bauforumstahl
Deutscher Stahlbau. Gut beraten.

Ökobilanzieller Vergleich von Hallen unterschiedlicher Bauweisen

Inhalt

1|Einleitung ..... **Seite 3**

2|Datengrundlage für die Ökobilanz ..... **Seite 3**

3|Tragwerksvarianten ..... **Seite 4**

4|Ökobilanzierung ..... **Seite 7**

5| Tragwerk mit Fundamenten - Gesamtsystem ..... **Seite 12**

6| Stütze ohne Fundament – Bauteilbetrachtung ..... **Seite 17**

7| Binder - Bauteilbetrachtung ..... **Seite 18**

8| Gebäudehülle ..... **Seite 19**

9|Transport ..... **Seite 23**

10|Fazit ..... **Seite 25**

11|Literatur ..... **Seite 26**

Impressum

Ökobilanzieller Vergleich von Hallen unterschiedlicher Bauweisen

Herausgeber:

bauforumstahl e.V. | Sohnstraße 65 | 40237 Düsseldorf

Postfach 104842 | 40039 Düsseldorf

T: +49 (0)211.6707.828 | F: +49 (0)211.6707.829

zentrale@bauforumstahl.de | www.bauforumstahl.de

www.facebook.com/bauforumstahl | www.stahlbauverbindet.de

Copyright © Januar 2015 bauforumstahl e.V.

Ein Nachdruck dieser Publikation – auch auszugsweise – ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers bei deutlicher Quellenangabe gestattet.

Bei der Zusammenstellung aller Texte, Formeln, Abbildungen, Zeichnungen und Tabellen wurde mit größtmöglicher Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden.

bauforumstahl kann für fehlerhafte Angaben und deren Folgen keine Haftung übernehmen. Rechtsansprüche aus der Benutzung der bereitgestellten Daten sind daher ausgeschlossen. Für Hinweise und Verbesserungsvorschläge sind wir stets dankbar.

Autoren:

Raban Siebers, Bernhard Hauke

bauen im wertstoffkreislauf 3R
reduce reuse recycle bauen im
wertstoffkreislauf 3R reduce re

1|Einleitung

Die Ökobilanzierung ist durch die Einführung des „Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen“ (DGNB) zu einem festen Bestandteil der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden geworden. Die Bewertung und Zertifizierung von Industrie- und Gewerbegebäuden führte 2009 in Deutschland erstmalig zur Erstellung von Ökobilanzen für diese Gebäudearten.

Um Erkenntnisse über die Umweltauswirkungen verschiedener Bauweisen für Hallen im Industrie- und Gewerbebau zu erlangen, werden in diesem Heft verschiedenen Konstruktionsarten untersucht. Hierbei steht vor allem der Vergleich der für das Tragwerk eingesetzten Baustoffe im Vordergrund. Ergänzend hierzu werden anschließend auch verschiedene Varianten der Gebäudehülle ökobilanziell verglichen. Das direkte Vergleichen der Angaben aus Datenbanken wie der Ökobau.dat des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) oder den verfügbaren Umwelt-Produktdeklarationen (EPD) führt zu keinem aussagekräftigen Ergebnis. Hier werden die Umweltdaten nur für eine Bezugsgröße wie 1kg oder 1 m³ angegeben. Je nach konkreter Situation muss jedoch die kompletten funktionalen Einheiten, also ein gesamtes Tragwerk oder eine grundlegende Baugruppe verglichen werden. Durch die unterschiedlichen Baustoffmassen, die sich aus den Materialeigenschaften der eingesetzten Bauprodukte ergeben lässt sich so eine objektive Aussage treffen. Durch den elementaren Charakter von Rahmenkonstruktionen im Hallenbau bietet sich ein Vergleich auf dieser Ebene an. Die eingesetzten Baustoffe müssen in einer Rahmenkonstruktion Normalkräfte, Querkräfte und Momente aufnehmen, so werden sie auf unterschiedlichste Weise beansprucht und ihre Stärken oder Schwächen kommen in diesem Vergleich zum Tragen.

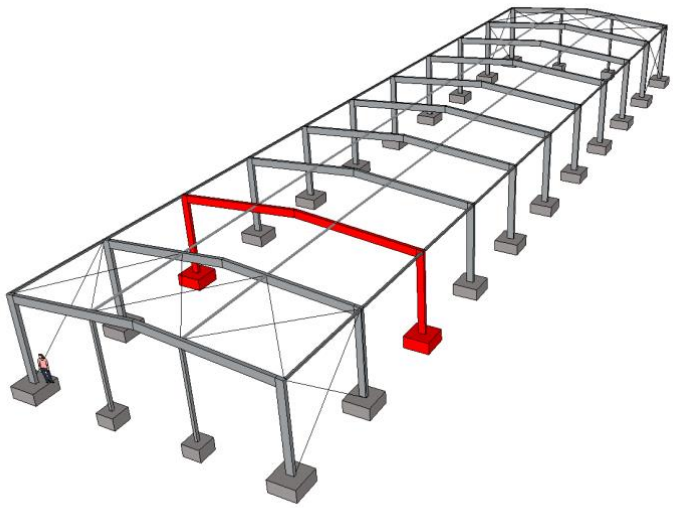


Abbildung 1: Isometrie einer Hallenkonstruktion mit der betrachteten Rahmenkonstruktion

2|Datengrundlage für die Ökobilanz

Datengrundlage für diesen Vergleich sind Umwelt-Produktdeklarationen, u.a. EPD-BFS-20130094 für Baustähle (bau-umwelt.de; bauforumstahl.de) und die Ökobau.dat (oekobaudat.de) des BMUB. Die spezifischen Produktkennzahlen der EPD stammen von europäischen Stahlherstellern. In den Durchschnittsdaten der Ökobau.dat werden hingegen auch außereuropäische Hersteller abgebildet, bei denen die Umweltbelastungen aufgrund anderer Produktionstechnologien unter Umständen höher sind als mit jenen Verfahren, die sich beeinflusst durch die umfangreichen Umweltschutzgesetze der letzten Jahrzehnte in Europa etabliert haben. Siehe auch Tabelle 6.

Die Konstruktion des Tragwerkes einer Halle kann mit unterschiedlichen statischen Systemen erfolgen. Hierbei ergeben sich abhängig von der gewählten Konstruktion Unterschiede der benötigten Baustoffmengen bei stets gleicher Hallengröße. Auch lassen sich die verschiedenen Baustoffe nicht bei jedem System optimal einsetzen. Der im Folgenden durchgeführte Vergleich befasst sich mit den Rahmen einer typischen Hallenkonstruktion mit Spannweite 15 m, Traufhöhe 5 m, Dachneigung 5°, Binderabstand 6 m und einer Schneelast von 75 kg/m² (Bild 2). Es werden zwei verschiedene statische Systeme mit unterschiedlichen Ausführungsvarianten betrachtet (siehe Tabelle 1).

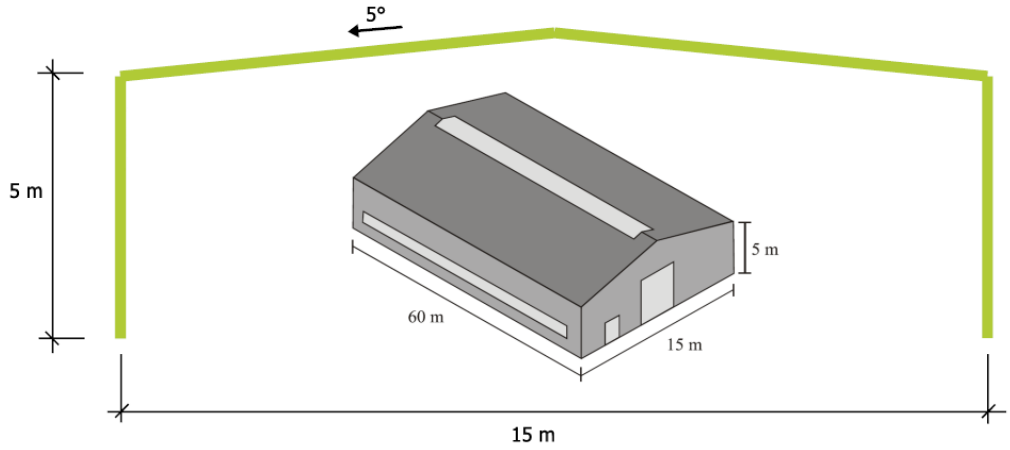


Abbildung 2: Abmessungen der betrachteten Typenhalle

Tabelle 1: Statische Systeme und Ausführungsvarianten

Statisches System	Ausführungsvariante
1. Zweigelenkrahmen mit biegesteifen Rahmenecken, Blockfundamente	**Stahl-Tragwerk**
	Stahl S 355
2. Eingespannte Stützen mit gelenkig angeschlossenem Binder, Köcherfundamente	**Stahlbeton-Tragwerk**
	Beton C30/37
	Stahlbeton-Holz-Tragwerk
	Stützen: Beton C30/37 Binder: Brettschichtholz BS 16

Im Folgenden werden die Konstruktionsmerkmale der verschiedenen Varianten dargestellt. Diese liegen der darauf folgenden Ökobilanzierung zu Grunde. Neben der Betrachtung der Hallenrahmen als Gesamtsystem und anschließende Umrechnung der Ergebnisse auf einen Quadratmeter Brutto-Grundfläche werden auch Stützen und Binder einzeln untersucht. So ist auch eine Betrachtung unterhalb einer funktionalen Einheit – hier den Hallenrahmen einschließlich der zugehörigen Fundamente – zu Vergleichszwecken möglich. Es soll deutlich gemacht werden, dass eine Betrachtung am Gesamtsystem in jedem Fall zu Ergebnissen mit höherer Aussagekraft im Sinne eines Baustoffvergleichs führt.

Zweigelenkrahmen mit biegesteifen Rahmenecken, Blockfundamente

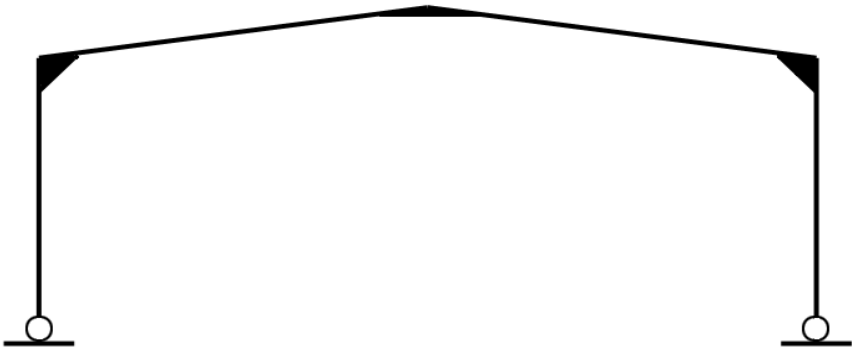


Abbildung 3: Statisches System: Zweigelenkrahmen

Tabelle 2: Stahl-Tragwerk, S 355

Stahl-Tragwerk	S 355	Bewehrung Bst 500
Stützen	IPE 400	-
Binder	IPE 360	-
Fundamente C 25/30	150 cm x150 cm x40 cm	19,9 kg/m³

Abbildung 4: Halle in Stahlbauweise und Symbol für Stahl-Tragwerk S 355

Eingespannte Stützen mit gelenkig angeschlossenem Binder, Köcherfundamente

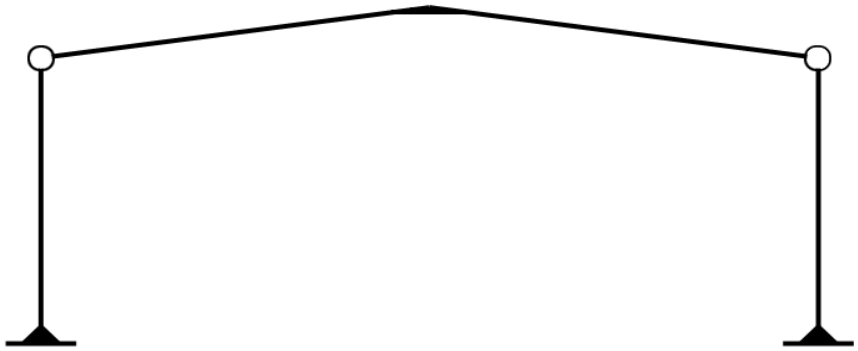


Abbildung 5: Statisches System: eingespannte Stützen

Tabelle 3: Stahlbeton-Tragwerk C30/37

Stahlbeton-Tragwerk		Bewehrung BSt 500
Stützen C30/37	40 cm x40 cm	108,1 kg/m³
Binder C30/37	Betonfertigteil T 80	202,5 kg/m³
Fundamente C25/30	185 cm x185 cm x26 cm Köcherhöhe 80 cm	48,1 kg/m³

Abbildung 6: Halle in Stahlbetonbauweise und Symbol für Stahlbeton-Tragwerk

Die Fundamente (StB C25/30, BSt 500) sind entsprechend der Konstruktion unterschiedlich groß und werden daher in den Vergleich eingeschlossen. Alle zusätzlichen Bauteile, die zur Erstellung dieser Tragwerke notwendig sind (z. B. Schrauben, Zugstangen, Anschlussbewehrung etc.), können vernachlässigt werden und sind daher nicht einbezogen. Alle Varianten ergeben die gleiche Funktionalität des Bauwerks. Die Konstruktion der Typenhalle in Stahlbauweise ist für eine unkomplizierte Materialbestellung, Fertigung und Errichtung ausgelegt. Die Nutzung von Walzprofilen mit gängigen Querschnitten, und einfache Anschlüssen hatte Vorrang vor einer Optimierung der Bauteilmassen. (Kostenlose Musterstatik unter: bauforumstahl.de/hallenbau).

Tabelle 4: Stahlbeton-Holz-Tragwerk, Stützen C30/37 und Binder aus Brettschichtholz

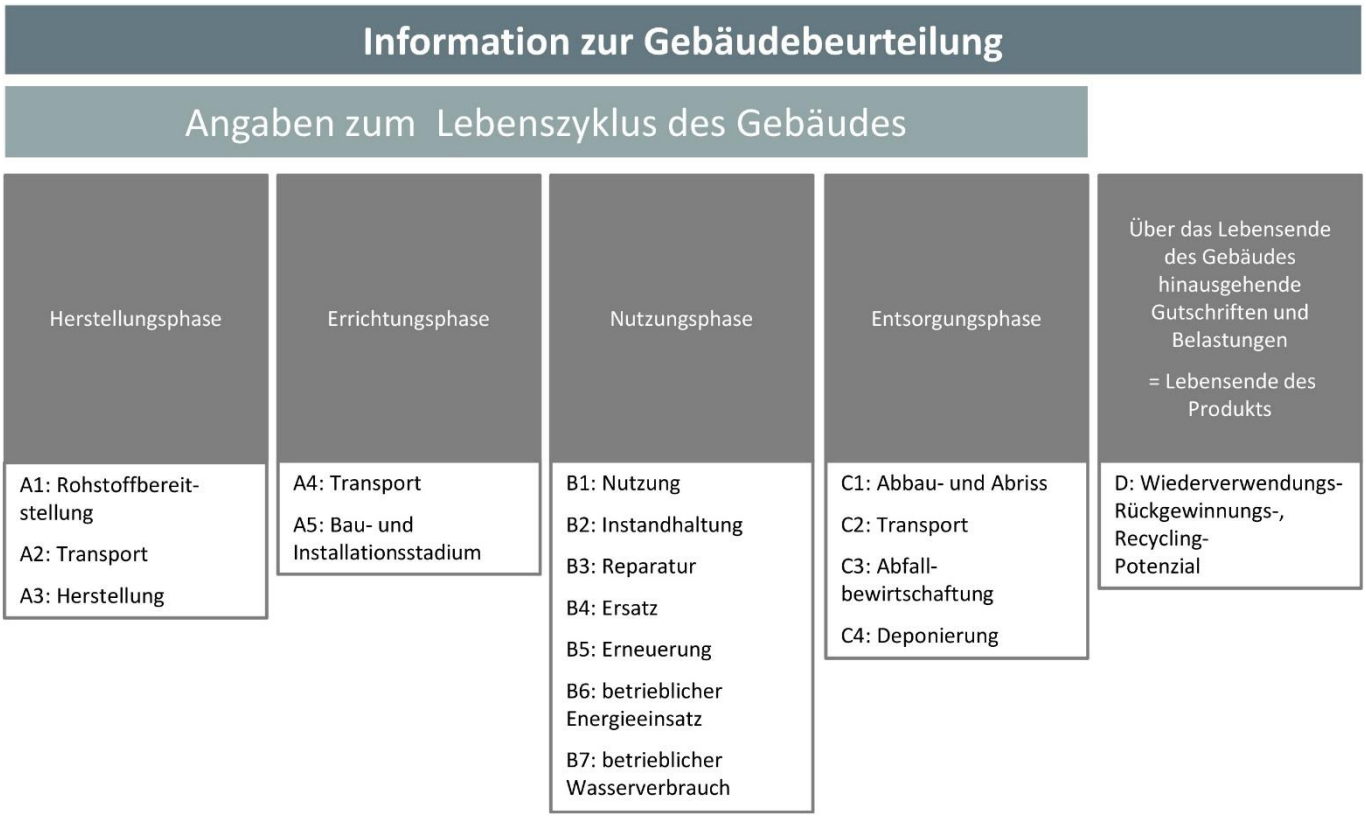
Stahlbeton-Holz-Tragwerk			Bewehrung BSt 500
Stützen C30/37	40 cm x40 cm		108,1 kg/m³
Binder BSH BS 16	b=14 cm, h_s=71 cm , h_{ap}=101,83 cm, r_{in}=80 m, l_c=13,94 m		-
Fundamente C 25/30	191 cm x191 cm x24 cm Köcherhöhe 60 cm		53,2 kg/m³

Abbildung 7: Halle in Stahlbeton/Holz-Bauweise und Symbol für Stahlbeton-BSH-Tragwerk

4|Ökobilanzierung

Methodisch gesehen ist die Ökobilanzierung eine Lebenszyklusbetrachtung, d. h. ein Produkt wird über die gesamte Wertschöpfungskette von der Rohstoffgewinnung und Aufbereitung, über die Herstellung und Nutzung bis hin zu Recycling oder Entsorgung betrachtet. Die potenziellen Umweltwirkungen eines Produktes im Verlauf seines Lebensweges werden zusammengestellt und beurteilt. Zur Beschreibung des Umfangs einer Wertschöpfungskette haben sich die Begriffe „Cradle to Grave“ (von der Wiege bis zu zum Grab, endgültige Beseitigung) und „Cradle to Cradle“ (von der Wiege zur Wiege, Recycling des Baustoffs) etabliert. Hierbei werden in der EN 15978 die Lebenszyklusstadien von Gebäuden und Bauprodukten in die Module A-D unterteilt. (siehe Tabelle 5). Die Normenreihe DIN EN ISO 14040 – 14044 regelt die Grundsätze und Rahmenbedingungen sowie Anforderungen und Anleitungen zur Ökobilanzierung.

Tabelle 5: Lebenszyklusstadien von Gebäuden und Bauprodukten gemäß EN15804 und EN15978 für nachhaltige Bauwerke.



Wie üblich werden in dieser Untersuchung die Umweltindikatoren: Primärenergiebedarf, Treibhauspotenzial (GWP), Ozonabbaupotential (ODP), Versauerungspotential (AP), Eutrophierungspotential (EP) und Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP) betrachtet. Der Primärenergiebedarf umfasst die Menge an Energie, die auf dem Lebensweg eines Produktes eingesetzt wird. Es wird unterschieden zwischen nicht regenerierbarer und regenerierbarer Primärenergie. Die Wirkungskategorie „Primärenergie, nicht regenerierbar“ umfasst im Wesentlichen den Einsatz der Energieträger Erdgas, Erdöl, Kohle und Uran. Die Wirkungskategorie „Primärenergie, regenerierbar“ enthält die Energiegewinnung aus Windkraft, Wasserkraft, Solarstrahlung und Biomasse. Das Treibhauspotenzial beschreibt den Beitrag der freigesetzten Emissionen zum Treibhauseffekt. Es wird in der Einheit kg CO2-Äquivalent angegeben, was bedeutet, dass alle freiwerdenden Gase bezüglich der Stärke ihres Treibhauseffekts zu CO2 ins Verhältnis gesetzt werden. Die Ozonschicht der Erde schützt die Umwelt vor zu starker Erderwärmung und schädlicher Strahlung, die zu Tumorbildung und Störung der Photosynthese führen kann. Stoffe wie Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW), die das Ozon in der Atmosphäre zerstören, sollen reduziert werden. Beschrieben wird das Ozonschichtabbaupotenzial (ODP) durch das so genannte Trichlorfluormethan Äquivalent (CFC11-Äquivalent). Zur Verminderung schädlicher Umwelteinflüsse ist die Menge freigesetzter Luftschadstoffe wie Schwefel- oder Stickstoffverbindungen zu reduzieren. Diese reagieren in der Luft zu Schwefel-und Salpetersäure und fallen als „saurer Regen“ zu Boden. Saurer Regen ist u.a. Ursache für Waldsterben, Fischsterben oder die Schädigung von historischen Gebäuden. Die Bewertung des Versauerungspotenzials erfolgt in SO2-Äquivalenten. Die Überdüngung von Gewässern und Böden führt in Seen und Flüssen zunehmend zu extensivem Algenwachstum – die Gewässer „kippen um“. Ursache für die Überdüngung sind insbesondere Phosphor- und Stickstoffverbindungen. Das Überdüngungspotenzial (EP) wird durch das PO4-Äquivalent ausgedrückt. Während ein zu geringer Gehalt an Ozon in der Atmosphäre zu Gefährdungen der Umwelt führt (siehe ODP), kann sich ein zu hoher Ozongehalt in Bodennähe schädlich auf Mensch und Tier auswirken (Sommersmog). Das Ozonbildungspotenzial (Ethen-Äquivalent) bewertet die Menge schädlicher Spurengase, wie z.B. Stickoxid und Kohlenwasserstoff, die in Verbindung mit UV-Strahlung zur Bildung von bodennahem Ozon führen. Alle für diesen Hallenvergleich benötigten Daten sind

in Tabelle 6 zu finden. Neben der Ökobilanzierung der kompletten Rahmen inkl. Fundamenten und anschließender Umrechnung der Ergebnisse auf einen Quadratmeter Brutto-Grundfläche, werden auch dessen einzelne Bauteile betrachtet. Hierbei handelt es sich um eine einzelne Stütze und um den Binder. So lassen sich mögliche ökobilanziellen Schwachstellen oder Stärken einer Konstruktion erkennen. Allerdings sind Ergebnisse zum gesamten Tragsystem immer aussagekräftiger und sorgen für eine höhere Qualität des Konstruktionsvergleichs. Für die Ökobilanzierung werden für den Baustahl die EPD-BFS-20130094 und für Beton die EPD-IZB-2013411 und EPD-IZB-2013431 nach ISO14025 und EN15804 herangezogen, für die übrigen Baustoffe die Daten der Ökobau.dat (siehe Tabelle 6). Nach einer Massenermittlung aus den Konstruktionsplänen lassen sich so die Umweltleistungen z.B. für ein komplettes Bauwerk ermitteln. Nicht berücksichtigt werden hier die Transporte der Materialien vom Werkstor zur Baustelle bzw. von der Baustelle zur Entsorgungs- /Recyclingstätte sowie der Bauprozess, die Reinigung und die Instandhaltung. Für die Angaben zu Umweltwirkungen von Bauprodukten in EPDs ist nach EN 15804 zurzeit nur die Herstellungsphase als verpflichtende Angabe gefordert (A1-A3, Tabelle 5). Angaben zu weiteren Modulen können freiwillig erfolgen. Allerdings müssen die weiteren Phasen wie die Bauphase (A4-A5, Table 5) die Nutzungsphase (B1-B7, Tabelle 5) und das Lebensende des Gebäudes (C1-C4, Tabelle 5) sowie die Gutschriften oder Belastungen aus Wiederverwendung, Recycling oder Deponierung der zurückgebauten Baustoffe in einer vollständigen Gebäudebewertung nach EN15978 berücksichtigt werden. (Modul D, Tabelle 5).

Nachdem das Gebäude sein Lebensende erreicht hat und abgerissen oder demontiert wurde werden die Bauprodukte in verschiedene Materialfraktionen sortiert und, falls möglich, einer neuen Nutzung zugeführt. Hier müssen je nach Baustoff verschiedene Szenarien betrachtet werden. Nach dem neuen Kreislaufwirtschaftsgesetz ist hier die Wiederverwendung allen anderen Entsorgungsarten vorzuziehen. Die nächste Stufe der im Gesetz vorgegebenen Abfallhierarchie ist das Recycling der Materialien, vorzugsweise ohne Qualitätsverluste. Untergeordnet ist die Verwertung (stofflich wie energetisch) und die Deponierung. Jedes dieser Szenarien ist mit Gutschriften oder Belastungen verbunden die berücksichtigt werden müssen und die sich nicht unerheblich auf die Ökobilanz des gesamten Gebäudes auswirken. Wiederverwendung bedeutet hierbei, dass Bauprodukte in derselben Form und Funktion für ein neues Gebäude genutzt werden. Hierfür sind nur minimale Aufwendung verbunden mit geringen Emissionen (hauptsächlich Transporte) erforderlich. Von Recycling spricht man wenn durch spezielle Prozesse die alten Materialien zu neuen Produkten werden. Genaugenommen bedeutet Recycling die Herstellung eines Materials mit der gleichen Qualität wie die des Ausgangsmaterials. Für viele Bauprodukte ist das allerdings schwierig oder zu aufwändig, so dass oft Materialien mit geringerer Qualität entstehen. In diesem Fall trifft der Begriff Downcycling eher zu. Können die Baustoffe nicht recycelt werden so ist Verwertung durch Rückgewinnung von darin enthalten Stoffen und die damit verbundene Verringerung der Abfallmenge eine verbreitete Strategie. Die energetische Verwertung in einer Müllverbrennungsanlage stellt hier die gängige Praxis dar. Hierbei wird neben der zurückgewonnenen Energie allerdings auch CO2 freigesetzt. Durch den Materialwert und die besonderen Eigenschaften, ist für Stahlprodukte das Recycling oder die Wiederverwendung der einzige etablierte und akzeptable Weg. 88% des Baustahls werden Recycelt und 11% Wiederverwendet (Abbildung 8 u. 9) Das dadurch entstehende Recyclingpotenzial ist in der EPD-BFS-20130094 für Baustähle ausgewiesen. Für Bauteile aus Holz ist die Verbrennung der beste Weg um die enthaltene Energie zu gewinnen und eine ohnehin seit 2003 verbotene Deponierung zu vermeiden. In der Ökobau.dat findet sich der passende Datensatz zu dieser Behandlung. Nach den Angaben der EPDs für Betone wird davon ausgegangen, dass 96 % des Betons verwertet und 4% deponiert werden. Im Zuge der Verwertung wird der Betonabbruch aufbereitet, um danach als Substitut für Schotter aus Primärmaterial zum Einsatz zu kommen. Damit entfällt der Energieaufwand für die Bereitstellung von Schotter aus Primärmaterial, was dann Eingang in die Berechnung findet.

Tabelle 6: Verwendete Daten der EPDs und Ökobau.dat 2014

Baustoff	Kommentar	Bezugseinheit (BE)	Primärenergie, nicht regenerierbar	Primärenergie, regenerierbar	Gesamt-primärenergie	Treibhauspotenzial (GWP)	Ozonschicht-abbaupotenzial (ODP)	Versauerungs-potential (AP)	Überdüngungs-potenzial (EP)	Photochemisches Oxidantienbildungs-potenzial (POCP)
			[MJ/BE]	[MJ/BE]	[MJ/BE]	[kg CO_2-Äqv./BE]	[kg CFC11-Äqv./BE]	[kg SO_2-Äqv./BE]	[kg PO_4-Äqv./BE]	[kg Ethen Äqv./BE]
Stahlprofile	**EPD-BFS-20130094 "Baustähle"**	**kg**	**10,59**	**0,93**	**11,52**	**0,78**	**1,45E-10**	**2,2 E-03**	**2,44E-04**	**2,84E-04**
Herstellung	A1-A3	Kg	17,80	0,84	18,64	1,74	1,39E-10	3,52E-03	3,7 E-04	6,98E-04
Benefits & Loads	D (11% Wiederverw., 88% Recycling)	kg	-7,21	0,09	-7,12	-0,96	6,29E-12	-1,32E-03	-1,26E-04	-4,14E-04
Beton C 25/30	**EPD-IZB-2013411**	**kg**	**0,25**	**0,01**	**0,26**	**0,08**	**2,49E-10**	**1,12E-04**	**1,84E-05**	**1,41E-05**
Herstellung	A1-A3	2365 kg/m³	909	77,10	986	211,1	6,94E-07	4,26E-01	6,04E-02	4,36E-02
		kg	0,38	0,03	0,41	0,09	2,89E-10	1,24E-04	1,97E-05	1,50E-05
Benefits & Loads	C3	kg	0,01	0,00	0,01	0,00	3,10E-14	5,42E-06	1,17E-06	7,08E-07
	D	kg	-0,13	-0,02	-0,15	-0,01	-3,99E-11	-1,71E-05	-2,46E-06	-1,69E-06
	C3+D (96% Verwertung, 4% Deponie)	kg	-0,12	-0,02	-0,14	-0,01	-3,98E-11	-1,17E-05	-1,30E-06	-9,79E-07
Beton 30/37	**EPD-IZB-2013431**	**kg**	**0,29**	**0,02**	**0,31**	**0,09**	**2,66E-10**	**1,23E-04**	**2,01E-05**	**1,54E-05**
	A1-A3	2365 kg/m³	984	82,70	1067	231,90	7,35E-07	3,23E-01	5,13E-02	3,93E-02
		kg	0,41	0,03	0,57	0,11	2,93E-09	1,94E-04	2,73E-05	1,99E-05
Benefits & Loads	C3	kg	0,01	0,00	0,01	0,00	3,10E-14	5,42E-06	1,17E-06	7,08E-07
	D	kg	-0,13	-0,02	-0,15	-0,01	-3,99E-11	-1,71E-05	-2,46E-06	-1,69E-06
	C3+D (96% Verwertung, 4% Deponie)	kg	-0,12	-0,02	-0,14	-0,01	-3,98E-11	-1,17E-05	-1,30E-06	-9,79E-07
Bewehrungsstahl	**Ökobau.dat 2014**	**kg**	**11,20**	**1,24**	**12,44**	**0,76**	**2,53E-09**	**1,80E-03**	**1,51E-04**	**1,78E-04**
Herstellung	4.1.02 Bewehrungsstahl A1-A3	kg	11,20	1,24	12,44	**0,76**	**2,53E-09**	**1,80E-03**	**1,51E-04**	**1,78E-04**
Benefits & Loads	Kein Recyclingpotenzial	---	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Brettschichtholz	**Ökobau.dat 2014**	**kg**	**0,60**	**19,80**	**20,40**	**-0,13**	**4,44E-11**	**1,18E-03**	**2,31E-04**	**4,75E-05**
Herstellung	3.1.03 Balkenschichtholz Nadelholz A1-A3	515 kg/m³	4910	10555	15465	-676,10	7,59E-07	6,93E-01	8,74E-02	4,34E-02
		kg	9,53	20,50	30,03	-1,31	1,47E-09	1,35E-03	1,70E-04	8,43E-05
Benefits & Loads	3.4.03 Eol Holzwerkstoffe in MVA	kg	-8,93	-0,69	-9,62	1,22	-1,29E-09	-1,07E-05	6,15E-05	-3,67E-05
	C3	kg	0,55	0,03	0,58	1,80	7,06E-11	5,89E-04	1,46E-04	4,03E-05
	D	kg	-9,48	-0,73	-10,21	-0,62	-1,50E-09	-7,56E-04	-8,49E-05	-7,70E-05
	C3+D	kg	-8,93	-0,69	-9,62	1,18	-1,43E-09	-1,67E-04	6,11E-05	-3,68E-05

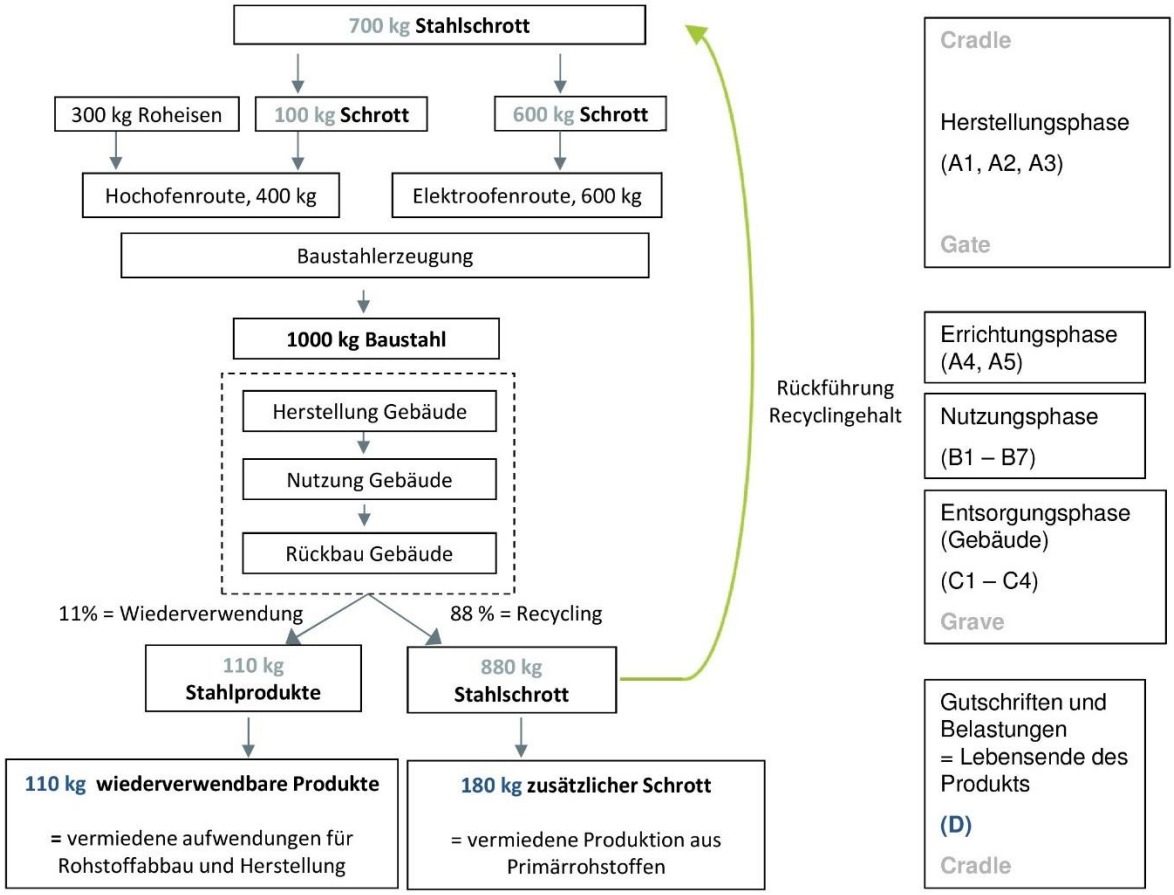


Abbildung 8: Stoffkreislauf für eine Tonne Baustahl (Stahlschrott und wiederverwendete Stahlprodukte ersetzen Produktion aus Eisenerzen)

Ein Großteil der in Europa verwendeten Baustähle (Profile, Grobblech & Stabstahl) wird aus dem Sekundärrohstoff Schrott gewonnen. Da hierdurch wesentliche Prozesse der Stahlherstellung, beispielsweise die Erzaufbereitung und die Gewinnung von Roheisen, entfallen, ist die Erzeugung von Stahl aus Schrott im Elektroofen (EAF) alleine betrachtet energiesparend und klimaschonend. Aber auch Hochofenstahl leistet einen wichtigen Beitrag zum industriellen Kreislauf: Mit jeder Tonne Primärstahl (so wird der Hochofenstahl aufgrund seiner Erzeugung aus dem Primärrohstoff Eisenerz bezeichnet) wird ein unbegrenzt wiederverwertbarer Baustoff im Sinne eines Mehrwegsystems geschaffen. Durch die lange Lebensdauer von Konstruktionen aus Stahl und durch die Wachstumsraten in den letzten Jahrzehnten ist zurzeit mehr Stahl in Produkten gebunden, als über den Schrottmarkt zur Befriedigung der aktuellen Nachfrage verfügbar ist. Hier sorgt die Primärstahlerzeugung für Produktnachschub. Entscheidend ist - egal ob Primär- oder Sekundärstahlerzeugung - dass der wertvolle gebrauchte Stahl (Schrott) nach der Verwendung vollständig wieder eingesammelt und über das Recycling einem neuen Nutzungszyklus zugeführt wird. Dieses so genannte "Cradle to Cradle"-Konzept verringert den Einsatz von Primärrohstoffen und macht die Ökobilanz von Baustahl noch besser. Stahl ist also ein regenerativer Baustoff: Nach der Nutzung lässt er sich einsammeln und entweder wiederverwenden oder neu einschmelzen. Bei einem Produktionsmix von 40% Hochofenstahl und 60% Elektrostahl, dies entspricht dem Verhältnis in der EPD Baustähle (EPD-BFS-20130094), und einem Einsatz von ca. 25% Stahlschrott in der Hochofenroute werden 110 kg wiederverwendbare Produkte sowie 180 kg zusätzlicher Stahlschrott gewonnen (Abbildung 8). Diese wiederverwendbaren Produkte und der zusätzliche Schrott mindern den Bedarf an primären Rohstoffen und deren Verarbeitung und schonen so die Umwelt.

Wenn ein Material wie oben beschrieben recycelt werden kann wird der Verbrach an Rohmaterialien, der Energieverbauch und die CO2-Emissionen reduziert. Der Schrott der für die Produktion notwendig war muss allerdings von den 88% recycelten Schrott abgezogen werden (z.B. 700 kg Stahlschrott pro Tonne, Abbildung 8) Die übrig bleibende Schrottmenge (180 kg Stahlschrott pro Tonne) und auch die Stahlprodukte die direkt

wiederverwendet werden (110kg) vermeiden die Produktion aus primären Rohstoffen. Dieser Effekt wird Recyclingpotenzial genannt. Auch wenn die Bewertung des Recyclinganteils anstatt des Recyclingpotenzials der verwendeten Baustoffe vordergründig einfacher erscheint – so erreicht man mit dieser Betrachtung nicht die Ziele von Ressourceneffizienz und Abfallvermeidung. Die Sammelrate nach dem Abriss des Gebäudes und die Eigenschaften der gebrauchten Baustoffe z.B. zu Wiederverwendung oder weiteren Recyclingschritten bleiben außer Acht. Hier liegt der Vorteil der Recyclingpotenzial Methode. Wie in der EN 15804 gefordert werden aktuelle Marktdurchschnittsdaten zur Ermittlung verwendet. Das bedeutet Sammel- und Recyclingrate sind nicht in der Zukunft liegende hypothetische Annahmen sondern basieren auf aktuell verfügbaren Fakten. Folglich führen Veränderungen der durchschnittlichen Sammel- und Recycling-Raten oder der Marktanteil von EAF und BOF Route zu einer Anpassung des gegenwärtigen Recyclingpotenzials von Baustahl

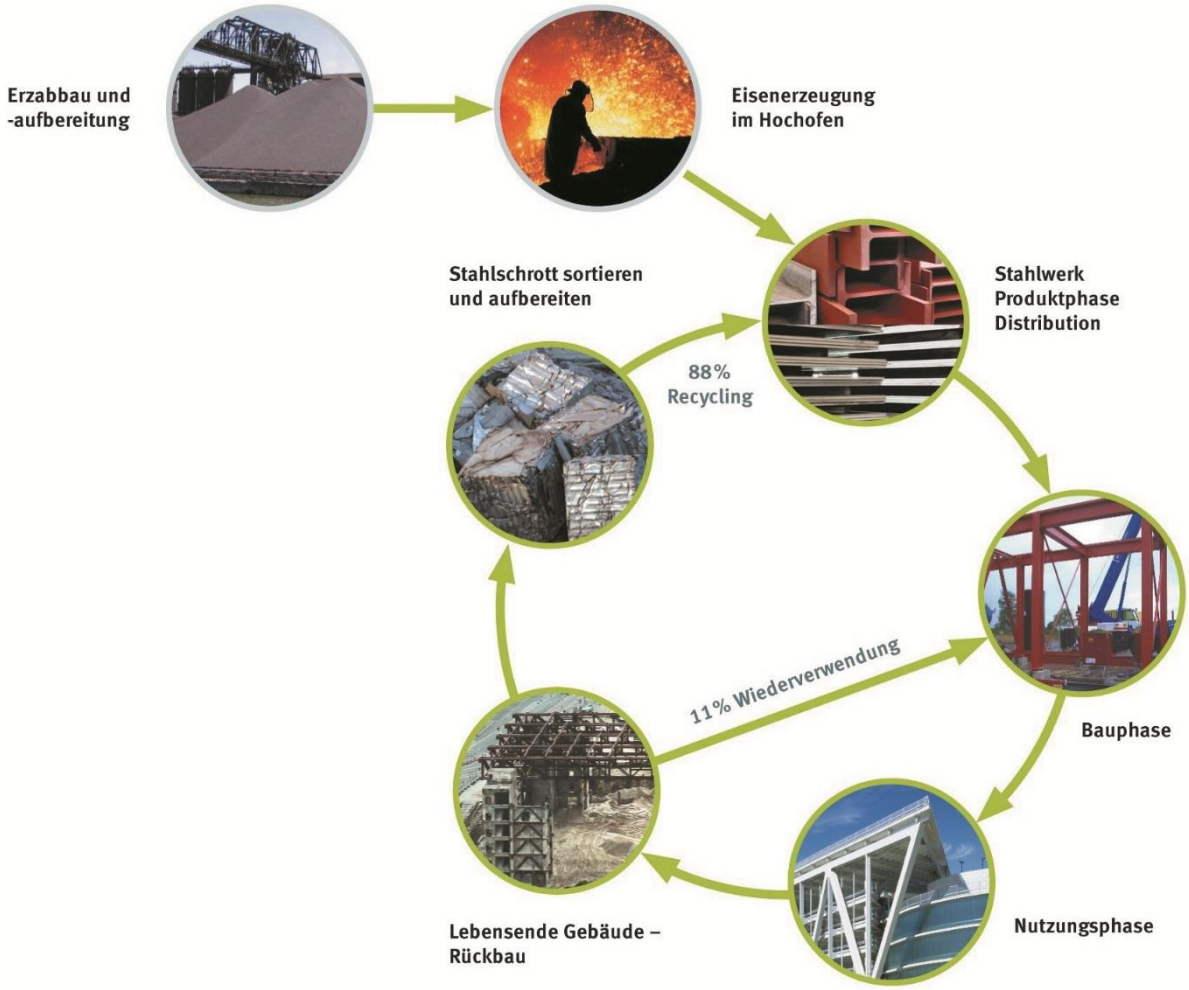


Abbildung 9: Das Kreislaufsystem von Baustahl ermöglicht, einmal in den Kreislauf eingebrachte Ressourcen immer wieder neu zu nutzen

5| Tragwerk mit Fundamenten - Gesamtsystem

Der Stahlrahmen (Stahl) wird mit einer Stahlbetonkonstruktion (StB) und einer Konstruktion mit Stahlbetonstützen und Holzleimbinder (StB/Holz) verglichen. Die Fundamente sind entsprechend der Konstruktion unterschiedlich groß und werden mit berücksichtigt. Die Gutschriften oder Belastungen die sich aus dem Lebensende des Produkts ergeben werden wie in der EN15978 (Norm zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität eines Gebäudes) gefordert, getrennt ausgewiesen und anschließend zum Vergleich aufaddiert dargestellt. So kann der gesamte Lebenszyklus eines Baustoffs inklusive des End of Life mit Recycling oder Verwertung in einem Wert abgebildet werden. Um verschiedene

Konstruktionen besser vergleichen zu können, werden die Ergebnisse der Hallenrahmen pro m² Bruttogeschossfläche (BGF) umgerechnet und angegeben. Die Abbildungen 12-16 zeigen die Ergebnisse für die in Kapitel 4 vorgestellten Umweltindikatoren inklusive Gutschriften oder Belastungen aus den verschiedenen End of Life Szenarios: Recycling und Wiederverwertung (Stahl), Verbrennung (Holz) oder Verwertung und Deponie (Beton).

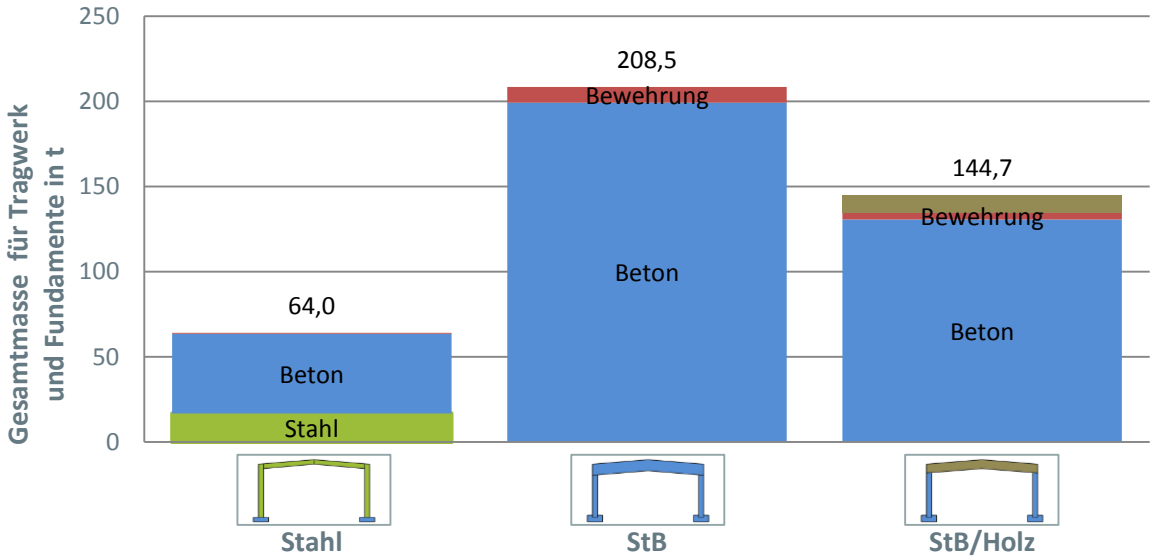


Abbildung 10: Baustoffmassen in t für Tragwerk und Fundamente

Vergleicht man die Baustoffmassen der verschiedenen Ausführungen (Abbildung 10), so zeigt sich, dass Baustahl wegen seiner hohen Festigkeit besonders schlanke und damit materialeffiziente, leichte Konstruktionen erlaubt. Damit einher geht nicht nur ein geringerer Materialbedarf für ein konkret betrachtetes Bauteil, in diesem Fall die Rahmen der Halle, oft sind auch z. B. weniger Stützen, geringer dimensionierte Fundamente oder weniger Materialtransporte zur Baustelle erforderlich. Abbildung 11 zeigt dies am Beispiel der betrachteten Hallen in Stahlbauweise und Stahlbetonbauweise.

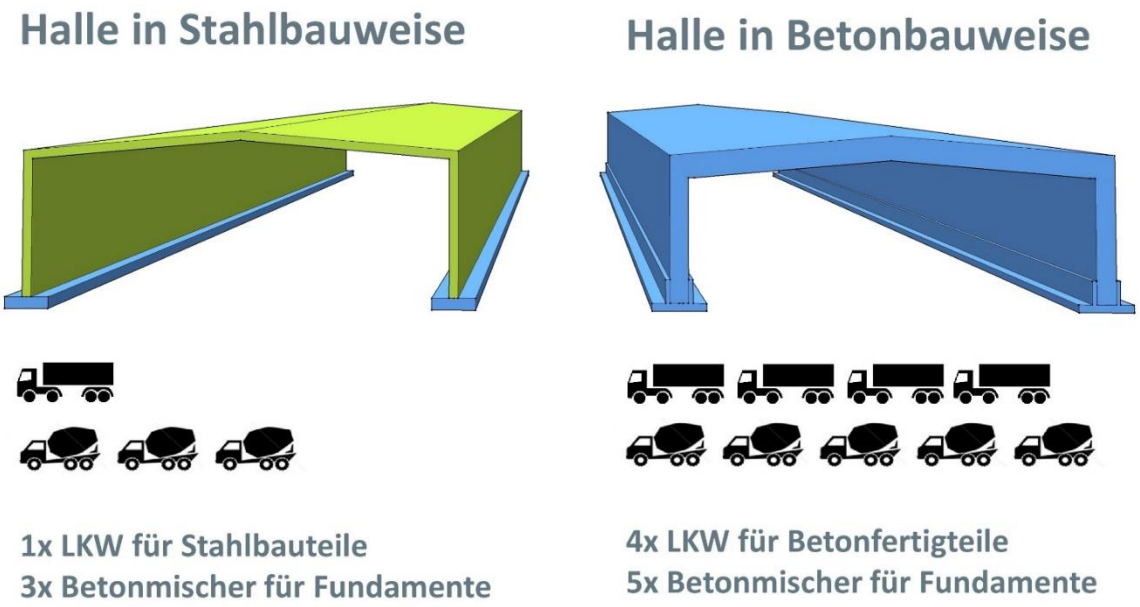


Abbildung 11: Einfluss der Bauweise auf die Anzahl der Transporte zur Baustelle.
Grundlagen: BGF = 900m² für beide Varianten, Massen siehe Abbildung 9, Betonmischer Fassungsvermögen ~8m³, LKW ~26t

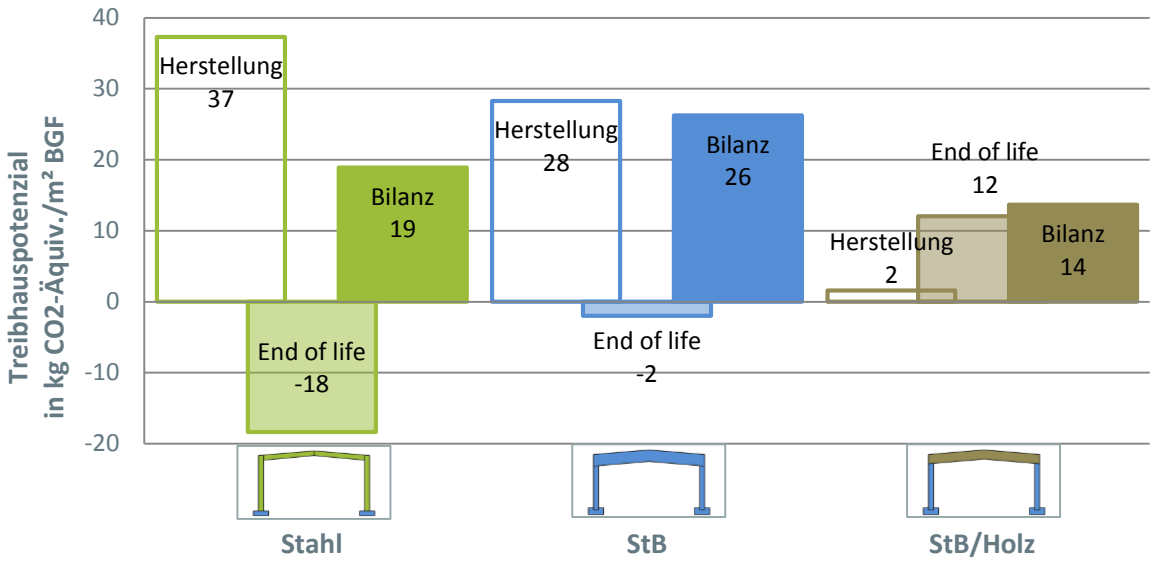


Abbildung 12:Treibhauspotenzial (GWP) für Herstellung (A1-A3) und End of Life (D): Recycling (Stahl), Verbrennung (Holz) oder stoffliche Verwertung (Beton) in kg CO2-Äquivalent pro m² Bruttogeschossfläche

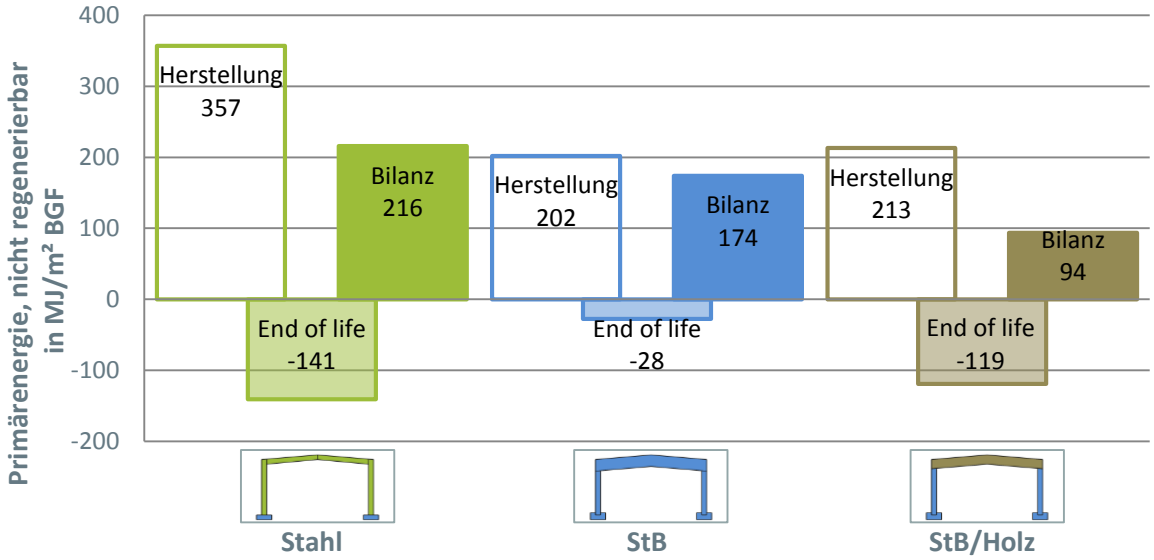


Abbildung 13: Primärenergie, nicht erneuerbar für Herstellung (A1-A3) und End of Life (D): Recycling (Stahl), Verbrennung (Holz) oder stoffliche Verwertung (Beton) in MJ pro m² Bruttogeschossfläche

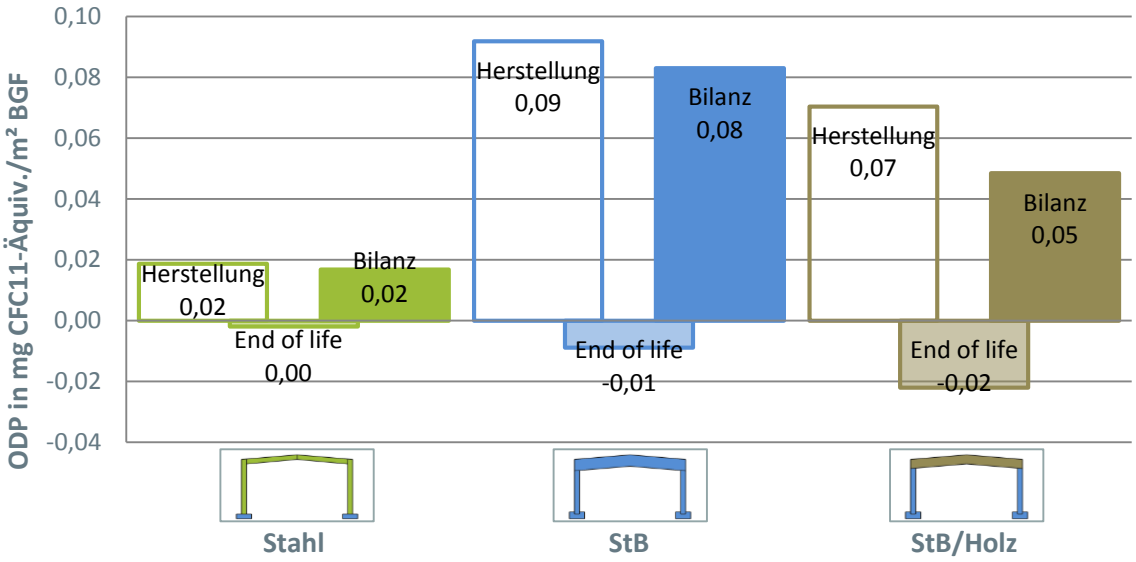


Abbildung 14: Ozonabbaupotential (ODP) für Herstellung (A1-A3) und End of Life (D): Recycling (Stahl), Verbrennung (Holz) oder stoffliche Verwertung (Beton) in mg CFC11-Aquivalent pro m² Bruttogeschossfläche

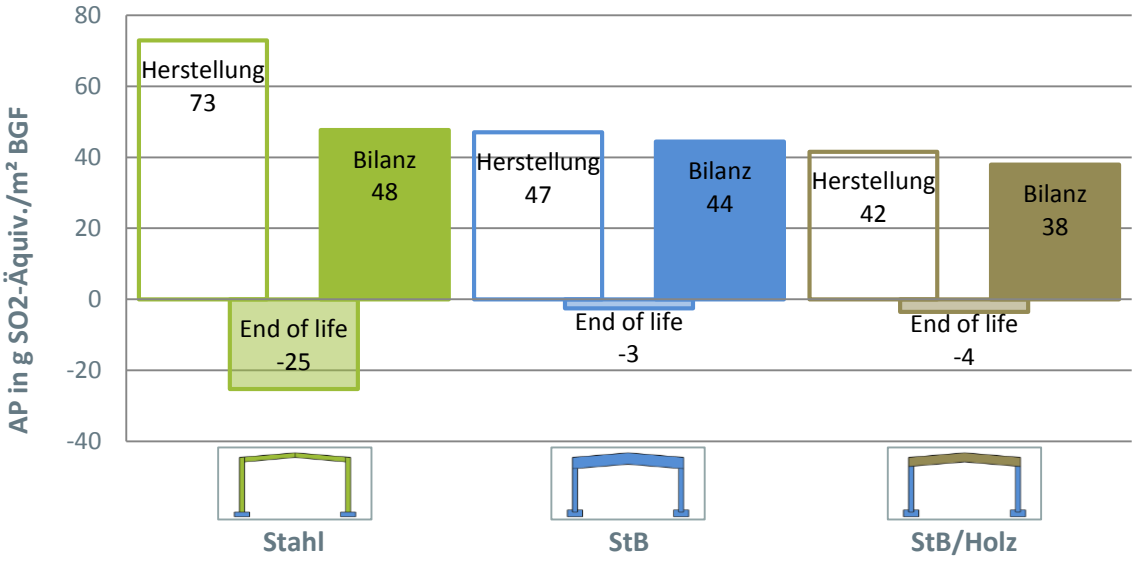


Abbildung 15: Versauerungspotential (AP) für Herstellung (A1-A3) und End of Life (D): Recycling (Stahl), Verbrennung (Holz) oder stoffliche Verwertung (Beton) in g SO2-Aquivalent pro m² Bruttogeschossfläche

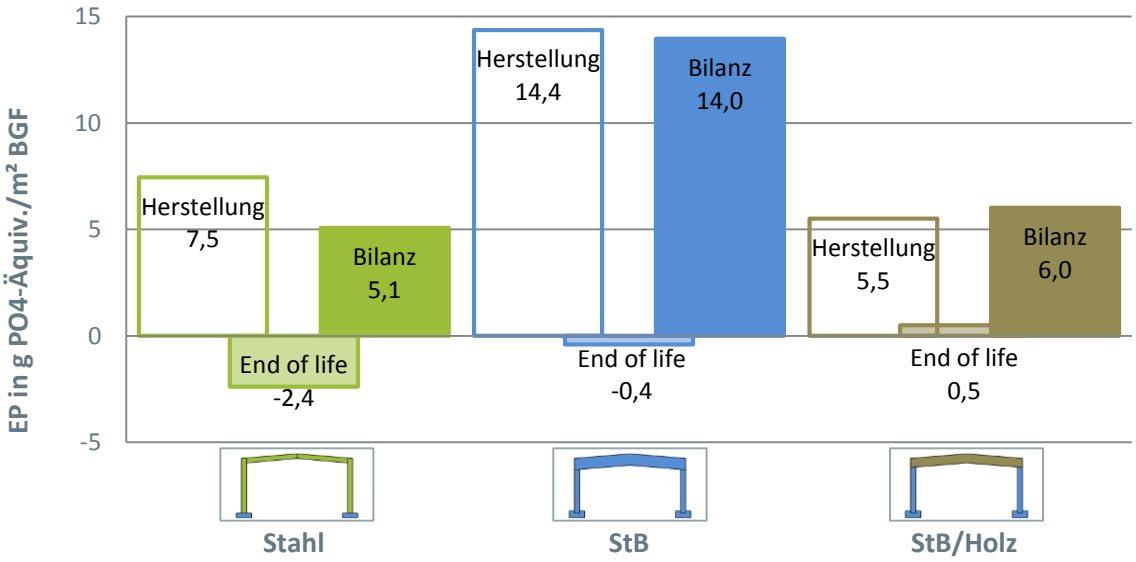


Abbildung 16: Eutrophierungspotential (EP) für Herstellung (A1-A3) und End of Life (D): Recycling (Stahl), Verbrennung (Holz) oder stoffliche Verwertung (Beton) in g PO4-Aquivalent pro m² Bruttogeschossfläche

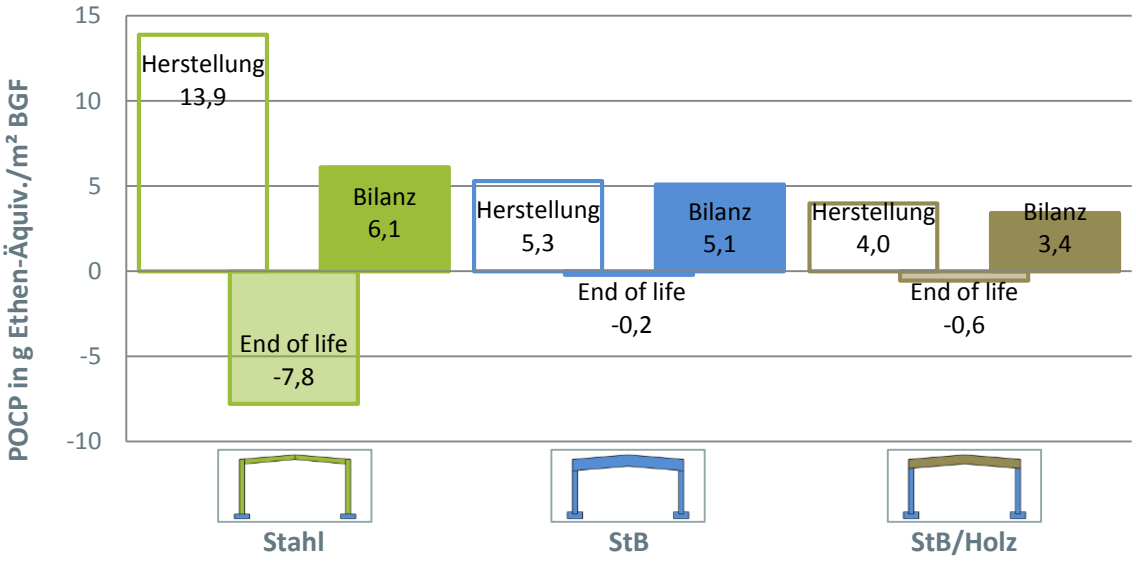


Abbildung 17: Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP) für Herstellung (A1-A3) und End of Life (D): Recycling (Stahl), Verbrennung (Holz) oder stoffliche Verwertung (Beton) in g Ethen-Aquivalent pro m² Bruttogeschossfläche

Betrachtet man alle Umweltwirkungen so ergibt sich für keinen der Baustoffe ein klarer Vorteil. Mit höherfesten Stählen z.B. S460 ließen sich die Umweltwirkung der Stahlkonstruktion noch verbessern. Bei den Indikatoren Treibhauspotenzial (GWP), Ozonabbaupotential (ODP), Versauerungspotential (AP), und besonders Eutrophierungspotential (EP) schneidet die Hallenkonstruktion aus Baustahl sehr gut ab.

In diesem Konstruktionsvergleich mit unterschiedlichen Baustoffen kommt zum Tragen, dass Baustahl nach einem Nutzungszyklus wieder eingesammelt und ohne Einbußen bei den Materialeigenschaften vollständig recycelt wird. Außerdem ist in dem Massenvergleich deutlich zu sehen dass Baustahl wegen seiner hohen Festigkeit besonders leichte und damit materialeffiziente Konstruktionen erlaubt.

Die Stahlstütze hat im Vergleich zur Stahlbetonstütze deutlich geringere Massen und besserer Werte beim Treibhauspotential. Bei der nicht regenerierbaren Primärenergie schneidet die Stahlbetonstütze vordergründig gesehen deutlich besser ab. Jedoch sind die hier nicht betrachteten Fundamente auch deutlich größer. Eine wirkliche Aussage kann also doch nur in Bezug auf das Gesamtsystem getroffen werden.

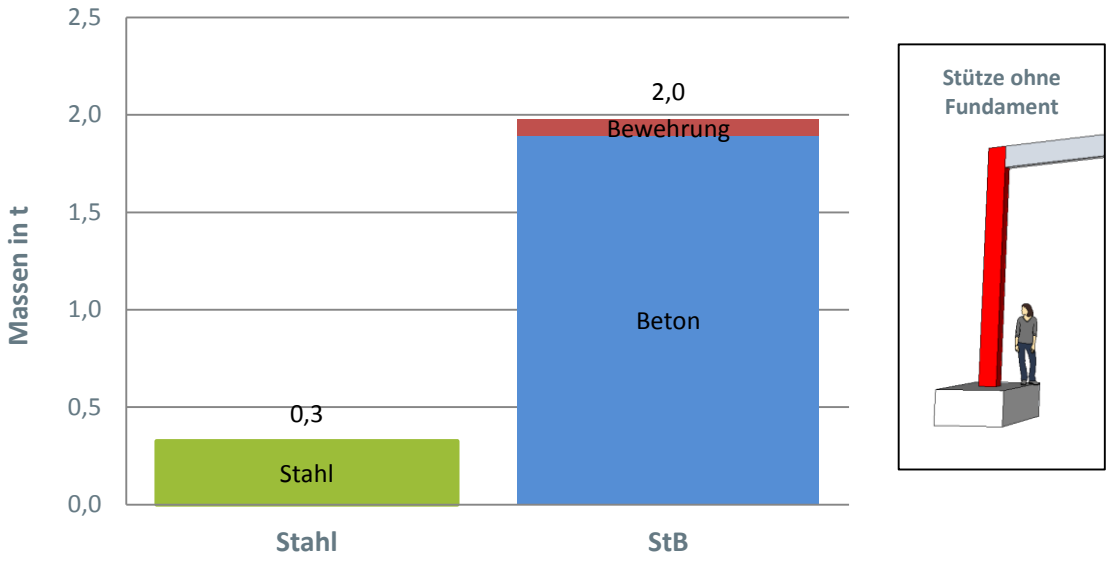


Abbildung 18: Baustoffmassen in t für eine Stütze ohne Fundament

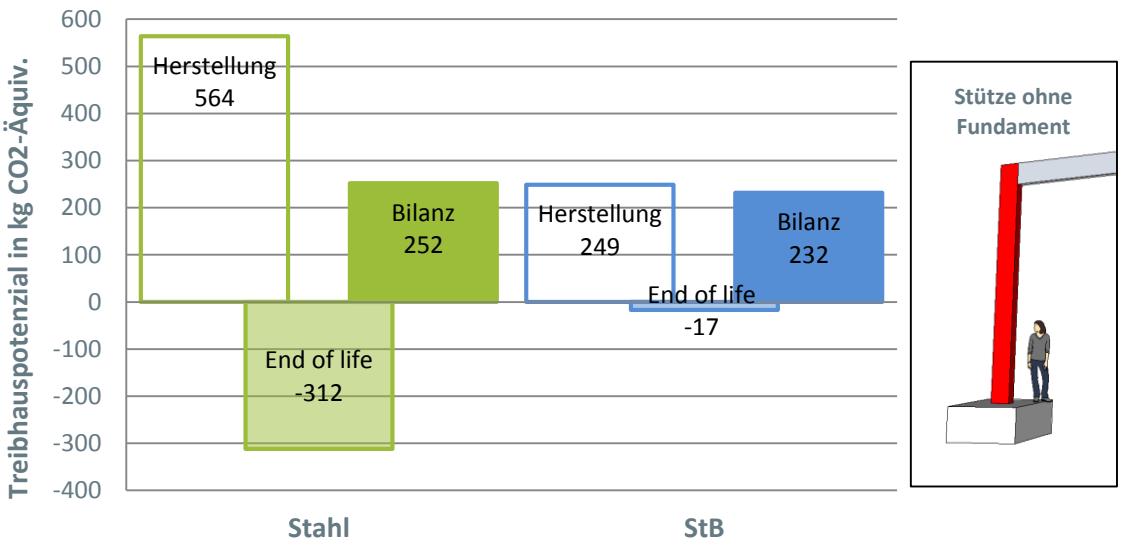


Abbildung 19: Treibhauspotenzial (GWP) für Herstellung (A1-A3) und End of Life (D): Recycling (Stahl) oder stoffliche Verwertung (Beton) in kg CO2-Äquivalent

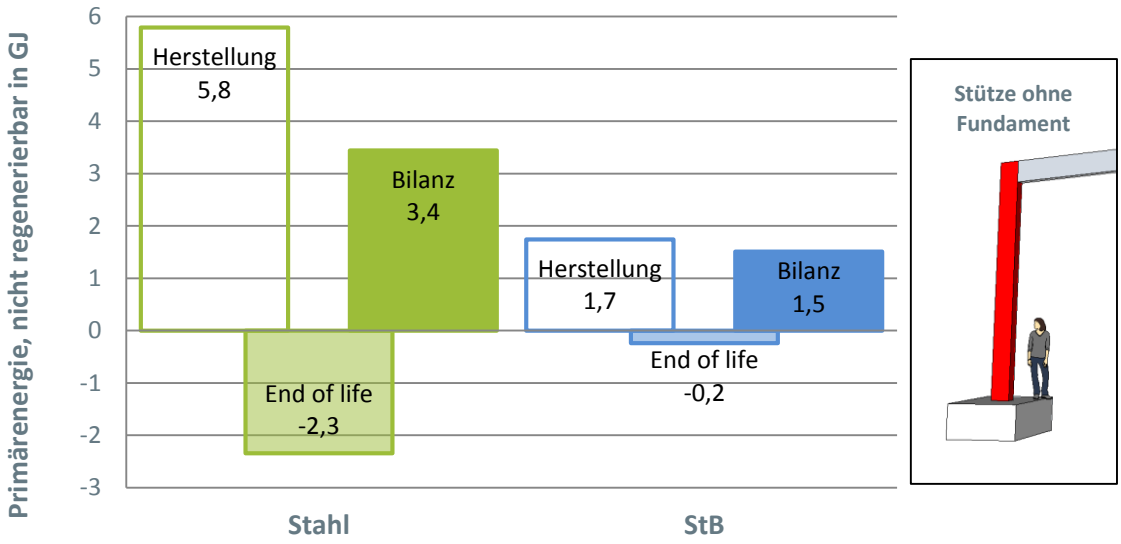


Abbildung 20: Primärenergie, nicht erneuerbar für Herstellung (A1-A3) und End of Life (D): Recycling (Stahl) oder stoffliche Verwertung (Beton) in GJ

7| Binder - Bauteilbetrachtung

Beim Riegel bzw. Binder - also einem Biegeträger - fallen besonders die große Bauteilmasse des Stahlbetonbinders und das gute Abschneiden des Brettschichtholzbinders auf. Der Einsatz eines Profils mit höherer Stahlgüte kommt bei diesem durch ein Biegemoment beanspruchtes Bauteil deutlich zum Tragen. Es wird erkennbar, dass durch die alleinige Betrachtung von einzelnen Bauteilen die Ergebnisse stark variieren können und so bei einem zu kleinen Tragwerksausschnitt die Ergebnisse verfälscht werden können.

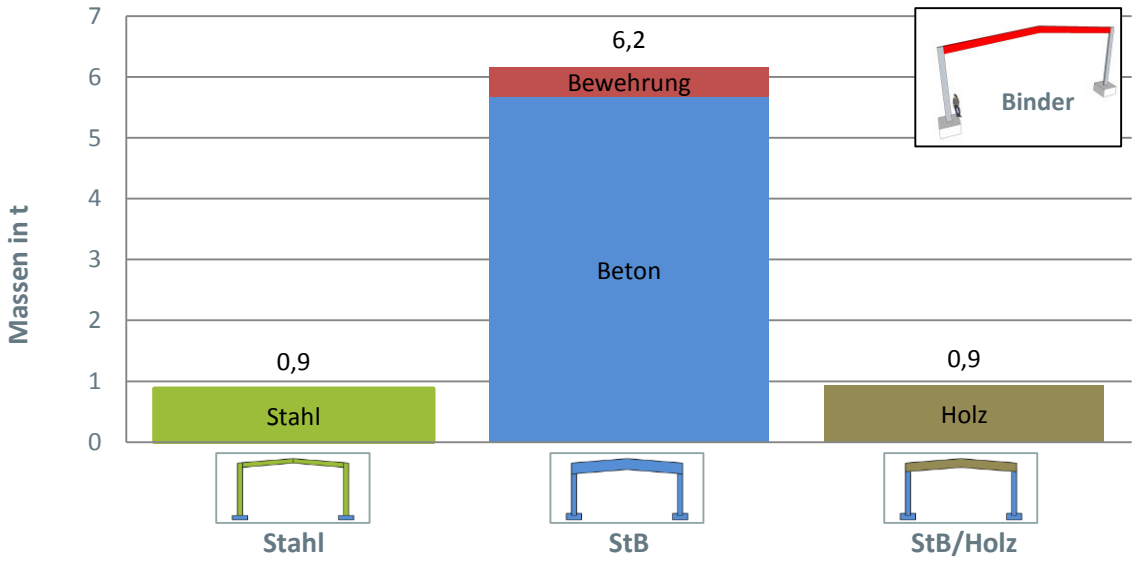


Abbildung 21: Baustoffmassen in t für einen Binder

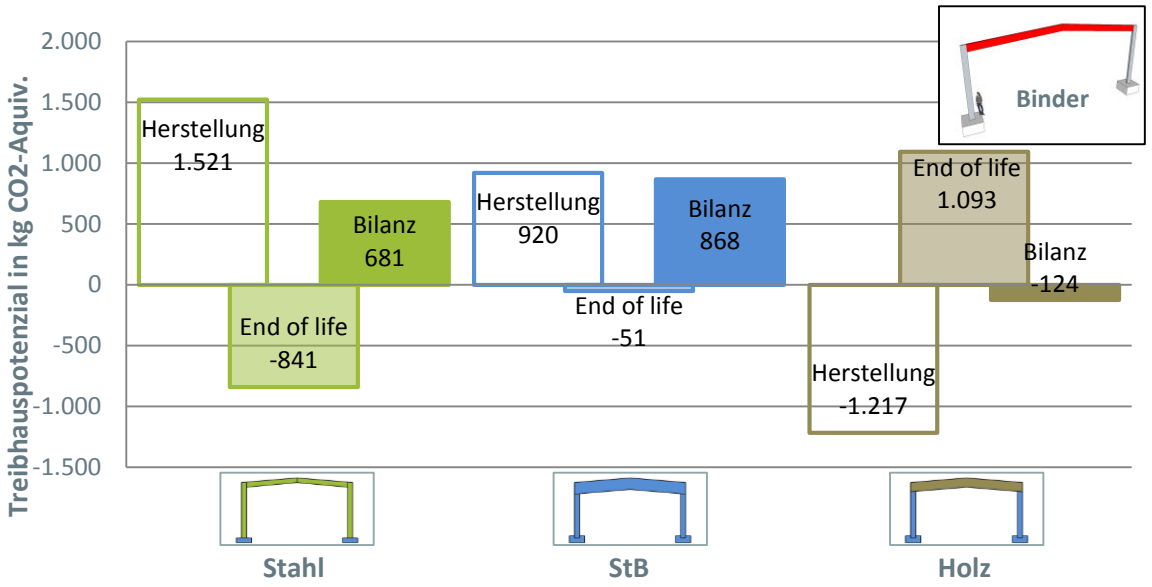


Abbildung 22: Treibhauspotenzial (GWP) für Herstellung (A1-A3) und End of Life (D): Recycling (Stahl), Verbrennung (Holz) oder stoffliche Verwertung (Beton) in kg CO2-Äquivalent

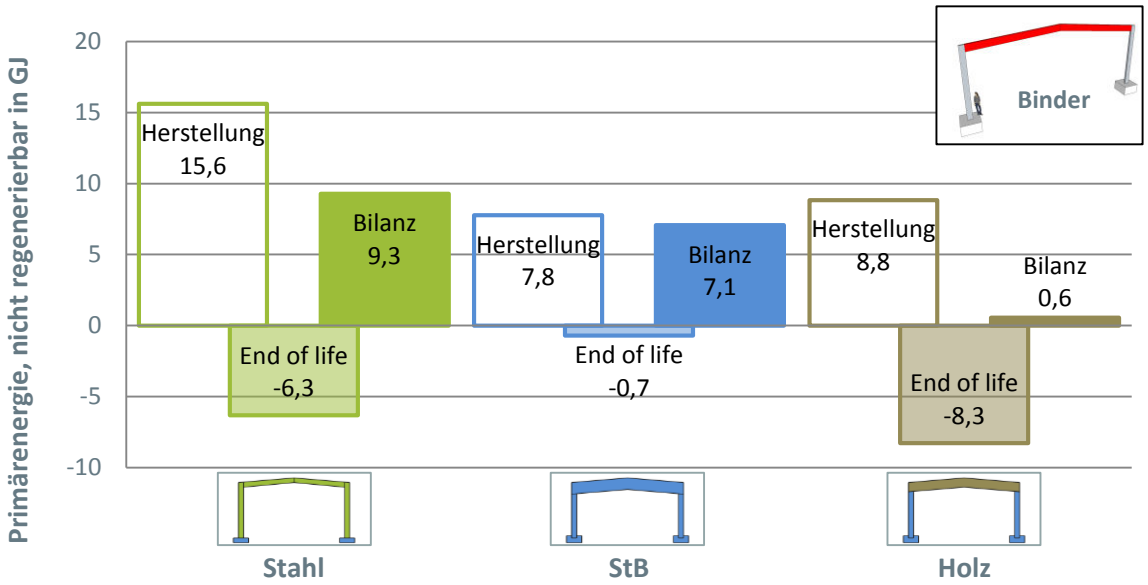


Abbildung 23: Primärenergie, nicht erneuerbar für Herstellung (A1-A3) und End of Life (D): Recycling (Stahl), Verbrennung (Holz) oder stoffliche Verwertung (Beton) in GJ

8| Gebäudehülle

Betrachtet werden verschieden Varianten der Gebäudehülle. Hierbei wird eine ungedämmte „Kalte Halle“ mit drei jeweils gleichwertig gedämmten „Warmen Hallen“ verglichen. Zusätzlich wird auch eine „Super Halle“ mit besonders guter Dämmung betrachtet. In Tabelle 7 sind die verschiedene Gebäudehüllen und ihre bauphysikalischen Eigenschaften zusammengefasst.

Tabelle 7: Grundlagen des Vergleichs von verschiedenen Gebäudehüllen

	Kalte Halle	Warme Halle 1	Warme Halle 2	Warme Halle 3	Super Halle
Symbol					
Außenwände	**Trapezblech, kalt, U = 5,88**	**Stahl-PUR-Sandwich, 80 mm, U = 0,33**	**Porenbeton, 300 mm, U = 0,31**	**Kassettenwand 145+40 mm Mineralwolle U = 0,29**	**Stahl-PUR-Sandwich, 200 mm, U = 0,13**
Dach	**Trapezblech, kalt, U = 7,14**	**Foliendach, 140 mm MW*, U = 0,28**	**Foliendach, 140 mm MW*, U = 0,28**	**Foliendach, 140 mm MW*, U = 0,28**	**Foliendach, 320 mm MW*, U = 0,12**
Lichtband-Dach	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Fenster	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Türen	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Tore	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Tragwerk	Stahl, S355, 2-Gelenk-Rahmen				
Fundamente	Blockfundamente				
Bodenplatte	ungedämmt, U = 0,44	gedämmt, U = 0,24			

Wie zu erwarten ergeben sich bei der Kalten Halle die niedrigsten Werte zu betrachteten Umweltdaten für Herstellung und Entsorgung (A1-A3) bzw. Recycling (D) (Abbildung 24 und 25). Ist eine Beheizung der Halle vorgesehen so ist die Bilanz der gleichwertig gedämmten Gebäudehüllen der Warmen Hallen ausgeglichen. Die Super Halle mit Stahl-PUR-Sandwich-Elementen hat den höchsten Wert und bietet zusätzliche Vorteile durch die geringe Dicke. Es fällt auch auf, dass bei der Super Halle im Vergleich zu den Warmen Hallen Treibhauspotenzial und Primärenergieaufwand trotz der mehr als doppelt so guten Dämmwirkung nur leicht ansteigen. Es zeigt sich das durch den Einsatz von Sandwich-Elementen besonders im Vergleich zum Porenbeton, bei geringerer Bauteildicke eine bessere Dämmwirkung erzielt werden kann.

In der folgenden Betrachtung sollen nun die beiden Hallen-Varianten mit Sandwich-Elementen in der Betriebsphase betrachtet werden. Lässt sich der höhere Primärenergieaufwand für die Super Halle durch den verminderten Jahres-Primärenergiebedarf in einem überschaubaren Zeitraum amortisieren?

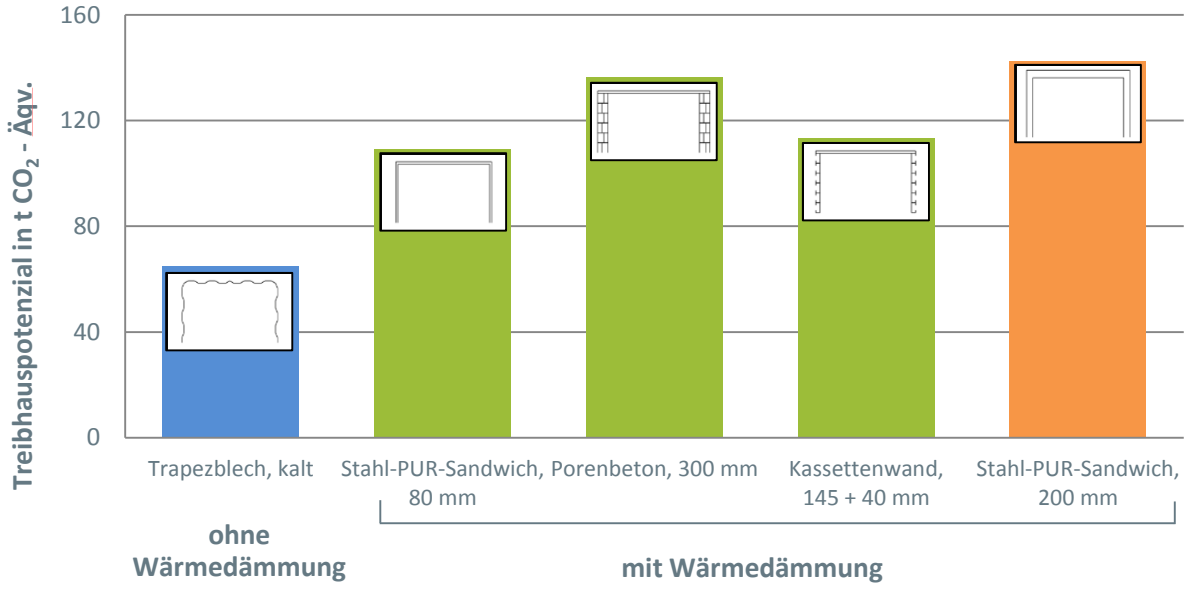


Abbildung 24: Treibhauspotenzial für Herstellung und Entsorgung (A1-A3) bzw. Recycling (D) der Gebäudehülle in t CO2-Äquivalent

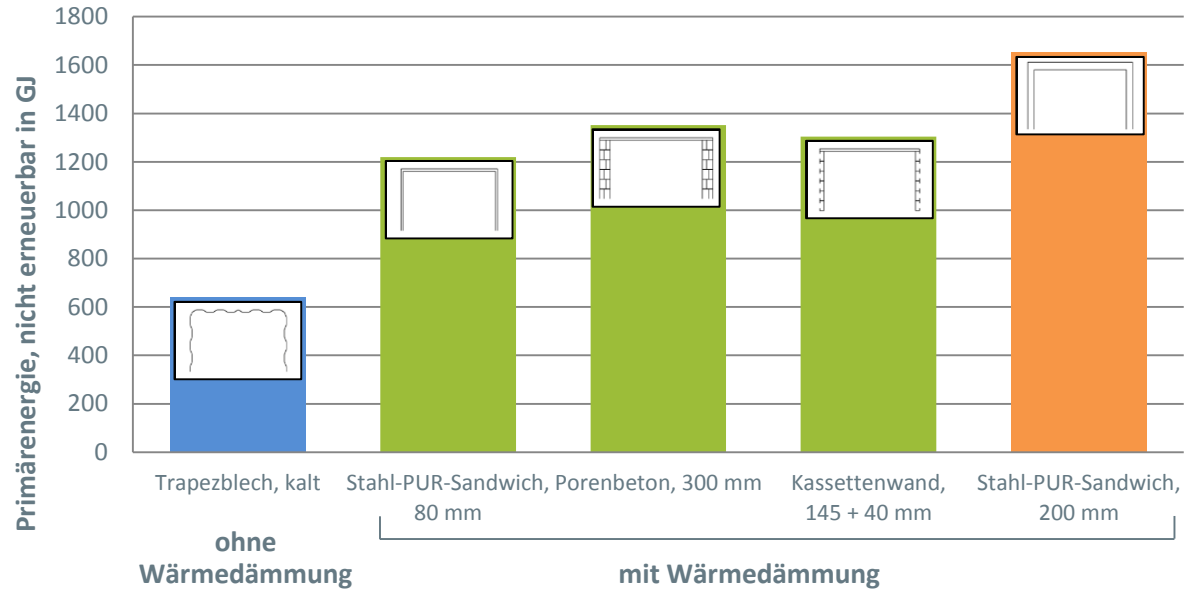


Abbildung 25: Primärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung (A1-A3) bzw. Recycling (D) der Gebäudehülle in GJ

Vergleich in der Betriebsphase

Bei Umrechnung des Primärenergiebedarfs in MWh (Tabelle 8) lässt sich der Energieaufwand für die Herstellung und Entsorgung (A1-A3) bzw. Recycling (D) der eingesetzten Gebäudehülle mit dem Energieverbrauch während der Nutzung (B6, Betriebsenergie Tabelle 5) vergleichen. Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die Energieverbrauchswerte für Hallen mit 80 mm Stahl-PUR-Sandwich-Elementen (Warme Halle 1) und mit 200 mm Stahl-PUR-Sandwich-Elementen (Super Halle). Die in Tabelle 5 enthaltenen Werte werden über die Zeitachse aufaddiert. Am Anfang der Nutzungszeit steht die für die Herstellung und Entsorgung der Gebäudehülle aufzuwendende Energie (Abbildung 26).

Tabelle 8: Primärenergiebedarf für zwei Varianten der Gebäudehülle. Betrachtung von Herstellung (A1-A3), Recyclingpotenzial (D) und Betriebsenergie (B6)

	Warme Halle 1 Stahl-PUR-Sandwich, 80mm	Super Halle Stahl-PUR-Sandwich, 200mm
Primärenergie für Herstellung und Entsorgung [MWh]	340	456
Jahres-Primärenergiebedarf [MWh/a]	140	110

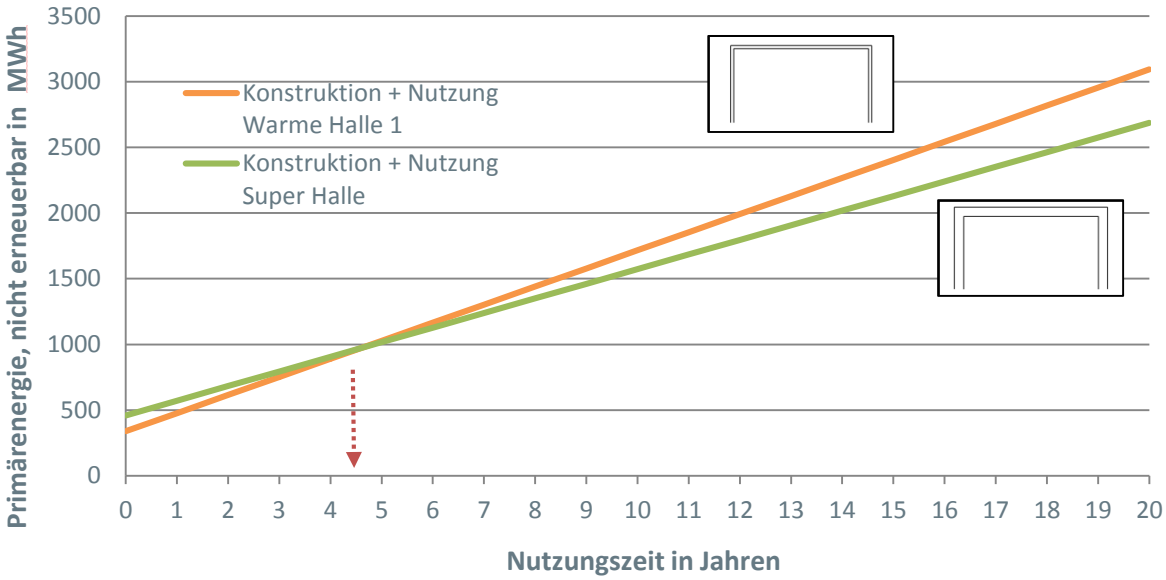


Abbildung 26: Vergleich der Primärenergie über einen Nutzungszeitraum von 20 Jahre. Betrachtung von Herstellung (A1-A3), Recyclingpotenzial (D) und Betriebsenergie (B6) - Amortisation nach ca. 4,5 Jahren

Energetisch betrachtet amortisiert sich die Super Halle nach ca. 4,5 Jahren. Der Mehraufwand aus Herstellung und Entsorgung (A1-A3, D) gegenüber einer normal gedämmten Halle wird durch den niedrigen Verbrauch in der Nutzungsphase (B6) ausgeglichen. Die folgende Darstellung verdeutlicht dieses Ergebnis und macht den Beginn der wirklichen Energieeinsparung sichtbar (Abbildung 27). Der Vergleich von Gebäudehüllen mit unterschiedlichen Wärmedämmeigenschaften über die Herstellung hinaus macht deutlich wie wichtig eine Betrachtung des gesamten Lebenszyklus ist. Bauwerke sind für einen langen Nutzungszeitraum ausgelegt und so haben die Entscheidungen die bei der Planung und Errichtung getroffen werden weitreichende Folgen die auch berücksichtigt werden müssen. Der energetische Vergleich einer typischen Halle mit verschiedenen Gebäudehüllen stellt hier nur ein einfaches Beispiel dar.

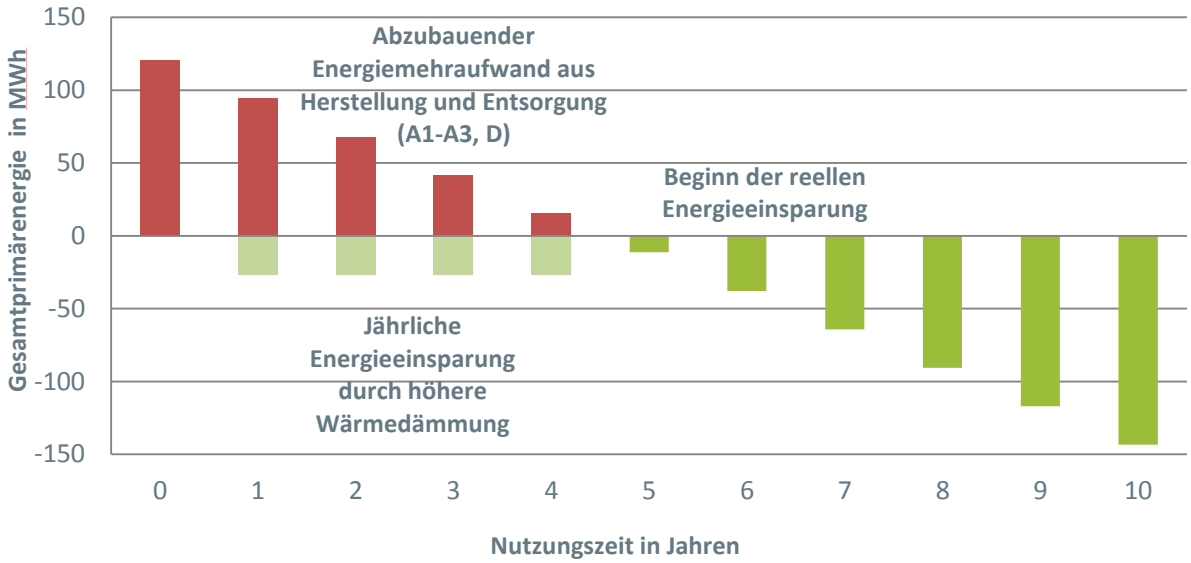


Abbildung 27: Verdeutlichung der Energieeinsparung bei verbesserter Gebäudehülle - Amortisation nach ca. 4,5 Jahren

9|Transport

Pro Tonne transportiertem Stahl ergeben sich ab dem Werkstor (A1-A3, Cradle to Gate) zusätzlich Belastungen je nachdem woher der Stahl kommt (A5, Transport, siehe Tabelle 5). Betrachtete wird Stahl mit der Herkunft Westeuropa, Brasilien und China. Stahlprodukte müssen im Schnitt die in Tabelle 9 gelisteten Strecken zurücklegen. Für den Transport von einer Tonne Material über eine Strecke von 1 km (= 1 Tonnenkilometer „tkm“) können der Ökobau.dat die entsprechenden Umweltdaten entnommen werden (Tabelle 10). Verpackungen wie z.B. Container werden vereinfachend nicht berücksichtigt. So lassen sich Beispielhaft für eine Tonne Baustahl die Umweltdaten inklusive Transport ermitteln.

Tabelle 9: Durchschnittlich zurückgelegte Strecken von Stahlprodukten

	Seefracht km	**Bahnkilometer** km
Westeuropa	**-**	**500**
Brasilien	**10,000**	**500**
China	**20,000**	**800**

Tabelle 10: Umweltdaten für ausgewählte Transportmittel

	Treibhaus-potential kg CO2-Äqu./tkm	**Gesamt-Primärenergie** MJ/tkm
Containerschiff	**0.0156**	**0.1904**
Bahntransport	**0.0173**	**0.302**

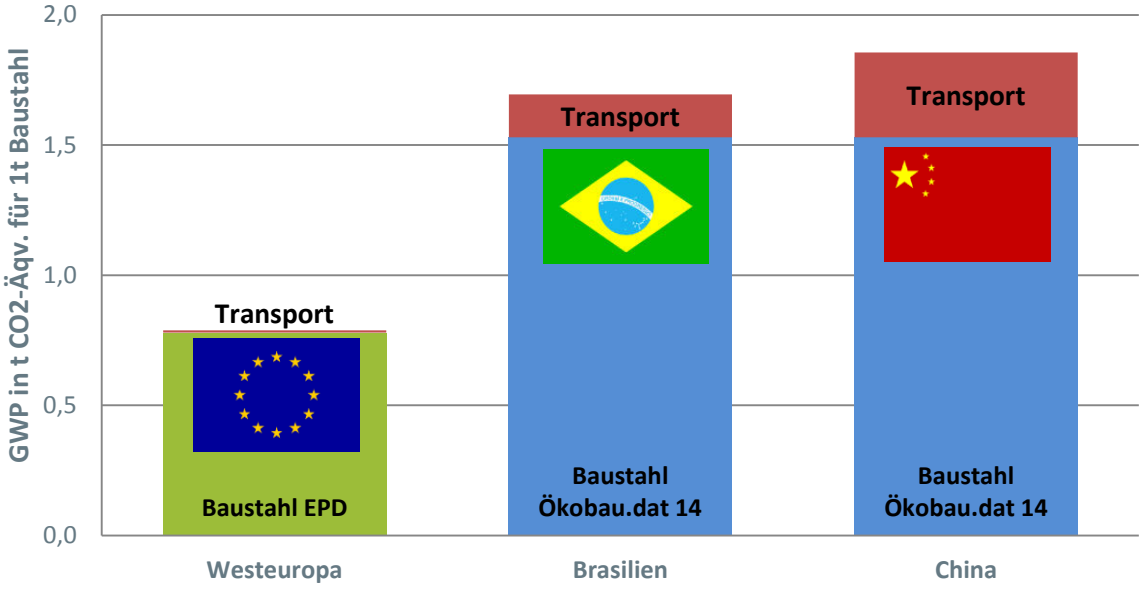


Abbildung 28: Treibhauspotenzial abhängig vom Ursprungsland des Baustahls, Beispiel: Eine Tonne Baustahl

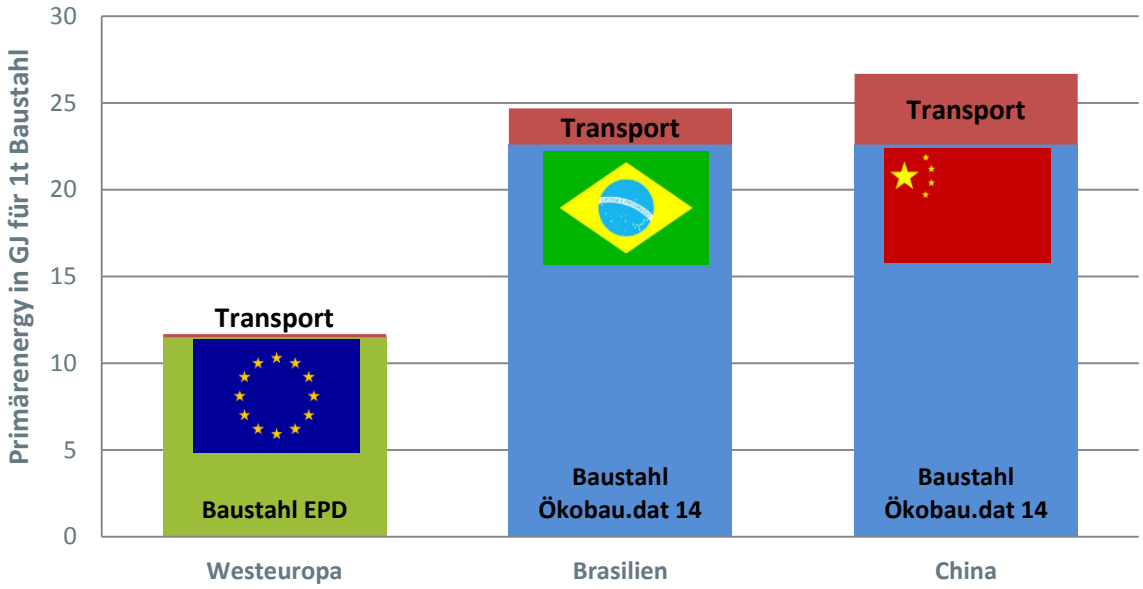


Abbildung 29: Primärenergieeinsatz abhängig vom Ursprungsland des Baustahls, Beispiel: Eine Tonne Baustahl

Verglichen mit dem errechneten Primärenergiebedarf und dem Treibhauspotenzial pro Tonne Baustahl können bei langen Transportwegen, je nach Herkunftsland der Stahlerzeugnisse zusätzliche Umweltbelastungen von fast 30 % auftreten (siehe Abbildung 28 und 29). Wegen dieser deutlichen Anteile müssen die Umweltdaten für lange Transportwege auch bei einer Ökobilanz für ein komplettes Gebäude Berücksichtigung finden. Stahl, zumal Baustahl in hoher technischer Qualität und mit günstigen Umweltwerten, ist in Deutschland und Europa gut verfügbar. Unter Berücksichtigung der gerade beschriebenen zusätzlichen ökologischen Belastungen relativiert sich der vermeintliche ökonomische Vorteil von Importstahl aus anderen Regionen oft schnell. Besonders Baustahl aus Deutschland und Europa, der immer wieder rezykliert und damit zurück in den industriellen Kreislauf gegeben wird, ist somit de facto auch ein einheimischer Baustoff.

Beim ökobilanziellen Vergleich von Hallen unterschiedlicher Bauweisen und Baustoffe wird deutlich, dass Baustahl wegen seiner hohen Festigkeit besonders schlanke und damit materialeffiziente, leichte Konstruktionen erlaubt. Damit einher geht nicht nur ein geringerer Materialbedarf für ein konkret betrachtetes Bauteil, in diesem Fall ein Hallenrahmen, oft sind auch z. B. weniger Stützen, geringer dimensionierte Fundamente oder weniger Materialtransporte zur Baustelle erforderlich.

Weitere Vorteile hat der Baustahl durch seine besondere „Cradle to Cradle"-Eigenschaft, Baustahl kann nach dem Nutzungsende direkt wiederverwendet werden oder ressourcenschonend recycelt und bei vollem Erhalt seiner mechanischen Eigenschaften wieder als Konstruktionsbaustoff eingesetzt werden. Durch die Verwendung hochfester Stähle, vor allem in auf Zug, und Biegung beanspruchten Bauteilen, lässt sich die Ökobilanz weiter verbessern. Klar wird, dass der Betrachtungsrahmen deutliche Auswirkungen auf das Ergebnis der Ökobilanz hat. Bei einem ökobilanziellen Vergleich bei dem die Baustoffe im Vordergrund stehen ist ein Beispiel zu wählen welches sowohl in der Baupraxis Verwendung findet als auch typische Lastzustände (Druck, Zug, Biegung) berücksichtigt. Durch den ganzheitlichen Ansatz und den Lebenszyklusgedanken, den eine nachhaltige Betrachtung fordert, dürfen auch die Gutschriften oder Belastungen die sich aus dem Lebensende eins Baustoffs ergeben nicht außer Acht gelassen werden. Bei einem Baustoffvergleich auf Bauteilebene zeigt sich, dass der Baustoff Stahl, besonders wenn Stahl mit dazugehöriger Umwelt-Produktdeklaration zum Einsatz kommt, im ökobilanziellen Vergleich klar wettbewerbsfähig ist. Hierbei ist anzumerken, dass nur auf Basis der Umweltdaten kein direkter Vergleich von Baustoffen möglich ist. Es müssen je nach konkreter Situation die kompletten funktionalen Einheiten – also ein Tragwerk oder ein grundlegendes Bauteil – verglichen werden.

Der Vergleich von Gebäudehüllen mit unterschiedlichen Wärmedämmeigenschaften über die Herstellung hinaus macht deutlich wie wichtig eine Betrachtung des gesamten Lebenszyklus ist. Bauwerke sind für einen langen Nutzungszeitraum ausgelegt und so haben die Entscheidungen die bei der Planung und Errichtung getroffen werden weitreichende Folgen die auch berücksichtigt werden müssen. Der energetische Vergleich einer typischen Halle mit verschiedenen Gebäudehüllen stellt hier ein greifbares Beispiel dar.

Während kürzere Wege – zum Beispiel die in Europa typischen Transportradien bis 500 km – vernachlässigt werden können, beeinflussen längere Transportwege das Gesamtergebnis deutlich. Bei Ökobilanzen müssen daher die Transportwege vom Werkstor zur Baustelle stärkere Berücksichtigung finden.

Ressourceneffizienz und Abfallvermeidung sind heute wichtige politische Vorgaben und werden in Normen und Gesetzen für den europäischen Bausektor festgelegt. Wie dieses Dokument zeigt sind Architekten und Ingenieure mit dem Baustoff Stahl gut gerüstet um diese Ziele zu erreichen.

Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (2014): Ökobau.dat 2014 . www.oekobaudat.de Stand 09.01.2015. Berlin

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. 2012. Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude DGNB Handbuch für nachhaltiges Bauen Version 2012. Stuttgart: DGNB e.V.

Donath, C., Fischer, D. und Hauke, B. 2011. Nachhaltige Gebäude – Planen, Bauen, Betreiben. Düsseldorf: bauforumstahl e.V

IBU (Institut für Bauen und Umwelt e. V.) (Hrsg.) (2013): Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 für Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche (bauforumstahl e.V.)

Kreissig, J., Hauke, B. und Kuhnhenne, M. 2010. Ökobilanzierung von Baustahl. Stahlbau. volume 79. issue 6: 418 - 433

Kuhnhenne, M., Döring, B. und Pyschny, D. 2010. Ökobilanzierung von Typenhallen, RWTH Aachen

DIN EN 15804 (2012): Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012, Beuth Verlag, Berlin

DIN EN15978. (2011). Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden-Berechungsmethode; Deutsche Fassung EN 15804:2011, Beuth Verlag, Berlin

Siebers, R.; Hubauer, A.; Lange, J.; Hauke, B. (2012): Eco efficiency of structural frames for low rise office buildings, in: ECCS/Concepts and methods for steel intensive Buildings, München

Siebers, R.; Hauke, B.; Blum, M. (2012): Ressourceneffizienz durch gezielte Planung für Re-cycling, Proceedings of 18th International Conference on Building Materials IBAUSIL

Siebers, R. (2013): Bauen im Wertstoffkreislauf - Zukunftsweisend mit Stahl, in: Deutsches Ingenieurblatt „Spezial: Nachhaltige Baustoffe und Bausysteme“

Siebers, R.; Hechler, O.; Hauke, B.; Kuhnhenne, M. (2014): Bauprodukte aus Stahl im Kontext der Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken, in: Stahlbau-Kalender 2014

Siebers, R.; Hauke, B.; Vassart, O. (2014): Environmental Product Declaration “Structural Steel” according to EN 15804, Eurosteel Napoli

Siebers, R.; Hauke, B.; Pyschny, D.; Feldmann, M.; Kuhnhenne, M. (2014): Ecological effi-ciency of office buildings, Eurosteel Napoli

Bildnachweis:

Cover: ©bauforumstahl, Abbildung 1-3: ©bauforumstahl, Abbildung 4/Tabelle 8: ©Kerschgens Stahl & Mehr GmbH, Abbildung 5: ©bauforumstahl, Abbildung 6: ©Dr. Gerhard Köhler, Werksvertretungen, Abbildung 7: ©Michael Fassold, Sägewerk und Holzhandels Gmbh Fassold, Abbildung 8 u. 10-28: ©bauforumstahl, Bild 9 © Lentz (Erzabbau), © Ïelezárny (Hochofen), wulf & partner, Freie Architekten © Halbe (Parkhaus Neue Messe Stuttgart), © Wolf (Rückbau), © Salzgitter AG (Stahlschrott) unten: ©kristall - Fotolia.com, Dorfhaus ©Thomas Nutt

Mitglieder bauforumstahl .....

Interessengemeinschaft Stahlhandel im bauforumstahl (IGS) .....

Verbände .....

bauforumstahl
Deutscher Stahlbau. Gut beraten.

Sohnstraße 65 | 40237 Düsseldorf
Postfach 10 48 42 | 40039 Düsseldorf
T: +49 (0)211.6707.828 | F: +49 (0)211.6707.829
zentrale@bauforumstahl.de | www.bauforumstahl.de
www.facebook/bauforumstahl | www.stahlbauverbindet.de

Kennung Drucknummer: B 107