

Lebensdauerkosten von Schwellenmaterialien unter Einbezug ökologischer Aspekte

Im Rahmen einer Studie wurden die Gesamtkosten verschiedener Oberbautypen unter Einbezug ökologischer Aspekte und verursachter externer Kosten für einen Standardstreckenabschnitt quantifiziert. Die Oberbautypen unterschieden sich hinsichtlich der Schwellenmaterialien Holz, Beton und Stahl und wurden auf dieser Grundlage hinsichtlich der Lebenszykluskosten analysiert.

➔ Um Entscheidungsträger bei der Auswahl eines optimalen Schwellenmaterials zu unterstützen, wurde eine Studie erarbeitet, welche neben den direkten Betriebs- und Beschaffungskosten auch die externen Kosten der Umwelteinwirkung berücksichtigt. Als Referenz wurde ein standardisierter Streckenkilometer herangezogen und unter den spezifischen Gegebenheiten der Schweiz betrachtet.

1. AUSGANGSLAGE

Bei der Wahl eines bestimmten Schwellentyps sind finanzielle Überlegungen hinsichtlich der Beschaffungskosten auf Grund des Kostendrucks von besonderer Bedeutung. Dabei ist die Betrachtung der gesamten Lebenszykluskosten (LCC) sowie der ökologischen Aspekte häufig untergeordnet. Um eine ganzheitliche Auswahl des Oberbautyps fallen zu können, wurde am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) zusammen mit dem Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement (IBI) der ETH Zürich eine Forschungsarbeit zur Betrachtung der LCC unter Einbezug ökologischer Gesichtspunkte ausgeführt. Praxispartner war die Firma Tribeton/Creabeton Matériaux AG aus Müntschemier.

2. METHODIK

Die Forschungsarbeit wurde in die zwei Kostenbereiche der internen respektive der externen Kosten gegliedert. Dabei umfassten die internen Kosten alle direkten Betriebskosten mit Errichtung, Erhaltung und Entsorgung des Oberbaus. Für die externen Kosten wurden die ökologischen Aspekte analysiert

und quantifiziert. Zur besseren Vergleichsmöglichkeit wurde eine Normstrecke mit üblicher Periodizität der Erhaltungsarbeiten und charakteristischen Investitionskosten festgelegt sowie von einem einheitlichen zeitlichen Bezugspunkt aus betrachtet.

Eine wesentliche Herausforderung bestand darin, die ökologischen Gesichtspunkte zu quantifizieren und in die LCC-Betrachtung einzubeziehen. Die Grundlage dazu war modellmässig eine Energie- und Stoffflussbilanzierung der verwendeten Materialien über den gesamten Lebenszyklus beginnend mit der Rohstoffgewinnung über die Produktion der Baustoffe, Herstellung und Einbau des Produktes sowie dem laufenden Unterhalt bis zu Rückbau und Entsorgung. Dabei wurde die von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt und der ETH Zürich entwickelte Datenbank „ecoinvent v2.0“ verwendet.

3. GRUNDLAGEN

Die Normstrecke von 1 km Länge wurde wie folgt definiert:

- ➔ Einspurige Schweizer Eisenbahnstrecke ohne Stationen und Weichen
- ➔ Schotterbett wird mit Regelquerschnitt ausgeführt und die PSS ist 4,4 m breit.
- ➔ Bauarbeiten werden allgemein gleisseitig in Nachtintervallen (Sperrpause) durchgeführt.
- ➔ Bauarbeiten an Kabelkanälen und Entwässerung werden strassenseitig durchgeführt.

Es wurden drei grundlegend unterschiedliche Oberbautypen mit den Schwellenmaterialien Holz (Buche, mit K-Befestigung), Stahl (Aek-



Dipl.-Ing. Silko Höppner
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich
silko.hoepfner@ivt.baug.ethz.ch



Prof. Dr.-Ing. Ulrich Weidmann
Leiter der Professur für Verkehrssysteme am IVT, ETH Zürich
weidmann@ivt.baug.ethz.ch



Prof. Dr.-Ing. Holger Wallbaum
Leiter der Professur für Nachhaltiges Bauen am IBI, ETH Zürich
holger.wallbaum@ibi.baug.ethz.ch



MAS ETH Niko Heeren
Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement (IBI), ETH Zürich
niko.heeren@ibi.baug.ethz.ch

Befestigung) und Beton (Ws-Befestigung) miteinander verglichen. Als Betonschwelle wurde der Typ B91 und teilweise zusätzlich der Flachswellentyp B 06 FS einbezogen. Die Betonflachschwelle hat den Vorteil, dass sie gleichhoch ist wie die Holzschwelle und man damit bei einem Umbau im Idealfall auf die Unterbausanierung verzichten kann. Da sie noch nicht serienmässig eingebaut wird, wurde sie nur summarisch erfasst. Weiterhin wurden drei Fälle von Oberbaunewerungen für jeden Schwellentyp näher untersucht.

- Fall A: ohne Unterbausanierung
- Fall B: mit Unterbausanierung ohne Neubau Entwässerung, Kabelkanal und ohne Einbau eines Geotextils
- Fall C: mit Unterbausanierung mit Neubau Entwässerung, Kabelkanal und mit Einbau eines Geotextils.

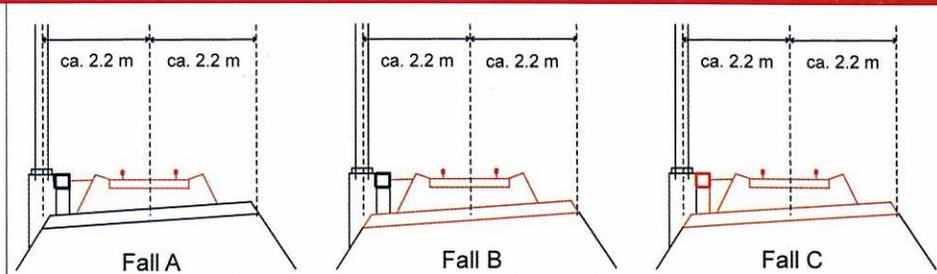


BILD 1: Betrachtete Normquerschnitte

(Quelle aller Bilder: Autoren)

Ausserdem ist die vorherrschende Streckenbelastung ein wesentlicher Einflussparameter. Es wurden die drei in der Schweiz typischen Belastungsformen als IC-Strecke (50'000 Bruttotonnen pro Tag), S-Bahnstrecke (25'000 t) und Nebenstrecke (10'000 t) herangezogen.

Für die verwendeten Materialien und die einzelnen Erhaltungsarbeiten bis zur Erneuerung bestehen unterschiedliche Zyklen. Die Länge dieser Zyklen ist wiederum abhängig von der jeweiligen Belastung des Gleises. Um die Bausperrungen zu minimieren, werden verschiedene Arbeitsgänge aufeinander abgestimmt und gemeinsam durchgeführt. Einzelne Elemente werden damit schon vor Erreichen ihrer möglichen Lebensdauer erneuert. Eine sinnvolle Synergie ergibt sich zum Beispiel beim Tausch der Schienen zusammen mit dem Ersatz der Schwellen und des Schotters [1].

4. LEBENSZYKLUSKOSTEN

Bei der Ermittlung der LCC jedes Oberbautyps mit entsprechender Belastung wurde die Annuitätenmethode unter Berücksichtigung verschiedener Zinssätze angewendet. Es wurde dabei ein Zeitraum von 100 Jahren betrachtet, bei dem zu Beginn eine Totalsanierung des Oberbaus stattfindet.

Der Betonschwellenoberbau schneidet demnach mit oder ohne Unterbausanierung günstiger ab als der Holzschwellenoberbau ohne Unterbausanierung. Das gilt allerdings nur für einen niedrigen Zinssatz. Muss eine Unterbausanierung zwingend durchgeführt werden, dann ist der Betonschwellenoberbau unabhängig vom Zinssatz immer günstiger als der Holz- oder Stahlschwellenoberbau.

Bei der Stahlschwelle ist der Einzelfall zu prüfen, da die LCC je nach Belastung und Notwendigkeit einer Unterbausanierung gegenüber der Holz- oder Betonschwelle variieren.

5. GRUNDLAGEN DER ÖKOLOGISCHEN BETRACHTUNG

Die ökologische Betrachtung erfolgte als iterativer Prozess mit einer Sachbilanz nach ISO 14040f [1] und einer darauf aufbauenden Wirkungsbilanzierung. Eine Auswertung dieser Bilanzen erlaubte anschliessend eine umfassende Produktbeurteilung. Der Betrachtungsrahmen erfolgte für alle drei Schwellentypen ebenfalls von der Herstellung bis zur Entsorgung. Dabei wurde das System metho- ➤

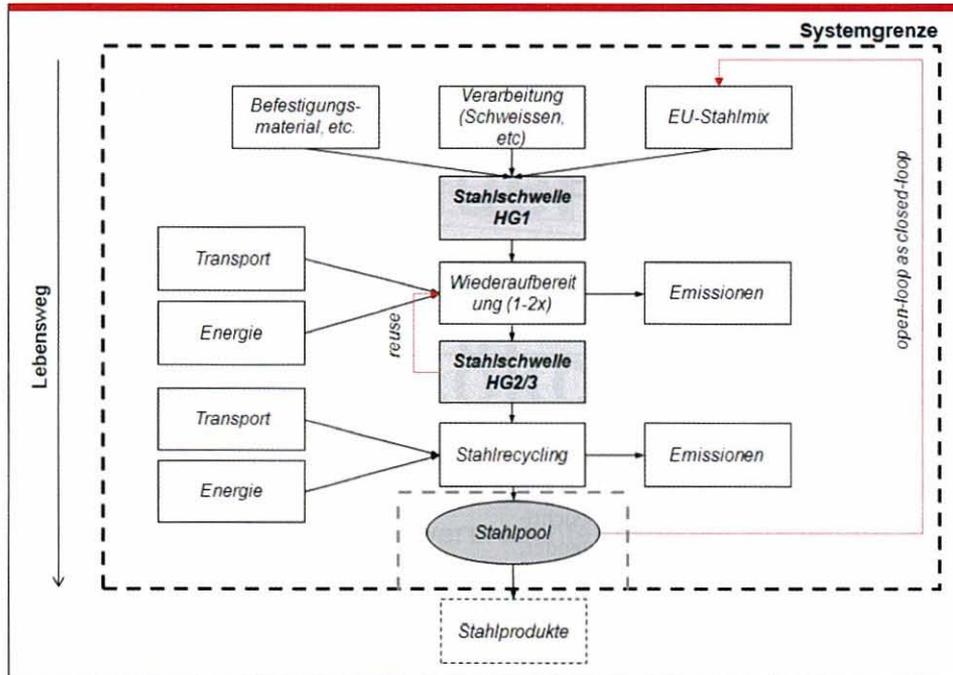


BILD 2: Beispiel Flussdiagramm für den Lebenszyklus einer Stahlschwelle

disch erweitert, damit insbesondere die Folgenutzung bzw. die Entsorgung der Materialien mit berücksichtigt werden konnte. Mit Hilfe der Sachbilanz wurden für jeden Oberbautyp alle notwendigen Sachaufwendungen wie Materialeinsatz, Energieverbrauch und Transportaufwand zusammengestellt. Die Wirkungsabschätzung erfolgte möglichst breit mittels dreier unterschiedlicher Indikatoren (Eco-Indicator99 (H,A), Ecological Scarcity 2006 v1.02, CML 200 baseline v2.04).

6. FAZIT DER ÖKOLOGISCHEN BILANZIERUNG

Als Ergebnis kann festgestellt werden, dass

die Stahlschwelle fast immer am ungünstigsten abschneidet. Die ökologische Bilanz der Holzschwelle ist am günstigsten, sieht

man von der ökologischen Knappheit ab. Betrachtet man hingegen besonders die ökoder humantoxizitätsbezogenen Indikatoren sowie die natürliche Knappheit, dann zeigt die Betonschwelle die besten Ergebnisse. Insgesamt sind die ökologischen Auswirkungen der Schwellen für das Umweltverhalten des gesamten Oberbaus langfristig gesehen relativ gering.

7. GESAMTFAZIT

Insgesamt bietet der Betonschwellenoberbau gegenüber dem Holz- und Stahlschwelleneinsatz die wirtschaftlichste Lösung. Unter ökologischen Gesichtspunkten ist der Vergleich nicht eindeutig und hängt von den betrachteten Aspekten ab. Es ist indessen anzunehmen, dass bei der Betonschwellenproduktion noch ökologisches Optimierungspotenzial besteht. ←

Literatur

- [1] U. Weidmann, H. Wallbaum, N. Heeren, R. Zeller: Lebensdauerkosten von Oberbautypen mit verschiedenen Schwellenmaterialien unter Einbezug ökologischer Aspekte. Unveröffentlichte Studie. ETH Zürich, 2009.

SUMMARY

Life-cycle costs of sleeper materials, taking ecological aspects into consideration

The external costs for different sleeper types were quantified including ecological aspects for a typical swiss rail track section. Different superstructure types (sleeper material wood, concrete and steel) were analyzed regarding their life cycle costs. The concrete superstructure offered the most economic solution compared to wood and steel. Under ecological viewpoints the comparison was not indisputable and depended on different aspects highlighted in the paper. It was found that the concrete sleeper production has still ecological production potential.