



Aktuelles zum Thema Betonstrassen

# update 2/10

## Ökobilanz für die Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts

Die Belastung der Umwelt mit klimaschädigenden Emissionen wird zu erheblichen Teilen vom Strassenverkehr verursacht. Die ökologischen Auswirkungen, die bei der Herstellung und Erhaltung eines Autobahnabschnitts mit vier verschiedenen Oberbauarten in einem Betrachtungszeitraum von 30 Jahren entstehen, wurden dazu ergänzend in einem Forschungsvorhaben am Centrum Baustoffe und Materialprüfung der TU München untersucht.

# Ökobilanz für die Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts

Dipl.-Ing. Charlotte Milachowski, Dipl.-Ing. Thorsten Stengel, Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen  
Centrum Baustoffe und Materialprüfung der TU München

Im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung hat sich u.a. Deutschland dazu verpflichtet, klimaschädigende Emissionen zu reduzieren. Luftschadstoffe werden zu erheblichen Teilen durch den Strassenverkehr\* verursacht [9]. Die potenziellen Umweltwirkungen, die bei der Herstellung und Nutzung eines 1 km langen Autobahnabschnitts mit vier verschiedenen Oberbauarten entstehen, wurden in einer Ökobilanz ermittelt und miteinander verglichen. Durch Berücksichtigung der Verkehrsbelastung während einer 30-jährigen Nutzungsdauer werden zusätzlich die Auswirkungen des Treibstoffverbrauchs verdeutlicht. Mögliche Einsparpotenziale werden dargelegt.

## Untersuchungsrahmen der Studie

### Allgemeines

Ökologische Aspekte werden in der Öffentlichkeit vielfach subjektiv diskutiert. Um eine objektive Bewertung zu schaffen, wurde die Methodik der Ökobilanz entwickelt. Sie ist in den Normen DIN EN ISO 14040:2009-11 und DIN EN ISO 14044:2006-10 geregelt und wurde in dieser Studie verwendet. So wurden alle stofflichen und energetischen Beiträge der einzelnen Prozesse der Herstellung und Nutzung eines 1 km langen Autobahnabschnitts bilanziert. Dazu gehören auch die Ressourcengewinnung, die Energiebereitstellung, die Herstellung der benötigten Produkte, die Bereitstellung der Infrastruktur, Transportleistungen sowie die Nutzung und Entsorgung der jeweiligen Produkte. Im Rahmen der Wirkungsabschätzung wurden die Emissionen in Luft, Wasser und Boden ermittelt und über Äquivalenzfaktoren nach einem mehrdimensionalen Ansatz (CML-Methode) zu den Wirkungskategorien

- Treibhauspotenzial (Global Warming Potential: GWP),
- Abbau der stratosphärischen Ozonschicht bzw. Bildung von sog. Ozonlöchern (Ozone Depletion Potential: ODP),
- Bildung von bodennahem Ozon bzw. Sommersmog (Photochemical Ozone Creation Potential: POCP),
- Versauerung von Böden (Acidification Potential: AP) und
- Überdüngung von Gewässern (Eutrophication Potential: EP)

zusammengefasst. Als Datenquelle diente die Schweizer ecoinvent-Datenbank [3]. Prozesse, die in der Datenbank nicht vorhanden waren, wurden mittels bestehender Vorprozesse modelliert. Verarbeitung und Auswertung der Daten erfolgte mithilfe einer Ökobilanzierungssoftware (SimaPro). Um das bautechnische Optimierungspotenzial zu quantifizieren, wurden vier verschiedene Oberbauweisen untersucht:

- Betonoberbau mit Betonoberfläche in Waschbeton,
- Betonoberbau mit einer texturierten Betonoberfläche (Kunstrasen),
- Asphaltoberbau mit einer lärmindernden offenporigen Asphaltdeckschicht sowie
- Asphaltoberbau mit Gussasphalt.

Untergrundarbeiten sowie Nacharbeiten am Oberbau wie Markierungsarbeiten waren nicht Bestandteil der Studie. Massnahmen zur Entwässerung (Rinnen, Abläufe etc.) wurden vernachlässigt, weil bei allen Bauweisen im Aufwand vergleichbar. Für die Studie wurde der Standardquerschnitt für Autobahnen mit einer Kronenbreite von 31 m und befestigten Flächen von 12 m Breite bei einem 85 cm dicken Oberbau betrachtet (Regelquerschnitt RQ31) [2]. Die Systemgrenzen der Studie sind in Abbildung 1 dargestellt.

\* Im Dokument werden die Schweizer Rechtschreiberegeln beachtet. Anstelle des ß wird stets ss geschrieben.

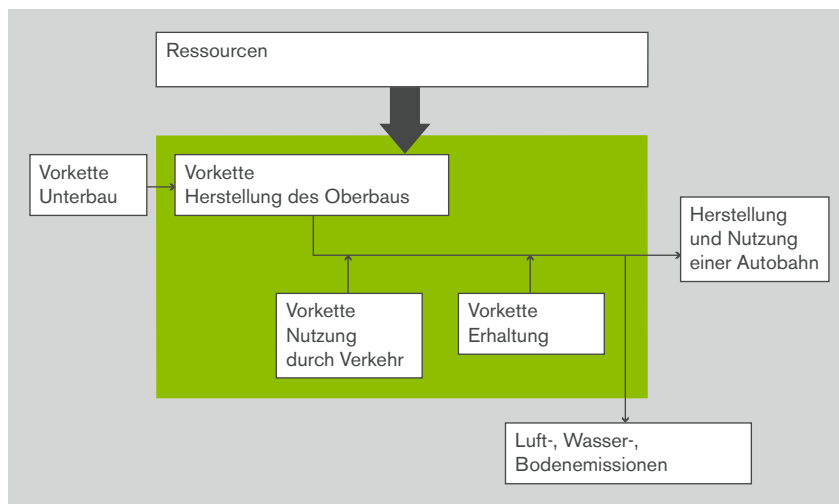


Abbildung 1: Systemgrenzen der Studie; der Begriff «Vorkette» beinhaltet alle wesentlichen Parameter, die potenzielle Umweltwirkungen erzeugen können (Gewinnung und Aufbereitung der Rohmaterialien, Bereitstellung der Infrastruktur sowie Transportprozesse)

### Herstellung des Autobahnabschnitts

Für jede Schicht wurden alle anfallenden Prozesse inklusive der zugehörigen Vorketten mit den entsprechenden Materialien und Maschinen bilanziert. In den Tabellen 1 und 2 ist eine Zusammenstellung der wesentlichen Materialien getrennt für die Asphalt- und die Betonbauweisen dargestellt. Für die Herstellung des Oberbaus wurden Planierdrauen, Grader, Fertiger, Walzen, Bitumenspritzgeräte und Nachbehandlungsgeräte sowie zur Herstellung der Fugen bei der Betonbauweise Fugenschneider und Vergusskocher angesetzt. Aufwendungen für die Bau-

stelleneinrichtung wurden lediglich durch den An- und Abtransport der Baumaschinen berücksichtigt. Die ermittelten Prozessketten mit den verwendeten Datensätzen und den jeweiligen Streuungen sind dem Forschungsbericht [6] zu entnehmen. Die Betondecke enthielt CEM I 42,5 N als Bindemittel. Um das Optimierungspotenzial durch Verwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen zu quantifizieren, wurde in einem weiteren Szenario CEM I (Portlandzement) durch CEM III/A (Hochofenzement) ersetzt.

Schicht	Material										
Frostschuttschicht	2150 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung (70 M.-% Kies, 30 M.-% Sand)										
Asphalttragschicht	36,7 kg/m <sup>3</sup> Bitumen 2349 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung										
Asphaltbinderschicht	0,3 kg/m <sup>2</sup> Bitumenemulsion 45,9 kg/m <sup>3</sup> Polymermodifizierte Bitumen (PmB) 2421 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung										
Asphaltdeckschicht	<table border="0"> <tr> <td><b>Gussasphalt:</b></td> <td><b>Offenporiger Asphalt:</b></td> </tr> <tr> <td>0,3 kg/m<sup>2</sup> Bitumenemulsion</td> <td>2,5 kg/m<sup>2</sup> PmB</td> </tr> <tr> <td>72,5 kg/m<sup>3</sup> niederviskoses Bitumen</td> <td>8,0 kg/m<sup>2</sup> Splitt</td> </tr> <tr> <td>2415 kg/m<sup>3</sup> Gesteinskörnung</td> <td>66,3 kg/m<sup>3</sup> PmB</td> </tr> <tr> <td>8,0 kg/m<sup>2</sup> Splitt (Abstreumaterial)</td> <td>1950 kg/m<sup>3</sup> Gesteinskörnung</td> </tr> </table>	<b>Gussasphalt:</b>	<b>Offenporiger Asphalt:</b>	0,3 kg/m <sup>2</sup> Bitumenemulsion	2,5 kg/m <sup>2</sup> PmB	72,5 kg/m <sup>3</sup> niederviskoses Bitumen	8,0 kg/m <sup>2</sup> Splitt	2415 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung	66,3 kg/m <sup>3</sup> PmB	8,0 kg/m <sup>2</sup> Splitt (Abstreumaterial)	1950 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung
<b>Gussasphalt:</b>	<b>Offenporiger Asphalt:</b>										
0,3 kg/m <sup>2</sup> Bitumenemulsion	2,5 kg/m <sup>2</sup> PmB										
72,5 kg/m <sup>3</sup> niederviskoses Bitumen	8,0 kg/m <sup>2</sup> Splitt										
2415 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung	66,3 kg/m <sup>3</sup> PmB										
8,0 kg/m <sup>2</sup> Splitt (Abstreumaterial)	1950 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung										

Tabelle 1: Übersicht über die wesentlichen Materialien zur Herstellung des Asphaltoberbaus

Schicht	Material														
Frostschuttschicht	2150 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung (70 M.-% Kies, 30 M.-% Sand)														
Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT)	90,0 kg/m <sup>3</sup> CEM II/B-S 32,5 R 1975 kg/m <sup>3</sup> Gesteinskörnung 110,0 l/m <sup>3</sup> Leitungswasser 1,6 kg/m <sup>2</sup> Bitumenemulsion C60 B1-N														
Zwischenschicht	0,5 kg/m <sup>2</sup> Vliesstoff														
Betondeckschicht	<table border="0"> <tr> <td><b>Beton mit texturierter Oberfläche:</b></td> <td><b>Beton mit Waschbetonoberfläche:</b></td> </tr> <tr> <td>7829 t/km Unterbeton</td> <td>7829 t/km Unterbeton</td> </tr> <tr> <td>3948 t/km Oberbeton</td> <td>3948 t/km Oberbeton</td> </tr> <tr> <td>44,8 t/km Stahl für Dübel und Anker</td> <td>44,8 t/km Stahl</td> </tr> <tr> <td>9,6 t/km Nachbehandlungsmittel</td> <td>6,0 t/km Kombinationsmittel</td> </tr> <tr> <td>4,3 t/km Fugenfüllstoffe</td> <td>4,8 t/km Nachbehandlungsmittel</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4,3 t/km Fugenfüllstoffe</td> </tr> </table>	<b>Beton mit texturierter Oberfläche:</b>	<b>Beton mit Waschbetonoberfläche:</b>	7829 t/km Unterbeton	7829 t/km Unterbeton	3948 t/km Oberbeton	3948 t/km Oberbeton	44,8 t/km Stahl für Dübel und Anker	44,8 t/km Stahl	9,6 t/km Nachbehandlungsmittel	6,0 t/km Kombinationsmittel	4,3 t/km Fugenfüllstoffe	4,8 t/km Nachbehandlungsmittel		4,3 t/km Fugenfüllstoffe
<b>Beton mit texturierter Oberfläche:</b>	<b>Beton mit Waschbetonoberfläche:</b>														
7829 t/km Unterbeton	7829 t/km Unterbeton														
3948 t/km Oberbeton	3948 t/km Oberbeton														
44,8 t/km Stahl für Dübel und Anker	44,8 t/km Stahl														
9,6 t/km Nachbehandlungsmittel	6,0 t/km Kombinationsmittel														
4,3 t/km Fugenfüllstoffe	4,8 t/km Nachbehandlungsmittel														
	4,3 t/km Fugenfüllstoffe														

Tabelle 2: Übersicht über die wesentlichen Materialien zur Herstellung des Betonoberbaus

## Nutzung und bauliche Erhaltung des Autobahnabschnitts

Für die Nutzungsphase wurden die Belastung durch Verkehr sowie Massnahmen der baulichen Strassenerhaltung für einen Zeitraum von 30 Jahren berücksichtigt. Für das Verkehrsaufkommen wurde ein realitätsnahes tägliches Verkehrsaufkommen von 52 000 Kfz/24 h (42 000 Pkw, 10 000 Lkw) angenommen. Für den Schwerverkehr wurden eine Fahrzeugauslastung von 50 % und ein Treibstoffverbrauch von 0,395 kg Diesel/km berücksichtigt. Der angesetzte Treibstoffverbrauch von Pkw (80 % Benzinfahrzeuge und 20 % Dieselfahrzeuge) entspricht europäischen Mittelwerten und basiert auf einem Verbrauch von 0,0669 kg Benzin/km bzw. 0,0627 kg Diesel/km [8]. Staubemissionen aufgrund von Reifenabrieb und Bremsbelägeverschleiss sowie Strassenabnutzung wurden eingerechnet. Dagegen blieben die Herstellung und die Wartung der Fahrzeuge unberücksichtigt. Da die bauliche Strassenerhaltung von zahlreichen Parametern abhängt, die im Rahmen einer Ökobilanz nicht alle quantifiziert werden können, wurde auf Grundlage von Erfahrungen aus der Baupraxis ein minimales Erhaltungsszenario (Sz. A) und ein maximales Erhaltungsszenario (Sz. B) gebildet. Für die jeweiligen Massnahmen wurden alle umweltrelevanten Daten inklusive Vorketten erfasst und analysiert (Tabelle 3).

Für den Abtransport der alten Materialien und den Antransport neuer Materialien wurde eine Transportentfernung von 50 km angenommen. Analog zur Herstellungsphase wurde die Baustelleneinrichtung lediglich über den An- und Abtransport der Baumaschinen berücksichtigt.

## Ergebnisse

### Herstellung des Autobahnabschnitts

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die potenziellen Umweltwirkungen des 1 km langen Autobahnabschnitts in der Herstellungsphase. Die Betonbauweisen zeigen in allen Wirkungskategorien niedrigere potenzielle Umweltwirkungen als die analysierten Asphaltbauweisen auf (Abbildung 3). Eine Ausnahme bildet das Treibhauspotenzial (GWP). Bei den Bauweisen aus Beton besitzt die Waschbetonausführung aufgrund des höheren Zementgehalts der Deckschicht (430 kg/m<sup>3</sup>) geringfügig höhere potenzielle Umweltwirkungen als die durch Nachziehen eines Kunstrasens texturierte Betondecke (Zementgehalt: 360 kg/m<sup>3</sup>). Der Baustoff Beton liefert den grössten Beitrag an potenziellen Umweltwirkungen bei der Herstellung des Oberbaus. Eine Dominanzanalyse des Baustoffes ergab, dass Anmachwasser und Luftporenmittel einen vernachlässigbaren

	Asphaltbauweisen		Betonbauweisen	
	Gussasphaltfahrbahn	Offenporige Asphaltfahrbahn	Texturierte Betonfahrbahn / Waschbetonfahrbahn	
Sz. A	2 × Austausch der Deckschicht 1 × Austausch der Binderschicht	3 × Austausch der Deckschicht 1 × Austausch der Binderschicht	2 × komplette Fugensanierung 5% Sanierung von Kanten- und Eckabbrüchen 1% Heben und Festlegen von Platten 1% Austausch ganzer Platten	
Sz. B	2 × Austausch der Deckschicht 2 × Austausch der Binderschicht	4,3 × Austausch der Deckschicht 1 × Austausch der Binderschicht	3 × komplette Fugensanierung 20% Sanierung von Kanten- und Eckabbrüchen 3% Heben und Festlegen von Platten 3% Austausch ganzer Platten	

Tabelle 3: Übersicht über die untersuchten Varianten der baulichen Erhaltung des betrachteten Autobahnabschnitts

Ausführungsvarianten	Wirkungsindikatoren				
	GWP (Global Warming Potential) [kg CO <sub>2</sub> -eq.]	ODP (Ozone Depletion Potential) [kg CFC-11-eq.]	POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) [kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq.]	AP (Acidification Potential) [kg SO <sub>2</sub> -eq.]	EP (Eutrophication Potential) [kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq.]
Gussasphalt	1 694 573	0,39	413	8.191	1.232
Offenporiger Asphalt	1730 430	0,40	431	8.516	1.264
Text. Beton mit CEM I	2 710 311	0,13	380	6.374	1.084
Text. Beton mit CEM III	2 153 620	0,13	344	6.343	1.079
Waschbeton mit CEM I	2 821 219	0,13	389	6.478	1.100
Waschbeton mit CEM III	2 227 417	0,13	350	6.447	1.094

Tabelle 4: Wirkungsindikatoren der Herstellung eines 1 km langen Autobahnabschnitts



Abbildung 2: Bauliche Erhaltung einer Betonfahrbahndecke (Plattenersatz)

Beitrag auf die Umweltwirkungen haben. Den grössten Beitrag liefert der CEM I beim Beton für die Deckschichten mit 70 (EP) bis 96 % (GWP). Die Gesteinskörnung weist einen Anteil von bis zu 10% an den potenziellen Umweltwirkungen auf. Die restlichen Beiträge stammen aus den Aufwendungen für die Infrastruktur und aus Transportprozessen.

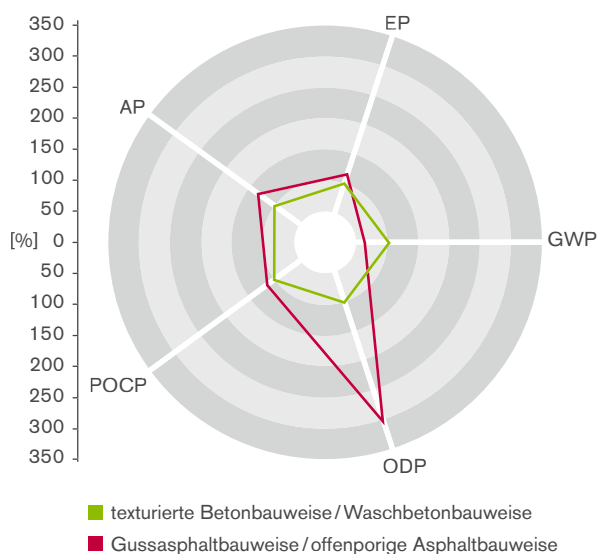


Abbildung 3: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung der Herstellungsphase

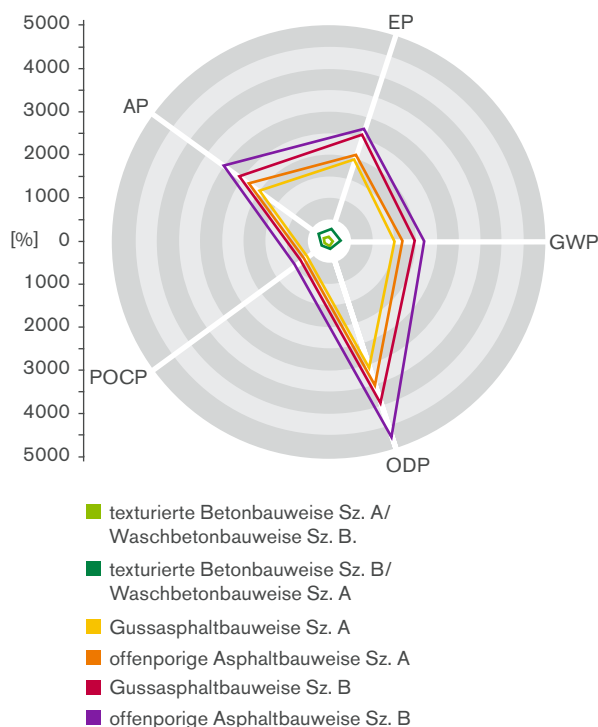
Durch Austausch von CEM I mit CEM III in der Deckschicht kann beim Treibhauspotenzial eine Einsparung von 20 % (texturierte Betonbauweise) bzw. 21 % (Waschbetonbauweise) erreicht werden. Bei den anderen Wirkungskategorien fällt das Einsparpotenzial mit 0,1 bis 10 % je nach Wirkungskategorie deutlich geringer aus.

Bei der Betrachtung der *Asphaltbauweisen* zeigt sich, dass die Bauweise aus offenporigem Asphalt bei den Wirkungskategorien GWP, POCP, AP und EP geringfügig höhere potenzielle Umweltwirkungen aufweist als die Gussasphaltbauweise. Dies liegt zum einen an der Gesteinskörnung sowie dem hohen Bindemittelgehalt beim Asphalt für die Deckschicht, zum anderen ist hier eine zusätzliche Abdichtung nötig. Beim ODP unterscheiden sich die Varianten nur unwesentlich. Der Asphalt trägt bei Weitem den grössten Anteil an den potenziellen Umweltwirkungen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die potenziellen Umweltwirkungen bei der Herstellung des Strassenoberbaus im Wesentlichen von den Rohmaterialien selbst stammen. Insbesondere die energieintensive Herstellung von Zement und Asphalt ist mit rund 57 bis 66 % als massgebend zu betrachten. Bei der Betonbauweise können potenzielle Umweltwirkungen durch die Verwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen reduziert werden. Bei allen Bauweisen besteht Einsparpotenzial in der Reduzierung von Transportprozessen.

## Nutzung des Autobahnabschnitts

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die gesamten potenziellen Umweltwirkungen des 1 km langen Autobahnabschnitts in der 30-jährigen Nutzungsphase. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Asphaltbauweisen im Erhaltungszeitraum höhere Umweltwirkungen als die Betonbauweisen aufweisen (Abbildung 4). Fasst man den Herstellungs- und Erhaltungsaufwand zusammen, dann bestehen



zwischen beiden Bauweisen bei der Wirkungskategorie GWP keine signifikanten Unterschiede, bei den Wirkungskategorien ODP, POCP, AP und EP weisen die Betonbauweisen deutlich geringere potenzielle Umweltwirkungen auf.

Das Einsparpotenzial in den Erhaltungsmassnahmen durch die Szenarienbildung A (minimaler Erhaltungsaufwand) liegt je nach Wirkungskategorie und Massnahme zwischen 20 und 60 %. Optimierungspotenzial besteht bei der baulichen Erhaltung von Autobahnen aus Beton hauptsächlich in der Dauerhaftigkeit der Fugenfüllungen.

Das grösste Einsparpotenzial liegt jedoch – unter Einbezug der Verkehrsbelastung – in der Reduzierung des Treibstoffverbrauchs. Sie besitzt unter den getroffenen Annahmen (42 000 Pkw und 10 000 Lkw pro Tag) bis zu  $5 \times 10^3$  höhere Umweltbelastungen als die Erhaltung des Strassenoberbaus. Die Umweltwirkungen sind hauptsächlich auf die Verbrennung des Treibstoffs zurückzuführen. Der Treibstoffverbrauch der Fahrzeuge hängt wiederum von verschiedenen Faktoren ab. In den vergangenen Jahren wurde eine Vielzahl von Untersuchungen über den Einfluss der Oberflächeneigenschaften (Rollwiderstand, Ebenheit, Steifigkeit) von Fahrbahndecken auf den Treibstoffverbrauch durchgeführt. Die Fahrbahneigenschaften Oberflächengestalt (Textur), Unebenheit (obere Makro- und Megatextur) sowie Steifigkeit der Fahrbahn können demnach den Treibstoffverbrauch in einer Grössenordnung von 5 bis 20 % beeinflussen [1, 4, 5, 7, 10]. Folglich besteht nicht nur in der Automobil- und Reifenindustrie, sondern auch bei Fahrbahndecken ein deutliches Optimierungspotenzial. Einer «treibstoffsparenden» Bauweise kommt demnach eine deutlich grössere Bedeutung zu als einer Bauweise mit geringen Umwelteinwirkungen während der Herstellung und Nutzung.

Abbildung 4: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung der Erhaltung eines 1 km langen Autobahnabschnittes relativ zum Betonoberbau mit texturierter Oberfläche; Sz. A: minimaler Erhaltungsaufwand; Sz. B: maximaler Erhaltungsaufwand

Ausführungsvarianten/ Verkehr	Wirkungsindikatoren				
	GWP (Global Warming Potential) [kg CO <sub>2</sub> -eq.]	ODP (Ozone Depletion Potential) [kg CFC-11-eq.]	POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) [kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq.]	AP (Acidification Potential) [kg SO <sub>2</sub> -eq.]	EP (Eutrophication Potential) [kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -eq.]
Gussasphalt Sz. A	944 116	0,21	272	5249	723
Gussasphalt Sz. B	1 230 617	0,27	352	6808	943
Offenporiger Asphalt Sz. A	1 048 154	0,24	316	6028	764
Offenporiger Asphalt Sz. B	1 363 116	0,33	423	7986	995
Text. Beton Sz. A	60 520	0,01	46	265	36
Text. Beton Sz. B	170 920	0,01	81	742	110
Waschbeton Sz. A	63 971	0,01	46	270	37
Waschbeton Sz. B	181 274	0,01	82	756	113
Verkehrsbelastung	230 904 557	29,84	167 980	1 066 521	202 078

Tabelle 5: Wirkungsindikatoren der Nutzung eines 1 km langen Autobahnabschnitts

## Zusammenfassung

Die Studie zeigt, dass bei der Herstellung und Nutzung einer Autobahn potenzielle Umweltwirkungen reduziert werden können. So besteht bei der Herstellung und Gewinnung der Ausgangsstoffe bei Betonbauweisen Optimierungspotenzial insbesondere durch die Verwendung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen. Die Auswertung der Nutzungsphase zeigt, dass dauerhafte Bauweisen mit geringem Erhaltungsaufwand deutliche Vorteile besitzen. Da die potenziellen Umweltwirkungen aus der Verkehrsbelastung allerdings um etwa den Faktor 100 über denen aus Erhaltung und Herstellung liegen, ist hier das weitaus grössere Einsparpotenzial vorhanden. Zahlreiche Studien zeigen denn auch auf, dass die Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahn einen direkten Einfluss auf den Treibstoffverbrauch hat. Eine umfassende Untersuchung in Kanada führte zum Ergebnis, dass beim Schwerverkehr je nach Gesamtgewicht des Fahrzeuges und den klimatischen Bedingungen – insbesondere bei hohen Temperaturen und der damit verbundenen erhöhten Verformbarkeit von Asphaltbelägen – Einsparungen beim Treibstoff von 7 bis 15 % möglich sind. In Ontario wurde daher der Bau von Betonbelägen als eine Massnahme zur Zielerreichung des Kyoto-Protokolls empfohlen [7]. Neuere Studien in skandinavischen Ländern bestätigen die Treibstoffeinsparungen bei harten Belagsoberflächen [5, 11]. Ein Ansatz für weitere Forschungsarbeiten in diesem Bereich ist damit gegeben.

## Literatur

- [1] Descornet, G.: Road Surface Influence on Tire Rolling Resistance. Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies, ASTM STP 1031, p. 401-415, Philadelphia, 1990
- [2] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen FGSV (2009): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA); Ausgabe 2008
- [3] <http://www.ecoinvent.ch>
- [4] Laganier, R.; Lucas, J.: The Influence of Pavement Evenness and Macrotecture on Fuel Consumption. Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies, ASTM STP 1031, Seite 454-459, Philadelphia, 1990
- [5] Lundström, K.; Finnsementti, O.: Environmental Impact of Concrete and Asphalt Pavements, 8th International Symposium on Concrete Roads, Lissabon, 1998
- [6] Milachowski, C., Stengel T., Lowke D., Gehlen C.: «Erstellung einer Ökobilanz für die Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts». Forschungsbericht 20-F-0068, TU München, München 2010
- [7] NRC-CSTT: Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption – Phase 2: Seasonal Test, CSTT-HWV-CTR-041, National Research Council of Canada – Centre for Surface Transportation Technology, Ottawa, 2000
- [8] Spielmann M.; Kägi T., Stadle P., Tietje O.: Life Cycle Inventory of Transport Services; ecoinvent report No. 14, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004
- [9] Umweltbundesamt, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, Emissionsentwicklung 1990–2007 (Endstand 20.2.2009), [www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm](http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm)
- [10] Zaniewski, J.: Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption. SR289.01P Portland Cement Association, Skokie, 1989
- [11] Larsson, R.; Andersson, R.: Benefit of Reduced Fuel Consumption From Economic and Environmental Perspectives – A Novel Approach, 9th International Symposium on Concrete Roads, Istanbul, 2004

## Gesamtvergleich

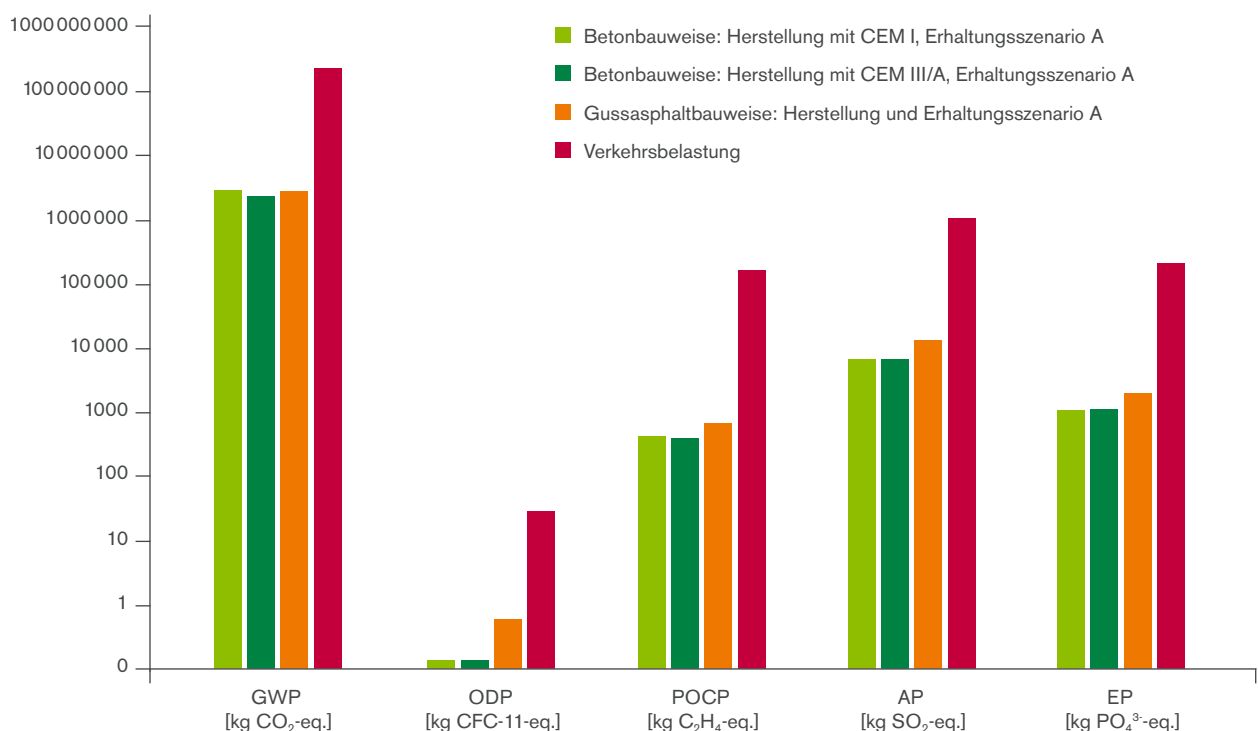


Abbildung 5: Potenzielle Umwelteinwirkungen aus Herstellung und baulicher Erhaltung eines Autobahnabschnitts in Betonbauweise (texturierte Oberfläche) und Asphalt (Gussasphaltbauweise) im Vergleich zur Verkehrsbelastung für einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren

## Interessengemeinschaft Betonstrassen

cemsuisse  
Verband der Schweizerischen  
Cementindustrie  
Marktgasse 53, 3011 Bern  
Telefon 031 327 97 97  
Fax 031 327 97 70  
info@cemsuisse.ch  
www.cemsuisse.ch

### BEVBE

Beratung und Expertisen für  
Verkehrsflächen in Beton  
Herenholzweg 5, 8906 Bonstetten  
Telefon 044 700 14 02  
Fax 044 700 14 03  
werner@bevbe.ch  
www.bevbe.ch

### Grisoni-Zaugg SA

Rue de la Condémine 60  
Case postale 2162, 1630 Bulle 2  
Telefon 026 913 12 55  
Fax 026 912 74 54  
info@grisoni-zaugg.ch  
www.grisoni-zaugg.ch

Holcim (Schweiz) AG  
Hagenholzstrasse 83, 8050 Zürich  
Telefon 058 850 62 15  
Fax 058 850 62 16  
betonstrassen@holcim.com  
www.holcim.ch

Holcim (Suisse) SA  
1312 Eclépens  
Telefon 058 850 91 11  
Fax 058 850 92 95  
chausseebeton@holcim.com  
www.holcim.ch

### Implenia Bau AG

Infra Ost Tiefbau  
Binzmühlestrasse 11, 8008 Zürich  
Telefon 044 307 90 90  
Fax 044 307 93 94  
daniel.hardegger@implenia.com  
www.implenia-bau.com

### Jura-Cement-Fabriken

Talstrasse 13, 5103 Wildegg  
Telefon 062 88 77 666  
Fax 062 88 77 669  
info@jcf.ch  
www.juracement.ch

### Juracime SA Fabrique de ciment

2087 Cornaux  
Telefon 032 758 02 02  
Fax 032 758 02 82  
info@juracime.ch  
www.juracement.ch

Specogna Bau AG  
Lindenstrasse 23, 8302 Kloten  
Telefon 044 800 10 60  
Fax 044 800 10 80  
spc@specogna.ch  
www.specogna.ch

Synaxis AG Zürich  
(vormals Wolf, Kropf & Partner AG)  
Thurgauerstrasse 56, 8050 Zürich  
Telefon 044 316 67 86  
Fax 044 316 67 99  
c.bianchi@synaxis.ch  
www.synaxis.ch

### Toggenburger AG

Schlossackerstrasse 20  
8404 Winterthur  
Telefon 052 244 13 03  
Fax 052 244 12 24  
info@toggenburger.ch  
www.toggenburger.ch

### Vigier Cement AG

2603 Péry  
Telefon 032 485 03 00  
Fax 032 485 03 32  
info@vicem.ch  
www.vicem.ch

### Walo Bertschinger AG

Postfach 7534, 8023 Zürich  
Telefon 044 745 23 11  
Fax 044 745 23 65  
kurt.glanzmann@walo.ch  
www.walo.ch

### Vertrieb durch

**BETONSUISSE**

BETONSUISSE Marketing AG  
Marktgasse 53, CH-3011 Bern  
Telefon +41 (0)31 327 97 87, Fax +41 (0)31 327 97 70  
info@betonsuisse.ch, www.betonsuisse.ch

**Beton**

BetonMarketing Deutschland GmbH  
Steinhof 39, D-40699 Erkrath  
Telefon +49-211-28048-1, Fax +49-211-28048-320  
bmd@betonmarketing.de, www.beton.org

**beton**

Gruppe Betonmarketing Österreich  
Anfragen für den Bereich Betonstraßen an Zement + Beton Handels-  
und Werbeges.b.H., Reisnerstraße 53, A-1030 Wien  
Tel. +43 (0) 1 714 66 85-0, www.zement.at



Gütegemeinschaft  
Verkehrsflächen aus Beton e.V.  
Tannenstraße 2  
D-40476 Düsseldorf  
Telefon +49-211-43 69 26-627  
Fax +49-211-43 69 26-750  
ehrich@bdzement.de  
klaus.boehme@f-kirchhoff.de

### Regionale Ansprechpartner

BetonMarketing Nord GmbH  
Anderter Straße 99 D  
30559 Hannover  
Telefon 05132 8796-0  
Fax 05132 8796-15  
hannover@betonmarketing.de

BetonMarketing Süd GmbH  
Gerhard-Koch-Straße 2+4  
73760 Ostfildern  
Telefon 0711 32732-200  
Fax 0711 32732-202  
info@betonmarketing.de

BetonMarketing Ost  
Gesellschaft für Bauberatung  
und Marktförderung mbH  
Teltower Damm 155  
14167 Berlin-Zehlendorf  
Telefon 030 3087778-0  
Fax 030 3087778-8  
mailbox@bmo-berlin.de

BetonMarketing Süd GmbH  
Büro München  
Beethovenstraße 8  
80336 München  
Telefon 089 450984-0  
Fax 089 450984-45  
muenchen@betonmarketing.de

BetonMarketing West GmbH  
Gesellschaft für Bauberatung  
und Marktförderung mbH  
Annastraße 3  
59269 Beckum  
Telefon 02521 8730-0  
Fax 02521 8730-29  
bmwest@betonmarketing.de

### Vertrieb durch

**BETONSUISSE**

BETONSUISSE Marketing AG  
Marktgasse 53, CH-3011 Bern  
Telefon +41 (0)31 327 97 87, Fax +41 (0)31 327 97 70  
info@betonsuisse.ch, www.betonsuisse.ch

**Beton**

BetonMarketing Deutschland GmbH  
Steinhof 39, D-40699 Erkrath  
Telefon +49-211-28048-1, Fax +49-211-28048-320  
bmd@betonmarketing.de, www.beton.org

**beton**

Gruppe Betonmarketing Österreich  
Anfragen für den Bereich Betonstraßen an Zement + Beton Handels-  
und Werbeges.b.H., Reisnerstraße 53, A-1030 Wien  
Tel. +43 (0) 1 714 66 85-0, www.zement.at



Gruppe  
Betonmarketing  
Österreich

Für weiterführende Informationen steht  
Ihnen die Gruppe Betonmarketing Österreich  
jederzeit zur Verfügung

[www.betonmarketing.at](http://www.betonmarketing.at)



Vereinigung der Österreichischen  
Zementindustrie  
Reisnerstraße 53  
A-1030 Wien  
Tel. +43 (0)1 714 66 81-0



Verband Österreichischer  
Beton- und Fertigwerke  
Kinderspitalgasse 1  
A-1090 Wien  
Tel. +43 (0)1 403 48 00



Güterverband  
Transportbeton  
Wiedner Hauptstraße 63  
A-1045 Wien  
Tel. +43 (0)5 90 900-4882



Forum  
Betonzusatzmittel  
Wiedner Hauptstraße 63  
A-1045 Wien  
Tel. +43 (0)5 90 900-3749

#### Vertrieb durch

**BETONSUISSE**

BETONSUISSE Marketing AG  
Marktgasse 53, CH-3011 Bern  
Telefon +41 (0)31 327 97 87, Fax +41 (0)31 327 97 70  
[info@betonsuisse.ch](mailto:info@betonsuisse.ch), [www.betonsuisse.ch](http://www.betonsuisse.ch)

**Beton**

BetonMarketing Deutschland GmbH  
Steinhof 39, D-40699 Erkrath  
Telefon +49-211-28048-1, Fax +49-211-28048-320  
[bmd@betonmarketing.de](mailto:bmd@betonmarketing.de), [www.beton.org](http://www.beton.org)

**beton**

Gruppe Betonmarketing Österreich  
Anfragen für den Bereich Betonstraßen an Zement + Beton Handels-  
und Werbeges.b.H., Reisnerstraße 53, A-1030 Wien  
Tel. +43 (0) 1 714 66 85-0, [www.zement.at](http://www.zement.at)