

LCA für Sanierungsmethoden bzw. Ersatzneubauten von Brücken

Dipl.-Ing. Dr. sc. ETHZ Florian Gschösser
Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften
Leopold-Franzens Universität Innsbruck

Dr.-Ing. Ralf Schneider
Prof. Feix Ingenieure GmbH, München



Abstract

In dieser Studie wird die kurzfristige, tatsächlich durchgeführte Ertüchtigungsmaßnahme an einer Eisenbahnbrücke der Strecke Bamberg-Rottendorf mittels einer Ökobilanz (LCA – Life Cycle Assessment) analysiert und einem Ersatzneubau mit daraus folgender eineinhalbjähriger Sperre gegenübergestellt. Die Ertüchtigungsmaßnahme an der Brücke wurde in 4 Wochen durchgeführt und hatte keine Sperrung der Eisenbahnstrecke zur Folge. Die Auswertung des Einflusses der Sperre zeigt, dass der große Mehrwert der Ertüchtigung in der Vermeidung der Gleissperre liegt. Die Studie zeigt, dass bereits ein Tag Gleissperre ungefähr doppelt so hohe Umweltbelastungen verursacht wie die gesamte Ertüchtigung. Vergleicht man den Einfluss der Bauprozesse mit der gesamten Sperre über eineinhalb Jahre, so sieht man, dass der Einfluss der Bauprozesse im Vergleich zur Sperre marginal ist. Die Studie zeigt den enormen Einfluss der Veränderung bzw. Verlängerung von Transportdistanzen. Es wird dargestellt, dass bei Transportinfrastrukturen die Vermeidung einer Streckensperre von entsprechend größerer (ökologischer) Bedeutung ist, als die Wahl von Bauweisen und Materialien. Die Studie beweist somit auch die enorme ökologische Bedeutung von streckenverkürzenden Ingenieurbauten wie Brücken und Tunneln.

1. Einleitung

1.1 Nachhaltiges Bauen

Die Thematik der Nachhaltigkeit bzw. die Methodik der Nachhaltigkeitsbewertung haben sich in den letzten Jahren immer stärker auf den verschiedenen Ebenen der Baubranche etabliert. So wurden zum Beispiel auf der Bauprodukte-Ebene durch die Entwicklung der EN 15804 Grundregeln für Umweltproduktdeklarationen (EPD) (CEN 2014) geschaffen, die es nationalen EPD-Programmen erlauben, auf europäischer Ebene vergleichbare EPDs von Bauprodukten zu veröffentlichen. In Österreich gibt es dazu seit 2013 die Bau-EPD GmbH (2015), welche die Veröffentlichung von Bauprodukten-EPDs ermöglicht und am europäischen Harmonisierungsprozess (ECO-platform (2015)) teilnimmt. Zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden gibt es eine Reihe an, in den letzten Jahren stetig weiterentwickelten, internationalen (z. B. Leed – US, Breeam – UK, DGNB – Deutschland) und nationalen (ÖGNI, ÖGNB, klima:aktiv) Zertifizierungssystemen. Die österreichischen Zertifizierungsanbieter ÖGNI (2015) und ÖGNB (2015) haben sich im letzten Jahr zusammengeschlossen, um mit der vorher erwähnten Bau-EPD GmbH eine, für beide Zertifizierungssysteme anwendbare, Datenbasis für die Ökobilanz-Teile ihrer Zertifizierungen zu entwickeln. Auch auf dem Gebiet von Transportinfrastrukturen gibt es erste Forschungsprojekte (z. B. ETH Zürich (Gschösser 2011), Massachusetts Institut of Technology (Santero et al. 2011)) bzw. erste Bewertungs- und Zertifizierungssysteme wie z. B. das Schweizer NISTRA-Bewertungssystem (Nachhaltigkeits-Indikatoren für Straßen-Infrastrukturprojekte) (ASTRA 2003), die beiden französischen Tools ECORCE (IFSTTAR 2013) und SEVE (USIRF - Routes de France 2014) oder das amerikanische Zertifizierungssystem Greenroads (2010). 2012 wurde vom Europäischen Normungsinstituts die Working Group 6 des Technical Committees 350 (CEN 2015) ins Leben gerufen, welche sich mit der Normierung bezüglich „Sustainable Civil Engineering Works“ beschäftigt. Diese Normenreihe soll dann auch Nachhaltigkeitsbewertungen von Tief- und Ingenieurbauten beinhalten. Im Brückenbau stehen bis dato in erster Linie technische, baubetriebliche und bauwirtschaftliche Belange im Vordergrund. Seit einigen Jahren werden auch Lebenszykluskosten bei der Entscheidungsfindung im Zuge eines Brückenprojekts immer mehr miteinbezogen. Beispielhaft für die Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet kann der Lehrstuhl für Infrastrukturmanagement an der ETH Zürich genannt werden, welcher sich intensiv mit der Optimierung von Erhaltungsstrategien und Lebenszykluskosten von gebauten Infrastrukturen beschäftigt. Zusätzliche Nachhaltigkeitsaspekte wie Ökologie werden erst nach und nach in die Projektentwicklung und Entscheidungsfindung von Brückenprojekten integriert.

1.2 Studienumfang

In dieser Studie wird die kurzfristige, tatsächlich durchgeführte Ertüchtigungsmaßnahme an einer Eisenbahnbrücke der Strecke Bamberg-Rottendorf mittels einer Ökobilanz (LCA – Life Cycle Assessment) analysiert und einem Ersatzneubau gegenüber gestellt. Das bestehende Brückenbauwerk wurde ca. 1968 als schiefwinkliger Zweifeldträger in Spannbetonbauweise mit Stützweiten von $2 \times 17,5 \text{ m} = 35 \text{ m}$ errichtet. Die beiden getrennten Überbauten sind als einzellige Hohlkästen ausgeführt. Die seinerzeit verwendeten Spannstähle weisen

jedoch eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Spannungskorrosion auf. Unter ungünstigen Korrosionsbedingungen können die einzelnen Spannglieder im Laufe der Lebensdauer nach und nach brechen, ohne dass dies am Bauwerk von außen erkennbar wäre. In Verbindung mit der sehr geringen Betonstahlmenge bestand die Gefahr eines schlagartigen Versagens ohne sichtbare vorherige Rissbildung (fehlendes Ankündigungsverhalten, Restsicherheit kleiner 1,0). Vor diesem Hintergrund wäre ohne Verstärkungsmaßnahme eine Sperrung des Bauwerks durch das Eisenbahn-Bundesamt und in der Folge eine Unterbrechung der Bahnstrecke zu Beginn des Jahres 2015 für die Dauer eines Neubaus inklusive Planungszeit erfolgt. Die Sperrung des Bauwerks hätte deshalb eine Totalsperre der Eisenbahnstrecke Rottendorf-Bamberg und daraus folgend den Mehraufwand einer Umfahungsstrecke über eineinhalb Jahre zur Folge gehabt. Die Ertüchtigungsmaßnahme an der Brücke wurde in 4 Wochen durchgeführt und hatte keine Sperrung der Eisenbahnstrecke zur Folge. Unter der Brücke wurde der Verkehrsfluss auf der BAB A70 durch Umlegung einzelner Fahrspuren ebenfalls durchgehend gewährleistet. Die Lebensdauer der Brücke mit der ausgeführten Ertüchtigung wird mit rund 15 Jahren abgeschätzt. Danach hat auch hier ein Neubau zu erfolgen, welcher dann aber mit entsprechendem Zeitraum vorbereitet werden kann und keine Sperre der Bahnstrecke zur Folge hat. Deshalb wird der Analysezeitraum der Ökobilanz-Studie mit 15 Jahren angesetzt.

2. Zu vergleichende Baumaßnahmen

2.1 Brückenertüchtigung

Die zur Sicherstellung des Ankündigungsverhaltens erforderliche Erhöhung der Biegetragfähigkeit erfolgte durch angeschraubte Stahllaschen, die als Zugglieder („externe Bewehrung“) wirken und die fehlende Betonstahlbewehrung ersetzen. Die Stahllaschen wurden im Werk inklusive Beschichtung in transportierbaren Längen vorgefertigt und vor Ort nur noch verschraubt.

Die zur Aktivierung der Laschen erforderliche schubfeste Verbindung mit dem Tragwerk wurde durch scherbeanspruchte Verbundankerschrauben sichergestellt. Hier konnten Standardschrauben mit geringer Bohrtiefe eingesetzt werden, was kurze Liefer- und Montagezeiten sowie eine minimierte Schädigung des Tragwerks durch die Bohrungen zur Folge hatte. Eine Beschädigung der Bestandsbewehrung wurde durch zerstörungsfreie Aufnahme der Lage der Bewehrung sowie der Spannglieder im Vorfeld ausgeschlossen. Der Anschluss der Laschen mittels scherbeanspruchter Verbundankerschrauben stellt eine „weiche“ Verbindung dar. Zur Aktivierung der Zugkräfte in den Laschen werden relativ große Verschiebungen zwischen Tragwerk und Lasche und damit entsprechend große Rissbreiten erforderlich. Dies war einerseits von Vorteil im Hinblick auf die Erkennbarkeit von Spannstahlbrüchen (Ankündigung durch breite Risse). In Teilbereichen war jedoch eine Begrenzung der Rissöffnung erforderlich, um das Zusammenwirken der Laschen mit der im Bestand vorhandenen Bewehrung sicherzustellen. Dies wurde durch ein Vorspannen der Laschen über HV-Schrauben (hochfeste Verbindung) in den Montagestößen sichergestellt.

Da Defizite in der Tragfähigkeit auch unmittelbar vor den Endauflagern auftraten mussten hier die vollen Laschenkräfte im Bauwerk verankert werden. Dies erfolgte durch zugbeanspruchte Verbundankerschrauben, die annähernd 2m tief in das Bauwerk eingebohrt wurden.

Aufgrund ungenügender Schubtragfähigkeit des Bestandsbauwerks erfolgte an den Endauflagern zudem eine Schubverstärkung über vertikale eingebohrte Verbundankerschrauben, die als zusätzliche Schubbewehrung wirken. Um eine Beschädigung der in den Stegen verlegten Spannglieder auszuschließen, wurden die Schubverstärkungen durch das Innere des Hohlkastens geführt. Die Verankerung an der Unterseite erfolgte mit aufgesetzten Platten, an der Oberseite über das Betongewinde in der Fahrbahnplatte.

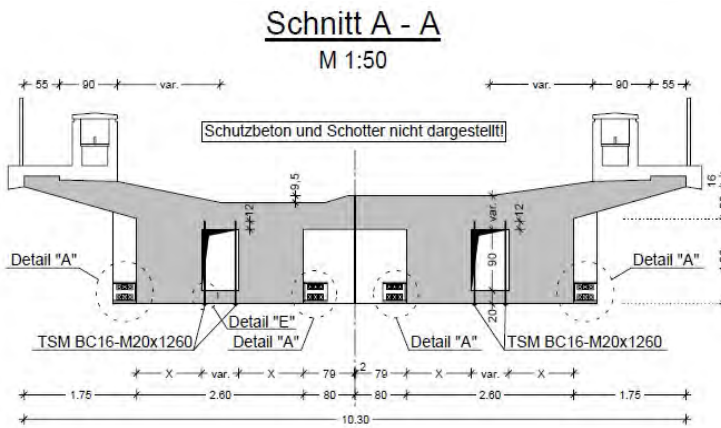


Abbildung 1: Schnitt durch Brückentragwerk am Widerlager mit Ertüchtigungsmaßnahmen

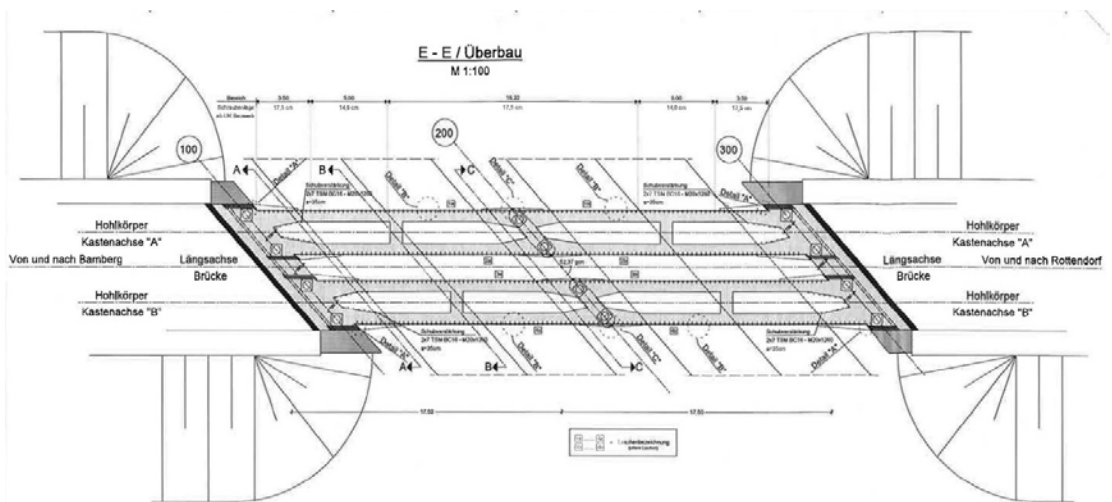


Abbildung 2: Grundriss Überbau

Für die Ertüchtigungsmaßnahme sind keine einflussreichen Erhaltungsmaßnahmen (z. B. Komponententausch) über die angesetzte Lebensdauer zu erwarten.

2.2 Brückenneubau

Für den Ersatzneubau der Brücke, welcher der Brückenertüchtigung gegenübergestellt wird, gab es keine Unterlagen, weil die Ausführung eines zur Gänze neuen Tragwerks nicht geplant war.

Bei der Abschätzung der wesentlichen Massen des Ersatzneubaus wurde die Geometrie (Stützweite, Breite und Höhe des Überbaus) entsprechend dem Bestand berücksichtigt. Die vorhandenen Widerlager und Mittelstützen können in diesem Fall mit geringen Anpassungen erhalten bleiben. Als Querschnitt wurde je Fahrtrichtung ein zweistegiger Plattenbalken in Spannbeton-Bauweise angenommen. Auch für den Ersatzneubau sind keine einflussreichen Erhaltungsmaßnahmen über den Analysezeitraum zu erwarten.

3. Ökobilanz

Die Methodik der Ökobilanz (Life Cycle Assessment – LCA) untersucht Umweltaspekte und potentielle Umwelteinwirkungen im Verlauf des Lebensweges (Lebenszyklus) eines Produktes bzw. einer Dienstleistung. Eine vollständige Ökobilanz nach ISO 14040 (Österreichisches Normungsinstitut 2006) und ISO 14044 (Österreichisches Normungsinstitut 2006) umfasst die folgenden Elemente:

- Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen
- Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung
- Auswertung

3.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel der Ökobilanz-Studie ist es, die ökologischen Auswirkungen der Brückenertüchtigung, welche in vier Wochen durchgeführt werden konnte und keine Sperre der Gleisstrecke mit sich brachte, jenen eines Ersatzneubaus der Brücke mit daraus folgender Sperre gegenüberzustellen. Die Planung, Vergabe und Ausführung eines neuen Brückentragwerks hätte erfahrungsgemäß rund zwei Jahre in Anspruch genommen. Es kann jedoch angenommen werden, dass mit der Planung zum selben Zeitpunkt wie mit jener der Brückenertüchtigung begonnen worden wäre (Beginn 2. Jahreshälfte 2014). D. h. der Zeitraum der Streckensperre kann somit mit eineinhalb Jahren (ca. 550 Tagen) angesetzt werden. Die Untersuchungsrahmen und Systemgrenzen der beiden zu untersuchenden Varianten können somit wie in Abbildung 3 dargestellt definiert werden.

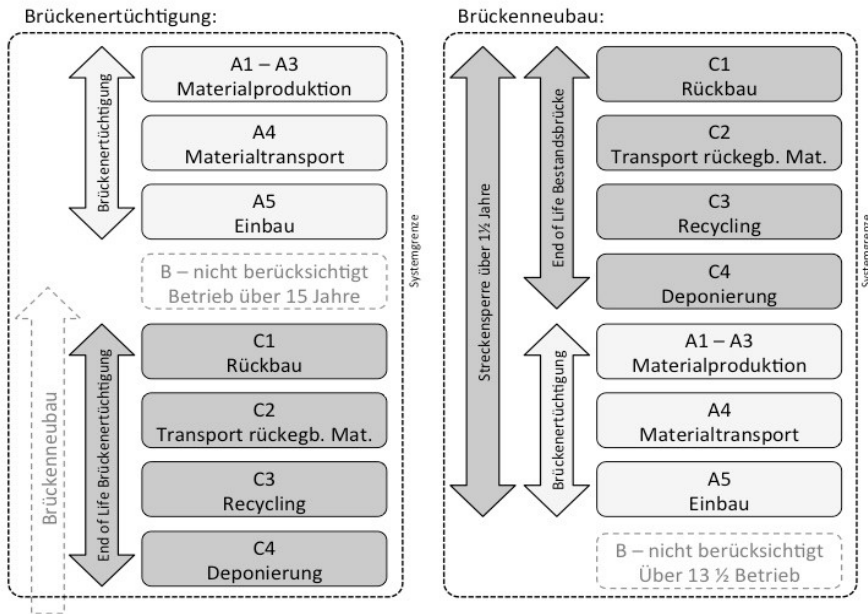


Abbildung 3: Untersuchungsrahmen und Systemgrenzen

Die Bezeichnungen für die einzelnen Lebenszyklusphasen in Abbildung 3 (A1-A3, C1, ...) stammen aus der Normenreihe des CEN TC350 (Sustainable Buildings and Civil Engineering Works) des Europäischen Normungsinstituts und sind europaweit gebräuchlich. Der Betrieb der Gleisstrecke inklusive Reinigung, Wartung etc. wird in der Studie nicht berücksichtigt, weil diese Prozesse für beide Varianten als identisch anzusetzen sind. Da für beide Varianten über den Untersuchungszeitraum keine einflussreichen Erhaltungsmaßnahmen zu erwarten sind, wird die Nutzungs- und Betriebsphase (B) bei der Ökobilanz-Studie komplett ausgeblendet. Der gesamte Analysezeitraum beträgt 15 Jahre und entspricht der von Prof. Feix Ingenieure angesetzten Lebensdauer der Brückenertüchtigung. Um den Neubau des Brückentragwerks nach Beendigung der Lebensdauer der Ertüchtigung möglichst kurz zu halten, wird mit der Herstellung des Tragwerks rechtzeitig vor Abbruch des Bestands und der Ertüchtigung begonnen, um das fertige Tragwerk dann einfach nur 'Einschieben' zu müssen.

3.2 Sachbilanz

In der Sachbilanz werden die für die Ökobilanz benötigten Stoff- und Energieflüsse (Inputs und Outputs) für die Prozesse der analysierten Lebenszyklusphasen ermittelt (Österreichisches Normungsinstitut 2006).

Die benötigten Materialien (A1-A3) für die Brückenertüchtigung basieren auf den der Maßnahme tatsächlich zugrunde liegenden Ausführungsplänen. Die Materialien für den Brückenneubau wurden anhand ingenieurmäßiger Erfahrungswerte abgeschätzt.

Tabelle 1: Materialbedarf

Brückenertüchtigung			Brückenneubau		
Material	#	EH	Material	#	EH
<i>Betonschrauben</i>			Beton	315	m ³
TSM BC16-M18x190 BV	700	Stk	Bewehrung	47	t
TSM BC16-M20x1260 BV	112	Stk	Spannstahl	10,5	t
TSM BC18-M24x2100 BV	48	Stk			
<i>Stoßverbindungen</i>					
Schraube M30	20	Stk			
Mutter M30	40	Stk			
<i>Laschen</i>					
b[mm]/t[mm]/l[m] 250/30/32,9	4	Stk			
b[mm]/t[mm]/l[m] 350/30/13	4	Stk			
<i>Endverankerungen</i>					
b[mm]/t[mm]/l[m] 235/15/3	16	Stk			
b[mm]/t[mm]/l[m] 250/35/0,5	8	Stk			
Montagestöße					
b[mm]/t[mm]/l[m] 120/15/2	16	Stk			
b[mm]/t[mm]/l[m] 130/60/0,25	8	Stk			
b[mm]/t[mm]/l[m] 120/15/2	16	Stk			
b[mm]/t[mm]/l[m] 130/60/0,35	8	Stk			

Beim Neubau wird nur die Erneuerung des Tragwerks (ohne Widerlager und Oberbau) berücksichtigt. Der Transport (A4) der Materialien der Ertüchtigung erfolgt per LKW über eine Entfernung von 140 km. Der Beton für den Neubau wird in Mischwägen von einem nahegelegenen Betonwerk antransportiert (10 km). Bewehrung und Spannstahl für den Neubau werden auch von einem Stahlhändler in 140 km Entfernung in Sattelzügen antransportiert. Der Einbau (A5) hat – im Vergleich zur Materialherstellung – erfahrungsgemäß geringen Einfluss auf die Ergebnisse der Ökobilanz, weil ein geringer Energie- und Materialbedarf besteht. Der Einbau wird deshalb für beide Varianten mit 2 % der ökologischen Belastungen der Materialproduktion angesetzt, um den Erhebungsaufwand für die Studie zu minimieren (Gschösser 2011). Auch der Aufwand für den Rückbau (C1) wird aufgrund seines geringen Einflusses mit 2 % der Umwelteinflüsse der Materialproduktion angesetzt. Die Transporte der rückgebauten Materialien (C2) zu Aufbereitungs- und Recyclinganlagen werden für beide Varianten identisch den Antransporten modelliert. Bezüglich der Wiederverwertbarkeit der rückgebauten Materialien wurde angesetzt, dass 90 % der Materialien einem Recycling-Prozess (C3) zugeführt werden und 10 % auf einer Deponie für inertes Material entsorgt werden (C4). Während der Gleissperre im Zuge der Ersatzneubau-Variante müssen sämtliche Züge, die von Rottendorf nach Bamberg oder umgekehrt wollen, die Strecke über Fürth und nicht über Schweinfurth nehmen. Dies bedeutet einen Umweg von ca. 50 km (Wikipedia 2015). Für Verschub, Wartezeit etc. wurde ein Aufschlag von 10 % auf die Strecke gegeben

und somit ein Umweg von 55 km untersucht. Auf der Strecke Rottendorf-Bamberg verkehren täglich 34 Personenzüge (in jede Richtung 17), für die angesetzt wurde, dass sie aus vier Wagen bestehen und somit eine maximal Besetzung von 250 Passagieren haben. Für alle Fahrten wird eine Auslastung von 75 % (Ausgleich der Morgenspitze angenommen) und somit eine Besetzung von 188 Personen angenommen. Für den Güterverkehr gibt das Umweltbundesamt eine Anzahl von 25 Fahrten (Umweltbundesamt 2010) an. Für jede Fahrt wird ein durchschnittlicher Güterzug mit einer Transportbelastung von 1000 Tonnen angesetzt. Die Sperre dauert eineinhalb Jahre, d. h. ca. 550 Tage.

3.3 Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung dient zum Erkennen und Beurteilen der Größe sowie der Bedeutung von Umweltwirkungen im Laufe des Lebenszyklus eines Produktes. Die Ergebnisse der Sachbilanz werden dabei in Form von Wirkungsindikatoren quantifiziert (Österreichisches Normungsinstitut 2006). In dieser Studie werden die folgenden Wirkungsindikatoren angewandt:

- Treibhauseffekt (Global Warming Potential – GWP) [kg CO₂ Äquiv]
- Versauerungspotential (Accidification Potential – AP) [kg SO₂ Äquiv]
- Nicht-erneuerbarer kumulierter Energieaufwand (Ne-KEA) [kg MJ Äquiv]

Die Modellierung der einzelnen „Produktsysteme“ der untersuchten Ausführungsvarianten erfolgte mit dem Ökobilanz-Programm SimaPro und der Datenbank *ecoinvent v2.2* (Ecoinvent Center 2010). Im ersten Schritt werden die Ertüchtigung und der Neubau ohne Sperre der Gleisstrecke in zeitlicher Abhängigkeit gegenüber gestellt.

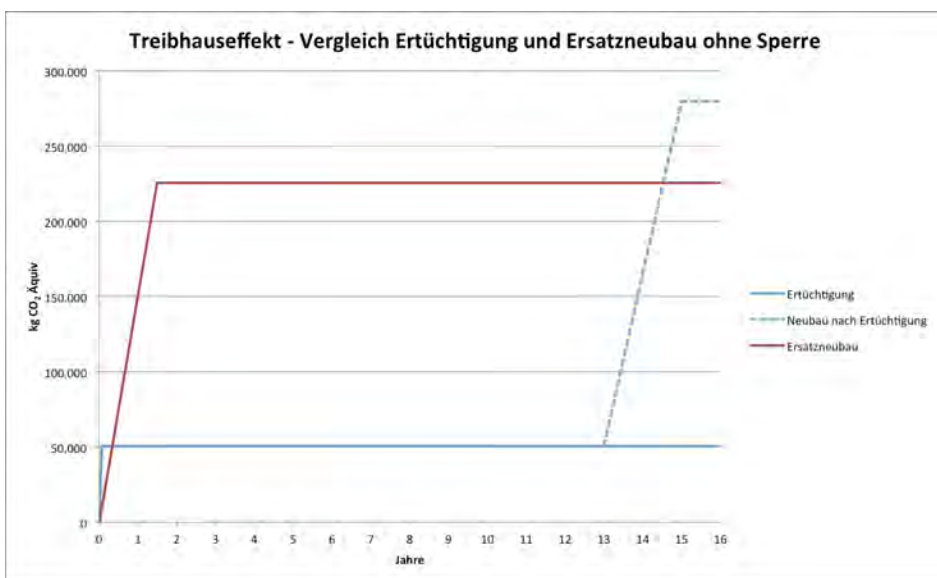


Abbildung 4: Ertüchtigung versus Ersatzneubau – Treibhauseffekt

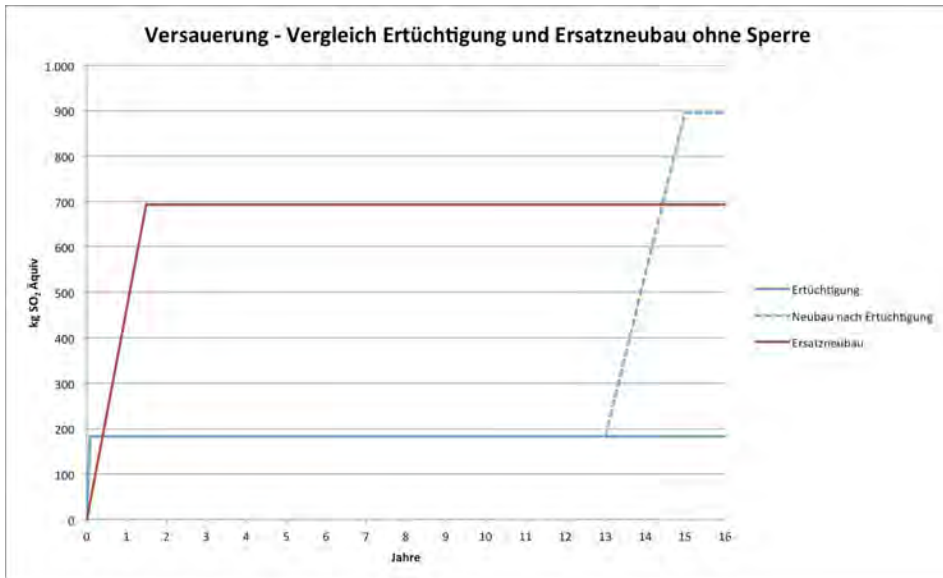


Abbildung 5: Ertüchtigung versus Ersatzneubau – Versauerungspotential

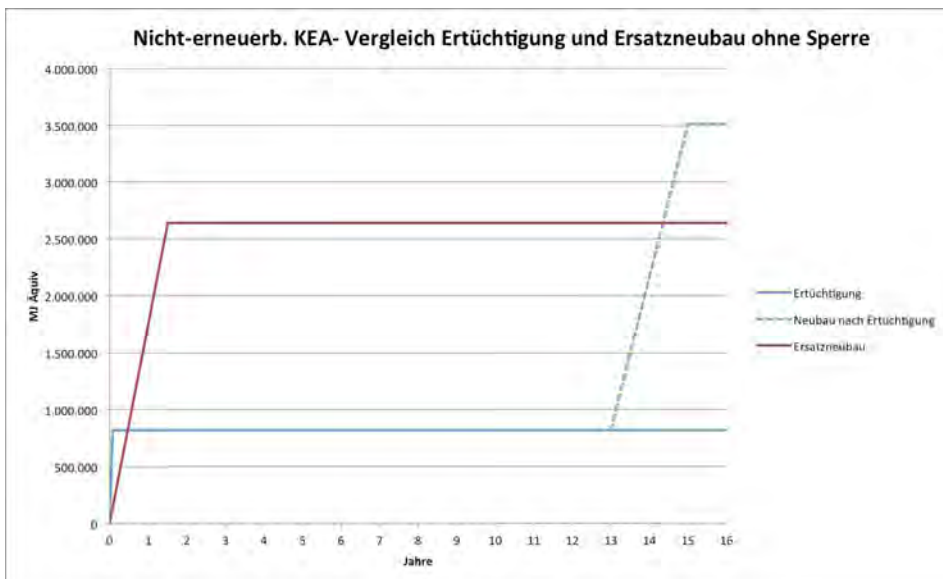


Abbildung 6: Ertüchtigung versus Ersatzneubau – Nicht-erneuerbarer Kumulierter Energieaufwand

Abbildung 4 bis Abbildung 6 zeigen für alle drei Indikatoren, dass die Ertüchtigung geringere Umweltbelastungen bewirkt als der Ersatzneubau und für den Zeitraum der Lebensdauer der Ertüchtigung eine entsprechende Reduktion an Umweltbelastungen bewirkt. Die Umweltwirkungen des Ersatzneubaus können dementsprechend nach hinten verschoben werden. Die Auswertung des Einflusses der Sperre zeigt jedoch, dass der große Mehrwert der Ertüchtigung in der Vermeidung der Gleissperre liegt. Um den Effekt der Sperre besser darzustellen, werden zuerst die Umweltbelastungen für einen Tag Streckensperre den Umweltbelastungen der Ertüchtigung und des Ersatzneubaus gegenübergestellt.

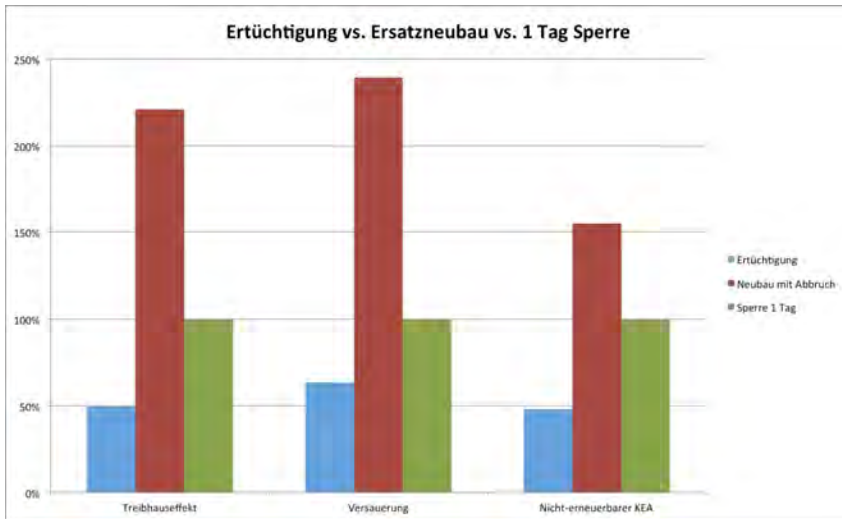


Abbildung 7: Vergleich 1 Tag Sperre mit Ertüchtigung und Ersatzneubau

Abbildung 7 zeigt, dass bereits ein Tag Gleissperre ungefähr doppelt so hohe Umweltbelastungen verursacht wie die gesamte Ertüchtigung. Der Ersatzneubau bewirkt noch 1,5- bis 2,4-fach höhere Umweltbelastungen, was sich aber auch nach spätestens drei Tagen ausgleichen würde. Vergleicht man den Einfluss der Bauprozesse mit der gesamten Sperre über eineinhalb Jahre, so sieht man, dass der Einfluss der Bauprozesse im Vergleich zur Sperre marginal ist (Abbildung 8).

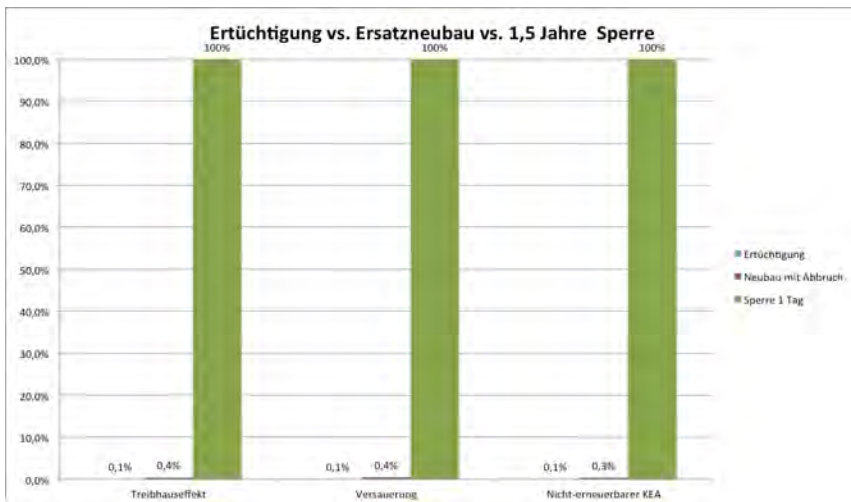


Abbildung 8: Vergleich 1 ½ Jahre Sperre mit Ertüchtigung und Ersatzneubau

4. Fazit

Die Studie zeigt den enormen Einfluss der Veränderung bzw. Verlängerung von Transportdistanzen. Es wird dargestellt, dass bei Transportinfrastrukturen die Vermeidung einer Streckensperre von entsprechend größerer (ökologischer) Bedeutung ist, als die Wahl von Bauweisen und Materialien. Die Studie beweist auch die enorme ökologische Bedeutung von streckenverkürzenden Ingenieurbauten wie Brücken und Tunnel. Ähnliche Studien zeigten auch in der Vergangenheit schon, wie einflussreich eine Streckenverkürzung sein kann, und welche ökologischen Auswirkungen ein Ausfall von strategisch wichtigen Infrastrukturbauten bewirken kann. Parallel zur Ökobilanz-Studie wurde auch eine Lebenszykluskostenanalyse für die beiden Varianten durchgeführt. Da bis dato keine Kostenwerte für eine Gleissperre erhoben werden konnten, und auch hier der größte Einfluss bei der Sperre vermutet wird, werden die endgültigen Erkenntnisse der Lebenszykluskostenanalyse in einer späteren Publikation kommuniziert.

Literaturverzeichnis

ASTRA (2003). NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte - Ein Instrument zur Beurteilung von Strasseninfrastrukturprojekten unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsziele. Bern.

Bau-EPD GmbH (2015). „Bau-EPD Baustoffe mit Transparenz.“ aufgerufen am 23.04.2014, 2014, von <http://www.bau-epd.at>.

CEN (2014). EN 15804 – Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Brüssel, CEN - European Committee for Standardization.

CEN (2015). “Overview of CEN/TC 350.” aufgerufen am 15.01.2015, 15.01.2015, von http://portailgroupe.afnor.fr/public_espacenormalisation/centc350/chairman_remark.html.

ECO-platform (2015). aufgerufen am 02.04.2015, von <http://www.eco-platform.org>.

Ecoinvent Center (2010). ecoinvent database v2.2. Dübendorf, Schweiz, Swiss Center for Life Cycle Assessment.

Greenroads (2010). Handbook. Washington, University of Washington.

Gschösser, F. (2011). Environmental Assessment of Road Constructions - Life Cycle Assessment of Swiss Road Pavements and an Accompanying Analysis of Construction and Maintenance Costs (Dissertation). Zürich, ETH Zürich.

IFSTTAR (2013). “ECOcomparateur Route Construction Entretien V2.” von <http://ecorce2.ifsttar.fr/>.

ÖGNB (2015). „Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen.“ aufgerufen am 23.03.2015, von <http://www.oegnb.net>.

ÖGNI (2015). „Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft.“ aufgerufen am 23.03.2015, von <http://www.ogni.at>.

Österreichisches Normungsinstitut (2006). ÖN EN ISO 14040 - Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen. Wien.

Österreichisches Normungsinstitut (2006). ÖN EN ISO 14044 - Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen. Wien.

Santero, N., et al. (2011). *Methods, Impacts, and Opportunities in the Concrete Pavement Life Cycle*. Cambridge (MA, USA), Concrete Sustainability Hub of the Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Umweltbundesamt (2010). *Schienennetz 2025/2030 - Ausbaukonzeption für einen leistungsfähigen Schienengüterverkehr in Deutschland* Berlin, Umweltbundesamt.

USIRF - Routes de France (2014). „SEVE - eco-comparateur.“ von <http://www.seve-tp.com>.

Wikipedia (2015). “*Bahnstrecke Bamberg–Rottendorf*.” von https://de.wikipedia.org/wiki/Bahnstrecke_Bamberg%E2%80%93Rottendorf#Verkehrsangebot.