransport bis zum neuen Standort	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 35 Fahrten)	/
Fundamente				
Hier nicht betrachtet; Fundamente verbleiben oftmals im Boden				

II. Anhang – Hintergrunddaten der mehrgeschossigen Stahlbauprojekte

Tabelle A 28 Montageschritte für die Errichtung Projekt M1 - DHL Parkhaus in Dorsten

				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau):
Gründung				
	Gründung Streifenfundamente mit eingebauten Rückverankerungsplatten	NU	/	/
Anlieferung				
	Liefern Material	/	Mobilkran 100 t, LKW	/
<i>Die Montage erfolgt achsweise, ausgehend von den zwei Auffahrspindeln</i>				
2 Spindeln (Stützen und Deckenträger ohne Betonfertigteile)				
1	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	40
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	3	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	2 Elektroschlagschrauber	
Stützen stellen (Abschnittsweise, volle Höhe)				
2	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	48
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	3	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	2 Elektroschlagschrauber	
Deckenträger für eine Ebene einsetzen (Abschnittsweise)				
3	Vormontage (Mittelstoß)	4	Kran 100 t, Rundschlingen, Elektroschlagschrauber	48
	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	3	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	2 Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 2x</i>				
IPE Profile als Aussteifung				
4	Anhängen	2	Kran 100 t, Rundschlingen	8
	Heben			
	Einsetzen Monteure + Richtmeister	2	Kran 100 t, Rundschlingen, 2 Arbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	2 Elektroschlagschrauber	
5	Ausbesserung der Montageschäden			
Gesamtdauer nur Stahlbau			192h	
Prüfstatiker: Tragwerk, Schrauben, Vorspannung				
Abnahme				

Anhang

Tabelle A 29 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt M1 - DHL Parkhaus in Dorsten; die Arbeitsschritte zum Abbruch der Stahlverbundbauteile sind zur Information enthalten (hellgrau) werden jedoch nicht in den Zeiten berücksichtigt

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau):
Fassade				
	Nicht betrachtet		Bsp.: 2 Bagger 55 t, Ausleger, Greifer	/
<i>Der Abbruch erfolgt achsweise - Top-Down-Verfahren</i>				
Spindeln				
<i>Vorgänge für eine Spindel</i>				
Oberer Radius				
1x Feld				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	1,0
	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
	Koppelstab entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
	Verbundträger entfernen, lagern			
<i>Vorgänge wiederholen sich 19x</i>				
Unterer Radius				
1x Feld				
2	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	1,0
	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern			
	Koppelstab entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
	Verbundträger entfernen, lagern			
<i>Vorgänge wiederholen sich 19x</i>				
Stützen Außenradius				
3	Stütze an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,1
	Stützen umziehen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
<i>Vorgänge wiederholen sich 19x</i>				
Stützen Innenradius				
4	Randträger oben und unten entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
	Stütze an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	
	Stützen umziehen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
<i>Vorgänge wiederholen sich 19x</i>				
Vorgänge laufen parallel für die zweite Spindel				
Parkbereich				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				

Anhang

Anfangsfeld				
9x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	1,8
5x Verband				
2	Verbände herausschneiden, lagern	2	Arbeitsbühne, 2 Schneidbrenner	1,25
2x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
4	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
6x Stützen				
5	Stützen an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
6	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühne	0,6
	Träger mit Stützen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
Innenfeld ohne Aussteifung				
2x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,4
1x Verbunddecke				
1	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	1,5
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
2	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
3	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,5
	Träger mit Stützen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich 11x</i>				
Innenfeld mit Aussteifung				
2x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,4
2x Verband				
2	Verbände herausschneiden, lagern	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,5
1x Verbunddecke				

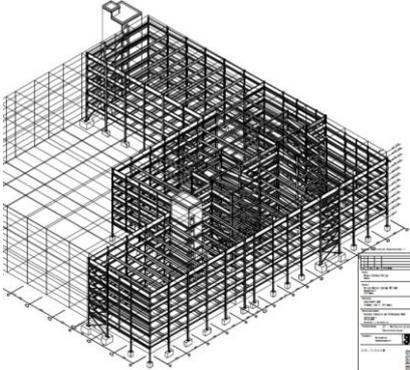
Anhang

3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	1,5
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
4	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
5	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühne	0,5
	Träger mit Stützen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich 3x</i>				
Endfeld				
9x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	1,8
5x Verband				
2	Verbände herausschneiden, lagern	2	Arbeitsbühne, 2 Schneidbrenner	1,5
2x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
4	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
6x Stützen				
5	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner	0,6
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
6	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner Arbeitsbühne	0,6
	Träger mit Stützen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
Vorgänge laufen analog für jedes Geschoss (2x) und parallel von beiden Seiten des Gebäudes.				
<i>Die Vorgänge auf den verschiedenen Geschossen erfolgen abwechselnd. Es ergibt sich eine treppenförmige Struktur während des Abbruchs. Bauschutt und Stahlschrott können so immer auf das nächstniedrigere Geschoss geschoben werden.</i>				
Sortieren				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
1	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 55 t, Greifer	1
Gesamtdauer nur Stahlbau		≈102h		
Abtransport Stahlschrott				
<i>Erfolg parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
Beladen		2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 11 Ladungen), 1 Bagger 30 t, Greifer	5

Anhang

Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 11 Ladungen)	/
Abtransport Betonschutt			
Hier nicht betrachtet			
Fundamente			
Hier nicht betrachtet			

Tabelle A 30 Montageschritte für die Errichtung Projekt M2 - Phillips Parkhaus in Hamburg

				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau):
Gründung				
Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss		NU	/	/
Anlieferung				
Lieferung Material		/	LKW	/
Stütze (halbe Höhe)				
1	Anhängen	2	TDK, Gurt	0,3
	Heben			
	Einsetzen Monteure	3	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 51x</i>				
Stütze (bis volle Höhe)				
2	Anhängen	2	TDK, Gurt, Teleskoplader	0,3
	Heben			
	Einsetzen	3	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 51x</i>				
Träger				
3	Anhängen	2	TDK, Gurt, Teleskoplader	0,3
	Heben			
	Einsetzen	4	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen, Teleskoplader	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber Teleskoplader	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 401x</i>				
IPE Profile als Aussteifung				

Anhang

4	Anhängen	1	TDK, Gurt, Teleskopklader	0,2
	Heben			
	Einsetzen	4	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen, Teleskopklader	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber, Teleskopklader	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 40x</i>				
5	Ausbesserung von Montageschäden und Anstrichen			
Gesamtdauer nur Stahlbau		≈159h		
Prüfstatter: Regelmäßige Begehungen, Schrauben, Vorspannungen				
Abnahme				

Tabelle A 31 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt M2 - Phillips Parkhaus in Hamburg; die Arbeitsschritte zum Abbruch der Stahlverbundbauteile sind zur Information enthalten (hellgrau) werden jedoch nicht in den Zeiten berücksichtigt

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau):
Fassade				
	Nicht betrachtet		Bsp.: 2 Bagger 55 t, Ausleger, Greifer	/
<i>Der Abbruch erfolgt achsweise beginnend von beiden Enden - Top-Down-Verfahren</i>				
Achse Randbereich mit Aussteifung				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feld 1				
7x Randträger				
1	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1,5
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
2x Verband				
2	Verbände herausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,5
2x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
4x Stützen				
4	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,4
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
5	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Rahmen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
Feld 2				

Anhang

7x Randträger				
6	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1,5
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
1x Verband				
7	Verbände herausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,25
2x Verbunddecke				
8	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern			
4x Stützen				
9	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,4
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
10	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Rahmen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Rahmen zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 5x</i>				
Achse Randbereich ohne Aussteifung				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feld 1				
2x Randträger				
1	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühne	0,4
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
1x Verbunddecke				
2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2,3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
3	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühne	0,6
	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner	
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 35x</i>				
Achse Innenbereich 1				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feld 1				
6x Randträger				

Anhang

1	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühne	1,2
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
2x Verbunddecke				
2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
4x Stützen				
3	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühne	0,4
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
4	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 10x</i>				
Feld 2				
1x Randträger				
5	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,2
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
1x Verbunddecke				
6	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2,3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern			
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
7	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 30x</i>				
Achse Innenbereich 2				
Feld 1				
6x Randträger				
1	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1,2
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
2x Verbunddecke				

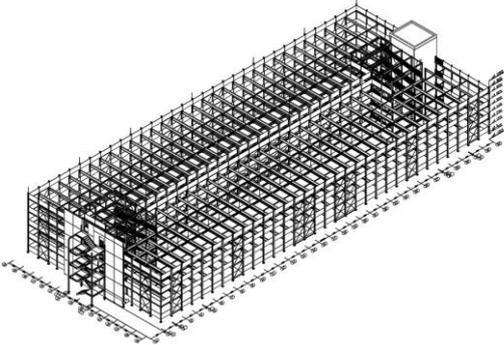
Anhang

2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	4,5
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
5x Stützen				
3	Stützen an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,5
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
4	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden			
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 5x</i>				
Feld 2				
2x Randträger				
5	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,4
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
1x Verbunddecke				
6	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2,3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern			
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
7	Stützen an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Rahmen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
	Rahmen zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 30x.</i>				
Feld 3				
2x Randträger				
8	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,4
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
1x Verband				
9	Verbände herausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,25
1x Verbunddecke				
10	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2,3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
2x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
11	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1,8

Anhang

	Rahmen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
	Rahmen zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 5x</i>				
Auffahrampen				
2x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
1	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1,2
	Rahmen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
	Rahmen zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
2x Stützen				
2	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,2
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 10x</i>				
<i>Die Vorgänge auf den verschiedenen Achsen und der Auffahrrampe erfolgen parallel. Es ergibt sich eine treppenförmige Struktur während des Abbruchs. Bauschutt und Stahlschrott kann so immer auf das nächstniedrigere Geschoss geschoben werden.</i>				
Sortieren				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
1	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 55 t, Greifer	2
Gesamtdauer nur Stahlbau			≈97h	
Abtransport Stahlschrott				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
Beladen		2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 13 Ladungen), 1 Bagger 30 t, Greifer	14
Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk		1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 13 Ladungen)	/
Abtransport Betonschutt				
Hier nicht betrachtet				
Fundamente				
Hier nicht betrachtet				

Tabelle A 32 Montageschritte für die Errichtung Projekt M3 - Parkhaus Helios Duisburg

				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau):
Gründung				
	Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss	NU	/	/
Lieferung				
	Lieferung Material	/	LKW	/
Alle Stützen stellen (volle Höhe)				
1	Anhängen	2	TDK, Gurt	40
	Heben			
	Einsetzen Monteure	3	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
Deckenträger für eine Ebene einsetzen				
3	Anhängen	2	TDK, Gurt	16
	Heben			
	Einsetzen	4	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich für 4 Ebenen</i>				
IPE Profile als Aussteifung				
4	Anhängen	1	TDK, Gurt	0,5
	Heben			
	Einsetzen	4	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 20x</i>				
5	Ausbesserung von Montageschäden und Anstrichen			
Gesamtdauer nur Stahlbau			134h	
Prüfstatiker: Regelmäßige Begehungen, Schrauben, Vorspannungen				
Abnahme				

Anhang

Tabelle A 33 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt M3 - Parkhaus Helios Duisburg; die Arbeitsschritte zum Abbruch der Stahlverbundbauteile sind zur Information enthalten (hellgrau) werden jedoch nicht in den Zeiten berücksichtigt

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau):
Fassade				
	Nicht betrachtet		Bsp.: 2 Bagger 55 t, Ausleger, Greifer	/
<i>Der Abbruch erfolgt achsweise beginnend von beiden Enden - Top-Down-Verfahren</i>				
Achse Randbereich mit Aussteifung an Betonkern				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feld 1				
8x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	1,0
1x Verband				
2	Verbände herausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,2
2x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
2x Koppelstäbe				
4	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
6x Stützen				
5	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
6	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 7x</i>				
Achse Randbereich mit Aussteifung an Stahlkern				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feld 1				

Anhang

6x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,8
2x Verband				
2	Verbände herausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,5
2x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
2x Koppelstäbe				
4	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
4x Stützen				
5	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,4
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
6	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Element zerlegen und lagern	2		
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 7x</i>				
Achse Randbereich ohne Aussteifung an Stahlkern				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feld 1				
1x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,1
1x Verbunddecke				
2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2,3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
2x Koppelstäbe				
3	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
4	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,5
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2		

Anhang

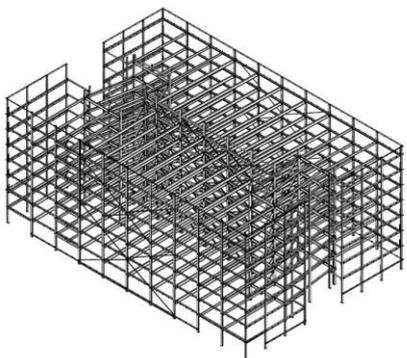
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Element zerlegen und lagern	2		
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 49x</i>				
Achse Innenbereich 1 dreigeschossig				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feldart 1 mit Aussteifung				
1x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,2
1x Verband				
2	Verbände herausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,2
1x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2,3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
2x Koppelstäbe				
4	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
5	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,5
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 18x</i>				
Feldart 2 ohne Aussteifung				
1x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,2
1x Verbunddecke				
2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2,3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
2x Koppelstäbe				
3	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
4	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,5
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	

<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 36x</i>				
Achse Innenbereich 2 viergeschossig				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feldart 1 mit Aussteifung				
2x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,4
1x Verband				
2	Verbände ausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,25
2x Koppelstäbe				
3	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
4	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,5
	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 24x</i>				
Feldart 2 ohne Aussteifung				
1x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,2
1x Verbunddecke				
2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2,3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
2x Koppelstäbe				
3	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
4	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,5
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 48x</i>				
Auffahrampen				
2x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
1	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1
	Rahmen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
	Rahmen zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
6x Stützen				
2	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6

Anhang

	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 8x</i>				
<i>Die Vorgänge auf den verschiedenen Achsen und der Auffahrrampe erfolgen parallel. Es ergibt sich eine treppenförmige Struktur während des Abbruchs. Bauschutt und Stahlschrott können so immer auf das nächstniedrigere Geschoss geschoben werden.</i>				
Sortieren				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
1	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 55 t, Greifer	3
Gesamtdauer nur Stahlbau			≈119h	
Abtransport Stahlschrott				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
	Beladen	2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 30 Ladungen), 1 Bagger 30 t, Greifer	14
	Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 30 Ladungen)	/
Abtransport Betonschutt				
Hier nicht betrachtet				
Fundamente				
Hier nicht betrachtet				

Tabelle A 34 Montageschritte für die Errichtung Projekt M4 - Parkhaus TU Darmstadt

				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau):
Gründung				
	Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss	NU	/	/
Anlieferung				
	Lieferung Material	/	LKW	/
Stütze (halbe Höhe)				
1	Anhängen	2	TDK, Gurt	0,3
	Heben			
	Einsetzen Monteure	3	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber,	
<i>Vorgänge wiederholen sich 51x</i>				
Stütze (bis volle Höhe)				

Anhang

2	Anhängen	2	TDK, Gurt	0,4
	Heben			
	Einsetzen	3	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 51x</i>				
Träger				
3	Anhängen	1	TDK, Gurt, Teleskoplader	0,3
	Heben			
	Einsetzen	4	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen, Teleskoplader	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber Teleskoplader	
<i>Vorgänge wiederholen sich 420x</i>				
IPE Profile als Aussteifung				
4	Anhängen	1	TDK, Gurt	0,2
	Heben			
	Einsetzen	4	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen, Teleskoplader	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber, Teleskoplader	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 84x</i>				
5	Ausbesserung von Montageschäden und Anstrichen			
Gesamtdauer nur Stahlbau			178,5h	
Prüfstatiker: Regelmäßige Begehungen, Schrauben, Vorspannungen				
Abnahme				

Tabelle A 35 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt M4 - Parkhaus TU Darmstadt; die Arbeitsschritte zum Abbruch der Stahlverbundbauteile sind zur Information enthalten (hellgrau) werden jedoch nicht in den Zeiten berücksichtigt

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau)
Fassade				
	Nicht betrachtet.		Bsp.: 2 Bagger 55 t, Ausleger, Greifer	/
<i>Der Abbruch erfolgt achsweise - Top-Down-Verfahren</i>				
Achse Randbereich				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feld 1				
2x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,4
3x Randträger				

Anhang

2	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,9
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
2x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
5x Stützen				
4	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,5
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 28</i>				
Achse Randbereich ohne Aussteifung an Stahlkern				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feld 1				
1x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,2
1x Verbunddecke				
2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2,3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
3	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Element zerlegen und lagern	2		
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 28x</i>				
Achse Innenbereich 1				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feldart 1 mit Aussteifung				
1x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,2
1x Verband				
2	Verbände ausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,25
1x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2,3

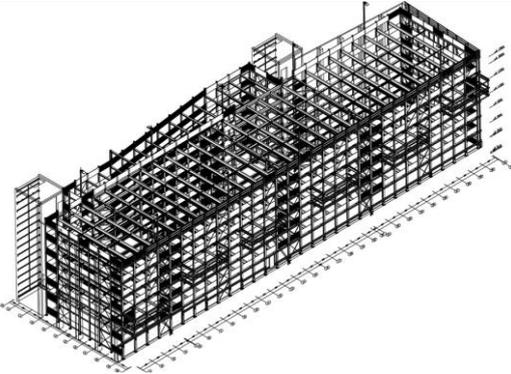
Anhang

	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
4	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 14x</i>				
Feldart 2 ohne Aussteifung				
1x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,2
1x Verbunddecke				
2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2,3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
3	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 35x</i>				
Achse Innenbereich 2				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feldart 1 mit 2xAussteifung				
2x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,4
2x Verband				
2	Verbände ausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,5
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
3	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 14x</i>				

Anhang

Feldart2 mit 1x Aussteifung				
1x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,2
1x Verbunddecke				
2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2,3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
3	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Element zerlegen und lagern	2		
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 35x</i>				
Auffahrampen				
2x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
1	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1,2
	Rahmen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Rahmen zerlegen und lagern	2		
2x Stützen				
2	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,2
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 14x</i>				
<i>Die Vorgänge auf den verschiedenen Achsen und der Auffahrrampe erfolgen parallel. Es ergibt sich eine treppenförmige Struktur während des Abbruchs. Bauschutt und Stahlschrott können so immer auf das nächstniedrigere Geschoss geschoben werden.</i>				
Sortieren				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
1	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 55 t, Greifer	4
Gesamtdauer nur Stahlbau			≈94h	
Abtransport Stahlschrott				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
Beladen		2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 23 Ladungen), 1 Bagger 30 t, Greifer	14
Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk		1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 23 Ladungen)	/
Abtransport Betonschutt				
<i>Hier nicht betrachtet</i>				
Fundamente				
<i>Hier nicht betrachtet</i>				

Tabelle A 36 Montageschritte für die Errichtung Projekt M5 - Parkhaus Hofaue in Wuppertal

				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau):
Gründung				
	Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss	NU	/	/
Anlieferung				
	Lieferung Material	/	LKW	/
Rampe montieren (volle Höhe)				
1	Anhängen	2	Kettenkran SK2400R, Gurt	80
	Heben			
	Einsetzen	3	Kettenkran SK2400R, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	Elektroschlagschrauber	
Stützen stellen (volle Höhe)				
2	Anhängen	2	Kettenkran SK2400R, Gurt	20
	Heben			
	Einsetzen	3	Kettenkran SK2400R, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	Elektroschlagschrauber	
Deckenträger für eine Ebene einsetzen				
3	Anhängen	2	Kettenkran SK2400R, Gurt	40
	Heben			
	Einsetzen	4	Kettenkran SK2400R, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich für 6 Ebenen</i>				
IPE Profile als Aussteifung				
4	Anhängen	2	Kettenkran SK2400R, Gurt	0,2
	Heben			
	Einsetzen	4	Kettenkran SK2400R, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	3	Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 120x</i>				
5	Ausbesserung von Montageschäden und Anstrichen			
Gesamtdauer nur Stahlbau			364h	
Prüfstatiker: Regelmäßige Begehungen, Schrauben, Vorspannungen				
Abnahme				

Anhang

Tabelle A 37 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt M5 - Parkhaus Hofaue in Wuppertal; die Arbeitsschritte zum Abbruch der Stahlverbundbauteile sind zur Information enthalten (hellgrau) werden jedoch nicht in den Zeiten berücksichtigt

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau)
Fassade				
Nicht betrachtet			Bsp.: 2 Bagger 55 t, Ausleger, Greifer	/
<i>Der Abbruch erfolgt achsweise - Top-Down-Verfahren</i>				
Auffahrrampe				
<i>Vorgänge für eine Geschoss</i>				
Endfelder ohne Aussteifung				
5x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	1,0
2x Verbunddecke				
2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
4x Stützen				
3	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,4
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
4	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere, 2 Schneidbrenner	
	Element zerlegen und lagern	2		
Endfelder mit Aussteifung				
5x Randträger				
5	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	1,0
1x Verband				
6	Verbände ausschneiden, lagern	2	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,25
2x Verbunddecke				
7	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
4x Stützen				
8	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,4

Anhang

	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
9	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich 5x</i>				
Innenfelder ohne Aussteifung				
1x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,2
1x Verbunddecke				
2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	1,5
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
4	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich 65x</i>				
Parkbereich				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Anfangsfeld mit Aussteifung				
11x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	2,2
2x Verband				
2	Verbände herauschneiden, lagern	2	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,5
2x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
4	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
2x Koppelstäbe				
3	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
8x Stützen				
5	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,8

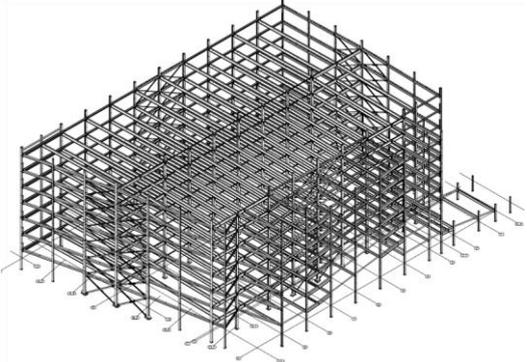
Anhang

	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
6	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Träger mit Stützen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich 12x</i>				
Innenfeld ohne Aussteifung				
2x Randträger				
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,4
1x Verbunddecke				
1	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	1,5
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
2	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
3	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,5
	Träger mit Stützen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich 90x</i>				
Innenfeld mit Aussteifung				
2x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,4
2x Verband				
2	Verbände herausschneiden, lagern	2	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,5
1x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	1,5
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
4	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
5	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,5
	Träger mit Stützen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich 66x</i>				
Endfeld				
9x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	1,8

Anhang

5x Verband				
2	Verbände herausschneiden, lagern	2	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	1,5
2x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
4	2x Koppelstäbe entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	0,3
6x Stützen				
5	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,6
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
6	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Träger mit Stützen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
Vorgänge laufen analog für jedes Geschoss (6x) und parallel von beiden Seiten des Gebäudes.				
<i>Die Vorgänge auf den verschiedenen Geschossen erfolgen abwechselnd. Es ergibt sich eine treppenförmige Struktur während des Abbruchs. Bauschutt und Stahlschrott kann so immer auf das nächstniedrigere Geschoss geschoben werden.</i>				
Sortieren				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
1	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 55 t, Greifer	4
Gesamtdauer nur Stahlbau			≈179h	
Abtransport Stahlschrott				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
Beladen		2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 10 Ladungen), 1 Bagger 30 t, Greifer	5
Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk		1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 30 Ladungen)	/
Abtransport Betonschutt				
Hier nicht betrachtet				
Fundamente				
Hier nicht betrachtet				

Tabelle A 38 Montageschritte für die Errichtung Projekt M6 - Parkhaus IDR Düsseldorf

				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau):
Gründung				
	Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss	NU	/	/
Anlieferung				
	Lieferung Material	/	LKW	/
Stütze (halbe Höhe)				
1	Anhängen	2	TDK, Gurt	0,3
	Heben			
	Einsetzen Monteure	3	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 45x</i>				
Stütze (bis volle Höhe)				
2	Anhängen	2	TDK, Gurt	0,4
	Heben			
	Einsetzen	3	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 45x</i>				
Haupt- und Randträger				
3	Anhängen	2	TDK, Gurt	0,3
	Heben			
	Einsetzen	4	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen, Teleskoplader	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber, Teleskoplader	
<i>Vorgänge wiederholen sich 378x</i>				
IPE Profile als Aussteifung				
4	Anhängen	2	TDK, Gurt	0,2
	Heben			
	Einsetzen	4	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen, Teleskoplader,	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber, Teleskoplader	

<i>Vorgänge wiederholen sich 56x</i>	
5	Ausbesserung von Montageschäden und Anstrichen
Gesamtdauer nur Stahlbau ≈156h	
Prüfstatiker: Regelmäßige Begehungen, Schrauben, Vorspannungen	
Abnahme	

Tabelle A 39 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt M6 - Parkhaus IDR Düsseldorf; die Arbeitsschritte zum Abbruch der Stahlverbundbauteile sind zur Information enthalten (hellgrau) werden jedoch nicht in den Zeiten berücksichtigt

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau):
Fassade				
Nicht betrachtet			Bsp.: 2 Bagger 55 t, Ausleger, Greifer	/
<i>Der Abbruch erfolgt achsweise - Top-Down-Verfahren</i>				
Achse Randbereich mit Aussteifung				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feld 1				
5x Randträger				
1	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1,5
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
1x Verband				
2	Verbände herausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,25
2x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
3x Stützen				
4	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,3
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
5	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
Feld 2				
7x Randträger				
6	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	2,1
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	

Anhang

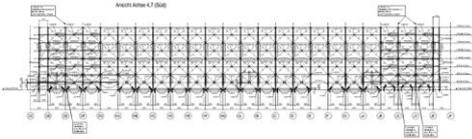
1x Verband				
7	Verbände herausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,25
2x Verbunddecke				
8	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
4x Stützen				
9	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
10	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Rahmen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Rahmen zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 14x</i>				
Auffahrrampe				
8x Randträger				
1	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	2,4
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
1x Verbunddecke (Rampe)				
2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	2
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
8x Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
3	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	3,6
4	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2		
5	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
6	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 7x</i>				
Achse Innenbereich				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feld 1				
2x Randträger				
1	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,6
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
2x Verbunddecke				
2	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	

2x Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
3	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1,2
	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
Feld 2				
4x Randträger				
4	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1,2
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
2x Verbunddecke				
5	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
2x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
6	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1,2
	Rahmen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Rahmen zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 14x</i>				
Achse Innenbereich mit Aussteifung				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
Feld 1				
3x Randträger				
1	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	0,9
	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
2x Verband				
2	Verbände herausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,5
3x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	4,5
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
3x Stütze + Verbundträger				
4	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1,8
	Stütze an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
Feld 2				
6x Randträger				
5	Randträger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühnen	1,8

Anhang

	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere	
2x Verband				
6	Verbände herausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	0,5
3x Verbunddecke				
7	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Betonschere	4,5
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Löffel	
3x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
8	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner	1,8
	Rahmen umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 20 m + Schrottschere,	
	Rahmen zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 7x.</i>				
<i>Die Vorgänge auf den verschiedenen Achsen und der Auffahrrampe erfolgen parallel. Es ergibt sich eine treppenförmige Struktur während des Abbruchs. Bauschutt und Stahlschrott können so immer auf das nächstniedrigere Geschoss geschoben werden.</i>				
Sortieren				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
1	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 55 t, Greifer	4
Gesamtdauer nur Stahlbau			≈121h	
Abtransport Stahlschrott				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
	Beladen	2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 30 Ladungen), 1 Bagger 30 t, Greifer	14
	Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 30 Ladungen)	/
Abtransport Betonschutt				
Hier nicht betrachtet				
Fundamente				
Hier nicht betrachtet				

Tabelle A 40 Montageschritte für die Errichtung Projekt M7 - Parkhaus BER

				
Errichtung				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau):
Gründung				
	Gründung Einzelfundamente mit Stützenanschluss	NU	/	/
Anlieferung				
0	Lieferung Material	/	LKW	/
Verbundstützen stellen (Ebene 0+1)				
1	Anhängen	2	TDK, Gurt	80
	Heben			
	Einsetzen Monteure	3	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
Deckenträger für 1 Ebene einsetzen				
2	Anhängen	2	TDK, Gurt	32
	Heben			
	Einsetzen	4	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 2x für den Bereich der Verbundstützen</i>				
Stützen stellen volle Höhe (Ebene 2-7)				
3	Anhängen	2	TDK, Gurt	80
	Heben			
	Einsetzen Monteure	3	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
Deckenträger für 1 Ebene einsetzen				
4	Anhängen	2	TDK, Gurt	32
	Heben			
	Einsetzen	4	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 6x für den Bereich der Stahlstützen</i>				
Aussteifungen				
5	Anhängen	2	TDK, Gurt	0,3
	Heben			
	Einsetzen	4	TDK, Gurt, 2 Teleskoparbeitsbühnen	
	Fixieren durch Schrauben	2	Elektroschlagschrauber	
<i>Vorgänge wiederholen sich 472x</i>				
5	Ausbesserung von Montageschäden und Anstrichen			
Gesamtdauer nur Stahlbau			≈558h	
Prüfstatiker: Regelmäßige Begehungen, Schrauben, Vorspannungen				
Abnahme				

Anhang

Tabelle A 41 Arbeitsschritte für den Abbruch Projekt M7 - Parkhaus BER; die Arbeitsschritte zum Abbruch der Stahlverbundbauteile sind zur Information enthalten (hellgrau) werden jedoch nicht in den Zeiten berücksichtigt

Abbruch für Recycling				
Nr.:	Vorgang:	Personal:	Geräte:	Dauer in h (nur Stahlbau):
Fassade				
Nicht betrachtet			Bsp.: 2 Bagger 55 t, Ausleger, Greifer	/
<i>Der Abbruch erfolgt von 4 Seiten im Top-Down-Verfahren</i>				
Achsen kopfseitig				
Eckbereich mit Aussteifung				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
2x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner, 1 Bagger 77t + Ausleger auf 30m + Schrottschere	0,4
1x Verband				
2	Verbände herausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner, 1 Bagger 77t + Ausleger auf 30m + Schrottschere	0,25
1x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 30m + Betonschere	1,5
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 30m + Löffel	
1x Stütze				
4	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	Arbeitsbühne, 2 Schneidbrenner	0,1
	Stützen entfernen, lagern	1	1 Bagger 77t + Ausleger auf 30m + Schrottschere	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 32x</i>				
Feldbereich mit Aussteifung				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
1x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner, 1 Bagger 77t + Ausleger auf 30m + Schrottschere	0,2
1x Koppelstab				
2	Randträger entfernen, lagern	1	1 Bagger 77t + Ausleger auf 30m + Schrottschere	0,2
1x Verband				
3	Verbände herausschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner, 1 Bagger 77t + Ausleger auf 30m + Schrottschere	0,25
1x Verbunddecke				
4	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 30m + Betonschere	1,5

Anhang

	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 30m + Löffel	
1x Stütze				
5	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner, 1 Bagger 77t + Ausleger auf 30m + Schrottschere	0,1
	Stützen entfernen, lagern	1		
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 104x</i>				
Weitere Achsen				
3 Felder im Eckbereich mit Aussteifung				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
1x Randträger				
1	Randträger entfernen, lagern	1	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner, 1 Bagger 77t + Ausleger auf 30m + Schrottschere	0,2
1x Verband				
2	Verbände herauschneiden, lagern	3	Arbeitsbühne, 2 Schneidbrenner, 1 Bagger 77t + Ausleger auf 30m + Schrottschere	0,25
3x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 30m + Betonschere	4,5
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 30m + Löffel	
Element aus 1 Stütze + 1 Verbundträger				
4	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühne	0,6
	Stütze an Fußpunkt keilförmig anschneiden	2		
	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 30m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 344x</i>				
2 Felder im Mittleren Bereich mit Aussteifung				
<i>Vorgänge für ein Geschoss</i>				
2x Verband				
2	Verbände herauschneiden, lagern	3	Arbeitsbühnen, 2 Schneidbrenner, 1 Bagger 77t + Ausleger auf 30m + Schrottschere	0,5
2x Verbunddecke				
3	Stückweises zerlegen der Verbunddecken	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 30m + Betonschere	3
	Abschieben des Betonschutts nach unten, lagern	1	1 Bagger 55 t + Ausleger auf 30m + Löffel	
1x Rahmen aus 2 Stützen + 1 Verbundträger				
3	Träger keilförmig anschneiden	2	2 Schneidbrenner, Arbeitsbühne	0,8
	Stützen an Fußpunkten keilförmig anschneiden	2		

Anhang

	Träger durchtrennen und mit Stütze umziehen	1	1 Bagger 77t + Ausleger auf 30m + Schrottschere,	
	Element zerlegen und lagern	2	2 Schneidbrenner	
<i>Vorgänge wiederholen sich insgesamt 172x</i>				
<i>Die Vorgänge auf den verschiedenen Achsen und der Auffahrrampe erfolgen parallel. Es ergibt sich eine treppenförmige Struktur während des Abbruchs. Bauschutt und Stahlschrott können so immer auf das nächstniedrigere Geschoss geschoben werden.</i>				
Sortieren				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
1	Zusätzliches sortieren und umlagern des Stahlschrotts	1	1 Bagger 77 t, Greifer	20
Gesamtdauer nur Stahlbau			≈357h	
Abtransport Stahlschrott				
<i>Erfolgt parallel zu den Abbrucharbeiten</i>				
	Beladen	2	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 150 Ladungen), 1 Bagger 30 t, Greifer	75
	Abtransport bis Schrotthändler oder Stahlwerk	1	LKW 17,3 t Nutzlast (ca. 150 Ladungen)	/
Abtransport Betonschutt				
Hier nicht betrachtet				
Fundamente				
Hier nicht betrachtet				

III. Anhang – Ökobilanzergebnisse detailliert Treibhauspotenzial (GWP)

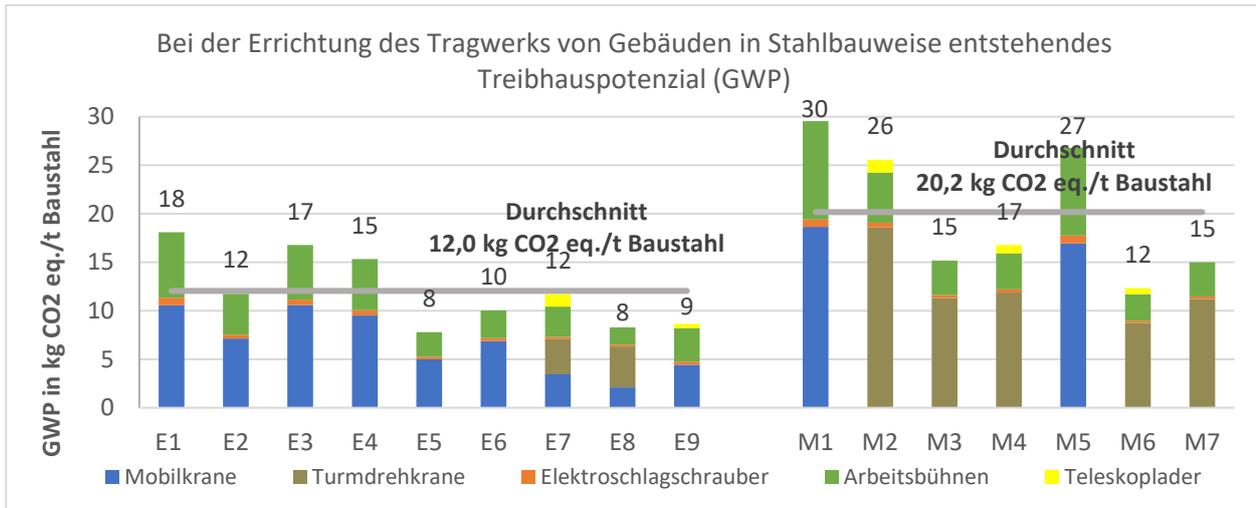


Abbildung A 1 Treibhauspotenzial (GWP) für die Errichtung der betrachteten Projekte

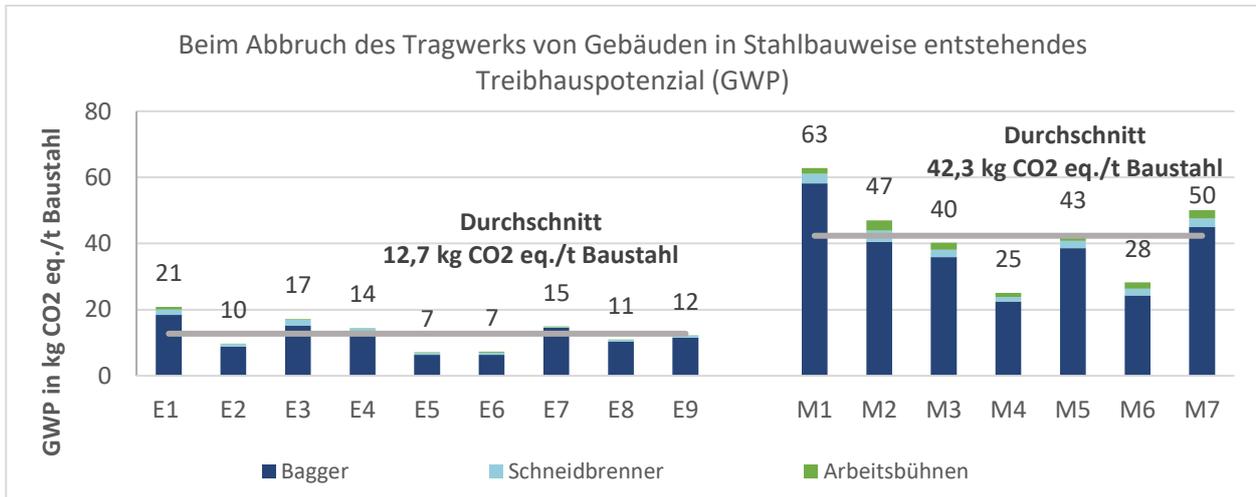


Abbildung A 2 Treibhauspotenzial (GWP) für den Abbruch der betrachteten Projekte

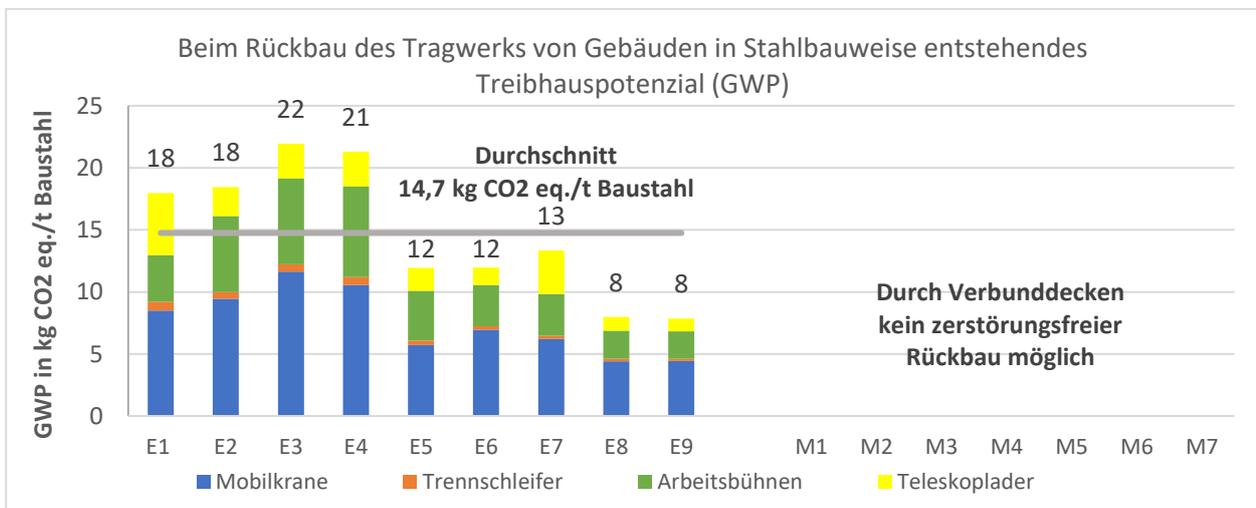


Abbildung A 3 Treibhauspotenzial (GWP) für den Rückbau der betrachteten Projekte

Gesamtprimärenergie (PET)

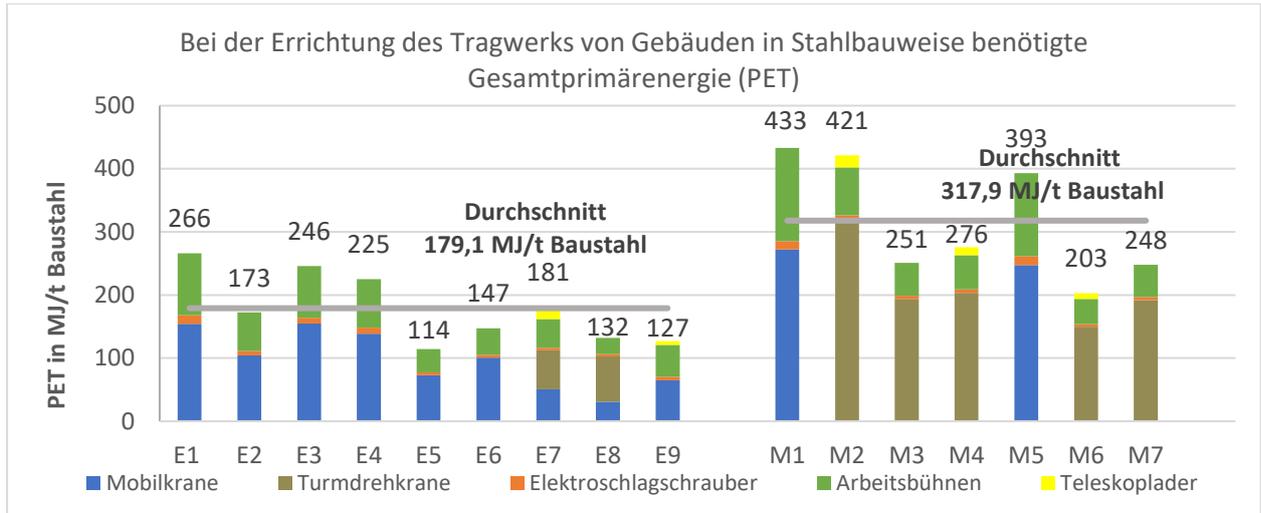


Abbildung A 4 Gesamtprimärenergie (PET) für die Errichtung der betrachteten Projekte

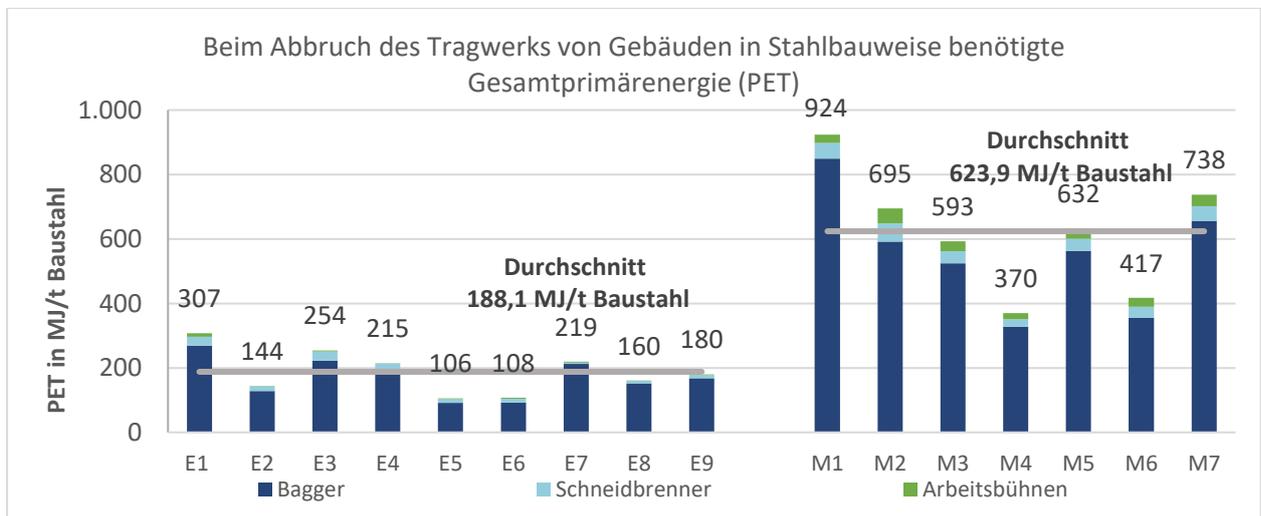


Abbildung A 5 Gesamtprimärenergie (PET) für den Abbruch der betrachteten Projekte

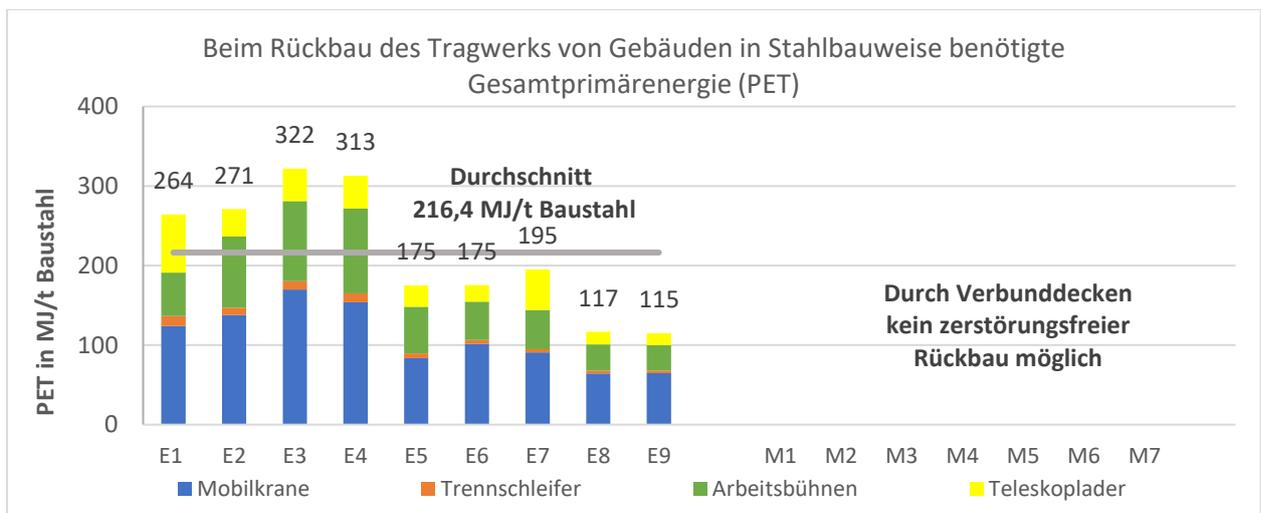


Abbildung A 6 Gesamtprimärenergie (PET) für den Rückbau der betrachteten Projekte

Erneuerbare Primärenergie (PERT)

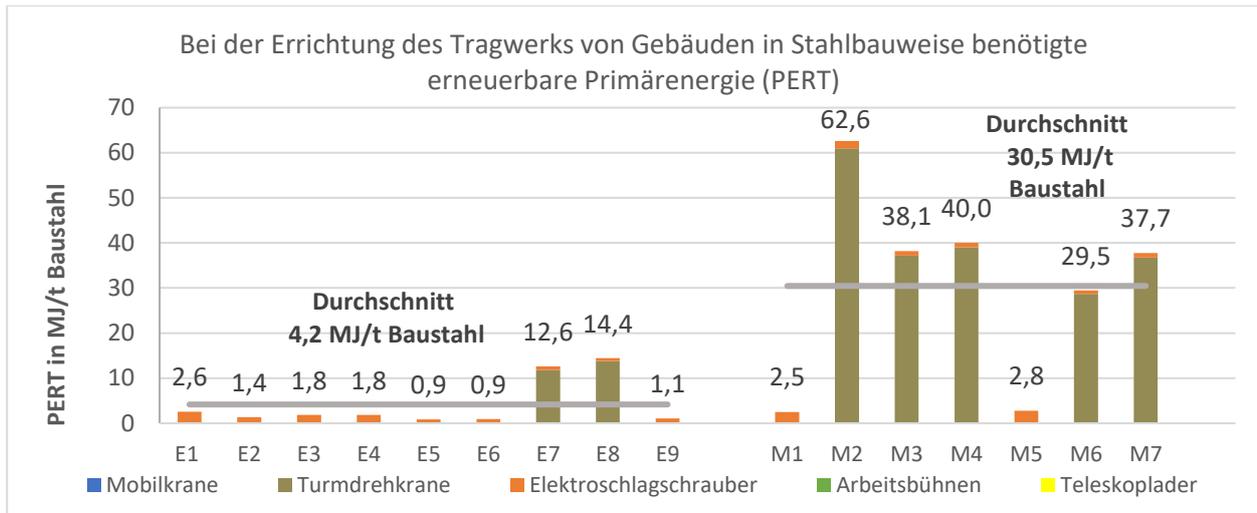


Abbildung A 7 Erneuerbare Primärenergie (PERT) für die Errichtung der betrachteten Projekte

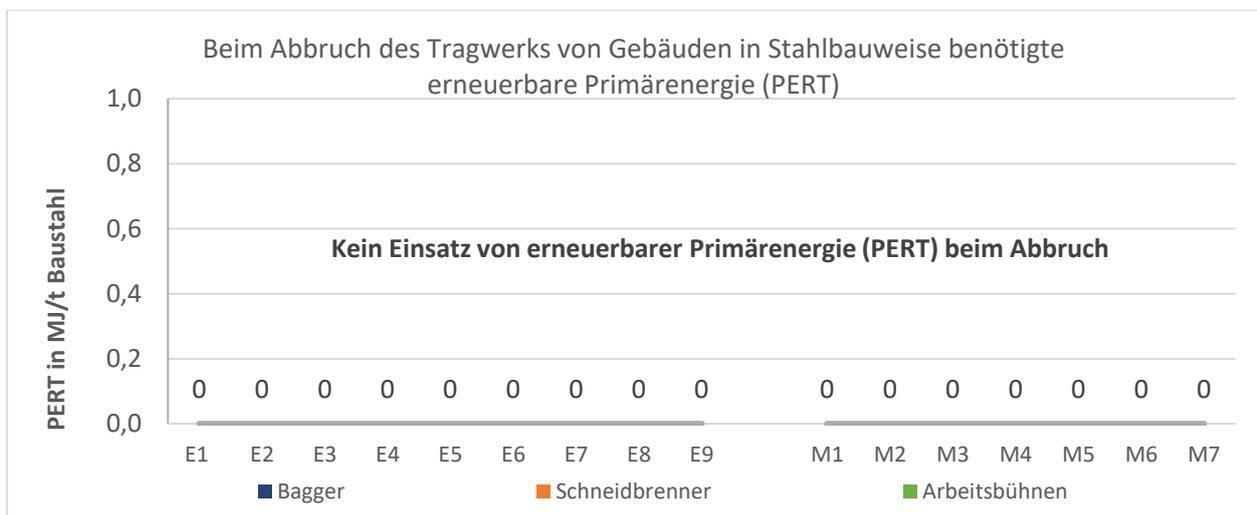


Abbildung A 8 Erneuerbare Primärenergie (PERT) für den Abbruch der betrachteten Projekte

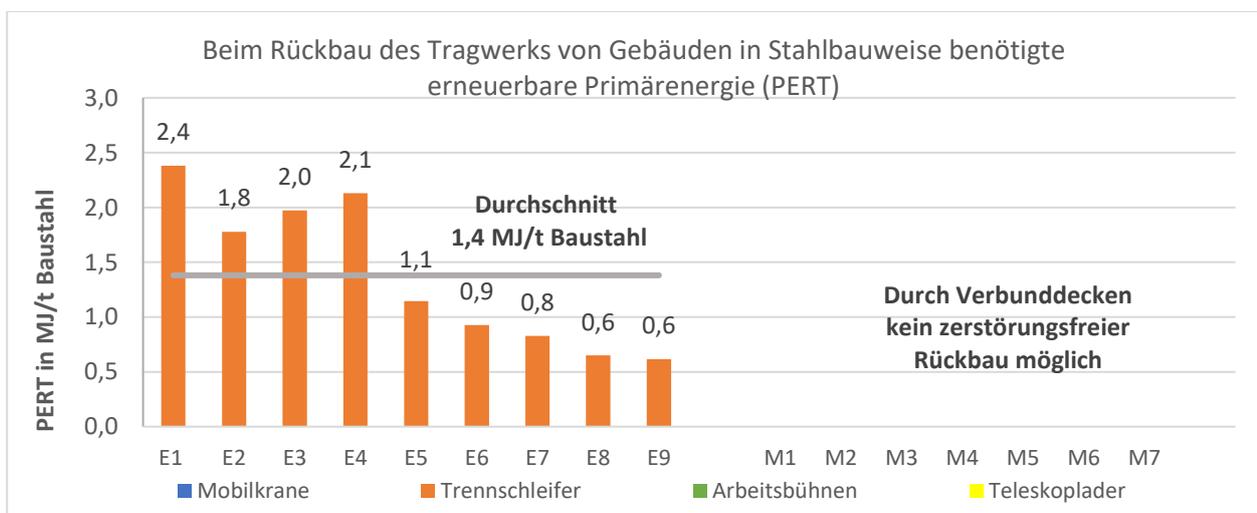


Abbildung A 9 Erneuerbare Primärenergie (PERT) für den Rückbau der betrachteten Projekte

Nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT)

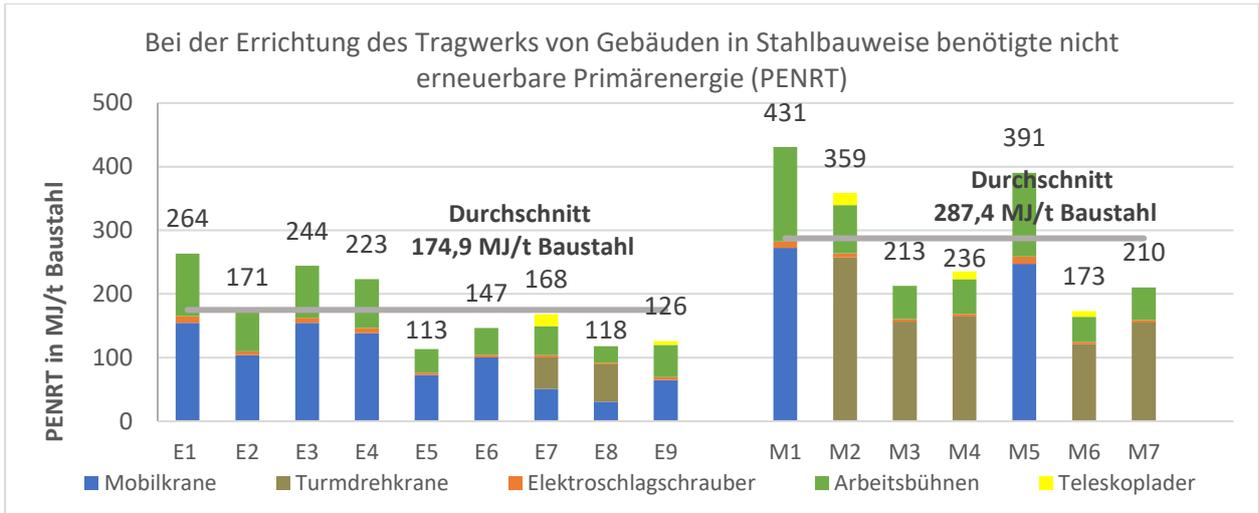


Abbildung A 10 Nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT) für die Errichtung der betrachteten Projekte

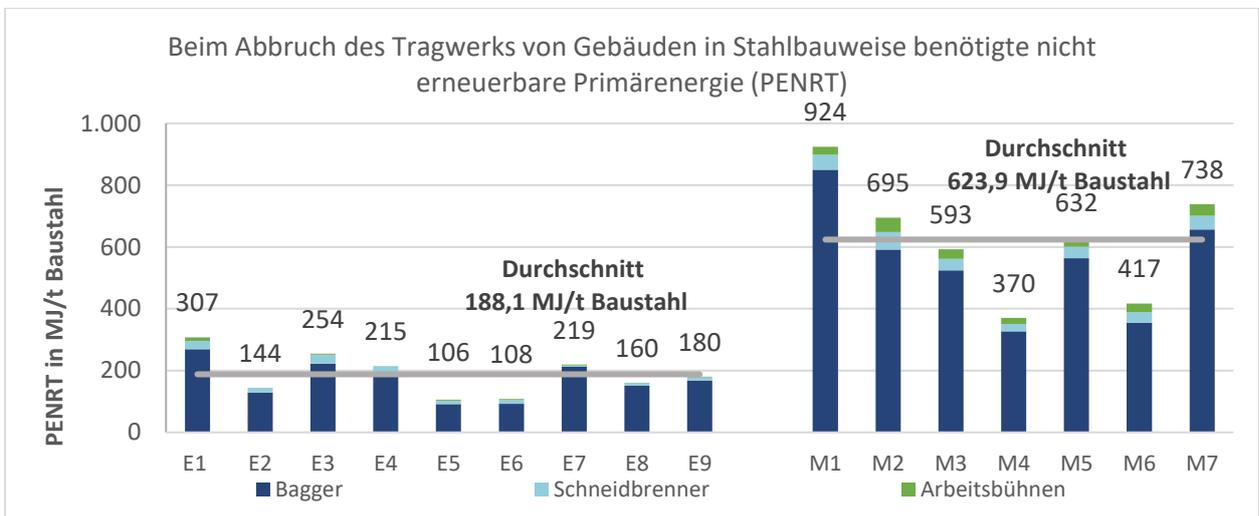


Abbildung A 11 Nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT) für den Abbruch der betrachteten Projekte

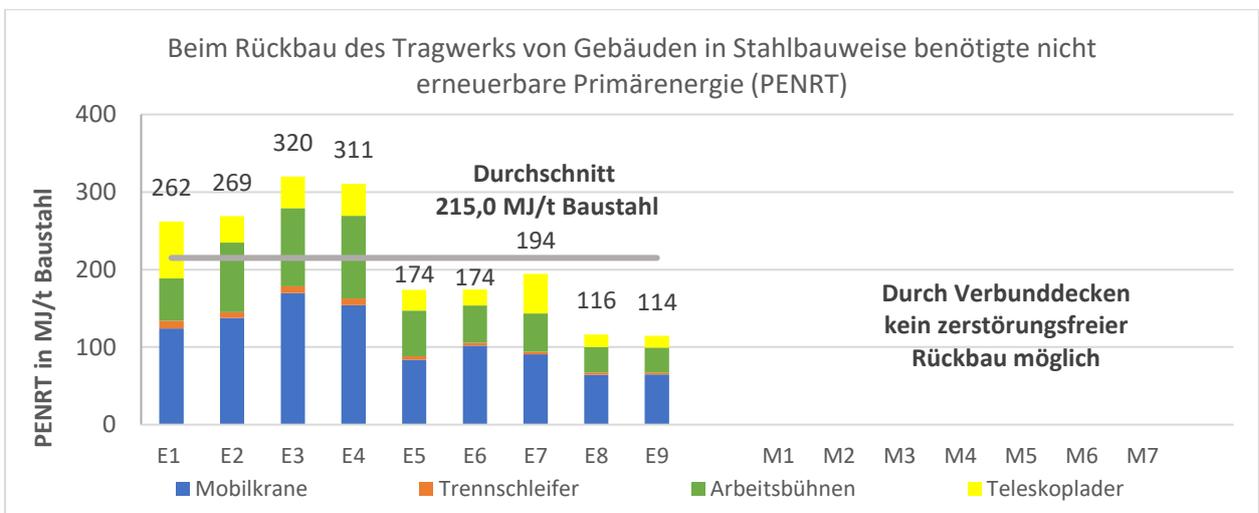


Abbildung A 12 Nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT) für den Rückbau der betrachteten Projekte

Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE)

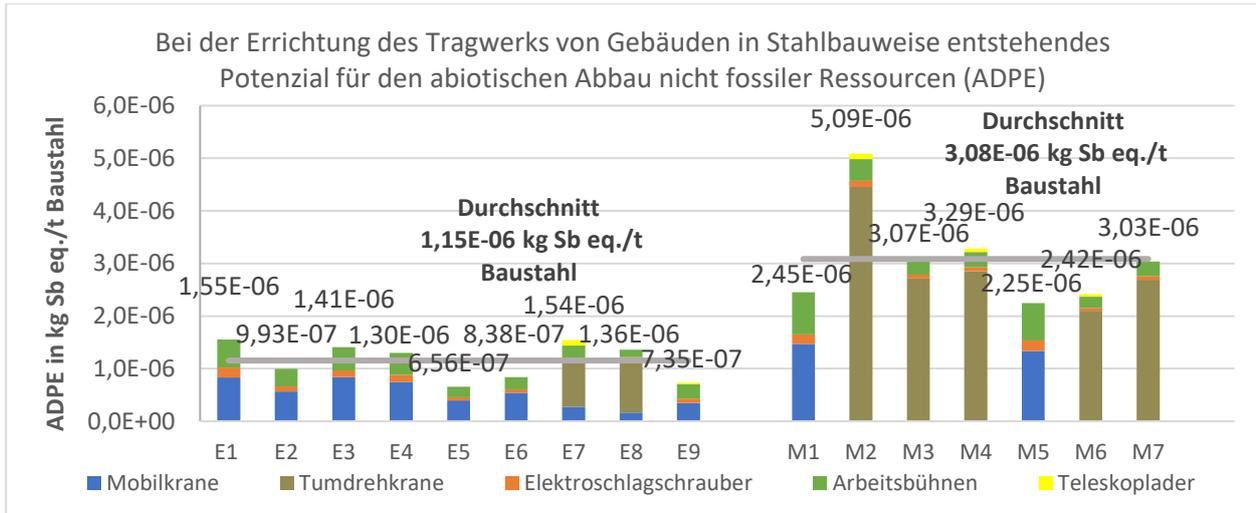


Abbildung A 13 Pot. für den abiot. Abbau n. fossiler Ress. (ADPE) für die Errichtung der betrachteten Projekte

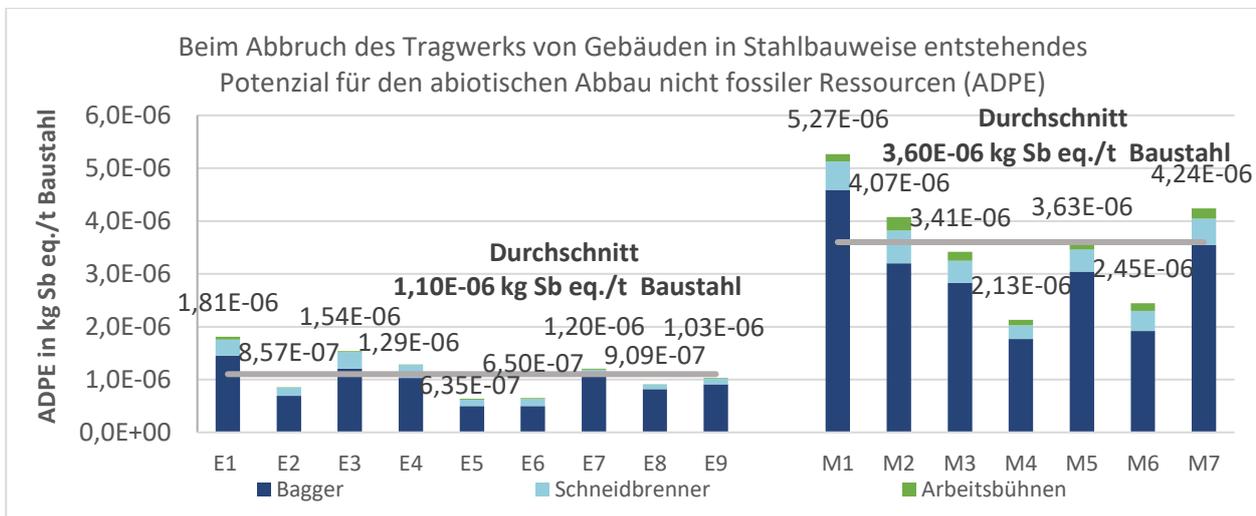


Abbildung A 14 Pot. für den abiot. Abbau n. fossiler Ress. (ADPE) für den Abbruch der betrachteten Projekte

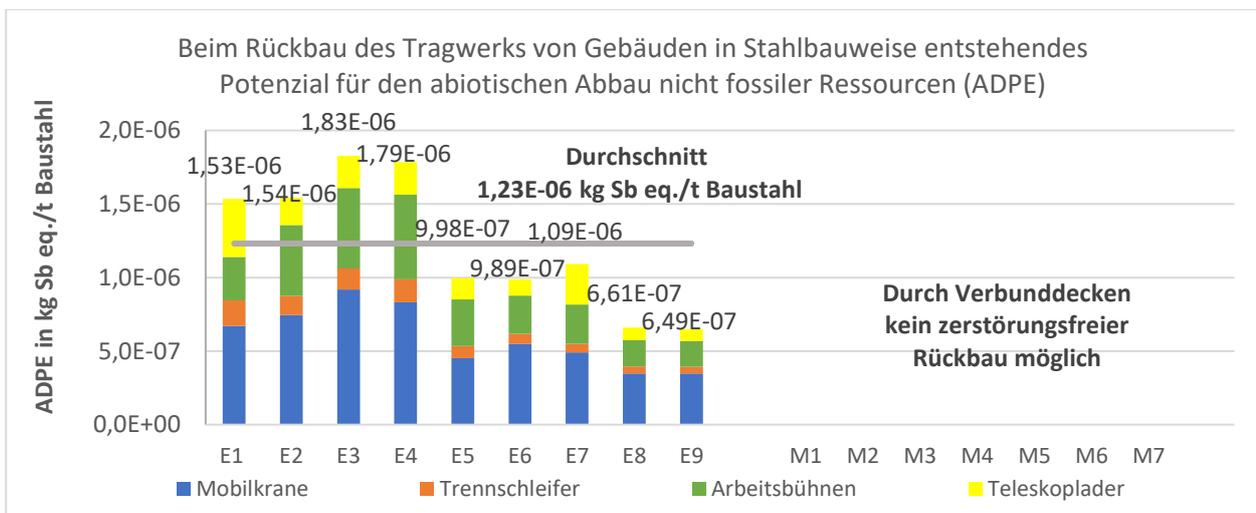


Abbildung A 15 Pot. für den abiot. Abbau n. fossiler Ress. (ADPE) für den Rückbau der betrachteten Projekte

Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF)

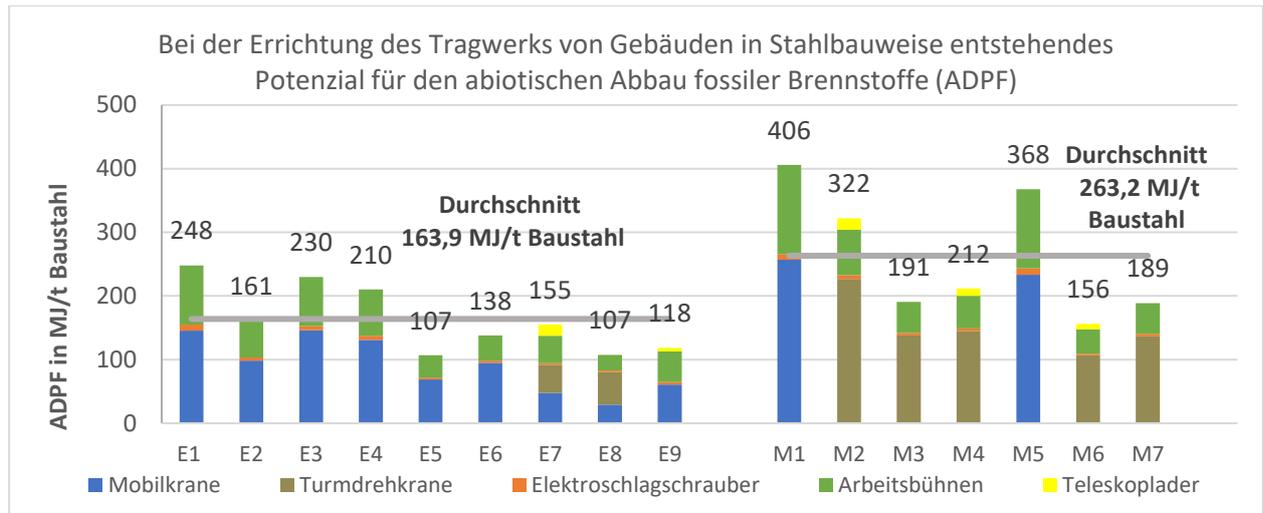


Abbildung A 16 Pot. für den abiot. Abbau foss. Brennst. (ADPF) für die Errichtung der betrachteten Projekte

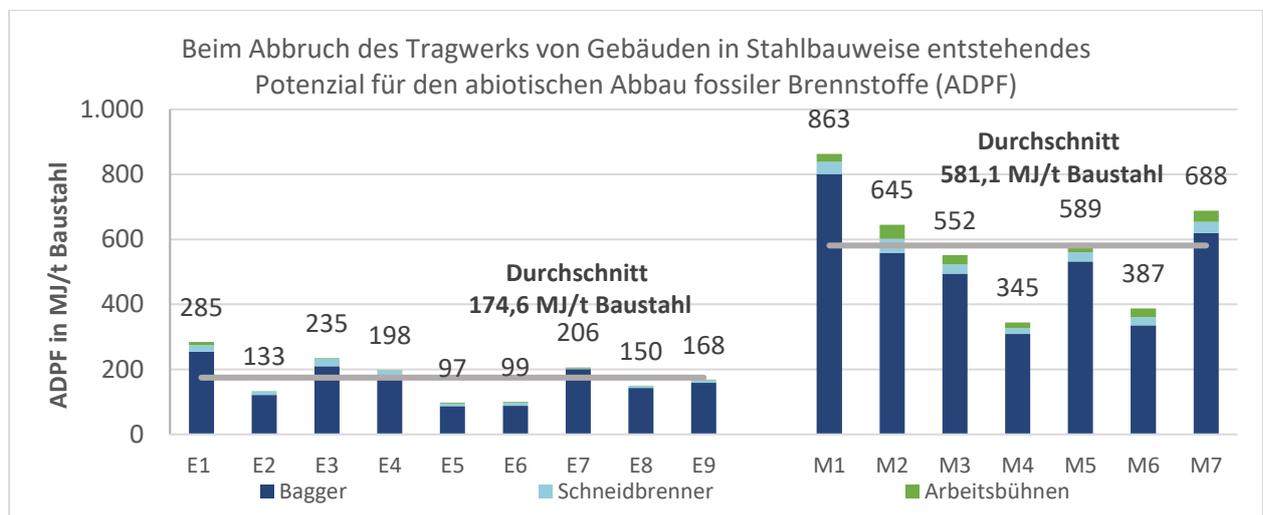


Abbildung A 17 Pot. für den abiot. Abbau foss. Brennst. (ADPF) für den Abbruch der betrachteten Projekte

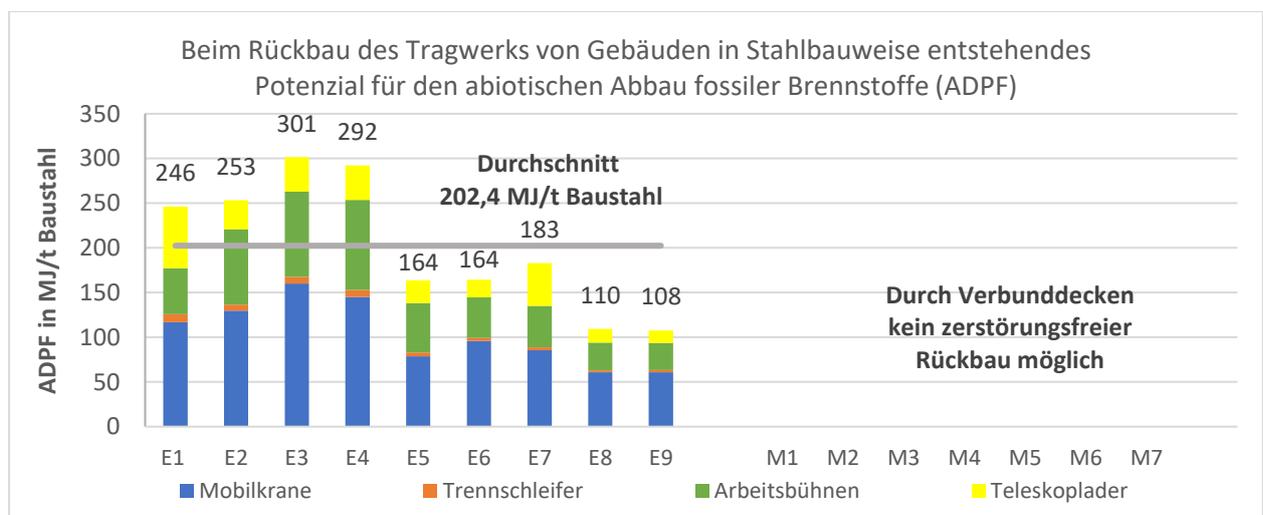


Abbildung A 18 Pot. für den abiot. Abbau foss. Brennst. (ADPF) für den Rückbau der betrachteten Projekte

Versauerungspotenzial (AP)

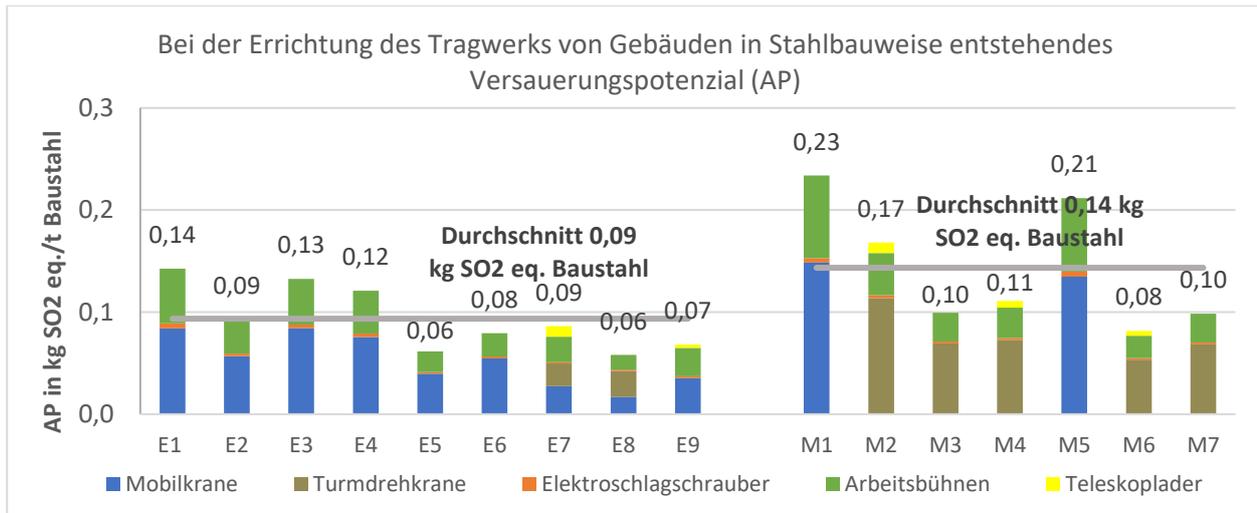


Abbildung A 19 Versauerungspotenzial (AP) für die Errichtung der betrachteten Projekte

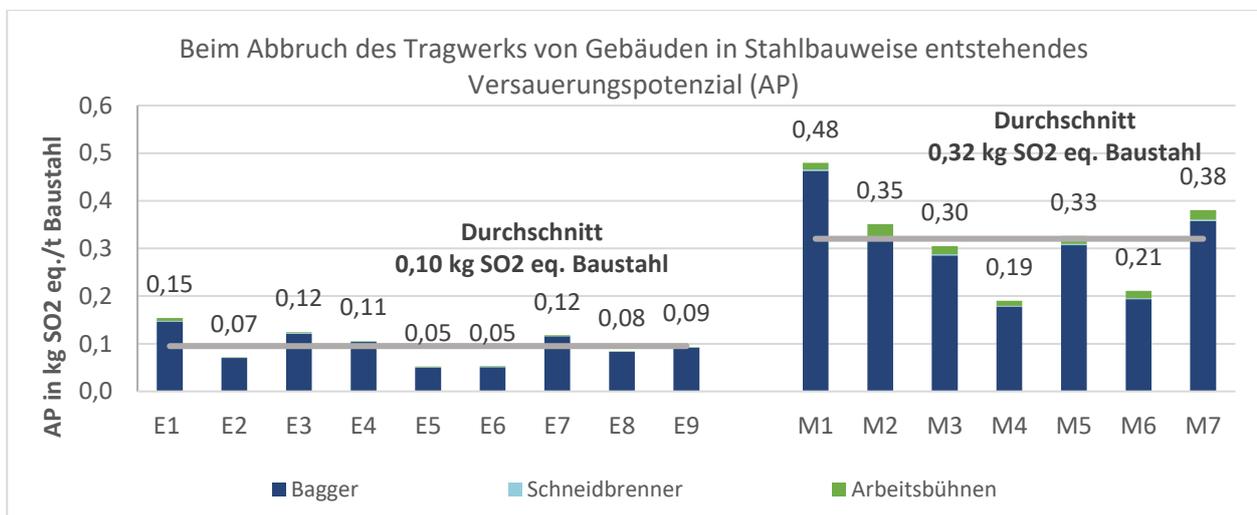


Abbildung A 20 Versauerungspotenzial (AP) für den Abbruch der betrachteten Projekte

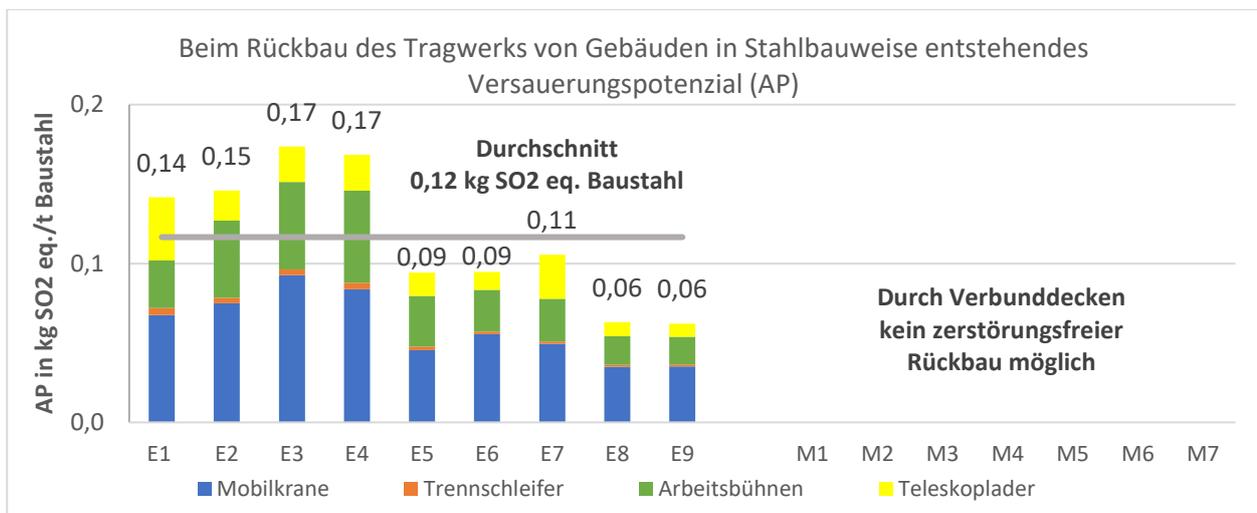


Abbildung A 21 Versauerungspotenzial (AP) für den Rückbau der betrachteten Projekte

Überdüngungspotenzial (EP)

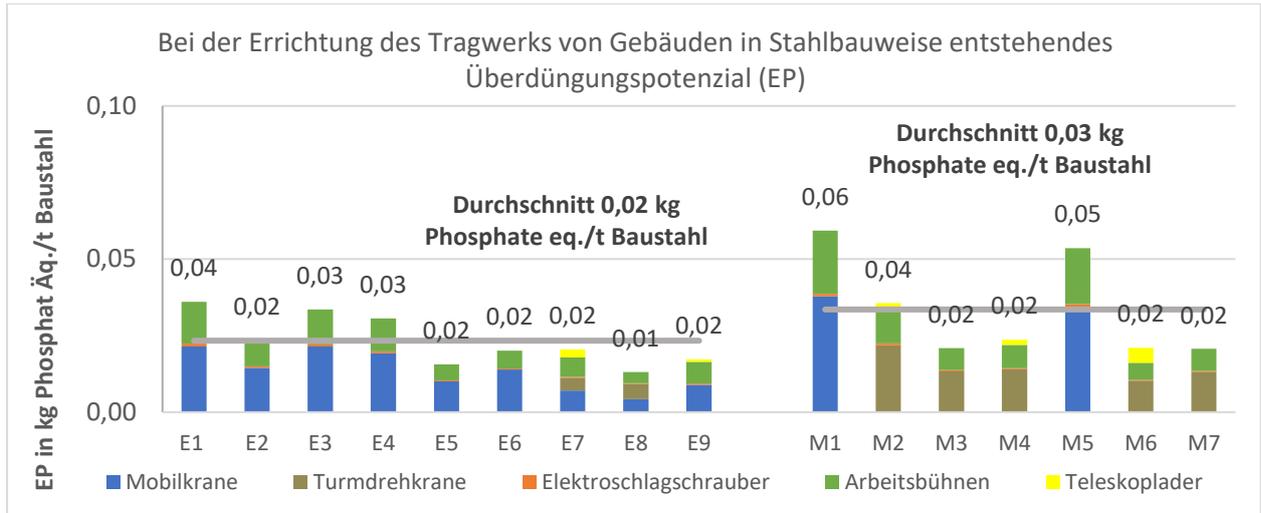


Abbildung A 22 Überdüngungspotenzial (EP) für die Errichtung der betrachteten Projekte

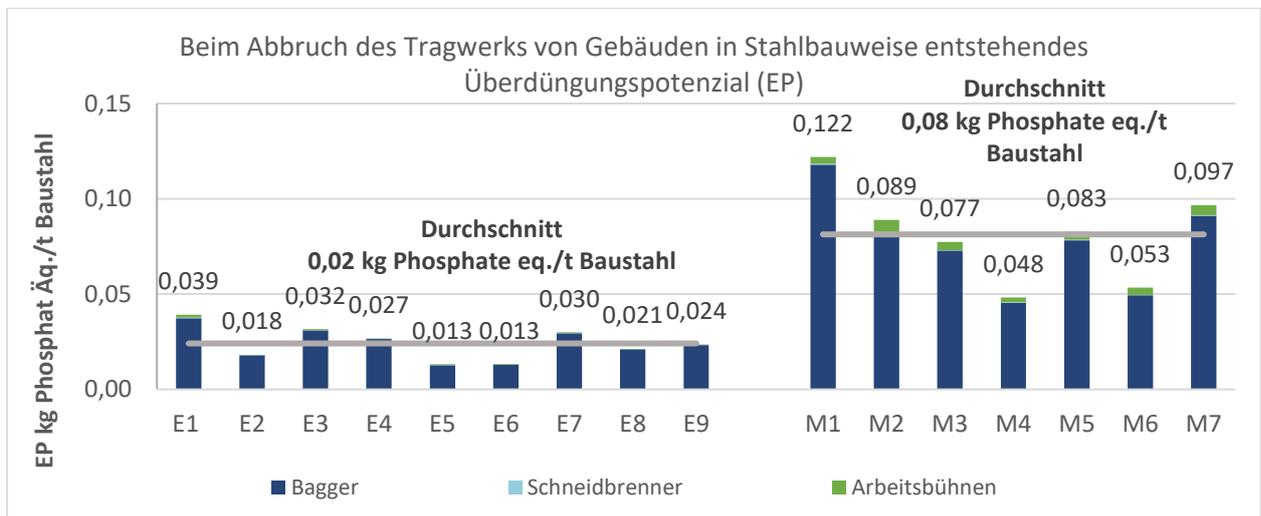


Abbildung A 23 Überdüngungspotenzial (EP) für den Abbruch der betrachteten Projekte

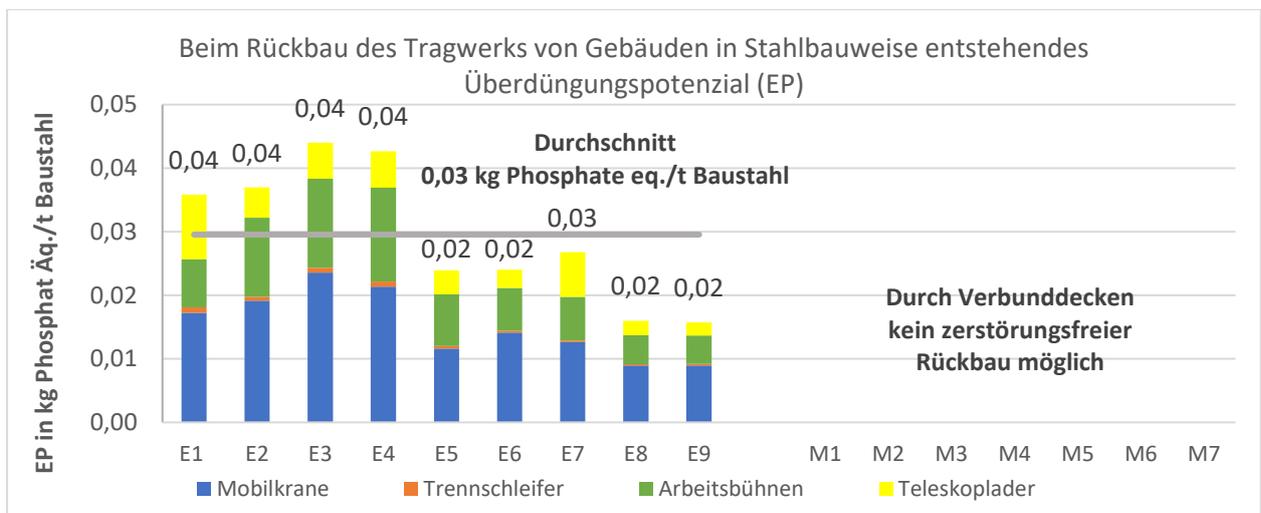


Abbildung A 24 Überdüngungspotenzial (EP) für den Rückbau der betrachteten Projekte

Ozonbildungspotenzial (POCP)

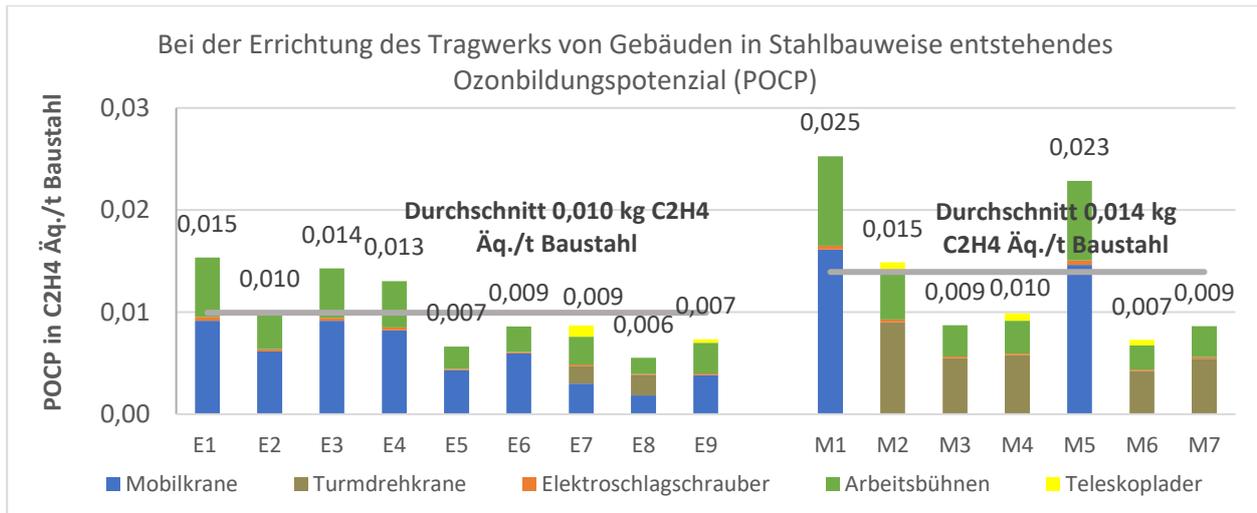


Abbildung A 25 Ozonbildungspotenzial (POCP) für die Errichtung der betrachteten Projekte

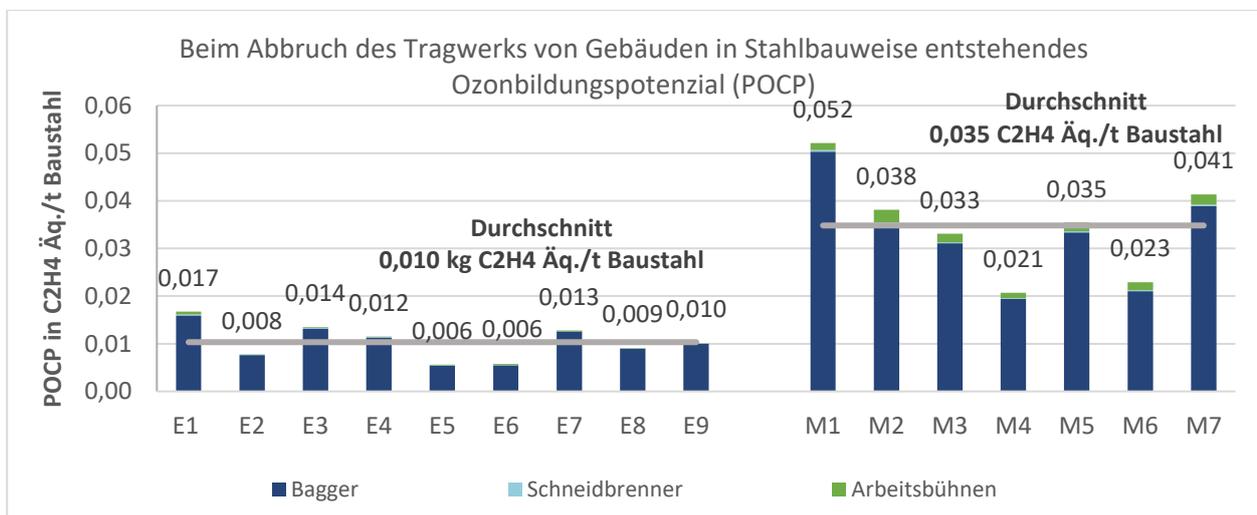


Abbildung A 26 Ozonbildungspotenzial (POCP) für den Abbruch der betrachteten Projekte

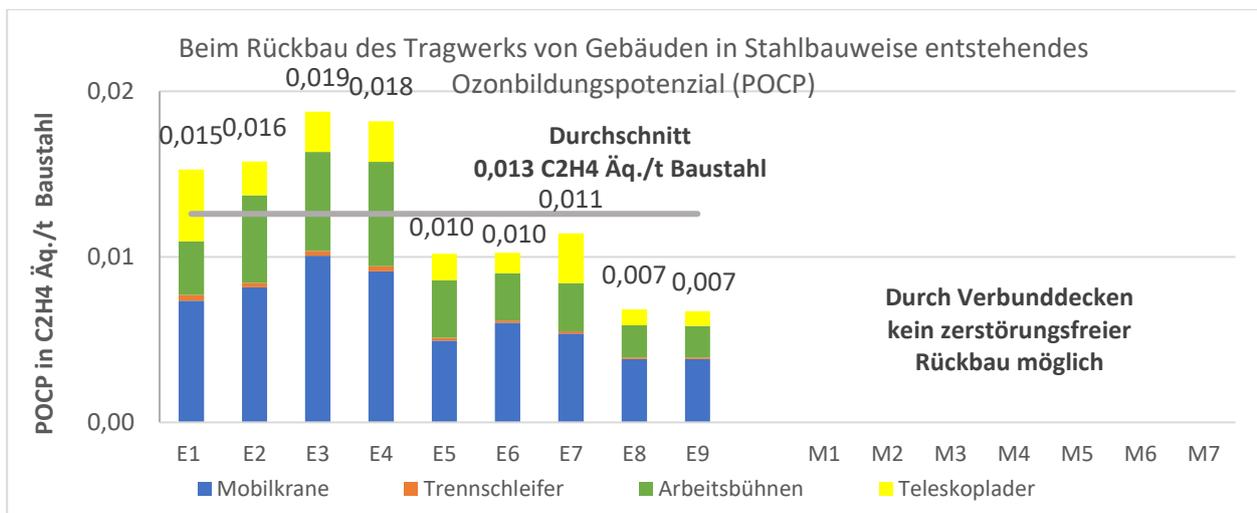


Abbildung A 27 Ozonbildungspotenzial (POCP) für den Rückbau der betrachteten Projekte

Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)

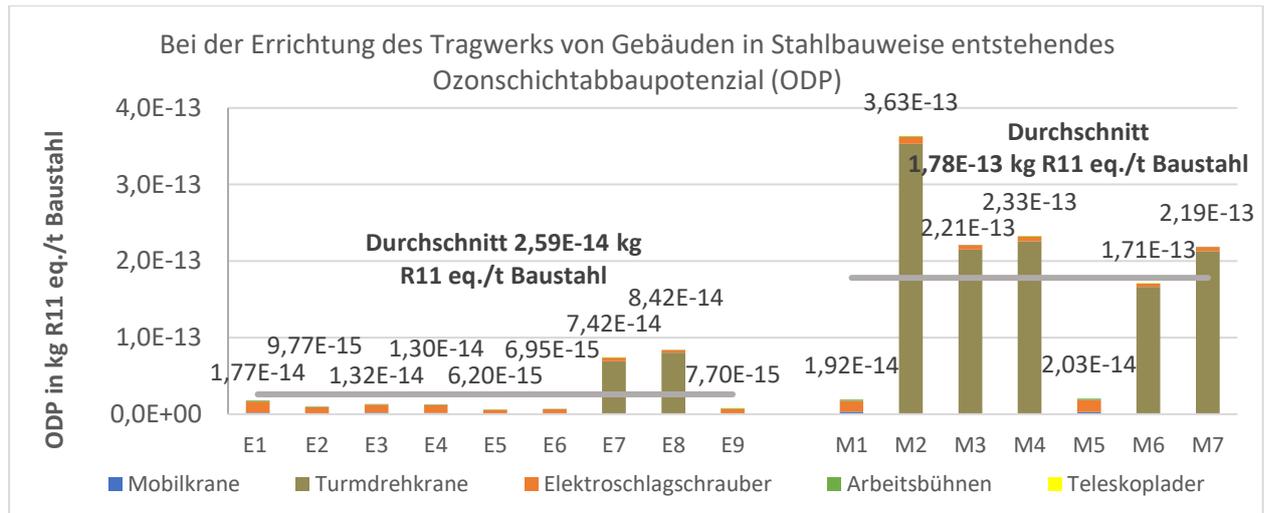


Abbildung A 28 Ozonschichtabbaupotenzial (ODP) für die Errichtung der betrachteten Projekte

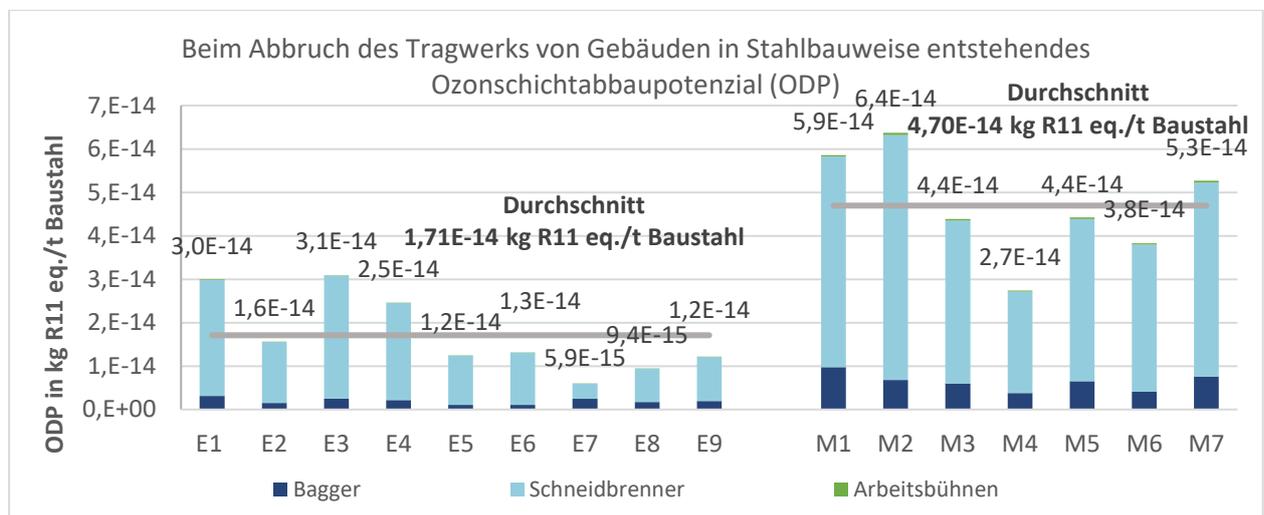


Abbildung A 29 Ozonschichtabbaupotenzial (ODP) für den Abbruch der betrachteten Projekte

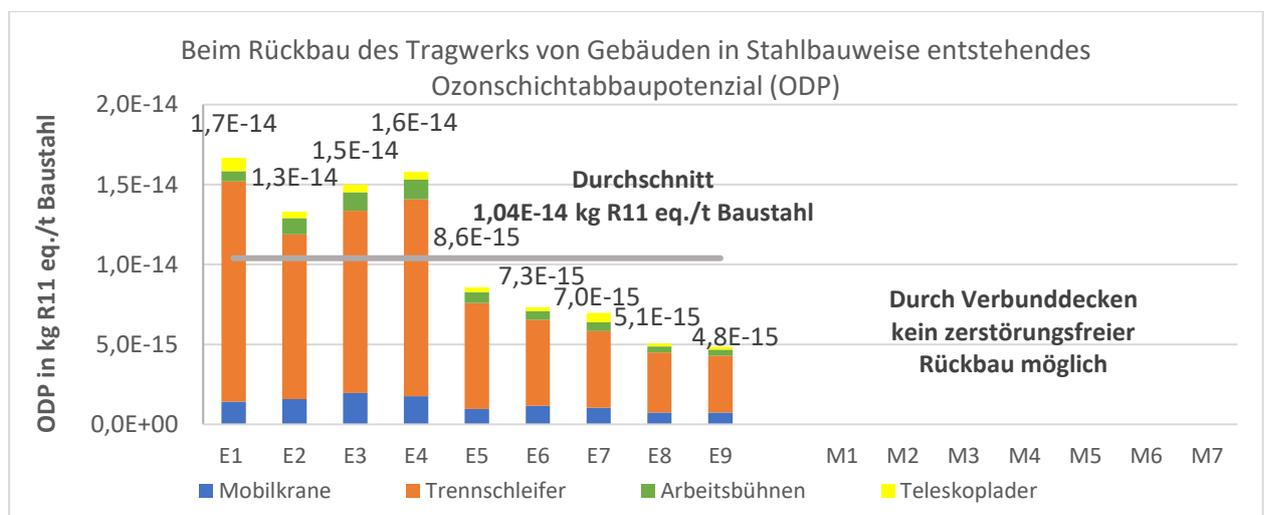


Abbildung A 30 Ozonschichtabbaupotenzial (ODP) für den Rückbau der betrachteten Projekte

IV. Anhang - Sachbilanz und Wirkungsabschätzung - tabellarisch

Tabelle A 42 Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung aus der Projektdatenbank für Industrie- und Hallenbauten

Nr.	Tonnage	Lebenszyklus- module nach DIN EN 15804+A2	Aufwands- wert	Diesel- verbrauch	Strom- verbrauch	Sauerstoff- verbrauch	Propan- verbrauch	GWP	PET	PERT	PENRT	ODP	POCP	AP	EP	ADPF	ADPE	
Einheit	[t]	[h/t]	[kg/t]	[kg/t]	[kWh/t]	[kg/t]	[kg/t]	[kg CO ₂ Äq./t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[kg R11 Äq./t]	[kg C2H4 Äq./t]	[kg SO ₂ Äq./t]	[kg (PO4) ³⁻ Äq./t]	[MJ/t]	[kg Sb Äq./t]
E1	6	A5	3,50	5,99	1,17	0	0	18,09	266,14	2,56	263,57	1,77E-14	1,54E-02	1,43E-01	3,60E-02	247,92	1,55E-06	
		C1 AB	1,85	6,64	0	4,49	0,27	20,78	307,20	0,00	307,20	3,00E-14	1,68E-02	1,54E-01	3,91E-02	284,85	1,81E-06	
		C1 RÜ	4,67	5,97	1,08	0	0	17,97	264,25	2,38	261,87	1,67E-14	1,53E-02	1,42E-01	3,58E-02	246,36	1,53E-06	
E2	55	A5	3,09	3,92	0,62	0	0	11,75	172,58	1,36	171,22	9,77E-15	1,00E-02	9,27E-02	2,35E-02	161,13	9,93E-07	
		C1 AB	0,76	3,07	0	2,36	0,14	9,71	143,80	0,00	143,80	1,56E-14	7,77E-03	7,15E-02	1,81E-02	133,05	8,57E-07	
		C1 RÜ	3,27	6,20	0,81	0	0	18,46	270,91	1,78	269,13	1,33E-14	1,58E-02	1,46E-01	3,70E-02	253,36	1,54E-06	
E3	68	A5	4,12	5,61	0,82	0	0	16,76	246,13	1,81	244,32	1,32E-14	1,43E-02	1,32E-01	3,35E-02	229,96	1,41E-06	
		C1 AB	1,32	5,35	0	4,75	0,28	17,15	254,39	0,00	254,39	3,09E-14	1,36E-02	1,25E-01	3,16E-02	234,75	1,54E-06	
		C1 RÜ	3,62	7,39	0,90	0	0	21,96	322,12	1,97	320,15	1,50E-14	1,88E-02	1,74E-01	4,40E-02	301,44	1,83E-06	
E4	80	A5	4,12	5,11	0,82	0	0	15,32	225,09	1,81	223,28	1,30E-14	1,30E-02	1,21E-01	3,06E-02	210,11	1,30E-06	
		C1 AB	1,13	4,55	0	3,74	0,22	14,48	214,51	0,00	214,51	2,45E-14	1,15E-02	1,06E-01	2,68E-02	198,24	1,29E-06	
		C1 RÜ	3,90	7,15	0,97	0	0	21,31	312,79	2,13	310,66	1,58E-14	1,82E-02	1,68E-01	4,27E-02	292,44	1,79E-06	
E5	165	A5	1,94	2,60	0,39	0	0	7,78	114,28	0,85	113,43	6,20E-15	6,63E-03	6,15E-02	1,56E-02	106,76	6,56E-07	
		C1 AB	0,55	2,23	0	1,90	0,11	7,12	105,53	0,00	105,53	1,24E-14	5,65E-03	5,20E-02	1,32E-02	97,46	6,35E-07	
		C1 RÜ	2,11	4,01	0,52	0	0	11,93	175,12	1,15	173,98	8,58E-15	1,02E-02	9,43E-02	2,39E-02	163,79	9,98E-07	
E6	275	A5	2,09	3,38	0,42	0	0	10,05	147,42	0,92	146,50	6,95E-15	8,59E-03	7,95E-02	2,01E-02	137,94	8,38E-07	
		C1 AB	0,55	2,27	0	2,01	0,12	7,27	107,77	0,00	107,77	1,31E-14	5,75E-03	5,29E-02	1,34E-02	99,46	6,50E-07	
		C1 RÜ	1,72	4,04	0,42	0	0	11,96	175,37	0,93	174,44	7,33E-15	1,02E-02	9,47E-02	2,40E-02	164,28	9,89E-07	
E7	372	A5	1,75	2,72	5,73	0	0	11,71	180,66	12,60	168,06	7,42E-14	8,68E-03	8,61E-02	2,05E-02	155,25	1,54E-06	
		C1 AB	0,84	5,11	0	0,58	0,03	14,97	219,02	0,00	219,02	5,93E-15	1,28E-02	1,18E-01	3,00E-02	205,94	1,20E-06	
		C1 RÜ	1,91	4,52	0,38	0	0	13,32	195,13	0,83	194,31	6,98E-15	1,14E-02	1,06E-01	2,68E-02	183,04	1,09E-06	
E8	423	A5	1,66	1,35	6,57	0	0	8,30	132,25	14,43	117,82	8,42E-14	5,51E-03	5,80E-02	1,31E-02	107,39	1,36E-06	
		C1 AB	0,39	3,61	0	1,29	0,08	10,90	160,18	0,00	160,18	9,42E-15	9,08E-03	8,35E-02	2,12E-02	149,67	9,09E-07	
		C1 RÜ	1,20	2,69	0,30	0	0	7,98	116,96	0,65	116,31	5,06E-15	6,82E-03	6,31E-02	1,60E-02	109,52	6,61E-07	
E9	500	A5	2,14	2,87	0,50	0	0	8,64	126,98	1,09	125,88	7,70E-15	7,35E-03	6,81E-02	1,72E-02	118,44	7,35E-07	
		C1 AB	0,62	4,03	0	1,70	0,10	12,24	180,12	0,00	180,12	1,21E-14	1,01E-02	9,32E-02	2,37E-02	168,02	1,03E-06	
		C1 RÜ	1,14	2,65	0,28	0	0	7,85	115,07	0,62	114,45	4,85E-15	6,72E-03	6,21E-02	1,58E-02	107,79	6,49E-07	
Industrie und Hallenbau Mittelwert		A5	2,71	3,73	1,89	0,00	0,00	12,04	179,06	4,16	174,90	2,59E-14	9,94E-03	9,35E-02	2,33E-02	163,88	1,15E-06	
		C1 AB	0,89	4,10	0,00	2,54	0,15	12,73	188,06	0,00	188,06	1,71E-14	1,03E-02	9,51E-02	2,41E-02	174,60	1,10E-06	
		C1 RÜ	2,62	4,96	0,63	0,00	0,00	14,75	216,41	1,38	215,03	1,04E-14	1,26E-02	1,17E-01	2,95E-02	202,45	1,23E-06	
		C1 *	1,08	4,19	0,07	2,26	0,13	12,95	191,18	0,15	191,02	1,64E-14	1,06E-02	9,75E-02	2,47E-02	177,67	1,12E-06	

* Mit Recyclingrate 89 % und Wiederverwendungsrate 11 % nach (Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hrsg.), 2018) siehe auch Tabelle 2.2

Tabelle A 43 Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung aus der Projektdatenbank für Geschossbauten

Nr.	Tonnage	Lebenszyklus- -module nach DIN EN 15804+A2	Aufwands- wert	Diesel- verbrauch	Strom- verbrauch	Sauerstoff- verbrauch	Propan- verbrauch	GWP	PET	PERT	PENRT	ODP	POCP	AP	EP	ADPF	ADPE
Einheit	[t]		[h/t]	[l/t]	[kWh/t]	[kg/t]	[kg/t]	[kg CO ₂ Äq./t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[MJ/t]	[kg R11 Äq./t]	[kg C2H4 Äq./t]	[kg SO ₂ Äq./t]	[kg (PO ₄) ³ Äq./t]	[MJ/t]	[kg Sb Äq./t]
M1	170	A5	6,78	9,96	1,13	0	0	29,54	433,32	2,48	430,84	1,92E-14	2,53E-02	2,34E-01	5,93E-02	405,69	2,45E-06
M2	220	C1 AB	3,60	20,74	0	8,14	0,48	62,81	923,98	0,00	923,98	5,86E-14	5,22E-02	4,80E-01	1,22E-01	862,57	5,27E-06
M3	305	A5	3,60	2,25	28,48	0	0	25,56	421,26	62,59	358,67	3,63E-13	1,49E-02	1,68E-01	3,56E-02	322,08	5,09E-06
M4	387	C1 AB	2,64	15,12	0	9,46	0,56	47,02	694,53	0,00	694,53	6,37E-14	3,81E-02	3,51E-01	8,90E-02	644,74	4,07E-06
M5	435	A5	2,64	1,23	17,35	0	0	15,17	250,81	38,14	212,66	2,21E-13	8,72E-03	9,94E-02	2,09E-02	190,70	3,07E-06
M6	460	C1 AB	2,34	13,15	0	6,29	0,37	20,22	592,51	0,00	592,51	4,39E-14	3,31E-02	3,05E-01	7,73E-02	551,97	3,41E-06
M7	2566	A5	2,31	1,58	18,22	0	0	16,77	275,57	40,05	235,53	2,33E-13	9,88E-03	1,11E-01	2,36E-02	211,77	3,29E-06
Geschossbau Mittelwert		C1 AB	1,46	8,21	0	3,93	0,23	25,11	369,99	0,00	369,99	2,74E-14	2,07E-02	1,90E-01	4,83E-02	344,68	2,13E-06
Gesamt Mittelwert		A5	5,02	8,98	1,26	0	0	26,79	393,27	2,76	390,52	2,03E-14	2,29E-02	2,12E-01	5,36E-02	367,59	2,25E-06
		C1 AB	2,47	14,08	0	6,27	0,37	42,90	631,67	0,00	631,67	4,42E-14	3,54E-02	3,26E-01	8,28E-02	588,93	3,63E-06
		A5	1,70	1,16	13,40	0	0	12,34	202,75	29,46	173,28	1,71E-13	7,27E-03	8,17E-02	1,74E-02	155,81	2,42E-06
		C1 AB	1,58	9,08	0	5,68	0,34	28,24	417,05	0,00	417,05	3,83E-14	2,29E-02	2,11E-01	5,34E-02	387,15	2,45E-06
		A5	2,61	1,22	17,17	0	0	15,01	248,10	37,73	210,37	2,19E-13	8,63E-03	9,83E-02	2,07E-02	188,65	3,03E-06
		C1 AB	1,67	16,42	0	7,50	0,45	50,10	737,90	0,00	737,90	5,27E-14	4,13E-02	3,80E-01	9,66E-02	687,78	4,24E-06
		A5	3,52	3,77	13,86	0,00	0,00	20,17	317,87	30,46	287,41	1,78E-13	1,39E-02	1,43E-01	3,30E-02	263,18	3,08E-06
		C1 AB	2,25	13,83	0,00	6,75	0,40	42,34	623,95	0,00	623,95	4,70E-14	3,48E-02	3,20E-01	8,13E-02	581,12	3,60E-06
		A5	3,07	3,75	7,13	0,00	0,00	15,60	239,79	15,67	224,12	9,25E-14	1,17E-02	1,15E-01	2,76E-02	207,32	2,00E-06
		C1 AB	1,48	8,35	0,00	4,38	0,26	25,69	378,76	0,00	378,76	3,02E-14	2,10E-02	1,94E-01	4,92E-02	352,45	2,19E-06
		C1 RÜ	2,62	4,96	0,63	0,00	0,00	14,75	216,41	1,38	215,03	1,04E-14	1,26E-02	1,17E-01	2,95E-02	202,45	1,23E-06
		C1*1	1,63	7,88	0,74	3,90	0,23	24,65	364,52	1,64	362,88	3,65E-14	2,01E-02	1,86E-01	4,70E-02	337,58	2,18E-06
		A5	2,82	3,73	3,57	0,00	0,00	13,18	198,49	7,84	190,65	4,72E-14	1,05E-02	1,01E-01	2,47E-02	177,78	1,42E-06
		C1 AB	1,08	5,46	0,00	3,13	0,19	16,88	249,08	0,00	249,08	2,13E-14	1,38E-02	1,27E-01	3,21E-02	231,52	1,45E-06
		C1 RÜ	2,62	4,96	0,63	0,00	0,00	14,75	216,41	1,38	215,03	1,04E-14	1,26E-02	1,17E-01	2,95E-02	202,45	1,23E-06
		C1*3	1,25	5,40	0,07	2,78	0,17	16,64	245,49	0,15	245,34	2,01E-14	1,36E-02	1,26E-01	3,18E-02	228,319	1,43E-06

*1 Mit Recyclingrate 89 % und Wiederverwendungsrate 11 % nach (Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hrsg.), 2018) siehe auch Tabelle 2.2

*2 Mit 86 % Industrie- und Hallenbau und 14 % Geschossbau siehe auch Abbildung 3.4

*3 Mit Recyclingrate 89 % und Wiederverwendungsrate 11 % nach (Institut Bauen und Umwelt (IBU) (Hrsg.), 2018) siehe auch Tabelle 2.2

V. Anhang – Ökobilanzergebnisse - Zusammenfassung

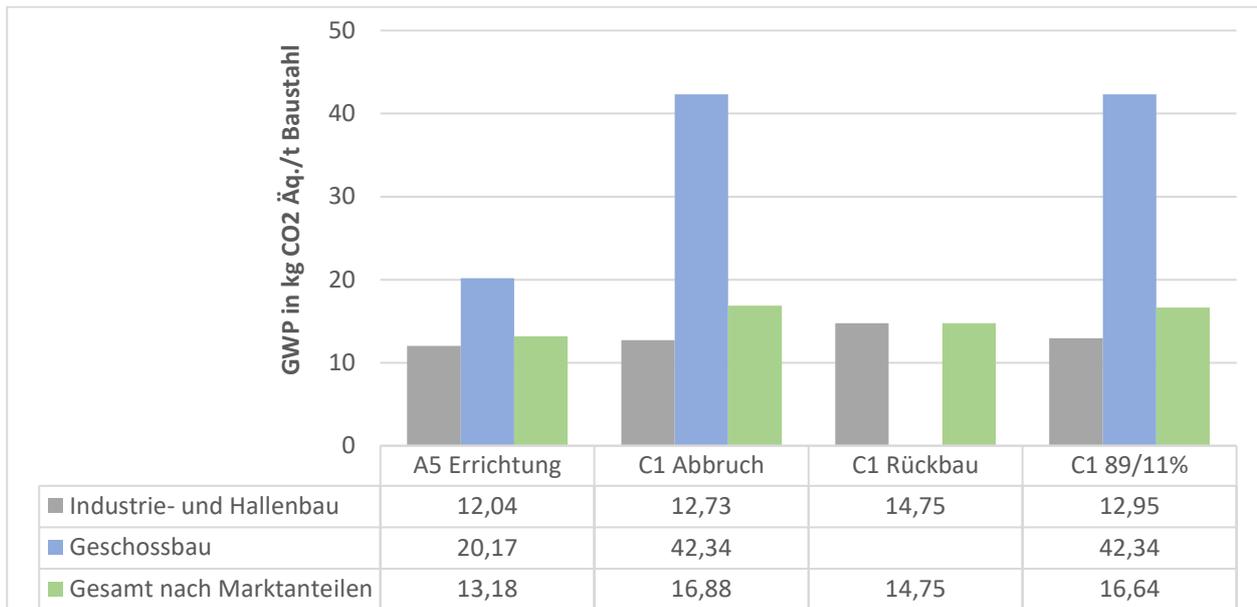


Abbildung A 31 Treibhauspotenzial (GWP) für Baustahlkonstruktionen

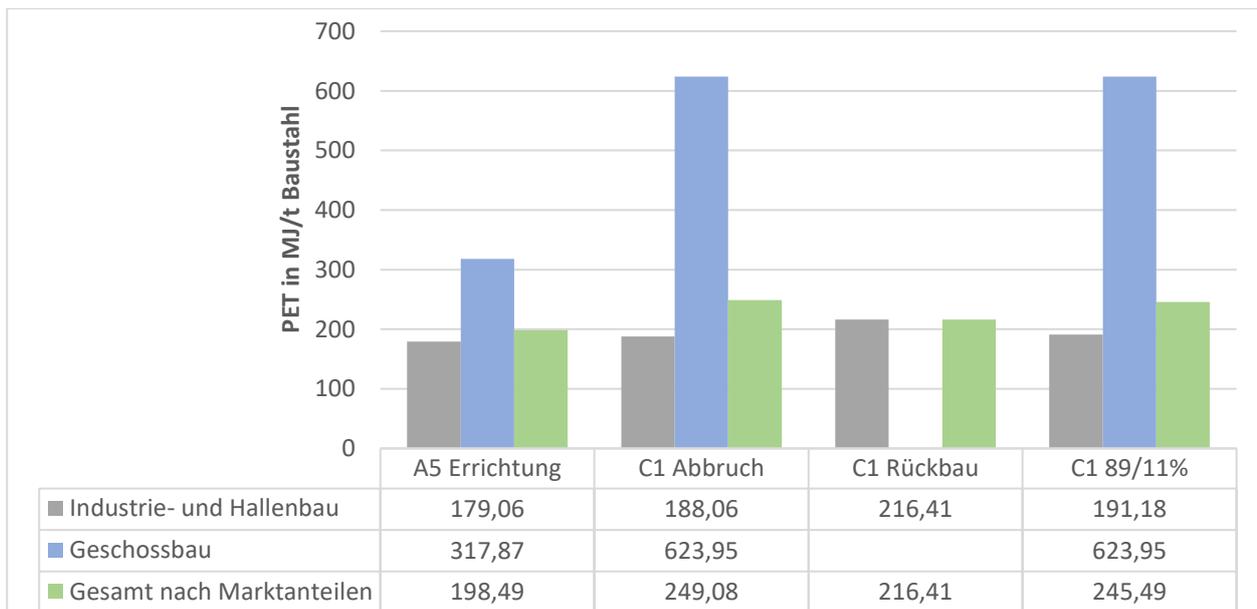


Abbildung A 32 Gesamtprimärenergie (PET) für Baustahlkonstruktionen

Anhang

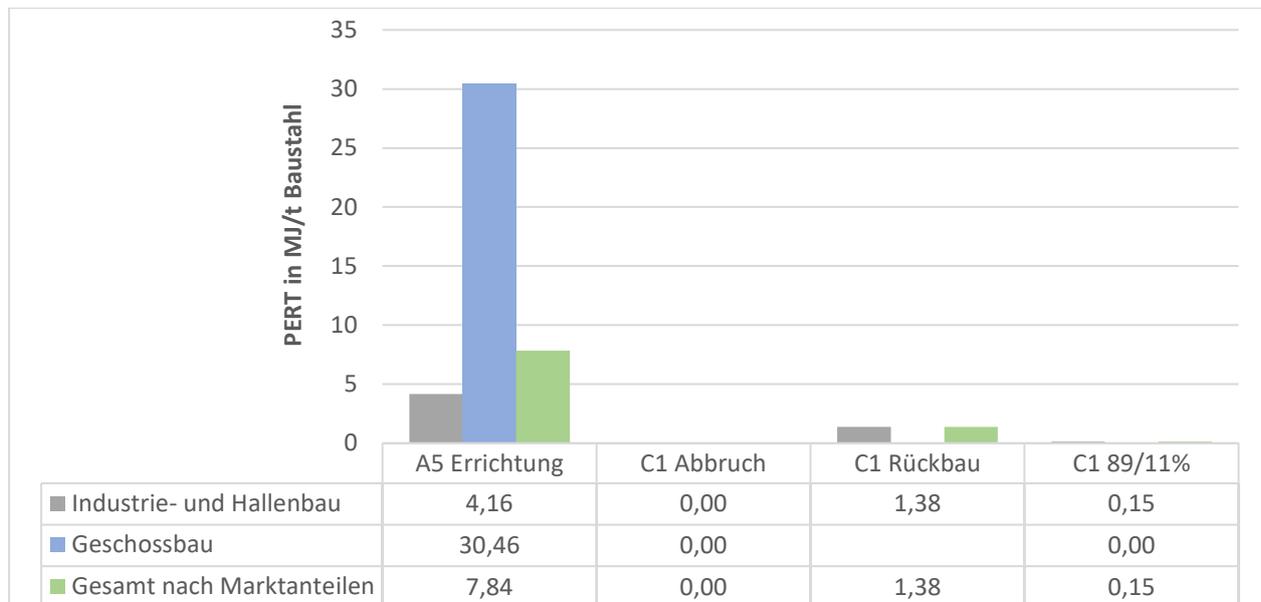


Abbildung A 33 Erneuerbare Gesamtprimärenergie (PERT) für Baustahlkonstruktionen

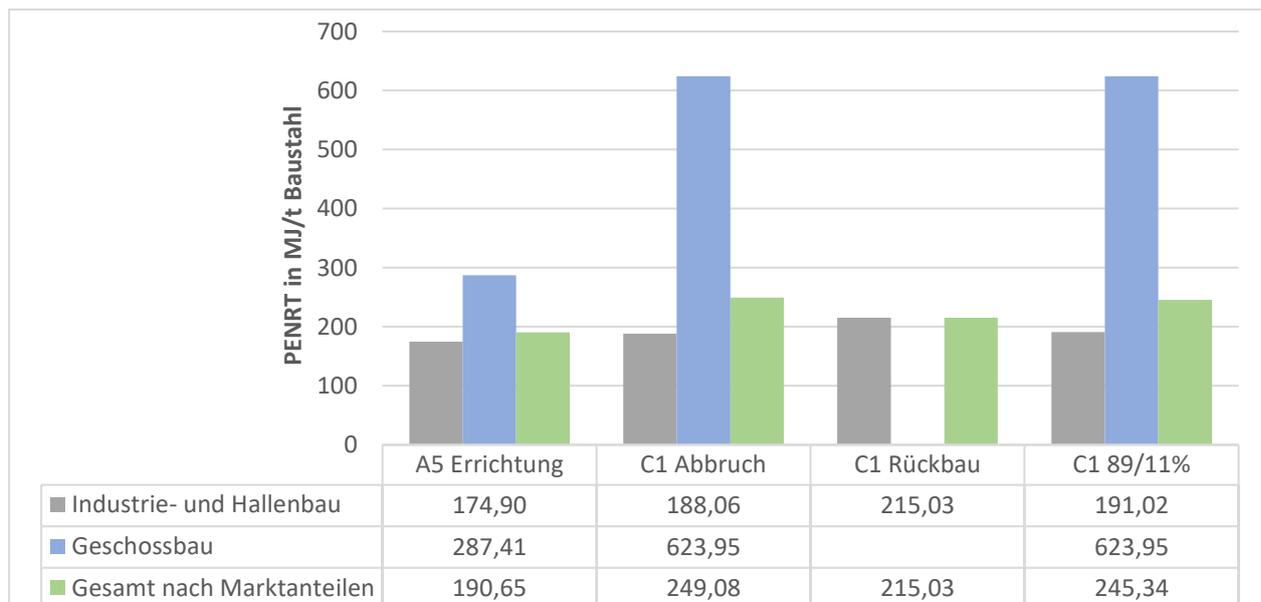


Abbildung A 34 Nicht erneuerbare Gesamtprimärenergie (PENRT) für Baustahlkonstruktionen

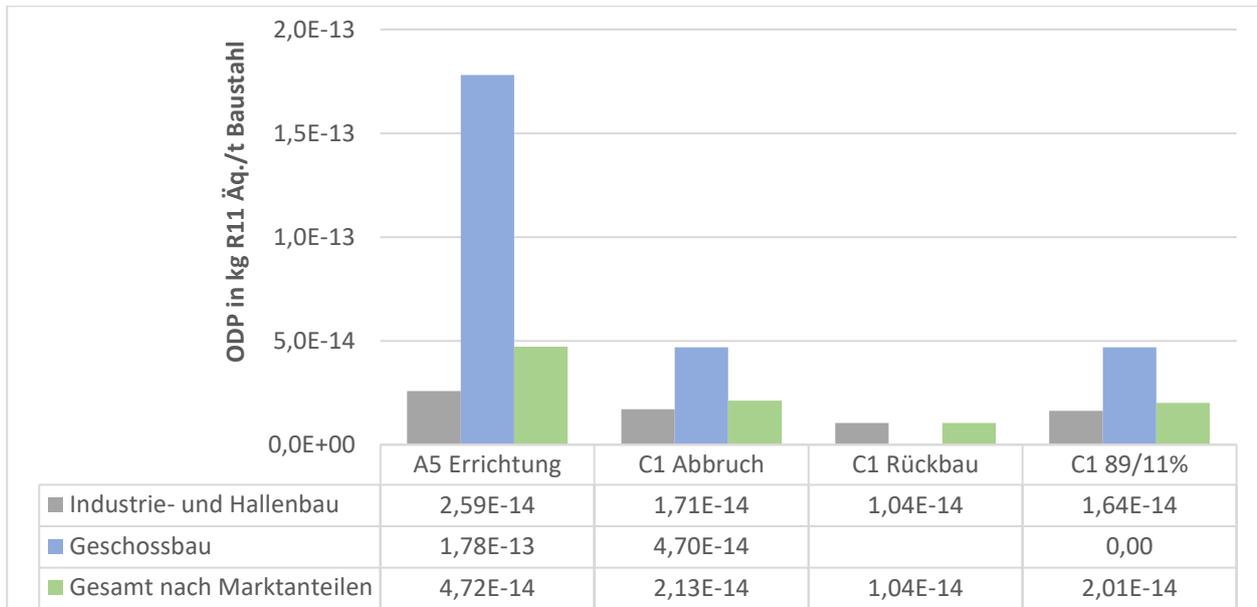


Abbildung A 35 Ozonschichtabbaupotenzial (ODP) für Baustahlkonstruktionen

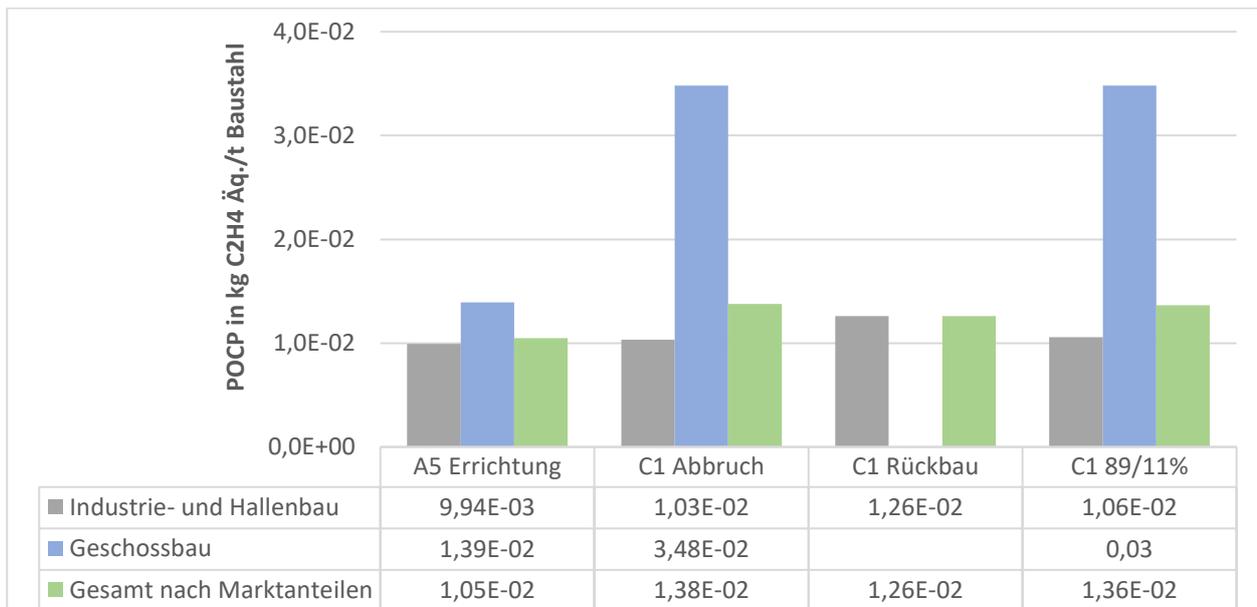


Abbildung A 36 Ozonbildungspotenzial (POCP) für Baustahlkonstruktionen

Anhang

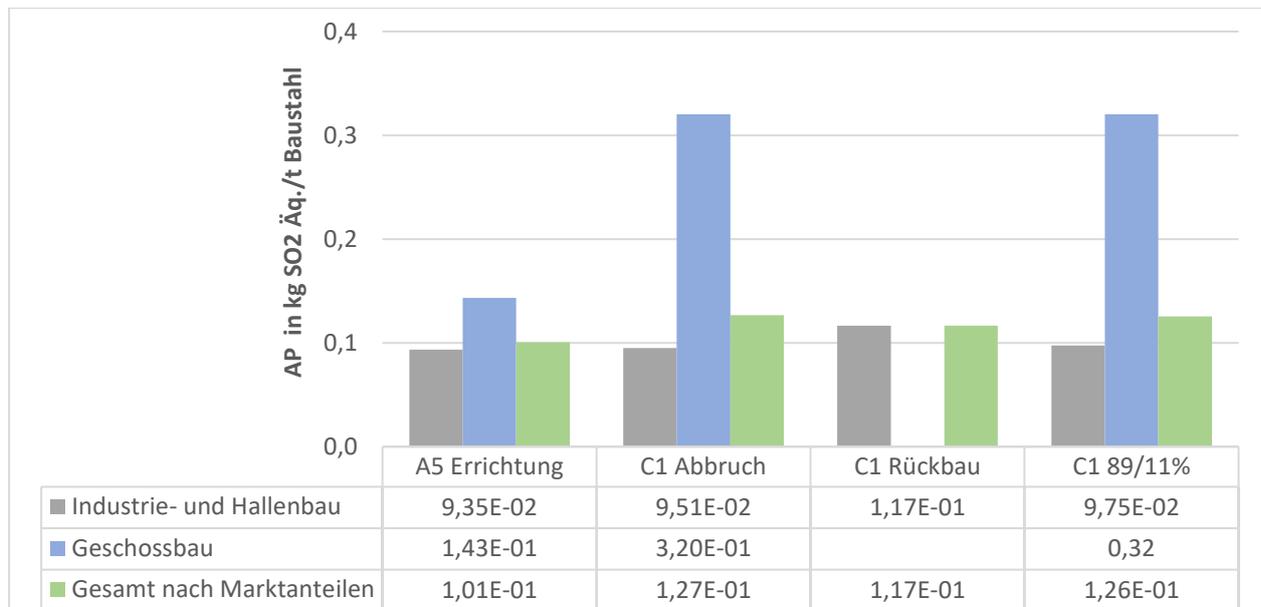


Abbildung A 37 Versauerungspotenzial AP für Baustahlkonstruktionen

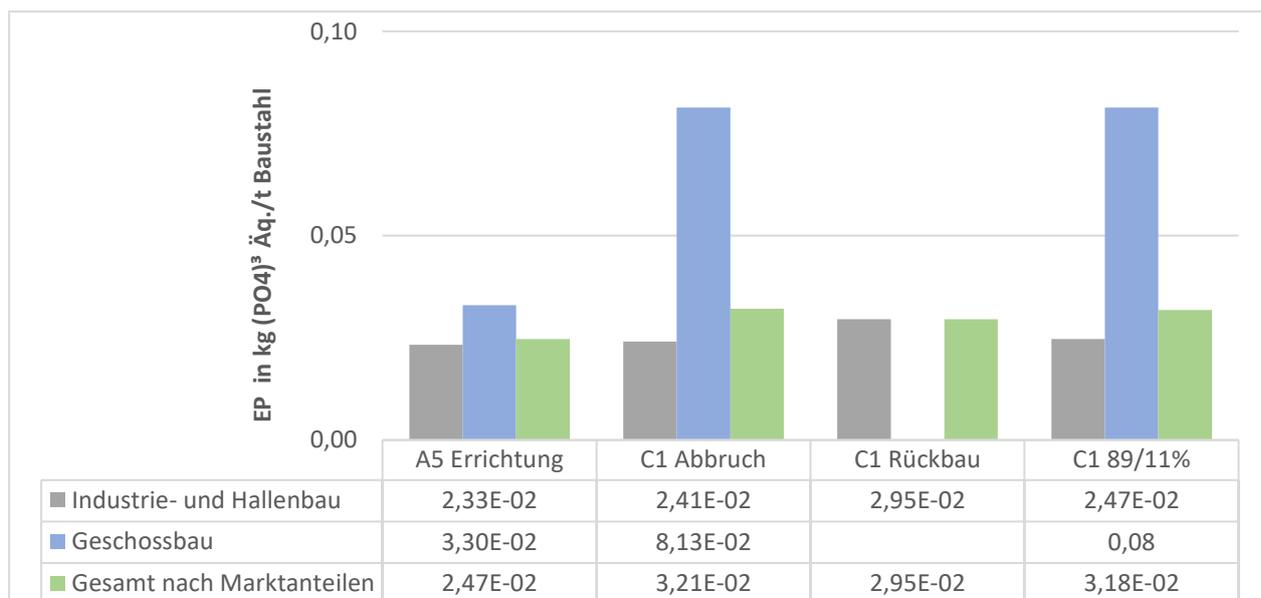


Abbildung A 38 Überdüngungspotenzial (EP) für Baustahlkonstruktionen

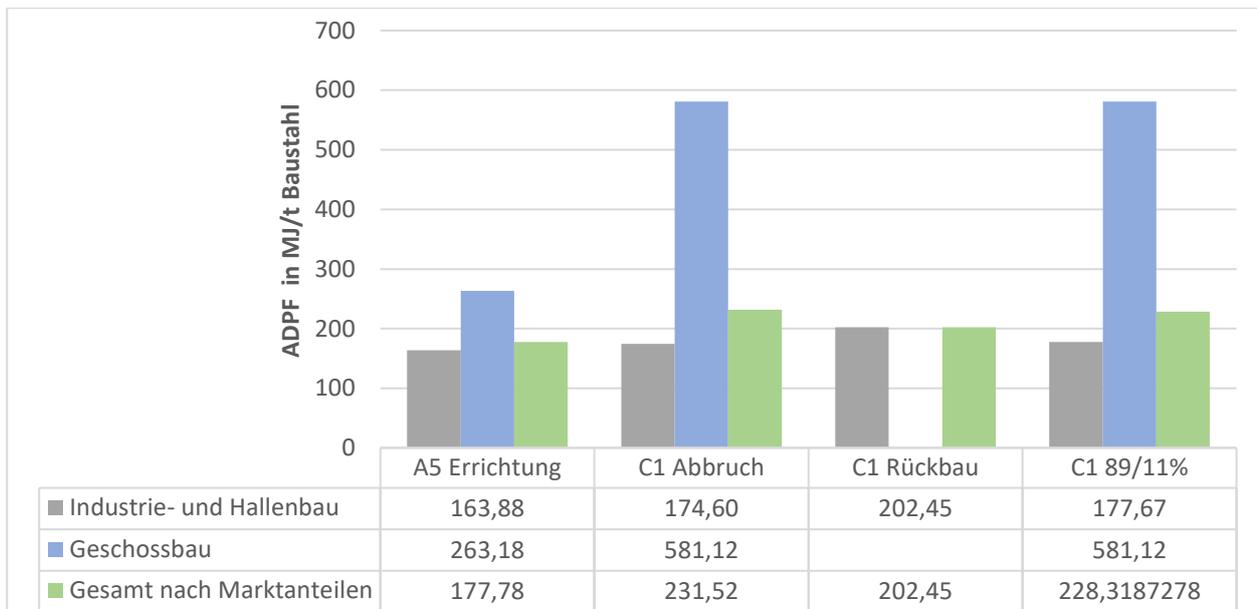


Abbildung A 39 Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF) für Baustahlkonstruktionen

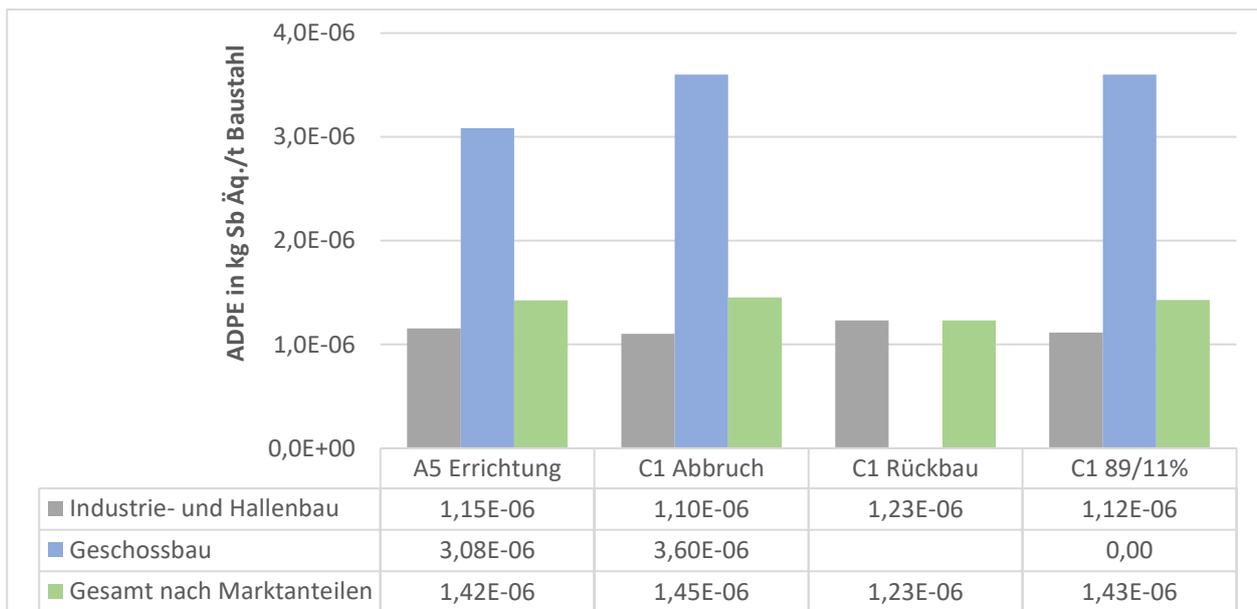


Abbildung A 40 Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen (ADPE) für Baustahlkonstruktionen

VI. Anhang – Sachbilanzergebnisse - Zusammenfassung

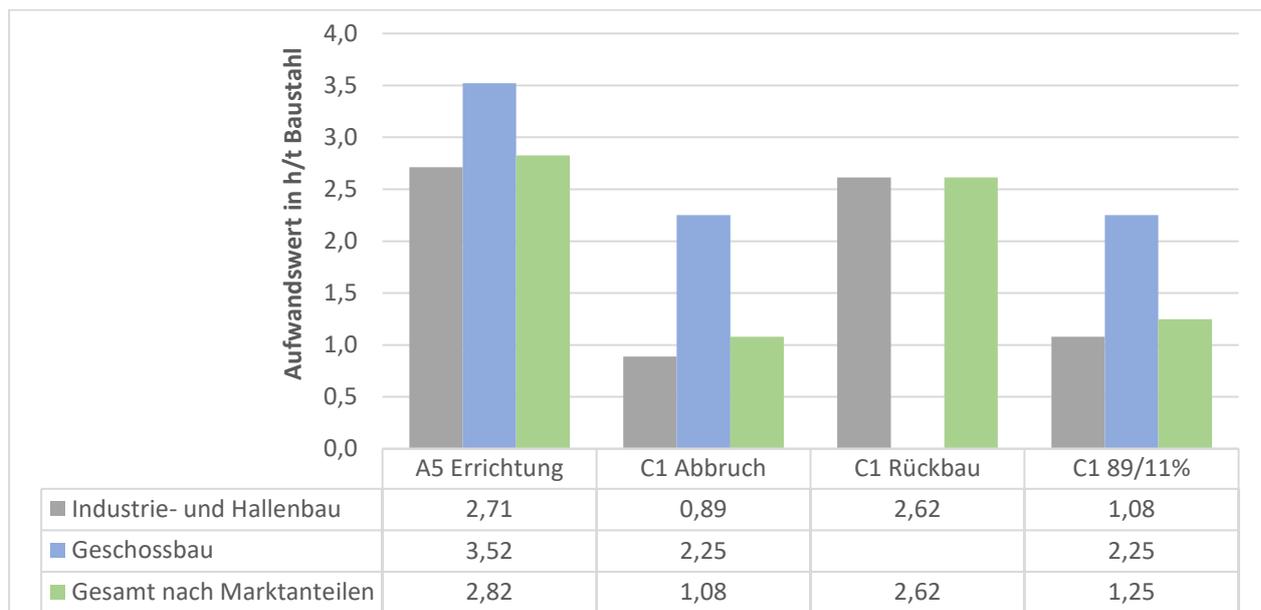


Abbildung A 41 Aufwandswerte für Baustahlkonstruktionen

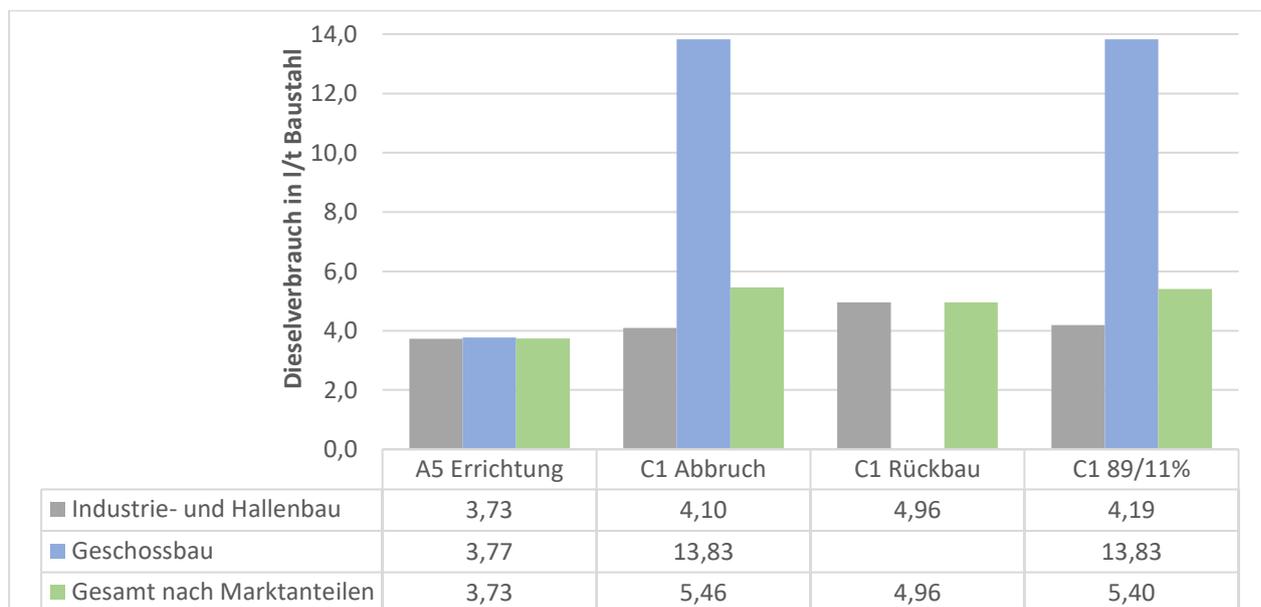


Abbildung A 42 Dieselverbrauch für Baustahlkonstruktionen

Anhang

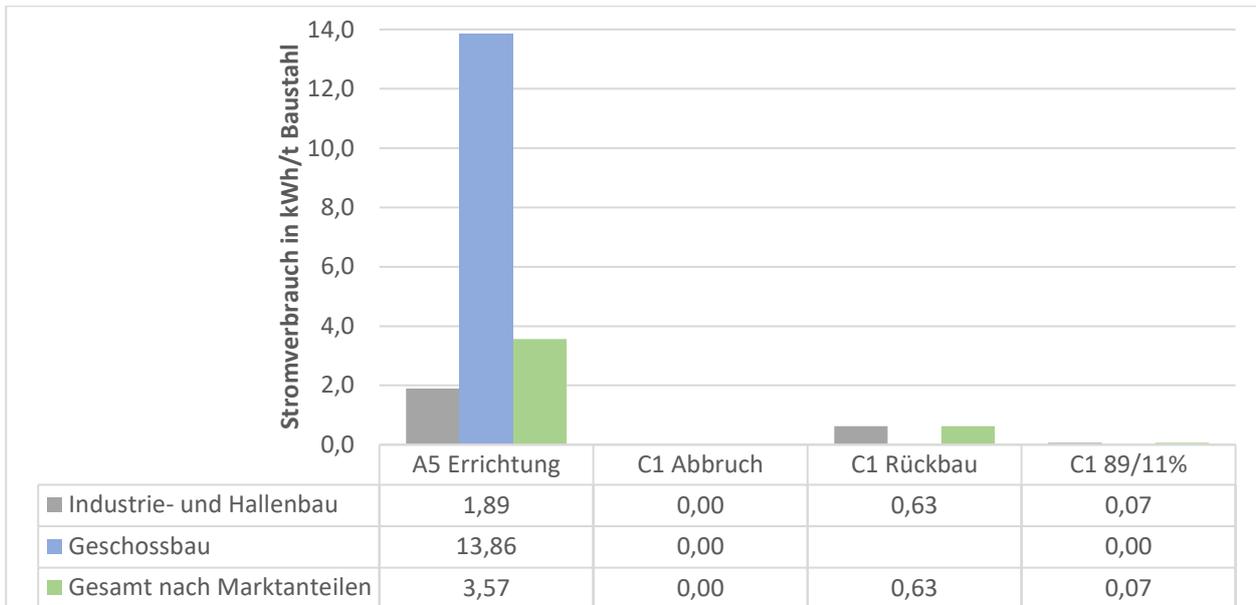


Abbildung A 43 Stromverbrauch für Baustahlkonstruktionen

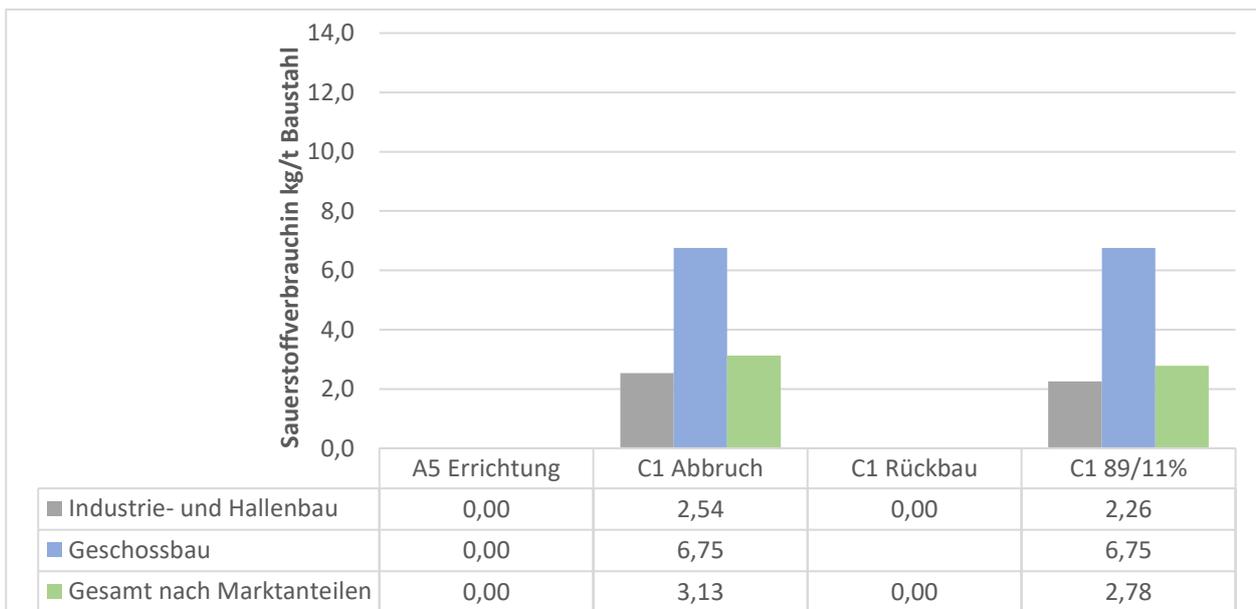


Abbildung A 44 Sauerstoffverbrauch für Baustahlkonstruktionen

Anhang

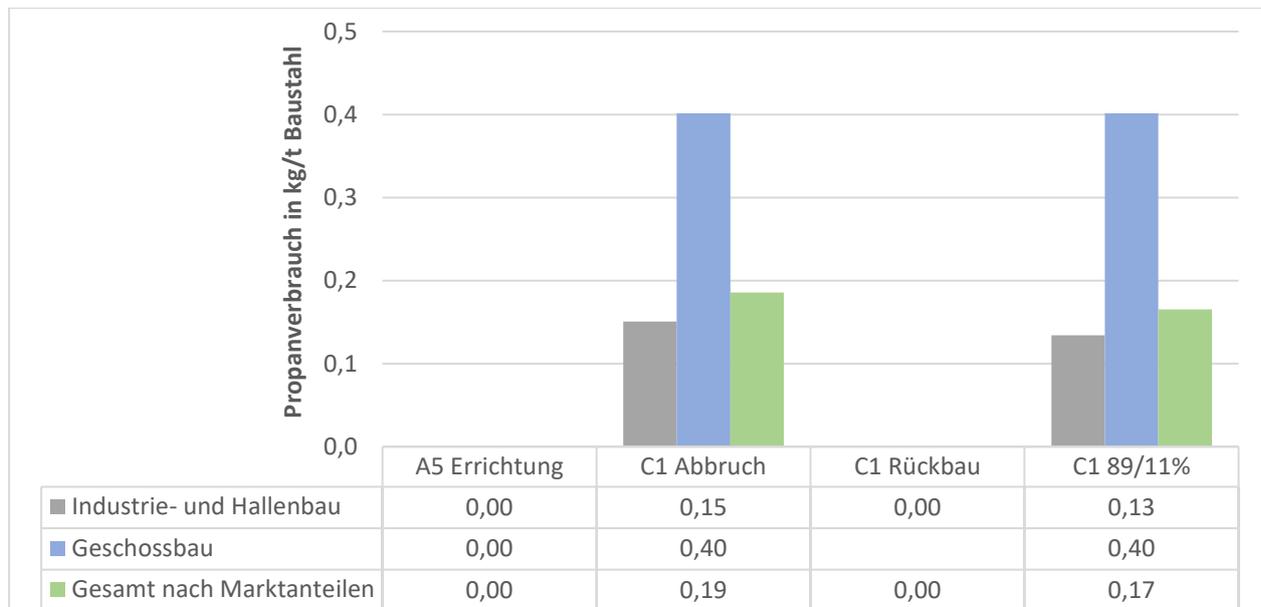


Abbildung A 45 Propanverbrauch für Baustahlkonstruktionen

Lebenslauf

Der Lebenslauf ist in der Online-Version aus Gründen des Datenschutzes nicht enthalten.