



Dokumentation

Ökobilanzen zum Bau von Infrastrukturen des bodennahen Verkehrs

Ökobilanzen zum Bau von Infrastrukturen des bodennahen Verkehrs

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 002/21
Abschluss der Arbeit: 12. März 2021
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und
Forschung

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Studien zur Ökobilanzierung von Infrastrukturen des bodennahen Verkehrs	5

1. Einleitung

Mit Hilfe von sogenannten Ökobilanzierungen (englisch: Life Cycle Assessment, LCA) lässt sich auch der CO₂-Fussabdruck des Baus von Verkehrsinfrastrukturen berechnen. Die Experten unterscheiden dabei zwischen Bau, Unterhalt und Betrieb der Infrastruktur. Sämtliche Umweltauswirkungen (z. B. CO₂-Emissionen) die ein Produkt entlang seines Lebensweges systematisch erzeugt, werden bewertet und berechnet. Dazu gehören die Ressourcengewinnung, die Energiebereitstellung, die Herstellung der Komponenten, Transportleistungen, sowie die Nutzung und die Entsorgung des Produktes.

Beim Bau von Straßen wird beispielsweise zwischen den einzelnen Bauarten einer Asphaltstraße (z.B. Schichtdicke der verschiedenen Bauklassen, mit/ohne hydraulisch gebundener Tragschicht, Tunnelbau und Tunnelarten, Straßenbeleuchtung) unterschieden.¹ Zur Vereinfachung werden in der Regel sogenannte Normkilometer betrachtet, in denen die einzelnen Komponenten eingehen.

Je nach Streckenabschnitt sind Überführung oder Untertunnelung für Fernbahnen und im Straßenbau notwendig. Auch bei U-Bahnlinien gibt es Brückenkomponenten und Tunnelbau bei S-Bahnlinien. Normkilometer werden daher auch im Schienenbau verwendet. Bei der Betrachtung der Schieneninfrastruktur spielt zudem die Nutzung eine Rolle. Wie zum Beispiel die Anzahl der Haltestops oder der Passagiere in Abhängigkeit von der Zugart.²

Sehr unterschiedliche Komponenten können je nach Verkehrsart in die Bilanzierung eingehen. Radwege können in unterschiedlichen Ausführungen gebaut werden: Radwege verlaufen mit einer Markierung abgeteilt von der Straße, gemeinsam mit Fußwegen entlang der Straße oder straßenbegleitend als separater Weg insbesondere in ländlichen Bereichen. Bei der Betrachtung der

-
- 1 Siehe auch: Pohl, Th., Kytzia, S., Hochschule für Technik Rapperswil (2018). „Ökobilanz der Herstellung von Asphaltbelägen“, Zeitschrift Straße und Autobahn 10/2018, https://www.umtec.ch/fileadmin/user_upload/umtec.hsr.ch/Dokumente/News/OEkobilanz_der_Herstellung_von_Aspaltbelaegen.pdf
 - 2 Eine Reise im Zug erzeugt pro Meile zum Beispiel in einem französischen TGV, elektrisch angetrieben mit Kernenergie, 22 g CO₂e, ein Zug der U-Bahn in London 68 g CO₂e, S- oder Straßenbahn 68 g CO₂e, eine Reise im Intercity zweiter Klasse 80 g CO₂e und im Intercity erster Klasse 160 g CO₂e. In einem weiteren Szenario vergleicht Berners-Lee eine Strecke von 661 Kilometern zwischen London und Glasgow und zurück für eine Person. Für die PKWs wurde eine Geschwindigkeit von 100 km/h angenommen. Mit dem Fahrrad entstehen 30 kg CO₂e, mit dem Bus 40 kg CO₂e, mit dem Zug 64 kg CO₂e, mit einem Elektroauto 148 kg CO₂e, mit einem kleinen effizienten Benzinauto 237 kg CO₂e, im Flugzeug 388 kg CO₂e und 1,02 Tonnen CO₂e im großen SUV.² Aus: Berners-Lee, M. (2020). „Wie schlimm sind Bananen? – Der CO₂-Abdruck von allem“, Midas Management Verlag AG Zürich 2020, Seite 43 und 119

Radwegenutzung wäre auch die Art der Nutzung, ob Fahrrad, E-Bike oder gar Lastenrad, zu berücksichtigen. Auch der Zustand und das Design der Radwege sind entscheidend für die Akzeptanz und Nutzung.³

Die vorliegende Arbeit soll anhand ausgewählter Studien die Komplexität der Vergleichbarkeit von Ökobilanzen bodennaher Verkehrsinfrastrukturen aufzeigen.

2. Studien zur Ökobilanzierung von Infrastrukturen des bodennahen Verkehrs

Die folgenden ausgewählten Beispiele zeigen unterschiedliche Fragestellungen und die Vielschichtigkeit, die bei der Bestimmung von Treibhausgaspotentialen verschiedener Verkehrsinfrastrukturen eine Rolle spielen.

Ökobilanzen von Verkehrsmitteln beziehen oft die direkten Treibhausgasemissionen durch die Verbrennung des Kraftstoffs in den Fahrzeugen sowie die indirekten energiebedingten Emissionen durch die Gewinnung, Umwandlung, Verteilung und Bereitstellung der Energieträger ein. Unberücksichtigt bleiben hingegen die Emissionen für den Bau, die Instandhaltung und den Betrieb der Verkehrsinfrastrukturen sowie die Herstellung und die Instandhaltung der Fahrzeuge. Eine vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebene Studie⁴ ermittelte den Beitrag der Verkehrsinfrastruktur sowie der Fahrzeuge zur Treibhausgasbilanz des Personen- und Güterverkehrs. Die Experten untersuchten „anhand einer orientierenden Stoffstromanalyse die Treibhausgasemissionen, die durch den Bau, die Instandhaltung und den Betrieb der Infrastruktur sowie die Herstellung und den Unterhalt der Fahrzeuge für den Straßen-, Schienen-, Luft- und Binnenschiffsverkehr verursacht werden und bezieht diese auf die erbrachte Verkehrsleistung (Personenkilometer bzw. Tonnenkilometer).“ Die Experten kommen zu dem Schluss, dass ihre „Ergebnisse verdeutlichen, dass die Treibhausgasemissionen durch den Bau, Unterhalt und Betrieb der Verkehrsinfrastruktur sowie durch den Bau und Unterhalt der Fahrzeuge von hoher Relevanz sein können und daher bei zukünftigen Umweltvergleichen einbezogen werden sollten. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass sich der Einfluss der drei Bereiche bei den Verkehrsträgern stark unterscheiden kann, und es deshalb sinnvoll ist, stets alle drei Bereiche einzubeziehen. Während die Fahrzeugherstellung beim Schienenpersonenverkehr und Flugverkehr einen geringen Einfluss besitzt, führt sie beim Pkw-Verkehr neben dem Fahrbetrieb zu den meisten Emissionen. Auf der anderen Seite scheint der Betrieb der Infrastruktur im Straßenverkehr vernachlässigbar, führt aber im Luftverkehr zu den größten zusätzlichen Emissionen.“

3 Berners-Lee hat die wissenschaftlich fundierte Bestimmung des ökologischen Fußabdrucks auf die Spitze getrieben und den Fußabdruck nicht nur für E-Bikes und Fahrräder gegenüber gestellt, sondern auch den Fußabdruck eines Fahrrades dessen Fahrer unterschiedliches Frühstück zu sich genommen hatte. Die Emissionen eines Fahrrads pro Meile (bzw. 1,6 km) unterschied der Experte für ein voll elektrisches Fahrrad bei 20 km/h ohne Hügel oder Zwischenstopp (3 g CO₂e) und bei gleicher Geschwindigkeit mit fünf Zwischenstopps und 20 m Höhenunterschied (5 g CO₂e). Aus: Berners-Lee, M. (2020). „Wie schlimm sind Bananen? – Der CO₂-Abdruck von allem“, Midas Management Verlag AG Zürich 2020

4 Umweltbundesamt (2013). „Treibhausgas-Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland, Arbeitspaket 4 des Projektes ‚Weiterentwicklung des Analyseinstrumentes Renewability‘“, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_96_2013_treibhausgasemissionen_durch_infrastruktur_und_fahrzeuge_2015_01_07.pdf

Die Ergebnisse für den Straßenverkehr und ein Vergleich von Lkw und Güterverkehr finden sich auf den Seiten 51 bis 59 des Endberichts. Auf den Seiten 121 bis 123 diskutieren die Experten die Ergebnisse für den Schienenverkehr. In Kapitel 7.1 stellen die Autoren die Werte der Verkehrsträger gegenüber und vergleichen dabei die CO₂- und CO₂-Äquivalent-Emissionen für den Personennahverkehr, Personenfernverkehr und den Güterverkehr. In Kapitel 7.2 vergleichen die Autoren ihre Ergebnisse mit denen älterer Studien.

Für die Treibhausgasemissionen, die sich allein aus dem Bau und Unterhalt der Verkehrsinfrastruktur geben, berechneten die Experten für das Jahr 2008 folgende CO₂-Äquivalente:

Personenverkehr: 8 g CO₂-Äquivalente pro Pkm für Pkw, 7 g CO₂-Äquivalente pro Pkm für Linienebus, 5 g CO₂-Äquivalente pro Pkm für Reisebus, 15 g CO₂-Äquivalente pro Pkm für Personennahverkehr (Bahn), 9 g CO₂-Äquivalente pro Pkm für Personenfernverkehr (Bahn).

Güterverkehr: 15 g CO₂-Äquivalente pro tkm für Last- und Sattelzüge bis 40 t, 6 g CO₂-Äquivalente pro tkm für den Schienengüterverkehr.⁵

Das Gesamtergebnis der Studie zeigt, dass bei allen Verkehrsmitteln relevante Anteile der Gesamtemissionen auf den Bau, Instandhaltung und Betrieb von Infrastruktur und Fahrzeugen entfallen.⁶

Ein spezielles Beispiel ist die Erstellung einer Ökobilanz für die Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts. Die Experten des Centrums für Baustoffe- und Materialprüfung haben anhand einer Studie einen 1 km langen, vier-spurigen Autobahnabschnitt mit einem 85 cm dicken Oberbau in verschiedenen Ausführungsvarianten bilanziert. Die Experten sind wie folgt vorgegangen: „Als Werkzeug wurde die Methodik der Ökobilanz nach DIN ISO 14040 verwendet. Hierbei wurden in der Sachbilanz alle stofflichen und energetischen In- und Outputs der betrachteten

5 Umweltbundesamt (2013). „Treibhausgas-Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland, Arbeitspaket 4 des Projektes ‚Weiterentwicklung des Analyseinstrumentes Renewbility‘“, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_96_2013_treibhausgasemissionen_durch_infrastruktur_und_fahrzeuge_2015_01_07.pdf, Seite 152 und Tabelle 65 Seite 115

6 Umweltbundesamt (2013). „Treibhausgas-Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland, Arbeitspaket 4 des Projektes ‚Weiterentwicklung des Analyseinstrumentes Renewbility‘“, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/texte_96_2013_treibhausgasemissionen_durch_infrastruktur_und_fahrzeuge_2015_01_07.pdf Kurzbeschreibung Seite 5

Öko-Institut e.V. (2013). „Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland“, <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/treibhausgasemissionen-durch-die-schieneinfrastruktur-und-schienefahrzeuge-in-deutschland>

Chester, M. V: Life-cycle Environmental Inventory of Passenger Transportation in the United States. Dissertation, Institute of Transportation Studies, UC Berkeley. Berkeley: 2008

Chester, V.; Horvath, A.: Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure in: Environmental Research Letters Volume 4 Number 2, 2009

Prozesse (Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts) bilanziert. Dazu gehören auch die Ressourcengewinnung, die Energiebereitstellung, die Herstellung der benötigten Produkte, Transportleistungen sowie die Nutzung und die Entsorgung der jeweiligen Produkte. Im Rahmen der Wirkungsabschätzung wurden in dieser Studie die in der Sachbilanz ermittelten Emissionen in Luft, Wasser und Boden ermittelt und über Äquivalenzfaktoren mittels der CML-Methode zu den Wirkungskategorien Treibhauspotential (GWP), Ozonabbaupotential (ODP), photochemisches Ozonbildungspotential (POCP), Versauerungspotential (AP) sowie Eutrophierungspotential (EP) aggregiert. Als Datenquelle wurde ausschließlich die Schweizer „ecoinvent“-Datenbank verwendet. Prozesse, die in der Datenbank nicht vorhanden waren, wurden analysiert und mittels bestehender Vorprozesse modelliert. Die Daten wurden mit Hilfe der Ökobilanzierungssoftware „SimaPro“ verarbeitet und ausgewertet.“ Die Autoren kommen nach der Betrachtung der Emissionen und Einsparpotentiale zu dem Schluss, dass eine „treibstoffsparende“ Bauweise eine deutlich größere Bedeutung hat, als einer Bauweise mit geringen Umweltwirkungen während ihrer Herstellung und Nutzung.⁷

Um zu verdeutlichen, wie spezifisch die Ökobilanzen in ihren Betrachtungen sein können, sei ein Beispiel eines Vergleichs verschiedener Asphaltmischungen genannt. In diesem Beispiel gehen auch Recyclingprodukte in die Gegenüberstellung ein. Die Experten zeigen, dass „obwohl bei der Produktion von Recycling-Asphalt am Werksstandort mehr Schadstoffe an die Luft abgegeben werden, die Gesamt-Ökobilanzen deutlich für das Recycling sprechen. Bei der Produktion von Asphalt aus frischen Rohstoffen wäre nur schon die Umweltbelastung dreimal höher als beim Asphalt, der zu 60 Prozent aus Sekundärrohstoffen aus dem Straßenbau besteht.“⁸

Im Rahmen einer Studie zur Klimabilanz Berliner U-Bahn und Straßenbahnplanungen setzten die Autoren der Studie die Klimafreundlichkeit eines künftigen U-Bahn-Verkehrsangebots ins Verhältnis zur Klimabelastung des Baus seiner Infrastruktur.⁹ Die Studie vergleicht diese Ergebnisse mit den Untersuchungen für einen Streckenneubau für Straßenbahnen.¹⁰

7 Technische Universität München, Centrum Baustoffe und Materialprüfung <https://www.bgu.tum.de/cbm/forschung/betontechnologie/erstellung-einer-oekobilanz-fuer-die-herstellung-und-nutzung-eines-autobahnabschnitts/>

Insbesondere Tunnelbau: Technische Universität München (2016). „Ökologische Betrachtungen zur Nachhaltigkeit von Tunnelbauwerken der Verkehrsinfrastruktur“, <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1295092/1295092.pdf>

8 Pohl, T. et al. (2018). „Life cycle assessment of the production of asphalt pavements“, Auto und Straßenbahn 10/2018, <https://www.strasse-und-autobahn.de/strasse-und-autobahn/heftarchiv/sta-102018.html>

9 Die Schätzungen beziehen sich auf einen Normkilometer U-Bahnbau. Dieser Normkilometer beinhaltet neben der Produktion von Beton und Stahl auch den Erdaushub sowie den Tunnel und die dazugehörige Infrastruktur wie beispielsweise Bahnhöfe, Rolltreppen, Fahrstühle, Sitzbänke und Abfallbehälter.

10 Dittmer, M. et al. (2020). „Die Klimabilanz Berliner U-Bahn- und Straßenbahnplanungen“, <https://klimabilanz-ubahn-tram.de/download/klimabilanz-ubahn-tram.pdf>

Die Emissionen je km Bau von Straßenbahn-Trassen liegen je nach Bauart zwischen 7.145 Tonnen CO₂ (Schotter- oder Rasenbett) und 12.210 Tonnen CO₂ je km (in Betonbett).

Die Experten stellen dabei die CO₂-Emissionen des Baus einer U-Bahnstrecke in Tunnellage den Einsparungen der CO₂-Emissionen der vermiedenen Pkw- und Busfahrten gegenüber. Die größten CO₂-Verursacher sind die Produktion von Zement und Stahl, die beim Bau benötigt werden. Die Kompensation der CO₂-Emissionen würde im Durchschnitt nach 139 Jahren eintreten. Der Bau eines Straßenbahnabschnittes würde dagegen 10 Jahre bis zur Kompensation benötigen. Die Umstellung von Pkw und Bussen auf Elektromobilität haben die Experten in ihren Berechnungen nicht berücksichtigt und würde die Ergebnisse noch verschlechtern.¹¹

Auch Nutzungsfaktoren spielen eine Rolle bei der Entscheidung für einen Verkehrsträger. Die Betrachtung des zeitlichen Einsparpotentials für Bus, Straßenbahn und U-Bahn ist für den Nutzer nicht unerheblich. Für den gleichen Streckenabschnitt scheint, wenn man den praktischen Fall des Schienenersatzverkehrs annimmt, eine Busverbindung deutlich langsamer zu sein als eine U-Bahnverbindung. Bei gleicher Streckenlänge fahren dagegen U-Bahnen weniger Haltestellen an als der Oberflächenverkehr. Die Autoren empfehlen in ihrer Studie, basierend auf den Werten ihrer ermittelten CO₂-Emissionen, die Sanierung bestehender Tunnel und den Ausbau des Straßenbahnnetzes vor dem Bau neuer U-Bahnabschnitte.¹²

Vergleichende Analysen zu CO₂-Emissionen beziehen neben Verkehrsarten und Straßenkategorien auch Verursachergruppen ein. Eine vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebene Studie ermittelt einen verkehrsbasierten CO₂-Fußabdruck differenziert nach einzelnen Bevölkerungsgruppen. Im Rahmen der Studie werten Experten Faktoren und Zusammenhänge im alltäglichen Personenverkehr aus. Dazu erstellten die Autoren Listen spezifischer Emissionswerte inklusive der Vorkette nach Fahrzeugtyp und Verkehrsmittel in Gramm pro Personenkilometer bzw. pro Kilometer. Insbesondere interessierten sich die Analysten für das Emissionsaufkommen auf Personen und Wegebene, um genaue Hinweise der Emissionsquellen zu ermitteln.

Die verkehrsmittelspezifischen Emissionskennwerte in [g/Pkm] für Busse, Lkw, Pkw, Bahnen im Nahverkehr und Fernverkehr (Diesel- und Elektroantrieb), U-Bahnen und Straßenbahnen für unterschiedliche Szenarien enthalten die umfangreichen Tabellen im Anhang der Studie. Die Szenarien beziehen sich auf die Jahre 2002, 2008 und 2017.¹³

-
- 11 „Der Emission von 99.000 t CO₂ je Kilometer der hier betrachteten U-Bahn-Bauprojekte steht eine jährliche Einsparung von durchschnittlich 714 t CO₂/km gegenüber. Daraus ist abzuleiten, dass der Neubau der für Berlin vorgeschlagenen U-Bahn-Tunnelstrecken sich aus Emissionssicht nach durchschnittlich 139 Jahren amortisiert. Bei Einbeziehung der partiell oberirdischen Strecke (U7 zum BER) sinkt der Durchschnitt auf 128 Jahre.“ Aus: Dittmer, M. et al. (2020). „Die Klimabilanz Berliner U-Bahn- und Straßenbahnplanungen“, <https://klimabilanz-ubahn-tram.de/download/klimabilanz-ubahn-tram.pdf>, Seite 12
 - 12 Dittmer, M. et al. (2020). „Die Klimabilanz Berliner U-Bahn- und Straßenbahnplanungen“, <https://klimabilanz-ubahn-tram.de/download/klimabilanz-ubahn-tram.pdf>, Seite 4, 12, 18
 - 13 Umweltbundesamt, infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH (2020). „CO₂-Fußabdrücke im Alltagsverkehr Datenauswertung auf Basis der Studie Mobilität in Deutschland“, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_12_03_texte_224-2020_co2-fussabdruecke_alltagsverkehr_0.pdf, Seite 85-88