

Vergleich der umweltrelevanten Faktoren von Holzfurnierlagenverbundwerkstoffen (WVC – Wood Veneer Composite) und metallischen Werkstoffen am Praxisbeispiel eines Skidfördersystems

Comparison of the environmental factors of Wood Veneer Composite (WVC) and metallic structural materials in the practical example of a skid conveyor system

*Katrin Feig
Sven Eichhorn*

*Professur Fördertechnik
Institut für Fördertechnik und Kunststoffe
Fakultät für Maschinenbau
Technische Universität Chemnitz*

Für eine Beurteilung von Produkten bzw. Produktsystemen im Maschinenbau spielen neben technischen Kennwerten immer mehr die Umweltauswirkungen der Systeme eine wichtige Rolle. Diese Anforderungen haben die Nachfrage für nachhaltige und umweltfreundliche Konstruktionswerkstoffe im Maschinenbau erhöht. Eine Möglichkeit für solche ökologisch vorteilhaften Werkstoffe stellen ausgewählte Holzwerkstoffe dar. Mit diesen Holzwerkstoffen sollen technische Produkte entwickelt werden, welche den Unternehmen die Möglichkeit eröffnet, ihren unternehmerischen Beitrag zur Nachhaltigkeit zu steigern und wirtschaftliche Vorteile zu erzielen. Durch diesen Ansatz ist ein gewisses Maß an Ressourcen- und Energieeffizienz verbunden, dass sich kurzfristig und / oder langfristig wirtschaftlich lohnt. Ein damit verbundener gesellschaftlicher Imagegewinn erzeugt einen zusätzlichen Nutzen. Als sogenannte GLP (Green Logistics Plant) wird diese Art der Holzkonstruktion gegenwärtig im Bereich der Fördertechnik entwickelt und angewendet.[Ei12] Ein Anwendungsbeispiel innerhalb der GLP stellt das Gestellsystem für einen Skidförderer dar.

Um die ökologische Wirkung der Konstruktionswerkstoffe transparent und nachvollziehbar zu untersuchen, werden vordergründig die Kategorien des Treibhauspotenzials und des (Primär-) Energieaufwandes genutzt. Weiterhin werden die Wirkungskategorien Versauerung, Eutrophierung, Sommersmog und Ozonabbau analysiert. Ergänzend zu bestehenden Untersuchungen [Fe14a], [Fe14b] soll die ökologische Vorteilhaftigkeit von Holzfurnierlagenverbundwerkstoffen (Wood Veneer Composite – WVC), Baustahl, verzinktem Stahl und Aluminiumlegierungen in der Lebensphase Produktion untersucht werden. Anschließend werden die Ergebnisse auf das Gestell eines Skid-Fördersystems aus WVC und Baustahl übertragen.

[Schlüsselwörter: Primärenergieaufwand, Treibhauspotenzial, Holzwerkstoff, Fördertechnik, technische Intralogistik]

For an assessment of products and product systems in engineering not only technical characteristics but more and more the environmental impact of the systems are important. These requirements have increased the demand for sustainable and environmentally friendly construction materials in mechanical engineering. One possibility for such ecologically beneficial materials represents selected wood materials. These wood materials will be developed technical products, which opened the company the opportunity to increase their business contribution to sustainable and to achieve economic benefits. Through this approach, a certain amount of resource and energy efficiency is connected, the economically is worth in the short term and / or long term. A related social image enhancement produces an additional benefit. The so-called GLP (Green Logistics Plant), this type of timber construction is being developed and applied in the field of conveyor.[Ei12] An example of application within the GLP represents the frame system for a skid conveyor.

To investigate the ecological impact of construction materials transparent and comprehensible the categories warming potential and primary energy demand will be used. Furthermore, the impact categories acidification, eutrophication, summer smog and ozone depletion are analyzed.

Complementing to existing studies [Fe14a], [Fe14b] seeks to determine the ecological benefits of wood veneer composite materials (WVC), mild steel, galvanized steel and aluminum alloys in the production phase of life. Subsequently the results are transmitted to the frame of a skid conveyor system from WVC and structural steel.

[Keywords: Primary energy demand, global warming potential, wood material, conveyor technology, technical intralogistics]

1 METHODIK

1.1 ZIELE UND VORGEHENSWEISEN

Ziel der Analyse ist es, dass der Anwender die Konstruktionswerkstoffe, die Bauweise und das daraus abgeleitete Anwendungsbeispiel transparent ökologisch bewerten kann.

„Ökologisch vorteilhaft“ wird in der Literatur nicht als Prädikat (vgl. „Blauer Engel“) definiert, sondern mit einem geringen Material- und Energiefluss gleichgesetzt.[Bi10] Übertragen auf diese Studie sind mit der Formulierung „Ökologisch vorteilhaft“ ein geringer Primärenergie (PREN)-Aufwand und ein geringes Treibhauspotenzial (THP) gemeint. Da (PREN)-Aufwand und THP Umweltbelastungen am meisten beeinflussen, erfahren die anderen Wirkungskategorien eine nicht so umfangreiche Analyse.

Grundlage der nachfolgenden ökologischen Bewertung sind zwei Referenzgrößen: die Bezugsgröße (Herstellung von 1 kg Werkstoffmasse) und funktionelle Einheit (1 Stück Skidförderer). Für diese Referenzgrößen werden zuerst das THP und der PREN-Bedarf bestimmt. Zur Vervollständigung und vertiefende Analyse des Vergleichs erfolgt die Bestimmung weiterer umweltrelevanter Faktoren. Folgendes Vorgehen wird dabei angewendet:

- Schritt 1: Allgemeine Grundlagen und Grenzen der ökologischen Bewertung
- Schritt 2: Festlegen der Randbedingungen der ökologischen Bewertung
- Schritt 3: Darstellung und Analyse des Standes der Wissenschaft
- Schritt 4: Recherche zu den Kenndaten der Konstruktionswerkstoffe (WVC, Baustahl, verzinkter Stahl, Aluminiumlegierung) auf Basis öffentlich zugänglicher Quellen (sekundäre Datenquellen)
- Schritt 5: ökologische Bewertung der Konstruktionswerkstoffe in der Produktionsphase auf Basis der Bezugsgröße
- Schritt 6: ökologische Bewertung der Skidförderer (= funktionelle Einheit) auf Basis der Bezugsgröße 1 kg Werkstoffmasse.

1.2 GRUNDLAGEN DER ÖKOLOGISCHEN BEWERTUNG

In einer ökologischen Bewertung bilden die modellierten Stoffflüsse das Fundament zur Abschätzung der daraus resultierenden Umweltwirkungen. Für die Berechnung dieser Umweltwirkungen eignet sich die

Ökobilanz. Eine Ökobilanz nach den Normen DIN EN ISO 14040 [DI40] und 14044 [DI44] setzt sich aus vier Phasen zusammen: Festlegen von Ziel und Untersuchungsrahmen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung.

Nachdem das Ziel, die beabsichtigte Anwendung und Gründe für die Durchführung der Ökobilanz definiert sind, kann im Untersuchungsrahmen die funktionelle Einheit festgelegt werden. Mit der funktionellen Einheit werden Nutzen und Leistungsfähigkeit des analysierten Produkts beschrieben. So soll der Vergleich einer Bauweise mit gleicher technischer Funktionserfüllung aus verschiedenen typischen Konstruktionswerkstoffen des Maschinenbaus (z. B. Baustahl) eine geeignete funktionelle Einheit darstellen. Anschließend müssen im Untersuchungsrahmen die Systemgrenzen festgesetzt werden.

Die Sachbilanz listet alle Eingangs- und Ausgangsmaterialien der Materialflüsse, Energieträger sowie die daraus resultierenden Emissionen auf. Zur Vervollständigung der Stoffflüsse in der Sachbilanz werden auch alle benötigten Vorprodukte aufgeführt, die einen Einfluss auf die Entstehung des zu bilanzierenden Produktes besitzen. Idealerweise stehen am Anfang der Eingangsmaterialien die unverarbeiteten Rohstoffe und Energieträger und am Ende die Emissionen und Stoffe, die durch das Produkt entstehen.

In der Wirkungsabschätzung werden anschließend die Sachbilanzdaten den einzelnen Umweltwirkungen klassifiziert. So begünstigen z. B. Kohlendioxid (CO₂), Methan und Distickstoffmonoxid das THP, das mit einem entsprechenden Wirkungsindikator [kg CO₂-Äquivalente] ausgedrückt wird. Neben dem THP gehören das Versauerungs- und Eutrophierungspotenzial sowie der Ozonabbau und Sommersmog zur Wirkungsabschätzung. Die Angaben der Sachbilanzdaten werden den entsprechenden Wirkungskategorien zugeordnet und als Indikatorwerte ausgedrückt. So beinhaltet das THP die Wirkungskategorie des anthropogenen Treibhauseffektes, der den Klimawandel bewirkt. Hauptsächlich resultieren die Treibhausgase aus der Nutzung von fossilen Energieträgern. Der größte Anteil an CO₂ ist in den Verbrennungsabgasen enthalten, welche unvermeidbar bei der Verbrennung von Erdöl, Erdgas und Kohle entstehen. Nahezu null Emissionen können Erneuerbare Energien vorweisen, da diese keinen Verbrennungsprozess benötigen. Eine Ausnahme stellt die Bioenergie (z. B. aus Holz) dar. Diese werden verbrannt, um Energie zu gewinnen. Entscheidend ist die resultierende Kohlenstoff-Bilanz, da die Pflanzen bei der Verbrennung nur so viel CO₂ freigeben, wie diese aus der Atmosphäre entnommen hat. Daher kann die Bioenergienutzung im Sinne der Nullemissionen gerechnet werden, da keine Erhöhung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre stattfindet.[Fe13] Das heutige Wirtschaftssystem ist

zwingend auf die Energiebereitstellung angewiesen. Demzufolge beeinflusst aktuell keine andere Wirkungskategorie die Unternehmen mehr in Ihrer Nachhaltigkeitsstrategie. Ferner begünstigen die für den Klimawandel verantwortlichen Emissionen weitere Umweltauswirkungen wie Ozonabbau und Sommersmog.

Die Auswertung identifiziert die maßgeblichen Einflussgrößen und beurteilt die Studienqualität. Aufbauend auf den Ergebnissen, unter Berücksichtigung der gewählten Bilanzgrenzen, werden Schlussfolgerungen und Empfehlungen aufgeführt.

1.3 GRENZEN DER ÖKOLOGISCHEN BEWERTUNG

Hauptprobleme und Fehlerquellen bei der Verwendung von sekundären Datenquellen sind die fehlenden Angaben zur Datenqualität, wie z. B. der

- Transparenz zur Ermittlung,
- Aktualität,
- Objektivität,
- Genauigkeit,
- Vollständigkeit, usw.

Eine weitere Fehlerquelle sind die meist unbekannt oder fehlerhaft angenommenen Systemgrenzen. Einerseits können Analysen mit unterschiedlichen Systemgrenzen verzögerte Umweltauswirkungen nicht erfassen. Andererseits besteht die Möglichkeit, dass eine Bilanzierung von Umweltproblemen erfolgt, die in späteren Lebensphasen durch entsprechende Maßnahmen kompensiert werden. Folgen, der nicht erfassten Materialflüsse und Energieträger, sind veränderte Werte der Wirkungskategorien. Durch diese Differenz ist eine Vergleichbarkeit der Daten untereinander nicht mehr gegeben.

Ein Beispiel für fehlerhafte Systemgrenzen bietet die Erteilung einer sogenannten Gutschrift bei der Faktorenermittlung. Hierbei kann es sich um zwei Arten der Gutschrift handeln: Zum einen beim Holzwerkstoff und dessen CO₂-Speicherung (Reduzierung des THP). Zum anderen eine Energiegutschrift (Reduzierung des PREN-Bedarfes) bei der thermischen Verwertung von Holzwerkstoffen als Ersatz für fossile Energieträger.

Eine Gutschrift kann auch bei metallischen Werkstoffen erfolgen. In diesem Fall wird in der Primärherstellung der beinhaltete Recyclinganteil vom Werkstoff aus dem Sekundärkreislauf als Rohstoff nicht beachtet. Dies führt zur Reduzierung des PREN-Aufwandes und THP. Es ist unklar, ob metallische Sekundärwerkstoffe aus dem Recycling als Rohstoffe oder als Kreislaufprodukte bilanziert werden. Insgesamt

besitzen recycelte Stoffe deutlich niedrigere Kennwerte als Rohstoffe aus der Primärproduktion. Als Kreislaufprodukt werden die umweltrelevanten Faktoren über jeden Recyclingzyklus aufsummiert und der „ökologische Rucksack“ aus der Vorgeschichte (Primärproduktion, vorgelagerte Recyclingzyklen) beachtet. In Kenntnis dieses Sachverhaltes hat das Stahlinstitut Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh) seit Februar 2014 recycelten Stahl mit einem Logo versehen. Mit diesem Logo soll der „ökologische Rucksack“ dargestellt werden, der alle Stoff- und Energieflüsse in der Primärproduktion erfasst und mit Anzahl der Recyclingzyklen immer kleiner werden. Der „ökologische Rucksack“ pro Zyklus (Mittelwert aus allen Zyklen) reduziert sich dabei stetig.[VD14] Dies soll dazu beitragen den Anwender auf die dezimierten Faktoren hinzuweisen.

Die Konsequenz dieser verschiedenartigen Gutschriften ist, dass der reale Wert der Energieaufwendung und des THP sehr oft verzerrt dargestellt wird. Damit ist unklar, ob ein objektiver Vergleich von Werkstoffen möglich ist bzw. erfolgt. Zudem leidet die Transparenz des Vergleiches erheblich.

Die Rechercheergebnisse für alle Werkstoffe unterliegen grundsätzlich der Einschränkung, dass die ermittelten Werte stark von den Randbedingungen (Kapitel 2) abhängig sind. Eine exakte Analyse ist daher nur innerhalb gleicher Randbedingungen möglich.

2 RANDBEDINGUNGEN

2.1 WERKSTOFF UND BAUWEISE

Unter den Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit und der Erfüllung technischer Anforderungen stellt die Werkstoffgruppe der WVC spezifisch mechanische und ökologisch vorteilhafte Konstruktionswerkstoffe dar.[Ei10a] WVC ist ein Vorschlag für einen Oberbegriff für Werkstoffe aus Holz furnier.[Ei10b] Als WVC werden in dieser Studie unverdichtete, plattenförmige Halbzeuge aus Furnier mit beliebigem Schichtaufbau angesehen. Verdichtetes und mit Phenolharz getränktes WVC, wie das Kunstharzpressholz, ist kein Bestandteil dieser Analyse. Daher gilt die ökologische Bewertung nicht für die ganze Werkstoffgruppe der WVC.

Die Verbindung einzelner Komponenten in der Bauweise erfolgt über handelsübliche metallische Verbindungselemente. Aufgrund des Leichtbaupotenziales von WVC (spezifisch mechanische Kennwerte) sind integrative Bauweisen möglich, die technische Vorteile gegenüber Bauweisen mit tradierten, metallischen Konstruktionswerkstoffen bieten.[Ei11],[Mü12] Tradierte, metallische Konstruktionswerkstoffe des Maschinenbaus sind Baustahl (z. B. S235JR), verzinkter Stahl

(z. B. S235JR+AR) und Aluminiumlegierungen (z. B. AlMgSi0,5). Baustahl, verzinkter Stahl und Aluminiumlegierung werden, wie das WVC, als Oberbegriff für Werkstoffgruppen verstanden. Offen ist, wie hoch die Umweltbelastung von WVC im Vergleich zu den tradierten metallischen Konstruktionswerkstoffen ist.

Die Analyse des THP und PREN-Aufwandes der vier Konstruktionswerkstoffe wurde komplett auf Daten aus sekundären Quellen aufgebaut, d. h. es wurden keine eigenen Untersuchungen zum PREN-Verbrauch oder Emissionsverhalten für die Produktion der Werkstoffe durchgeführt. Als Systemgrenze für die Konstruktionswerkstoffe wurde die Herstellung von 1 kg plattenförmigem Halbzeug gewählt. Die Kennwerte für die Bauweise wurden über die verbaute Masse an Werkstoff ermittelt. Bei der Holzkonstruktion werden die metallischen Verbindungsmittel über die Masse mit bilanziert.

Die Kennwerte enthalten, wenn nicht gesondert ausgewiesen, keine Gutschriften.

2.2 BAUWEISE IN DER ANWENDUNG ALS GESTELLSYSTEM FÜR EINEN SKIDFÖRDERER

Skidförderer werden innerhalb des innerbetrieblichen Materialflusses bei der Automobilproduktion zum Transport von PKW-Karosserien eingesetzt. Der Skid ist ein Werkstückträger. Er wird mittels einer Rollenbahn (Skidförderer) bewegt.

Abbildung 1 zeigt den Skidförderer in der Holzkonstruktion. Der Förderer wurde entsprechend der technisch relevanten Eigenschaften aus dem WVC Birkensperrholz (15-lagiges RigaPly, Abbildung 1) umgesetzt.[Ec14]

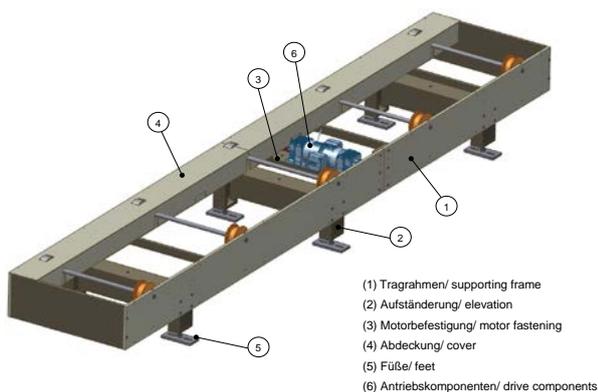


Abbildung 1. Konstruktive Umsetzung eines Skidförderers auf Grundlage von WVC

Die einzelnen Teile des Förderers sind der Tragrahmen, die Aufständerung, Motorbefestigung, Abdeckung, Füße und Antriebskomponenten sowie die erforderliche Verbindungstechnik. Der Skidförderer in

Holzkonstruktion ist, soweit möglich, baugleich zur Variante aus Baustahl. Die Füße (5) und Antriebskomponenten (6) sind bei beiden Fördersystemen identisch. Unterschiede bestehen nur im Gestellsystem.

Die ökologische Bewertung der Skidförderer erfolgte auf Basis der grundlegenden Bewertung der Bauweise, d. h. es wurde nur die verbaute Masse an Werkstoff für das Gestellsystem bilanziert. Der komplette Fertigungsprozess, dessen Einzelteile, die Montage des Gestells und die Nutzung der Konstruktion werden nicht analysiert. Alle identischen Anbauteile (Antriebskomponenten, Füße) werden als konstant angenommen und nicht mit analysiert.

3 UNTERSUCHUNGEN ZUR ÖKOLOGISCHEN BEWERTUNG

3.1 STAND DER WISSENSCHAFT

3.1.1 DATENLAGE BIS 2009

Für Holzwerkstoffe und metallische Bauteile ist die Datenlage bis 2009 durch viele Fragmente gekennzeichnet. Schwerpunkte der Untersuchungen sind die Energieaufwendungen und mechanischen Eigenschaften im Vergleich zu metallischen Werkstoffen. Erst mit Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls im Jahr 2005 erhält das THP in diesem Kontext seine Bedeutung, da Treibhausgase als Hauptursache der globalen Erwärmung gelten.

Unter Beachtung der vorherrschenden Produktionstechnologie legten Rug et. al. [Ru89] dar, dass Vollholz gegenüber den Metallwerkstoffen Aluminium (AlMgSi0,5) und Baustahl (S235JR) bei seiner verhältnismäßig geringen Masse nicht nur eine hohe Festigkeiten vorweist, sondern auch einen PREN-Vorteil bei der Verarbeitung bietet. Nach Eichhorn et. al. [Eichhorn et. al., 2010a] bestehen lediglich meist Nachteile im Hinblick auf die spezifische Steifigkeit. Somit zeichnet sich Vollholz als ein kostengünstiger, spezifisch mechanisch vorteilhafter und energieeffizienter Konstruktionswerkstoff aus. Des Weiteren ist eine ortsnahe Rohstoffversorgung zu befürworten, da diese nicht nur kurze Transportstrecken vorweisen, sondern auch insgesamt weniger Energie benötigt und CO₂ freigesetzt wird. Somit kann Vollholz als regional erzeugtes Produkt auf eine sehr vorteilhafte Energiebilanz verweisen.[Fi04] Die Verwendung von Vollholz in der Produktion hilft Energie zu sparen und das THP gering zu halten. Ausgehend von einer Tonne Werkstoff wird nachfolgend ein allgemeiner Vergleich für den Energiebedarf von Holz und metallischen Werkstoffen aufgeführt: Wird der mittlere Energiebedarf verglichen, erfordert Stahl einen 17-fach bzw. Aluminium 70-fach höheren Energiebedarf als Holz.[Ni06] Bezogen auf ein praktisches Beispiel, wie die Herstellung eines

Stützpfeiler (3 m) mit identischer Lastauslegung, ändern sich diese Angaben nur für Aluminium (126-fach höher).[Fi04] Während der thermischen Verwertung erzeugen Holzprodukte mehr Energie als diese insgesamt zur Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung erfordern und zählen daher zu den Plusenergieprodukten.[Fr01]

Eine Studie im Bauwesen hat gezeigt, dass Vollholz und Holzwerkstoffe über nennenswerte ökologische Potenziale verfügen. Im Verbundprojekt ÖkoPot [Al08] erfolgt eine ökologische Beurteilung verschiedener Bauteile aus Holzwerkstoffen und metallischen Werkstoffen (Metall und Aluminium) sowie deren klimarelevante Effekte. Es werden Vollholz, Brettschichtholz (BSH) und ein 3-lagiges Holzprofil verglichen. Basis für jeden Bauteilvergleich bildet eine gleichartige Funktionalität bei identischer Lebensdauer. Bei diesen Bauteilen zeigte sich, dass die PREN von Holzwerkstoffen im Gesamtlebenszyklus mit einem sehr hohen Anteil (67 %) an regenerativen Energiequellen gedeckt wird und daraus ein niedriges THP resultiert. Ausgehend vom Anforderungsprofil der Bauteile benötigen Holzwerkstoffe im Schnitt für die jeweiligen Komponenten die niedrigste PREN. Dies wird vor allem bei dem Hallenträger aus BSH deutlich, der bei gleicher Lastauslegung 41 % weniger PREN zur Herstellung benötigt als die Variante aus Stahl. Hauptsächlich ist dies auf das gespeicherte CO₂ während der Wachstumsphase des Holzes (CO₂-Gutschrift) und der einfachen Herstellung zurückzuführen. Im Gegensatz hierzu besitzen die Metall- und Aluminiumprodukte einen zwingenden Bedarf an fossilen Energieträgern (95 %) bei der Produktion, welcher sich in Folge negativ auf das THP auswirkt. Ist die Nutzungsphase abgeschlossen, werden die Werkstoffe der Sekundärproduktion zugeführt oder zur Energiegewinnung genutzt. Mit dieser Vorgehensweise können die Holzbauteile fossile Energie ersetzen und gutgeschrieben werden. Das Recycling (100 %) der Stahl- und Aluminiumprodukte begünstigt an diesem Punkt eine Einsparung an fossilen Energieträgern und Treibhausgasen. Somit erhöhen die Metallwerkstoffe in der Sekundärproduktion ihre Vorteile gegenüber den Holzwerkstoffen.

Der Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie e. V. (VHI) kommuniziert einen niedrigen PREN-Bedarf für Bauholz im Vergleich zu metallischen Konstruktionswerkstoffen. Würde die Wirkung des Forst- und Holzsektors nicht berücksichtigt, wären die Treibhausgasemissionen in Deutschland 16 % höher.[Sa13]

Die aufgezeigten Daten vermitteln den Eindruck, dass Holz und Holzwerkstoffe mit niedriger PREN und niedrigem THP besser gegenüber metallischen Konstruktionswerkstoffen (Baustahl, Metall und Aluminium) sind.

Bekannt ist, dass der Energieinput mit dem Zerkleinerungsgrad des Vollholzes steigt.[Wa12] Daraus lässt sich schließen, dass WVC schlechter als Vollholz sind, aber günstiger als Partikelwerkstoffe (MDF usw.). Unklar ist die Einordnung von WVC zu metallischen Werkstoffen wie Baustahl, verzinkten Stahl und Aluminium.

3.1.2 DATEN AB 2010

Ab dem Jahr 2010 lässt sich die Entwicklung zu separaten Ökobilanzen für die Konstruktionswerkstoffe verzeichnen. Somit werden diese Werkstoffe nicht mehr direkt einander gegenübergestellt, sondern der Nutzer muss den Vergleich selbstständig aufbereiten.

In Müller et al. [Mü12] zeigte sich auf Basis aktuellerer Werkstoffkennwerte, dass die Vorteile von WVC gegenüber den Metallwerkstoffen geringer ausfallen als die Ausführung in Kapitel 3.1.1 suggerieren bzw. teilweise keine Vorteile existieren. Die potenziellen Fehlerquellen (vgl. Kapitel 1.3) finden häufig in den Datenbanken keine gesonderte Ausweisung. Zudem wurde festgestellt, dass WVC hinsichtlich PREN und THP Vorteile besitzt, wenn der Vergleich mittels identisch belastbarem Bauteil (z. B. gleiche Biegesteifigkeit bei Kastenprofil aus beschichtetem Birkenperrholz vs. Kastenprofil aus Baustahl) durchgeführt wird. Diese Erkenntnis geht konform mit der umfangreicheren Studie ÖkoPot (vgl. Hallenträger aus BSH) einher.

3.2 STUDIE ZU AUSGEWÄHLTEN WIRKUNGSINDIKATOREN VON WVC, (BAU-)STAHL UND ALUMINIUMLEGIERUNG

3.2.1 ALLGEMEINE ANNAHMEN UND QUELLEN

Aufbauend auf Müller et al. [Mü12], wurde eine Studie begonnen, um die erzielten Ergebnisse auf eine breitere Datenbasis zu stellen und damit die ökologische Einordnung von WVC zu ermöglichen. Die Studie fokussiert die Produktion der Werkstoffe (Systemgrenze, vgl. Kapitel 2.1).

Konkrete Informationen zur Rohstoffgewinnung existieren für die Konstruktionswerkstoffe nicht. Der Transport von Rohstoffbereitstellung zur Produktion ist durch den individuellen Abbauort und Transportmitteln nicht in den Datentabellen enthalten und daher eher von untergeordneter Bedeutung. Die Konstruktionswerkstoffe unterscheiden sich in der Zusammensetzung an den eingesetzten Rohstoffen. WVC besteht aus Rundholz mit 8 % Phenolharzanteil [Rü12]. Baustahl und verzinkter Stahl aus der Primärproduktion (Eisenerz) können bis zu 35 % Schrottanteil [ba12] (Sekundärproduktion) enthalten. Eine Aluminiumlegierung besteht hauptsächlich aus dem Rohstoff Bauxit. Für das

Endprodukt wird das 4-fache an Bauxit [Ök11] erforderlich.

Um die Angaben zur Produktion zu erhalten, wurden verschiedene Datenbanken und Internetquellen (sekundäre Basis) hinsichtlich THP und PREN-Input für die folgende Werkstoffbezeichnungen gesichtet:

- WVC (Suchbegriff: „Sperrholz“, „Multiplex“, Feuchtbereich),
- Baustahl (Suchbegriff: „Stahl, unlegiert“)
- verzinkter Stahl (Suchbegriff: „Stahl, verzinkt“)
- Aluminiumlegierung (Suchbegriff: „Aluminium“)

Es sei darauf hingewiesen, dass die Datenbankersteller keine genauen Angaben zum Erhebungsdatum, zur Datenherkunft und -ermittlung geben. Die Daten im Bereich Produktion beziehen sich auf den Zeitraum 1999 bis 2013. Software für Ökobilanzierung, wie z. B. in [Lü14] zusammengefasst, wurde nicht angewandt.

Zur Beurteilung der Stoff- und Energieflüsse werden folgende zugängliche Datenquellen aus Europa genutzt:

- bauforumstahl e. V. [ba12]
- CRTIP (Luxemburg) [CR10]
- dataholz (Österreich) [da12]
- EMBA (Schweiz) [Em11]
- Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Hamburg [Rü12]
- Institut für Wald, Produkte, Technologie (Schweden) [Ka99]
- KBOB (Schweiz) [KB12]
- Latvijas Finieris AS (Lettland) [La14]
- ÖkoDat [Ök11]
- ProBas [Pr13]
- Stahlinstitut VDEh [VD13]
- TU Berlin [Ne12]

Als Bezugsgröße wurde 1 kg Halbzeug (Blech, Platte) gewählt. Die relevanten Datensätze beinhalten die Primär- und Sekundärproduktion sowie verschiedene Recyclinganteile bei Metallen. Weitere Beachtung finden nur die Werkstoffe mit einem maximalen Recyclinganteil von 37 %. Dies ist vor allem relevant, da die Primärprodukte in der metallischen Werkstoffherstellung

häufig einen gewissen Anteil an Sekundärprodukte enthalten.(ba12) Tabelle 1 listet alle ermittelten umweltrelevante Faktoren der Konstruktionswerkstoffe auf.

Tabelle 1 Angaben zum PREN und THP für WVC, Stahl und Aluminium aus verschiedenen Quellen

Werkstoff	Datenquelle	Materialname laut Datenbank	PREN in MJ/kg	THP in kg CO ₂ -Äqv./kg	Zeitbezug
WVC	Institut für Holztechnologie und Holzbiologie	Furniersperrholz	38,55	-1,16	2012
	dataholz	Furniersperrholz	43,85	-0,65	2012
	KBOB	Sperrholz, Phenolharz, Feuchtbereich	45,39	0,83	2012
	EMBA	Sperrholz, Phenolharz, Feuchtbereich	45,39	0,83	2011
	CRTIP	Dreischichtplatte	36,96	0,62	2010
	Latvijas Finieris	RigaPly	8,20	0,04	2013
	Institut für Wald, Produkte, Technologie	Kerto	9,52	0,13	1999
Stahl	ÖkoDat	Baustahl	20,13	1,68	2011
	ProBas	Stahl, blank	25,55	1,71	2000
	TU Berlin	Warmband	23,72	1,72	2012
	Stahlinstitut VDEh	Rohstahl	17,90	1,36	2013
	bauforumstahl e. V.	Baustahl	18,64	1,74	2013
		Feuerverzinkter Baustahl	21,39	1,85	
	CRTIP	Stahl, verzinkt	42,38	2,36	2008
		Stahl niedriglegiert, Sekundärproduktion	12,07	0,57	2008
	KBOB	Stahl, blank	29,56	1,84	2012
		Stahl, verzinkt	61,52	3,59	
	EMBA	Stahl, blank, Primärproduktion	34,89	2,30	2011
		Stahl, blank, Sekundärproduktion	20,48	1,07	
		Stahl, blank, 37% Recyclinganteil	29,56	1,84	
		Stahl, blank, 85% Recyclinganteil	22,64	1,25	
Stahl, verzinkt, Primärproduktion		66,85	4,04		
Stahl, verzinkt, Sekundärproduktion		52,44	2,81		
Stahl, verzinkt, 37% Recyclinganteil		61,52	3,59		
Stahl, verzinkt, 85% Recyclinganteil	54,60	3,00			
Aluminiumlegierung	ÖkoDat	Aluminium	186,21	11,68	2011
	ProBas	Aluminium	140,70	11,90	2001
	CRTIP	Aluminium	200,85	11,92	2008
	KBOB	Aluminium, blank	147,85	9,26	2012
	EMBA	Aluminium, blank, Primärproduktion	205,69	12,99	2011
		Aluminium, blank, Sekundärproduktion	35,40	1,99	
		Aluminium, blank, 32% Recyclinganteil	147,85	9,26	
		Aluminium, blank, 80% Recyclinganteil	69,46	4,19	

CO₂-neutrale Energiequelle zurückgreifen. Abbildung 3 stellt dies im Vergleich zu den anderen Werkstoffen dar.

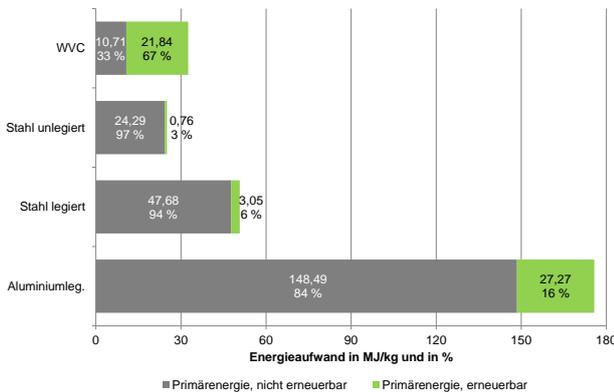


Abbildung 3. Aufteilung der PREN nach erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energiequellen

Durch den hohen Anteil an regenerativen Energieträgern (67 %) ist die Herstellung von WVC besonders umweltverträglich. Emissionen werden nur bei fossilen Energieträgern freigesetzt. Fossile Energieträger (z. B. Kohle) finden speziell bei Baustahl ihre Anwendung (97 %).

Ein weiterer Grund für das niedrige THP von WVC ist durch die Vergabe von CO₂-Gutschriften [Rü12], [da13] belegbar. Um den Einfluss dieser Gutschriften zu filtern, wurde bei WVC in Tabelle 2 ein korrigiertes THP (Spalte 6) angegeben.

Tabelle 2 Mittelwerte für WVC, Baustahl, verzinkter Stahl und Aluminiumlegierung pro kg Werkstoff

Werkstoff	PREN in MJ/kg			THP in kg CO ₂ -Äqv./ kg	korrigiertes THP in kg CO ₂ -Äqv./ kg
	fossil	erneuerbar	Summe		
WVC	10,71	21,84	32,55	0,09	0,49
Baustahl	24,29	0,76	25,05	1,77	1,77
verzinkter Stahl	47,68	3,05	50,73	3,08	3,08
Aluminiumlegierung	148,49	27,27	171,53	11,17	11,17

Neben der Berechnung von Mittelwerten ist auch eine Bilanzierung nach [Lu16] möglich.

3.2.4 INTERPRETATIONSMÖGLICHKEITEN DER ÖKOLOGISCHEN BEWERTUNG

Eine ökologische Bewertung erlaubt verschiedene Interpretationsmöglichkeiten. Inwiefern eine Verschiebung der Systemgrenze hinsichtlich der Art der Energiequellen Auswirkungen auf das Gesamtergebnis hat, wird nachfolgend geprüft. Mit den Informationen aus Abbildung 1, Abbildung 3 und Tabelle 2 lassen sich fünf Szenarien ableiten. In diesen Szenarien werden die fossilen und erneuerbaren Energiequellen abgebildet, die

benötigt werden, um 1 kg Halbzeug als Blech oder Platte zu produzieren.

Szenario 1: fossile Energiequellen (Spalte 2, Tabelle 2) und THP (Spalte 5, Tabelle 2)

Werden nur die fossilen Energiequellen, die neues CO₂ in die Atmosphäre emittieren, aus Tabelle 2 berechnet, verändern sich die Werte für den Energiebedarf beispielhaft für WVC und Baustahl wie folgt: WVC benötigt 10,71 MJ und Baustahl 24,29 MJ PREN. Wird das THP für alle vier Werkstoffe aus Spalte 5 entnommen, kann aus dieser Perspektive dem WVC ein ökologischer Bonus im Mittel nachgewiesen werden. Jedoch enthält das WVC eine CO₂-Gutschrift aus einer vorangegangenen Lebensphase (Wachstumsphase). Mit dieser CO₂-Gutschrift wird der Wert für das THP für die Lebensphase Produktion verzerrt bzw. geschönt dargestellt.

Szenario 2: regenerative Energiequellen (Spalte 3, Tabelle 2) und THP (Spalte 5, Tabelle 2)

Sollen nur die erneuerbaren Energiequellen mit dem THP analysiert werden, können in der Herstellung von (Bau-) Stahl diese Energieträger am wenigsten genutzt werden. Dieses Szenario ist deshalb nicht praktikabel, da fossile Energiequellen zur Herstellung für Stahl zwingend notwendig sind. Somit betragen die Energieaufwendungen für Stahlprodukte max. 3,05 MJ/kg. Der Bedarf an diesen Energiequellen ist bei WVC und Aluminiumlegierung höher als bei Stahl. Durch die Nutzung von Strom durch Windenergie oder Verbrennung von Holz, welche als CO₂-neutral gelten, wird im erheblichen Maße zur Reduzierung der Treibhausgase beigetragen. Allgemein bekannt setzt die Erzeugung von erneuerbare Energiequellen kein neues CO₂ in der Atmosphäre frei. (St11) Somit liegt in diesem Szenario der Wert des THPs bei 0. Es treffen weder Spalte 5 noch Spalte 6 aus Tabelle 2 zu. Das THP kann nur durch fossile Energiequellen erzeugt werden.

Szenario 3: fossile und regenerative Energiequellen (Spalte 4, Tabelle 2) und THP (Spalte 5, Tabelle 2)

In Verbindung mit dem THP aus Spalte 5 kann dieses Szenario das Ergebnis des Werkstoffvergleichs aus Tabelle 2 bestätigen. Für die Herstellung benötigt Baustahl weniger PREN als WVC. Das THP von WVC ist am niedrigsten. In Bezug auf die CO₂-Gutschrift in der Lebensphase Produktion des Werkstoffes WVC erfolgt die Darstellung verzerrt, d. h. das THP ist zu gering, weil die CO₂-Gutschrift aus einer vorangegangenen Lebensphase (Wachstumsphase) enthalten ist.

Szenario 4: fossile Energiequellen (Spalte 2, Tabelle 2) und korrigiertes THP (Spalte 6, Tabelle 2)

In diesem Szenario sind die CO₂ verantwortlichen Energien aus Tabelle 2 mit Szenario 1 identisch. Die

Veränderung der Ausgangsdaten findet beim THP statt, welches nun aus Spalte 6 genutzt wird. Diese Kennzahl beinhaltet nur die emittierten Emissionen während der Herstellungsphase. Dadurch verändern sich nur die Angaben von WVC. Unverändert bleiben die Treibhausgasemissionen für die metallischen Werkstoffe. Auch mit höherem THP kann WVC weiterhin ein ökologischer Bonus im Mittel konstatiert werden.

Szenario 5: fossile und regenerative Energiequellen (Spalte 3, Tabelle 2) und korrigiertes THP (Spalte 6, Tabelle 2)

Szenario 5 stellt den Aufwand an PREN wie Szenario 3 in Kombination mit dem THP aus Szenario 4 dar. In dieser Verbindung resultiert das gleiche Ergebnis wie in Szenario 3. Damit werden der tatsächliche PREN-Aufwand und nur die Emissionen (ohne Gutschriften) abgebildet, die in der Produktionsphase freigesetzt werden. Aus diesem Grund stellt dieses Szenario die Lebensphase Produktion für die vier Konstruktionswerkstoffe am realistischen dar.

Das niedrige THP von WVC in der Produktionsphase ist auf dem hohen Anteil an erneuerbaren Energieträgern zurückzuführen. Es wird deutlich, dass je höher der Anteil an erneuerbaren Energien im Strommix ist, desto weniger schädliche Treibhausgase werden in die Umwelt ausgestoßen.

Für RigaPly ist, trotz Nachfrage beim Hersteller, nicht nachvollziehbar, mit welchen Systemgrenzen und mit welcher Qualität die Angaben ermittelt wurden. Die Werte für Kerto [Ka99] auf Basis eines Life Cycle Assessment sind besser nachvollziehbar und untermauern die Werte für RigaPly [La14].

In Summe wird deutlich, dass eine lebensphasenübergreifende Bilanzierung eine deutliche Verzerrung der realen Werte an Energieaufwendungen bzw. Treibhauswirkung in der Produktion der analysierten Konstruktionswerkstoffe bewirkt. Die daraus resultierenden großen Streubreiten der Daten machen es wahrscheinlicher, dass der reale Wert für PREN-Aufwand und THP für die Produktion des Konstruktionswerkstoffes abgebildet wird. Die praktische Relevanz der errechneten Mittelwerte wird reduziert. Weiterhin lassen sich Hinweise für die Prozessqualität und den Stand der Prozesstechnologie der Herstellungsverfahren für die vier Konstruktionswerkstoffe und Hinweise für Optimierungspotenziale dieser Herstellungsverfahren ableiten. Werden die Werte von Kerto und RigaPly positiv interpretiert, kann von einer technischen Verbesserung im Herstellungsprozess des WVC ausgegangen werden. Der Mittelwert für WVC wird dadurch relativiert. Die Frage nach der ökologischen Bewertung von WVC kann auf Basis zweier Vertreter nicht grundsätzlich beantwortet werden. Dafür sind weitere, grundlegende Studien nötig.

Die Datenlage zeigt, dass unter den beschriebenen Randbedingungen Baustahl im Mittel einen geringeren PREN-Bedarf pro kg produzierten plattenförmigen Werkstoff besitzt als WVC. Damit wurde die Annahmen aus Müller et. al. [Mü12] bestätigt und der ökologische Bonus von WVC existiert, bezüglich des PREN-Bedarfs im Mittel, nicht.

Möglicherweise bietet die Produktion von Kerto und RigaPly wertvolle Anhaltspunkte für eine energetische Optimierung des Herstellungsprozesses von WVC.

3.2.5 ERGÄNZUNG WEITERER WIRKUNGSKATEGORIEN

Weitere Wirkungskategorien einer Ökobilanz, wie das THP, sind die Versauerung, Eutrophierung, Sommersmog und der Ozonabbau. Hierbei handelt es sich um Midpoint-Indikatoren (Wirkungsindikatoren), die ihre potenziellen Schädwirkungen (Endpoint) nicht explizit benennen.[KI09] Midpoint-Indikatoren beschreiben und quantifizieren mögliche Veränderungen des Umweltzustandes und enden häufig vor Ablauf ihrer vollen Wirkungsentfaltung. An diesem Punkt sind bereits bekannte und plausible Zusammenhänge sichtbar, die Prozesse und Substanzen beschreiben. Endpoint-Indikatoren bestimmen die Auswirkungen der Produkte auf die Wirkungsendpunkte nach Ablauf der Umweltwirkung. Zu den Wirkungsendpunkten zählen die menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen. Allgemein gilt, je später die Wirkung der Wirkungsindikatoren (Methoden zur Bewertung von Umweltwirkungen) zugeordnet werden können, desto größer sind die Eindeutigkeit und politische Relevanz der Bewertungsmethodik. Negativ wirkt sich die Unsicherheit auf die Berechnungsergebnisse aus, die im Verlauf der Zeit bei der Modellierung zunimmt.[Bö14]

Für eine korrekte Berechnung, z. B. der Versauerung, müssen alle diejenigen Emissionen erfasst werden, die zu dieser Wirkungskategorie beitragen. So wird die Versauerung u. a. durch Schwefeldioxid und Salpetersäure begünstigt.[KI09] In erster Linie wird Schwefeldioxid bei der Verbrennung fossiler Energieträger zur Bereitstellung von Strom freigesetzt.

Die Berechnung der vier weiteren Wirkungskategorien pro 1 kg Werkstoff basieren auf Grundlage, die in Kapitel 3.2.1, genannter Quellen [ba12], [Ök11], [CR13], [da13], [Rü12], [Pr13]. In Abbildung 4 werden die berechneten Mittelwerte dargestellt.

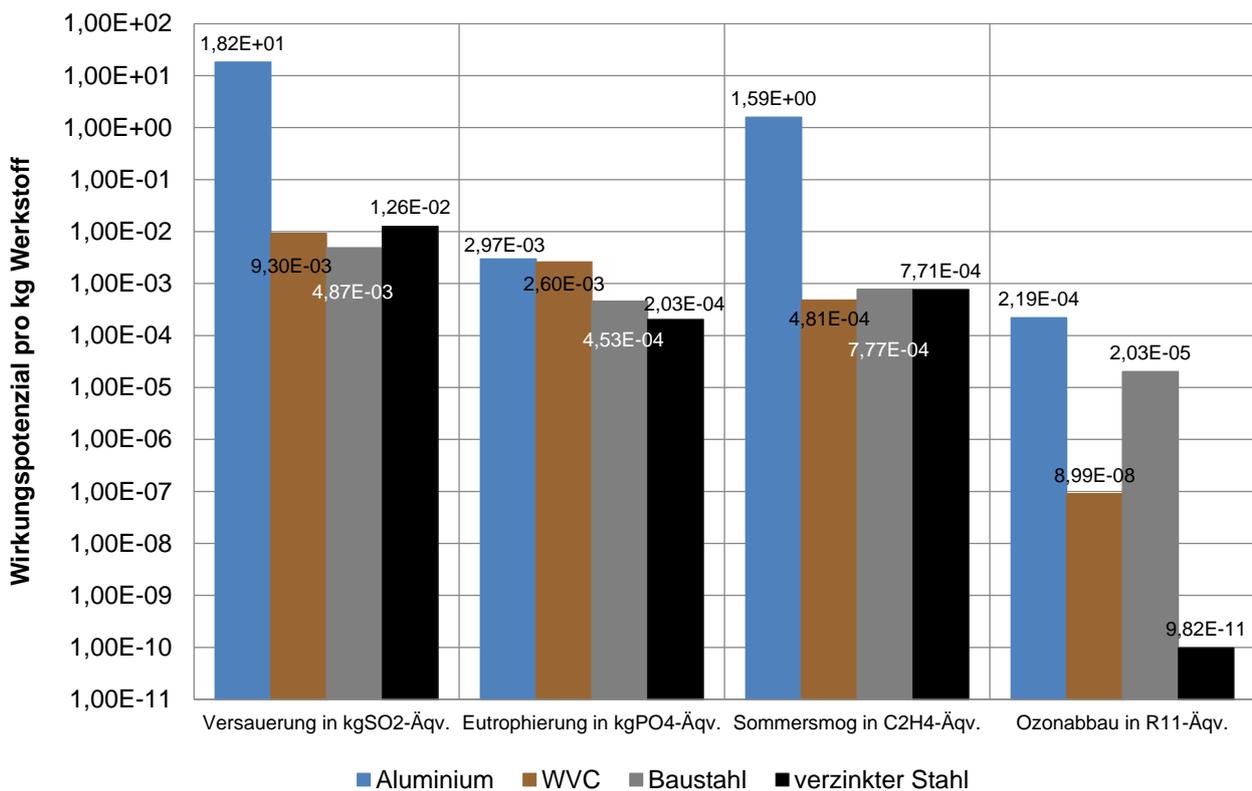


Abbildung 4. Darstellung weiterer Wirkungskategorien der Konstruktionswerkstoffe in logarithmischer Skalierung

Abbildung 4 zeigt, dass die Versauerung, neben dem THP, die Umwelt am meisten negativ beeinflusst. Weiterhin besitzt Aluminiumlegierung auch bei diesen vier Wirkungskategorien die höchsten Werte. Bei WVC ist die Hauptursache das Phenolharz, welches überwiegend aus Rohöl besteht. Des Weiteren erfolgt eine Nichtbeachtung von neu gepflanzten Bäumen im Forst. Wird für jeden abgeholzten Baum ein neu gepflanzter Baum mit einkalkuliert, sinken die Werte der vier Wirkungskategorien für WVC auf nahe Null. Damit wird die Wichtigkeit einer nachhaltigen Forstwirtschaft untermauert und begründet. Bei metallischen Werkstoffen ist das Neupflanzen ihrer Ausgangsrohstoffe nicht möglich.

3.3 ÜBERTRAGUNG AUF DIE GESTELLE DER SKIDFÖRDERER

Der Skidförderer (Abbildung 1) wurde entsprechend der technischen und wirtschaftlichen Anforderungen aus einem WVC, dem Birkensterrholz RigaPly, umgesetzt.[Ec14] Die Teile (1) bis (4) des Skidförderers bestehen aus WVC und sind, soweit möglich, baugleich zur Variante aus Baustahl. Die (5) Füße und (6) Antriebskomponenten sind bei beiden Fördersystemen identisch und bleiben bei der ökologischen Bewertung unbeachtet. Es werden nur die Gestelle mit den Teilen (1) bis (4) verglichen.

Aufbauend auf den Analysen zu den Konstruktionswerkstoffen wurden die Gestelle der Skidförderer in Holzkonstruktion und Metallbauweise in Bezug auf PREN und der insgesamt fünf Wirkungskategorien analysiert.

Der Vergleich erfolgte über das Gewicht des verbauten Werkstoffes. Die Ausgangsbasis der Daten liefert Tabelle 2 und Abbildung 4. Es wurde das korrigierte THP (Tabelle 2, Spalte 4) genutzt. Die Gesamtmasse des Gestells für den Skidförderer aus Baustahl beträgt 155,26 kg. Für die Gestellvariante aus WVC resultiert eine Gestellmasse von 87,26 kg. Davon entfallen 76 kg auf das verbaute WVC im Gestell und 11,26 kg auf Verbindungselemente aus Baustahl. Der komplette Förderer aus Baustahl ist somit ca. 78 % schwerer als die Variante aus WVC. Für die Berechnung der PREN der Holzkonstruktion werden die Mittelwerte von WVC genutzt. Tabelle 3 fasst die umweltrelevanten Faktoren beider Bauweisen zusammen.

Tabelle 3 Berechnung der umweltrelevanten Faktoren des Skidfördereres, bezogen auf die Mittelwerte der Konstruktionswerkstoffe

Umweltrelevanter Faktoren	aus Baustahl	in Holzkonstruktion
PREN in MJ	3.889,26	2.755,86
THP in kg CO ₂ -Äqv.	274,81	57,17
Versauerung in kgSO ₂ -Äqv.	0,76	0,76
Eutrophierung in kgPO ₄ -Äqv.	0,07	0,20
Sommersmog in C ₂ H ₄ -Äqv.	0,12	0,05

Ozonabbau in R11-Äqv.	0,003	0,0002
-----------------------	-------	--------

Trotz höherem PREN-Aufwand im Mittel pro kg Werkstoff (Tabelle 2, Abbildung 4) erreicht das Gestell aus WVC geringere Werte in fast allen Kategorien. Durch die entsprechenden Konstruktionen ist die Versauerung der beiden Skidförderer gleich. Der Nachteil des WVC bei drei der Wirkungskategorien wird durch die Leichtbauweise der Holzkonstruktion kompensiert. Einzig die Eutrophierung bleibt auch in der Holzkonstruktion höher als bei der Baustahlvariante. Das auf die Bauweise bezogene THP, der Sommersmog und Ozonabbau bleiben auch in Kombination von WVC und Verbindungstechnik (Baustahl), im Vergleich zum Gestell aus Baustahl, gering.

3.4 INTERPRETATIONSMÖGLICHKEITEN UND NUTZUNGSSZENARIEN FÜR DIE GESTELLE DER SKIDFÖRDERER

Aufbauend auf den Mittelwerten von Baustahl und WVC existieren für die ökologische Bewertung verschiedene Interpretationsmöglichkeiten. Inwiefern eine Verschiebung der Systemgrenze bei den beiden Konstruktionswerkstoffe Auswirkungen auf das Gesamtergebnis haben, wird im Folgenden geprüft. Die Szenarien des Werkstoffvergleiches werden auf beide Bauweisen übertragen. Der Vergleich soll auf Basis zum PREN und THP erfolgen, da diese beiden Werte verschiedenartig ausgelegt (Tabelle 2) wurden. Folgende fünf Szenarien sind aufbauend auf Kapitel 3.2.4 möglich.

Szenario 1: fossile Energiequellen und das THP

Szenario 2: regenerative Energiequellen und das THP

Szenario 3: fossile und regenerative Energiequellen und das THP

Szenario 4: fossile Energiequellen und das korrigierten THP

Szenario 5: fossile und regenerative Energiequellen und das korrigierten THP

Wir bereits in Kapitel 3.2.4 gezeigt, ist lediglich Szenario 5 realistisch. Die Begründung für die Werkstoffe kann dabei für die Bauweisen übernommen werden.

Die Daten sind als repräsentativ für die deutsche Konstruktionswerkstoffproduktion anzusehen. Eine Übertragung der Ergebnisse der objektiven Mittelwerte von PREN und THP ist auf andere Nutzungsszenarien möglich. Voraussetzung ist, dass die funktionelle Einheit über die entsprechende Masse an Werkstoff definiert wird. Die Gestelle der Skidförderer wurden auf Basis der Ergebnisse der Konstruktionswerkstoffe analysiert. Der Vergleich erfolgte über das Gewicht des verbauten Werkstoffes. Werden diese Angaben auf die Gestelle der

beiden Skidförderer übertragen, resultiert Abbildung 5 für alle fünf Szenarien.

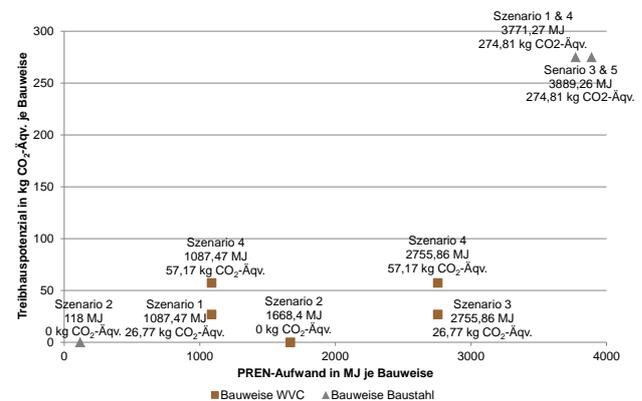


Abbildung 5. Darstellung der Interpretationsvarianten für die Skidförderer

Szenario 5 ist realistisch. Dessen Werte wurden nachfolgend für die Berechnung der Werte aus Tabelle 2 verwendet. Die Gesamtmasse des Gestells für den Skidförderer aus Baustahl beträgt 155,26 kg. Für die Variante aus WVC resultiert eine Gestellmasse von 87,26 kg. Davon entfallen 76 kg auf das verbaute WVC und 11,26 kg auf Verbindungselemente aus Baustahl. Tabelle 2 fasst den PREN-Bedarf und das THP beider Bauweisen zusammen.

Trotz des höheren Bedarfs an PREN pro kg Halbzeug benötigt WVC im verbauten Zustand im Gestell Skidfördereres ca. 30 % weniger PREN als Baustahl. Die WVC-Bauweise hat im Vergleich zur Stahlbauweise ca. 80 % weniger THP.

Die praktische Umsetzung des Skidfördereres in der Holzkonstruktion wurde mit dem WVC RigaPly realisiert. Darauf aufbauend ist eine praxisnahe ökologische Bewertung der Skidförderer möglich. Deshalb wurden die Werte für den Konstruktionswerkstoff RigaPly aus Abbildung 1 übernommen.

Tabelle 4 zeigt, dass im Vergleich zum Förderer aus Baustahl mit der Verwendung von RigaPly der PREN-Bedarf um weitere 67 % und das THP um weitere 60 % gesenkt werden kann.

Tabelle 4 Berechnung PREN und THP des Skidfördereres bei Verwendung von RigaPly

Skidförderer	PREN in MJ	THP in kg CO ₂ -Äqv.
aus Baustahl	3.889,26	274,81
in Holzkonstruktion (Verwendung von RigaPly)	905,26 WVC: 69 %, Verbindungstechnik: 31 %	22,97 WVC: 13 %, Verbindungstechnik: 87 %
Einsparungen (Holzbau- bzgl. Baustahlweise)	76,72 %	91,64 %

Eine erweiterte Analyse verändert das Ergebnis. Die Recyclebarkeit von Baustahl wirkt sich vorteilhaft aus. Die Ergebnisse der Mittelwerte für PREN-Bedarf und

THP sind von der Wahl der Phase des Lebenszykluses abhängig. Inwiefern diese eine relevante Auswirkung auf das Gesamtergebnis haben, soll in einer Verschiebung der Systemgrenze für Baustahl und WVC geprüft werden. Somit erhalten die beiden Kennwerte eine Gutschrift um ca. 56 % [Ne12]. Wird WVC nach der Nutzungsphase zur thermischen Verwendung genutzt, kann auch hier eine Energiegutschrift erfolgen. Dies reduziert den Wert für den PREN-Bedarf um 54 % [Qu13]. Keine Beachtung findet die CO₂-Speicherung in der Recyclingphase, da dies bereits in der Rohstoffherzeugung angerechnet wird. Auch erhöht sich dieser Wert nicht, da das CO₂ der Atmosphäre bereits beim Wachstum entzogen wurde. Tabelle 5 stellt die resultierenden Werte dar.

Tabelle 5 Berechnung PREN und THP des Skidförderers mit 100 % recycelten Konstruktionswerkstoffen

Skidförderer	PREN in MJ	THP in kg CO ₂ -Äqv.
aus Baustahl	1.711,27	120,92
in Holzkonstruktion (WVC, allgemein Verwendung von Mittelwerten)	1.262,06 WVC: 90 %, Verbindungstechnik: 10 %	46,01 WVC: 81 %, Verbindungstechnik: 19 %
Einsparungen (Holzbau- bzgl. Baustahlweise)	26,25 %	61,95 %

Aufbauend zu diesen Ergebnissen können auch mehrere Lebensphasen, z. B. Produktion und Recycling analysiert werden. Eine Erweiterung der betrachteten Lebensphasen verbessern die umweltfreundlicheren Kennwerte von WVC. Grundlage für diese Berechnung stellt ein Lebenszyklus dar.

Die ökologische Bewertung der Produktionsprozesse für die vier Konstruktionswerkstoffe basiert auf Sekundärdaten. Die Daten sind als repräsentativ für die deutsche Konstruktionswerkstoffproduktion anzusehen. Ein für den Stand der Technik repräsentativer Technologie-Mix und die Realitätsnähe werden dadurch sichergestellt.

Eine Übertragung der Ergebnisse der objektiven Mittelwerte von PREN-Bedarf und THP ist auf andere Nutzungsszenarien möglich. Voraussetzung ist, dass die funktionelle Einheit über die entsprechende Masse an Werkstoff definiert wird. In der Untersuchung wurden für die Erzeugung der Konstruktionswerkstoffe nur der PREN-Bedarf und das THP aufgelistet, um die resultierenden Umweltwirkungen aufzuzeigen.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Aufbauend auf den Ergebnissen der vier Konstruktionswerkstoffe wurden zwei baugleiche Skidfördersysteme aus WVC und Baustahl miteinander verglichen. Die Studie stellt die Lebensphase Produktion dar.

Der Vergleich erfolgte an dem Gestell des Skidfördersystems auf Basis des verbauten Werkstoffgewichtes. Unbeachtet blieben Fertigungseinflüsse (z. B. Fügen, Bohren, Schrauben) bei der Herstellung der Gestelle. Durch die Leichtbauweise kann WVC den hohen PREN-Bedarf, das Versauerungspotenzial und die Eutrophierung für den Werkstoff am Praxisbeispiel des Fördersystems ausgleichen. Das THP, der Sommersmog und Ozonabbau der Holzkonstruktion bleiben minimal im Vergleich zur Baustahlvariante. Werden die Systemgrenzen für die Ausgangswerte verschoben, sind die vorliegenden Daten nicht mehr repräsentativ und eine Vergleichbarkeit ist nicht mehr gegeben.

Zur Ergänzung der Analyse kann nach [Sc99] eine Einteilung der Wirkungsindikatorergebnisse erfolgen. Die Ergebnisse werden auf Grundlage dieser Beurteilung untereinander hierarchisiert, indem ihnen eine unterschiedlich hohe ökologische Priorität beigemessen wird. Ziel ist hierbei das Ausmaß der jeweiligen potenziellen Umweltschädigung mittels aussagekräftigen Kriterien zu beurteilen.

Eine erweiterte Analyse verändert das Ergebnis. Auf Basis von Tabelle 2 wurden fünf Szenarien für die verschiedene Interpretation bezüglich des PREN-Bedarfs und THP von WVC und Baustahl aufgezeigt.

Szenario 2 entfällt, weil (Bau-) Stahl nicht sinnvoll mit erfasst wird. Die Szenarien 1 und 3 sind ungeeignet, weil verschiedene Lebensphasen bei WVC vermischt werden. Szenario 4 ist nicht praktikabel, da nur eine einseitige Analyse der Energiequellen erfolgt.

Nur Szenario 5 bildet die Herstellungsphase der beiden analysierten Werkstoffe am realistischsten ab. Es zeigt, dass WVC am ökologisch vorteilhaftesten ist, wenn das THP im Vordergrund der Analyse steht. Die Bauweise des Skidförderers aus WVC bleibt ökologisch vorteilhafter als die Variante aus Baustahl, wenn die Lebensphase Produktion analysiert wird.

Den niedrigsten PREN-Bedarf für 1 kg Halbzeug Blech/ Platte benötigt im Mittel Baustahl. Ein Vorteil bezüglich des PREN-Bedarfs von WVC, existiert auf Grundlage dieser Studie im Mittel nicht. Die Annahmen aus Müller et. al. (Mü12) wurden bestätigt. Die niedrigsten Werte für 1 kg Halbzeug Blech/ Platte der PREN und des THPs besitzen die WVC Kerto und RigaPly (vgl. Abbildung 1). Werden diese Werte positiv interpretiert, kann von einer technischen Verbesserung im Herstellungsprozess des WVC ausgegangen werden. Die Werte für Kerto basieren auf einen Life Cycle Assessment. Für RigaPly existiert keine vergleichbare Quelle.

Zur Weiterführung des Themas soll eine Ökobilanz für die relevanten Konstruktionswerkstoffe und

Bauweisen über den gesamten Lebensweg angefertigt werden.

„Werkstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen“, 2014.

LITERATUR

- [AI08] Albrecht, S.; Rüter, S.; Welling, J.; Knauf, M.; Mantau, U.; Braune, A.; Baitz, M.; Weimar, H.; Sörgel, S.; Kreissig, J.; Deimling, J.; Hellwig, S.: ÖkoPot - Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Abschlussbericht zum BMBF-Projekt FKZ 0330545, Stuttgart, 2008, DIN ISO EN 14040: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen, Ausgabe 11.2009, Beuth Verlag, Berlin, 2008.
- [ba12] Baustahlforum e. V.: Umwelt-Produktdeklaration, 2012, Website: <http://www.bauforumstahl.de>, gelesen am: 13.06.2014
- [Bi10] Bielig, T: Nicht-intendierte Outputs bei der Gewinnung und Verstromung von Braunkohle, 1. Auflage, Universitätsverlag TU Berlin, Berlin, 2010.
- [Bö14] Böttcher, J.; Hampl, N. Kügemann M.; Lüdeke-Freund, F: Biokraftstoffe und Biokraftstoffprojekte: Rechtliche, technische und wirtschaftliche Aspekte, 1. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2014.
- [Ök11] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Ökodat 2011, Berlin, Website: <http://www.nachhaltigesbauen.de>, gelesen am: 28.11.2012
- [CR13] Das Luxemburgische Portal des Bauwesen: Bau-Materialinformationen, 2010, Luxembourg, Website: <http://www.crtib.lu>, gelesen am: 11.03.2013
- [da13] dataholz: Lagenwerkstoffe, Website: <http://www.dataholz.com>, gelesen am 18.03.2013
- [DI40] DIN ISO EN 14040: Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen, Ausgabe 11.2009, Beuth Verlag, Berlin, 2009.
- [DI44] DIN ISO EN 14044: Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und An-leitungen, Ausgabe 07.2006, Beuth Verlag, Berlin, 2009.
- [Ec14] Eckardt, R.; Eichhorn, S.: Logistiksysteme in der Automobilproduktion aus Holzwerkstoffen, narotech 2014, 10. Internationales Symposium
- [KB12] Eco-Bau: Ökobilanzen im Baubereich, Zürich, Website: <http://www.ecobau.ch>, gelesen am 28.11.2012
- [Ei10a] Eichhorn, S.; Eckardt, R.; Müller, C: Einblick in die Geschichte der Holzwerkstoffe im Maschinen- und Anlagenbau und aktuelle Möglichkeiten der angemessenen technischen Nutzung, narotech 2010, 8. Internationalen Symposium „Werkstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen“, 2010.
- [Ei10b] Eichhorn, S.; Eckardt, R.; Müller, C.: Schwingungs- und geräuschdämpfende Leichtbauelemente im Maschinenbau auf Basis von Konstruktionswerkstoffen aus Holz, Abschlussbericht, Technische Universität Chemnitz, 2010.
- [Ei11] Eichhorn, S.; Eckardt, R.; Müller, C.: Integrative Bauweisen mit Holz furnierlagenverbundwerkstoff (WVC) für den Maschinen- und Anlagenbau Geschichte – Anforderungen – Anwendungen, 9. Holzwerkstoffkolloquium, Dresden, 2011.
- [Ei12] Eichhorn, S.; Rasch, F.; Eckardt, R.; Sumpf, S.; Nendel, K.: Nachhaltigkeit und Energieeffizienz in der Intralogistik durch neue Systemkomponenten, Tagungs-band "Intelligent vernetzte Arbeits- und Fabrikssysteme - VPP2012 - Vernetzt planen und Produzieren & Symposium Wissenschaft und Praxis", 2012.
- [Em12] EMBA: Liste ökologischer Indikatoren für Baustoffe in der Schweiz, 2011, Zürich, Website: <http://www.empa.ch>, gelesen am: 28.11.2012
- [Fe14a] Feig, K.; Eichhorn, S.: Partieller ökologischer Werkstoffvergleich von Holzwerkstoffen und metallischen Konstruktionswerkstoffen: Teil 1 Partial ecological comparison of wood- and metal-based construction materials: part 1, holztechnologie, 56. 2015, S. 37 - 42
- [Fe14b] Feig, K.; Eichhorn, S.: Partieller ökologischer Werkstoffvergleich am Praxisbeispiel eines Skidfördersystems, Teil 2; Partial ecological comparison of materials on the example of a skid conveyor system, part 2, holztechnologie, 57. 2015, S. 44 - 48
- [Fe13] Fell, H.-J.: Globale Abkühlung: Strategien gegen die Klimaschutzblockade ökologisch,

wirtschaftlich, erfolgreich, 1 Auflage, Beuth Verlag, Berlin, 2013.

Energiewende, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München, 2013.

- [Fi04] Filippi, M.; Holzabsatzfonds: Die deutsche Forstwirtschaft: Zahlen und Fakten. Natürlich Holz, Broschüre, Holzabsatzfonds, 2004.
- [Fr01] Frühwald, A.; Pohlmann, C. M.: Holz – Rohstoff der Zukunft, nachhaltig verfügbar und umweltgerecht, Broschüre, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., München, 2001.
- [Ka99] Kairi, M.; Zimmer, B.; Wegener, G.: Lice Cycle Assessment of Kerto Laminated Veneer Lumber, University of Technology Department of Forest Products Technology Laboratory of Wood Technology, Espoo, 1999.
- [KI09] Klöpffer, W.; Grahl, B.: Ökobilanz (LCA): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf: Ein Leitfaden Für Ausbildung Und Beruf, 1. Auflage, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009.
- [La14] Latvijas Finieris AS: RigaTex, Broschüre RigaTex, Website: <http://www.finieris.com>, gelesen am: 13.06.2014
- [Lu16] Ludwig, C.: Hochregale aus Stahl und aus Holz. Vergleichsstudien zur ökologischen Nachhaltigkeit, Hebezeuge Fördermittel, 3 / 2016, S. 20 - 22
- [Lü14] Lüdemann, L.; Feig, K.: Vergleich von Softwarelösungen für die Ökobilanzierung – eine softwareergonomische Analyse, Logistics Journal, Vol. 2014, Iss. 09, 2014
- [Mü12] Müller, C.; Eichhorn, S.; Krug, D.; Weber, A.: Holzwerkstoffe in technischen Anwendungen – Anforderungen aus Sicht des Maschinenbaus, Tagungsband, narotech 2012, 9. Internationales Symposium „Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen“, 2012.
- [Ne12] Neugebauer, S.; Finkbeiner, M.: Ökobilanz nach ISO 14040/44 für das Multirecycling von Stahl, Abschlussbericht, Technische Universität Berlin, Berlin, 2012.
- [Ni06] Niemz, P: Holzphysik, Vorlesungsskript, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, 2006.
- [Qu13] Quaschnig, V.: Erneuerbare Energien und Klimaschutz: Hintergründe - Techniken und Planung - Ökonomie und Ökologie –
- [Rü12] Rüter, S.; Diederichs, S.: Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz, Arbeitsbericht, Universität Hamburg, 2012.
- [Ru89] Rug, W.; Schmidt, H.: Zur Entwicklung des Holzbaues, W. Rug, Helge Schmidt, Holztechnologie 30, 1989, 4 S.186-193, Rug, W.; Pötke, W.: "Raumfachwerk aus Rundholz" Holztechnologie - Leipzig 30, 1990, 6 S.287, zitiert nach Ressel J.: Zur aktuellen Lage der Holzindustrie in der BRD Holz Zentralblatt Leinfelden Echterdingen 111, 1985, S.1012-1013, Herstellung der Metallwerkstoffe aus Erz.
- [Sa13] Sauerwein, P.: Kaskadennutzung: Verbrennen später nicht ausgeschlossen. Baustoffe und Möbel aus Holz, 2. Kongress NawaRo-Kommunal, Berlin, 2013.
- [Sc99] Schmitz, S.; Paulini, I.: Bewertung von Ökobilanzen – Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043, Umweltbundesamt, 1999
- [St11] Staab, J.: Erneuerbare Energien in Kommunen: Energiegenossenschaften gründen, führen und beraten, 1. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2011.
- [VD13] Stahlinstitut Verein Deutscher Eisenhüttenleute und Wirtschaftsvereinigung Stahl im Stahl-Zentrum: Technik und Forschung, Website: <http://www.stahl-online.de>, gelesen am: 18.03.2013
- [VD14] Stahlinstitut Verein Deutscher Eisenhüttenleute und Wirtschaftsvereinigung Stahl im Stahl-Zentrum: Technik und Forschung, Website: <http://www.stahl-online.de>, gelesen am: 22.05.2014
- [Pr13] Umweltbundesamt: ProBas, Dessau-Roßlau, Website: <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/volltextsuche.php>, gelesen am: 10.01.2013
- [Wa12] Wagenführ, A.; Scholz, F.: Taschenbuch der Holztechnik, 2.Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 2012.

Autoren

Katrin Feig (*1984) arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Technischen Universität Chemnitz in der Forschungsgruppe Anwendungstechnik Erneuerbarer Werkstoffe (AEW) an der Professur Fördertechnik. Ihr Arbeitsschwerpunkt ist die Ökobilanzierung von modularen Bauweisen und Maschinenteilen aus Holzwerkstoffen.

Dr.-Ing. Sven Eichhorn (*1978) befasst sich mit der Entwicklung und Berechnung von modularen Bauweisen und Maschinenteilen aus Holzwerkstoffen sowie deren Tribologie und Ermüdungsverhalten. Seit 2007 ist er Leiter der Forschungsgruppe Anwendungstechnik Erneuerbarer Werkstoffe (AEW) an der Professur Fördertechnik.