

Vergleichende Ökobilanz von Niedertemperatur-Asphaltbelägen

Energiebilanz und Emissionen unter der Lupe

Im Fokus stehen sogenannte Niedertemperatur-Asphalte. Ihre Vorteile liegen im energetischen und ökologischen Gewinn, der aus den tieferen Temperaturen beim Herstellungsprozess resultiert. Sie lassen sich zudem auf der Baustelle angenehmer verarbeiten. Untersucht wird, ob die genannten Gewinne allenfalls negative Effekte, etwa aus der Zugabe der Hilfsstoffe, kompensieren können.

Von Annina Gaschen

Ein Forschungsauftrag des Bundesamts für Strassen hat zum Ziel, die Umweltverträglichkeit von verschiedenen Asphaltstrassenbelägen während der gesamten Lebensdauer zu erfassen und sie auf ihre Umweltrelevanz hin zu bewerten und zu vergleichen.

In einer Ökobilanz (engl. »life cycle analysis«, LCA) sollen verschiedene Verfahren zur Herstellung von Niedertemperatur-Asphalten (NTA, siehe Kasten) und konventionelles Heissmischgut einander gegenübergestellt werden:

- Mischgut 1: Chemische Zusätze als Weichmacher
- Mischgut 2: Wasserzugabe durch Zeolithe
- Mischgut 3: Schaumbitumen

Die LCA ist ein Teil eines Forschungspakets mit insgesamt sieben Teilprojekten, an denen mehrere schweizerische Forschungsanstalten, Ingenieurbüros, Prüflabors, Anlagenbauer und Anlagenbetreiber beteiligt sind. Jedes dieser Teilprojekte untersucht eine spezifische Fragestellung zur ökologi-

ANNINA GASCHEN

Dr. phil. nat. Chemikerin
Abteilung RisCare
Neosys AG, Gerlafingen.

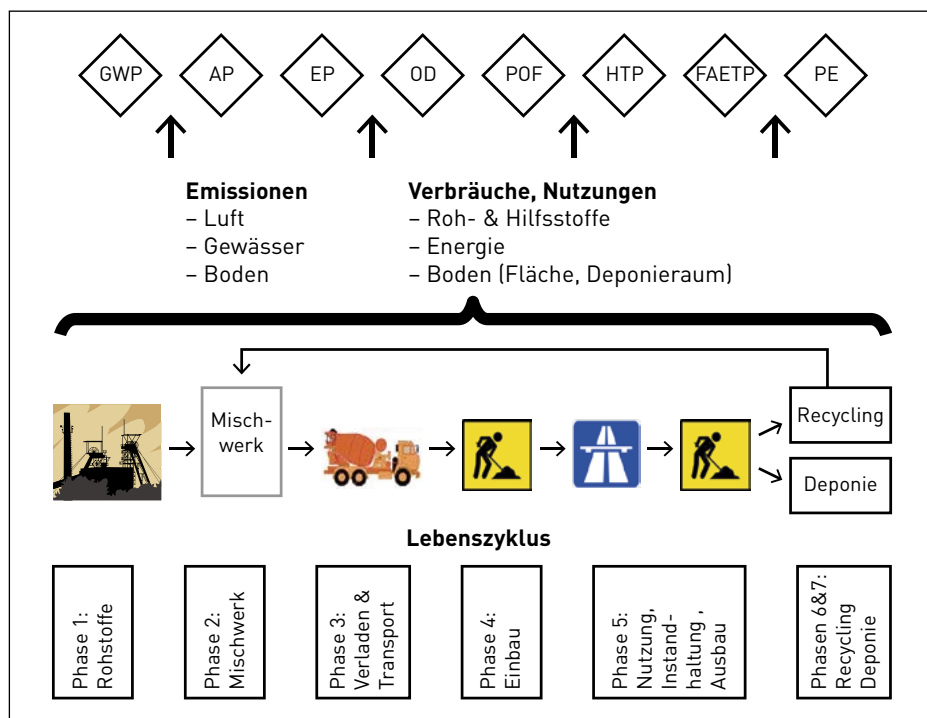


Abbildung 1: Die Struktur der Ökobilanz: Der Lebenszyklus eines Strassenbelages wurde in sieben Phasen eingeteilt. Für jede Phase wurden die direkten Emissionen und die indirekten Emissionen aus dem Verbrauch von Energie, Rohstoffen und Boden berechnet und die Umweltbelastung anhand acht verschiedener Wirkindikatoren quantifiziert (Abkürzungen der Indikatoren siehe Tab. 2).

schon und energetischen Nachhaltigkeit von Niedertemperatur-Asphalten [1].

Strassenbau kurz erklärt

Bituminöses Mischgut ist in der Schweiz der am meisten verwendete Baustoff zur Herstellung von Strassenbelägen und nimmt im modernen Strassen- und Autobahnbau eine dominierende Stellung ein. Mischgut ist ein Gemisch aus frischen Mineralstoffen («Weissmaterial»: Sand, Kies, Splitt), rezykliertem Asphaltgranulat («Schwarzmaterial») und Bitumen. Bei der Herstellung von konventionellem Asphalt werden die Ausgangsmaterialien im Mischwerk in Heizztrommeln auf etwa 160°C erhitzt und im Mischer mit Bindemittel (Bitumen) umhüllt. Während des Transportes zur Baustelle kühlt die Mischung ab, jedoch beträgt die Temperatur beim Einbau immer noch rund 140°C. Auf

der Baustelle wird die Mischgut mit Fertigmern auf die Unterlage aufgebracht und mit Walzen verdichtet. Ein Strassenbelag besteht aus verschiedenen Schichten mit unterschiedlicher Zusammensetzung und Eigenschaften (Trag-, Binder- und Deckschicht). Ein Mischwerk stellt daher das Mischgut nach verschiedenen, genau festgelegten Rezepturen her.

Tag X – Die grosse Einbaukampagne

An einem Herbsttag im Oktober 2012 wurden drei NTA-Mischgutttypen und das Referenzmaterial in einem Mischwerk produziert und die Beläge im Raum Bern auf einer Überlandstrasse eingebaut. Dabei waren mehrere Teams in Einsatz: Beim Mischwerk wurden die Emissionen und Ressourcenverbräuche bestimmt. Auf der Baustelle wurden unter anderem die Emissionen während des Einbaus gemessen



Abbildung 2: Einbau eines Niedertemperatur-Asphaltbelages im Parallelbetrieb mit zwei Fertigern (vorne links) und mehreren Walzen. Fotos: Alexander Winkler

und für spätere Messungen im Labor wurden Chargen des Mischgutes abgepackt. Eine detaillierte Aufstellung der Sachbilanz findet sich in Tabelle 1.

Dank dem Engagement und der Flexibilität aller Projektpartner (Baufirmen, Forschungsstellen und Behörden) wurde diese anspruchsvolle Kampagne ein voller Er-

folg. Zusätzlich zu den Herausforderungen, die sich beim Strassenbau durch die organisatorischen, verkehrstechnischen und klimatischen Bedingungen ergeben, stellten die Forscher noch weitere wissenschaftliche Ansprüche an die Durchführung der Arbeiten.

Erstellung und Struktur der Ökobilanz

Die Erstellung einer Ökobilanz unterliegt ISO-Standards: Nach ISO 14040 und 14044 muss eine Ökobilanz in vier Schritten ausgeführt werden:

- Definition von Zielen und Systemgrenzen
- Erstellen der Sachbilanz (engl. life cycle inventory, LCI)
- Wirkungsabschätzung (engl. life cycle impact assessment, LCIA)
- Interpretation der Umweltgefährdung (Dominanz- und Sensitivitätsanalysen, Monetarisierung)

Lebenszyklusphase	Ressourcenverbräuche	Emissionen	Erhebung der Daten
Phase 1 - Rohstoffe	Ressourcenverbräuche und Emissionen aus der Gewinnung der Rohstoffe aus primären Ressourcen (Abbau von Kies und Sand, Herstellung des Bitumens und der Hilfsstoffe).		Stoffmengen gemäss Rezeptur Mischwerk. Prozesse gemäss ecoinvent.
Phase 2 - Mischwerk	a) Heizöl und Strom für Betrieb Heiztrommel, Mischer und weiterer Anlagenteile.	b) Emissionen aus dem Mischgut und dem Verbrauch von Heizöl	a) Realer Verbrauch Heizöl und Strom gemäss Zähler Mischwerk b) Emissionsmessungen am Abluftkamin (CO ₂ , NO _x , SO ₂ , VOC, PAK, Staub)..
Phase 3 - Verladen und Transport	a) Dieselverbrauch der LKW (Transport zur Baustelle)	b) Emissionen LKW und Emissionen aus dem heissen Mischgut beim Verladen auf den LKW c) PAK-Emissionen aus Mischgut während Transport zur Baustelle.	a) Dieselverbrauch anhand Fahrstrecke und mittlerem Treibstoffverbrauch. b) Emissionen LKW gemäss ecoinvent. Emissionsmessungen (VOC) bei Absaugung des Verladetunnels. c) Bestimmung der PAK-Emissionen aus Mischgutproben im Labor.
Phase 4 - Einbau	a) Dieselverbrauch der Baumaschinen (Auftragen und Verdichtung des Belags)	b) Emissionen der Baumaschinen c) Emissionen aus dem heissen Mischgut beim Einbau (Partikel, gesamt und löslich: TPM, SPM, PAK, TVOC)	a) Erhebung des Dieselverbrauchs anhand Tankfüllung (Eichmessung). → Bestimmung der relativen Unterschiede in der Verdichtungsenergie zwischen den Proben anhand Messungen in Baustoffprüflabor. b) Emissionen Baumaschinen gemäss ecoinvent. c) Messung der Emissionen und der Arbeitsplatzbelastung anhand Probensammler bei Bauarbeitern.
Phase 5 - Nutzung, Instandhaltung und Ausbau	a) Dieselverbrauch der Bau-maschinen bei Instandhaltungs-arbeiten und Ausbau des Belags.	b) Emissionen Bau-maschinen c) Emissionen aus dem Leaching von PAK aus aufgebrochenem Mischgut.	a) Abschätzung Dieselverbrauch, Erfahrungswerte b) Emissionen Baumaschinen gemäss ecoinvent. c) PAK Leaching anhand Messungen im Baustoffprüflabor.
Phase 6 - Recycling	Gutschriften für Ressourcenverbräuche und Emissionen, welche im Mischwerk aus der Substitution neuer Rohstoffe («Weissmaterial») durch Asphaltgranulat resultieren.		Stoffmengen gemäss Rezeptur Mischwerk. Prozesse gemäss ecoinvent.
Phase 7- end-of-life	Ressourcenverbräuche und Emissionen aus der Verarbeitung und der Deponierung des ausgebauten Belages am Ende seiner Lebensdauer.		Prozesse gemäss ecoinvent.

Tabelle 1: Erfassung der Sachbilanz. Die Mehrzahl der Ressourcenverbräuche und Emissionen sind während der Einbaukampagne gemessen worden. Bei den Umweltwirkungen aus der Herstellung der Rohstoffe stützen wir uns auf Angaben aus der ecoinvent-Datenbank. TPM, SPM: Partikel, total und löslich, PAK: polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, TVOC: Gesamtkohlenwasserstoffe

Aus Abbildung 1 werden die Systemgrenzen ersichtlich. Die Lebensspanne eines Strassenbelages wurde in sieben Lebenszyklusphasen eingeteilt und für jede einzelne Phase wurden individuelle Sach- und Wirkungsabschätzungen erstellt.

Für die Erstellung der Sachbilanz werden zahlreiche Messungen und Analysen am Mischgut und an den Produktions- und Einbauprozessen benötigt (Tab. 1). Betrachtet werden die Umweltauswirkungen, welche aus dem Gewinnung der Rohstoffe, aus der Herstellung des Mischgutes, aus dem Einbau des Belages, dessen Nutzung, Instandhaltung, Rückbau, Recycling und Deponierung resultieren.

Die Wirkungsabschätzungen wurden für die Wirkkategorien GWP, AP, EP, OD, POF, HTP und FAETP (Tab. 2) anhand der CML-Methodologie [2] berechnet, für PE anhand der Methode des «cumulative energy demand, CED» [3]. Die entsprechenden LCIA-Daten für die Materialien und Prozesse stammen aus der Ecoinvent-Datenbank. Die Umweltauswirkungen wurden für jede der acht Wirkkategorien individuell berechnet. Diese Kategorien können als unterschiedliche «Währungen» versinnbildlicht werden, so dass verschiedene Arten von Schäden auf die Umwelt berechnet werden können. Beispielsweise kann durch die Kategorie GWP [kg CO₂ eq.] die Auswirkung auf die Klimaerwärmung quantifiziert werden, oder durch die Kategorie POF [kg ethene eq.] der Beitrag zur Bildung von Sommersmog. Die Kategorie PE beschreibt keine

Abkürzung	Begriff	Bedeutung	Typische Schadstoffe	Masseinheit
GWP	Global warming potential	Der zusätzliche, vom Menschen verursachte (anthropogene) Treibhauseffekt. Dieser wird durch die Emissionen klimawirksamer Spurengase verursacht.	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, SF ₆ , halogenierte Kohlenwasserstoffe (z.B. FCKW)	kg CO ₂ eq.
AP	Acidification potential	Versauerung; Die Versauerung von Böden und Gewässern wird durch die Immission säurebildender Gase verursacht, die durch Deposition (saurer Regen) in Böden und Gewässer eingetragen werden.	SO ₂ , NO ₂ , NH ₃ , HCl	kg SO ₂ eq.
EP	Eutrophication potential	Eutrophierung; Darunter versteht man den übermässigen Eintrag von Nährstoffen in Böden und Gewässer (nitrat- und phosphathaltige Abwässer, Landwirtschaft).	PO ₄ - und weitere P-Verbindungen, NO _x , NH ₄ ⁺ und weitere N-Verbindungen	kg NO _x eq.
OD	Ozone depletion potential	Ozonabbau in der Stratosphäre; Zum Ozonabbau tragen Stoffe bei, welche entweder direkt in der Stratosphäre freigesetzt werden (Luftfahrt) oder aus bodennahen Luftschichten aufsteigen.	Halogenierte Kohlenwasserstoffe, N ₂ O, SF ₆	kg CFC-11 eq.
POF	Potential of photo-oxidant formation	Potential, Photooxidantien zu bilden. Diese sind reaktive Oxidationsmittel, die unter Einfluss von Sonnenlicht entstehen "Photosmog".	flüchtige organische Kohlenwasserstoffe	kg ethene eq.
HTP	Human Toxicity Potential	Das Toxizitätspotential beschreibt den potentiellen gesundheitlichen Schaden bei Freisetzung dieser Substanz in die Umwelt. Der Wert basiert auf der Toxizität der Substanz und der Dosis.	PAK und VOC, Feinstaub	kg 1,4-DCB eq. DCB: Dichlorbenzen
FAETP	Freshwater aquatic eco-toxicity potential	Beschreibt die potentielle Schädigung für Süsswasserorganismen bei Freisetzung dieser Substanz in die Umwelt.	PAK und VOC	kg 1,4-DCB eq.
PE	Primary energy	Primärenergie; Energieinhalt von Energieträgern, die noch keiner energetischen Umwandlung unterworfen, evtl. aber aufbereitet wurden.	Hierzu zählt z.B. (aufbereitetes) Rohöl.	MJ eq.

Tabelle 2: Die Bedeutung der Wirkkategorien: «Währungen» für die Darstellung von Umweltschäden.

Literatur

- [1] N. Bueche, H.-P. Beyeler, T. Arn: Forschungsprojekt PLANET, Asphalt, Nr. 1, 2013 p. 24
- [2] Jeroen B. Guinée et al., LCA – an operational guide to the ISO standards, Centre of Env. Sci., University of Leiden (CML), Netherlands, May 2001
- [3] Mark A. J. Huijbregts, Stefanie Hellweg, Rolf Frischknecht, Harrie W. M. Hendriks, Konrad Hungerbühler and A. Jan Hendriks, Cumulative Energy Demand As Predictor for the Environmental Burden of Commodity Production, Environ. Sci. Technol., 2010, 44 (6), pp 2189–2196

Umweltschäden, sondern beschreibt den Verbrauch von Primärenergie.

Betrachtungen zur Stoffbilanz und Energiebilanz

Die tieferen Verarbeitungstemperaturen in der Produktionsanlage und auf der Baustelle sollten sich infolge der Reduktion des Verbrauchs fossiler Brennstoffe positiv auf die Energiebilanz und die Umweltbilanz auswirken.

Für die Herstellung von einer Tonne Walzasphalt sind bei einer durchschnittlichen Materialfeuchte von zwei Prozent mindestens 64 bis 67 Kilowattstunden

pro Tonnen (kWh/t) notwendig. Dieser (eher theoretische) Minimalbedarf wird in der Regel erhöht durch eine unvollständige Kapazitätsauslastung (intermittierender Betrieb), Winterbetrieb mit kalten Aussentemperaturen und wenig Produktion sowie Anlagen, die nicht auf dem neuesten Stand der Technik sind, und weiter Faktoren.

Durch eine Temperaturabsenkung von beispielsweise 20 °C könnten in der Produktion gut 5 kWh/t eingespart werden. Allerdings sind hier noch einige Fragen zu beantworten und Zielkonflikte zu überwinden: So erhöht der vermehrte Einsatz

von Recyclingmaterial unter Einsatz so genannter Paralleltrommeln wegen des Parallelbetriebs von zwei Anlagen den Energiebedarf, reduziert dafür aber den Bitumenbedarf. Jedoch muss bedacht werden, dass in älteren Strassenbelägen der Anteil an gesundheitsgefährdenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) sehr viel höher sein kann, weil Teer statt Bitumen als Bindemittel verwendet wurde. Die Verbreiterung der Produktpalette infolge vermehrter NTA-Nachfrage führt zu grösseren Bitumenlagern und zu kleineren Produktionschargen.

Resultieren aus der Zugabe von Hilfsstoffen, um Niedertemperaturasphalte herzustellen, zusätzliche Emissionen, die in der

Was sind Niedertemperatur-Asphalte?

Konventionelles Heissmischgut wird vom Mischwerk bei einer Temperatur von rund 150 bis 170 °C ausgeliefert. Auf der Baustelle angelangt weist es etwa 20 °C weniger auf und muss dann innerhalb von 15 bis 25 Minuten eingebaut werden, bis es bei Temperaturen unter 100 °C nicht mehr verarbeitbar ist.

Durch Beimischung von «Weichmachern» (chemischen Zusätzen wie Wachsen, Paraffinen, etc.) in das Bitumen können bei gleichbleibender Liefertemperatur längere Verarbeitungszeiten erreicht werden, oder aber das Mischgut wird im Mischwerk auf tiefere Temperaturen erhitzt. Der gleiche Effekt kann durch Zugabe von Wasser erreicht werden: Entweder wird es mit Hilfe von Zeolithen als Trägermaterial beigemischt, verdampft beim Erhitzen und modifiziert so das Bitumen, oder das Bitumen wird vor der Zugabe zum mineralischen Material aufgeschäumt («Schaumbitumen»).



Abbildung 3: Fertiger mit Vorrichtungen für die Bestimmung der Emissionen. Die Arbeiter tragen Probensammler für die Messung der Arbeitsplatzbelastung.

Ökobilanz negativ gewichten? Auch Paraffine beispielsweise stammen aus Erdöl, und die Herstellung von Zeolithen oder Hilfsstoffen kann energieintensiv sein. Jedoch ist die eingesetzte Menge der Hilfsstoffe gering und macht je nach Rezeptur weniger als fünf Prozent des Bindemittels aus. Ist die Energieeinsparung bei der Herstellung eines Niedertemperaturbelages im Mischwerk gross genug, um diese negativen Umweltauswirkungen zu kompensieren?

Interpretation der Umweltgefährdung

Die Analyse der Messdaten ist noch in Arbeit. Erwartet wird eine Quantifizierung der Verbesserungen bei der Verwendung von NTA sowie eine Identifikation und Quantifizierung allfälliger gegenläufiger

Effekte, die bei Produktion und Einbau auftreten könnten.

Eine Dominanzanalyse wird aufzeigen, aus welchen Prozessen die hauptsächlichsten Umweltbelastungen stammen und welche Unterschiede bei der Verwendung der verschiedenen Warmasphalte entstehen. Diese Analyse soll auch ermöglichen, Aussagen darüber zu machen, wie spezifische Verbesserungen der Umweltbilanz in Produktion und Einbau von Strassenbelag am effizientesten erreichbar sind.

Man darf gespannt sein auf die Resultate: Teil 2 dieses Artikels mit den Ergebnissen und den Beurteilungen der Produktionsverfahren erscheint nach dem Abschluss der Projekts 2014 in den «Umwelt Perspektiven».

Füller Eigeninserat