

Nachhaltigkeit von Verkehrsinfrastrukturen

In der Bauwirtschaft ist das Thema Nachhaltigkeit vor allem auf dem Gebäudesektor bereits seit längerem etabliert. Weltweit existiert eine breite Anzahl an Zertifizierungssystemen für Gebäude. Im Infrastrukturbereich kommt der Nachhaltigkeitsgedanke jedoch bis dato etwas schleppender voran, findet aber in der jüngeren Vergangenheit vor allem bei großen Infrastrukturbetreibern immer öfter Berücksichtigung. [1]

Nachhaltigkeitsbewertungen von Infrastrukturbauten sind in der Regel sehr komplex und durch das Fehlen von standardisierten Bewertungssystemen mit hohem Aufwand verbunden. Die Umsetzung einer nachhaltigen Verkehrsinfrastruktur stellt daher die agierenden Ingenieur:innen, aber auch die verwendeten Materialien sowie sämtliche Prozesse des Bauens und Instandhaltens der Infrastrukturen vor große Herausforderungen. Um die Nachhaltigkeitsthematik auf dem (Verkehrs-) Infrastruktursektor langfristig und vor allem effizient zu implementieren, ist auch hier die Entwicklung von standardisierten Bewertungssystemen zur Garantie der kontinuierlichen Verbesserung und Optimierung von Konstruktionen, Materialien, Bau- und Instandhaltungsprozessen sowie der Netzentwicklung essentiell. Die kontinuierliche Weiterentwicklung von Materialien, die Forschung, sowie die Durchführung von Pilotstudien leistet dabei einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele der UN (SDGs), der EU (European Green Deal) und nationaler, österreichischer Ziele (Agenda 2030), sowie einer effizienten, kreislaufbezogenen, ressourcenschonenden, klimaverträglichen und nachhaltigen Baukultur in Österreich. [1]

Die Ökobilanz

Das Werkzeug der Ökobilanz (LCA) stellt eine international genormte Methode dar, um Produkte und Produktsysteme in Hinblick auf Umwelteffekte über den Lebenszyklus zu betrachten. Dabei bietet die entwickelte Methodik nach ISO 14040 und ISO 14044 bzw. EN 15804 und EN 17472 ein transparentes, prüfbares und verständliches System, um Umweltwirkungen zu beschreiben und zu bewerten. [2, 3, 4]

Die Ökobilanz gliedert sich dabei in folgende vier Phasen [2]:

- Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
- Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung
- Auswertung



Der Werkstoff Beton und der Bahnoberbau

Mit jährlich weltweit verbauten 14,5 Mrd. Kubikmetern ist Beton der global am meisten eingesetzte Baustoff [5]. Ein Baustoff der durch seine Eigenschaften, wie Verarbeitbarkeit, Vielseitigkeit, Verfügbarkeit, Leistungsfähigkeit, Dauerhaftigkeit, Wirtschaftlichkeit und nicht zuletzt auch durch Nachhaltigkeit punktet [6]. Aufgrund seiner universellen und einzigartigen Eigenschaften findet der Werkstoff Beton seit vielen Jahren breite Anwendung vom klassischen Wohnbau, Infrastrukturbau bis hin zu Spezialanwendungen (bspw. 3D-Druck, Energiespeicherung) [6, 7].

Als sich die Eisenbahn vor rund 150 Jahren zu entwickeln begann, wurden die Schienen auf Holzschwellen montiert. Ein System, das sich lange Zeit bewährt hat. Durch das Kreosot-Verbot, welches zur Holzimprägnierung verwendet wurde, und der Beschränkung von Benzo(a)pyren reduzierte sich die maximale Liegedauer und Dauerhaftigkeit von Holzschwellen. [8, 9]

Neben der Holzschwelle hat sich mit der Zeit die Beton- bzw. Spannbetonschwelle am Markt etabliert und hat sich mittlerweile auf höherrangigen Strecken gegenüber der Holzschwelle durchgesetzt. Die Spannbetonschwelle überzeugt durch die lange Liegezeit, dem hohen Eigengewicht, dem hohen Querverschiebewiderstand, der Beständigkeit gegen witterungsbedingte, tierische und pflanzliche Einflüsse etc. Bei Neulagen bei Hochleistungsinfrastrukturen kommen heutzutage nur mehr Betonschwellen zur Anwendung. In Tunneln bzw. bei Hochgeschwindigkeitsstrecken hat sich neben der Betonschwelle die Feste Fahrbahn aus Beton als Standard etabliert. [8, 9, 10]

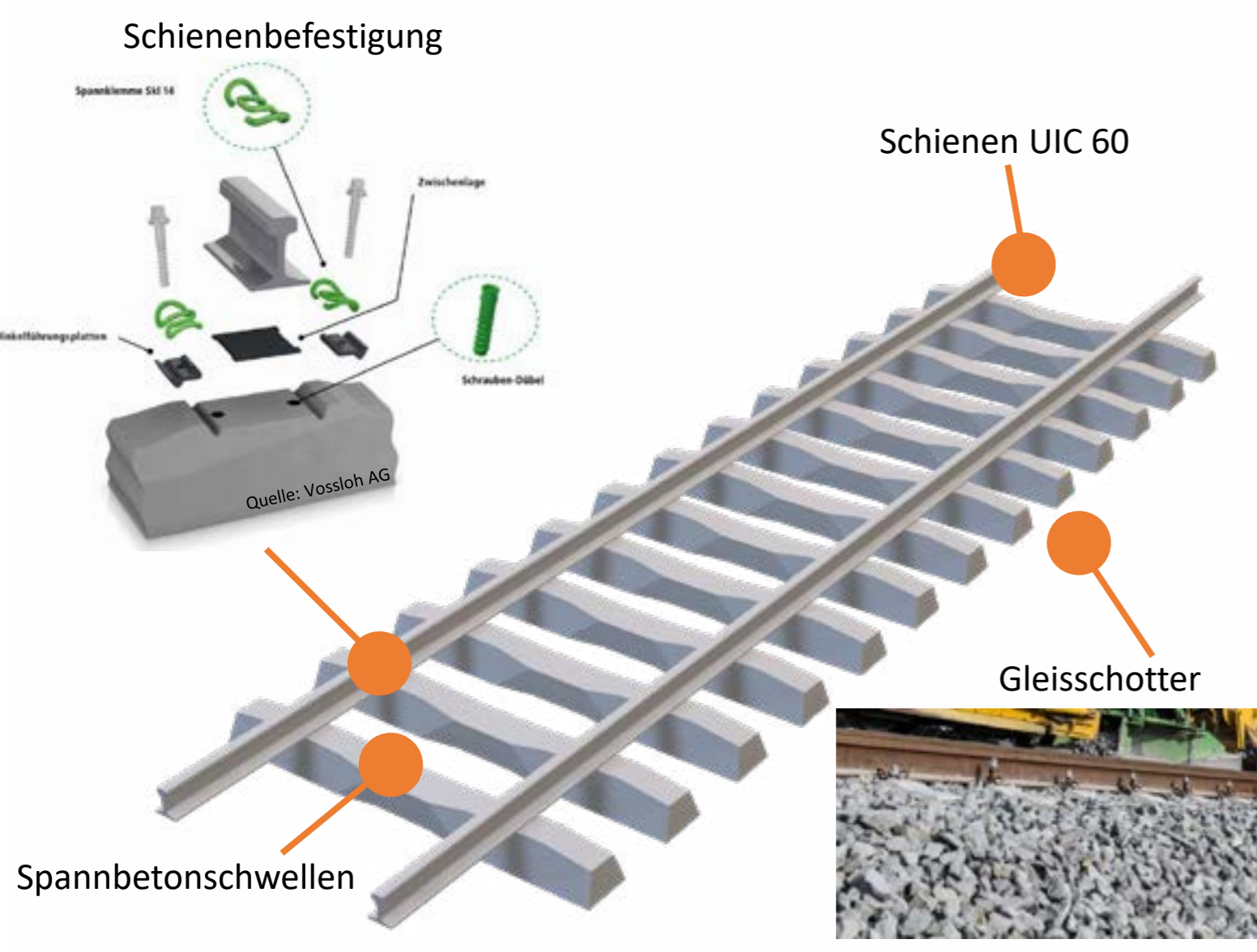
Die Bahnoberbauten und die Unterschiede

Allgemein beinhaltet der Oberbau alle Komponenten des Gleises (Gleis- und Weichengestänge, Schienen, Schwellen/ Gleistragplatten, Schienenbefestigungen, Unterlagsplatten und Zwischenlagen), die Bettung des Gleisrostes (bspw. Gleisschotter) und die Planumsschutzschichten. [8]

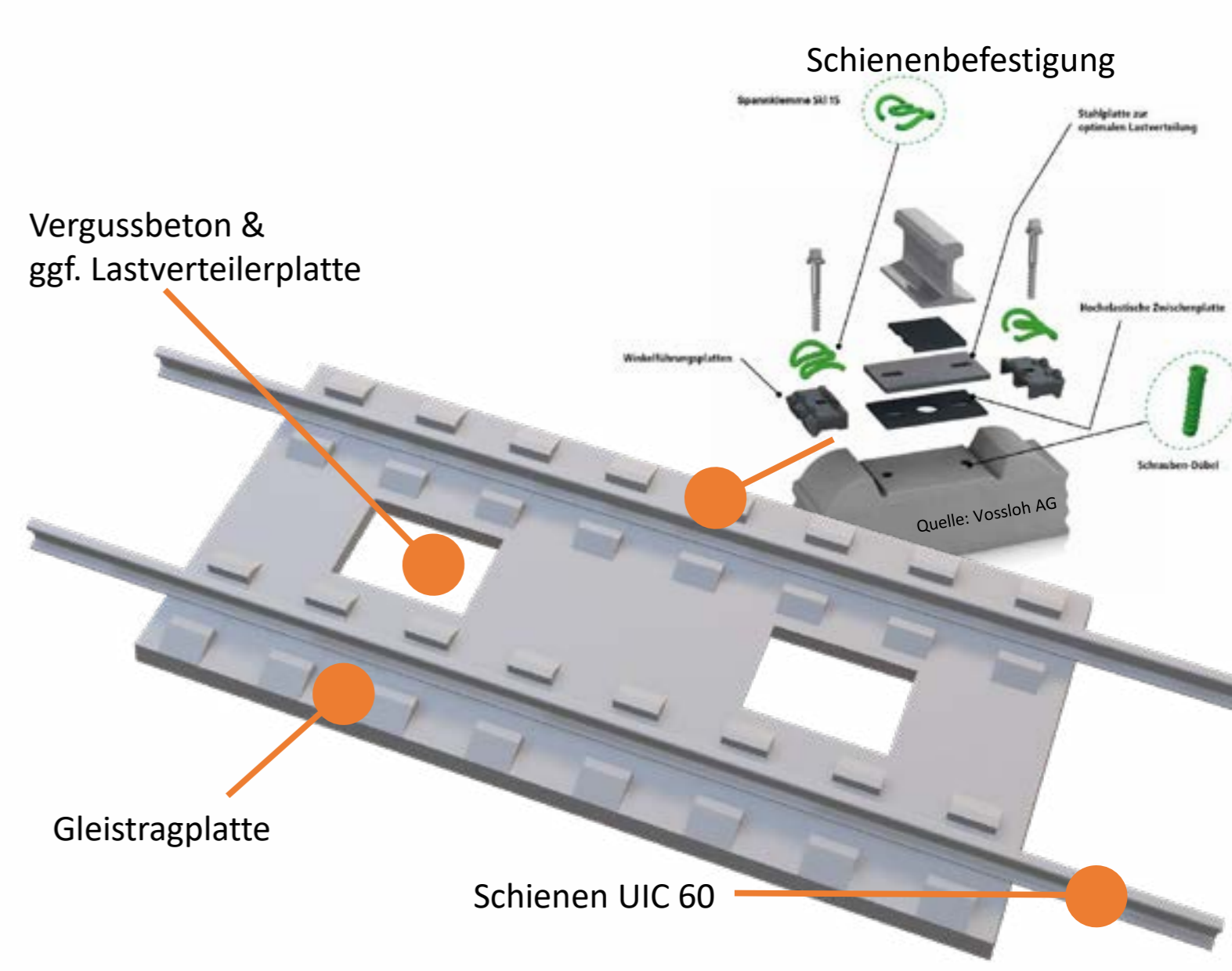
Die Unterschiede der zwei üblichen Oberbausysteme des Schotteroberbaus (SchO) und der Festen Fahrbahn (FF) liegen in der Bettung. Beim SchO liegt der Gleisrost schwimmend im Schotterbett. D.h., es gibt keine feste Verankerung der Schwellen mit dem Gleisrost. Die Lasten, welche durch das rollende Rad auftreten, werden über die Schienen, Schwellen und den Gleisschotter in den Untergrund abgetragen. Hingegen erfolgt beim Pendant der FF der Lastabtrag durch Beton-Gleistragplatten. Der Lastfluss ist dadurch flächiger und homogener. Ein dauerhaftes und wartungsarmes Gleis wird somit gewährleistet. [8,10]

Durch die verschiedenen Eigenschaften der Oberbauten ergeben sich in der Praxis unterschiedliche Anwendungen. Der SchO wird aufgrund der einfachen Herstellung und Instandsetzung hauptsächlich auf der freien Strecke eingesetzt. Die FF kommt wegen der etwas aufwändigeren Herstellung grundsätzlich in Österreich nur in Tunneln mit größerer Länge zur Anwendung. [8,10]

Der Schotteroberbau (SchO)



Die Feste Fahrbahn (FF)



Ökologische Untersuchung einer Eisenbahn-Hochleistungsinfrastruktur am Brennerkorridor [1,11]

Zur Unterstützung der Entscheidungsfindung für die weitere Planung am Brenner Basistunnel bzw. Brennerkorridor verfolgt die Ökobilanzstudie das Ziel die ökologischen Einflüsse von drei Schotteroberbauten mit beschlachten Betonschwellen und einem Festen Fahrbahnsystem (kurz FF) im Tunnel und auf freier Strecke zu untersuchen.

Besonderes Augenmerk wird auf die Untersuchung der Auswirkungen einer Variation der minimalen und maximalen Lebensdauer der Produkte gelegt, um verschiedene Streckenbedingungen (z.B. Gradienten, mehrere Kurvenfolgen) abzudecken und etwaige Potentiale zu identifizieren.

Die Ergebnisse werden anhand der Herstellungsphase (A1-A3), der Errichtungsphase (A4-A5), der Nutzungsphase (B2-B5) und der Entsorgungsphase (C1-C4) für den Wirkungsindikator „Klimawandel gesamt“ (GWP) in kg CO₂ Äquivalente (kg CO₂ eq.) über einen Analysezeitraum von 80 Jahren dargestellt und diskutiert.

Als Untersuchungsrahmen wird die funktionelle Einheit als die Bereitstellung von 1 km Oberbau auf einer 1-gleisigen höherrangigen Strecke im Netz der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) gewählt. Dabei stützt sich die Untersuchung auf die ÖBB-Richtlinien und Angaben der ÖBB Infra AG zu den gängigen Materialien, Bauprozessen, Instandhaltungs- und Recyclingzyklen. Die Ökobilanz der Oberbaukomponenten basiert weitgehend auf spezifischen Herstellerdaten. Standen relevante spezifische Daten nicht zur Verfügung, wurden generische Daten aus der Datenbank ecoinvent 3.8 verwendet.

Ergebnisse

Die LCA-Ergebnisse zeigen (Abbildung 1), dass die Herstellungs- und Nutzungsphasen die größten Auswirkungen auf die Umwelt haben. Gerade in der Nutzungsphase (B2-B5) fallen die meisten Emissionen an. Diese Umweltbelastungen werden jedoch nicht durch den Betrieb (B1 oder B8) der Bahn verursacht, sondern durch die begrenzte Lebensdauer der jeweiligen Produkte herbeigeführt. Sobald eine Lebensdauer oder die maximal mögliche Liegedauer erreicht ist, wird das Bauteil ausgetauscht. Der Zeitraum zwischen erstmaligem Einbau und dem Austausch prägt die Umweltauswirkungen, da diese immer mit Herstellungs-, Bau-, Transport- und Entsorgungsprozessen der neu ein- und auszubauenden Oberbaukomponenten gekoppelt sind. Diese Arbeitsschritte des Austausches werden gemäß EN 15804 (6.2.4) den Umweltwirkungen der Nutzungsphase (B2-B5) zu geschrieben.

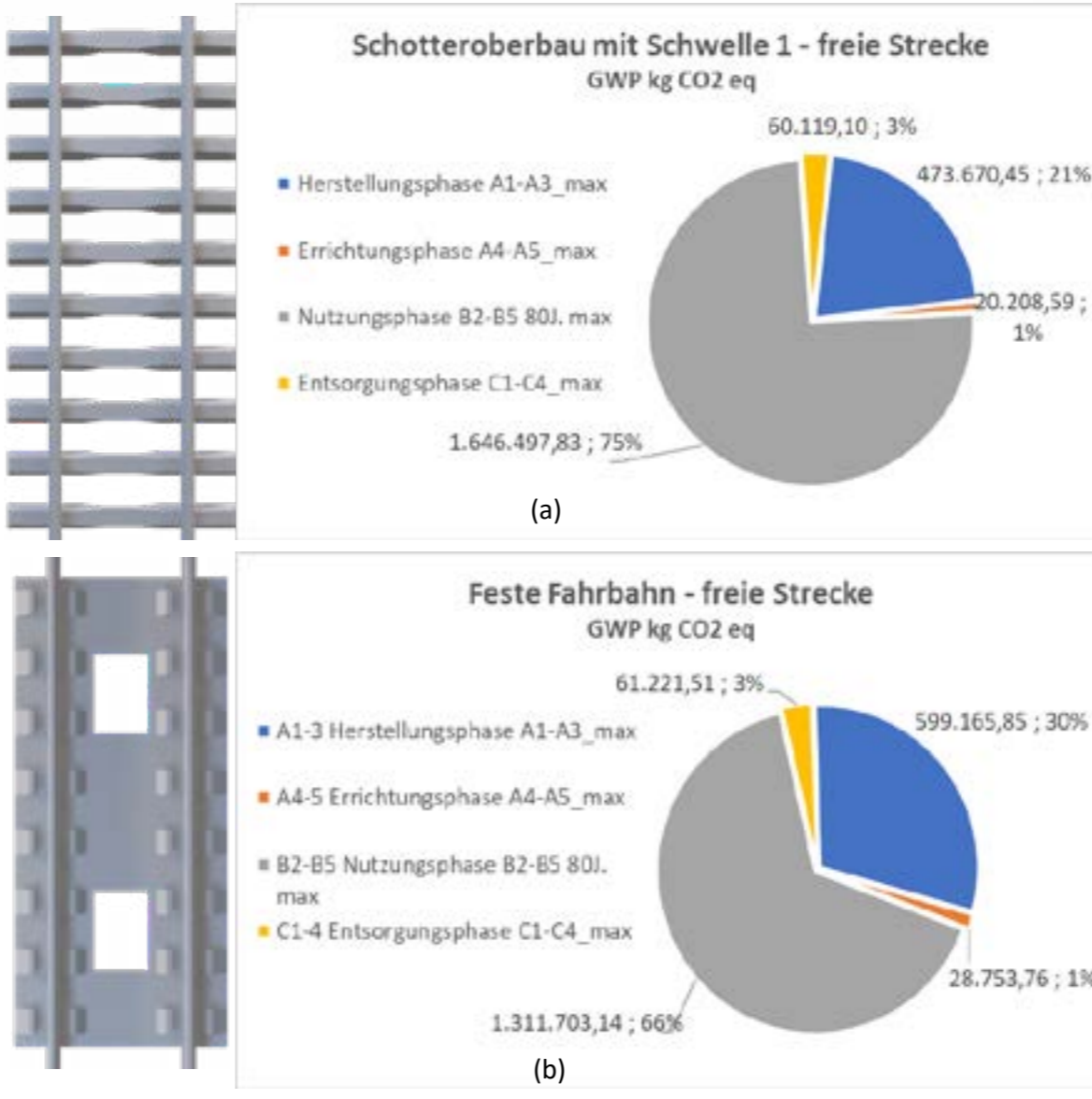


Abbildung 1: Prozentuale Verteilung pro Lebenszyklusphase für (a) die Schwellen 1 und (b) die Feste Fahrbahn auf der freien Strecke bei Betrachtung der maximalen Lebensdauer bei einem Analysezeitraum von 80 Jahren;

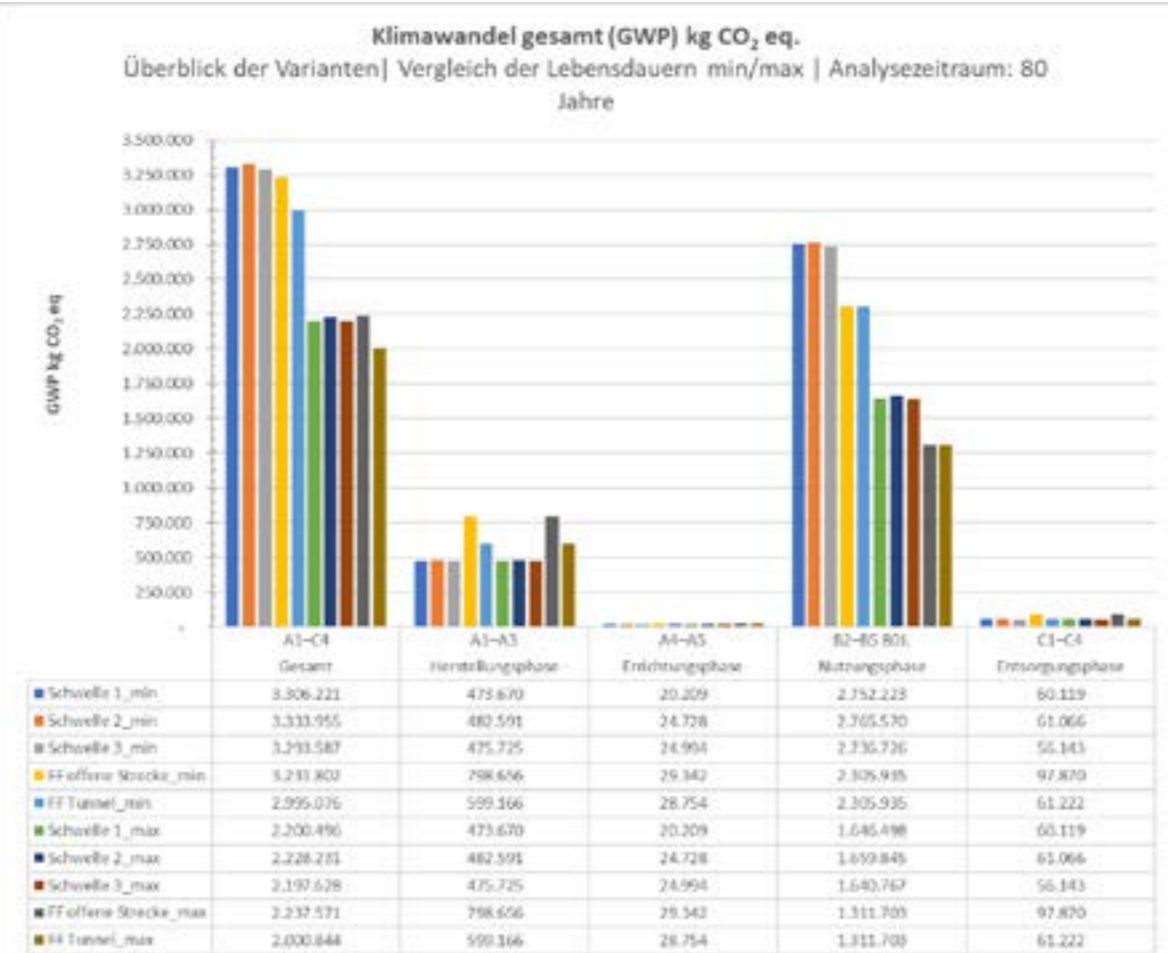


Abbildung 2: Vergleich der minimalen und maximalen Lebensdauern der Schwellen- und Festen Fahrbahn-Varianten je Lebenszyklusphase bei einem Analysezeitraum von 80 Jahren;

Die Lebenszyklusphasen der Errichtung (A4-A5) und der Entsorgung (C1-C4) haben mit etwa 3 % nur einen marginalen Anteil an den gesamthaften Auswirkungen. Dies resultiert durch die größtenteils bahngebundene Herstellung und die hohe Recyclingquote.

Im Falle des Schotteroberbaus (Abbildung 1a) ist die Umweltbelastung in der Herstellungsphase (A1-A3) relativ gering, in der Nutzungsphase (B2-B5) aufgrund des erhöhten Wartungsaufwands jedoch höher. Bei der Festen Fahrbahn (Abbildung 1b) zeigt sich, dass die Emissionen in den Phasen A1-A3 deutlich höher als bei der Schotteroberbauweise sind, in der Nutzungsphase jedoch aufgrund des wartungsarmen Gleises niedriger ausfallen. Bei Betrachtung der Lebensdauern der Oberbauprodukte (z.B. Schwellen 30-40 Jahre, Feste Fahrbahn 80-100 Jahre) zeigen sich die großen Unterschiede im Instandhaltungsaufwand und den Austauschaktivitäten in der Nutzungsphase B2-B5.

Abbildung 2 zeigt die untersuchten Oberbauvarianten während des Lebenszyklus inklusive der Betrachtung von minimalen und maximalen Lebensdauern (min/max). Die Schwellen und Gleistragplatten mit längerer Lebensdauer können folglich länger im Gleiskörper verbleiben, wodurch der Wartungsaufwand geringer ausfällt. Dieser Effekt und die geringere Anzahl der Auswechslungen spiegeln sich in der Menge der emittierten CO₂ eq. wider. Eine Verlängerung der Lebensdauer z.B. der Betonschwellen um 10 Jahre bzw. bei der Festen Fahrbahn um 20 Jahre führt daher zu einer Minimierung des GWP-Ergebnisses von ca. 31 %. In absoluten Zahlen wird eine Reduktion von ca. 1.100 Tonnen CO₂ eq. über einen Zeitraum von 80 Jahren erreicht.

Fazit

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass häufigere Modernisierungszyklen und die damit verbundene Neuherstellung von Oberbauelementen einen erheblichen Anteil an den gesamten Umweltauswirkungen haben. Anhand von Best- und Worst-Case-Szenarien wurde in der Studie festgestellt, dass eine Verlängerung der Lebensdauer von Oberbaukomponenten zu Einsparungen von rund 31 % an CO₂ eq. und einem geringeren Instandhaltungsaufwand führt. Die Umweltauswirkungen könnten durch eine Optimierung der Produkte hinzu einer längeren und dauerhafteren Lebensdauer reduziert werden, was zu längeren Austauschzyklen führen würde. D.h. es kann der Einsatz neuer Produkte im Sinne der Ressourcenschonung in der Nutzungsphase (B2-B5) verringert werden. Die Zunahme der Umweltauswirkungen aufgrund möglicher Konstruktionsänderungen (z.B. größeres Betonvolumen, Massenänderungen usw.) in der Phase A1-A3 wird durch längere Lebensdauern in der Nutzungsphase (B2-B5) kompensiert und führt zu allgemeinen Gesamteinsparungen.

Literatur

[1] Auszug aus: Hausberger, L.; Gschösser, F. Nachhaltigkeit von Verkehrsinfrastrukturen: Bewertung auf drei Ebenen. Bauaktuell 2023, 14, 154.
 [2] ONORM EN ISO 14040; Umweltmanagement—Ökobilanz—Grundsätze und Rahmenbedingungen. Austrian Standards International: Wien, Austria, 2021.
 [3] ONORM EN ISO 14044; Umweltmanagement—Ökobilanz—Anforderungen und Anleitungen. Austrian Standards International: Wien, Austria, 2021.
 [4] Klöpffer, W.; Grahl, B. Ökobilanz (LCA): Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 2007; ISBN 978-3-527-32043-1.
 [5] Margolis, E. et al. (2021) Kreislaufbauwirtschaft – Projektbericht. Report 0757. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0757bzf.pdf> [Zugriff am: 20. Mrz. 2024].
 [6] Monopol GmbH (2019) Beton Magazin [online]. <https://baustoffbeton.at/publikationen/> [Zugriff am: 20. Mrz. 2024].
 [7] Österreichische Bautechnik Vereinigung (April 2022) Ökologisierung & Nachhaltigkeit im Bauwesen - Sachstand. www.bautechnik.or.at
 [8] Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Günter Prager, „Infrastruktur Schiene: Studienblätter zur Vorlesung“, Universität Innsbruck, 2021.
 [9] Corbat Holding, „Geschichte und Entwicklung der Holzschwellen“. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bahnschwellen-holz.ch/files/4/Holzschwelle-Geschichte_und_Entwicklung.pdf
 [10] Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Günter Prager, „Hochleistungsbahnen: Studienblätter zur Vorlesung“, Universität Innsbruck, 2021.
 [11] Auszug aus: Hausberger/Cordes/Gschösser, Life Cycle Assessment of High-Performance Railway Infrastructure, Analysis of Superstructures in Tunnels and on Open Tracks, Sustainability 2023, 15, 7064.