

Nachhaltigkeit der Betonbauweise – Grundmotivation und Status quo

Ulrich Nolting
InformationsZentrum Beton GmbH
Toulouser Allee 71
40476 Düsseldorf
E-Mail: ulrich.nolting@beton.org

Dr.-Ing. Alexandra Spilker
VILLARET Ingenieurgesellschaft mbH
Am Lärchengrund 8
15366 Hoppegarten
E-Mail: asp@villaret.de

Abstract

Nachhaltigkeit im Straßenbau erfordert eine ganzheitliche Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus und die gleichrangige Berücksichtigung ökologischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Zielsetzungen. Der Beitrag zeigt die wesentlichen technischen Stellgrößen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit von Betonfahrbahnen auf und fasst aktuelle Forschungsergebnisse zusammen. Im Mittelpunkt stehen die konstruktive Auslegung, die Qualität der Tragschicht, die Eigenschaften des Straßenbetons, die Oberflächeneigenschaften und die Qualität der Bauausführung. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass insbesondere eine hohe technische Qualität und eine lange Nutzungsdauer die entscheidenden Hebel für nachhaltige Betonfahrbahnen darstellen. Die Kombination optimierter technischer Parameter ermöglicht eine deutliche Verringerung der lebenszyklusbezogenen Umweltwirkungen und Kosten und zeigt, dass die größten Nachhaltigkeitspotenziale in einer integralen Optimierung der Bauweise liegen.

1 Einleitung

Die Transformation hin zu einer klimaneutralen und ressourcenschonenden Verkehrsinfrastruktur zählt zu den zentralen gesellschaftlichen Herausforderungen der kommenden Jahrzehnte. Neben den Anforderungen an eine sichere, leistungsfähige und wirtschaftliche Mobilität kommen auch der Reduzierung von Treibhausgasemissionen, der schonende Umgang mit natürlichen Ressourcen sowie die langfristige Sicherung einer resilienten Infrastruktur eine hohe Bedeutung zu. Die Diskussion um nachhaltige Verkehrsinfrastrukturen wurde zunächst wesentlich durch die nationalen und europäischen Klimaschutzziele geprägt. Nachhaltigkeit ist jedoch nicht auf ökologische Aspekte beschränkt, sondern umfasst gleichermaßen auch ökonomische und soziale Zielsetzungen. Erst die gleichrangige Berücksichtigung dieser drei Dimensionen ermöglicht eine ganzheitliche Bewertung nachhaltiger Straßenverkehrsanlagen.

Vor diesem Hintergrund beschäftigen sich Forschung und Entwicklung bereits seit einigen Jahren mit der Verbesserung der Nachhaltigkeit von Straßenoberbauten. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse finden zunehmend Eingang in das technische Regelwerk und bilden die Grundlage für ihre konsequente Umsetzung in der Planung und Baupraxis.

Ziel dieses Beitrags ist es, den aktuellen Stand der Erkenntnisse zusammenzufassen, die maßgebenden Nachhaltigkeitshebel mit besonderem Fokus auf die Betonbauweise aufzuzeigen und darzustellen, welche wesentlichen Potenziale bereits heute auf Grundlage der verfügbaren technischen Lösungen und des bestehenden Regelwerks erschlossen werden können.

2 Grundlagen einer nachhaltigen Bauweise

2.1 Nachhaltigkeit als Systemanforderung

Nachhaltigkeit wird im Straßenbau häufig mit der Reduzierung von Treibhausgasemissionen oder dem CO₂-Fußabdruck einzelner Baustoffe gleichgesetzt. Dieses Verständnis greift jedoch zu kurz. Nachhaltigkeit bedeutet nicht die Optimierung einer einzelnen Kennzahl, sondern die gleichrangige Berücksichtigung aller Nachhaltigkeitsdimensionen. Daraus ergeben sich vielfältige Wechselwirkungen und Zielkonflikte, die im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung berücksichtigt werden müssen.

Die ökologische Dimension umfasst insbesondere die Reduzierung von Treibhausgasemissionen, den sparsamen Einsatz natürlicher Ressourcen sowie die Verringerung des Primärenergiebedarfs. Die wirtschaftliche Nachhaltigkeit wird maßgeblich durch die Lebenszykluskosten bestimmt und berücksichtigt neben den Investitionskosten insbesondere die Aufwendungen für Betrieb, Erhaltung und Erneuerung [Villaret et al. 2024]. Die gesellschaftliche Dimension umfasst unter anderem die Verfügbarkeit einer leistungsfähigen Verkehrsinfrastruktur, die Minimierung verkehrsbedingter Beeinträchtigungen während der Bau- und Erhaltungsmaßnahmen sowie zunehmend Aspekte der Versorgungssicherheit und regionalen Wertschöpfung.

Vor dem Hintergrund aktueller geopolitischer und wirtschaftlicher Entwicklungen gewinnt darüber hinaus die Resilienz von Liefer- und Wertschöpfungsketten zunehmend an Bedeutung. Die möglichst regionale bzw. nationale Verfügbarkeit von Roh- und Ausgangsstoffen sowie leistungsfähige heimische Produktionsstrukturen tragen dazu bei, die Versorgungssicherheit zu erhöhen, Transportabhängigkeiten zu reduzieren und die langfristige Handlungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur zu sichern.

Insbesondere die Herstellung der Baustoffe, der Bau und die Nutzung der Verkehrsinfrastruktur sind mit einem erheblichen Ressourcen- und Energieeinsatz verbunden, während bereits in der Planungsphase die wesentlichen Weichen für die spätere Nachhaltigkeit eines Bauwerks gestellt werden. Die tatsächliche Nachhaltigkeit einer Straßenbefestigung ergibt sich daher erst aus dem Zusammenwirken aller Phasen des Lebenszyklus sowie der zugrunde liegenden technischen und planerischen Entscheidungen.

2.2 Der Lebenszyklus als Bewertungsgrundlage

Die Nachhaltigkeit einer Straßenbefestigung kann nicht anhand einzelner Bauprodukte oder Bauphasen bewertet werden. Vielmehr ist eine ganzheitliche Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus erforderlich, da sich ökologische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Auswirkungen in den einzelnen Lebenszyklusphasen gegenseitig beeinflussen und teilweise gegenläufige Effekte aufweisen können [Kessel et al. 2025], [Carreno et al. 2025].

Die zentrale Frage lautet daher nicht „Wie viel CO₂ hat der Beton?“, sondern: Wie verändert eine Maßnahme die Gesamtbilanz einer Straßenbefestigung über ihre gesamte

Nutzungsdauer? Diese Fragestellung bildet heute die Grundlage moderner Nachhaltigkeitsbewertungen im Straßenbau und verdeutlicht den Übergang von einer baustoffbezogenen zu einer systemorientierten Betrachtung.

Der Lebenszyklus umfasst die Gewinnung und Herstellung der Ausgangsstoffe, den Transport, den Bau, die Nutzung einschließlich der Erhaltung sowie den Rückbau und die Verwertung einer Straßenbefestigung. Erst die gemeinsame Betrachtung aller Lebenszyklusphasen ermöglicht eine belastbare Bewertung unterschiedlicher Bauweisen und technischer Lösungen [Kessel et al. 2025], [Wistuba et al. 2025].

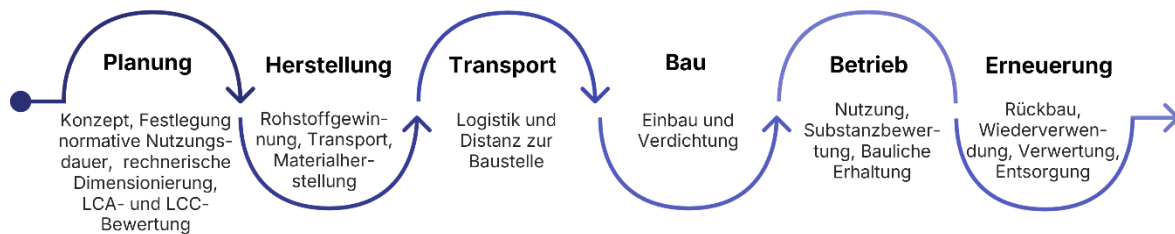


Bild 1: Lebenszyklusphasen einer Straßenbefestigung einschließlich der Planungsphase als Grundlage einer lebenszyklusorientierten Nachhaltigkeitsbewertung

Bereits frühe lebenszyklusorientierte Untersuchungen zeigten, dass die Umweltwirkungen von Autobahnen häufig nicht durch die Herstellungsphase bestimmt werden. Vielmehr dominieren die potenziellen direkten Umweltwirkungen des Verkehrs die Gesamtbilanz und übersteigen die Beiträge aus Herstellung und Erhaltung um etwa den Faktor 100 [Milachowski 2010]. Gleichzeitig wurde deutlich, dass dauerhafte Bauweisen mit geringem Erhaltungsaufwand sowie hinsichtlich des Treibstoffverbrauchs optimierte Oberflächeneigenschaften ein besonders hohes Potenzial zur Verbesserung der Umweltbilanz besitzen. Diese Erkenntnisse bilden eine Grundlage aktueller Forschungsvorhaben zur Weiterentwicklung lebenszyklusorientierter Nachhaltigkeitsbewertungen [z. B. Pohl et al. 2026].

Ungeachtet dessen bleibt es ein wesentliches Ziel, die bautechnischen Potenziale zur Verbesserung der Nachhaltigkeit konsequent auszuschöpfen. Diese reduzieren nicht nur die Umweltwirkungen aus Herstellung und Erhaltung, sondern beeinflussen über Nutzungsdauer, Erhaltungsaufwand und Oberflächeneigenschaften auch die gesamten Umweltwirkungen während der Nutzungsphase [Milachowski 2010], [Kessel et al. 2025].

In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Bewertungsansätze und Bilanzierungswerkzeuge entwickelt, welche die ökologische Bewertung von Straßenoberbauten unterstützen und schrittweise um weitere Nachhaltigkeitsaspekte erweitert werden [Kessel et al. 2025], [Pohl et al. 2026]. Die Berücksichtigung der Nutzungsphase erfolgt dabei bislang vielfach auf Grundlage pauschaler Nutzungsdauern und z. T. reduzierter Erhaltungsmaßnahmen. Eine stärker leistungsbezogene Abbildung der technischen Qualität und der daraus resultierenden Erhaltungszyklen stellt daher einen wesentlichen Entwicklungsschritt für eine realitätsnahe Nachhaltigkeitsbewertung dar. Die zutreffende Bestimmung der potenziellen Nutzungsdauern spezifischer Ausführungsvarianten ist die essenzielle Grundlage jeder Lebenszyklusbetrachtung.

2.3 Aktuelle Handlungsfelder für Betonfahrbahnen

Aufbauend auf den dargestellten Grundlagen konzentrieren sich aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten insbesondere auf die Identifizierung und Weiterentwicklung der

wesentlichen bautechnischen Handlungsfelder zur Verbesserung der Nachhaltigkeit von Straßenoberbauten. Im Mittelpunkt stehen dabei sowohl Maßnahmen zur Reduzierung der baustoffbedingten Umweltwirkungen als auch Ansätze zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit, Ressourceneffizienz und Bauprozessqualität. Der Material-Footprint stellt hier einen wesentlichen Ansatzpunkt dar. CO₂-reduzierte Zemente und Betone leisten einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung der Baustoffherstellung. Weiterentwicklungen erfolgen vor allem durch verstärkte Substitution von Portlandzementklinker, die Reduzierung fossiler Brennstoffe, den Einsatz von alternativen Brennstoffen und eine verbesserte Effizienz bei der Betonherstellung.

Gleichzeitig ist sicherzustellen, dass die Reduzierung der Herstellungsemissionen nicht zulasten der technischen Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit erfolgt. Forschungsergebnisse zeigen, dass hüttensandhaltige Zemente sowie der Einsatz von Flugasche eine hohe Wirksamkeit hinsichtlich der Verminderung einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) besitzen. Gleichzeitig kann mit abnehmendem Klinkergehalt unter ansonsten vergleichbaren Randbedingungen der Frost-Tausalz-Widerstand abnehmen, was sich in erhöhten Abwitterungen sowie einer größeren Streuung der Prüfergebnisse äußern kann [Müller et al. 2019].

Neben den Umweltwirkungen der Baustoffherstellung gewinnen auch Transportentfernungen sowie die möglichst regionale Verfügbarkeit von Roh- und Ausgangsstoffen zunehmend an Bedeutung. Kurze Transportwege reduzieren logistikbedingte Umweltwirkungen und werden daher in aktuellen Nachhaltigkeitsbewertungen verstärkt berücksichtigt [Kessel et al. 2025].

Entscheidend ist darüber hinaus die Weiterentwicklung des technischen Regelwerks einschließlich geeigneter Prüf- und Nachweisverfahren im Rahmen der Qualitätssicherung, welche eine wesentliche Voraussetzung für die baupraktische Umsetzung nachhaltiger Straßenoberbauten ist. Mit der Neuauflage der [ZTV Beton-StB 26] und [TL Beton-StB 26] wurden hierfür wesentliche Grundlagen geschaffen. Hierzu zählen unter anderem leistungsbezogene Anforderungen und Vergütungsanreize, die eine hohe technische Qualität fördern und damit einen wichtigen Beitrag zu einer langen Nutzungsdauer sowie zur Nachhaltigkeit von Straßenoberbauten leisten.

Die aus aktuellen Forschungsarbeiten abgeleiteten wesentlichen Handlungsfelder zur Verbesserung der Nachhaltigkeit von Straßenoberbauten sind in Bild 2 zusammengefasst.

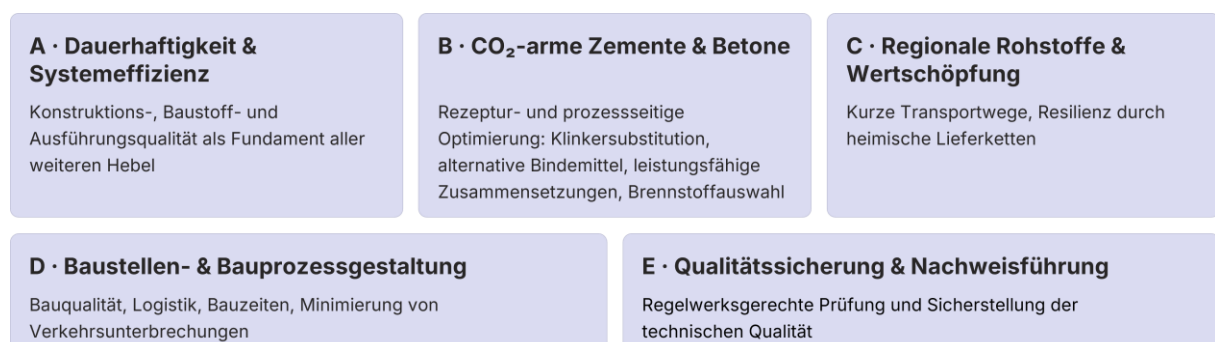


Bild 2: Zentrale Handlungsfelder zur Verbesserung der Nachhaltigkeit von Betonfahrbahnen

3 Nachhaltigkeitspotenziale im Betonstraßenbau

3.1 Technische Qualität als Fundament

Die technische Qualität stellt die zentrale Voraussetzung für eine nachhaltige Betonfahrbahn dar. Sie beschreibt die Fähigkeit einer Straßenbefestigung, die während der Nutzungsdauer auftretenden Beanspruchungen dauerhaft aufzunehmen und die Anforderungen an Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit mit möglichst geringem Erhaltungsaufwand sicherzustellen. Gleichzeitig bildet sie die entscheidende Verbindung zwischen den technischen Eigenschaften des Straßenoberbaus und den ökologischen, wirtschaftlichen sowie gesellschaftlichen Nachhaltigkeitszielen. Wie Bild 3 schematisch verdeutlicht, wird eine nachhaltige Bauweise in allen drei Dimensionen sowohl durch die technische Qualität des Straßenoberbaus als auch durch die Prozessqualität in Planung und Herstellung bestimmt.

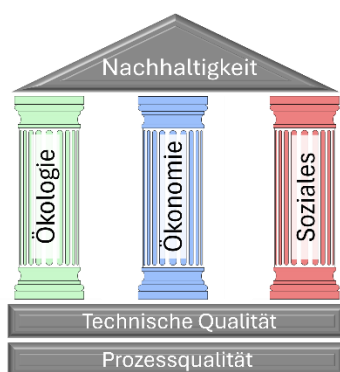


Bild 3: Technische Qualität und Prozessqualität als Fundament nachhaltiger Straßenoberbauten

Das maßgebende Qualitätsmerkmal einer Straßenbefestigung ist ihre Nutzungsdauer. Sie bestimmt die Häufigkeit erforderlicher Erhaltungsmaßnahmen der einzelnen Schichten und beeinflusst damit gleichermaßen die ökologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Auswirkungen einer Straßenbefestigung. Eine lange Nutzungsdauer reduziert Umweltwirkungen und Lebenszykluskosten, minimiert Verkehrsbeeinträchtigungen infolge von Erhaltungsmaßnahmen und erhöht gleichzeitig die Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastruktur. Eine möglichst lange und zuverlässig prognostizierbare Nutzungsdauer stellt daher eine der wirksamsten Stellgrößen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit dar [Kessel et al. 2025], [Spilker et al. 2026].

Im Forschungsvorhaben [Spilker et al. 2026] wurde der Einfluss wesentlicher technischer Kenngrößen auf die rechnerisch prognostizierte wirtschaftliche Nutzungsdauer systematisch im Zuge einer umfassenden Parameterstudie untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere die Deckendicke, die charakteristische Spaltzugfestigkeit des Straßenbetons, dessen Wärmedehnzahl sowie die Plattengeometrie den größten Einfluss auf die Nutzungsdauer besitzen. Die gezielte Optimierung dieser technischen Stellgrößen unter Beachtung projektbezogener Randbedingungen eröffnet damit die Möglichkeit, Straßenoberbauten auf deutlich längere Nutzungszeiten auszulegen und gleichzeitig ökologische sowie wirtschaftliche Vorteile zu realisieren.

Weitere wesentliche Beiträge zur Verbesserung der Nachhaltigkeit ergeben sich aus der Wahl der Tragschicht, den funktionalen Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche sowie einer hohen Qualität der Bauausführung. Die wesentlichen technischen Einflussbereiche und ihre primären Beiträge zur Nachhaltigkeit sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Wesentliche technische Stellgrößen und ihre primären Beiträge zur Nachhaltigkeit

Einflussbereich	Wesentliche technische Stellgrößen	Nachhaltigkeitshebel
Konstruktion	• Deckendicke • Plattengeometrie • Tragschichtvariante	⇒ Nutzungsdauer ⇒ Ressourceneffizienz
Straßenbeton	• Zementart • Betonzusammensetzung • Spaltzugfestigkeit • Wärmedehnzahl	⇒ Nutzungsdauer ⇒ Material-Footprint
Fahrbahnoberfläche	• Ebenheit • Rollwiderstand • Reifen-Fahrbahn-Geräusch	⇒ Verkehrsemissionen ⇒ Treibstoffverbrauch ⇒ Nutzungsdauer ⇒ Nutzerwirkungen
Bauausführung	• Qualitätssicherung • Maßhaltigkeit • Nachbehandlung • Transportdistanzen	⇒ Nutzungsdauer ⇒ Prozessqualität ⇒ Bauemissionen

Die in Tabelle 1 dargestellten technischen Einflussbereiche und ihre wesentlichen ökologischen Nachhaltigkeitshebel werden im Folgenden näher erläutert. Die Grundlage bilden insbesondere die Ergebnisse des Forschungsvorhabens [Spilker et al. 2026], in dem eine Vielzahl an Ausführungsvarianten mithilfe des für die Betonbauweise weiterentwickelten Bilanzierungswerkzeugs aus [Kessel et al. 2025] lebenszyklusorientiert bewertet wurden. Die Umweltwirkungen aus Herstellung, baulicher Erhaltung und Rückbau eines Oberbaus für einen 5 km langen Autobahnabschnitt mit dem Regelquerschnitt RQ 31 wurden dabei auf die jeweils prognostizierte wirtschaftliche Nutzungsdauer bezogen. Diese wurde u. a. auf Basis von Spannungsermittlungen mittels der Finite-Elemente-Methode (FEM), einer jährlichen Schadensakkumulation nach Miner sowie der zeitlichen Entwicklungen maßgebender Systemparameter und der Streuungen maßgebender Kenngrößen realitätsnah prognostiziert. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse werden schwerpunktmäßig anhand der Treibhausgasemissionen (CO₂-Äquivalente je Nutzungsjahr) erläutert; die Bewertung des kumulierten Energieaufwands (KEA) und des Ressourcenverbrauchs (ReCiPe Midpoint) erfolgte analog.

3.2 Konstruktion

Die Konstruktion einer Betonfahrbahn bestimmt maßgeblich ihr Trag- und Dauerhaftigkeitsverhalten und bildet damit eine wesentliche Grundlage für eine lange Nutzungsdauer. Insbesondere die Deckendicke im Zusammenspiel mit der definierten Plattengeometrie besitzt einen maßgebenden Einfluss auf die prognostizierte Nutzungsdauer.

Moderne rechnerische Dimensionierungsverfahren ermöglichen eine an die projektspezifischen Randbedingungen angepasste Auslegung der Fahrbahnkonstruktion und schaffen damit die Voraussetzung für eine nutzungsdauerorientierte und nachhaltige Planung.

Tragschichten

In [Spilker et al. 2026] wurden unterschiedliche Tragschichtvarianten hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen über den Lebenszyklus untersucht. Dabei zeigt sich, dass dauerhafte Tragschichten insbesondere dann ökologische Vorteile besitzen, wenn sie über mehrere Erneuerungszyklen der Betondecke erhalten bleiben können. Schottertragschichten besitzen ein hohes Nutzungsdauerpotenzial. Werden diese im Zuge einer grundhaften Erneuerung der Betondecke nicht rückgebaut, sondern nur reprofiliert, können gut 20 % der durchschnittlichen jährlichen THG-Emissionen eingespart werden. Auch der Energieaufwand und der Ressourcenverbrauch sinken signifikant.

Bei gleicher Nutzungsdauer unterscheiden sich die untersuchten Tragschichtvarianten dagegen nur gering hinsichtlich ihrer jährlichen Umweltwirkungen (s. Bild 4).

Deckendicke

Die Deckendicke stellt einen wesentlichen konstruktiven Einflussparameter für die Nutzungsdauer einer Betonfahrbahn dar. Sie bestimmt maßgeblich die Spannungen infolge Verkehrsbeanspruchung und Temperatureinwirkung und beeinflusst damit die Geschwindigkeit der Schädigungsentwicklung. Forschungsergebnisse zeigen, dass bereits vergleichsweise geringe Anpassungen der Deckendicke zu einer deutlichen Verlängerung der Nutzungsdauer führen können. Dem höheren Materialeinsatz stehen dabei häufig deutlich reduzierte lebenszyklusbezogene Umweltwirkungen und Kosten infolge längerer Erhaltungsintervalle gegenüber. Die Nachhaltigkeitsbewertung sollte daher nicht den Materialeinsatz isoliert betrachten, sondern die über den gesamten Lebenszyklus bereitgestellte Nutzungsleistung berücksichtigen [Spilker et al. 2026].

Fugenanordnung und Plattengeometrie

Neben der Deckendicke beeinflussen auch die Fugenanordnung und die daraus resultierende Plattengeometrie das Trag- und Verformungsverhalten einer Betonfahrbahn. Die Anordnung der Längsfugen wurde in den vergangenen Jahren insbesondere vor dem Hintergrund der Anforderungen an die Arbeits- und Verkehrssicherheit bei Straßenbaustellen gemäß [ASR A5.2] und [RSA 21] untersucht. Ziel war es, Erhaltungsmaßnahmen insbesondere auf vierstreifigen Straßen unter Aufrechterhaltung des Verkehrs sicherer und effizienter durchführen zu können. Mit der Neuauflage der [ZTV Beton-StB 26] wurden die Voraussetzungen geschaffen, alternative Längsfugenanordnungen und damit sowohl kleinere als auch größere Plattengeometrien gegenüber der bisherigen Regelbauweise auszuführen, um bei Erhaltungsmaßnahmen eine flexiblere Verkehrsführung zu ermöglichen.

Gleichzeitig wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Plattengeometrien auf die Spannungszustände im Plattensystem und die resultierende Nutzungsdauer wissenschaftlich untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wahl der Plattengeometrie stets im Zusammenhang mit der gesamten Konstruktion und den projektspezifischen Randbedingungen zu bewerten ist; pauschale Empfehlungen zugunsten einzelner Plattenformate lassen sich daraus nicht ableiten [Tschernack et al. 2023], [Brust 2025].

In [Spilker et al. 2026] wurde nachgewiesen, dass bei Standardbauweisen mit kleineren Platten und unveränderter Deckendicke eine Steigerung der rechnerisch prognostizierten wirtschaftlichen Nutzungsdauer von bis zu 50 % möglich ist. Ursache sind die geringeren Beanspruchungen infolge der reduzierten Plattenabmessungen. Die verlängerte Nutzungsdauer führt zugleich zu einer deutlichen Verringerung der lebenszyklusbezogenen Umweltwirkungen.

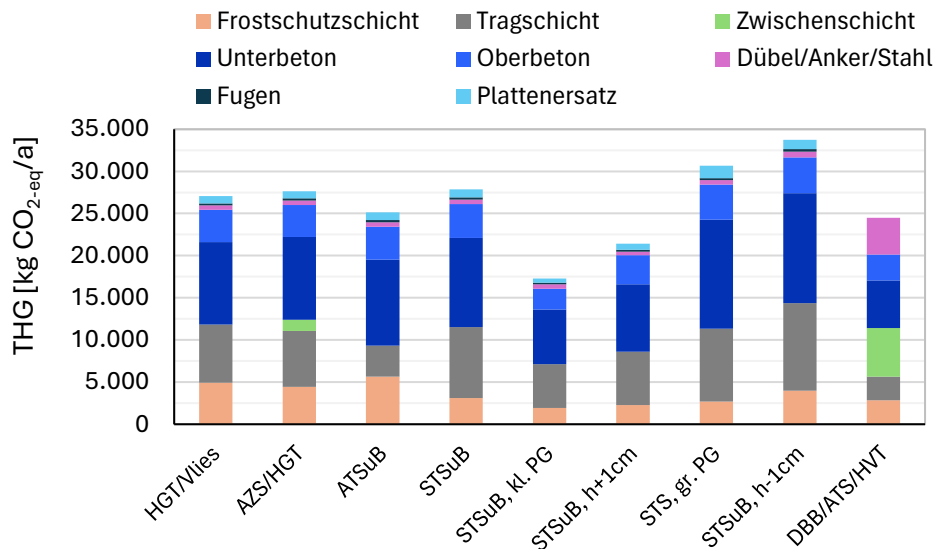


Bild 4 zeigt exemplarisch die lebenszyklusbezogenen äquivalenten Treibhausgasemissionen (THG) pro Jahr für verschiedene konstruktive Ausführungsvarianten. Dargestellt sind die wesentlichen untersuchten Tragschichtvarianten für einen Oberbau mit Betondecke in Plattenbauweise sowie eine durchgehend bewehrte Betondecke auf Asphalttragschicht (DBB). Weiterhin wird der Einfluss einer Variation der Deckendicke h um ± 1 cm, bezogen auf die in der rechnerischen Dimensionierung berechnete Dicke, exemplarisch für die Variante Schottertragschicht (STSub) gezeigt. Zusätzlich werden Auswirkungen kleiner Platten (kl. PG: $b \times h = 3,0 \times 3,5$ m) und großer Platten (gr. PG: $5,75 \text{ m} \times 5,0$ m) im Vergleich zu einer Regelplattengeometrie ($4,25 \text{ m} \times 5,0$ m) gezeigt. Es ist anzumerken, dass bei den kleinen Platten die Deckendicke beibehalten wurde und für die großen Platten eine Erhöhung der Deckendicke um 4 cm, wie sie gemäß [ZTV Beton-StB 26] vorzusehen ist, vorgenommen wurde. Für den Straßenbeton wurde das Waschbeton-Basisszenario (s. Bild 6) zugrunde gelegt.

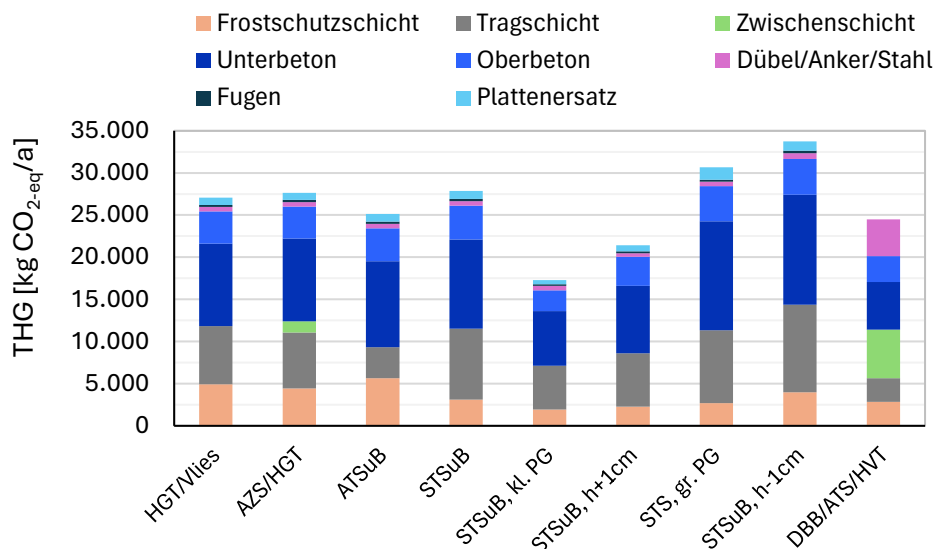


Bild 4: Durchschnittliche jährliche Treibhausgasemissionen eines 5 km langen Autobahnabschnitts (RQ 31) für unterschiedliche Tragschichtvarianten sowie Varianten der Deckendicke (h) und Plattengeometrie (PG); HGT = Hydraulisch gebundene Tragschicht, AZS = Asphaltzwischen-schicht,

ATSuB = Asphalttragschicht, STSuB = Schottertragschicht, DBB = Durchgehend Bewehrte Betondecke, HVT = hydraulisch verfestigte Tragschicht, eigene Darstellung nach [Spilker et al. 2026]

Die Ergebnisse verdeutlichen insgesamt, dass konstruktive Entscheidungen nicht allein hinsichtlich des Materialeinsatzes bewertet werden dürfen. Maßgebend ist vielmehr ihr Einfluss auf die Nutzungsdauer und die daraus resultierenden Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus.

3.3 Straßenbeton

Der Straßenbeton bestimmt maßgeblich die technische Qualität einer Betonfahrbahn und besitzt damit einen unmittelbaren Einfluss auf deren Nachhaltigkeit. Neben der Reduzierung der Umweltwirkungen während der Herstellung kommt insbesondere der Sicherstellung einer dauerhaft hohen Leistungsfähigkeit eine entscheidende Bedeutung zu.

Zement- und Betonzusammensetzung

Die Herstellung des Zements verursacht den überwiegenden Anteil der prozessbedingten Treibhausgasemissionen des Straßenbetons und steht daher im Mittelpunkt aktueller Entwicklungsarbeiten zur Dekarbonisierung. Im Jahr 2025 wurden erstmals Umwelt-Produktdeklarationen (EPD) für typische Straßenbetonrezepturen veröffentlicht [IZB 2025]. Bild 5 zeigt die Netto-Treibhausgasemissionen typischer Straßenbetone. Bereits durch die Wahl der Zementart und der Betonzusammensetzung lassen sich die baustoffbedingten Treibhausgasemissionen deutlich reduzieren. So lassen sich die Treibhausgasemissionen pro m³ Beton in den Lebenszyklusphasen A1 bis A3 mit einem CEM III/A und einem Größtkorndurchmesser der groben Gesteinskörnung von 22 mm gegenüber Referenzrezeptur mit einem CEM I und einem Größtkorndurchmesser von 8 mm um bis zu 46 % reduzieren (Branchendurchschnitt).

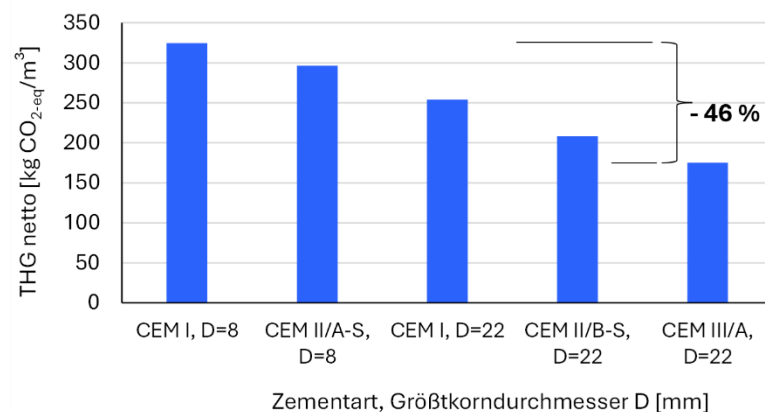


Bild 5: Netto-Treibhausgasemissionen (THG) ausgewählter Straßenbetone auf Grundlage nationaler Umwelt-Produktdeklarationen [IZB 2025]

Mit dem [ARS Nr. 04/2022] wurde die Anwendung verschiedener Zementarten im Fahrbahndeckenbeton bereits erweitert. Seitdem ist auch der Einsatz unterschiedlicher Zementarten im Ober- und Unterbeton zulässig. Die neuen [TL Beton-StB 26] berücksichtigen darüber hinaus CEM II/A-M- und CEM II/B-M-Zemente mit zwei weiteren Hauptbestandteilen neben Portlandzementklinker. Damit wird die Grundlage für eine breitere Nutzung klinkerreduzierter Zemente geschaffen. Vor dem Hintergrund der künftig eingeschränkten Verfügbarkeit von Hüttensand besteht weiterer Entwicklungsbedarf, insbesondere hinsichtlich leistungsfähiger Straßenbetone mit CEM II/B-M- und CEM II/C-M-Zementen.

Der Einsatz klinkerreduzierter CEM II- und CEM III-Zemente wird bereits seit einigen Jahren systematisch im Bundesautobahnnetz erprobt. Im Zuge der aktuellen Regelwerksentwicklung und der angestrebten Dekarbonisierung kommen diese Zementarten inzwischen zunehmend im Rahmen von Baumaßnahmen zum Einsatz.

Die in Bild 5 dargestellten Straßenbetonrezepturen wurden im Forschungsvorhaben [Spilker et al. 2026] auf einen 5 km langen Autobahnabschnitt übertragen und hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen in der Herstellungsphase (A1 – A3) bewertet. Bild 6 zeigt die Treibhausgasemissionen, den kumulierten Energieaufwand sowie den Ressourcenverbrauch für die Herstellung der unterschiedlichen Rezepturen. Es wird deutlich, dass die Reduzierung des Klinkergehalts nicht nur die Treibhausgasemissionen, sondern auch den kumulierten Energieaufwand deutlich verringert. Beim Ressourcenverbrauch ergeben sich dagegen geringere Unterschiede zwischen den Rezepturen. Unabhängig vom betrachteten Umweltindikator dominiert der Zement die Gesamtbilanz und verursacht je nach Rezeptur rund 75 bis 97 % der gesamten Umweltwirkungen. Am Beispiel der Treibhausgasemissionen entfällt im Waschbeton-Basisszenario mit CEM I im Ober- und Unterbeton ein Anteil von 96 % der Gesamtemissionen des Betons auf den Zement (weiße Prozentangabe). Wird im Oberbeton ein CEM II/A-S und im Unterbeton ein CEM III/A eingesetzt, reduzieren sich die gesamten Treibhausgasemissionen des Betons gegenüber dem Basisszenario um 29,4 % (schwarze Prozentangabe).

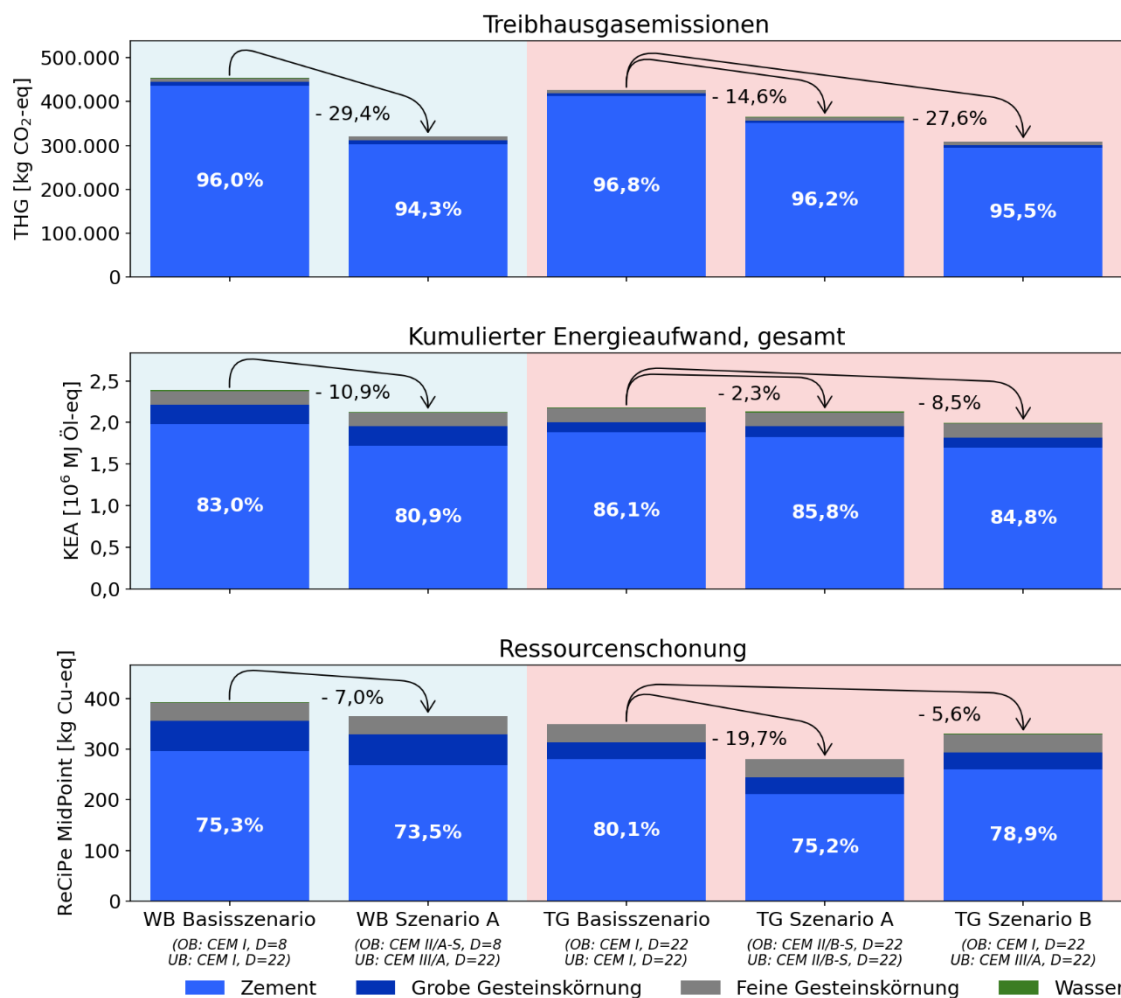


Bild 6: Treibhausgasemissionen (THG), kumulierter Energieaufwand (KEA) und Ressourcenverbrauch (ReCiPe MidPoint) des Straßenbetons für einen 5 km langen Autobahnabschnitt (RQ 31) mit

unterschiedlichen Rezepturen. WB = Waschbeton, TG = Beton für Texturgrinding, OB = Oberbeton, UB = Unterbeton. Die weißen Prozentangaben kennzeichnen den Anteil des Zements an den gesamten Umweltwirkungen; die schwarzen Prozentangaben geben die Reduktion der Gesamtemissionen gegenüber dem jeweiligen Basisszenario an, eigene Darstellung nach [Spilker et al. 2026]

Während Bild 6 die Umweltwirkungen des Straßenbetons in der Herstellungsphase zeigt, verdeutlicht Bild 7 die Beiträge der einzelnen Schichten eines Straßenoberbaus über den gesamten Lebenszyklus eines 5 km langen Abschnitts. Exemplarisch ist die Regelbauweise mit

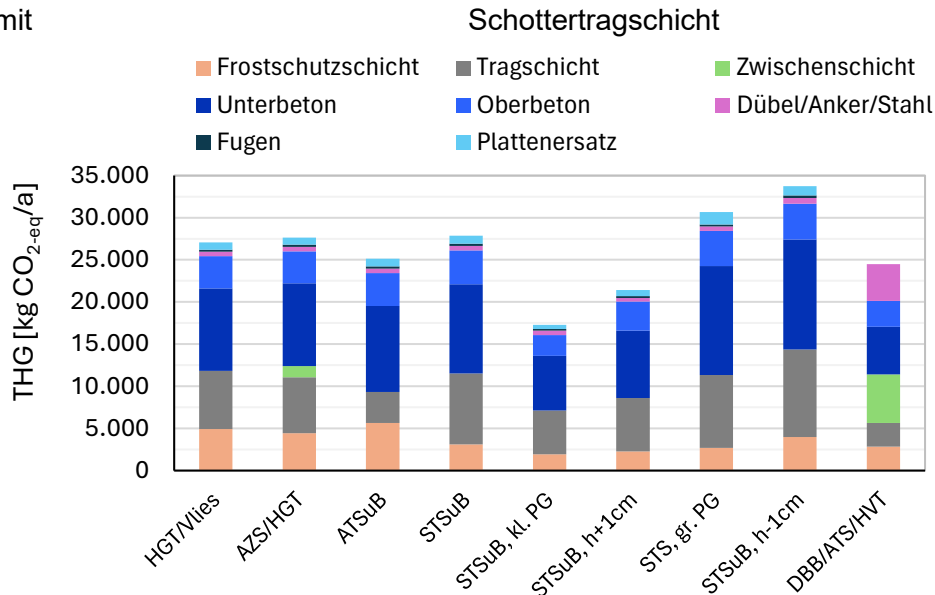


Bild 4 mit einem konventionellen Beton (Waschbeton Basisszenario) dargestellt. Es wird deutlich, dass der Straßenbeton insgesamt den größten Anteil an den Treibhausgasemissionen und am kumulierten Energieaufwand besitzt, während der Einsatz der Dübel und Anker maßgeblich den Ressourcenverbrauch dominiert. Der Anteil der Maßnahmen der Baulichen Erhaltung fällt insgesamt vergleichsweise gering aus.

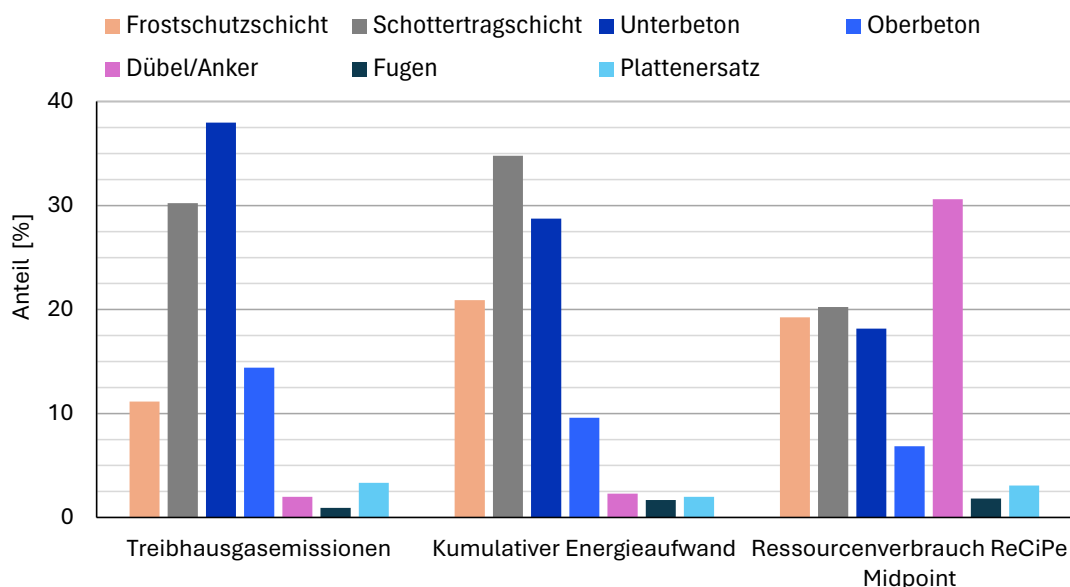


Bild 7: Anteile der einzelnen Schichten eines Straßenoberbaus an den lebenszyklusbezogenen Treibhausgasemissionen (THG), dem kumulierten Energieaufwand (KEA) und dem Ressourcenverbrauch (ReCiPe MidPoint) am Beispiel der Regelbauweise mit Schottertragschicht für einen 5 km langen Autobahnabschnitt, eigene Darstellung nach [Spilker et al. 2026]

Mechanische Eigenschaften

Neben den klassischen Dauerhaftigkeitsanforderungen besitzen die mechanischen Eigenschaften des Straßenbetons einen wesentlichen Einfluss auf die rechnerische Nutzungsdauer. Die Spaltzugfestigkeit stellt hierbei die maßgebende leistungsbezogene Kenngröße für die Dimensionierung und Nutzungsdauerprognose von Betonfahrbahnen dar. Darüber hinaus beeinflussen insbesondere die Wärmedehnzahl des Betons sowie die Streuung der Spaltzugfestigkeit die Ermüdungsbeanspruchung und damit die prognostizierte Nutzungsdauer wesentlich [Spilker et al. 2026].

Bild 8 zeigt exemplarisch den Einfluss dieser Parameter auf die jährlichen Treibhausgasemissionen. Die dargestellten Änderungen in den Emissionen beruhen ausschließlich auf der resultierenden Veränderung der prognostizierten Nutzungsdauer; die Herstellungs-Emissionen des Oberbaus bleiben unverändert.

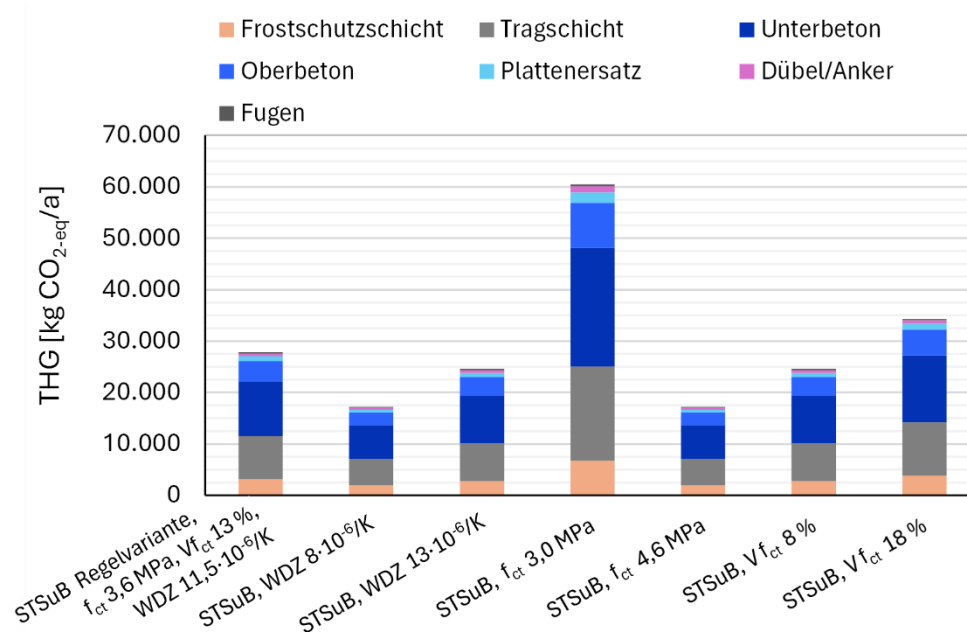


Bild 8: Einfluss ausgewählter mechanischer Kennwerte des Straßenbetons auf die jährlichen Treibhausgasemissionen eines 5 km langen Autobahnabschnitts; WDZ = Wärmedehnzahl, f_{ct} = Spaltzugfestigkeit, Vf_{ct} = Variationskoeffizient der Spaltzugfestigkeit, eigene Darstellung nach [Spilker et al. 2026]

Mit der Neuausgabe der [TL Beton-StB 26] und [ZTV Beton-StB 26] wird die charakteristische Spaltzugfestigkeit erstmals als maßgebende leistungsbezogene Festigkeitskenngröße für Betonfahrbahnen berücksichtigt. Damit steht eine leistungsbezogene Anforderung inklusive statistischem Nachweiskonzept für die gezielte Steuerung der Nutzungsdauer und Beurteilung der Beton- und Einbauqualität zur Verfügung.

Ressourceneffizienz und Recycling

Die Wiederverwendung und Verwertung von Betonfahrbahndecken leisten grundsätzlich einen Beitrag zur Ressourcenschonung und zur Etablierung möglichst hochwertiger Stoffkreisläufe im Straßenbau. Die Verwendung rezyklierter Gesteinskörnungen im Fahrbahndeckenbeton ist derzeit jedoch nur eingeschränkt möglich, da insbesondere der dauerhafte Ausschluss einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) sichergestellt werden muss. Aus diesem Grund werden rezyklierte Gesteinskörnungen aus Fahrbahndecken heute überwiegend in Tragschichten ohne Bindemittel eingesetzt. Aktuelle Forschungsvorhaben zielen darauf ab,

die technischen Voraussetzungen für eine hochwertige Wiederverwendung im Fahrbahndeckenbeton weiterzuentwickeln und gleichzeitig die Dauerhaftigkeit langfristig sicherzustellen [Mielich 2024].

Die ökologische Bewertung rezyklierter Gesteinskörnungen ist derzeit nur eingeschränkt möglich. Die in [Spilker et al. 2026] durchgeführten Ökobilanzierungen zeigen, dass sich aus den verwendeten Ökobilanzdatensätzen derzeit keine Vorteile hinsichtlich der Treibhausgasemissionen oder des Primärenergiebedarfs ableiten lassen, diese steigen geringfügig an. Zur Quantifizierung der Ressourcenschonung stehen bislang keine allgemein anerkannten Bewertungsansätze zur Verfügung, welche die tatsächliche Schonung natürlicher Rohstoffvorkommen und die Etablierung geschlossener Stoffkreisläufe sachgerecht abbilden. Die Weiterentwicklung geeigneter Bewertungsmethoden über die Bilanzierung des ReCiPe Midpoint hinaus stellt daher einen wesentlichen Forschungsbedarf dar.

3.4 Oberflächeneigenschaften

Die Oberflächeneigenschaften einer Betonfahrbahn beeinflussen die Nachhaltigkeit insbesondere während der Nutzungsphase. Sie wirken sich unmittelbar auf den Energiebedarf des Verkehrs, die Lärmemissionen sowie den Fahrkomfort aus und leisten damit einen Beitrag zu den ökologischen und gesellschaftlichen Nachhaltigkeitszielen. Aufgrund der langen Nutzungsdauer wirken sich diese Eigenschaften über mehrere Jahrzehnte aus und besitzen damit ein erhebliches Nachhaltigkeitspotenzial.

Ebenheit

Eine dauerhaft hohe Längsebenheit verbessert nicht nur den Fahrkomfort, sondern reduziert auch die dynamischen Radlasten infolge von Fahrbahnunebenheiten. Dadurch werden die Ermüdungsbeanspruchungen des Oberbaus verringert und die Nutzungsdauer verlängert. Untersuchungen zeigen, dass bereits vergleichsweise geringe Verbesserungen der Ebenheit das Potenzial besitzen, die Nutzungsdauer von Betonfahrbahnen um bis zu zehn Jahre zu verlängern [Spielhofer et al. 2023].

Mit der Neuausgabe der [ZTV Beton-StB 26] wurde das Texturgrinding Typ S erstmals als Regelbauweise für den Neubau und die grundlegende Erneuerung von Betondecken bauvertraglich eingeführt. Gegenüber der konventionellen Bauweise ermöglicht es eine erhöhte Anfangsebenheit von $\leq 2 \text{ mm} / 4 \text{ m}$ und schafft damit eine wesentliche Voraussetzung, durch eine gezielte Ebenheitsverbesserung in der Herstellungs- und/oder Nutzungsphase die Restnutzungsdauer einer Betonfahrbahn zu verlängern.

Reifen-Fahrbahn-Geräusch und Rollwiderstand

Die Oberflächentextur beeinflusst sowohl das Reifen-Fahrbahn-Geräusch als auch den Rollwiderstand und besitzt damit einen unmittelbaren Einfluss auf alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit von Straßenoberbauten. Mit der Neuausgabe der [ZTV Beton-StB 26] stehen nun zwei lärmindernde Oberflächentexturen gemäß [RLS-19] für Betondecken zur Verfügung (Texturgrinding Typ S, Waschbetontextur). Aktuelle Forschungsarbeiten zielen darauf ab, die akustischen Potenziale dieser Texturen weiter auszuschöpfen und gleichzeitig ihre funktionale Leistungsfähigkeit dauerhaft sicherzustellen.

Der Rollwiderstand beeinflusst unmittelbar den Kraftstoff- beziehungsweise Energieverbrauch des fahrenden Verkehrs und damit die verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen während der Nutzungsphase. Bereits geringe Verbesserungen können sich aufgrund der hohen

Verkehrsbelastungen und der langen Nutzungsdauer von Bundesfernstraßen zu erheblichen Einsparungen summieren. Die Optimierung des Rollwiderstands stellt damit einen unmittelbaren Hebel zur Reduzierung verkehrsbedingter Umweltwirkungen sowie der Betriebskosten des Verkehrs während der Nutzungsphase dar und sollte in künftigen Forschungsarbeiten weiter untersucht werden.

3.5 Bauausführung

Die Nachhaltigkeit einer Betonfahrbahn setzt voraus, dass die geplante technische Qualität auf der Baustelle zuverlässig umgesetzt wird. Mit den neuen Anforderungen der [ZTV Beton-StB 26] rückt dabei nicht mehr allein die Einhaltung einzelner Grenzwerte, sondern die gleichmäßige Qualität der fertigen Leistung in den Vordergrund. Dies erfordert eine hohe Prozesssicherheit über alle Herstellungsschritte – von den Ausgangsstoffen über Herstellung, Transport und Einbau bis zur Nachbehandlung – und bildet die Grundlage für eine zuverlässige Erreichung der prognostizierten Nutzungsdauer.

Die Umweltwirkungen der Bauausführung selbst werden insbesondere durch die Transportentfernungen beeinflusst. Vor diesem Hintergrund kommt der Schaffung möglichst regionaler Stoffströme eine besondere Bedeutung zu. Inwieweit die Energieeffizienz der Bauprozesse sowie alternativ betriebene Einbau- und Transportgeräte künftig einen signifikanten Beitrag leisten können, ist bislang nicht quantifiziert [Kessel et al. 2025].

4 Optimierte Bauweisen

Die zuvor dargestellten Einzelmaßnahmen entfalten ihr größtes Potenzial in der Kombination. Für die Vorzugsbauweisen mit HGT, ATSuB und STSuB wurden deshalb optimierte Varianten untersucht, bei denen die technischen Kennwerte (u. a. Spaltzugfestigkeit, Deckendicke, Wärmedehnzahl und Plattengeometrie) gemeinsam auf eine möglichst hohe Nutzungsdauer abgestimmt wurden. Dabei wurden ausschließlich Parameterwerte gewählt, die mit den heutigen Regelwerken und Bauverfahren grundsätzlich praxisgerecht umsetzbar sind.

Tabelle 2 enthält die verwendete Kenngröße sowie die angesetzten Parameterwerte. Die kalibrierten Deckendicken der Standardvarianten wurden für die Parameterstudie mit den exakten, aus der Dimensionierung resultierenden Millimeterwerten angesetzt, um Rundungseinflüsse zu vermeiden und die Ergebnisse eindeutig auf die Variation der untersuchten Parameter zurückführen zu können. In der Baupraxis erfolgt die Festlegung der Deckendicke jedoch in 5-mm-Schritten, was bei den optimierten Varianten entsprechend berücksichtigt wurde.

Tabelle 2: Kenngrößen der betrachteten Bauweisen

Kenngröße	Standardvariante	Optimierte Variante
Charakt. Spaltzugfestigkeit Beton (f_{ct})	3,6 MPa	3,7 MPa
Deckendicke (h)	Kalibrierte Dicke	+ 1,0 cm sowie Rundung auf volle 5 mm
HGT/Vlies	278 mm	290 mm (kleine Platten: 250 mm)
STSuB	283 mm	295 mm (kleine Platten: 255 mm)
ATSuB	281 mm	290 mm (kleine Platten 250 mm)
Wärmedehnzahl (WDZ)	$11,5 \cdot 10^{-6}/K$	$10,5 \cdot 10^{-6}/K$
E-Modul des Betons (E_c)	40.500 MPa	41.000 MPa

	Regelgeometrie	Kleine Platten
Plattengeometrie (Breite x Länge)	4,25 m x 5,0 m	3,0 m x 3,5 m

Bild 9 zeigt die daraus resultierenden jährlichen Umweltwirkungen. Bereits die Optimierung der technischen Kennwerte bei unveränderter Regelgeometrie reduziert die Treibhausgasemissionen, den kumulierten Energieaufwand und den Ressourcenverbrauch je nach Bauweise um rund 20 bis 40 %. Durch den Einsatz kleiner Plattengeometrien können die lebenszyklusbezogenen Treibhausgasemissionen und der Primärenergiebedarf um weitere ca. 5–20 % reduziert werden. In Kombination mit den optimierten Kennwerten lassen sich diese Umweltwirkungen gegenüber der heutigen Standardbauweise um etwa 40–50 % reduzieren. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die größten Nachhaltigkeitspotenziale nicht in Einzelmaßnahmen, sondern in einer integralen Optimierung der Bauweise liegen.

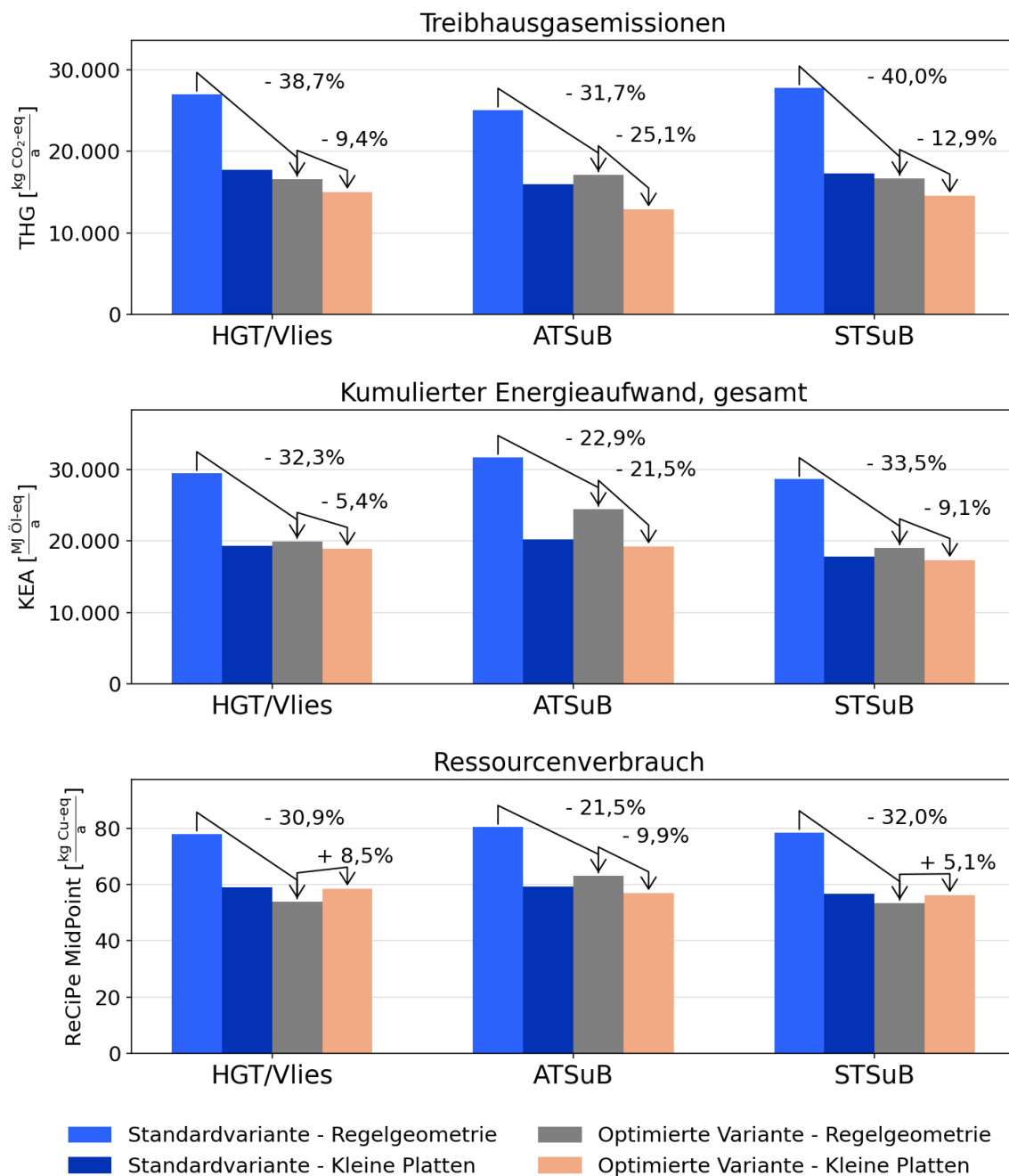


Bild 9: Jährliche Umweltwirkungen optimierter Betonfahrbahnen im Vergleich zu einer Standardbauweise (5 km langer Autobahnabschnitt); eigene Darstellung nach [Spilker et al. 2026].

Zusätzlich zu den dargestellten Potenzialen der technischen Optimierung können durch eine optimierte Betonzusammensetzung weitere Reduzierungen der Umweltwirkungen erzielt werden (vgl. Bild 6).

5 Ausblick

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass erhebliche Nachhaltigkeitspotenziale bereits mit heute verfügbaren technischen Lösungen erschlossen werden können. Entscheidend ist dabei eine ganzheitliche Optimierung der Betonbauweise, bei der konstruktive, baustofftechnische und funktionale Eigenschaften gemeinsam betrachtet werden. Hierzu zählen beispielsweise optimierte Material- und Konstruktionsparameter zur Erhöhung der Nutzungsdauer, leistungsfähige und CO₂-reduzierte Straßenbetone, langlebige Tragschichten sowie eine hohe Ebenheit und ein geringer Rollwiderstand.

Mit der in [Spilker et al. 2026] weiterentwickelten Methodik wurden erstmalig leistungsbezogene Nutzungsdauerprognosen mit der lebenszyklusbezogenen Bilanzierung relevanter Umweltindikatoren verknüpft. Dadurch können die Auswirkungen technischer Einflussgrößen auf die prognostizierte Nutzungsdauer und die daraus abgeleiteten Umweltwirkungen künftig nicht nur qualitativ, sondern auf quantitativer Grundlage bewertet werden.

Zukünftig gilt es, leistungsbezogene Nutzungsdauerprognosen für unterschiedliche Bauweisen weiterzuentwickeln und als Grundlage realitätsnaher Nachhaltigkeitsbewertungen zu etablieren. Damit können technische Optimierungspotenziale künftig noch gezielter ausschöpfen.

Literaturangaben

- | | |
|-----------------------|--|
| [ARS Nr. 04/2022] | Allgemeines Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 04/2022 – Sachgebiet 06.1: Straßen-Baustoffe; Anforderungen, Eigenschaften – 06.2: Straßen-Baustoffe; Qualitätssicherung – 06.4: Bauvertragsrecht und Vergabewesen; Abwicklung von Verträgen – Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baugemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2007 (TL Beton-StB 07) |
| [ASR A5.2 2018] | Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A5.2, Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr – Straßenbaustellen, Ausgabe 2018 |
| [Brust 2025] | Brust, M.: Entwicklung alternativer Plattengeometrien im Betonstraßenbau unter Berücksichtigung ihrer Nutzungsdauern und ihres Beitrags zur Nachhaltigkeit, Dissertation Technische Universität München, 2025 |
| [Carreno et al. 2025] | Carreno, N.; Schmitz, C.; Kemper, D.; Cypra S.; Holldorb, C.: Literaturstudie zur Nachhaltigkeit im Straßenbau, Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Straßenbau Heft S 211, 2025 |

- [IZB 2025] InformationsZentrum Beton GmbH (IZB): Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804+A2: Beton für Straßendecken, Institut Bauen und Umwelt e. V. (IBU), 2025
- [Kessel et al. 2025] Kessel, T.; Pasderski, J.; Falter, C.; Wistuba, M.; Büchler, S.; Pohl, T.: Nachhaltigkeitspotentiale im Straßenbau mit dem Fokus auf Treibhausemissionen, Energiebedarf und Ressourcenschonung. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben FE04.0341/2021/ARB, Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, 2025 (unveröffentlicht)
- [Mielich 2024] Mielich, O.: Nachhaltige Bauweisen mit Betondecke – Recycling und Verwertung des Betons, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben FE08.0256/2018/CRB der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (unveröffentlicht)
- [Milachowski et al. 2010] Milachowski, C.; Stengel, T.; Gehlen, C.: Ökobilanz: Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts. Centrum Baustoffe und Materialprüfung der TU München, 2010
- [Müller et al. 2019] Müller, C.; Palm, S.; Hermerschmidt, W.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen mit CEM II/C-M (S-LL) und CEM II/B-LL-Zementen: Auswertung vorhandener Studien. Fachzeitschrift beton, Ausgabe 10/2019
- [Pohl et al. 2026] Pohl, T.; Weninger-Vycudil, A.; Wistuba, M. P.; Sam, N.; Osterwalder, D.; Spitzhofer, N.: Strassenbauweisen Bilanzierung Nachhaltigkeit (SABINA), Forschungsvorhaben im Rahmen der D-A-CH-Kooperation Verkehrsinfrastrukturforschung 2022, Ergebnisbericht 2026 (unveröffentlicht)
- [RLS-19] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2019
- [RSA 2021] Richtlinien für die verkehrsrechtliche Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen, Ausgabe 2021, FGSV, Köln
- [Spielhofer et al. 2023] Spielhofer, R.; Wehr, R.; Kugler, H.; Villaret, S.; Frohböse, B.; Gebhardt, C.; Pichottka, S.; Posern, K.: TexPlus – Texturgrinding von Betonoberflächen. D-A-CH Kooperation Verkehrsinfrastrukturforschung 2019., Ergebnisbericht 2023
- [Spilker et al. 2026] Spilker, A.; Gebhardt, C.; Riwe, A.; Tschernack, T.; Villaret, S.: Lebenszyklusübergreifende Bewertung von Oberbauvarianten in Betonbauweise unter straßenbauspezifischen Aspekten der Nachhaltigkeit, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben FE04.0344/2022/MRB, Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, 2025 (unveröffentlicht)
- [TL Beton-StB 26] Technische Lieferbedingungen für die Herstellung von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2026
- [Tschernack et al. 2023] Tschernack, T.; Gebhardt, C.; Villaret, S.: Lösungsstudie zur Umsetzung der ASR A5.2 im Kontext mit der Herstellung von Betonfahrbahndecken, Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Heft S 197, 2023
- [Villaret et al. 2024] Villaret, S.; Beckenbauer, T.; Gebhardt, C.; Riwe, A.; Tschernack, T.: Prognose der Wirtschaftlichkeit von Betonfahrbahndecken – Bauweisen

- RDO/RStO, Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Heft S 203, 2024
- [Wistuba et al. 2025] Wistuba, M. P.; Weninger-Vycudil, A.; Haessig, S.; Pohl, T.; Toscano Krau, M.; Kessel, T.; Prien, M.: Internationale Lebenszyklusanalyse-Tools für den Straßenbau – Vergleichsanalyse und Umsetzungsmöglichkeiten in Deutschland, Forschungsvorhaben der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen FE04.0350/2023/ARB, Schlussbericht 2025 (unveröffentlicht)
- [ZTV Beton-StB 26] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2026