

Ökobilanzierung von Typenhallen

Dr.-Ing. Markus Kuhnhenne

Dr.-Ing. Bernd Döring

Dipl.-Ing. Dominik Pyschny

Aachen, 29.06.2010

Stahlbau
Leichtmetallbau

Institut und Lehrstuhl für
Stahlbau und Leichtmetallbau
Mies-van-der-Rohe-Str. 1
D-52074 Aachen

AINA

AINA GmbH
Institut für Nachhaltiges Bauen Aachen
Dennewartstrasse 25-27
D-52068 Aachen

RWTHAACHEN
RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Grundzüge der angewendeten Ökobilanzierungsmethode	2
3	Typenhalle	13
3.1	Allgemeines	13
3.2	Abmessungen	13
3.3	Bauteile	14
4	Ergebnisse	19
4.1	Variation des Tragwerks und der zugehörigen Fundamente	19
4.2	Variation der Gebäudehülle	22
4.3	Gesamthalle	24
5	Zusammenfassung und Fazit	27
	Quellenverzeichnis	28
	Abbildungsverzeichnis	29
	Anhang A	32

1 Einleitung

Die Ökobilanzierung ist durch die Einführung des „Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen (DGNB)“ zu einem festen Bestandteil der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden geworden. Im Rahmen der Pilotphasen zur Bewertung und Zertifizierung von Industrie- und Gewerbegebäuden sind 2009 in Deutschland erstmalig auch Ökobilanzen dieser Gebäudearten nach DGNB-Standard erstellt worden.

Um Erkenntnisse über die Umweltauswirkungen verschiedener Bauweisen für Tragwerk und Gebäudehülle im Industrie- und Gewerbebau zu erlangen, werden im Rahmen der vorliegenden Studie im Auftrag des bauforumstahl verschiedene Konstruktionsarten untersucht.

Da ein Vergleich der Umweltleistung verschiedener Konstruktionen nur auf Bauwerksebene im Bauwerkskontext sinnvoll und aussagekräftig ist, wird als Untersuchungsobjekt eine vereinfachte Typenhalle des bauforumstahl [1] in verschiedenen Ausführungsvarianten gewählt. Diese soll durch ihren Modellcharakter Prinzipien und Grundsätze der Ökobilanzierung von hallenartigen Gebäuden aufzeigen.

Neben dem in der Studie betrachteten gleichen Untersuchungsobjekt mit verschiedenen Ausführungsvarianten ist eine identische Datengrundlage für einen sinnvollen Vergleich eine Grundvoraussetzung. Als Datenbasis für die Untersuchungen wird die Ökobau.dat 2010 [2] verwendet.

Ziel der Analyse ist es, anhand von momentan verfügbaren Daten und Methoden die Umweltleistung der Typenhalle in verschiedenen Varianten des Industrie- und Gewerbebaus miteinander zu vergleichen. Gleichzeitig sollen vorhandene Unsicherheiten und der daraus resultierende Forschungsbedarf aufgezeigt werden.

2 Grundzüge der angewendeten Ökobilanzierungsmethode

Grundsätzlich werden im Rahmen einer Ökobilanz die potenziellen Umweltwirkungen eines Produktes im Verlauf seines Lebensweges zusammengestellt und beurteilt. Der Lebensweg beinhaltet dabei die Rohstoffgewinnung, die Produktion, die Anwendung, die Abfallbehandlung, das Recycling („von der Wiege bis zur Wiege“ oder auch „cradle to cradle“) bzw. die endgültige Beseitigung („von der Wiege bis zur Bahre“ oder auch „cradle to grave“). Die Normenreihe DIN EN ISO 14040 – 14044 [3][4][5][6][7] regelt die Grundsätze und Rahmenbedingungen sowie Anforderungen und Anleitungen zur Ökobilanzierung, welche folgende vier Schritte umfasst (Abbildung 1):

1. Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen (DIN EN ISO 14041) [4]
2. Sachbilanz (DIN EN ISO 14041) [4]
3. Wirkungsabschätzung (DIN EN ISO 14042) [5]
4. Auswertung (DIN EN ISO 14043) [6]

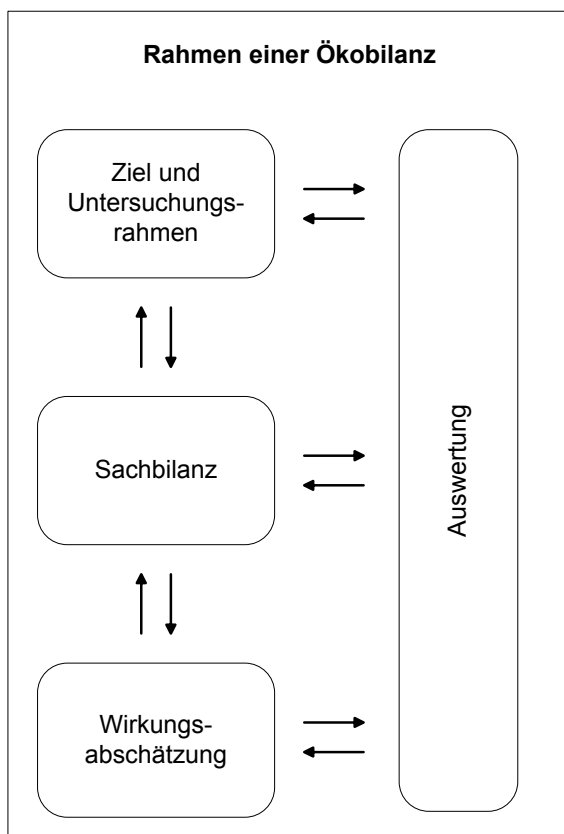


Abbildung 1: Phasen einer Ökobilanz nach [3]

Ein sehr wichtiger Aspekt bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens ist die Wahl der funktionellen Einheit. Sie dient als Maß für den Nutzen eines Produktes und charakterisiert so dessen Leistungsfähigkeit [8]. Grundsätzlich sind im Bauwesen folgende funktionelle Einheiten denkbar [9]:

- Baustoff (z.B. 1 m³ Beton oder 1 kg Stahl)
- Bauteil oder Bauelement (z.B. 1 m² Außenwand, Tragkonstruktion)
- Gebäude oder Gebäudenutzen (z.B. eine Industriehalle oder 1 m² Wohnfläche)

Ökobilanzen auf Baustoffebene werden bei der Erstellung von Umweltdeklarationen für Bauprodukte, den so genannten EPDs (Environmental Product Declaration), verwendet. DIN EN 15804 [10] liefert Regeln für diese und stellt sicher, dass alle EPDs von Bauprodukten, Dienstleistungen im Bausektor und Bauprozesse in einheitlicher Weise erstellt, geprüft und dargestellt werden.

Aufgrund der Tatsache, dass EPDs für Bauprodukte noch nicht in der Breite existieren, wie es für die vorliegenden Untersuchungen notwendig wäre, werden als Grundlage für die Berechnungen die Umweltprofile der verwendeten Baumaterialien der Datenbank Ökobau.dat 2009 [2] entnommen. Diese beinhaltet, genau wie die EPDs, schon in Umweltindikatoren ausgewertete Ökobilanzdaten für die Herstellung und Entsorgung von Bauprodukten sowie für einige Bau- und Transportprozesse.

Im Rahmen der Untersuchungen werden die Umweltindikatoren Treibhauspotenzial (GWP) und Gesamtprimärenergiebedarf betrachtet. Das Treibhauspotenzial beschreibt den Beitrag der freigesetzten Emissionen zum Treibhauseffekt. Er 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 [11]. Der Gesamtprimärenergiebedarf umfasst die Menge an Primärenergie, 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 [11].

Anhang A stellt alle Ergebnisse auch für die weiteren Wirkungskategorien des DGNB-Gütesiegels dar:

- Ozonschichtabbaupotenzial (ODP)
- Versauerungspotenzial (AP)
- Überdüngungspotenzial (EP)
- Ozonbildungspotenzial (POCP)

Tabelle 1 zeigt, welche Prozesse der Ökobau.dat 2009 [2] für die Herstellung bzw. das Lebensende (Entsorgung oder Recycling) des jeweiligen Bauprodukts verwendet werden.

Ziel der Untersuchungen ist jedoch kein reiner Baustoffvergleich, sondern vielmehr die Betrachtung der einzelnen Baustoffe im Bauwerkskontext. Hierfür wird als Untersuchungsob-

jekt eine vereinfachte Typenhalle des bauforumstahl [1] in verschiedenen Ausführungsvarianten gewählt.

An ihr sollen Prinzipien und Grundsätze der Ökobilanzierung von hallenartigen Gebäuden aufgezeigt werden. Zuerst werden Vergleiche auf Bauteilebene durchgeführt, um dann das Gesamtgebäude in seinem gesamten Lebenszyklus inklusive der Nutzungszeit zu betrachten.

Informationen zu der verwendeten Typenhalle sowie Abmessungen und Details der untersuchten Konstruktionen sind Abschnitt 3 zu entnehmen.

Nicht berücksichtigt werden die Transporte der Materialien vom Werkstor zur Baustelle bzw. von der Baustelle zur Entsorgungs-/Recyclingstätte sowie der Bauprozess, die Reinigung und die Instandhaltung. Die Umweltprofile für Herstellung und Entsorgung der Anlagentechnik werden unter der Annahme vernachlässigt, dass sie für den Vergleich verschiedener Bauweisen keine Rolle spielen.

Tabelle 1: Verwendete Prozesse der Ökobau.dat 2009 [2]

Prozess	Bezeichnung Ökobau.dat 2009	Bezugs- einheit (BE)	Primär- energie, n. reg. [MJ/BE]	Primär- energie, reg. [MJ/BE]	GWP [kg CO ₂ - Äqv./BE]
Stahlprofil					
Herstellung	4.1.3 Stahlprofil	kg	23.20	0.96	1.71
Entsorgung/Recycling	4.8 Recyclingpotenzial Stahlprofil	kg	-7.92	0.28	-0.57
Beton C25/30					
Herstellung	1.4.01 Transportbeton C25/30	m ³	1119,03	20,33	218,52
Entsorgung/Recycling	9.5 Bauschutt-Aufbereitung	kg	0,0475	-0,0016	0,0349
Beton C30/37					
Herstellung	1.4.01 Transportbeton C30/37	m ³	1200,74	21,76	237,86
Entsorgung/Recycling	9.5 Bauschutt-Aufbereitung	kg	0,0475	-0,0016	0,0349
Bewehrungsstahl					
Herstellung	4.1.2 Bewehrungsstahl	kg	12,42	0,99	0,87
Entsorgung/Recycling	---	---	---	---	---
Stahlblech, verzinkt					
Herstellung	4.1.4 Stahl Feinblech (20 µm bandverzinkt)	kg	32,39	1,32	2,36
Entsorgung/Recycling	4.8 Recyclingpotenzial Stahlblech Kaltband verzinkt	kg	-12,67	-0,06	-0,95

Prozess	Bezeichnung Ökobau.dat 2009	Bezugs- einheit (BE)	Primär- energie, n. reg. [MJ/BE]	Primär- energie, reg. [MJ/BE]	GWP [kg CO ₂ - Äqv./BE]
Brettschichtholz					
Herstellung	3.1.4 Brettschichtholz Nadelholz	m ³	5958,05	10591,99	-751,72
Entsorgung/Recycling	3.4 EOL Holzwerkstoffe in MVA	kg	-10,25	-0,11	1,18
Porenbeton					
Herstellung	1.3.03 Porenbeton P2 04	m ³	1564,81	123,91	188,57
Entsorgung/Recycling	9.5 Bauschutt-Aufbereitung	kg	0,0475	-0,0016	0,0349
PUR-Hartschaum					
Herstellung	2.04 PU-Dämmplatte (PU-Blockschaum, 15 cm)	m ²	456,64	7,39	22,11
Entsorgung/Recycling	End of Life – Polyurethan- Hartschaum (Rohrisolierung)	kg	-19,39	-1,84	0,75
Mineralwolle (Fassade)					
Herstellung	2.01 Mineralwolle (Fassaden-Dämmung)	m ³	929,94	27,32	68,78
Entsorgung/Recycling	9.5 Bauschutt-Deponierung	kg	0,1602	0,0106	0,0201
Mineralwolle (Flachdach)					
Herstellung	2.01 Mineralwolle (Flachdach-Dämmung)	m ³	2381,28	47,44	193,97
Entsorgung/Recycling	9.5 Bauschutt-Deponierung	kg	0,1602	0,0106	0,0201
XPS Extrudierter Polystyrol-Hartschaumstoff					
Herstellung	2.03 XPS-Dämmstoff; 32 kg/m ³	m ³	2891,14	25,06	93,66
Entsorgung/Recycling	9.5 Bauschutt-Deponierung	kg	0,1602	0,0106	0,0201
Dampfsperre					
Herstellung	6.6.2 Dampfbremse PE	kg	74,74	1,30	2,33
Entsorgung/Recycling	9.5 Bauschutt-Deponierung	kg	0,1602	0,0106	0,0201
PVC-Dachbahn					
Herstellung	6.3.2 PVC-Dachbahn	kg	98,52	2,21	5,89
Entsorgung/Recycling	9.5 Bauschutt-Deponierung	kg	0,1602	0,0106	0,0201
Verglasung					
Herstellung	7.2 Isolierglas 2-Scheiben	m ²	432,47	4,16	37,48
Entsorgung/Recycling	---	---	---	---	---

Prozess	Bezeichnung Ökobau.dat 2009	Bezugs- einheit (BE)	Primär- energie, n. reg. [MJ/BE]	Primär- energie, reg. [MJ/BE]	GWP [kg CO ₂ - Äqv./BE]
Fensterrahmen					
Herstellung	7.1.6 Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbe- schichtet	lfd. m	235,75	56,96	17,50
Entsorgung/Recycling	4.8 Recyclingpotenzial Aluminium (Blech und Profile)	kg	-109,09	-37,22	-8,30

Hintergrundinformationen zu den einzelnen Prozessen der Ökobau.dat 2009 nach [2]:

1.) Stahlprofil

a) Herstellung

Das Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf primären Daten der Stahlindustrie, ergänzt durch Literaturrecherchen. Die Herstellung des Stahlprofils setzt sich aus Anteilen von Primär- und Sekundärstahl zusammen. Aus der Hochofen-Route (primär) kommen ca. 72%, aus der Elektrobogenofen-Route (sekundär) etwa 28% Anteile. 52 % des Stahls für den deutschen Stahlprofilmarkt stammen aus Deutschland selbst, die restlichen 48 % werden hauptsächlich aus Belgien, Schweden, den Niederlanden und Frankreich bezogen. Weitere Importländer sind Italien, Großbritannien, Finnland, Österreich, Polen, Tschechien und die Slowakei. Die Modelle für Primär- und Sekundärroute repräsentieren jeweils länderspezifische Material- und Energieverbräuche entsprechend ihrer Anteile. Bei der Hochofen-Route wird Kohle in der Kokerei zu Koks umgewandelt. Die Sinter- bzw. Pelletanlage erzeugt ein Konglomerat aus Eisenerz und Kohlenstoff-Träger (meist Koks). Sinter, Pellets, Eisenerz sowie Koks und Kohle sind die wesentlichen Bestandteile, die im Hochofen zu Roheisen umgewandelt werden. Dieses Roheisen wird im Konverter zu Rohstahl veredelt. Die Stranggussanlage erzeugt Brammen, die das Ausgangsmaterial für die Profilerstellung sind. Bei der Elektrobogenofen-Route wird Stahl-Schrott im Elektrobogenofen eingeschmolzen und zu Rohstahl verarbeitet. Dieser wird in der Stranggussanlage zu Brammen gegossen, die das Ausgangsmaterial für die Profilerstellung sind. Die Prozesse der Herstellung der verschiedenen Stahlsorten S235, S355 und S460 wurde in dieser Studie alle durch den gleichen Datensatz „Stahlprofil“ abgebildet. Da kein unabhängiges Review vorliegt, ist der vorliegende Datensatz bereits mit einem Sicherheitszuschlag von 10% auf die Ergebnisse versehen.

b) Entsorgung/ Recycling

Der Datensatz beschreibt das Recyclingpotenzial für 1 kg Stahlprofil in der Nachnutzungsphase. Für die Lebenszyklusbetrachtung von Metallerzeugnissen ist es zwingend notwendig, den Recyclingprozess mit in die Bilanzierung einzubeziehen. Das Recyclingpotenzial stellt die

Umweltlasten dar, die durch ein vollständiges Recycling im Verhältnis zur Neuerzeugung des Materials eingespart werden können (hier die Vermeidung an primärer Stahlproduktion). Berücksichtigt wird eine Sammelquote von 99% unter Betrachtung der heutigen Technologien im Bereich Metallrecycling. Zur Herstellung von 1t Stahlprofil (Mix aus Primär- und Sekundärroute) wird ca. 430 kg Schrott/t Stahl eingesetzt, so dass ca. 560 kg für die Berechnung des Recyclingpotenzials verbleiben.

Die Prozesse des Recyclings der verschiedenen Stahlsorten S235, S355 und S460 wurden in dieser Studie alle durch den gleichen Datensatz „Stahlprofil“ abgebildet.

2.) Beton

a) Herstellung

Das vorliegende Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf Literaturrecherchen und direkten Datenerhebungen der Industrie.

b) Entsorgung/ Recycling

Da für den speziellen Recyclingprozess von Beton kein separater Datensatz vorliegt, wird der Prozess „Bauschutttaufbereitung“ gewählt. Der Datensatz beinhaltet neben den Aufwendungen der Bauschutttaufbereitung eine Energiegutschrift durch die thermische Verwertung von einzelnen Abfallfraktionen.

3.) Bewehrungsstahl

a) Herstellung

Das Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf Literaturrecherchen und direkten Datenerhebungen der Industrie. Der Datensatz repräsentiert die Stahlproduktion in Deutschland. Er basiert auf den wesentlichen Prozessen innerhalb eines Elektrostahlwerks. Hauptprozess hierbei ist das Schmelzen von Schrott in einem Elektrobogenofen (EAF) unter Energiezufuhr (Stromverbrauch). Zur Herstellung von Kohlenstoffstahl und niedrig legiertem Stahl werden die folgenden Prozessschritte durchlaufen: Rohmaterialhandhabung und Lagerung, Ofenbeschickung mit und ohne Schrottvorheizung, EAF Schrottschmelzen, Stahl- und Schlackenabstich, Pfannenofenbehandlung zur Qualitätssicherung, Ascheverwertung/Entsorgung und schließlich das Stranggießen. Output des Stranggießens sind Stahlbrammen. Diese wird anschließend weiterverarbeitet zu Stahlstäben mit Hilfe eines Ziehvorgangs. Da kein unabhängiges Review vorliegt, ist der vorliegende Datensatz bereits mit einem Sicherheitszuschlag von 10% auf die Ergebnisse versehen.

b) Entsorgung/ Recycling

Zur Herstellung von Bewehrungsstahl wird überwiegend Schrott als Rohstoff verwendet. Da sich das Recyclingpotenzial aus der Differenz des Schrottes nach der Nutzung und der eingesetzten Schrottmenge berechnet, ist für diesen Datensatz kein Recyclingpotenzial anzusetzen (Recyclingpotenzial = 0).

4.) Stahlblech, verzinkt

a) Herstellung

Das Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf Literaturrecherchen und direkten Datenerhebungen der Industrie. Der Datensatz beschreibt die Prozesskette der Stahlblechherstellung in Deutschland. In den Hochofen (Möllerzusammensetzung) werden Stückerze, Pellets, Sinterfeed und die Zuschläge geführt. Das Roheisen wird dem Blasstahlkonverter zugeführt. Anschließend finden die Sekundärmetallurgie und der Strangguss statt. Nach dem sich anschließenden Warmbandwerk wird das Stahlband in das Kaltbandwerk geführt. Das Kaltband wird der Bandverzinkung zugeführt. Bei der Bandverzinkung, auch Feuerverzinkung genannt, wird durch Eintauchen des Stahlbleches in ein geschmolzenes Zinkbad, die Zinkschicht auf das Werkstück aufgebracht. Bei diesem Prozess sind die Prozessschritte von der Sinterung bis zur Bandverzinkung nach deutschem Standard bilanziert. Da kein unabhängiges Review vorliegt, ist der vorliegende Datensatz bereits mit einem Sicherheitszuschlag von 10% auf die Ergebnisse versehen.

b) Entsorgung/ Recycling

Das Recyclingpotenzial stellt die Umweltlasten dar, die durch ein vollständiges Recycling im Verhältnis zur Neuerzeugung des Materials eingespart werden können (hier die Vermeidung an primärer Stahlproduktion). Berücksichtigt wird eine Sammelquote von 99% unter Betrachtung der heutigen Technologien im Bereich Metallrecycling. Zur Herstellung von 1t Stahlblech wird ca. 118 kg Schrott/t Stahl eingesetzt, so dass ca. 872 kg für die Berechnung des Recyclingpotentials verbleiben.

5.) Brettschichtholz

a) Herstellung

Das vorliegende Umweltprofil „EOL Holzwerkstoffe in MVA“ beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf Literaturrecherchen und direkten Datenerhebungen der Industrie. Der „Cradle to Gate“-Datensatz beinhaltet die CO₂-Aufnahme im Wald. Es muss zwingend immer ein entsprechendes „End-of-Life“-Szenario (Verbrennung, Verrottung, Deponie) für eine vollständige Ökobilanz ergänzt wer-

den. Im Falle der Verbrennung ist der Datensatz "EOL Holzwerkstoffe in MVA" als Näherung zu verwenden.

Brettschichtholz besteht aus mindestens drei verklebten Platten mit einer jeweiligen Dicke von bis zu 33 mm. Diese werden auch als Lamellen bezeichnet. Die Lamellen werden derart verklebt (PU- oder Phenolharz-basierte Klebesysteme), dass die Fasern parallel verlaufen. Die Prozessschritte für die Produktion von Brettschichtholz gliedern sich wie folgt: 1. Transport der Fichtenhölzer zum Produktionsort und Lagerung 2. Trocknung 3. Vorschneiden 4. Keilzinkung 5. Schneiden der Lamellen 6. Verklebung 7. Endbearbeitung. Da kein unabhängiges Review vorliegt, ist der vorliegende Datensatz bereits mit einem Sicherheitszuschlag von 10% auf die Ergebnisse versehen.

b) Entsorgung/ Recycling

Das vorliegende Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen und Gutschriften für den Lebenszyklusabschnitt Entsorgung. Die Müllverbrennungsanlage produziert Strom und thermische Energie. Die Gutschrift wurde mit deutschem Strom-Mix und Wärme aus Erdgas berechnet.

6.) Porenbeton

a) Herstellung

Das Umweltprofil basiert auf direkten Datenerhebungen der Porenbeton-Hersteller. Die Lebenszyklusanalyse von 1m³ Porenbeton umfasst die Lebenswegabschnitte „Cradle to Gate“, d.h. die Herstellung von Roh- und Hilfsstoffen sind ebenso berücksichtigt wie die Porenbeton-Produktion inkl. Werksbetrieb und Verpackung (Holzpaletten, PE-Folie) sowie der Verwertung der Verpackung. Als Rohstoffe dienen vorrangig Sand, Kalk und Zement. Da kein unabhängiges Review vorliegt, ist der vorliegende Datensatz bereits mit einem Sicherheitszuschlag von 10% auf die Ergebnisse versehen.

b) Entsorgung/ Recycling

Da für den speziellen Recyclingprozess von Porenbeton kein separater Datensatz vorliegt, wird der Prozess „Bauschuttzubereitung“ gewählt (siehe Entsorgung/Recycling von Beton).

7.) PUR-Hartschaum

a) Herstellung

Das Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf Literaturdaten und direkten Datenerhebungen der Industrie. Der Datensatz beschreibt unkaschierte Polyurethan-Dämmplatten mit einer Rohdichte von ca. 30 kg/m³ zur Dämmung der Gebäudehülle. Polyurethan-Hartschaum entsteht durch chemische Reaktion flüssiger Grundstoffe unter Zusatz von Treibmitteln. Da kein unabhängi-

ges Review vorliegt, ist der vorliegende Datensatz bereits mit einem Sicherheitszuschlag von 10% auf die Ergebnisse versehen.

b) Entsorgung/ Recycling

Da für den speziellen Entsorgungsprozess von PUR-Hartschaum-Dämmplatten kein separater Datensatz vorliegt, wird der Prozess „End of Life – Polyurethan Hartschaum (Rohrisolierung)“ gewählt. Für die Müllverbrennung wurde ein MVA-Modell mit durchschnittlichen europäischen Emissionswerten und Energieproduktion verwendet. In Abhängigkeit des zu verbrennenden Kunststoffes wurden unterschiedliche Prozesse mit den entsprechenden Elementarzusammensetzungen verwendet. Der aus der Kunststoffverbrennung erzeugte Strom sowie die erzeugte thermische Energie wurden mit dem europäischen Strom- bzw. Wärme-Mix gutgeschrieben.

8.) Mineralwolle (Fassade, Flachdach und Boden)

a) Herstellung

Das Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf direkten Datenerhebungen der Industrie. Als Mineralwolle werden Dämmstoffe aus Steinwolle- und Glaswollefasern bezeichnet. Steinwolle besteht aus Sedimentgestein oder magmatischem Gestein, vorwiegend Basalt und verschiedenen Sekundärrohstoffen. Das Material wird in Kupolschmelzöfen bei Temperaturen zwischen 1.400 und 1.500°C geschmolzen und anschließend über schnell rotierende Walzen geführt. Bindemittel wird hinzugefügt, das flüssige Gestein wird zu Fasern versponnen und imprägniert. Das Bindemittel härtet anschließend in kontinuierlich betriebenen Tunnelöfen. Für die Glaswolleherstellung wird pures Primärglas in einer Schmelzwanne bei etwa 1400°C geschmolzen. Für diesen Prozess wird Strom benötigt. Das geschmolzene Flüssigglass wird in einer Rotationstrommel geschleudert, durch einen gelochten Sekundärcontainer. In einem Heißluftstrom verdampft das Wasser und die Fasern verfestigen sich. Die Rohfasern werden über Laufbänder durch einen Tunnelofen geführt. Das Bindemittel härtet bei etwa 200°C. Die Dämmung wird nach Bedarfsgröße zugeschnitten und verpackt. Systemgrenze bildet das fertige Produkt am Werkstor. Für verschiedene Anwendungen wurden typische Zusammensetzungen und Dichten modelliert. Demnach erfolgt eine Unterscheidung in die folgenden Anwendungsbereiche: Flachdach, Fassade und Boden.

b) Entsorgung/ Recycling

Da für den speziellen Entsorgungsprozess von Mineralwolle kein separater Datensatz vorliegt, wird der Prozess „Bauschuttdeponierung“ gewählt. Der Datensatz schließt den anteiligen Betrieb sowie die anteiligen Auswirkungen der Deponie über 100 Jahre ein. Der Datensatz umfasst die Ablagerung von 1 kg Bauschutt auf einer dafür vorgesehenen Deponie. Der

anteilige Betrieb und die anteiligen Auswirkungen der Deponie über einen Zeitraum von 100 Jahren sind berücksichtigt.

9.) Dampfsperre

a) Herstellung

Das Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf Literaturrecherchen und direkten Datenerhebungen der Industrie.

b) Entsorgung/ Recycling

Da für den speziellen Entsorgungsprozess von Dampfsperre kein separater Datensatz vorliegt, wird der Prozess „Bauschuttdeponierung“ gewählt (siehe Entsorgung/Recycling Mineralwolle).

10.) PVC-Dachbahn

a) Herstellung

Das Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf Literaturrecherchen und direkten Datenerhebungen der Industrie. Da kein unabhängiges Review vorliegt, ist der vorliegende Datensatz bereits mit einem Sicherheitszuschlag von 10% auf die Ergebnisse versehen.

b) Entsorgung/ Recycling

Da für den speziellen Entsorgungsprozess von PVC-Dachbahnen kein separater Datensatz vorliegt, wird der Prozess „Bauschuttdeponierung“ gewählt (siehe Entsorgung/Recycling Mineralwolle).

11.) Verglasung

Das Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf Literaturrecherchen und direkten Datenerhebungen der Industrie. Die Lebenszyklusanalyse umfasst die Herstellung von 1 m² Isolierglas-2-Scheiben. Darin enthalten ist die Herstellung von Fensterglas, dessen Beschichtung sowie die Herstellung des Isolierglasverbundes inklusive Füllgas. Da kein unabhängiges Review vorliegt, ist der vorliegende Datensatz bereits mit einem Sicherheitszuschlag von 10% auf die Ergebnisse versehen.

b) Entsorgung/ Recycling

Da für den speziellen Recyclingprozess von Isolerglas kein separater Datensatz vorliegt, wird kein Prozess für das Lebensende des Bauprodukts gewählt.

12.) Fensterrahmen

a) Herstellung

Das Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf Literaturrecherchen und direkten Datenerhebungen der Industrie. Die Lebenszyklusanalyse von thermisch getrenntem Aluminium-Rahmen umfasst im wesentlichen die Herstellung eines Aluminiumextrusionsprofils sowie dessen Vorbehandlung, die Pulverbeschichtung (Gelbchromatierung) sowie die Einbindung eines Polyamidisolierstegs, bezogen auf die Herstellung eines Meters eines Aluminiumrahmens. Da kein unabhängiges Review vorliegt, ist der vorliegende Datensatz bereits mit einem Sicherheitszuschlag von 10% auf die Ergebnisse versehen.

b) Entsorgung/ Recycling

Das Recyclingpotenzial stellt die Umweltlasten dar, die durch ein vollständiges Recycling im Verhältnis zur Neuerzeugung des Materials eingespart werden können (hier die Vermeidung an primärer Aluminiumproduktion). Es wird von einer Sammelquote von 98% und der heutigen Technologien im Bereich Metallrecycling ausgegangen.

3 Typenhalle

3.1 Allgemeines

Die Typenhallen des bauforumstahl bieten die Möglichkeit, kleine und mittelgroße Stahlhallen mit typengeprüfter Statik sowie vorhandenen Werkstatt- und Montageplänen zu realisieren. Die konstruktive Durchbildung basiert auf einer Optimierung hinsichtlich Stahleinsatz und Aufwand für Fertigung und Montage. Basis für die Tragwerksgestaltung sind Zweigelenrahmen bzw. eingespannte Stützen mit gelenkig angeschlossenen Bindern. Die Typenstatik ist für Einzelfundamente ohne Ausnutzung von Tragreserven durch Anbindung einer möglichen Bodenplatte gerechnet, so dass die Ausbildung des unteren Gebäudeabschlusses frei gewählt werden kann [1]. Die Typenhallen sind für unterschiedliche Nutzungen geeignet und können wärmedämmend (z. B. Produktionshalle) oder ungedämmt (z. B. unbeheizte Lagerhalle) realisiert werden. Dabei sind die Anforderungen der Energieeinsparverordnung 2009 [12] an den Primärenergiebedarf für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung sowie an die energetische Qualität der Gebäudehülle einzuhalten.

3.2 Abmessungen

Die Abmessungen der ausgewählten Typenhalle des bauforumstahl [1] wurden für die Untersuchungen folgendermaßen festgelegt (Abbildung 2):

- Breite: 15 m ; Länge: 60 m ; Traufhöhe: 5 m
- Dachneigung: 5°
- Binderabstand: 6 m
- Schneelast: 75 kg/m²

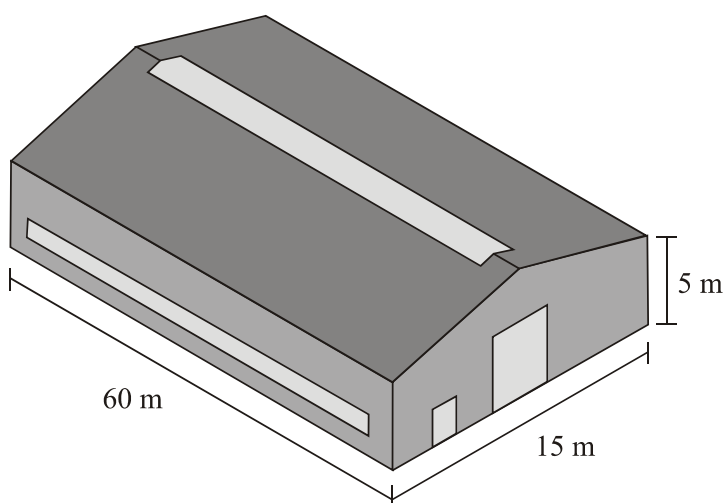


Abbildung 2: Typenhalle mit gewählten Abmessungen

Ein Fensterband (1 m x 50 m) befindet sich jeweils auf der West- bzw. Ostfassade, die Nord- bzw. Südseite ist jeweils mit einem Tor (4 m x 4 m) und einer Tür (2 m x 1 m) ausgestattet. Das im Dach befindliche Lichtband hat die Maße 2 m x 50 m.

3.3 Bauteile

Im Folgenden wird erläutert, welche Bauteile der Typenhalle in welchen Variationen im Rahmen der Untersuchungen berücksichtigt werden.

I) Tragwerk und zugehörige Fundamente

Das Tragwerk wird grundsätzlich zusammen mit seinen zugehörigen Fundamenten betrachtet, da diese je nach statischem System des Tragwerks stark variieren. Folgende acht Varianten werden ausgebildet:

1. Stahl-Tragwerk, S235; Zweigelenkrahmen; Blockfundamente
2. Stahl-Tragwerk, S355; Zweigelenkrahmen; Blockfundamente
3. Stahl-Tragwerk, S460; Zweigelenkrahmen; Blockfundamente
4. Stahl-Tragwerk, S235; eingespannte Stützen mit gelenkig angeschlossenen Bindern; Köcherfundamente
5. Stahl-Tragwerk, S355; eingespannte Stützen mit gelenkig angeschlossenen Bindern; Köcherfundamente
6. Stahl-Tragwerk, S460; eingespannte Stützen mit gelenkig angeschlossenen Bindern; Köcherfundamente
7. Stahlbeton-Tragwerk: eingespannte Stützen und Binder aus Stahlbeton; Köcherfundamente
8. Stahlbeton-Holz-Tragwerk: eingespannte Stahlbeton-Stützen mit Brettschichtholz-Bindern; Köcherfundamente

Bei der Massenermittlung der Tragwerke und der Fundamente werden 22 Stützen mit Einzelfundamenten sowie 11 Binder (Hallenlänge: 60 m, Binderabstand: 6 m) berücksichtigt. Alle zusätzlichen Bauteile, die zur Erstellung dieser Tragwerke notwendig sind (z.B. Schrauben, Zugstangen, Anschlussbewehrung, etc.), werden nicht betrachtet.

Tabelle 2 zeigt die gewählten Querschnitte der verwendeten Stützen und Binder für das jeweilige Stahl-Tragwerk. Tabelle 3 zeigt die ermittelten Baustoffmassen für die verschiedenen Tragwerke mit ihren zugehörigen Fundamenten.

Tabelle 2: Gewählte Querschnitte der verschiedenen Ausführungen des Stahl-Tragwerks nach [1]

System	Tragwerk	
	Stützen	Binder
Stahl S235, Zweigelenkrahmen, Blockfundamente	IPE 400	IPE 450
Stahl S355, Zweigelenkrahmen, Blockfundamente	IPE400	IPE 360
Stahl S460, Zweigelenkrahmen, Blockfundamente	IPE 400	IPE 330
Stahl S235, eingespannte Stützen, Köcherfundamente	HEA 200	IPE 500
Stahl S355, eingespannte Stützen, Köcherfundamente	HEA 180	IPE 400
Stahl S460, eingespannte Stützen, Köcherfundamente	HEA 180	IPE 360

Tabelle 3: Ermittelte Baustoffmassen für Tragwerke und Fundamente nach [1]

System	Tragwerk				Fundamente	
	Stahl	Beton	Bewehrungsstahl	Holz	Beton	Bewehrungsstahl
Stahl S235, Zweigelenkrahmen, Blockfundamente	20,1 t	---	---	---	40,9 t	0,38 t
Stahl S355, Zweigelenkrahmen, Blockfundamente	16,7 t	---	---	---	46,8 t	0,39 t
Stahl S460, Zweigelenkrahmen, Blockfundamente	15,4 t	---	---	---	49,9 t	0,42 t
Stahl S235, eingespannte Stützen, Köcherfundamente	19,6 t	---	---	---	93,1 t	1,94 t
Stahl S355, eingespannte Stützen, Köcherfundamente	14,8 t	---	---	---	97,8 t	2,02 t
Stahl S460, eingespannte Stützen, Köcherfundamente	13,3 t	---	---	---	99,4 t	2,07 t
Stahlbeton, eingespannte Stützen, Köcherfundamente	---	104,1 t	7,2 t	---	95,2 t	1,94 t
Stahlbeton-Holz, eingespannte Stützen, Köcherfundamente	---	41,6 t	1,9 t	10,2 t	89,0 t	2,00 t

II) Gebäudehülle

Die Gebäudehülle der Typenhalle besteht aus der Bodenplatte, der Außenwand, dem Dach sowie zwei Fensterbändern, einem Lichtband, zwei Türen und zwei Toren. Die verschiedenen Ausführungsvarianten der Gebäudehülle werden im Folgenden erläutert.

a) Bodenplatte

Die Bodenplatte besteht aus Stahlbeton ($d = 200 \text{ mm}$) und wird in den Varianten

1. BP 1: ungedämmt; $U\text{-Wert} = 0,44 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
2. BP 2: gedämmt mit XPS-Dämmstoff ($\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$); $d = 60 \text{ mm}$; $U\text{-Wert} = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ und

ausgeführt.

b) Außenwandkonstruktionen

Für die Außenwände werden insgesamt fünf verschiedene Konstruktionen gewählt:

1. AW 1: Trapezblech; $d = 0,88 \text{ mm}$; $U\text{-Wert} = 5,88 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
2. AW 2: Porenbeton; $d = 300 \text{ mm}$; $U\text{-Wert} = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
3. AW 3: Kassettenwand mit Mineralwolle-Dämmung; $d = 145 \text{ mm} + 40 \text{ mm}$ vorgehängte Dämmschicht; $U\text{-Wert} = 0,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
4. AW 4: Stahl-PUR-Sandwich-Elemente; $d = 80 \text{ mm}$; $U\text{-Wert} = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
5. AW 5: Stahl-PUR-Sandwich-Elemente; $d = 200 \text{ mm}$; $U\text{-Wert} = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

c) Dachkonstruktionen

Die Untersuchungen werden für die folgenden Variationen der Dachkonstruktion durchgeführt:

1. DK 1: Trapezblech; $d = 0,88 \text{ mm}$; $U\text{-Wert} = 7,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
2. DK 2: Stahl-PUR-Sandwich-Elemente; $d = 80 \text{ mm}$; $U\text{-Wert} = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
3. DK 3: Stahl-PUR-Sandwich-Elemente; $d = 200 \text{ mm}$; $U\text{-Wert} = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
4. DK 4: Foliendach A; $U\text{-Wert} = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; Aufbau:
 - Trapezblech; $d = 0,88 \text{ mm}$
 - Dampfbremse; $d = 0,2 \text{ mm}$
 - Mineralwolle; $d = 140 \text{ mm}$
 - PVC-Dachbahn; $d = 1,5 \text{ mm}$
5. DK 5: Foliendach B; $U\text{-Wert} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; Aufbau:
 - Trapezblech; $d = 0,88 \text{ mm}$

- Dampfbremse; $d = 0,2$ mm
- Mineralwolle; $d = 320$ mm
- PVC-Dachbahn; $d = 1,5$ mm

d) Fenster, Türen und Tore

Sowohl die Fenster und das Lichtband im Dach als auch die Türen und Tore bestehen aus Zweischeiben-Isolierglas und sind mit Aluminium-Rahmenprofilen ausgestattet. Die Konstruktionen werden so ausgeführt, dass sich folgende U-Werte für die Öffnungsbauteile ergeben:

1. Fenster: $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
2. Lichtband im Dach: $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
3. Türen: $4,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
4. Tore: $2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Im Rahmen der Untersuchungen erfolgt keine Variation der Eigenschaften der Öffnungsbauteile. In den Diagrammen zu den Umweltauswirkungen dieser vier Öffnungsbauteile werden die Ergebnisse unter dem Begriff „Fenster“ zusammengefasst.

III) Gesamthallen

Aus den bereits vorgestellten Konstruktionen für das Tragwerk und die Fundamente sowie für die Gebäudehülle werden nun fünf verschiedene Gebäudevarianten (Tabelle 4) gebildet.

Halle A stellt den unbeheizten Fall dar, mit den Hallen B1 bis B3 sind die Anforderungen der EnEV 2009 [12] zu erfüllen, Halle C ist so konzipiert, dass auch weiter steigende Anforderungen an die Energieeffizienz (z. B. geplante EnEV 2012) eingehalten werden können.

Die Umweltbelastungen aus dem Betrieb der Hallen werden in Heizen und Beleuchtung unterteilt. Hierfür wird der entsprechende Endenergiebedarf nach DIN V 18599 [13] mit dem Nutzungsprofil „Lager, Technik, Archiv“ ermittelt (Tabelle 5) und dann mit Hilfe der Prozesse „Nutzung – Gas, Niedertemperatur, 120 – 400 kW“ bzw. „Nutzung – Beleuchtung“ der Öko-bau.dat 2010 [2] auf die Wirkungskategorien umgerechnet.

Als Tragwerk wird jeweils der Zweigelenkrahmen aus Stahl der Sorte S235 mit zugehörigen Fundamenten gewählt. Die Bodenplatte wird bei der unbeheizten Halle ohne Wärmedämmung ausgeführt, bei allen anderen Varianten wird außenseitig eine vollflächige Wärmedämmung mit 6 cm Dicke verwendet. Als Gebäudehülle werden alle fünf Außenwandvarianten verwendet, denen jeweils die wärmedämmtechnisch entsprechende Dachkonstruktion zugeordnet wird.

Tabelle 4: Typenhalle in verschiedenen Ausführungen; U-Werte in W/(m²·K)

	Halle A	Halle B1	Halle B2	Halle B3	Halle C
Tragwerk	Stahl, S235,2-Gelenk-Rahmen	Stahl, S235, 2-Gelenk-Rahmen	Stahl, S235, 2-Gelenk-Rahmen	Stahl, S235, 2-Gelenk-Rahmen	Stahl, S235, 2-Gelenk-Rahmen
Fundamente	Block-fundamente	Block-fundamente	Block-fundamente	Block-fundamente	Block-fundamente
Bodenplatte	ungedämmt, 0,44	gedämmt, 0,24	gedämmt, 0,24	gedämmt, 0,24	gedämmt, 0,24
Außenwände	Trapezblech, kalt, 5,88	Stahl-PUR-Sandwich-Elemente, 80 mm, 0,33	Porenbeton, 300 mm, 0,31	Kassettenwand, 145+40 mm, 0,29	Stahl-PUR-Sandwich-Elemente, 200 mm, 0,13
Dach	Trapezblech, kalt, 7,14	Foliendach, 140 mm MW, 0,28	Foliendach, 140 mm MW, 0,28	Foliendach, 140 mm MW, 0,28	Foliendach, 320 mm MW, 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

Tabelle 5: Transmissionswärmetransfer und Jahresgesamtenergiebedarf für zwei Ausführungsvarianten der Typenhalle

	Halle B1	Halle C
Transmissionswärmetransferkoeffizient H_T in W/K	1198	947
Jahres-Gesamtenergiebedarf Nutzung Lager/Technik/Archiv in kWh/a	111993	90194

4 Ergebnisse

4.1 Variation des Tragwerks und der zugehörigen Fundamente

Zuerst werden die verschiedenen Variationen des Tragwerks inklusive der zugehörigen Fundamente hinsichtlich ihrer Umweltleistung miteinander verglichen.

Die Abbildungen 4.1 – 4.3 zeigen die Ergebnisse des Ökobilanz-Vergleichs zur Herstellung und Entsorgung der acht untersuchten Tragsysteme inklusive der zugehörigen Fundamente. Sie verdeutlichen den Gesamtprimärenergiebedarf bzw. das Treibhauspotenzial der Tragwerksvariationen auf unterschiedliche Weise.

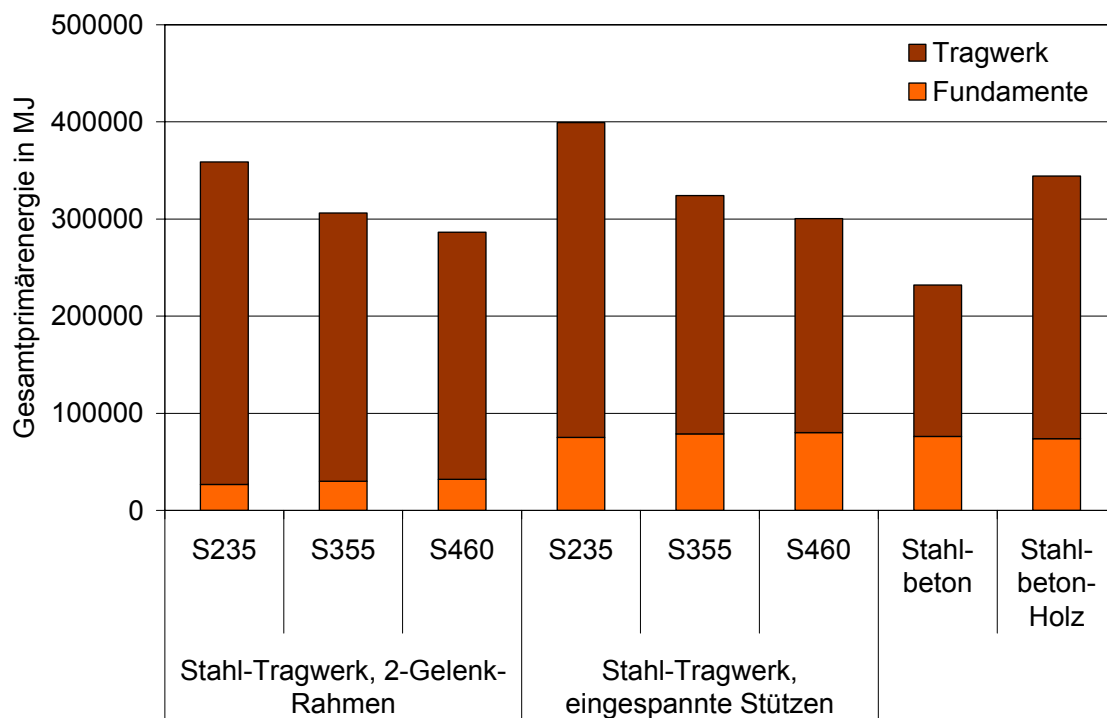


Abbildung 3: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a

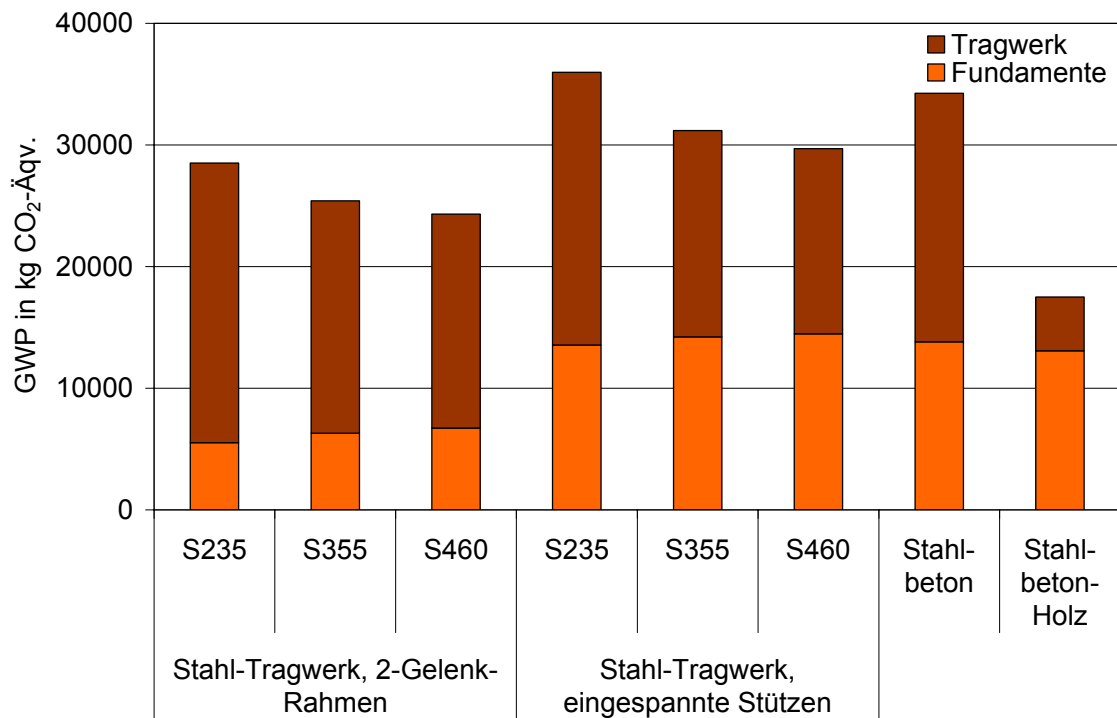


Abbildung 4: Treibhauspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a

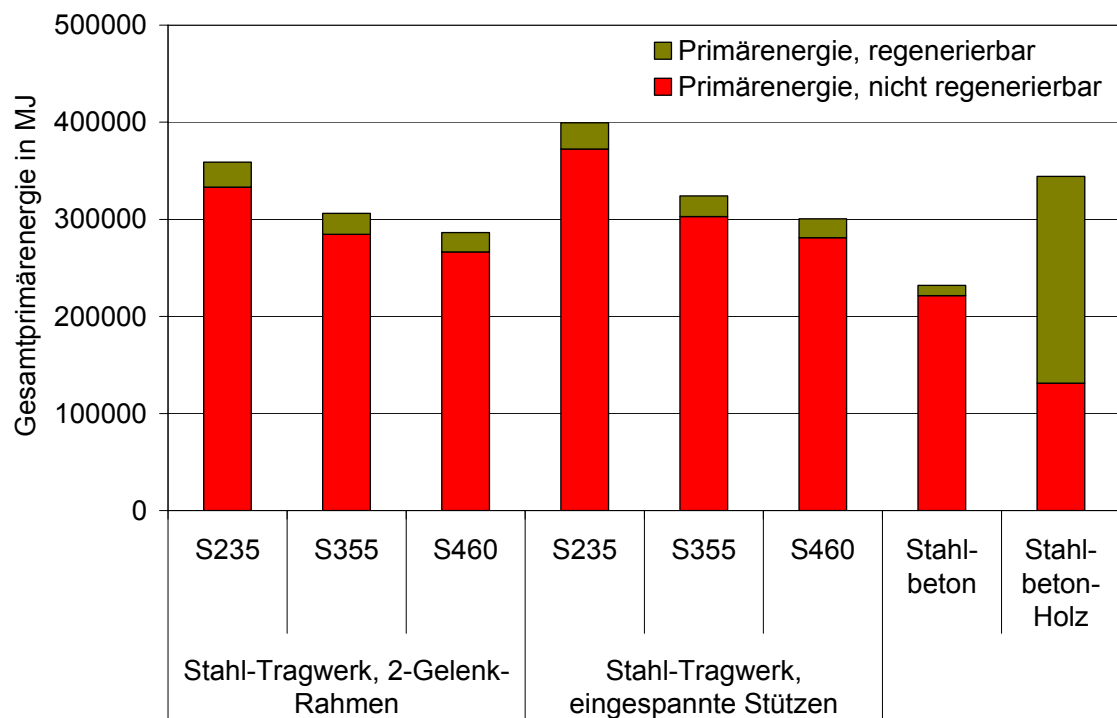


Abbildung 5: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante c

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Unterschiede zwischen den jeweiligen Stahl-Tragwerken bestehend aus den Sorten S235, S355 und S460 ausschließlich auf die verschiedenen Massen der Tragwerke (Tabelle 3) zurückzuführen sind. Das Umweltprofil aller drei Stahlsorten ist gemäß Ökobau.dat 2010 [2] identisch.

Das Stahl-Tragwerk mit dem statischen System eines Zweigelenkrahmens steht auf Blockfundamenten, das Stahl-Tragwerk mit eingespannten Stützen, das Stahlbeton-Tragwerk und das Stahlbeton-Holz-Tragwerk auf Köcherfundamenten. Die Differenz zwischen den Umweltleistungen der verschiedenen Fundamente ist darauf zurückzuführen, dass die Köcherfundamente sowohl ein größeres Betonvolumen als auch einen höheren Bewehrungsgrad aufweisen als die Blockfundamente, siehe Tabelle 3.

Abbildung 5 stellt den Unterschied zwischen regenerierbarer und nicht regenerierbarer Primärenergie dar. Auffällig ist hier der große Anteil der regenerierbaren Primärenergie beim Stahlbeton-Holz-Tragwerk, der auf die gespeicherte Sonnenenergie im Holz zurückzuführen ist. Abbildung 6 zeigt, welchen Effekt die unterschiedlichen End-of-Life-Szenarien der Baustoffe haben können. Während sich das mögliche Recycling von Stahl positiv auswirkt, wird bei der Verbrennung von Holzwerkstoffen das im Material gespeicherte CO₂ wieder frei.



Abbildung 6: Treibhauspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b

4.2 Variation der Gebäudehülle

Im nächsten Schritt werden die Umweltauswirkungen der verschiedenen Teile der Gebäudehülle berechnet.

Die Abbildungen 4.5 und 4.6 zeigen den Gesamtprimärenergiebedarf bzw. das Treibhauspotenzial zur Herstellung und Entsorgung der unterschiedlichen Konstruktionen.

Beim Vergleich der Ergebnisse ist der unterschiedliche Wärmedurchgangskoeffizient der Konstruktionen zu beachten. Beispielsweise führt eine vollflächige außenseitige Wärmedämmung der Bodenplatte zu einer 35 %igen Erhöhung des Gesamtprimärenergiebedarfs für Herstellung und Entsorgung im Vergleich zu einer ungedämmten Bodenplatte. Allerdings verringert sich der Wärmedurchgangskoeffizient um 45 % von $U = 0,44 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ auf $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Dies führt bei der Betrachtung im Gebäudekontext zu einem geringeren Energiebedarf zur Konditionierung des Gebäudes in der Nutzungsphase.

Die auffällig hohen Werte für die Foliendach-Konstruktionen sind vornehmlich auf die hohe Umweltbelastung der Flachdach-Dämmung [2] zurückzuführen. Die Ergebnisse für die Sandwich-Konstruktionen (Dach und Außenwand) zeigen, dass zur Erreichung eines bestimmten Wärmedämmniveaus im Vergleich zu den anderen Konstruktionen weniger Umweltbelastungen bei der Herstellung und Entsorgung entstehen. Dabei ist aber zu beachten, dass im Rahmen der Untersuchungen nur die Herstellungs- und Entsorgungs- bzw. Recyclingprozesse der einzelnen Komponenten „Stahlblech, verzinkt“ und „PUR-Hartschaum“ betrachtet werden. Sowohl der Produktionsprozess als auch das „End of Life“-Szenario eines Stahl-PUR-Sandwich-Elementes sind in der Ökobau.dat noch nicht verfügbar. Ebenso fehlen in der Ökobau.dat 2010 [2] zum Beispiel Daten für Lichtbänder und Tore. In Zukunft sollten für diese Produkte bzw. Konstruktionen Datensätze für die Ökobau.dat und/oder EPDs erstellt werden.

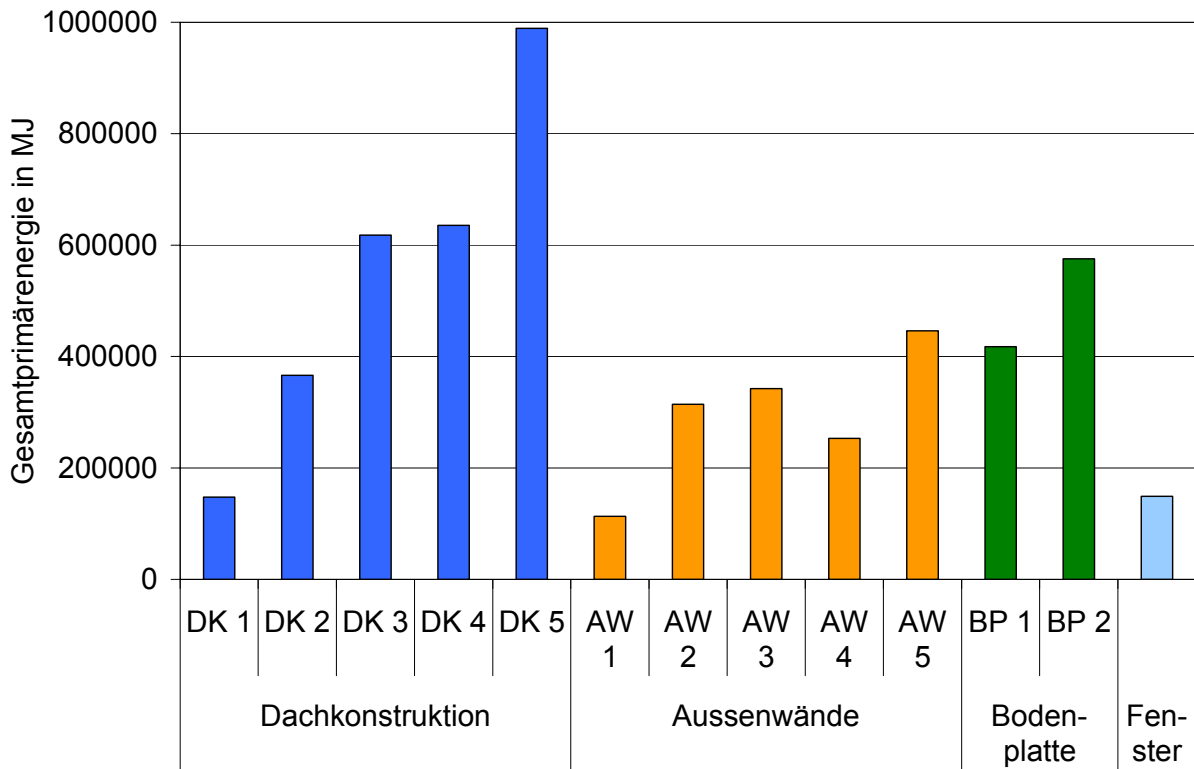


Abbildung 7: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle

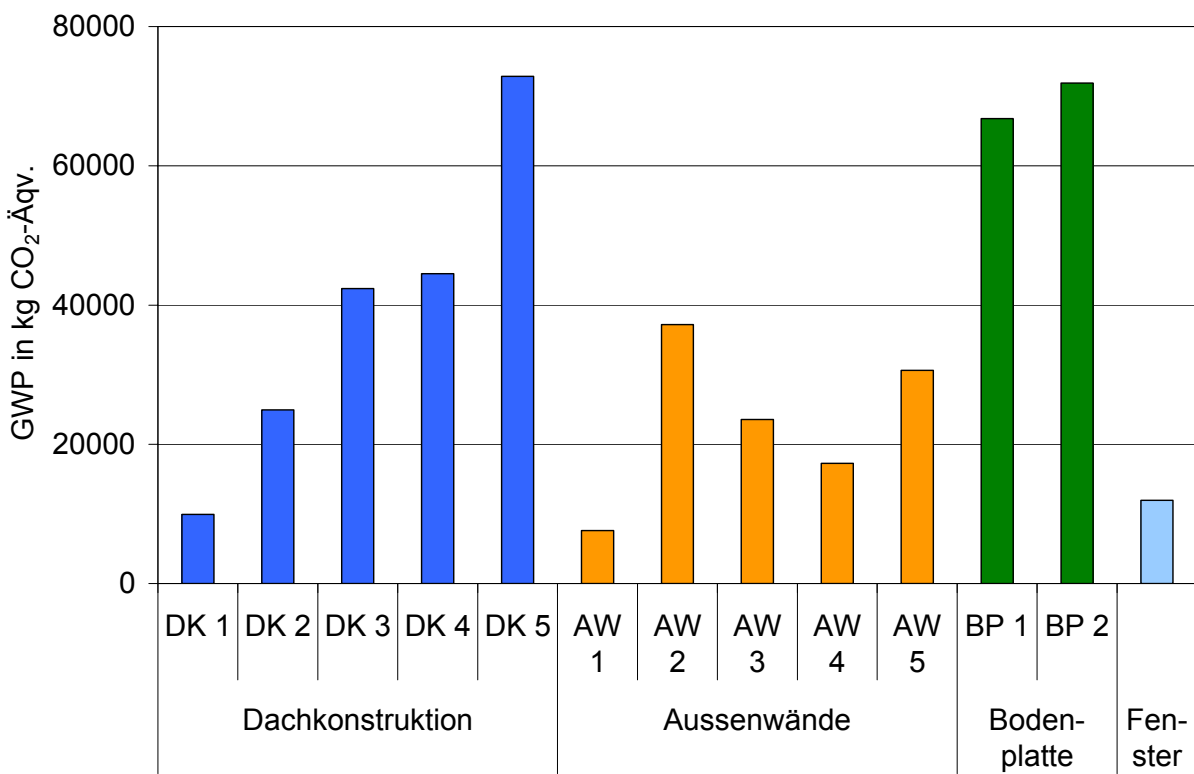


Abbildung 8: Treibhauspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle

4.3 Gesamthalle

Abbildung 9 zeigt den Gesamtprimärenergiebedarf zur Herstellung und Entsorgung der fünf verschiedenen Varianten der Typenhalle.

Dabei wird deutlich, dass für die Varianten mit ähnlichen wärmetechnischen Eigenschaften der Gebäudehülle (Hallen B1-B3) in etwa der gleiche Gesamtenergiebedarf für die Herstellung und Entsorgung der gesamten Konstruktion benötigt wird. Die „kalte“ Trapezblech-Halle liegt etwa 40 % darunter, die deutlich besser wärmegeämmte Halle C ca. 25 % darüber.

Um die Umweltauswirkungen der Konstruktion in Bezug zur Nutzungsphase zu setzen, werden die Hallen B1 und C ausgewählt.

Die Abbildungen 4.8 und 4.9 zeigen den Zusammenhang zwischen der benötigten Gesamtprimärenergie für die Herstellung und Entsorgung sowie für die Konditionierung der beiden Hallenvarianten. Die Dauer der angenommenen Nutzung als normal beheizte Lagerhalle beträgt entsprechend dem DGNB-Standard für Industriebauten 20 Jahre.

Abbildung 10 zeigt, dass für Halle B1, die dem Anforderungsniveau der EnEV 2009 entspricht, bereits nach 4 Jahren die gleiche Menge an Energie für die Nutzung benötigt wird wie für Herstellung und Entsorgung der gesamten Konstruktion. Nach 20 Jahren Betrachtungszeitraum beträgt der Anteil für die Konditionierung des Gebäudes 83 % und der Anteil für die Konstruktion 17 % am Gesamtprimärenergiebedarf. Bei der deutlich energieeffizienteren Variante C verschiebt sich das Verhältnis auf 76 % zu 24 %.

In Abbildung 11 ist zu sehen, dass sich bereits für eine Nutzungsdauer von ca. 6 Jahren die Investition in eine besser wärmegeämmte Halle aus energetischer Sicht lohnen würde.

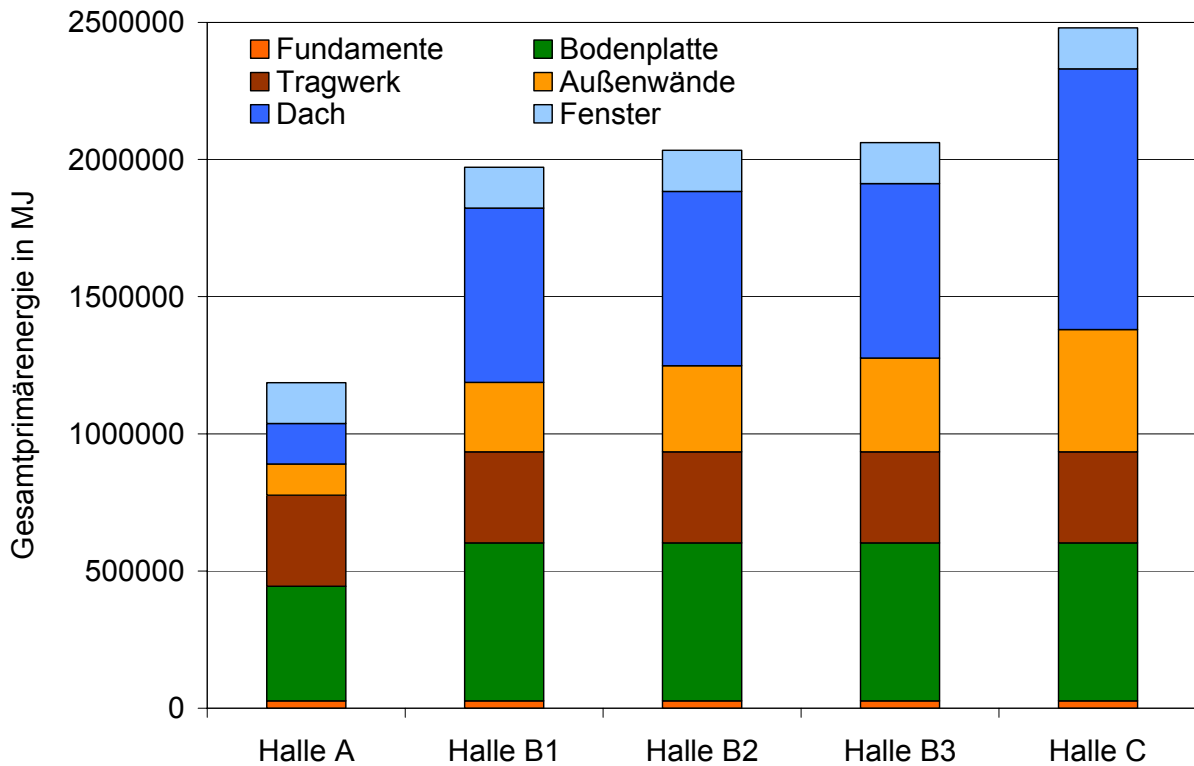


Abbildung 9: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der Typenhallenkonstruktion in verschiedenen Ausführungen

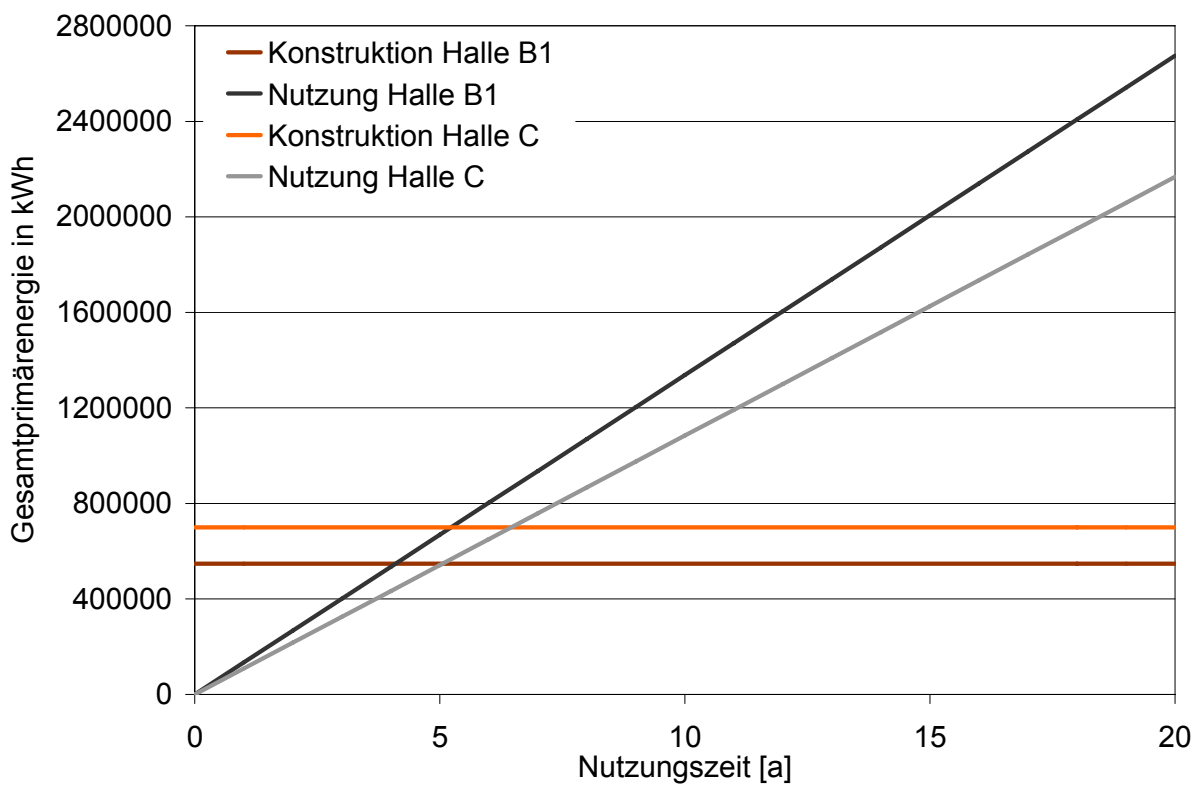


Abbildung 10: Gesamtprimärenergiebedarf für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung

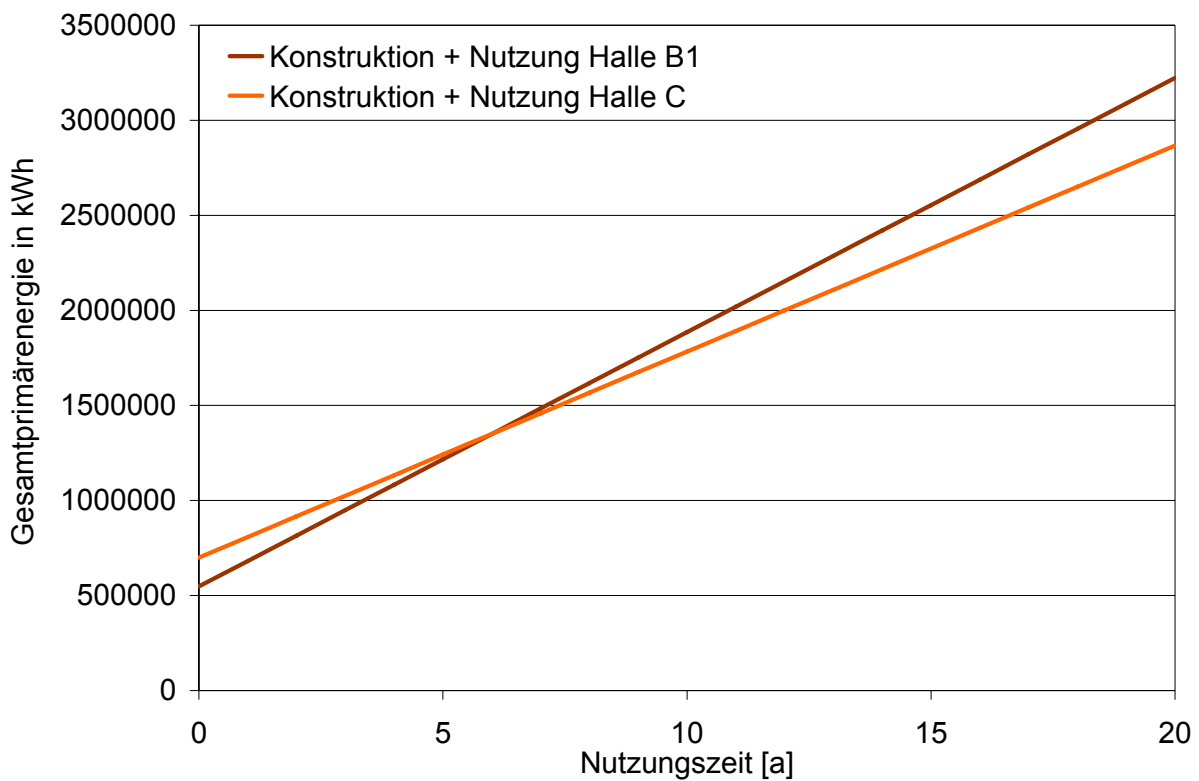


Abbildung 11: Gesamtprimärenergiebedarf für eine Nutzungszeit von 20 Jahren

Als Schlussfolgerung aus den Untersuchungen für die Gesamthalle lässt sich ableiten, dass der Gesamtprimärenergiebedarf für die Nutzungsphase auch bei verschärften energetischen Anforderungen und einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren die dominierende Größe darstellt. Dabei ist zu beachten, dass bei der Bestimmung der Umweltauswirkungen für die Herstellung und Entsorgung der Konstruktion nur die masserelevanten Bauteile (Gebäudehülle und Tragkonstruktion) in die Betrachtung eingeflossen sind. Diese vereinfachte Betrachtungsweise und ihre Auswirkungen auf die Ökobilanzierung von hallenartigen Gebäuden sollte im Rahmen von zukünftigen Untersuchungen überprüft werden.

5 Zusammenfassung und Fazit

Die Ökobilanzierung ist durch die Einführung des „Deutschen Gütesiegels Nachhaltiges Bauen (DGNB)“ zu einem festen Bestandteil der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden geworden. Um Erkenntnisse über die Umweltauswirkungen verschiedener Bauweisen für Tragwerk und Gebäudehülle im Industrie- und Gewerbebau zu erlangen, werden Untersuchungen an einer vereinfachten Typenhalle des bauforumstahl [1] in verschiedenen Ausführungsvarianten durchgeführt. Dabei werden unterschiedliche Tragwerksvarianten und Ausführungen der Gebäudehülle betrachtet. Als Datenbasis für die Untersuchungen wird die Ökobau.dat 2010 [2] verwendet. Im Bereich von Dach und Außenwand werden die Umweltwirkungen von verschiedenen Konstruktionsarten mit nahezu gleichem Wärmedurchgang miteinander verglichen.

Bei den Untersuchungen auf Bauwerksebene wird deutlich, dass für die untersuchten Hallenvarianten mit ähnlichen wärmetechnischen Eigenschaften der Gebäudehülle etwa der gleiche Gesamtenergiebedarf für die Herstellung und Entsorgung der gesamten Konstruktion (Tragkonstruktion und Gebäudehülle) unabhängig von der Konstruktionsart benötigt wird. Beim Zusammenhang zwischen der benötigten Gesamtprimärenergie für die Herstellung und Entsorgung sowie für die Konditionierung der untersuchten Hallenvarianten lässt sich feststellen, dass der Gesamtprimärenergiebedarf für die Nutzungsphase auch bei verschärften energetischen Anforderungen und einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren die dominierende Größe darstellt. Zukünftig gilt es, die Datenbasis für Umweltleistungen von Bauprodukten weiter auszubauen. Zum Einen müssen Daten für noch mehr Bauprodukte erfasst werden (z.B. durch die Verbreitung von EPDs), zum Anderen müssen für die vorhandenen Herstellungsprozesse entsprechende Informationen zum Einbau ins Gebäude, zur Instandhaltung und Reinigung sowie zum End-of-Life bereitgestellt werden.

Quellenverzeichnis

- [1] Kocker, R. und Möller, R.: Typenhallen aus Stahl, >>bauforumstahl e.V., Düsseldorf, 2009
- [2] Ökobau.dat: Ökobilanz-Datengrundlage für das Gütesiegel Nachhaltiges Bauen, www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html, 2010
- [3] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 14040; Umweltmanagement - Ökobilanz - Prinzipien und allgemeine Anforderungen; Berlin, Oktober 2006
- [4] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 14041; Umweltmanagement - Ökobilanz - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz; Berlin, November 1998
- [5] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 14042; Umweltmanagement - Ökobilanz - Wirkungsabschätzung; Berlin, Juli 2000
- [6] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 14043; Umweltmanagement - Ökobilanz - Auswertung; Berlin, Juli 2000
- [7] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 14044; Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen; Berlin, Oktober 2006
- [8] Kümmel, J.: Ökobilanzierung von Baustoffen am Beispiel des Recyclings von Konstruktionsleichtbeton; Stuttgart, 2000
- [9] Quack, D.: Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden – eine Ökobilanz; Freiburg, 2001
- [10] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 15804; Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltdeklarationen für Produkte – Regeln für Produktkategorien, Entwurf; Berlin, April 2008
- [11] PE International: Methodische Grundlagen – Ökobilanzbasierte Umweltindikatoren im Bauwesen
- [12] Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 30.04.2009, BGBl. I, S. 954, 2009
- [13] DIN V 18599: 2007-02, Teil 1 bis 10, „Energetische Bewertung von Gebäuden“, Beuth Verlag GmbH, Berlin

Abbildungsverzeichnis

Abbildung A 1: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a.....	32
Abbildung A 2: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b.....	32
Abbildung A 3: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante c.....	33
Abbildung A 4: Treibhauspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a	34
Abbildung A 5: Treibhauspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b	34
Abbildung A 6: Ozonschichtabbaupotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a.....	35
Abbildung A 7: Ozonschichtabbaupotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b.....	35
Abbildung A 8: Versauerungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a	36
Abbildung A 9: Versauerungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b	36
Abbildung A 10: Überdüngungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a	37
Abbildung A 11: Überdüngungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b	37
Abbildung A 12: Ozonbildungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a	38
Abbildung A 13: Ozonbildungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b	38
Abbildung A 14: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle	39
Abbildung A 15: Treibhauspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle.....	39
Abbildung A 16: Ozonschichtabbaupotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle	40

Abbildung A 17: Versauerungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle	40
Abbildung A 18: Überdüngungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle	41
Abbildung A 19: Ozonbildungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle	41
Abbildung A 20: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der Typenhallenkonstruktion in verschiedenen Ausführungen.....	42
Abbildung A 21: Treibhauspotenzial für Herstellung und Entsorgung der Typenhallenkonstruktion in verschiedenen Ausführungen.....	42
Abbildung A 22: Ozonschichtabbaupotenzial für Herstellung und Entsorgung der Typenhallenkonstruktion in verschiedenen Ausführungen.....	43
Abbildung A 23: Versauerungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der Typenhallenkonstruktion in verschiedenen Ausführungen.....	43
Abbildung A 24: Überdüngungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der Typenhallenkonstruktion in verschiedenen Ausführungen.....	44
Abbildung A 25: Ozonbildungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle	44
Abbildung A 26: Gesamtprimärenergiebedarf für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung	45
Abbildung A 27: Treibhauspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung	45
Abbildung A 28: Ozonschichtabbaupotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung	46
Abbildung A 29: Versauerungspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung	46
Abbildung A 30: Überdüngungspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung	47
Abbildung A 31: Ozonbildungspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung	47
Abbildung A 32: Gesamtprimärenergiebedarf für eine Nutzungszeit von 20 Jahren.....	48
Abbildung A 33: Treibhauspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren	48
Abbildung A 34: Ozonschichtabbaupotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren	49
Abbildung A 35: Versauerungspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren.....	49

Abbildung A 36: Überdüngungspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren 50
Abbildung A 37: Ozonbildungspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren 50

Anhang A

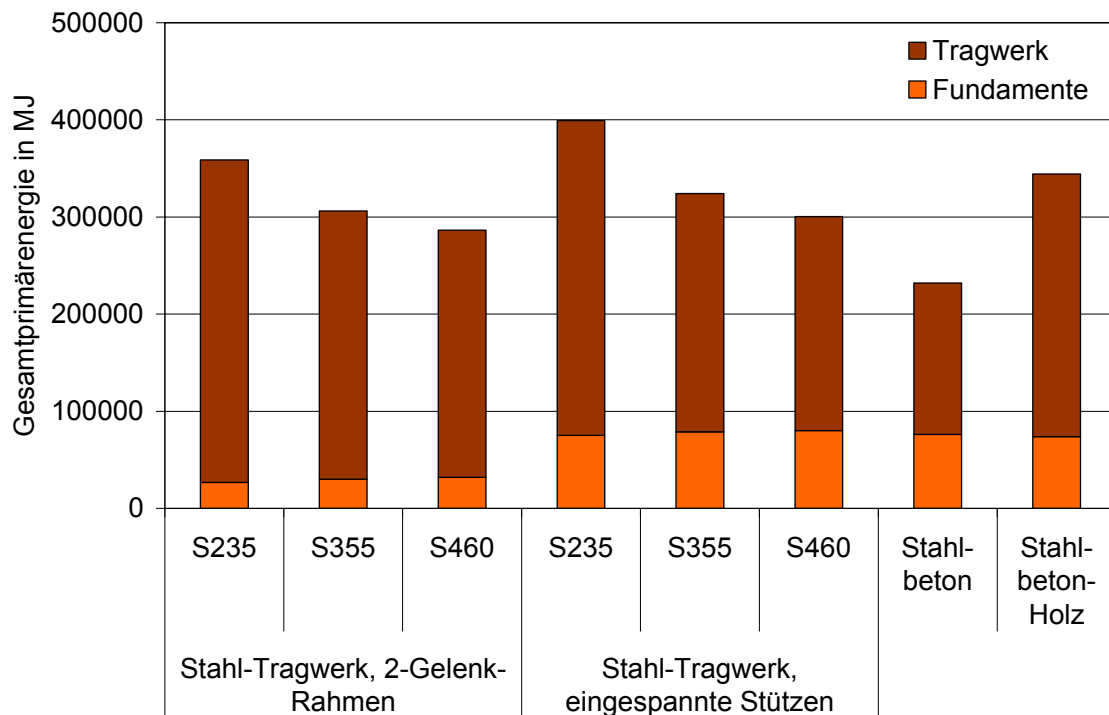


Abbildung A 1: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a

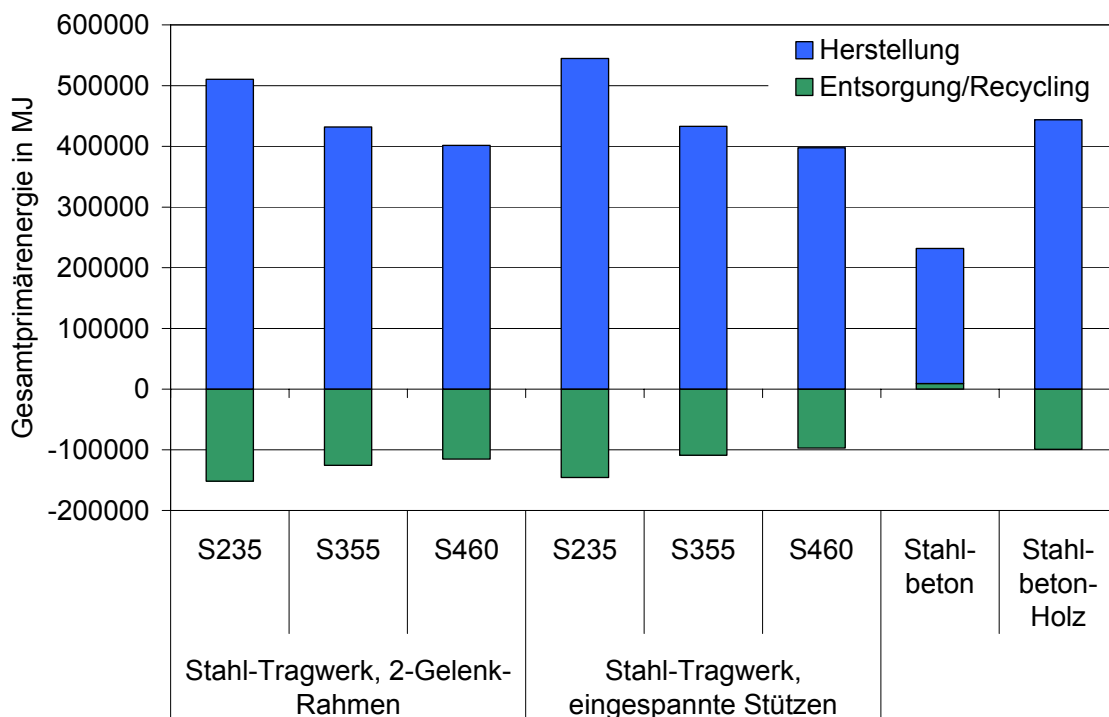


Abbildung A 2: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b

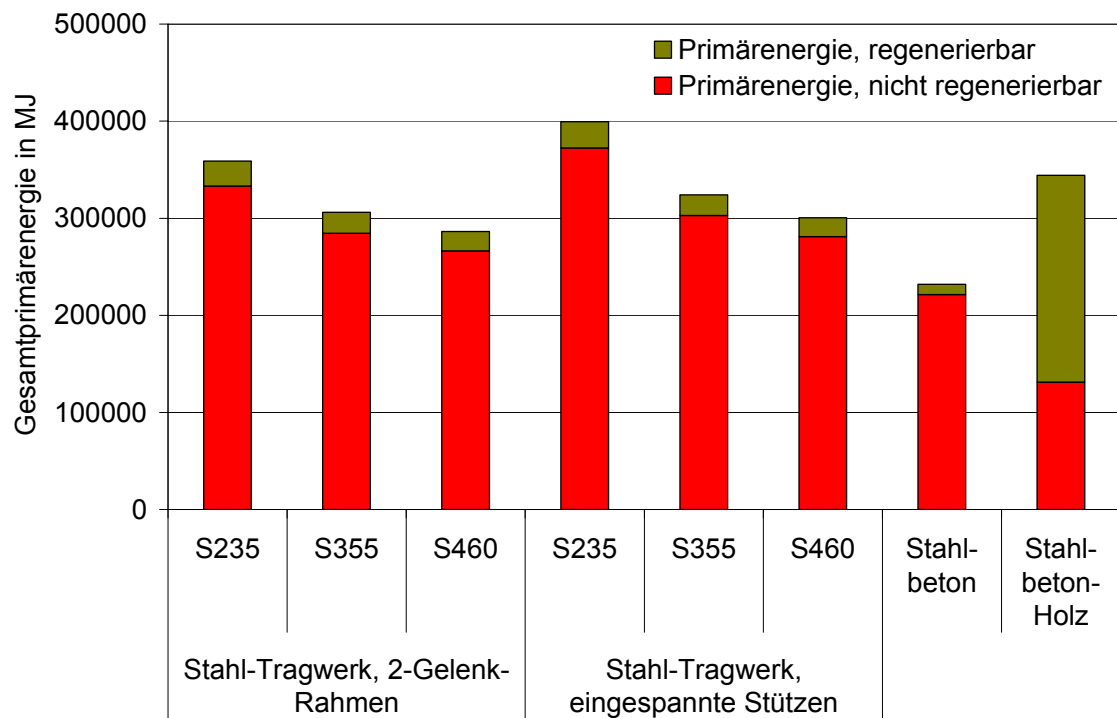


Abbildung A 3: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante c

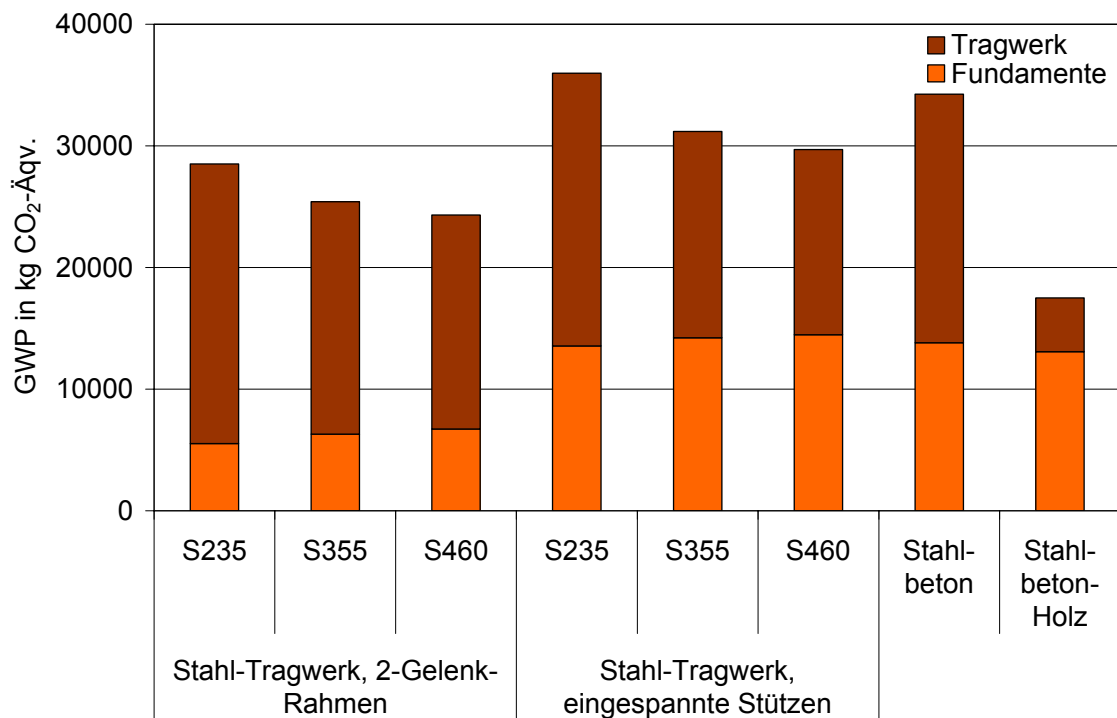


Abbildung A 4: Treibhauspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a

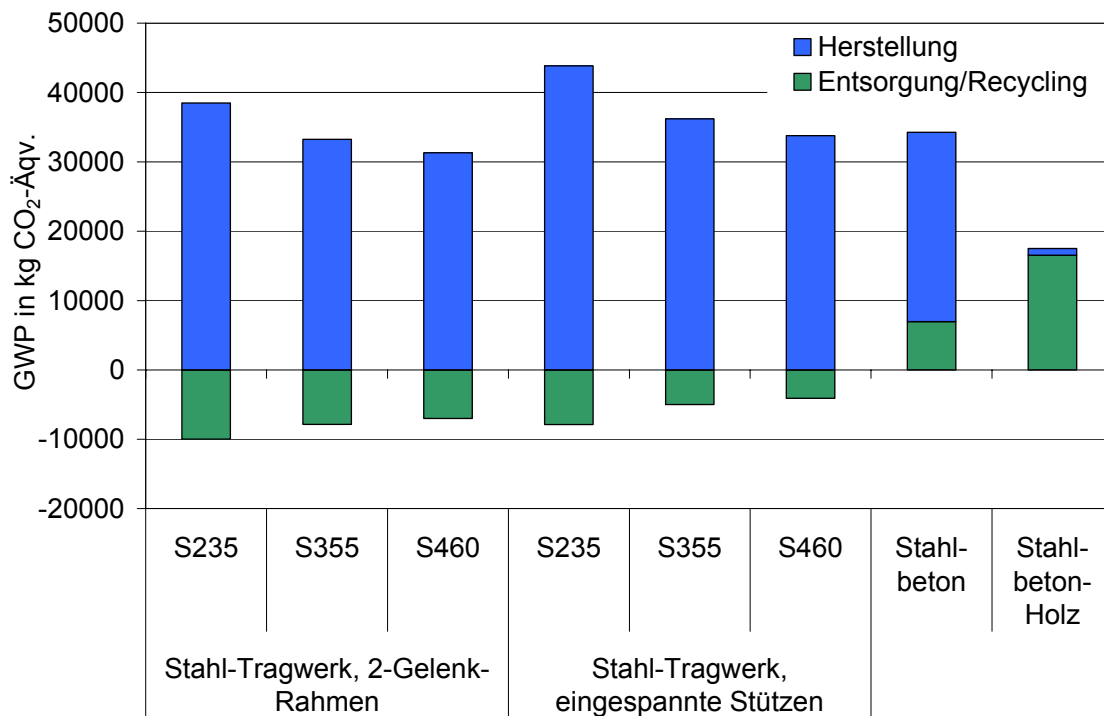


Abbildung A 5: Treibhauspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b

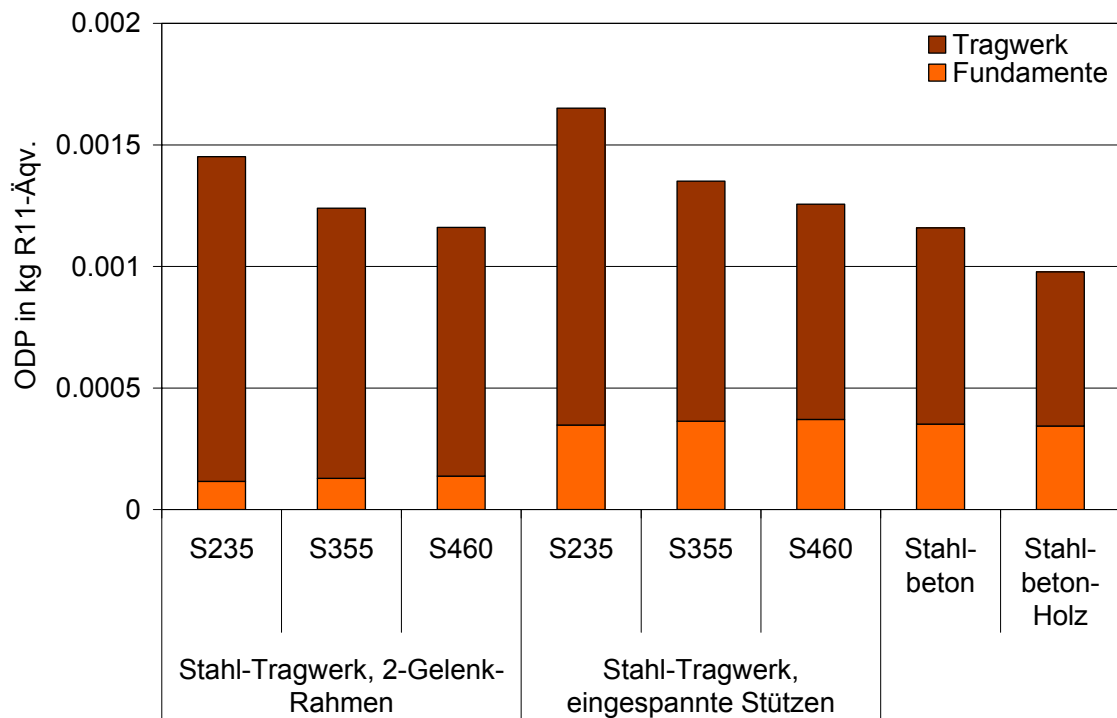


Abbildung A 6: Ozonschichtabbaupotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a



Abbildung A 7: Ozonschichtabbaupotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b

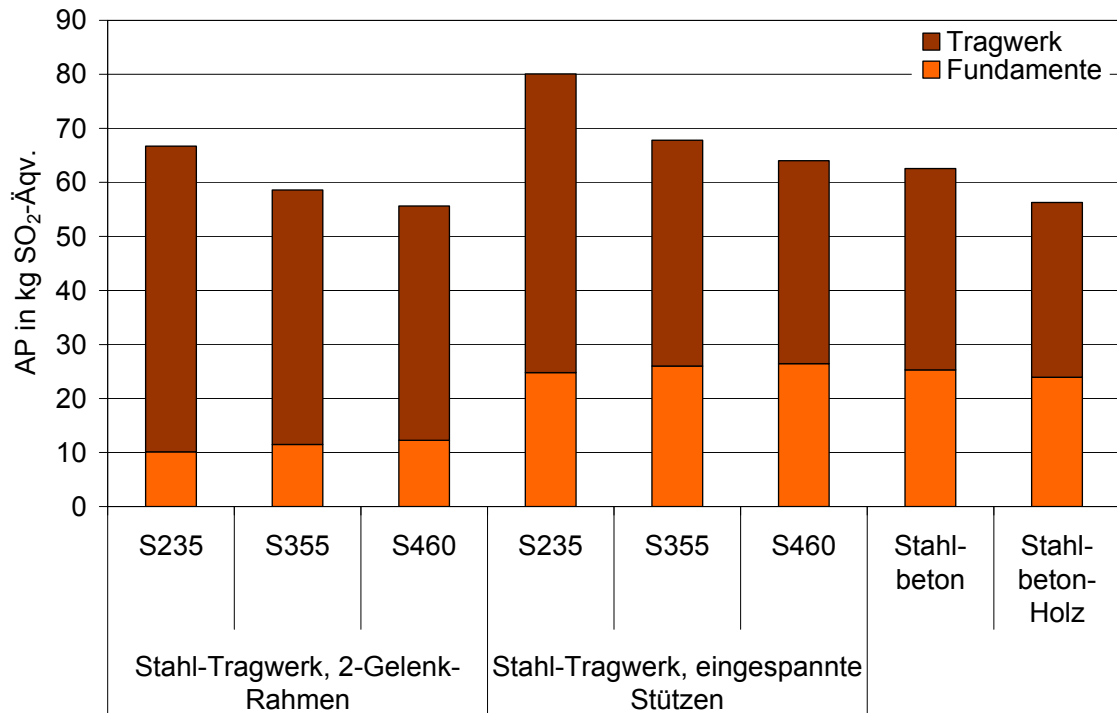


Abbildung A 8: Versauerungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a

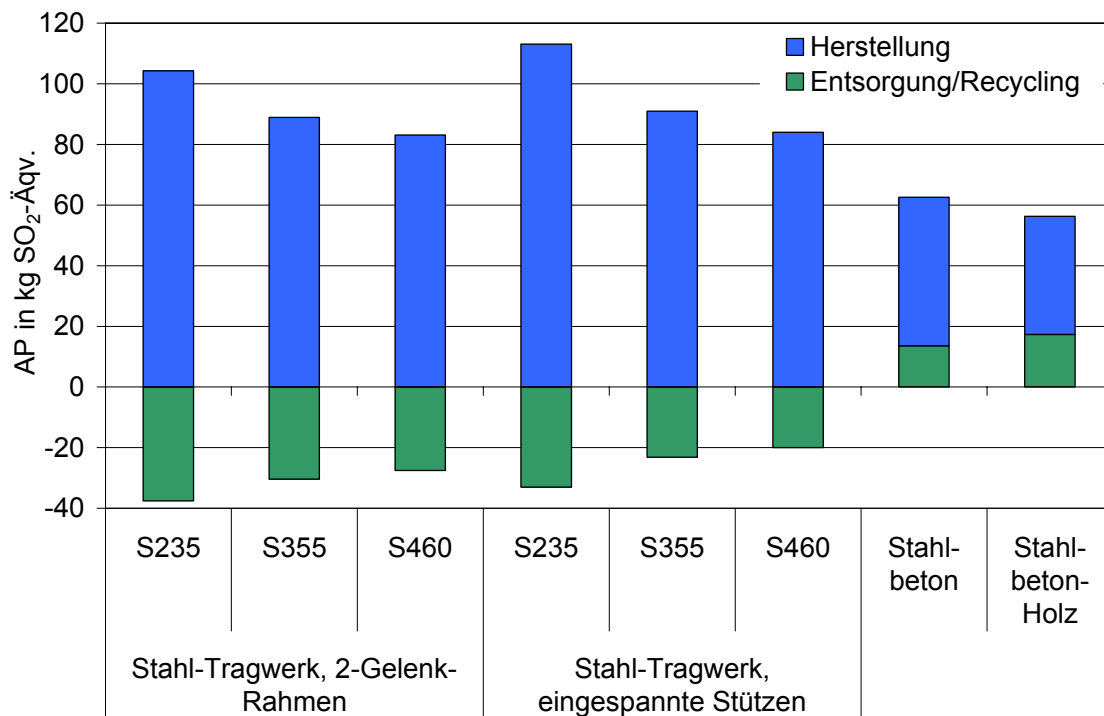


Abbildung A 9: Versauerungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b

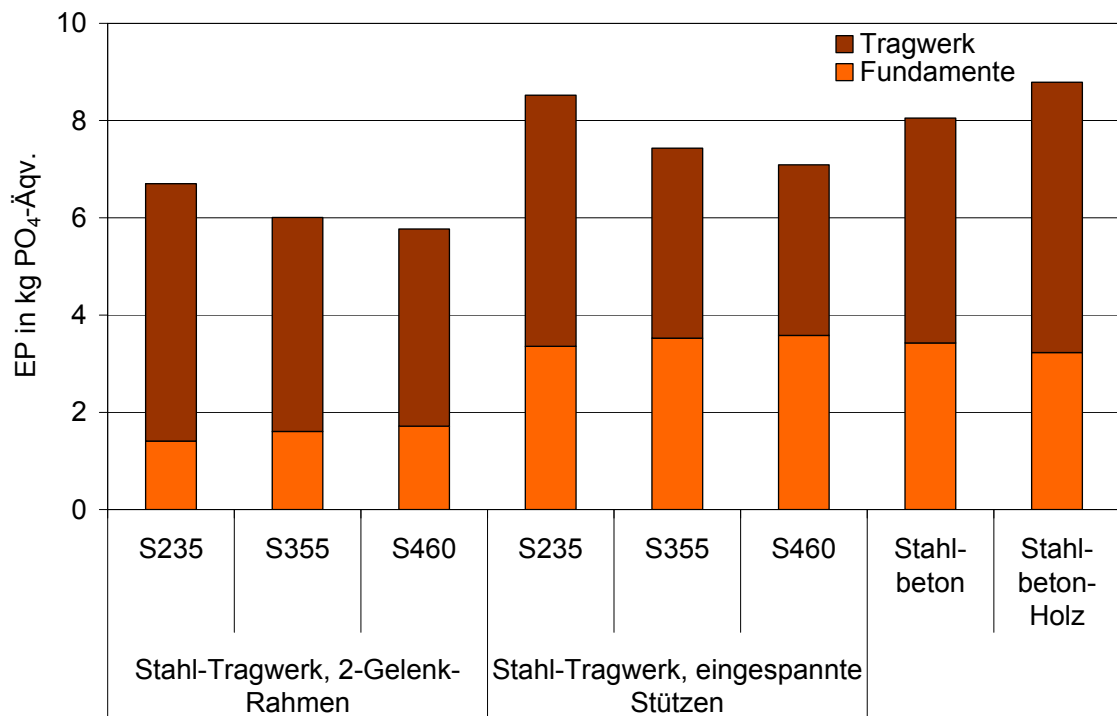


Abbildung A 10: Überdüngungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a

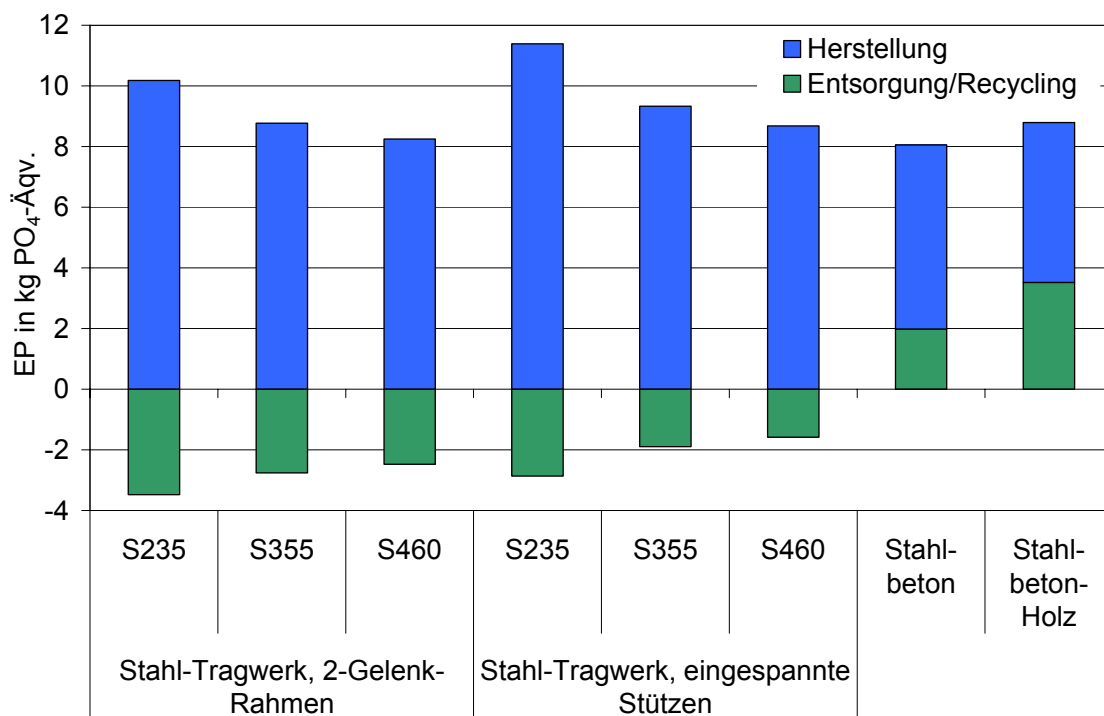


Abbildung A 11: Überdüngungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b

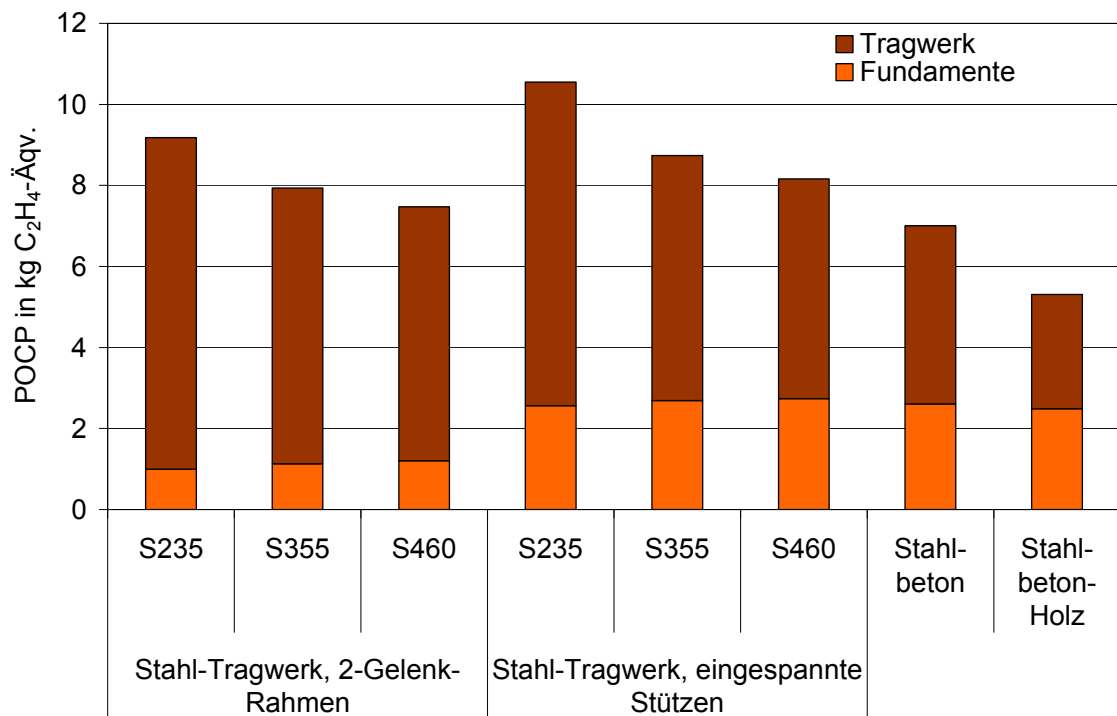


Abbildung A 12: Ozonbildungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante a

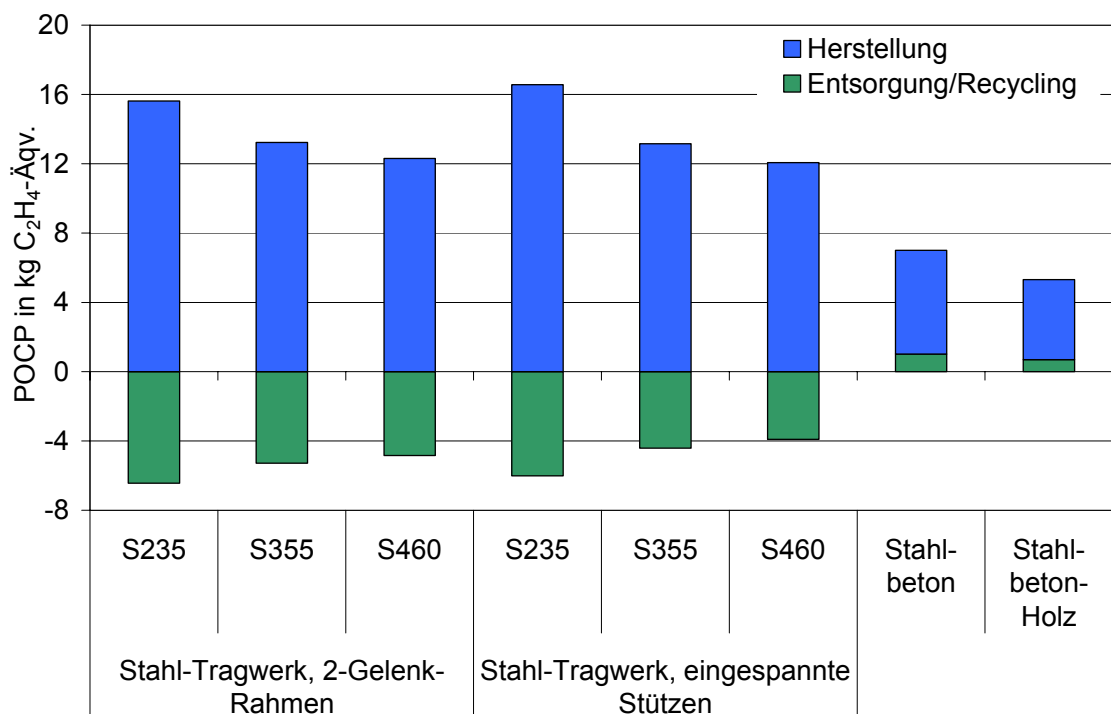


Abbildung A 13: Ozonbildungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Tragwerke mit zugehörigen Fundamenten, Darstellungsvariante b

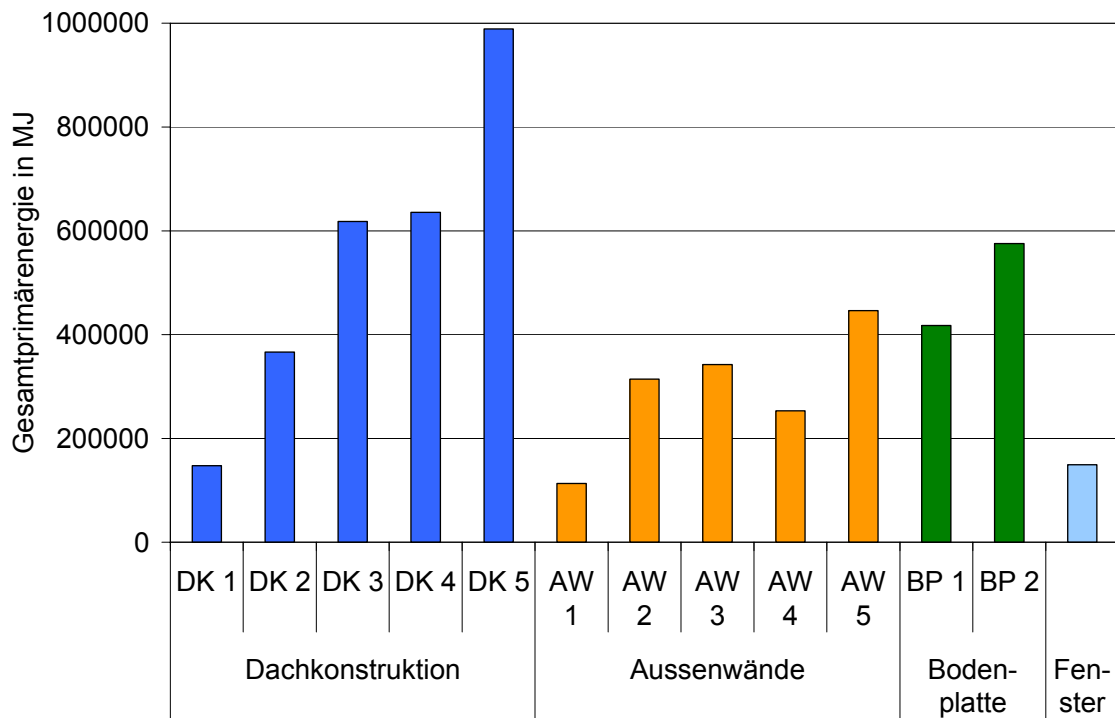


Abbildung A 14: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle

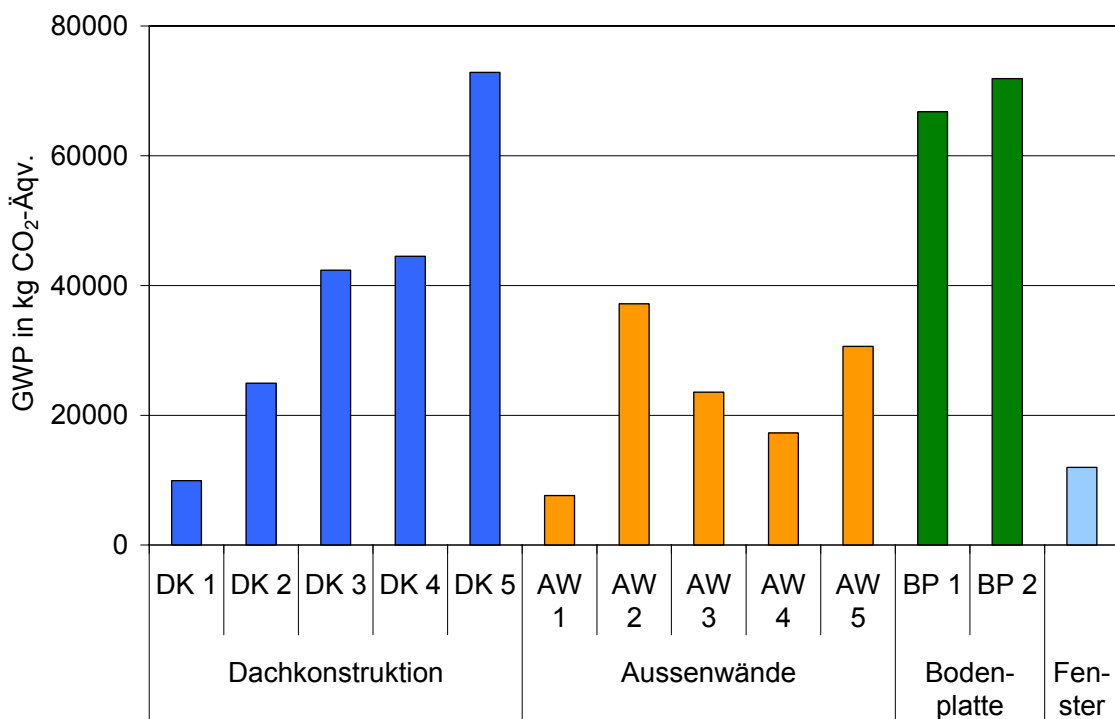


Abbildung A 15: Treibhauspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle

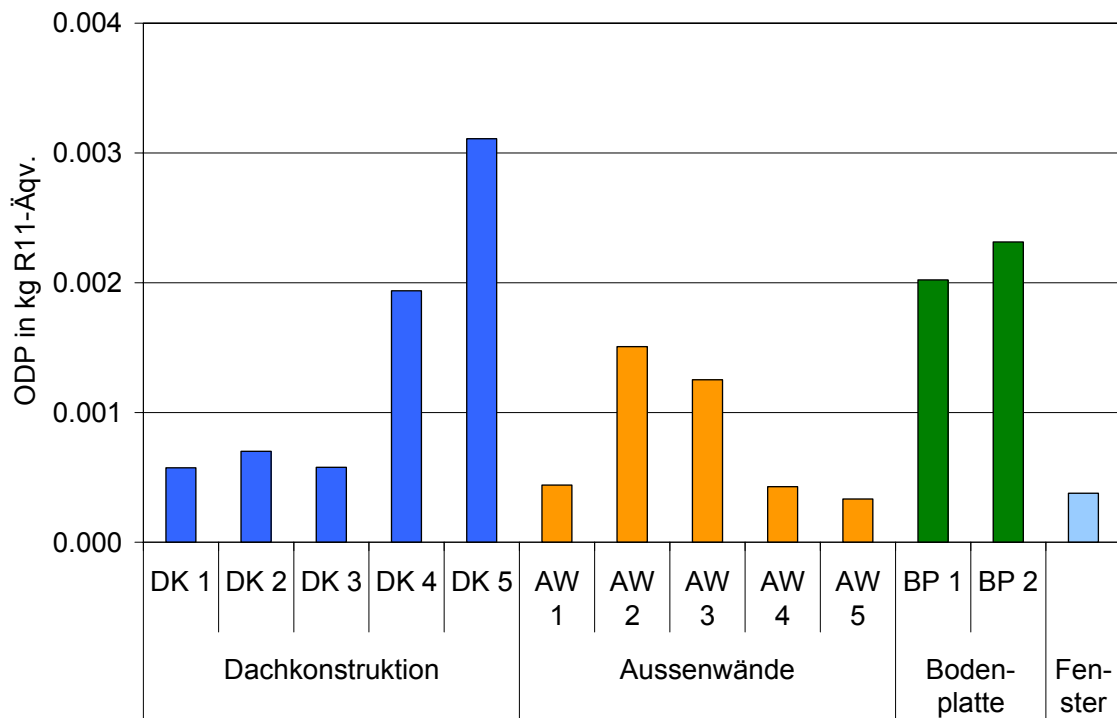


Abbildung A 16: Ozonschichtabbaupotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle

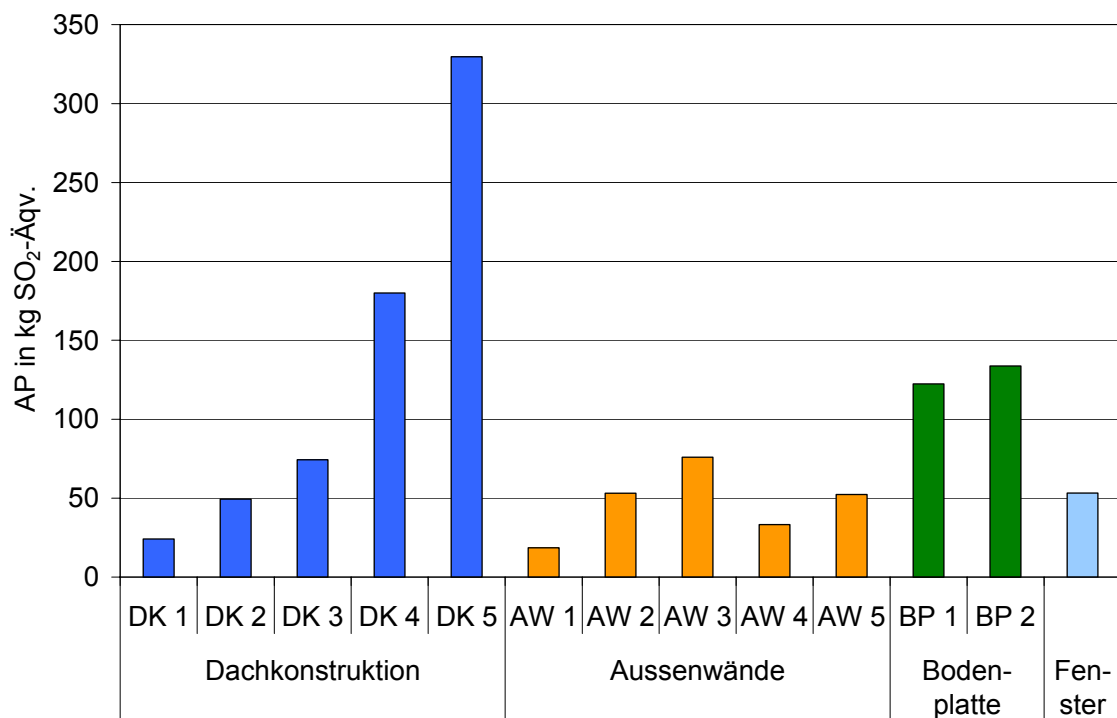


Abbildung A 17: Versauerungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle

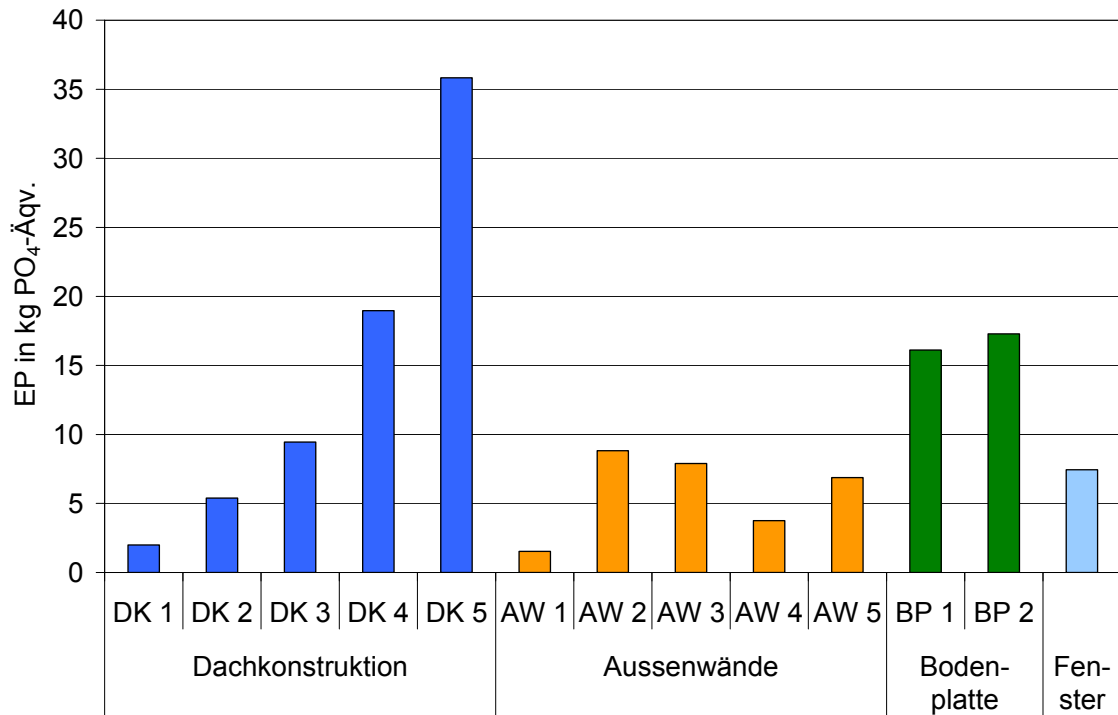


Abbildung A 18: Überdüngungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle

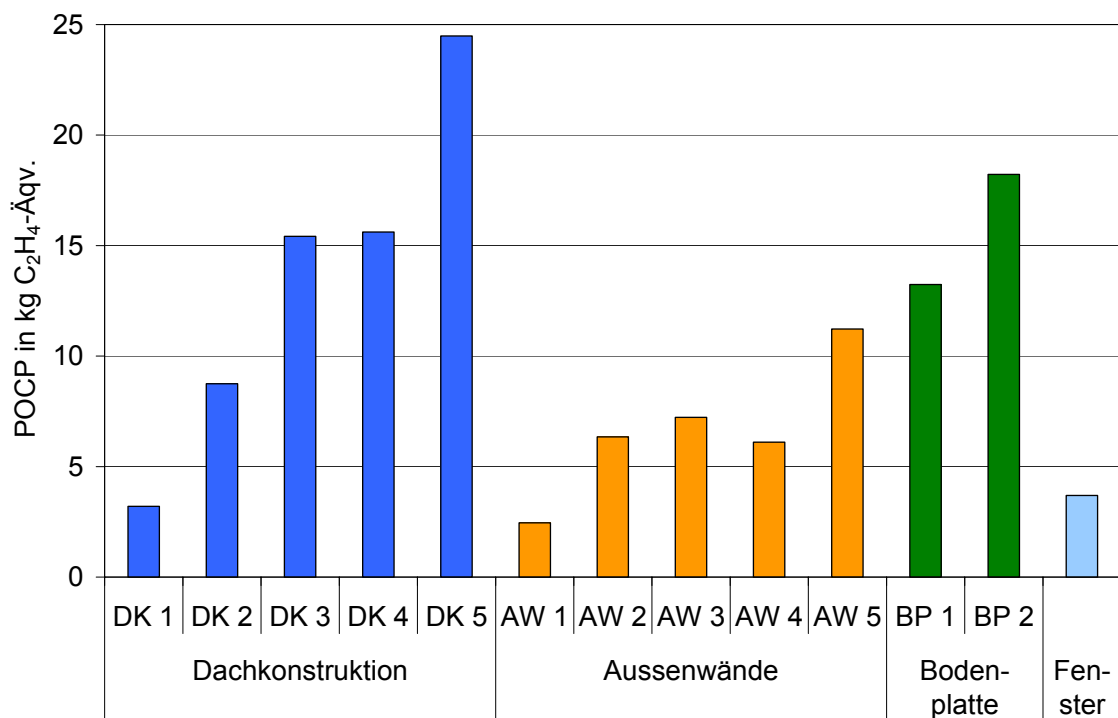


Abbildung A 19: Ozonbildungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle

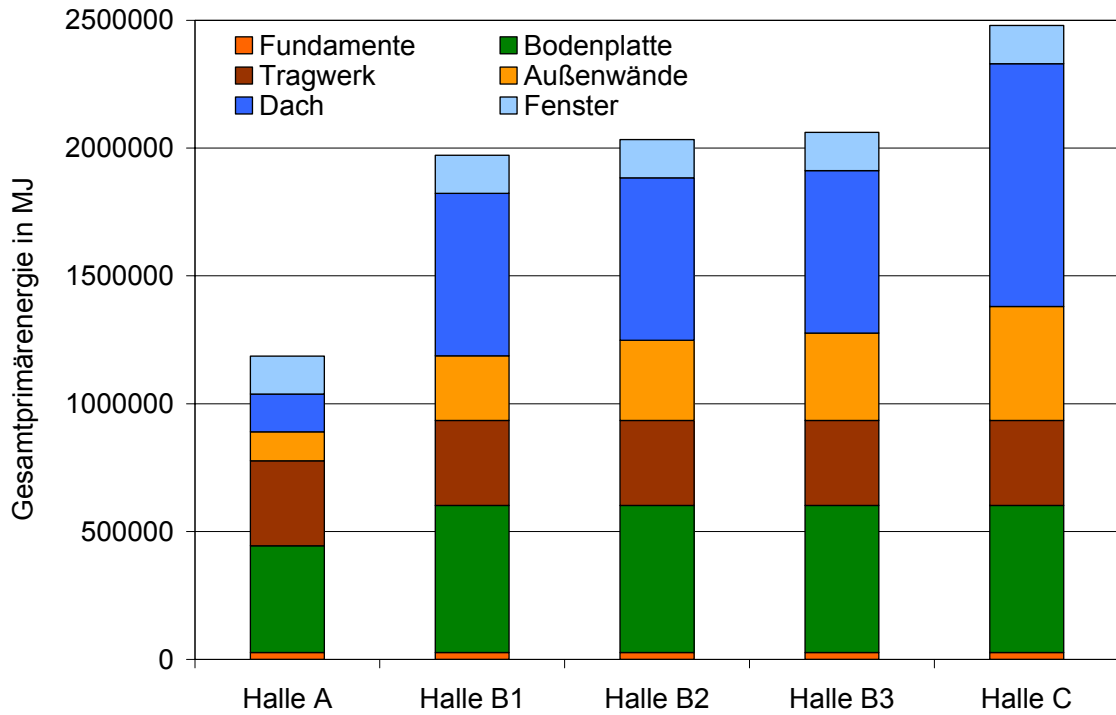


Abbildung A 20: Gesamtprimärenergiebedarf für Herstellung und Entsorgung der Typenhallenkonstruktion in verschiedenen Ausführungen

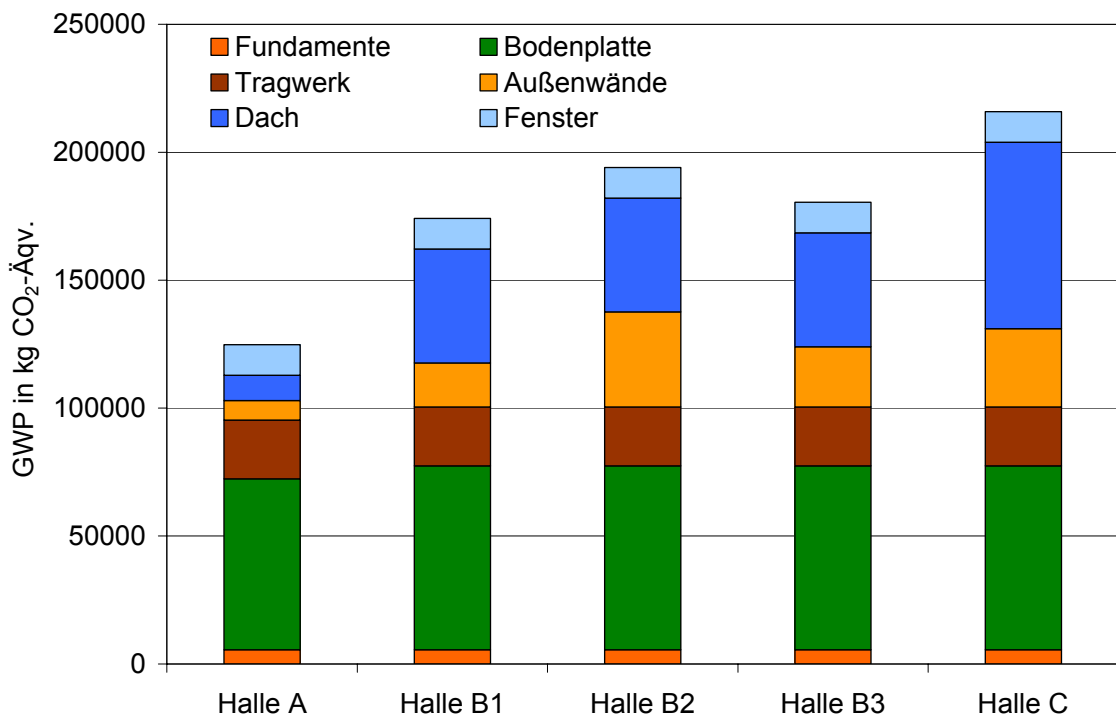


Abbildung A 21: Treibhauspotenzial für Herstellung und Entsorgung der Typenhallenkonstruktion in verschiedenen Ausführungen

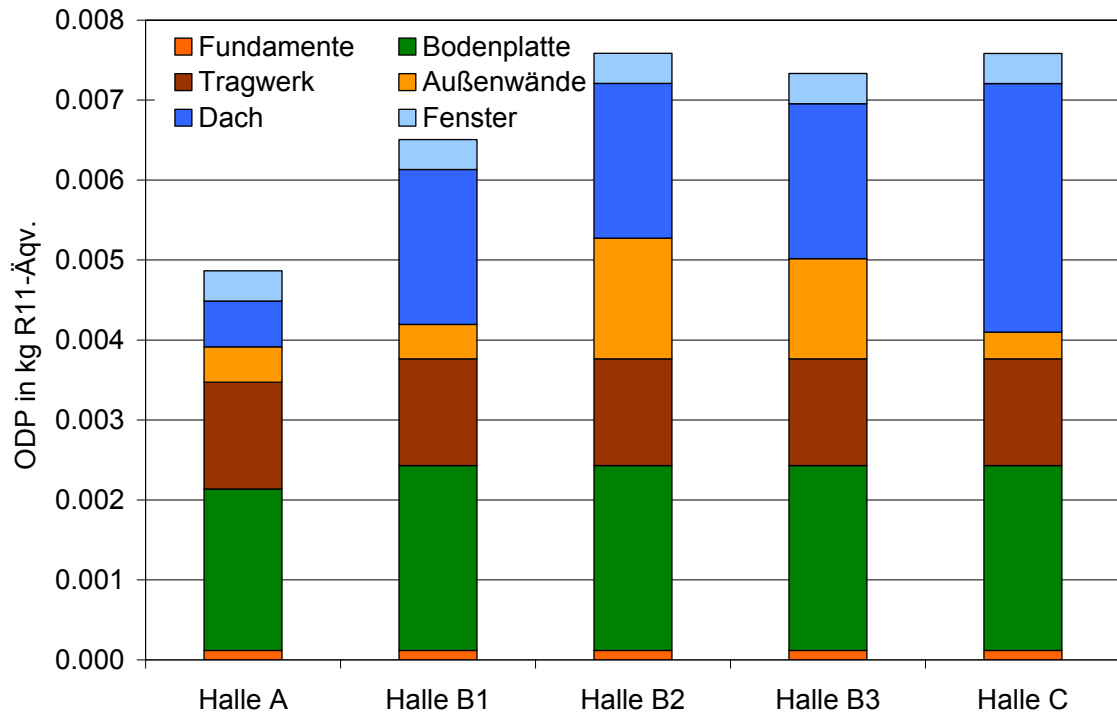


Abbildung A 22: Ozonschichtabbaupotenzial für Herstellung und Entsorgung der Typenhallenkonstruktion in verschiedenen Ausführungen

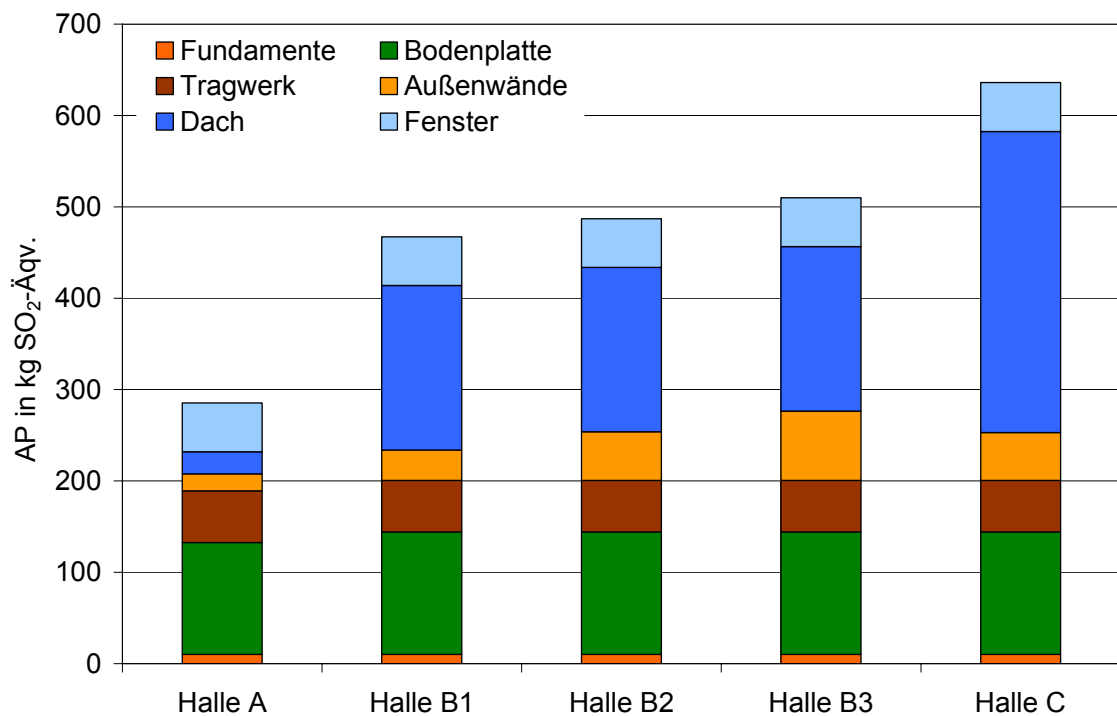


Abbildung A 23: Versauerungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der Typenhallenkonstruktion in verschiedenen Ausführungen

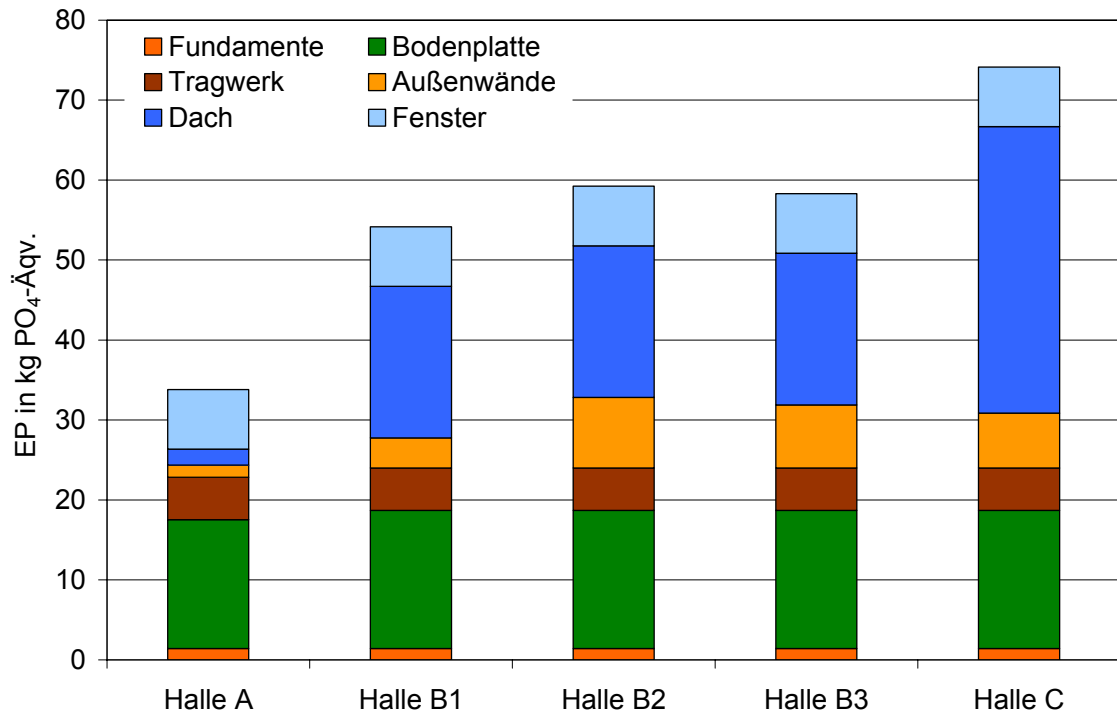


Abbildung A 24: Überdüngungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der Typenhallenkonstruktion in verschiedenen Ausführungen

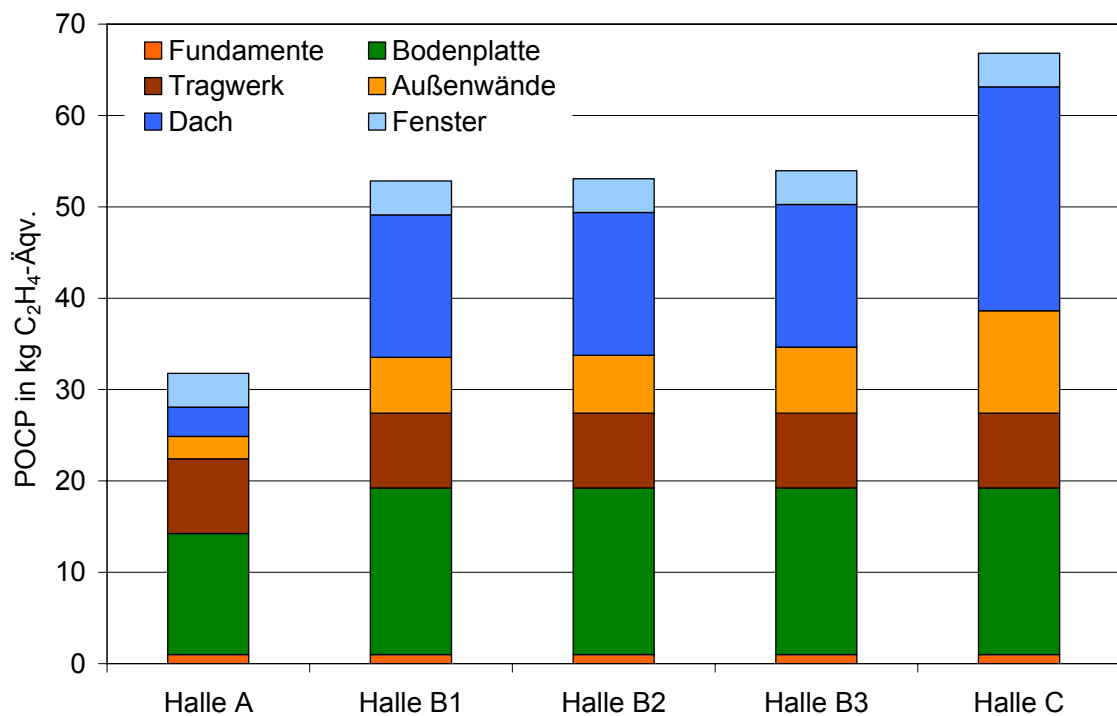


Abbildung A 25: Ozonbildungspotenzial für Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Teile der Gebäudehülle

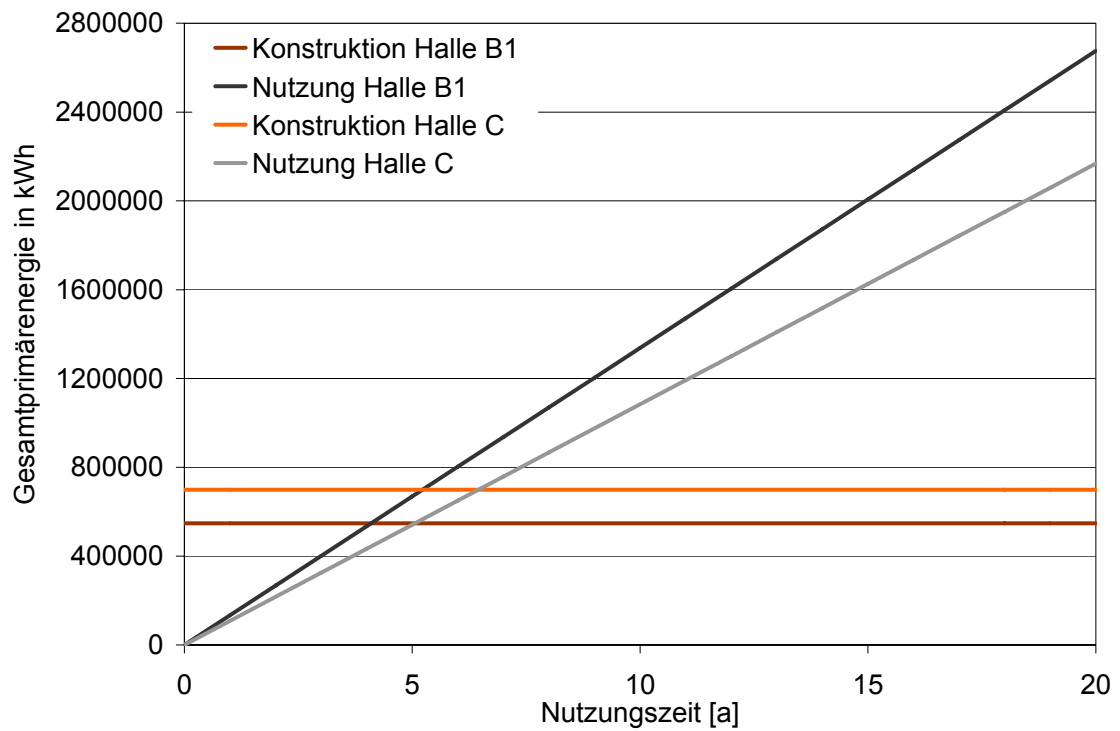


Abbildung A 26: Gesamtprimärenergiebedarf für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung

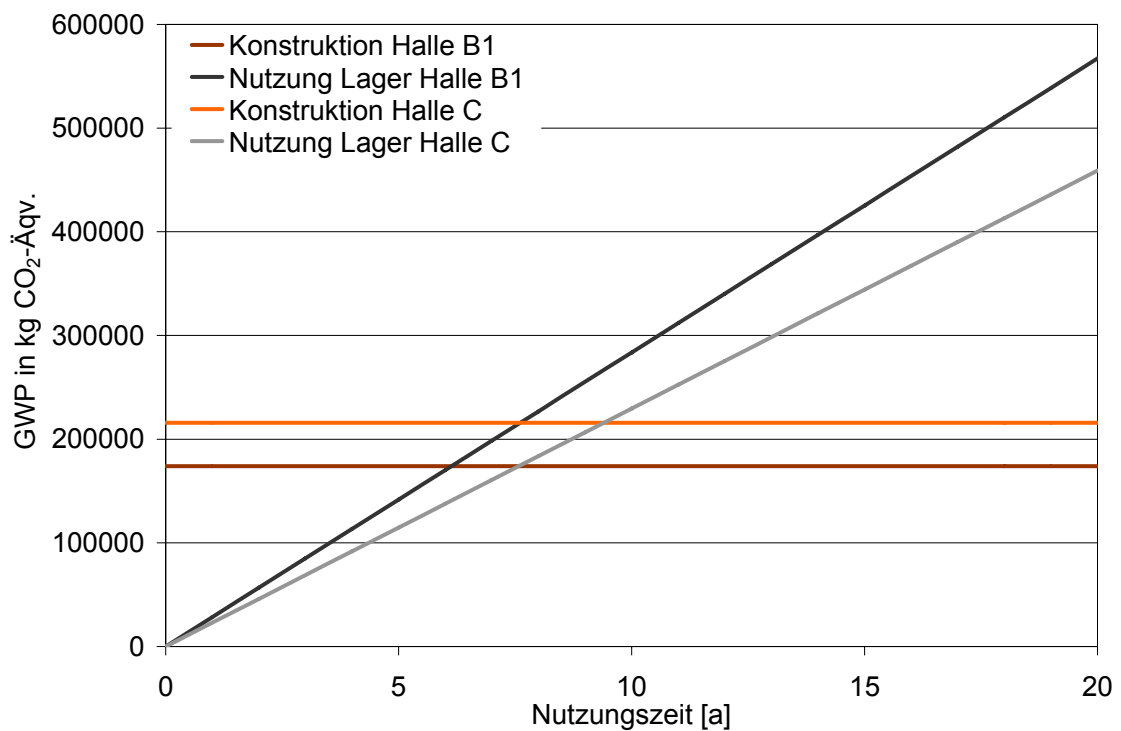


Abbildung A 27: Treibhauspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung

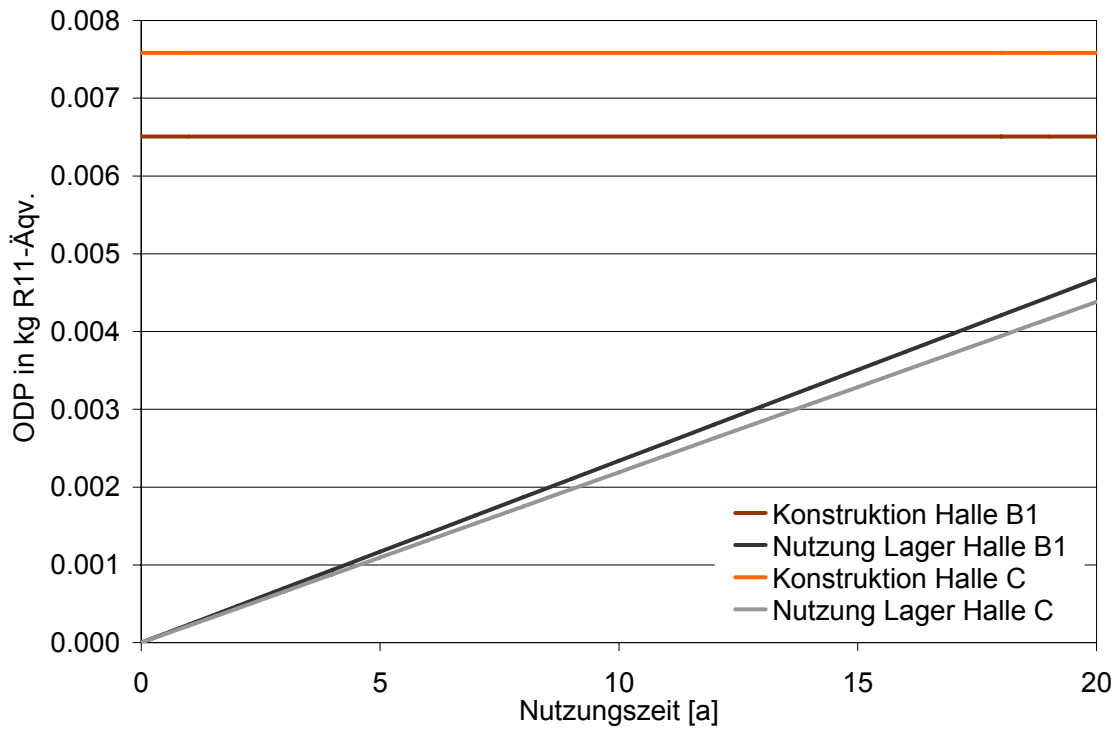


Abbildung A 28: Ozonschichtabbaupotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung

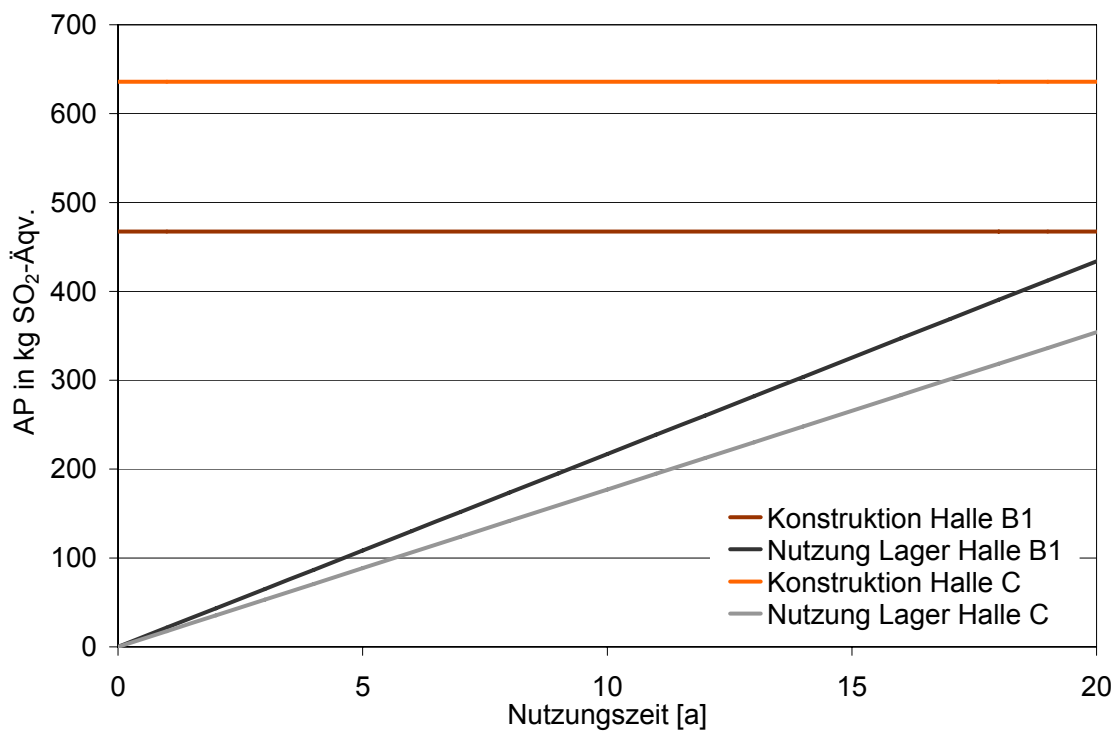


Abbildung A 29: Versauerungspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung

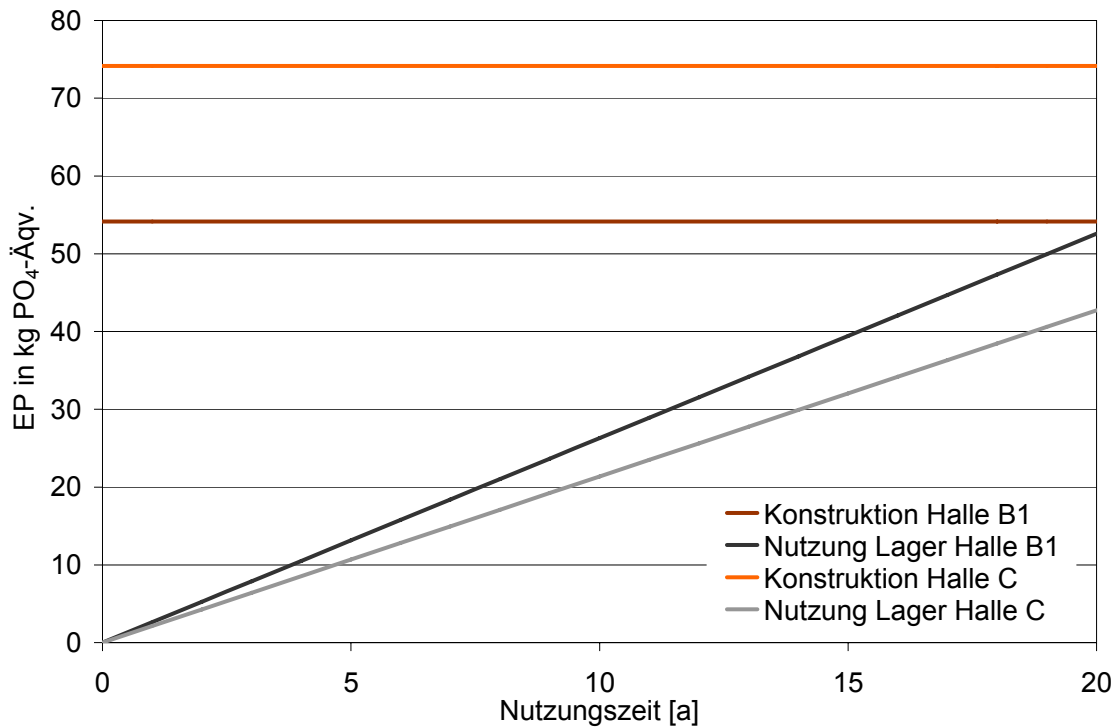


Abbildung A 30: Überdüngungspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung

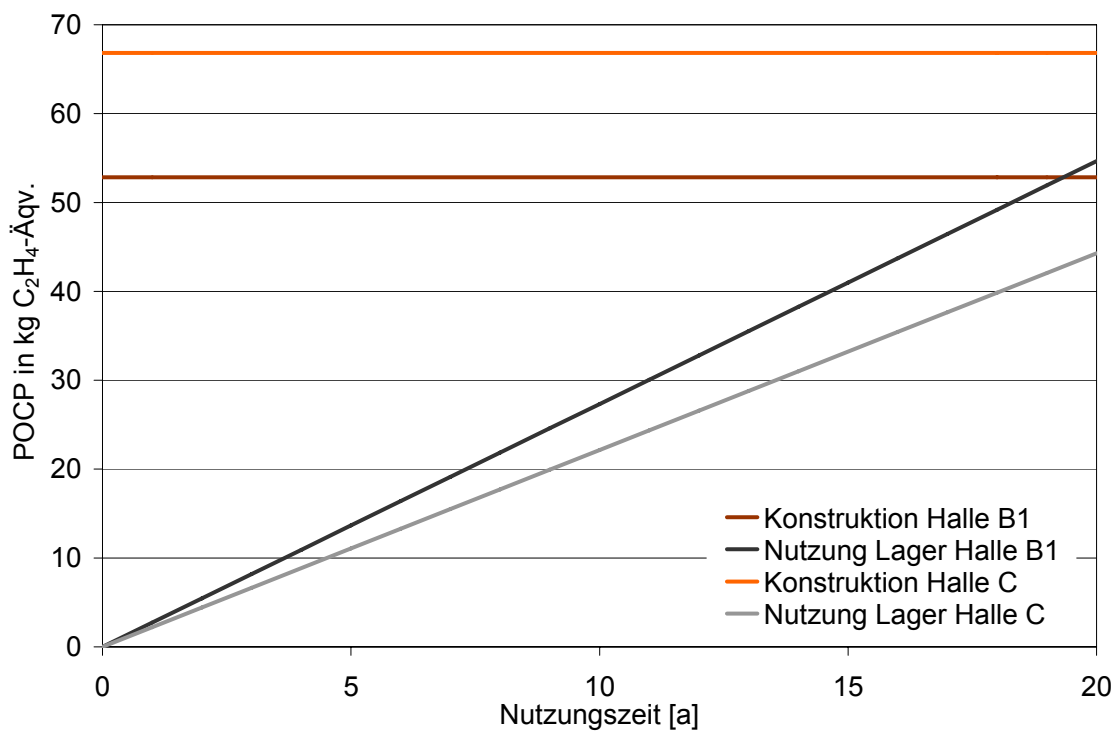


Abbildung A 31: Ozonbildungspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren, unterteilt in Konstruktion und Nutzung

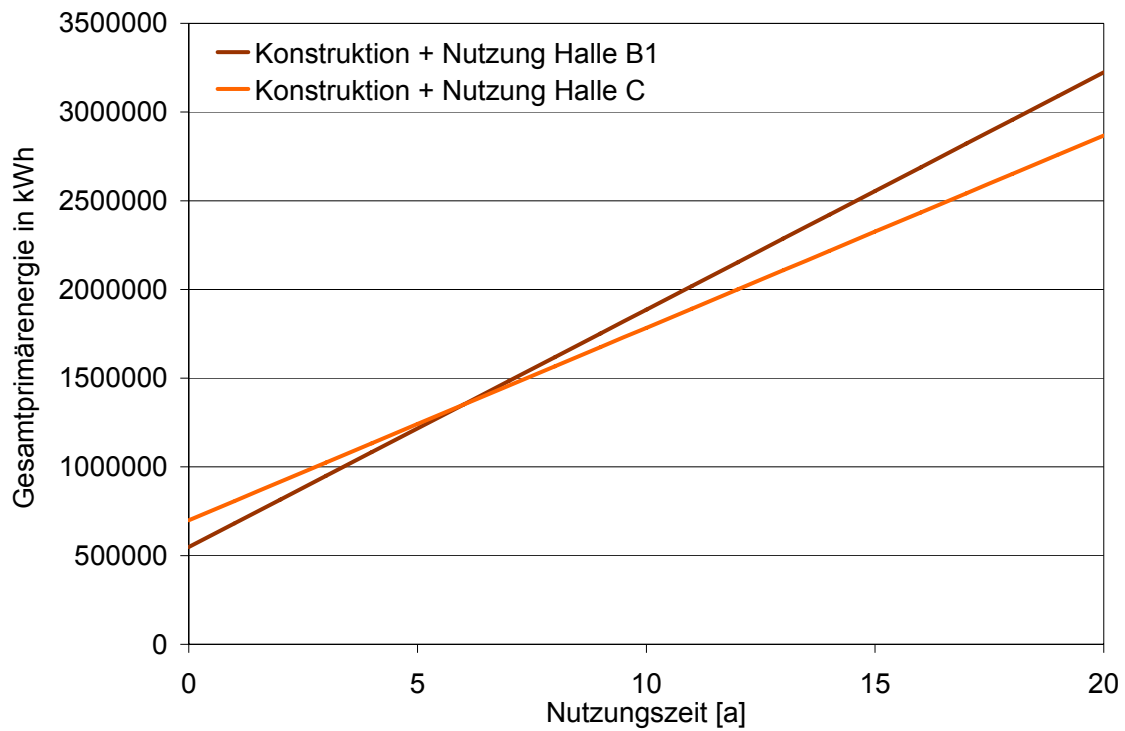


Abbildung A 32: Gesamtprimärenergiebedarf für eine Nutzungszeit von 20 Jahren

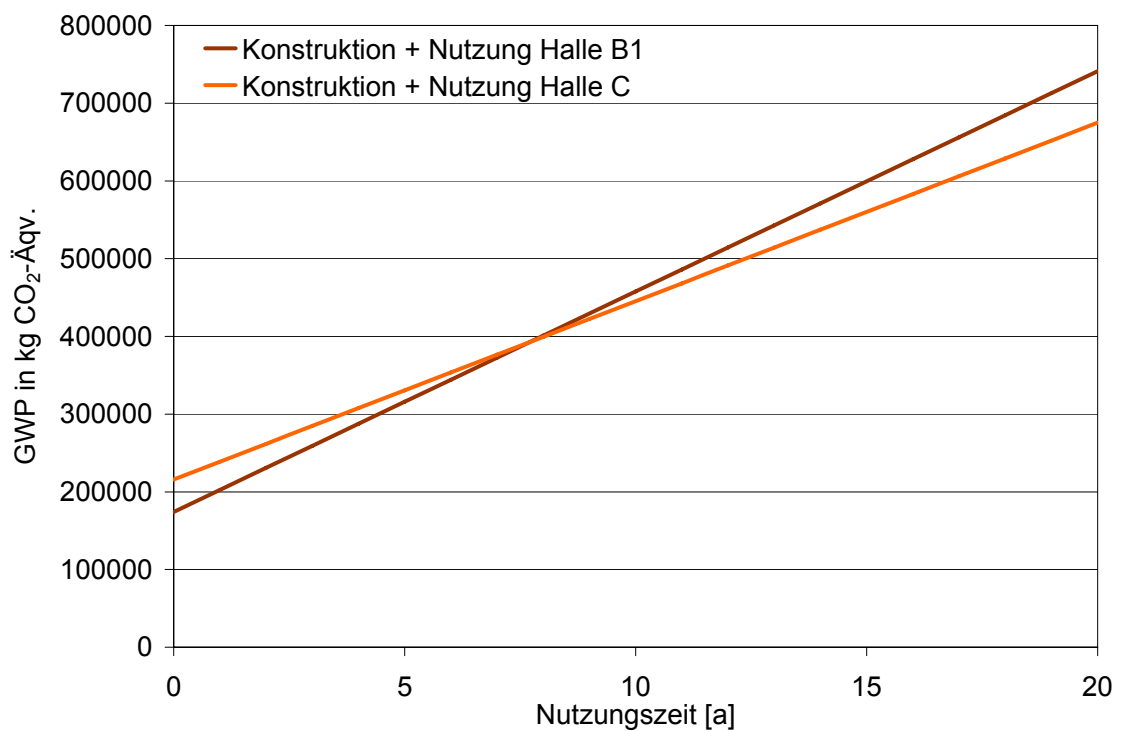


Abbildung A 33: Treibhauspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren

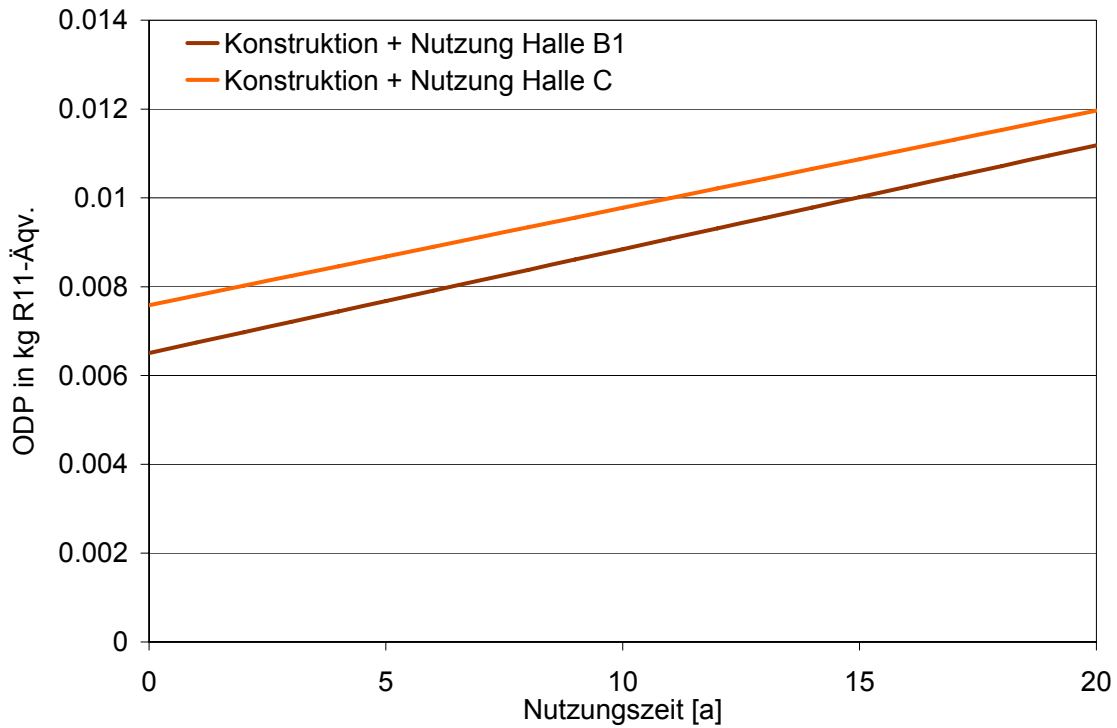


Abbildung A 34: Ozonschichtabbaupotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren

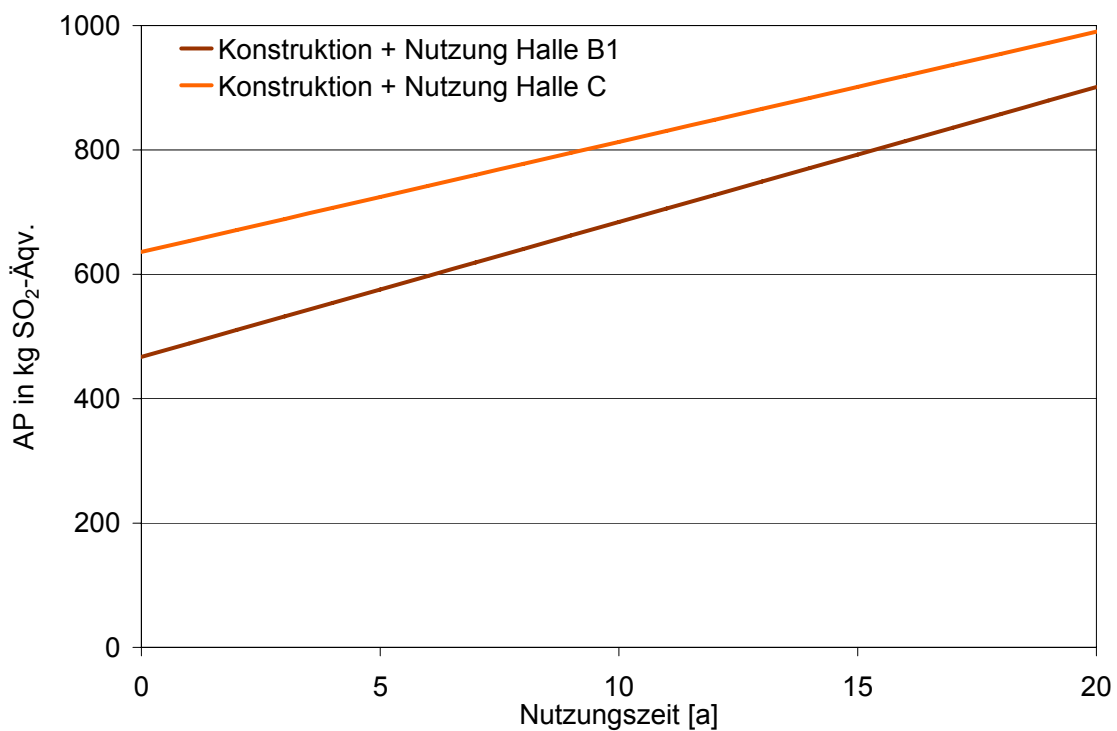


Abbildung A 35: Versauerungspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren

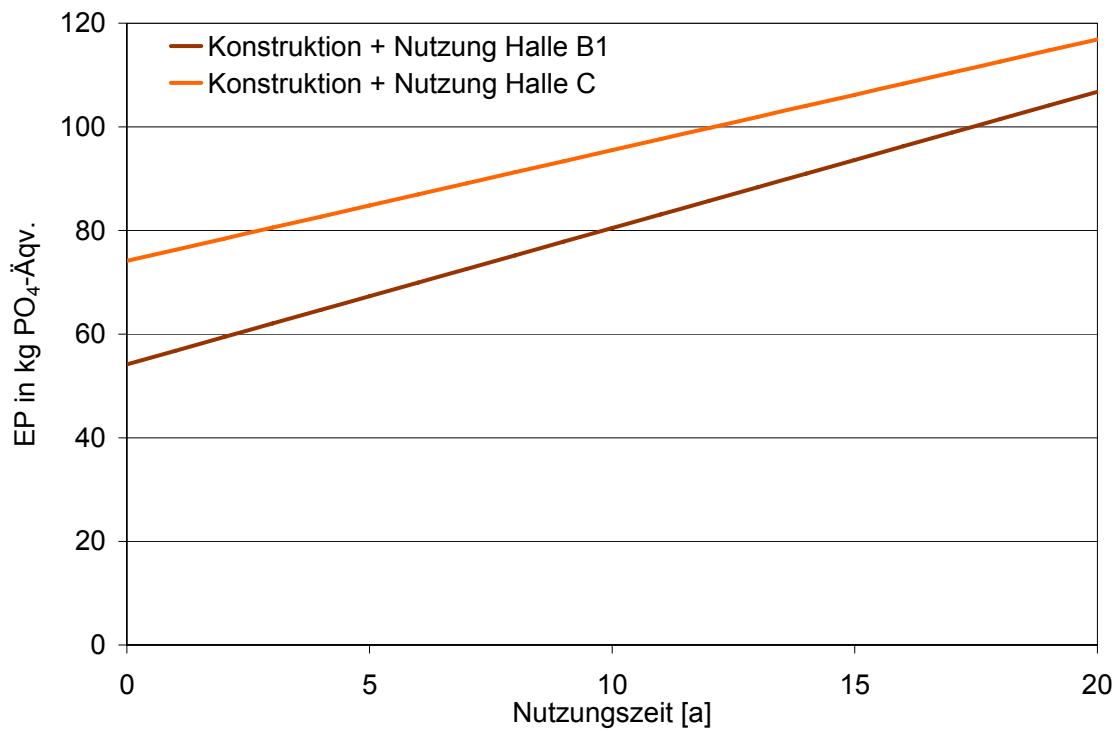


Abbildung A 36: Überdüngungspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren

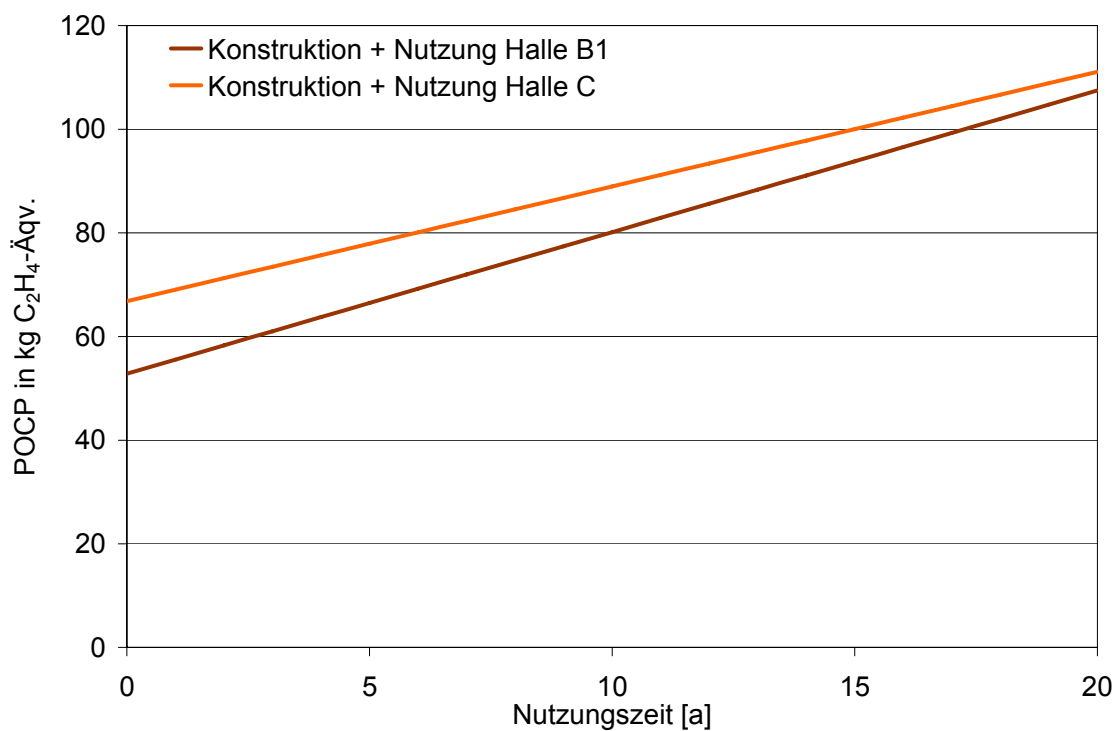


Abbildung A 37: Ozonbildungspotenzial für eine Nutzungszeit von 20 Jahren