

ökologische Nachhaltigkeit - Umweltauswirkungen von Hochregalen

In einem Forschungsprojekt¹ der Technischen Universität München werden die Umweltauswirkungen von Hochregalen aus Stahl und Holz durch die Berechnung von Ökobilanzen sichtbar gemacht. Der gesamte Lebenszyklus von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung wird betrachtet, um den Einfluss der einzelnen Phasen näher zu untersuchen.

Bedingt durch wachsendes Umweltbewusstsein innerhalb unserer Gesellschaft sind zunehmend Unternehmen interessiert ihre Auswirkungen auf unser Ökosystem zu reduzieren. Dies kann zum einen durch effizientere Abläufe sowie Prozesse und zum anderen durch den Einsatz von alternativen Bau- und Betriebsstoffen erreicht werden.

In der Intralogistik ist dieser Trend ebenfalls ersichtlich. So wurde im Jahr 2005 das erste Paletten-Hochregallager in Silobauweise aus Holz gebaut. Zuvor wurde seit Jahrzehnten nahezu ausschließlich der Werkstoff Stahl verwendet, welcher über gute mechanische Eigenschaften verfügt und leicht umformbar ist. Allerdings sind seine Umweltauswirkungen verbesserungswürdig. Es wird zwar recycelter Stahl in einem Kreislauf zur Rohstahlherstellung eingesetzt, jedoch muss zum Erreichen der Schmelztemperatur viel Energie aufgewendet werden. Seit dem ersten Holz-Palettenregal sind weitere sieben Regale aus Brettschichtholz entstanden, wobei sechs Regale davon eine Höhe - Oberkante Lagergut- von mehr als 9 Metern aufweisen und diese damit als Hochregale zu zählen sind. Der Vorteil des natürlichen Rohstoffs Holz ist seine Fähigkeit während des Wachstums CO₂ aus der Luft aufzunehmen und zu speichern. Holz besteht je nach Sorte zu ca. 50% aus Kohlenstoff, weshalb man auch von einem biogenen Kohlenstoffspeicher spricht. Am Lebensende werden Holzbauteile meist thermisch verwertet –verbrannt– wodurch der gespeicherte Kohlenstoff wieder freigesetzt wird. Zusätzlich entsteht dabei nutzbare Energie, welche nicht durch andere –teils fossile– Energiequellen hergestellt werden muss. Die vermiedenen Umweltauswirkungen der konventionellen Energieerzeugung werden dem Werkstoff Holz angerechnet, wodurch dieser in Summe ein negatives CO₂-Äquivalent erhält und damit dem Treibhauseffekt entgegenwirkt.

Motivation und Vorgehensweise

Bei den acht bisher gebauten Palettenregalen aus Holz spielten die ökologischen Vorteile des Werkstoffs Holz eine wichtige Rolle bei der Entscheidung für die neue Bauweise. Die tatsächlichen Umweltauswirkungen von Holz-Regalen wurden jedoch bisher noch nicht näher erforscht. Für den Beweis eines ökologischen Mehrwerts fehlt außerdem ein qualitativer Vergleich mit der konventionellen Stahlbauweise.

Um diese Forschungslücke zu schließen, sind ganzheitliche Ökobilanzierungen über den gesamten Lebenszyklus für Regale aus Holz und Stahl notwendig. Erreicht wird dies über die Aufstellung aller Energie- und Materialflüsse der einzelnen Lebensphasen sowie die Ableitung der damit verbundenen Auswirkungen auf die Umwelt. Als Untersuchungsobjekt dient das derzeit größte Hochregallager aus Holz, welches über mehr als 31.000 Stellplätze verfügt und im Jahr 2013 gebaut wurde. Für einen aussagekräftigen Vergleich wurden Informationen zu einem funktionsgleichen Stahl-Hochregal

¹ Das IGF-Vorhaben 17959 N/1 der Forschungsvereinigung Intralogistik / Fördertechnik und Logistiksysteme e.V. (FG IFL) wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

verwendet. Es wird von einer für Hochbauten gebräuchlichen Nutzungsdauer von 50 Jahren -der reinen Lagerstruktur- ausgegangen. Bei den nachfolgenden Betrachtungen wird nur die Regalkonstruktionen an sich -ohne Dach, Fassade, Bodenplatte und Regalbediengerät- berücksichtigt, da diese Elemente bei beiden Regalvarianten nahezu komplett identisch wären. Außerdem wird ein Abschneidekriterium von 1% definiert, welches es erlaubt alle Prozesse zu vernachlässigen, deren erwarteter Anteil am Gesamtergebnis weniger als ein Prozent beträgt. Dadurch kann die Komplexität der Betrachtung in einem sinnvollen Maß gehalten werden, ohne das Ergebnis zu verfälschen.

Lebenszyklusphasen von Hochregalen

Als Richtlinie für die Ökobilanzierung von Gebäuden -zu denen Hochregale in Silobauweise zählen- ist die DIN EN 15643-2 [1] zu verwenden. Sie teilt die Gebäudelebensdauer in die Phasen A bis D sowie einige Unterkategorien auf (vgl. Abbildung 1). Die Phasen der beiden Regalvarianten werden nun anhand dieser Einteilung erläutert.

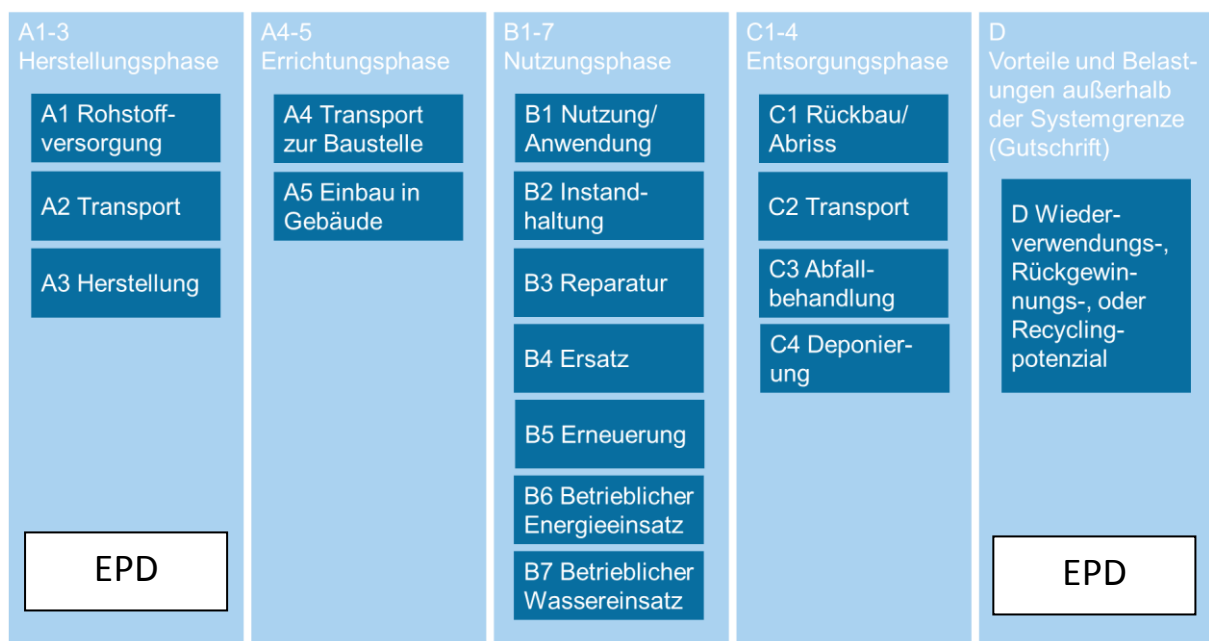


Abbildung 1: Phasen des Gebäudelebenszyklus nach DIN EN 15643-2 [1]

Für die Herstellung A1-A3 von Stahl-Hochregalen werden größtenteils bandverzinkte Stahlprofile verwendet. Ausgangsmaterial sind verzinkte Stahl-Coils, welche aufgrund ihres Gewichts meist per Bahn oder Binnenschiffahrt angeliefert werden. Diese werden anschließend in schmalere Bahnen aufgeteilt, gestanzt bzw. gelocht und per Walzprofilieren zu fertigen Profilen geformt. Des Weiteren werden warmgewalzte stückverzinkte Profile sowie Verbindungsmittel aus Stahl eingesetzt. Die fertigen Bauteile werden in Phase A4 durch LKW-Sattelzüge zur Baustelle transportiert. Während der Montagezeit –Phase A5– sind in diesem Fall ein dieselbetriebener Teleskopgabelstapler und ein Turmdrehkran sowie drei Scherenhubbühnen, welche elektrisch betrieben werden, im Einsatz. In der Nutzungsphase B1-B7 verbraucht die statische Regalkonstruktion weder Energie noch Betriebsstoffe. Es können dem Regal somit nur die An- und Abreise der Fachkraft für die jährliche Regalinspektion und etwaige Reparaturen zugerechnet werden. Die Umweltauswirkungen dieser Tätigkeiten fallen jedoch im Vergleich zu den anderen Lebenszyklusphasen sehr gering aus und genügen daher dem Abschneidekriterium. Am Ende des Regallebens C1 wird das Stahl-Hochregal von dieselbetriebenen Abbruchbaggern stückweise abgerissen, zerkleinert, in 40m³-Container verladen und anschließend per LKW –Phase C2– abtransportiert. Abschließend wird der entstandene Stahlschrott in Phase C3

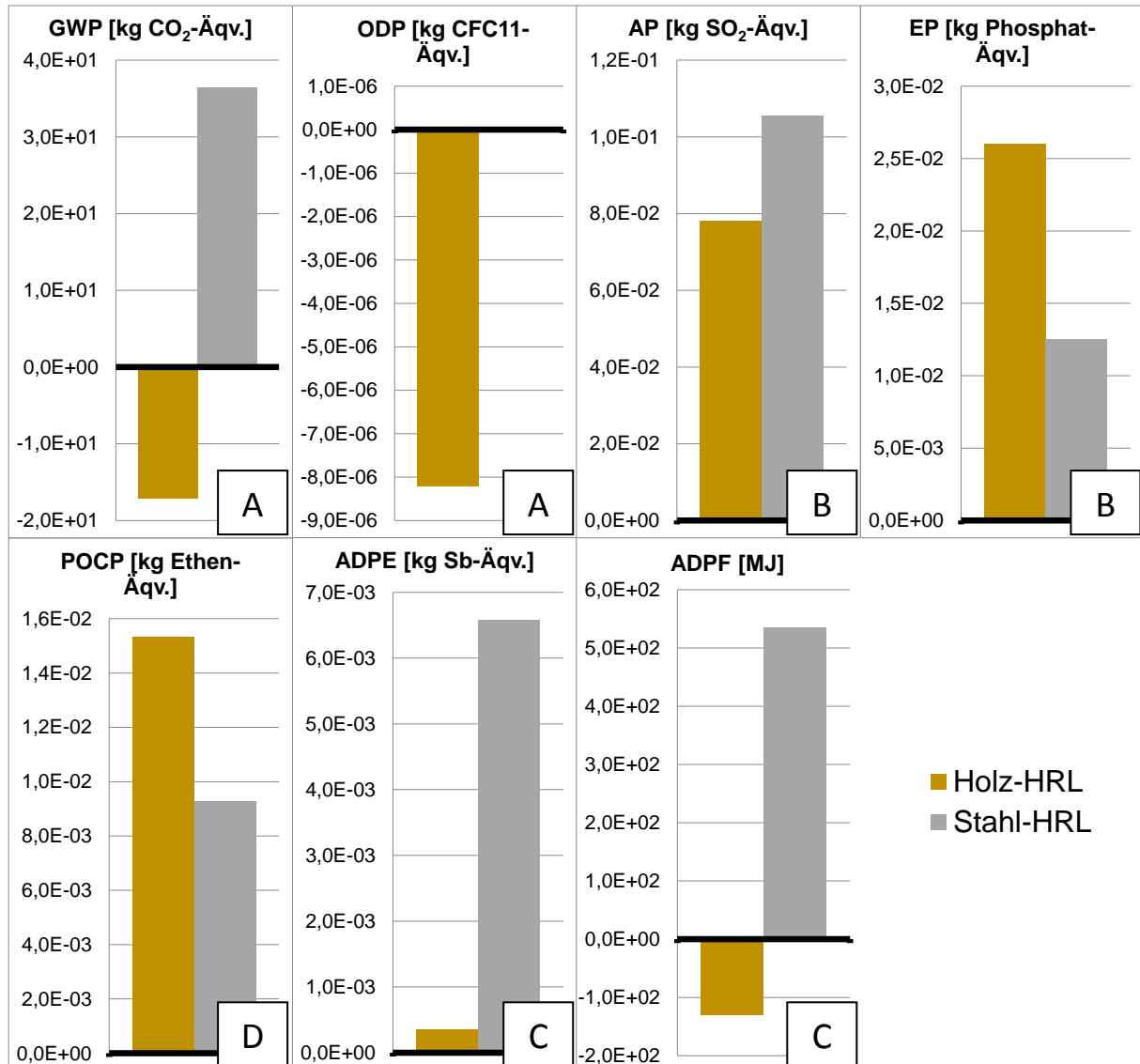
sortiert und recycelt. Eine Deponierung C4 findet nicht statt. Die vermiedenen Umweltauswirkungen durch den Einsatz des recycelten Stahlschrotts anstatt Eisenerzes bei der Herstellung von neuem Stahl werden in Phase D gutgeschrieben und verringern damit die Gesamtsumme der Umweltauswirkungen des Stahlregals.

Zum Bau des betrachteten Holz-Hochregals wurde hauptsächlich Brettschichtholz verwendet. Zur Herstellung dieses Vollholzwerkstoffs werden zuvor getrocknete, sortierte und gehobelte Fichtenbretter faserparallel miteinander verleimt, wodurch eine Homogenisierung des sonst inhomogenen Rohstoffs erreicht wird. Die vertikalen Regalsteher mussten aus konstruktiven Gründen in einem Stück gefertigt. Dies spart auf der Baustelle Montagezeit, bedingt aufgrund der großen Länge der Bauteile aber einen LKW Sondertransport in Überlänge. Bei der Montage des Holz-Hochregals wurden beim Untersuchungsobjekt anstatt eines Turmdrehkrans zwei Fahrzeugkräne eingesetzt. Die übrigen Baumaschinen waren identisch der Stahl-Variante. Während der Nutzungsphase hat auch das Holz-Hochregal keine Umweltauswirkungen. Bei der Demontage und dem Abtransport des Altholzes kann dieselbe Vorgehensweise wie beim Stahl-Hochregal angewandt werden. Das Altholz wird anschließend entsprechend der Altholzabfuhrrichtlinie [2] aufbereitet und thermisch verwertet.

Datengrundlage

Zur Berücksichtigung aller bisher genannten Prozesse sind zahlreiche Daten zu Energie- und Stoffflüssen erforderlich. Diese können aufgrund ihrer Komplexität meist nicht selbst ermittelt werden. Es stehen jedoch mehrere Datenquellen zur Verfügung. Im Baubereich weit verbreitet sind sogenannte Umweltproduktdeklarationen –kurz EPD– nach DIN EN 15804 [3] und Datensätze aus der Online-Baustoffdatenbank Ökobau.dat [4]. Diese Daten stellen Ökobilanzen von einzelnen Baustoffen dar und berücksichtigen meist die Phasen A1-A3 sowie D (vgl. Abbildung 1). So konnten die Daten für die Herstellung und das Recycling aller Baustoffe, mit Ausnahme der Verbindungsmittel, aus diesen Quellen entnommen werden. Für die übrigen Prozesse wurde die Datenbank der Ökobilanzierungssoftware GaBi 6 verwendet, welche in der Branche weit verbreitet ist. Leider sind darin keine passenden Daten zu den beschriebenen Baumaschinen bei der Montage und dem Abriss vorhanden, weshalb die Umweltauswirkungen dieser Geräte mit Hilfe des Tremod-MM Modells [5] abgeschätzt wurden.

Ergebnisse



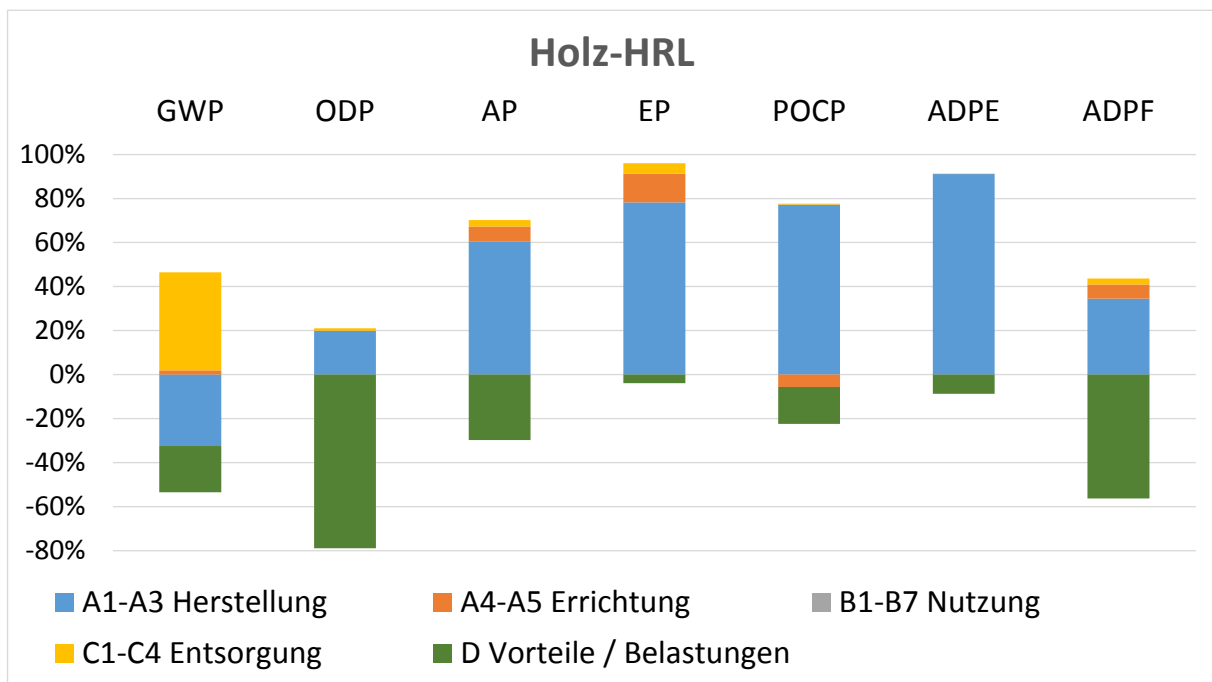
Kurzsn.	Einheit	Bezeichnung
GWP	kg CO ₂ -Äqv.	Globales Erwärmungspotenzial (Treibhauseffekt)
ODP	kg CFC11-Äqv.	Ozonabbaupotenzial (Abbau Ozonschicht)
AP	kg SO ₂ -Äqv.	Versauerungspotenzial (Saurer Regen)
EP	kg (PO ₄) ₃ -Äqv.	Eutrophierungspotenzial (Überdüngung)
POCP	kg Ethen-Äqv.	Ozonbildungspotenzial (Sommersmog)
ADPE	Kg Sb-Äqv.	Abiotischer Abbau elementarer Ressourcen (Metalle, Mineralien usw.)
ADPF	MJ	Abiotischer Abbau fossiler Ressourcen (Erdöl, Erdgas usw.)

Abbildung 2: Ergebnisse Ökobilanzierungen, Umweltauswirkungen pro Stellplatz

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse bzw. einen Vergleich der beiden Ökobilanzierungen. Die Daten veranschaulichen dabei die Umweltauswirkungen pro Stellplatz. Es ist ersichtlich, dass das Holz-Hochregal bei fünf der sieben Wirkungsindikatoren besser abschneidet als das Stahl-Regal. Nach einer Veröffentlichung des Umweltbundesamts [6] können die Wirkungsindikatoren in ihrer Wichtigkeit geordnet werden (siehe Buchstaben A(höchste) bis D(niedrigste) in Abbildung 2). Beim Beitrag zum Treibhauspotenzial GWP (Prio. A), zum Ozonabbaupotenzial ODP (Prio. A) sowie dem abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe ADPF (Prio. C) weist das Holz-Regal wie erwartet ein negatives

Äquivalent (positive Auswirkung auf die Umwelt) auf, wodurch der Unterschied zwischen Holz und Stahl besonders groß ausfällt. Lediglich beim Eutrophierungspotenzial (Prio. B) und beim Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (Prio. D) sind die Umweltauswirkungen des Holz-Hochregals größer als beim Stahl-Regal. Dies wird vor allem durch die Trocknung des Rohholzes und den Verbrennungsprozess am Lebensende hervorgerufen.

Die relativen Beiträge der einzelnen Lebensphasen zum Gesamtergebnis zeigt Abbildung 3. Man kann erkennen, dass vor allem die Herstellungsphase A1-A3 und die Gutschriften D aus dem Recycling den größten Anteil besitzen und somit die Gesamtumweltauswirkungen hauptsächlich durch die Baustoffe bestimmt werden. Die Transporte A4/C2 sowie die Montage A5 und der Abriss C1 spielen nur eine untergeordnete Rolle. Der große Anteil von C1-C4 beim GWP des Holz-Hochregals wird durch die Freisetzung des gespeicherten Kohlenstoffs bei der thermischen Verwertung verursacht.



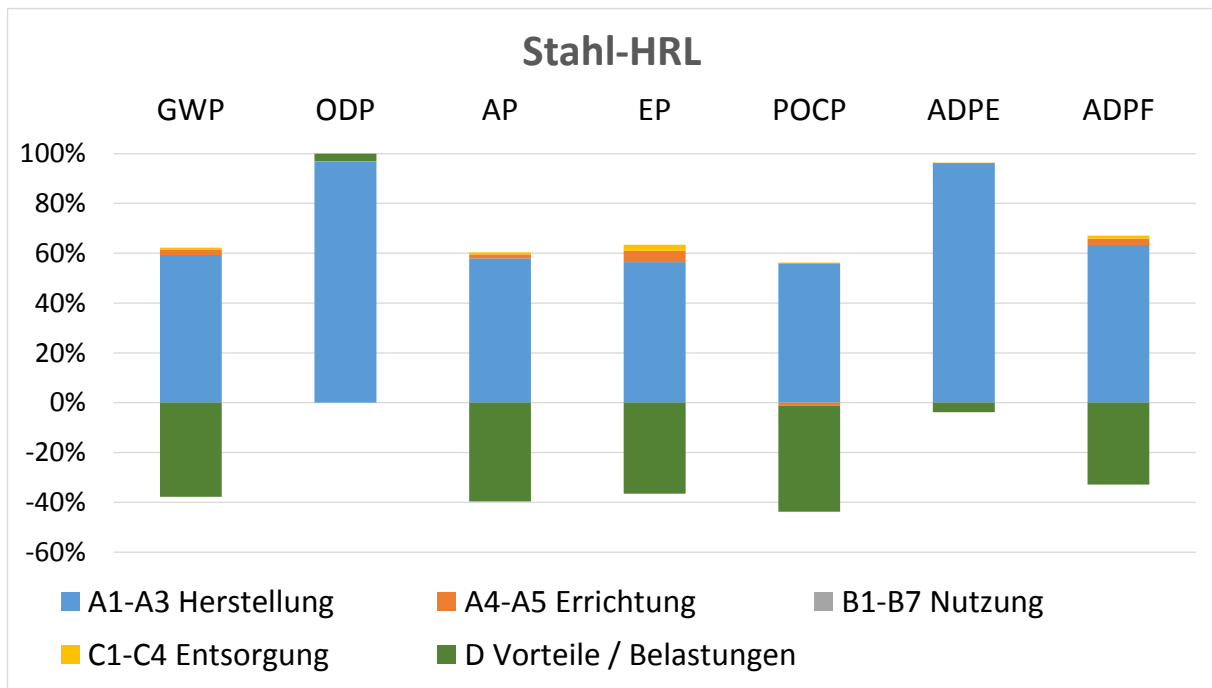


Abbildung 3: relative Beiträge der Lebensphasen zum Gesamtergebnis

Zusammenfassung

Durch Ökobilanzierung eines repräsentativen Holz-Hochregals sowie eines funktionsgleichen Stahl-Regals konnten die Umweltauswirkungen der beiden Bauweisen ermittelt und miteinander verglichen werden. Es hat sich gezeigt, dass sich die Holzvariante bei fünf der sieben Wirkungsindikatoren günstiger auf die Umwelt auswirkt als die konventionelle Stahlbauweise und diese Kategorien zudem eine höhere Priorität besitzen. Somit stellt das Holz-Hochregal insgesamt die ökologisch nachhaltigere Bauweise dar.

Literatur

[1] DIN EN 15643-2: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 2: Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.

[2] Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung – AltholzV). Bundesrechtsverordnung, 2002.

[3] DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklaration – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.

[4] ÖKOBAUDAT - Informationsportal Nachhaltiges Bauen: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. <http://www.oekobaudat.de>, Abruf: 08.12.2015

[5] Lambrecht, U.; Helms, H.; Kullmer, K.; Knörr, W.: Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Luftschadstoffemissionen und des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren in mobilen Geräten und Maschinen. Forschungsbericht: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, 2004.

[6] Schmitz, S.; Paulini, I.: Bewertung in Ökobilanzen - Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043. Umweltbundesamt, 1999.