Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

FKZ 3712 33 324
UBA-FB-00 [trägt die UBA-Bibliothek ein]

Substitution von Primärrohstoffen im Straßen- und Wegebau durch mineralische Abfälle und Bodenaushub; Stoffströme und Potenziale unter Berücksichtigung von Neu-, Aus- und Rückbau sowie der Instandsetzung

von

Florian Knappe (Projektleitung), Joachim Reinhardt
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Thomas Bergmann, Moritz Mottschall
Öko-Institut, Büro Berlin

In Zusammenarbeit mit:

Ingolf Keck, Dr. Susanne Köstlin
Keck Informationstechnologie, Görwihl

Ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Dezember 2015

Kurzbeschreibung

Der Bausektor ist sehr materialintensiv. Mineralische Bauabfälle stellen die mit Abstand größte Abfallfraktion dar. Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie und des Ressourceneffizienzprogramms ProgRess ist die Verdopplung der Rohstoffproduktivität bis zum Jahr 2020 und damit auch eine möglichst vollständige und hochwertige Verwertung dieser Abfallmassen. Bislang werden diese überwiegend zu RC-Bauprodukten für den Straßen- und Wegebau verarbeitet. Mit der vorliegenden Studie wurde der Materialbestand und die Dynamik im Straßen- und Wegebau deshalb näher beleuchtet.

Das im Straßenbaukörper und in den Straßenbauwerken (v.a. Brücken und Tunnel) vorhandene anthropogene Materiallager wurde sehr umfassend erhoben anhand von Daten aus einem digitalen Landschaftsmodell (ATKIS DLM), Datensätzen aus den Straßeninformationsbanken (sib-Datenbanken) der Länder sowie über die Befragung größerer Kommunen. In kommunaler Trägerschaft liegen (inkl. der landwirtschaftlichen Wirtschaftswege) 75 % des Straßen- und Wegenetzes. Nach der vorliegenden Abschätzung beträgt das in den Straßen befindliche Materiallager für alle Baulastträger in Summe etwa 1,6 Mrd. Tonnen Asphalt und 2,2 Mrd. Tonnen an ungebundenen Schichten. Die in den Straßenbauwerken enthaltenen Massen haben demgegenüber mit in Summe 0,15 Mrd. Tonnen, v.a. an Beton, nur eine kleinere Bedeutung.

Die Entwicklung des Straßennetzes bis zum Jahre 2030/2050 wird für verschiedene Szenarien über den jährlichen Zu- und Rückbau in einem Stoffstrommodell beschrieben. Die zukünftigen Baustoffbedarfe werden sich rechnerisch zu einem erheblichen Anteil aus den anfallenden Altmassen decken lassen, mit von Region zu Region größeren Unterschieden. So liegt eine mögliche Bedarfsdeckung aus Altgranulat für Asphalt im Bereich von 60 % bis 75 %, was nur über eine Umrüstung der Heißasphaltmischwerke zu erreichen wäre. Nimmt man die Altmassen aus dem Straßenkörper selbst sowie die Altbetone und das Altpflaster zusammen, liegt die Bedarfsdeckung für ungebundene Schichten rechnerisch zwischen 70 % und >100 %, ein deutlicher Hinweis, dass in Zukunft wenig Spielräume zum Absatz weiterer RC-Baustoffe bestehen werden.

Abstract

The construction sector is very material-intensive. Mineral construction waste represents by far the greatest fraction of overall waste. The goal of the national sustainability strategy and the resource efficiency programme ProgRess is the doubling of raw material productivity by the year 2020 and thus, the complete and high-quality utilisation of these waste materials. To date, mineral construction waste has been recycled for utilisation in road construction. Hence, the present study explored the road construction sector in detail.

The first step involved the analysis of the ATKIS DLM database in combination with data sets from the sib databases maintained by the German federal states and a survey of the larger municipalities, resulting in a detailed inventory of the current anthropogenic raw material stocks in the road network including civil engineering features such as bridges and tunnels. A total of 75% of the road network (incl. rural service roads) is public, i.e. operated by the municipalities. According to the results, the estimate for the material stock in roads amounts to 1.6 billion t asphalt and 2.2 billion t of unbound layers. In contrast, with a total of 0.15 billion t of mostly concrete, material stocks from bridges and tunnels are of minor importance.

The development trajectory of the road network up to 2030/2050 is modelled for a number of new construction and demolition scenarios in a material flow model. According to the results, future construction material demand may be met with the reuse of recycled materials. However, the quantities can vary at the regional level. For instance, between 60% and 75% of the demand for construction

aggregate for asphalt could be supplied from recycled materials. A prerequisite to achieve this would be the modification of hot asphalt mixing equipment. Moreover, the results indicate that the combined volumes of used materials from the road network as well as used concrete and used paving may meet 70% to >100% of the demand for unbound layers. This suggests little future scope for the marketing of additional recycled construction materials.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 7
Verzeichnis der thematischen Karten 8
Tabellenverzeichnis 9
Abkürzungsverzeichnis 11
Zusammenfassung 12
Summary 17
1 Aufgabenstellung 24
2 Materiallager Straßen- und Wegenetz 27
2.1 Erhebung des Status Quo – Herangehensweise 28
2.1.1 Straßenoberbau 31
2.1.2 Brückenbauwerke 38
2.1.3 Tunnelbauwerke 42
2.1.4 Sonstige Bauwerke 42
2.2 Erhebung des Status Quo - Massen 44
3 Zu erwartende Materialflüsse 49
3.1 Von den Baukörpern zu den Stoffströmen – Ableitung von Szenarien 49
3.1.1 Überlegungen zur Erweiterung des Straßennetzes 49
3.1.2 Überlegungen zu Ausbau und Unterhaltung / Erhaltung 51
3.1.3 Überlegungen zu Rückführbarkeit von Abfallmassen 52
3.1.4 Beschreibung der Szenarien 56
3.2 Ergebnisse nach Szenarien 63
3.2.1 Szenario “Referenz“ 63
3.2.2 Szenario 1: 2030, größeres Netz 74
3.2.3 Szenario 2: 2030, größeres Netz und hohe Massenflüsse 76
3.2.4 Szenario 3: 2050, pol. Zielsetzung 77
3.2.5 Szenario 4: 2050, kleiner Netzzuwachs und höhere Massenflüsse 87
4 Erkenntnisse und ihre Bewertung 89
5 Quellenverzeichnis 97

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Straßennetz auf der Basis der ATKIS-BasisDLM Datensätze, Beispiel Karlsruhe 29

Abbildung 2: Veranschaulichung des Verlaufs der raumbezogenen Elementarobjekte und der Attribute BRF und FSZ anhand einer getrennten Fahrbahn (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2013) 29

Abbildung 3: Datensatz zum Straßennetz, Beispiel Landesstraßen (ATKIS-BasisDLM Datensätze) 30

Abbildung 4: Datenqualität der sib-Datenbanken für die jeweiligen Bundesländer mit Ergänzung der relativen Straßenlängen 31

Abbildung 5: Zuordnung der Frosteinwirkungszonen auf Kreise 35

Abbildung 6: Deckschichtmaterialien nach Straßenkategorie 37

Abbildung 7: Beispieldatensatz Bauwerke, Brücken (ATKIS-BasisDLM Datensätze) 39

Abbildung 8: Bauweisen von Brücken, in Längenanteilen 40

Abbildung 9: Materialintensität von Betonbrücken in Abhängigkeit ihrer Länge 41

Abbildung 10: Entwicklung der Straßenlängen überregionaler Straßen 2000-2012 50

Abbildung 11: Übersicht über die Massenflüsse für Szenario „Referenz“ im Detail 65

Abbildung 12: Übersicht über die Massenflüsse für Szenario 3 im Detail 79

Abbildung 13: Aufbereitung über eine Schwertwäsche bei der Fa. Feeß in Kirchheim/T 93

Verzeichnis der thematischen Karten

Thematische Karte 1: Verteilung der Massen im Bestand pro Fläche in t/km² nach Regionen 40

Thematische Karte 2: Verteilung der Massen im Bestand in Tonnen pro Einwohner nach Regionen 41

Thematische Karte 3: Für die Auswertung gewählte Aufteilung nach Regionen 52

Thematische Karte 4: Jährlicher Asphaltbedarf bis zum Jahr 2030 in 1.000 t/.....59

Thematische Karte 5: Verhältnis von jährlich verfügbarem Recyclingasphalt zu Bedarf in Prozent bis 2030.....60

Thematische Karte 6: Jährlicher Bedarf an ungebundenem Material bis zum Jahr 2030 in 1.000 t/a.....63

Thematische Karte 7: Verhältnis von jährlich verfügbarem ungebundenen Recyclingmaterial zu Bedarf in Prozent im Referenzszenario bis 2030 64

Thematische Karte 8: Verhältnis von jährlich verfügbarem ungebundenen Recyclingmaterial zu Bedarf in Prozent in Szenario 1 bis zum Jahr 2030 68

Thematische Karte 9: Jährlicher Asphaltbedarf für die Jahre von 2030 bis 2050 in 1.000 t/a 74

Thematische Karte 10: Verhältnis von jährlich verfügbarem Recyclingasphalt zu Bedarf in Prozent für den Zeitraum 2030 bis 2050 75

Thematische Karte 11: Jährlicher Bedarf an ungebundenem Material für den Zeitraum 2030 bis 2050 in 1.000 t/a 79

Thematische Karte 12: Verhältnis von jährlich verfügbarem ungebundenen Recyclingmaterial zu Bedarf in Prozent im Szenario 3 für den Zeitraum 2030 bis 2050 80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Herangehensweise und Aussagesicherheiten 27

Tabelle 2: Ergebnisse der Straßenlängen in km des ATKIS-BasisDLM Datensatz nach Ländern und Straßentyp (Angaben in km) 32

Tabelle 3: Vergleich der Straßenklassen nach RStO 01 und RStO 12 34

Tabelle 4: Anzahl, Breite und Länge von Brücken nach Straßenkategorie .. 39

Tabelle 5: Materialmengenanalyse für Brücken 41

Tabelle 6: spez. Materialkennzahlen für Brücken (in t/m²) und CO_2e nach [EcoInvent 2014] 42

Tabelle 7: Anzahl, Länge und Breite von Tunneln nach Straßenkategorie .. 42

Tabelle 8: Materialkennzahlen für Fundament und Pfosten 43

Tabelle 9: Materialkennzahlen für Lärmschutzwände aus Holz 43

Tabelle 10: Materialkennzahlen für Lärmschutzwände aus Metall (Aluminium) 43

Tabelle 11: Materialkennzahlen für Lärmschutzwände aus Beton 44

Tabelle 12: Materiallager Straßenkörper (in Mio. t) 44

Tabelle 13: Materiallager Tunnel 47

Tabelle 14: Materiallager Brücken 48

Tabelle 15: Materiallager Lärmschutzwände 48

Tabelle 16: Erneuerungszyklen für gebundene und ungebundene Schichten des Straßenaufbaus differenziert nach Straßenkategorie, Ortslage (außerorts/innerorts), Deckschichtmaterial und Bauklasse (in Jahren) 51

Tabelle 17: Zugabemöglichkeiten von Asphaltgranulat zu den Asphaltmischgutarten (nach Tabelle 1 des M WA, Ausgabe 2009/Fassung 2013) [DAV 2014] 53

Tabelle 18: Für die Auswertung gewählte Aufteilung nach Regionen 57

Tabelle 19: Übersicht über die wesentlichen Randbedingungen für die einzelnen Szenarien 60

Tabelle 20: Angenommene Lebensdauern der Bauwerke 60

Tabelle 21: Straßen für die Hocheinbau bei Erneuerung der Bindeschicht angenommen ist und die unterstellten Einbaumengen 61

Tabelle 22: Angenommene Recyclingquoten der einzelnen Materialien im Straßenbau 61

Tabelle 23: Massenflüsse nach Szenario „Referenz“ (in 1000 t/a) 64

Tabelle 24: Baustoffbedarfe nach Szenario „Referenz“ (in 1000 t/a) für 2030 64

Tabelle 25: Asphaltbedarfe nach Szenario „Referenz“ (in 1000 t/a) für 2030, aufgeteilt nach Regionen 68

Tabelle 26: Bedarfe an Schichten ohne Bindemittel nach Szenario „Referenz“ (in 1000 t) für 2030, aufgeteilt nach Regionen 72

Tabelle 27: Massenflüsse nach Sensitivität für Deckschichten (in 1000 t/a) 73

Tabelle 28: Massenflüsse nach Sensitivität für vertikalen Aufbau der kommunalen Straßen (in 1000 t/a) 74

Tabelle 29: Massenflüsse nach Szenario 1 (in 1000 t) 74

Tabelle 30: Baustoffbedarfe nach Szenario 1 (in 1000 t) für 2030 75

Tabelle 31: Massenflüsse nach Szenario 2 (in 1000 t/a) 77

Tabelle 32: Baustoffbedarfe nach Szenario 2 (in 1000 t/a) für 2030 77

Tabelle 33: Massenflüsse nach Szenario 3 (in 1000 t) 78

Tabelle 34: Baustoffbedarfe nach Szenario 3 (in 1000 t) für 2050 78

Tabelle 35: Asphaltbedarfe nach Szenario 3 (in 1000 t/a) für 2050, aufgeteilt nach Regionen 82

Tabelle 36: Bedarfe an Schichten ohne Bindemittel nach Szenario 3 (in 1000 t) für 2050, aufgeteilt nach Regionen 84

Tabelle 37: Massenflüsse nach Szenario 4 (in 1000 t) 88

Tabelle 38: Baustoffbedarfe nach Szenario 4 (in 1000 t) für 2030 88

Tabelle 39: Massenflüsse nach den Szenarien (in Mio. t/a) 90

Abkürzungsverzeichnis

ATKIS BasisDLM	Digitales Basis-Landschaftsmodell
BAB	Bundesautobahn
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BS	Bundesstraße
DESTATIS	Statistisches Bundesamt
GIS	Geoinformationssystem
GS	Gemeindestraße
KS	Kreisstraße
LS	Landesstraße
Pantha Rhei Regio	Modellgestützter Dialog zur Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung und Folgenabschätzung fiskalischer Maßnahmen auf nationaler und regionaler Ebene, Fordschungsprojekt
RStO	Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
sib	Straßeninformationsbanken der Länder
TL BuB-E	Technische Lieferbedingungen für Böden und Baustoffe im Erdbau des Straßenbaus
TL SoB StB	Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau,

Zusammenfassung

Der demographische Übergang, in dem sich unsere Gesellschaft befindet und die Verlagerung der Bautätigkeit in die Ballungsräume haben auch für den Straßen- und Wegebau Folgen. Es müssen weniger neue Baugebiete erschlossen werden, der Neubau von Straßen „auf der grünen Wiese“ ist immer weniger notwendig. Die zunehmende Bedeutung der Bestandserhaltung wird das spezifische Aufkommen an mineralischen Bauabfällen aus diesem Sektor weiter ansteigen lassen, bei gleichzeitig weiter abnehmendem Baustoffbedarf.

Gemäß der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie „Perspektiven für Deutschland“ und dem Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) soll die Rohstoffproduktivität bis zum Jahr 2020 verglichen mit 1994 verdoppelt werden, indem unter anderem auch die in großen Mengen anfallenden Bau- und Abbruchabfälle möglichst hochwertig verwertet werden. Hierzu sind die Massenabfälle als wertvolle sekundäre Rohstoffe zu begreifen, die gemäß ihrer unterschiedlichen wertgebenden Eigenschaften zu RC-Baustoffen verarbeitet und in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden. Ein wesentlicher Absatz erfolgt bislang über den Straßen- und Wegebau. Im Rahmen des Forschungsprojektes galt es, für diesen Sektor zum einen das zukünftige Abfallaufkommen sowie die Nachfrage nach Baustoffen zu prognostizieren. Zum anderen galt es abzuschätzen, in welchen Anteilen sich diese Altmassen in das Straßen- und Wegenetz rückführen und sich damit die Baustoffbedarfe abdecken lassen.

Bis dato liegen kaum verlässliche Informationen über das anthropogene Lager vor, d.h. welche Materialien in welchen Mengen derzeit im Straßennetz verbaut sind. Kern des Forschungsprojektes war daher eine umfassende und genaue Erhebung des Straßennetzes und des darin vorhandenen Materiallagers und zwar für die Straßen wie auch die Straßenbauwerke. Die Bestandserhebung erfolgte differenziert nach Kreisen und kreisfreien Städten, so dass eine regionale Auswertung und Analyse der in Zukunft zu erwartenden Stoffströme möglich wurde. Mineralische Massenbaustoffe haben einen regionalen Markt, mineralische Bauabfälle werden nicht über große Transportentfernungen entsorgt. Sollen sich Substitutionspotenziale durch RC-Baustoffe abschätzen lassen, ist daher eine regionale Auswertung unabdingbar.

Erhebung des Materiallagers in Straßen und Wegen

In einem ersten Schritt erfolgte mit Hilfe der Auswertung der Datensätze von ATKIS-BasisDLM (Datenlieferung 03/2014) eine Erhebung der Längen und Flächen, differenziert nach Widmung bzw. Baulastträger (Bund, Länder, Kreise und Kommunen), Objektart (Straßen, Brücken, Tunnel) sowie Fahrbahnbreite mit der Anzahl der Fahrbahnstreifen und einer möglichen Fahrbahntrennung. Hierfür wurden die einzelnen Länderdatenbestände mit ArcGis bearbeitet und die Attribute der Straßen- und Fahrbahnachsen zusammengeführt sowie die Straßenabschnitte über ein Verschneiden mit den Verwaltungsgrenzen (Kreisebene) räumlich zugeordnet.

Mit diesem Vorgehen ließ sich die **Länge** der Bundesautobahnen erstmalig inklusive der Fahrbahnäste, Ein- und Ausfahrten und Kreuzungsbereiche erfassen. In Summe ergibt dies einen Wert von 18,4 Mio. Kilometer, während die Netzlänge mit getrennten Fahrbahnen, die normalerweise in den Statistiken benannt ist, bei 12,9 Mio. Kilometer liegt. Ein Abgleich auf Länderebene zeigt für die Stadtstaaten größere Abweichungen zu den Statistiken, was auf die unterschiedliche Zuordnung von Gemeindestraßen zurückzuführen ist. Die Auswertung auf Bundesebene zeigte die große Bedeutung des kommunalen Straßennetzes (450,8 Mio. Kilometer) und des Netzes an Wirtschaftswegen (311,5 Mio. Kilometer), das in Summe rund 75 % des gesamten Straßen- und Wegenetzes ergibt. Neben den genannten Bundesautobahnen besteht das Wegenetz aus 41,3 Mio. Kilometer Bundesstraßen, 87,3 Mio. Kilometer Landesstraßen und 91,9 Mio. Kilometer Kreisstraßen.

Die Ermittlung der **Massen** erfolgte nur **für den Straßenoberbau**, d.h. nicht für Bodenaustauschmassen, die zur Verbesserung der Tragfähigkeit des Untergrundes eingesetzt wurden, und nicht für Dammschüttungen oder andere Erdbaumaßnahmen im Straßen- und Wegebau. Im ersten Schritt wurden für die Massen im Straßenoberbau die Datensätze aus den sib-Banken der Länder ausgewertet. Es wurden die Massen differenziert nach den einzelnen Materialien erfasst, verknüpft mit Informationen zum Deckschichtenaufbau. Dies wurde zu Kennzahlen für die einzelnen Straßenkategorien verarbeitet und auf das gesamte Netz der klassifizierten Straßen übertragen (inklusive der Straßennebenflächen). Für das kommunale Straßennetz wurden in gleicher Weise die Datensätze ausgewertet, die hierfür von den >300 befragten großen Kommunen mit einer Rücklaufquote von 20 % zur Verfügung gestellt wurden. Für das kommunale Straßennetz ergab sich daraus ein Asphaltanteil von im Mittel 83 %, ein Betonanteil von 3 % sowie ein Pflasteranteil an der Fahrbahndecke von knapp 14 %, wobei in der erzeugten Datenbank die regionalen Unterschiede berücksichtigt wurden.

Ausgewertet wurde hier der Anteil der Bauklassen am Netz in Verbindung mit dem Deckschichtenaufbau. Gerade für dieses Netz mussten darüber hinaus weitere Kennzahlen zum vertikalen Aufbau des Baukörpers Straße erarbeitet werden. Dieser Aufbau ist von mehreren Randbedingungen abhängig. Die zentrale Randbedingung ist die erwartete Verkehrsbelastung vor allem aus dem Schwerlastverkehr. Für die verschiedenen Bauklassen (bzw. Belastungsklassen) schreibt die RStO (Richtlinie zur Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen) verschiedene Mindestdicken des frostsicheren Oberbaus vor. Es gibt zahlreiche zulässige Bauweisen. Für die Studie wurde die Dicke der gebundenen / ungebundenen Schicht im Mittel für SV 30cm/30cm, I und II 26cm/35cm, III und IV 16cm/40cm sowie V und VI 12cm/35cm angesetzt. Für Wirtschaftswege wird pauschal Bauklasse V oder VI unterstellt. Ist der Untergrund frostsicher, kann prinzipiell auf eine ungebundene Frostschutzschicht verzichtet und die Straße in vollgebundener Bauweise errichtet werden. Umfangreiche Befragungen der Straßenbauämter in den Bundesländern und Kreisen zeigten, dass diese Bauweise jedoch wegen der hohen Kosten sehr unüblich ist. Die Mächtigkeit der ungebundenen Schichten richtet sich zudem nach der zu erwartenden Frostintensität. Hierfür nennt die RStO Zuschläge, die in Abhängigkeit von Außerorts- und Innerortslage dem Netz zugerechnet wurden. Dazu wurde mit der GIS-Auswertung der zonalen Statistiken jedem Kreis eine mittlere Frostbelastung zugewiesen. Die RStO erlaubt mit dem Hocheinbau (bzw. Überbauung) auch eine besondere kostengünstige Erneuerungsbauweise für die Außerortslagen. Umfangreiche Befragungen der Verantwortlichen in Kreis- und Landesstraßenbauämtern zeigten, dass diese Bauweise seit den 90er Jahren eine große Verbreitung gefunden hat. Für die Berechnung des Baukörpers wird unterstellt, dass dies in allen alten Bundesländern (außer Bayern und Baden-Württemberg) in den Bauklassen III bis VI zu 25 %, in den neuen Bundesländern zu 100 % erfolgt ist.
Das kommunale Straßennetz ist oft sehr alt, sodass ein Regelaufbau nach RStO in der Praxis nicht immer gegeben ist. Die im Projekt abgeleitete Mächtigkeit der kommunalen Straßenkörper (v.a. für die ungebundenen Schichten) dürfte daher überschätzt sein, allerdings ohne große Auswirkungen auf die Massenflüsse.

Tabelle: Materiallager Straßenkörper (in Mio. t)

Straßenkategorie	Asphalt	Beton	Ungebundene Schichten	Pflaster
BAB	180	122	207	
B	166	7	170	0
L	197	9	256	1
K	168	15	311	14
G	846	75	1.571	73

Straßenkategorie	Asphalt	Beton	Ungebundene Schichten	Pflaster
W	57	82	269	22
Summe	1.614	310	2.784	110

Zur Ermittlung der Materiallager für **Bauwerke** (Brücken und Tunnel) wurden ebenfalls die ATKIS-BasisDLM Datensätze herangezogen. Die Informationen liegen hier als Linien- und Flächeninformationen vor, die über ArcGIS in Streckeninformationen, differenziert nach Straßenkategorien und nach Kreisgrenzen, umgewandelt werden konnten. Durch die Zuordnung zu Straßenkategorien konnten auch Breiten der Bauwerke benannt werden. Die so ermittelten Flächen stellten eine wesentlich bessere Information zur Berechnung der Bauwerksmassen dar als reine Längenangaben.

Die Ermittlung der Massen erfolgte über die Bauweisen der Bauwerke (die in den Datensätzen von ATKIS-BasisDLM ebenfalls enthalten sind) und Kennzahlen zum spezifischen Materialeinsatz pro Fläche. Für Tunnel wurden nur Betonbauweisen angenommen, bei Brücken überwiegt der Betoneinsatz deutlich. Die Kennzahlen wurden vor allem aus „Brücken und Tunnel der Bundesfernstraßen“ des BMVBS abgeleitet. Die Widerlager der Brücken sind in die Quantifizierung der Massen einbezogen, die meist aus Erdmassen bestehenden Rampen nicht.

Tabelle: Materiallager Brücken und Tunnel (in Mio. t)

	Brücken		Tunnel	
Straßenkategorie	Beton	Stahl	Beton	Stahl
BAB	45,8	9,9	15,4	1,6
B	21,6	4,7	13,8	1,4
L	12,6	3,3	4,3	0,4
K	7,6	1,9	1,9	0,2
G	19,5	4,9	10,1	1,0
Summe	107,1	24,7	45,5	4,6

Darüber hinaus wurden auch die Massen für die Lärmschutzwände erhoben, die im Vergleich zu den übrigen Bauwerken oder gar den eigentlichen Straßenkörpern jedoch keine Rolle spielen.

Von den Baukörpern zu den Stoffströmen – Potenzialabschätzung über Szenarien

Die Entwicklung des Straßennetzes bis zum Jahr 2030/2050 wird über den jährlichen Zubau, Ausbau und die Erhaltungsmaßnahmen in einem Stoffstrommodell beschrieben, das dem Umweltbundesamt als Auftraggeber zur Erstellung weiterer Berechnungen übergeben wurde. Der Umfang dieser Maßnahmen resultiert aus den Vorgaben der entsprechenden Planwerke und den technischen Notwendigkeiten und dies in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Finanzmittel. Die Potenzialabschätzung erfolgte über Szenarien, über die die wichtigsten Einflussfaktoren variiert wurden.

Über das Straßennetz werden Siedlungsflächen erschlossen. Das Netz erweitert sich demnach in Abhängigkeit dazu. Der Zuwachs des Straßennetzes wird aus dem typischen Anteil der Verkehrsflächen an diesen Siedlungsflächen abgeleitet. Dabei wird vernachlässigt, dass gerade bei der Konversion von alten Industrie- und Militärstandorten ein Verkehrswegenetz teilweise erst aufgebaut werden muss, ohne dass dies mit einer Erweiterung der Siedlungsflächen in den entsprechenden Statistiken verbunden ist. Diese Unterschätzung gleicht sich aber in etwa dadurch aus, dass zusätzlich für die

Straßen in der Baulast des Bundes die Planwerke zum Aus- und Neubau herangezogen wurden, die faktisch ebenfalls ein Teil des postulierten Zuwachses an Siedlungsflächen darstellen.

Durch die Verlagerung der Tätigkeit in die Bestandserhaltung bekommen die Annahmen zu den Erneuerungszyklen für die gebundenen und ungebundenen Schichten im Straßenkörper ein größeres Gewicht. Für die ungebundenen Schichten wurde für das Szenario Referenz einheitlich ein Zyklus von 100 Jahren angesetzt. Wie die Befragung der Kommunen ergab, führen die knappen Finanzmittel dort dazu, dass dies außer für die eigentlichen Asphaltdeckschichten auch für die anderen Schichten zutrifft und zwar unabhängig von den eigentlichen technischen Notwendigkeiten. In Abhängigkeit der Bauklasse wurden hierfür 33 Jahre bzw. 50 Jahre angesetzt. Für die anderen Baulastträger wurden 10/20/50 Jahre für Deck-, Binder- und Tragschichten aus Asphalt angenommen. Bei den übrigen Baulastträgern liegen die Annahmen für das Szenario Referenz bei 15/30/60 Jahren, für Kreise und Kommunen für die Bauklassen III bis VI nochmals variiert.

Tabelle: Übersicht über die wesentlichen Randbedingungen für die einzelnen Szenarien

	Referenz	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Siedlungsflächen-entwicklung	30 ha/Tag	50 ha/Tag	50 ha/Tag	0 ha/Tag (nach 2030)	15ha/Tag
Planzahlen Bundesstraßen	Mittlere	Obere	Obere	Kein Zuwachs	50 % von Referenz
Rückführung Asphalt	75 %	100 %	75 %	75 %	75 %
Beton / Pflaster	100 %	100 %	75 %	100 %	100 %
Ungeb. Schichten	75 %	75 %	25 %	75 %	75 %
Erneuerungs-zyklen	Siehe Text	Wie Referenz	Kommunen Decken 20a Grundhaft 50a Außerorts Hocheinbau 50 % Brücken / Tunnel 50 %	Wie Referenz	Wie Sz. 2

Für die Frage, inwieweit die aus den Erneuerungen postulierten Altmassen als Rohstoff für RC-Baustoffe zur Verfügung stehen können, die sich wieder im Straßenbau einsetzen lassen, wurden folgende Überlegungen angestellt.
Alte Pflaster- oder Betondecken lassen sich zu 100 % in den Materialkreislauf zurückführen. Sie stellen hochwertige Ausgangsmaterialien bspw. für die ungebundenen Mischungen, d.h. für die Frostschutz- und Schottertragschichten dar.
Nicht alle schwarzen Decken bestehen aus Asphalt, sondern auch aus pechhaltigem Material. Gerade bei sehr alten Asphaltschichten, den im kommunalen Netz oft anzutreffenden aus vielen kleinen Baumaßnahmen resultierenden „Flickenteppichen“ und manchen Asphaltprodukten ist eine Rückführung von Granulat in Heißasphaltmischwerke nur sehr schwer möglich. Entstammt das Material aus dem Leitungsbau („Kopflöchern“) handelt es sich zudem oft um Schollen mit Verunreinigungen durch andere Materialien. Aus diesen Überlegungen heraus wurde im Referenzszenario eine Rückführungsrate von 75 % angesetzt. Sind die Asphaltmischwerke entsprechend technisch ausgerüstet und das Altmaterial aus schichtenweisem Fräsen gewonnen, zeigen die Beispiele aus Hamburg und Baden-Württemberg (Maximalrecycling), dass der Altanteil im Produkt sehr hoch liegen kann und das den Einsatz von entsprechendem Primärmaterial substituiert.

Ist der Ausbau der ungebundenen Schichten notwendig, erfolgt dies in der Regel wegen der fehlenden Frostschutzeignung, die aus einem zu hohen Feinkornanteil resultiert, als Ergebnis aus der mechanischen Belastung durch den Straßenverkehr (Schwerlastverkehr) und der jahrzehntelangen Frostdurchgänge. Rechnerisch ist das Altmaterial nach dem Absieben des Feinkornüberschusses und Einstellen einer neuen Kornabstufung wieder zum Einsatz in den ungebundenen Schichten einer Straße geeignet. Um diesen Massenaustrag zu berücksichtigen, wird eine Rückführungsrate von 75 % unterstellt.
Für Bauwerke wird eine Lebensdauer von 80 (Brücken) bis 100 Jahre (Tunnel) angenommen.

Gerade außerorts und für weniger stark belastete Straßen (d.h. Landes- und Kreisstraßen) wird ein Hocheinbau unterstellt. Die damit verbundenen Massen werden der RStO 12 (Erneuerung auf vorhandener Befestigung) entnommen, differenziert nach Deckschichtenmaterial und Bauklasse der Straße.

Von den Baukörpern zu den Stoffströmen – Ergebnisse der Berechnung

Die Auswertung erfolgt regional differenziert, da sowohl die Entsorgung der mineralischen Bauabfälle als auch die Versorgung mit Baustoffen regional begrenzt erfolgt. Dazu wird die Arbeitsebene der Kreise verlassen und diese zu Regionen zusammengefasst. Die Festlegung der Regionen innerhalb der Bundesländer erfolgte anhand vorhandener Verwaltungsstrukturen oder Planungsregionen.

Für das Referenzszenario wird von einer Nachfrage nach **Asphalt** von zukünftig knapp 46 Mio. Tonnen ausgegangen, was in etwa dem vom Asphaltverband für das Jahr 2013 berichteten Wert von 40 Mio. Tonnen entspricht. Der Bedarf ergibt sich mit etwa 37,5 Mio. Tonnen vor allem aus dem Erneuerungsaufwand. Das in gleicher Höhe abgeschätzte Altasphaltaufkommen liegt deutlich über den Zahlen, die der Kreislaufwirtschaftsträger Bau als Altasphaltmenge berichtet(im langjährigen Mittel 16,5 Mio. Tonnen). Dies lässt sich dadurch erklären, dass viel Asphaltaufkommen auch aus Kleinbaustellen entstammt und als Gemisch anders deklariert in Bauschuttrecyclinganlagen gelangt. Hier ist es durchaus üblich, einen Altasphaltanteil in den ungebundenen Schichten für den Straßenbau von bis zu 10 % zu verwenden (zugelassen sind 30 %). Darüber hinaus werden einige Mengen auch in situ recycelt, die möglicherweise nicht in der Form in diesen Statistiken enthalten sind.
Das für eine Rückführung in die Heißasphaltmischwerke verfügbare Altmaterial führt rechnerisch zu einer Bedarfsdeckung von 61 %. Dieser Altgranulatanteil im Produkt lässt sich nur über eine technische Umrüstung der Heißasphaltmischwerke realisieren. Die errechneten Rückführungsraten unterscheiden sich von Region zu Region deutlich. Sie liegen im Regierungsbezirk Düsseldorf, im Saarland und im Norden Bayerns mit >65 % am höchsten, jeweils im Norden Brandenburgs, Niedersachsens und Sachsen-Anhalts mit <55 % am niedrigsten. Die höchste Asphaltnachfrage in absoluten Werten zeigt sich in Oberbayern und in der Region Oldenburg mit jeweils >2 Mio. Tonnen pro Jahr.

Tabelle: Massenflüsse nach Szenario „Referenz“ (in 1000 t/a)

	Baustoffbedarfe		Abfallmengen		Verfügbares Recyclingmaterial	
	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke
Asphalt	45.977		37.470		28.102	
Pflaster	1.157		839		839	
Beton	9.513	2.253	8.754	1.548		
FSS / STS	40.163		29.758		31.073	1.548
Stahl	0	1.024		689	0	689

Betrachtet man die anderen Szenarien ergeben sich Rückführungsraten von im Bundesschnitt bis zu 76 % (Szenario 1) und Asphaltbedarfe bis zu 55,8 Mio. Tonnen (Szenario 2).

Für das Referenzszenario wird von einem Materialbedarf für die **ungebundenen Schichten** (Frostschutz- und Schottertragschicht) von knapp 40,2 Mio. Tonnen jährlich ausgegangen. Der Bedarf ergibt sich mit knapp 29,8 Mio. Tonnen vor allem aus dem Erneuerungsaufwand. Für Neubaumaßnahmenwerden knapp 9,3 Mio. Tonnen abgeschätzt. Die höchsten Bedarfe ergeben sich mit 54,4 Mio. Tonnen aus dem Szenario 2. Berücksichtigt man die möglichen Rückführungsraten für die Altmassen aus den ungebundenen Schichten und bezieht die Altbetone aus den Straßen und Ingenieurbauwerken mit ein, lassen sich rechnerisch knapp >80 % der Bedarfe aus Altmassen decken. Die Rate liegt dann bei 100 %, wenn auch die nicht in die Heißasphaltmischwerke rückführten Altasphalte einbezogen werden. Die Rückführungsraten liegen für Szenario 4 auch dann bei >90 % und für Szenario 3 bei deutlich >100 %, wenn man diese Altasphaltmengen nicht berücksichtigt.
Die regionale Verteilung des Materialbedarfes für ungebundene Schichten ähnelt sehr der Verteilung des Asphaltbedarfes. Der höchste Bedarf besteht in Oberbayern und in der Region Oldenburg, die geringsten Bedarfe liegen in Bremen und Nordthüringen. Stellt man das Altmassenaufkommen dem Bedarf gegenüber, lassen sich in einigen Regionen rechnerisch Bedarfsdeckungen von >100 % aufzeigen. Dies gilt insbesondere für den Süden von Sachsen-Anhalt sowie Hamburg mit Raten bis zu 130 %.

Als **Schlussfolgerung** über alle Massenströme lässt sich festhalten, dass sich nach den vorliegenden Abschätzungen in Zukunft hohe Anteile des in Straßenbaumaßnahmen benötigten Baustoffbedarfes rechnerisch über Altmaterialien abdecken lässt. Dies gilt über alle diskutierten Materialien hinweg. In die Bilanzierung nicht einbezogen sind die Erdbaumaßnahmen im Straßenbau, die ebenfalls hohe Bedarfe bspw. für Dammschüttungen aufweisen können. Die postulierten Massenüberschüsse sind deshalb nicht als Bedarfe für Ablagerungskapazitäten auf Deponien zu verstehen.

Trotzdem wird aus diesen Massenbilanzen deutlich, dass das Verhältnis Angebot zu Nachfrage enger wird, was als Fingerzeig gesehen werden sollte, dass sich die Rückführung der Altmassen in den Wirtschaftskreislauf zukünftig nicht einfacher gestalten wird. Es bedarf einer Qualifizierung des Materialrecyclings und dies sowohl in der Aufbereitungsphilosophie (Stoffstrommanagement) als auch in der Aufbereitungstechnik (verlässliche Abtrennung von belasteten und störenden Materialien) sowie in der Güteüberwachung (Herstellung grundsätzlich nach TL SoB StB oder TL BuB-E StB).

Laut Statistik werden heutzutage RC-Baustoffe vor allem im Straßen- und Wegebau eingesetzt. Diese RC-Baustoffe werden gerade auch aus der Abfallfraktion Bauschutt hergestellt, die nicht unwesentlich aus Hochbauschutt, d.h. Material aus der Sanierung und dem Rückbau von Gebäuden, besteht. Für diese zusätzlichen Massenflüsse werden nach diesen im Projekt aufgezeigten Mengengerüsten deutlich weniger Absatzmöglichkeiten im Straßen- und Wegebau bestehen. Ihre Aufbereitung zu Baustoffen für den Hochbau (R-Beton) wird in Zukunft wichtiger werden.

Summary

The ramifications of both the demographic transition our society is experiencing and the shift of construction activity towards metropolitan areas are far-reaching, not least for the road construction sector. The establishment of new building sites is less and less common, and the new construction of roads “in the middle of nowhere” is rarely necessary nowadays. On the other hand, the maintenance of the existing stock is increasingly important. In consequence, the increase of specific mineral construction waste from this sector is expected to continue, with simultaneously decreasing overall demand for construction materials.

The national sustainability strategy “Perspectives for Germany” and the resource efficiency programme (ProgRess) aim to double the raw materials productivity in 2020 in reference to 1994 through a number of measures including the high-quality utilisation of the large volumes of construction and demolition waste. For this purpose, construction waste has to be recognised as a valuable secondary raw material that may be processed into recycled (RC) construction materials according to their valuable characteristics and returned to the circular economy. To date, a major outlet for RC materials is road construction. The present study explored both future waste volumes and expected demand for construction materials. Furthermore, the potential for reuse of recycled road construction materials was estimated to project how future construction material demands may be met.

At present, reliable information on existing anthropogenic material stocks, i.e. which quantities of which materials are currently in use in the road network, is scarce. Thus, the principal focus of the present study was a detailed and accurate analysis of the current road network and the associated material stock, including roads and civil engineering structures such as bridges and tunnels. The stock inventory was carried out at the municipal level including independent cities and urban districts. The results allow a regional analysis including projections of expected future material flows. The market for mineral construction materials is regional due to the fact that long-distance transport of mineral waste is uncommon. In consequence, regional analyses are crucial to estimate the potential for substitution with RC construction materials.

Survey of the material stock in roads and thoroughfares

The initial step included the analysis of data from the ATKIS-BasisDLM (data access 03/2014) and resulted in a survey of lengths and areas differentiated by primary use and authority in charge of operation (federal government, federal states, regional districts and municipalities), object type (road, bridge, tunnel) as well as carriageway width including number of lanes and potential for lane division. For this purpose, the individual federal state databases were analysed with ArcGIS to merge information on road and lane specifics. Moreover, the spatial arrangement of boundaries of municipalities and administrations was included.

These procedures allowed the first calculation of the **physical length** of all federal autobahn routes including slip roads, autobahn exits and intersections. In total, a distance of 18.4 million km was documented. In contrast, the official statistical record of the road network reports 12.9 million km due to the fact that only dual carriageways with divided lanes are included. A comparison among the federal states exposed the most pronounced departure from official statistics for the federal city states. Here, the error arises from inconsistent classification of municipal roads. The national analysis revealed the considerable importance of both the municipal road network (450.8 million km) and the rural service road network (311.5 million km). In sum, these networks cover approx. 75% of the entire road and thoroughfare network. In addition to the federal autobahn routes above, the network included 41.3 million km of A roads (*Bundesstraße*), 87.3 million km of B roads (*Landesstraße*) and 91.9 million km of district roads.

The **mass** analysis exclusively focused on **road surface construction**, i.e. fillers applied for the improvement of lower layers and earthworks such as dams etc. were excluded. Initially, mass flows in road surface construction were analysed based on information from the sib data bases of the federal states. Mass flows for individual materials were recorded in correlation with information on road construction layers. An index system with classification numbers for individual road categories was developed and applied to the entire network of classified roads (including adjacent areas). Data for the municipal network were obtained from >300 large municipalities (with a return rate of 20%) and analysed in a similar procedure. The results demonstrated the municipal road network to include an average share of 83% asphalt, 3% concrete and almost 14% paving. The resulting data set factored in regional differences of road surface construction.

The analysis focused on the share of construction classes in the network in correlation with the layers applied in road surface construction. Additional classification numbers for the vertical structure of road construction had to be introduced for this network in particular. The structure is governed by several constraints, most essentially by the expected traffic load, particularly from heavy-duty vehicle traffic. The Regulation for the standardisation of road surface construction (Richtlinie zur Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, RStO) stipulates different minimum layer dimensions for the frost-proof surface layers in different construction classes (i.e. traffic load classes). A number of different approved construction methods exist. For the present study, the bound / unbound layers of the different road classes were assumed to be of an average thickness of SV 30cm/30cm, I and II 26cm/35cm, III and IV 16cm/40cm as well as V and VI 12cm/35cm. Rural service roads were all classified as construction class V or VI. As long as the substrate is frost-proof, an unbound frost layer may be dispensed with in favour of the construction of a fully bound road. However, a comprehensive survey with road construction authorities across Germany revealed this construction method to be uncommon due to the high costs associated with it. Moreover, the magnitude of the unbound frost layer is determined by the expected frost levels. For this purpose, the RStO specifies supplements that were added to the network depending on location (inner settlement versus out of town). For this purpose, each district was assigned an average frost exposure class with GIS analysis of district statistics. The RStO permits a particularly cost-efficient way of road surface renewal in the form of in-situ modifications/ repairs of the existing road surface outside settlements. Detailed surveys of responsible authorities in federal and municipal road construction agencies revealed that this construction method is increasingly popular and widespread since the 1990ies. For modelling purposes, the rate of in-situ renewal in the old federal states (excluding Bavaria and Baden-Württemberg) in the construction classes III to VI is assumed to be 25%, whereas the new federal states make 100% use of the method.

The municipal road network is often rather old and the RStO is not always complied with in practice. In consequence, the inferred mass flows in the municipal road network are probably underestimated (particularly for unbound layers). However, in all likelihood the differences are negligible.

Table: Material stock road network (in million t)

Road category	Asphalt	Concrete	Unbound layers	Paving
BAB	180	122	207	
B	166	7	170	0
L	197	9	256	1
K	168	15	311	14
G	846	75	1.571	73
W	57	82	269	22
Total	1614	310	2784	110

The analysis of material stocks for **civil engineering structures** (bridges and tunnels) was likewise carried out with ATKIS-BasisDLM data sets. Information is available in the form of line and area data that were converted into route information in ArcGIS. The data include information on separate road categories in context with existing district boundaries. The dimensions of the civil engineering structures could be inferred from the classification into different road categories. For the calculation of road structure mass, area data thus computed are superior to simple specifications of length.

The mass calculation was carried out considering the respective construction method (information may be found in ATKIS-BasisDLM) in combination with an index of classification numbers on the specific material use. Concrete was assumed to be the exclusive building material for tunnels, a great

majority of bridges are likewise built from concrete. The classification is derived from the information on bridges and tunnels of federal highways of the German Ministry for Transport. The abutments of bridges are included in the mass balance, whereas earthwork ramps are ignored.

Table: Material stock bridges and tunnels (in million t)

	Bridges		Tunnels	
Road category	Concrete	Steel	Concrete	Steel
BAB	45.8	9.9	15.4	1.6
B	21.6	4.7	13.8	1.4
L	12.6	3.3	4.3	0.4
K	7.6	1.9	1.9	0.2
G	19.5	4.9	10.1	1.0
Total	107.1	24.7	45.5	4.6

In addition, masses of noise barriers were calculated. However, compared with the other civil engineering structures or the actual road network, noise barriers may be considered negligible.

From road construction to material flows – estimating potentials with scenarios

The development trajectory of the road network up to the year 2030/2050 was modelled including factors such as annual new construction, extension, upgrading and maintenance in a material flow model that was delivered to the Federal Environmental Agency for future use. The extent of future measures depends on aims and goals of authorities and technical requirements as well as the availability of sufficient funding. The potentials are estimated with the help of scenarios that illustrate the variation in the influence of important factors.

The road network is instrumental in the development of new settlement areas. In consequence, the network grows in correlation with housing development. The increase of the road network is derived from the average share of traffic areas in settlements. In this context, the requirements for traffic infrastructure are often underestimated or ignored, e.g. in the case of conversion of former industrial or military sites that do not feature as settlement extension in the relevant statistics. However, this underestimate is balanced by the fact that road construction under the authority of the federal government is based on documentation for road extension and new construction that actually includes part of the expected growth of settlement areas already.

Due to the shift of activities into road maintenance, the assumptions on renewal cycles for bound and unbound layers in road construction are of greater consequence. The reference scenario for unbound layers assumed a uniform cycle of 100 years. Consultation with municipalities revealed that due to lack of funds, this assumption may be extended to all other layers except the asphalt surface layer, independent of technical requirements. Depending on the construction class, 33 or rather 50 years were assumed here. For asphalt layers for sealing, binding and base course purposes, cycles of 10/20/50 years were assumed, respectively. For all other materials, the assumptions of the reference scenario were 15/30/60 years, adapted for the construction classes III to VI for districts and municipalities.

Table: Overview of essential constraints for the individual scenarios

	Reference	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Settlement area trajectory	30 ha/d	50 ha/d	50 ha/d	0 ha/d (after 2030)	15ha/d
Trajectory federal roads	medium	upper	upper	No increase	50% of reference
Reuse Asphalt	75%	100%	75%	75%	75%
Concrete / Paving	100%	100%	75%	100%	100%
Unbound layers	75%	75%	25%	75%	75%
Renewal cycle	See above	See reference	Municipalities Surface 20a Complete 50a Outside settlements In situ renewal 50% Bridge/ tunnel 50%	See reference	See scenario 2

In theory, the arising used construction materials may be utilised as secondary raw materials for the supply of RC construction materials. However, the following factors should be taken into consideration.
100% of used paving or concrete surfaces may be reintroduced into the material cycle. They represent high-quality materials, for instance for application in unbound layers, i.e. frost-proof and gravel layers.
Not all black surfaces consist of pure asphalt, they may contain tarry components. This is often encountered in very old asphalt layers, the patchwork structures of many small repairs frequently observed in the municipal network. In consequence, the reuse of aggregate in hot asphalt mixing facilities is sometimes all but impossible. Moreover, in the case that the material originates from pipeline construction, it is often contaminated with other materials. To take this into account, a recycling rate of 75% was assumed in the reference scenario. In the case that the asphalt mixing facilities are equipped with appropriate technology and the used material is milled in layers, examples from Hamburg and Baden-Württemberg show that maximum recycling is feasible and that the recycled content in the product may be very high. Thus, primary material may be substituted.

The excavation of unbound layers may be necessary if the layer is no longer frost-proof. Loss of frost tolerance is usually a result of a high proportion of fine-grain aggregate which accumulates after years of mechanical wear due to heavy-duty traffic and decades of freeze-thaw cycles. In theory, the excavated material may be reused after sifting and correction of the aggregate composition. To factor in material losses, a recycling rate of 75% is assumed.
The lifespan of civil engineering structures is assumed to be 80 years (bridges) and 100 years (tunnels).

In general, in situ surface renewal is assumed outside of settlements and on roads with low overall traffic (e.g. B roads and district roads). Associated masses are derived from RStO 12 (Renewal of existing structures), with special reference to different surface layer materials and road construction classes.

From road construction to material flows – calculation results

The analysis was carried out at the regional level due to the fact that both mineral waste disposal and supply of construction materials are organised regionally. For this purpose, the analysis level of districts and municipalities is abandoned in favour of regions. The regional boundaries were defined according to existing administration and planning structures.

The reference scenario assumes a future demand for **asphalt** of approx. 46 million t which roughly corresponds to the figure of 40 million t reported by the Asphalt Association for 2013. With 37.5 million t, the demand primarily arises from renewal efforts. The corresponding estimates for the asphalt volume distinctly exceeds the asphalt figures reported by the construction stakeholders in the circular economy (long-term average of 16.5 million t). The difference arises from the fact that a substantial part of used asphalt occurs in small-scale construction projects. When such waste materials enter the recycling facility, they are usually not declared as asphalt. It is not uncommon to apply up to 10% of used asphalt in unbound layers of road construction (30% is the limit). Moreover, certain volumes are recycled in situ and may not feature formally in these particular statistics. In theory, the used material available for reuse in hot asphalt mixing facilities covers 61% of existing demand. However, such a share of used aggregate in the product may only be realized with a technical conversion of hot asphalt mixing facilities. Return rates vary considerable between regions. They are highest in the administrative district Düsseldorf, in the Saarland and in North Bavaria exceeding 65%, whereas North Brandenburg, Lower Saxony and Saxony-Anhalt achieve the lowest rate with <55%. Upper Bavaria and the Oldenburg region showed the greatest absolute demand for asphalt exceeding 2 million t per annum, respectively.

Table: Mass flows in the reference scenario (in 1000 t/a)

	Construction material demand		Waste volume		Available recycled material	
	Road	Civil engineering structures	Road	Civil engineering structures	Road	Civil engineering structures
Asphalt	45,977		37,470		28,102	
Paving	1157		839		839	
Concrete	9513	2253	8754	1548		
Frost-proof layer / gravel base layer	40,163		29,758		31,073	1548
Steel	0	1024		689	0	689

Consideration of additional scenarios suggests average national return rates of up to 76% (scenario 1) and asphalt demands of up to 55.8 million t (scenario 2).

The reference scenario assumes annual material requirements of approx. 40.2 million t for **unbound layers** (frost-proof and gravel base layers). The total demand results from about 29.8 million t required for renewal efforts. New construction requires an additional 9.3 million t. The greatest demand of 54.4 million t arises under scenario 2. In the case that potential return rates for used masses from unbound layers are considered and used concrete from roads and civil engineering structures is factored in, it may be possible to supply >80% of demand from used materials. 100% of the demand may be met if used asphalt that currently cannot be processed in hot asphalt mixing facilities is added to the model. However, the return rates in scenario 4 exceed 90% and in scenario 3 surpass 100% if these used asphalt volumes are not taken into account.

The regional distribution of material demand for unbound layers is very similar to the distribution of asphalt demand. Again, Upper Bavaria and the Oldenburg region show the greatest demand, whereas Bremen and North Thuringia require the least material. A comparison of arising used materials and demand reveals that supply is likely to exceed demand in a number of regions. This is particularly relevant in Saxony-Anhalt and Hamburg with supply-demand rates of 130%.

In **conclusion** across all mass flows, based on present estimates, high percentages of construction material demand of future road construction may be met with recycled materials. This conclusion is valid for all materials included in the present study. Earthworks in road construction were excluded, yet the demand for dam construction etc. may be considerable. Thus, the surplus volumes anticipated in this study should not be seen as materials in need of deposition in landfills.

Nevertheless, the mass balances reveal a tightening of the ratio between supply and demand. This should be a signal that return of recycled materials for economic purposes is unlikely to be simplified in the future. Quality material recycling is paramount, an attitude to be represented in recycling philosophy (material flow management), recycling technology (reliable separation of contaminated or interfering materials) and quality control (production strictly according to TL SoB StB or TL BuB-E StB).

According to recent statistics, RC construction materials are primarily used in road construction. Incidentally, these RC construction materials are produced from the particular construction waste fraction arising from building construction debris, i.e. materials from the renovation and demolition of buildings. Outlets for these additional mass flows in the road construction sector will be substantially reduced after consideration of the quantity structures revealed in the present study. The processing of these materials into recycled construction materials for building construction will be increasingly relevant in the future.

1 Aufgabenstellung

Hintergrund

Der Baubereich ist sehr materialintensiv, mineralische Bauabfälle stellen mit Abstand die größte Abfallfraktion dar. In Deutschland werden jährlich mit schätzungsweise 40 Mio. Tonnen über die Hälfte aller mineralischen Abbruchabfälle im Straßen- und Wegebau verwertet, legt man die Aussagen des Kreislaufwirtschaftsträger Bau [2015] in seinem Monitoring-Bericht für 2012 zugrunde. Primärrohstoffe werden jährlich nachweislich in einer Menge von 130 Mio. Tonnen im Straßenbau eingesetzt. Dies ist ein bedeutender Anteil der jährlich 520 Mio. Tonnen, die in der Technosphäre eingesetzt werden.

Im Zusammenhang mit dem demographischen Übergang, in dem sich unsere Gesellschaft befindet, ist die Verlagerung der Bautätigkeit auf Ballungsräume (Metropolregionen) und hier gerade auch in die Innenstadtlage zu beobachten, bei insgesamt eher weiter rückläufiger Baustoffnachfrage. Die Bautätigkeit ist daher immer mit einem Bauschuttaufkommen verbunden, da vorher eine Entkernung oder gar der Rückbau der alten Gebäude erfolgen muss. Zusätzlich müssen die Bauwerke, die in den Nachkriegsjahren aufgebaut wurden, zunehmend grundlegend saniert werden, so dass entsprechend in steigendem Maße mineralische Bauabfälle zur Entsorgung anfallen werden.

Diese gesellschaftliche Situation und die Verlagerung der Bautätigkeit in die Ballungsräume haben auch für den Straßen- und Wegebau Folgen. Es müssen weniger neue Baugebiete erschlossen werden, die Neuanlage von Straßen „auf der grünen Wiese“ ist immer weniger notwendig. Die Ertüchtigung der Straßen erfolgt innerorts durch einen Vollausbau, so dass genauso viel Altmaterial anfällt wie neues Material benötigt wird. Die Nachholeffekte durch die deutsche Wiedervereinigung und die europäische Integration werden abklingen. Somit wird das zukünftig erhöhte Aufkommen an mineralischen Bauabfällen nur noch in geringerem Umfang als bisher im Straßen- und Wegebau eingesetzt werden können. Das Verhältnis Aufkommen an Altmaterialien zur Baustoffnachfrage verschiebt sich.

Ziele der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie „Perspektiven für Deutschland“ und des Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess) sind, die Rohstoffproduktivität bis zum Jahr 2020 verglichen mit 1994 zu verdoppeln, indem auch die in großen Mengen anfallenden Bau- und Abbruchabfälle möglichst hochwertig verwertet werden. Um dem Rechnung zu tragen, müssen die unterschiedlichen Abfallmassen als sekundäre Rohstoffe verstanden werden, die gemäß ihrer jeweiligen wertgebenden Eigenschaften in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden. Dies bedeutet, dass bodenähnliche Materialien in Erdbaumaßnahmen Verwendung finden, während Gesteinsmassen zu Baustoffen verarbeitet werden. Da diese heute aber noch häufig ebenfalls in Erdbaumaßnahmen eingesetzt werden, stehen für die großen Massen der bodenähnlichen Abfallmassen keine ausreichenden Verwertungskapazitäten zur Verfügung. Das novellierte Kreislaufwirtschaftsgesetz fordert analog der europäischen Abfallrahmenrichtlinie eine Verwertungsquote von 70 %. Die Fraktion Boden & Steine, d.h. ungebundene Schichten aus dem Straßenbau wie Frostschutz- und Schottertragschichten, aber auch Böden mit geringem wertgebendem Potenzial bilden den Großteil des Massenaufkommens der mineralischen Bauabfälle. Um diese Materialien im Straßenbau verwerten zu können, müssen die anderen Fraktionen aus dem Bauschutt, wie Altbeton und altes Ziegelmauerwerk, und Straßenaufbruch mit Altbitumen und Altbetonen an entsprechenden Stellen möglichst hochwertig außerhalb der ungebundenen Schichten des Straßenbaus in den Kreislauf rückgeführt werden.

Methodik

Um das Abfallaufkommen und Substitutionspotenzial im Straßenbau quantifizieren zu können, wird in einem ersten Projektschritt aufbauend auf und ergänzend zu vorangegangenen Studien [Mott-

schall & Bergmann 2013] [Steger et al. 2011]ermittelt, welche Materialien in welchen Mengen im derzeitigen Straßennetz verbaut sind. Dies geschieht über eine Benennung der Längen, Breiten und Straßentypen der Straßen, woraus Angaben zu Materialzusammensetzung und Schichtvolumina abgeleitet werden können. Ebenso werden die Materialien, die in Bauwerken wie Brücken und Tunneln enthalten sind, bestimmt.

Die Methodik, um eine belastbare und umfassende Status Quo-Aufnahme durchführen zu können, musste während des Projektes erst erarbeitet werden. Letztendlich erfolgte diese nach folgendem Konzept:

Im ersten Schritt wurden die **Längen und Flächen** erhoben. Die zentrale Datengrundlage hierfür war ATKIS-BasisDLM, das über das Umweltbundesamt vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie zur Verfügung gestellt wurde. Die Datensätze werden in den Bundesländern durch die Landesvermessungsämter erarbeitet und regelmäßig durch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) auf Bundesebene zusammengeführt. Neben einigen Vorablieferungen wurde letztendlich die Datenlieferung von 03/2014 ausgewertet. Nach der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg [www.geobasis-bb.de] und der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen [www.adv-online.de] ist „Das Digitale Basis-Landschaftsmodell (ATKIS-BasisDLM) ein digitaler, objektstrukturierter Vektordatenbestand. Er bestimmt die topographischen Objekte der realen Welt nach Lage und Form, nach Namen und Eigenschaften. Des Weiteren sind objektbezogene Sachdaten so verknüpft, dass der Datenbestand in einer GIS-Anwendung genutzt werden kann (....)“.

Aus den vorliegenden ATKIS-BasisDLM Dokumentationen und vorhandenen kleineren Testdatensätzen wurde eine Auswertungsmethodik erarbeitet, die eine Berechnung der relevanten Daten ermöglichte. Dabei wurden die jeweils relevanten Objektattribute identifiziert, über deren Auswertung die Straßentypen und deren qualitative Ausprägungen identifiziert werden können. Die Straßen und sonstigen Linienobjekte sind nicht als nur ein Objekt pro Straße gespeichert, sondern als eine Vielzahl von Liniensegmenten. Die Auswertung (z.B. Längenberechnung) erfolgt demnach auf Basis der Liniensegmente mit gleicher Ausprägung (z.B. räumliche Lage, die über eine Flächen-/Linienverschneidung im GIS ermittelt wird).

Die Daten weisen länderspezifisch einen etwas unterschiedlichen Aktualitätsstand auf, waren jedoch mit Ausnahme von Mecklenburg-Vorpommern für das Straßennetz überwiegend jünger als ein Jahr. Die eigenen Berechnungen aus den ATKIS-BasisDLM Datensätzen wurden einem Plausibilitätscheck unterzogen, indem die Berechnungsergebnisse mit Bundes- und Landesstatistiken, mit online-Veröffentlichungen von Kreisen und Gemeinden und mit vorliegenden Rückmeldungen aus Straßeninformationsbanken der Länder und Rückmeldungen der Städte (s.o.) verglichen wurden. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass eine gute Übereinstimmung mit den publizierten und abgefragten Werten erreicht wurde. Bei der Auswertung und Verarbeitung der Datensätze waren länderspezifische Unterschiede in der Zuordnung der Attribute zu beachten. Zudem zeigte sich, dass in manchen Ländern nur ein Teil der Attribute gepflegt wurde und länderspezifischen Eigenheiten nicht in der Dokumentation nachgehalten wurden.

Aus den ATKIS-BasisDLM Daten lassen sich auch Informationen zur Art der Straße und Anzahl der Fahrstreifen entnehmen. Aus diesem Datensatz wurden auch Annahmen zur Straßenbreite entnommen. Die Datensätze aus ATKIS-BasisDLM lassen sich direkt und mit hoher Genauigkeit konkret verorten. Dies ermöglichte einen weiteren Abgleich und weitere Prüfungen der Datenlage. Der in Stichproben durchgeführte Abgleich der Datensätze mit der Situation vor Ort zeigte eine hohe Übereinstimmung bzw. Verlässlichkeit der ATKIS-BasisDLM Berechnungen. So wurden insbesondere auch die Datensätze zur Fahrbahnbreite geprüft.

Aus ATKIS-BasisDLM lassen sich nach demselben Prinzip auch die Längen und Breiten der Straßenbauwerke Tunnel und Brücke auslesen.

Fazit: ATKIS-BasisDLM stellt eine sehr verlässliche Datengrundlage zur Errechnung der Längen dar. Dies war die einzige Möglichkeit, das kommunale Straßennetz und die Wirtschaftswege abzubilden, da hierüber seit dem Jahre 1981 keine Statistiken bestehen. Die Auswerteergebnisse sind sehr belastbar.

Im zweiten Schritt erfolgte die **Ermittlung der Massen**. Für das übergeordnete Straßennetz konnte hierfür auf die Straßeninformationsbanken (sib) der Länder als zentrale Informationsquelle zurückgegriffen werden. Diese Datenbanken enthalten eine Vielzahl an Informationen zu den einzelnen Straßenkörpern sowie zu den Straßenbauwerken und wurden von den Bundesländern im Auftrag des Bundes eingerichtet. Die Datenbanken wurden nach der hierfür entwickelten ASB (Anweisung Straßeninformationsbank) erstellt bzw. entsprechend gepflegt. In allen Bundesländern wurden diese Datenbanken erweitert um Informationen zum Straßennetz, das sich in der Baulast der Länder, aber auch der Kreise befindet. Der Umfang der Informationen ist von Bundesland zu Bundesland etwas unterschiedlich und nimmt von Bauwerken des Bundes hin zu denen in der Baulast der Kreise ab.

Für die Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen wurden die Informationen aus den sib-Banken ausgewertet. Für alle anderen Straßen wurden Kennzahlen abgeleitet und zwar aus den Vorgaben der RStO zum Regelaufbau von Straßen in Abhängigkeit von der Beanspruchung durch den Verkehr und der Bauweise bzw. dem Deckschichtenmaterial, möglicher Zuschläge aus der möglichen Frostbeeinflussung sowie den Erneuerungsbauweisen. In Rücksprache mit mehreren Bauämtern und im Austausch mit Kommunen wurde festgelegt, dass direkt an die Straße angrenzende Flächen wie Standstreifen, Gehwege, Radwege sowie andere Nebenflächen analog zur angrenzenden Fahrbahn aufgebaut sind. Für separate Radwege und Wirtschaftswege wurde ein Aufbau nach Bauklasse VI (nach RStO) angenommen.

Die RStO lässt selbst innerhalb der verschiedenen Bauweisen (bspw. Asphaltdecke) eine Vielzahl von Einzellösungen zu. Es mussten daher in Orientierung an die Mindestdicken für einen frostsicheren Oberbau Annahmen getroffen werden. Für das kommunale Straßennetz kann davon ausgegangen werden, dass ein großer Anteil nicht nach diesen Vorgaben errichtet wurde. Die Straßen sind teilweise zu einem Zeitpunkt errichtet oder zuletzt grundhaft erneuert worden, zu dem es noch kein derartiges Regelwerk gab. Zudem dürfte es in der Vergangenheit gerade anfangs in der Praxis auch Abweichungen gegeben haben. Um diese Unsicherheit zu prüfen, wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Für die Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften und hier insbesondere für die weniger belasteten Kreisstraßen (BK III bis VI) hat sich in der Praxis ein Hocheinbau als Erneuerungsbauweise durchgesetzt. Gegenüber einer grundhaften Erneuerung ist diese Maßnahme mit einem geringeren Massenbedarf und geringeren Kosten verbunden. Dies hat Auswirkungen auf den Aufbau des Baukörpers Straße. Nach Rücksprache mit zahlreichen Straßenbauämtern wurde diese Bauweise für die genannten Straßen in den neuen Bundesländern zu 100 % angenommen, für die alten Bundesländer zu 25 % (außer Baden-Württemberg und Bayern).

Für Brücken und Tunnel erfolgte die Ermittlung der Massen über Kennzahlen aus der Literatur, in Verbindung mit den Informationen zu den Bauwerken. Die Brückenart (Beton-, Stahl, Holz- etc.) wurde in ihrer Verteilung über die Auswertung der sib-Banken der Länder sowie der Fragebögen der Gemeinden festgelegt. Die Widerlager sind berücksichtigt, nicht jedoch die Rampen, die in der Regel als Erdbauwerke errichtet sind.

Fazit: Zur Erhebung mussten Annahmen getroffen werden. Dies gilt insbesondere für das kommunale Straßennetz sowie das Netz der Kreisstraßen außerorts. In allen Fällen wurden notwendige Annahmen oder die Ableitung von Kennzahlen mit einem intensiven Austausch von möglichst vielen Ämtern und Experten abgestützt. Nicht zu vergessen ist, dass für das übergeordnete Straßennetz auf eine umfassende Auswertung der sib-Banken der Länder zurückgegriffen werde konnte. Die Auswerteergebnisse sind daher belastbar.

Darauf aufbauend erfolgt eine **Prognose** der jährlichen Zu- und Rückbauten und Instandsetzungen im deutschen Straßennetz für die Jahre bis 2030 sowie die Projektion für 2050, d.h. der daraus resultierenden Aufkommen an Altmaterialien zur Entsorgung und zugleich der zukünftigen Baustoffbedarfe. Die Prognose erfolgt in Form von Szenarien. Die Szenarien bilden mögliche Entwicklungen der Infrastruktur ab, indem der Zubau und die Erhaltungsaktivitäten des Straßennetzes, sowie Rückführungsraten der ausgehobenen Materialien variiert werden. Über diese Szenarien werden die Einflüsse auf die Materialflüsse deutlich, die sich aus unterschiedlichen Annahmen zu den zukünftigen Rahmenbedingungen ergeben.

Hierfür wurde ein Stoffstrommodell entwickelt, in welchem die Ergebnisse aus der Bestandserhebung, d.h. die im Baukörper vorhandenen Massen, eingepflegt sind. Dieses Modell steht dem Umweltbundesamt zur Verfügung und ermöglicht eine weitere Veränderung der Randbedingungen und damit die Berechnung weiterer Prognoseszenarien. Über eine Verknüpfung mit Rückführungsraten kann eine Aussage über Verwertungs- und Substitutionsmöglichkeiten getroffen werden.

Tabelle 1: Herangehensweise und Aussagesicherheiten

Modellebene	Länge	Fläche	Schichtaufbau / -volumina	Stoffflüsse
Datenquellen	ATKIS-BasisDLM	ATKIS-BasisDLM	sib-Banken	Zubau über Planwerke (Verkehrsentwicklung, Siedlungsprognose)
			Fragebogenaktion Kommunen	Aufwendungen zur Erhaltung (Fragebogenaktion und Auswertung von Praxiserfahrungen)
			Expertengespräche	Abschätzungen zur Rückführbarkeit der Materialien als eigene Einschätzung in Verbindung mit Expertenbefragung
			Kennzahlen aus der Literatur	
Datenqualität / Genauigkeit	Sehr hoch		Hoch für BAB, BS, LS	Berechnung von Szenarien
			Gut für kommunales Netz, KS und Bauwerke	

2 Materiallager Straßen- und Wegenetz

Kern des Vorhabens war die umfassende und genaue Erhebung des deutschen Straßennetzes und des darin und in den Straßenbauwerken vorhandenen Materiallagers. Dazu wurden vorhandene Datenbanken ausgewertet und in erheblichem Umfang eigene Erhebungen bei den Baulastträgern durchgeführt. So wurden die sib-Banken der Länder ausgewertet und >300 große Kommunen mittels Fragebögen befragt.

2.1 Erhebung des Status Quo – Herangehensweise

Die Erhebung des Status Quo erfolgte differenziert nach den einzelnen Kreisen und kreisfreien Städten und erreicht somit einen sehr großen Detaillierungsgrad. Für die im Rahmen des Projektes angelegte Datenbank wurde diese Detaillierung beibehalten. Für die Auswertung wurde eine Aggregierung für Regionen durchgeführt.

Aus den ATKIS-BasisDLM-Datensätzen (Datenlieferung von 03/2014) wurden folgende Informationsebenen ausgewertet:

- Straßennetz (Straßenachsen, Fahrbahnachsen, Hauptwegenetz)
- Bauwerke im Verkehrsbereich (Brücken/Tunnel)
- Verwaltungsgrenzen (Zuordnung zu Kreisen)
- Ortslagen (inner- / außerorts)

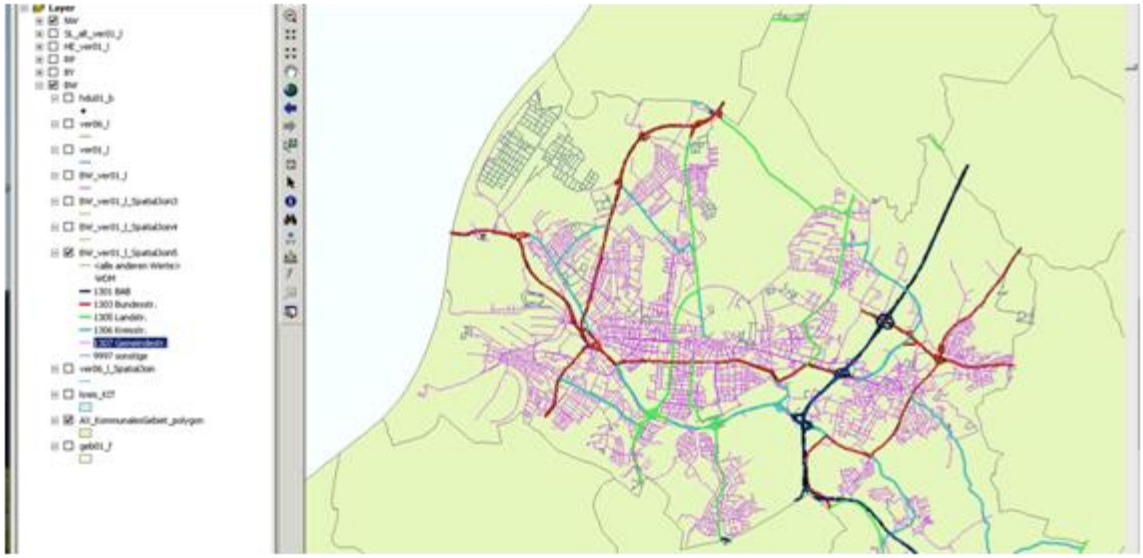
Die Auswertung erfolgte hinsichtlich folgender Attribute:

- Widmung (Baulastträger)
- Objektart (Straßen-, Fahrbahnachse, Brücke, Tunnel)
- Fahrbahnbreite
- Anzahl Fahrbahnstreifen
- Fahrbahntrennung.

Der ATKIS-BasisDLM-Datenbestand (bestehend aus den einzelnen Länderdatenbeständen) wurde mit ArcGIS bearbeitet. Dabei wurden die Attribute der Straßen- und Fahrbahnachsen zusammengeführt und die Straßenabschnitte über ein Verschneiden mit den Verwaltungsgrenzen (Kreisebene) räumlich zugeordnet. Die Straßen wurden nach Baulastträger (BAB, BS, LS, KS und GS) geordnet. Darauf aufbauend wurden die Straßenabschnittslängen berechnet und räumlich sowie anhand gleicher Attribute (siehe oben) aufsummiert. Auf diese Weise wurden aktuelle Bestandsdaten für das gesamte Straßennetz in Deutschland mit Kreisbezug hinsichtlich Länge, Breite und Zuordnung zu Baulastträger erhoben.

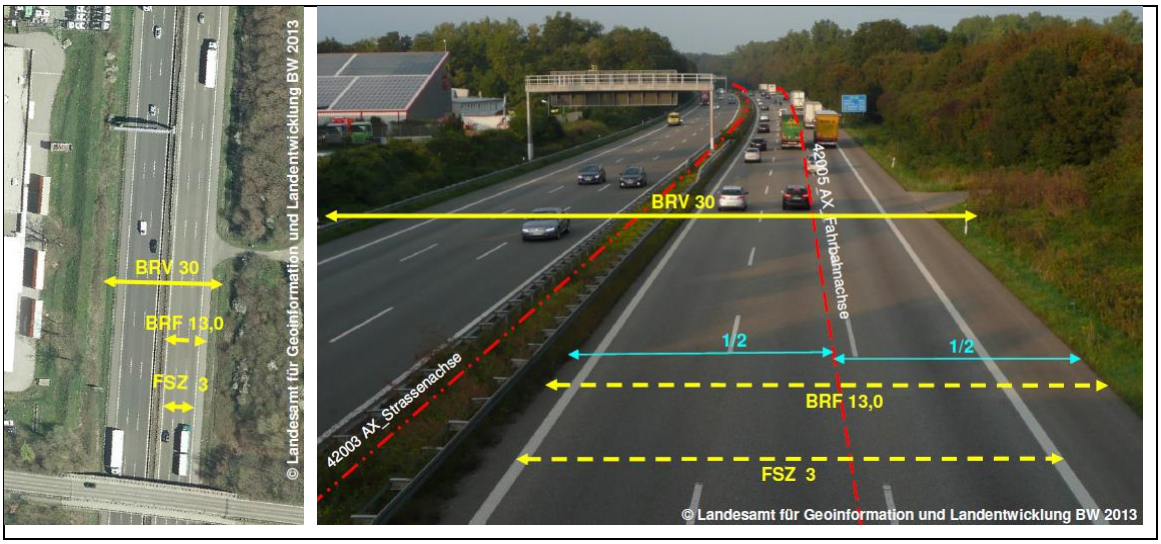
Beispielhaft für das Vorgehen ist in Abbildung 1das Straßennetz von Karlsruhe und in Abbildung 3 ein Datensatz für Landesstraßen dargestellt. Die Umsetzung erfolgte wie am Beispiel der Stadt Karlsruhe dargestellt für alle Kreise und kreisfreien Städte. Die Informationen wurden aus einer sehr großen Anzahl von Datensätzen für einzelne kleine Straßenabschnitte zusammengesetzt, die – wie aus Abbildung 3 zu ersehen – oft nur wenige hundert Meter umfassen.

Abbildung 1: Straßennetz auf der Basis der ATKIS-BasisDLM Datensätze, Beispiel Karlsruhe



Erklärungen: Dargestellt ist in der thematischen Karte das gesamte innerhalb der Stadtgrenzen von Karlsruhe gelegene Straßennetz, farblich unterschieden in Bundesautobahnen (dunkelblau), Bundesstraßen (rot), Landesstraßen (grün), Kreisstraßen (hellblau), kommunale Straßen (magenta) sowie sonstiges Wegenetz.

Abbildung 2: Veranschaulichung des Verlaufs der raumbezogenen Elementarobjekte und der Attribute BRF und FSZ anhand einer getrennten Fahrbahn (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2013)



Erklärungen: Die Abbildung zeigt am Beispiel einer Bundesautobahn den Aufbau der Informationen in den sib-Datenbanken. Diese umfassen Angaben zur gesamten Straßenbreite (BRV) inklusive der beiden Standstreifen, zur Breite der Fahrbahn für eine Fahrtrichtung (BRF) und zur Breite der jeweiligen Fahrstreifen (FSZ).

Ebenfalls ausgewertet wurden auch die Informationen zum Wegenetz, allerdings ohne Berücksichtigung der Waldwege. Bei dem landwirtschaftlichen Wegenetz sowie den nicht direkt an Straße angrenzen Radwegen handelt es sich um ein Wegenetz, das häufig in gebundener Decke ausgeführt einen geregelten Aufbau im Querschnitt aufweist.

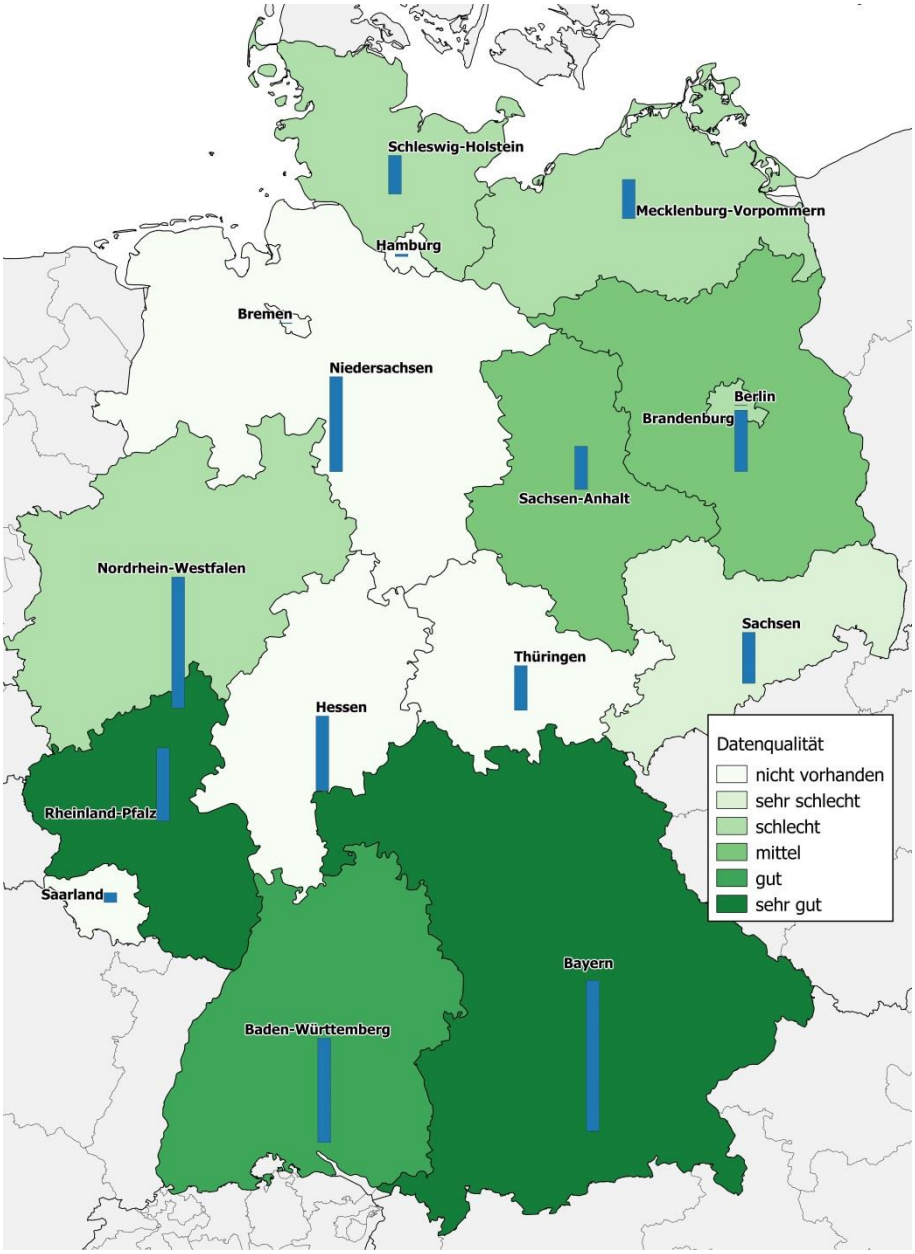
Abbildung 3: Datensatz zum Straßennetz, Beispiel Landesstraßen (ATKIS-BasisDLM Datensätze)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	BRF	FSZ	FTR	Ortslage	KreisID	KreisNam	FREQUENCY	Laenge	
143	4	2		52001	16072	Sonneberg	73	7,72572082	
144	4	2		52001	16073	Saalfeld-Rudolstadt	97	10,7805301	
145	4	2		52001	16074	Saale-Holzland-Kreis	61	7,44627404	
146	4	2		52001	16075	Saale-Orla-Kreis	137	16,5367368	
147	4	2		52001	16076	Greiz	109	11,686544	
148	4	2		52001	16077	Altenburger Land	155	13,7652072	
149	4,4	2			16061	Eichsfeld	8	2,29469868	
150	4,4	2			16064	Unstrut-Hainich-Kreis	1	0,16849223	
151	4,5	0			16069	Hildburghausen	5	0,53927282	
152	4,5	1			16061	Eichsfeld	3	0,09908007	
153	4,5	1			16066	Schmalkalden-Meiningen	4	0,15392383	
154	4,5	1			16069	Hildburghausen	2	0,09100673	
155	4,5	1		52001	16061	Eichsfeld	1	0,04315763	
156	4,5	1		52001	16062	Nordhausen	6	0,211223	
157	4,5	1		52001	16064	Unstrut-Hainich-Kreis	10	0,85678876	
158	4,5	1		52001	16066	Schmalkalden-Meiningen	1	0,03669363	
159	4,5	1		52001	16067	Gotha	1	0,08742217	
160	4,5	1		52001	16069	Hildburghausen	4	0,15175289	
161	4,5	1		52001	16076	Greiz	8	0,37557489	
162	4,5	2			16051	Erfurt	8	1,67320852	
163	4,5	2			16061	Eichsfeld	67	16,0619171	
164	4,5	2			16062	Nordhausen	17	3,83142432	
165	4,5	2			16063	Wartburgkreis	32	4,84615465	
166	4,5	2			16065	Kyffhäuserkreis	2	0,56122678	
167	4,5	2			16067	Gotha	13	2,70104625	
168	4,5	2			16069	Hildburghausen	18	2,31041943	
169	4,5	2			16074	Saale-Holzland-Kreis	3	0,75792103	
170	4,5	2			16075	Saale-Orla-Kreis	57	10,8575609	
171	4,5	2		52001	16061	Eichsfeld	44	4,81126705	
172	4,5	2		52001	16062	Nordhausen	35	4,24487047	
173	4,5	2		52001	16063	Wartburgkreis	65	5,04271988	
174	4,5	2		52001	16064	Unstrut-Hainich-Kreis	6	0,82351797	
175	4,5	2		52001	16065	Kyffhäuserkreis	4	0,26265819	
176	4,5	2		52001	16066	Schmalkalden-Meiningen	70	5,29126538	
177	4,5	2		52001	16067	Gotha	1	0,83858928	
178	4,5	2		52001	16069	Hildburghausen	39	2,95460487	
179	4,5	2		52001	16070	Ilm-Kreis	8	0,72398201	
180	4,5	2		52001	16071	Weimarer Land	10	0,69484558	
181	4,5	2		52001	16072	Sonneberg	2	0,14344021	
182	4,5	2		52001	16073	Saalfeld-Rudolstadt	2	0,29994044	
183	4,5	2		52001	16074	Saale-Holzland-Kreis	28	2,41278288	
184	4,5	2		52001	16075	Saale-Orla-Kreis	65	7,62461032	
185	5	0			16069	Hildburghausen	36	7,94431725	
186	5	0			16075	Saale-Orla-Kreis	4	0,60013921	
187	5	0		52001	16069	Hildburghausen	3	0,42378322	
188	5	1			16051	Erfurt	3	0,31496498	

BAB | BAB_FB | BS | LS | KS | GS | GS_STS | Wege

Erklärungen: In diesem Tabellenauszug ist am Beispiel von Landesstraßen der ATKIS-BasisDLM Datensatz dargestellt. Er umfasst Angaben zu Breite der Fahrbahn (BRF), Fahrbahnstreifen (FSZ), Fahrbahntrennung (FTR), Ortslage (52001 = innerorts), Länge in km und Anzahl der Vektoren. Es wird dabei deutlich, dass die einzelnen Fahrbahnabschnitte in ATKIS BasisDLM in einer Vielzahl an einzelnen Vektoren abgelegt sind.

Abbildung 4: Datenqualität der sib-Datenbanken für die jeweiligen Bundesländer mit Ergänzung der relativen Straßenlängen



Erklärungen: Abbildung 4 zeigt die Datenqualität der Daten aus der Befragung der sib-Stellen für jedes Bundesland. Zusätzlich ist eine weitere Informationsebene über Balken, welche die Länge der Straßen des Bundeslandes relativ zur gesamten Netzlänge darstellen, abgebildet um die Informationen zur Datenqualität ins Verhältnis zu den Straßenlängen zu setzen. Die beste Datenqualität erzielte Bayern, die schlechteste Sachsen. Für die Bundesländer Hamburg, Bremen, Niedersachsen, Hessen, Thüringen und das Saarland sind keine Daten vorhanden.

2.1.1 Straßenoberbau

Ermittlung der Flächen

Über die Auswertung aus dem ATKIS-BasisDLM ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten Längen für die verschiedenen Straßentypen in den einzelnen Bundesländern. Die so ermittelten Längen zeigen bis auf die Stadtstaaten Hamburg, Berlin und Bremen hohe Übereinstimmungen mit den vom

Bundesverkehrsministerium in „Verkehr in Zahlen“ [VIZ 2014] ermittelten Längen. Die Übereinstimmung liegt in Summe bei mehr als 90 %. Die aufgezeigten Abweichungen bei den Stadtstaaten sind auf unterschiedliche Zuordnungen von Gemeindestraßen zurückzuführen.

Wie man aus der Tabelle ersehen kann, ist es über die Auswertung des ATKIS-BasisDLM Datenbestandes gelungen, Bundesautobahnen nicht nur für die Abschnitte zu erfassen, die getrennte Fahrbahnen aufweisen, sondern auch die Fahrbahnäste wie Kreuzungsbereiche, Ein- und Ausfahrten und ähnliches mit einzubeziehen. In Summe ergibt dies einen Wert von 18.400 Kilometer, der deutlich über den in anderen Statistiken (bspw. DESTATIS) genannten Werten liegt.

Wie aus der Tabelle 1 ebenfalls zu entnehmen ist, ist selbst die Summe aus Bundesautobahnen BAB (getrennt, ohne Äste), Bundesstraßen (B), Landesstraßen (L) und Kreisstraßen (K) deutlich kleiner als das kommunale Straßennetz und das Netz der Wirtschaftswege. Demnach machen Gemeindestraßen und Wirtschaftswege rund 75 % des gesamten Straßen- und Wegenetzes aus. Dies zeigt die Notwendigkeit, gerade für dieses Netz möglichst gute und belastbare Informationen zum Aufbau und den enthaltenen Massen zusammenzustellen, wie über das Forschungsprojekt erfolgt. Die Informationen liegen auch hierfür jeweils differenziert nach Kreisebene vor.

Tabelle 2: Ergebnisse der Straßenlängen in km des ATKIS-BasisDLM Datensatz nach Ländern und Straßentyp (Angaben in km)

	BAB	BAB, nur getrennt	BS	LS	KS	Zwischen-summe, klassifiziert	GS	W	Summe gesamt
Baden-Württemberg	1.603	1.031	4.893	10.052	12.151	28.128	58.296	2.499	88.923
Bayern	3.239	2.390	6.772	14.072	18.615	41.849	103.730	58.262	203.841
Berlin	137	67	147	0	0	214	5.175	339	5.728
Brandenburg	1.016	800	2.824	5.805	3.003	12.431	21.066	20.963	54.461
Bremen	112	75	59	0	0	134	2.069	98	2.300
Hamburg	236	157	132	0	0	211	3624	317	8.274
Hessen	1.426	1.014	3.187	7.314	5.077	16.591	26.590	51.594	94.776
Mecklenburg-Vorpommern	635	559	2.063	3.401	4.226	10.250	13.494	10.772	34.516
Niedersachsen	1.855	1.465	4.832	8.299	13.723	28.319	59.038	42.599	129.956
Nordrhein-Westfalen	3.815	2.328	4.923	12.876	9.794	29.921	64.274	25.670	119.865
Rheinland-Pfalz	1.218	847	3.111	7.299	7.389	18.646	19.526	27.279	65.452
Saarland	443	234	393	866	639	2.132	5.018	2.477	9.628
Sachsen	729	582	2.417	4.853	5.771	13.623	23.546	22.317	59.486
Sachsen-Anhalt	530	426	2.165	4.048	4.336	10.974	13.542	13.214	37.731
Schleswig-Holstein	724	458	1.757	3.717	4.136	10.068	13.182	16.130	39.381
Thüringen	627	498	1.659	4.722	3.018	9.897	14.973	16.644	41.515
Summe	18.403	12.932	41.287	87.325	91.877	233.422	450.770	311.492	995.684

Erklärungen: BAB = Bundesautobahnen, gesamt; BAB, nur getrennt = Teilstreckenlänge mit getrennten Fahrbahnen; BS = Bundesstraßen, LS = Landesstraßen; KS = Kreisstraßen; GS = Gemeindestraßen; W = Wirtschaftswege

Ein Abgleich der Längendaten aus den ATKIS-BasisDLM Auswertungen mit den Längen aus der sib-Datenbank zeigt ebenso eine Übereinstimmung von über 90 %. Eine Ausnahme stellen die Daten für die Bundesländer Rheinland-Pfalz und Sachsen dar. In den dortigen sib-Datenbanken ist nicht das ganze in ATKIS-BasisDLM dokumentierte Straßennetz enthalten. Hier gibt es deutliche Lücken in den Informationen zum Straßennetz in der Baulast der Kreise. Da die Landesstraßenbehörden aller Länder nicht immer in vollem Umfang auch für Kreisstraßen zuständig bzw. hier teilweise auch Straßenabschnitte älteren Datums sind, sind auch keine Übereinstimmungen von 100 % zu erwarten.

Die Rückmeldungen der Städte aus ihrer Befragung wurden ebenfalls für einen weiteren Abgleich der Informationen zu den Kreis- und Gemeindestraßen genutzt. Im Detail wurden vom Gesamtrücklauf von 61 Kommunen exemplarisch Angaben von 11 Gemeinden aus Baden-Württemberg, 10 Gemeinden aus Bayern, 9 Gemeinden aus Nordrhein-Westfalen und 3 Gemeinden aus Rheinland-Pfalz abgeglichen. Im Mittel ergab sich eine Übereinstimmung der Längen von ATKIS-BasisDLM zu den Angaben der Gemeinden von 92 %.

Die Datensätze aus ATKIS-BasisDLM lassen sich direkt und mit hoher Genauigkeit konkret verorten. Dies ermöglichte einen weiteren Abgleich und weitere Prüfungen der Datenlage. Der in Stichproben durchgeführte Abgleich der Datensätze mit der Situation vor Ort zeigte eine hohe Übereinstimmung bzw. Verlässlichkeit der ATKIS-BasisDLM Berechnungen. So wurden insbesondere auch die Datensätze zur Fahrbahnbreite geprüft.

In Summe lässt sich festhalten, dass die im Projekt durchgeführten Erhebungen zu Längen und Breiten und damit den Flächen des Straßen- und Wegenetz eine hohe Verlässlichkeit haben. Im Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen ist eine validierte Angabe zu den Straßenlängen auch auf Ebene der Kreise und Kommunen möglich. Weiterhin konnten die in den gängigen Statistiken nicht erfassten Straßen (bspw. Äste von BAB oder befestigte Hauptwege im landwirtschaftlichen Wegenetz) berücksichtigt werden. Mit der Erhebung wurde zudem erstmals eine fundierte Aussage über die Deckschichtenverteilung möglich, eine wichtige Größe zur Bestimmung des Materiallagers (s.u.).

Ermittlung der Massen

Nachdem im ersten Schritt die Informationen zu den Flächen zusammengestellt wurden, galt es den vertikalen Aufbau der einzelnen Straßenkörper und damit die Massen abzuschätzen. Hierfür wurde folgendermaßen vorgegangen:

Für alle klassifizierten Straßen (BAB; BS; LS; KS) enthalten die sib-Datenbanken der Länder in der Theorie auch detaillierte Informationen zum vertikalen Aufbau. In einem ersten Schritt wurden daher die Datenbanken und Auswertungen, die über die Abfrage der Länder zur Verfügung gestellt wurden, ausgewertet. Es wurden die Massen differenziert nach den einzelnen Materialien erfasst, verknüpft mit Angaben zum Deckschichtenaufbau (Asphalt-, Beton- oder Pflasterdecke). Diese Angaben wurden nach den einzelnen Straßenkategorien zu Kennzahlen verarbeitet und auf das gesamte Netz der klassifizierten Straßen übertragen. Diese Übertragungen sind belastbar. Zwar ist der vertikale Aufbau von Straße zu Straße auch innerhalb der Kategorien immer etwas unterschiedlich, da es durchaus leichte Variationen zwischen den Bauweisen vor allem in den ungebunden Schichten gibt, es gibt jedoch keine grundsätzlichen regionalen Unterschiede, die eine derartige Vorgehensweise nicht zulassen würden.

Die Informationen aus den von den Kommunen übergebenen Datensätzen enthalten eine wichtige Ausdifferenzierung nach Bauklassen und damit aufgrund der implizierten Belastung durch den Verkehr indirekt auch zum vertikalen Aufbau der Straßen. Weiterhin sind die zugehörigen Deckschichten aufgeführt, so dass eine Deckschichtenverteilung in Abhängigkeit von der Bauklasse abgeleitet

werden kann. Zusätzlich sind Informationen zu Neubau und Instandhaltungen enthalten. Daraus lassen sich Kennzahlen ableiten, um die Gesamtheit aller Gemeinde- und Kreisstraßen abbilden zu können.
So ergibt die Auswertung der Datensätze der größeren Kommunen beispielsweise für die Bauklassen III, dass diese einen Längenanteil von 21 % an der gesamten Netzlänge in den Kommunen aufweist und der Anteil mit einer Asphaltdecke 16 %-Punkte beträgt. Für die Bauklasse IV ergibt sich ein Längenanteil von 39 %, wobei der Anteil mit einer Asphaltdecke bei 29 %-Punkten liegt.
Zum Aufbau einer Straße existieren mit der Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (zuletzt RStO) Vorgaben, die es theoretisch ermöglichen würden, den vertikalen Aufbau des Baukörpers Straße aus der Bauklasse und der Art der Deckschicht abzuleiten. Da die Richtlinie eine große Vielzahl von Bauweisen innerhalb der Bauklassen vorsieht und in der Tat auch je nach Region unterschiedliche Bauweisen üblich sind, zudem viele Straßen gerade in den Kommunen vor der Einführung der RStO-Richtlinie gebaut wurden, oder zu Zeitpunkten, zu denen unterschiedliche RStO-Richtlinien und entsprechende Vorgaben galten und keine verlässlichen Informationen zum Alter der Straßen und dem Erneuerungsstand vorhanden sind, konnte der vertikale Aufbau der Gemeinde- und Kreisstraßen nicht aus diesem Regelwerk abgeleitet werden.

Für das Projekt ergab sich damit die Notwendigkeit, eigene Annahmen zu treffen und daraus Kennzahlen zum Straßenaufbau abzuleiten. Der vertikale Aufbau einer Straße ist von folgenden Randbedingungen abhängig:

- der Beanspruchung bzw. der Verkehrsbelastung (SV, I, II, III, IV, V, VI bzw. aktuell BK, Erläuterung folgt im Text)
- der Frostempfindlichkeit des Untergrundes (F1, F2, F3, Erläuterung folgt im Text)
- der Bauweise (voll- bzw. teilgebunden sowie in Abhängigkeit des Deckschichtmaterials: Pflasterdecken, Betondecken, bituminöse Decken)
- den Frosteinwirkungszonen
- der Erneuerungsbauweise (Hocheinbau ja/nein)

In welcher Mächtigkeit eine Straße gebaut wird, hängt grundsätzlich von der erwarteten Belastung ab. Diese wird über die gewichtete Anzahl der äquivalenten 10-t-Achsübergänge ermittelt. Die RStO 01 sah hierfür eine Unterteilung in sieben verschiedene Bauklassen vor (SV, I – VI). Mit der neuen RStO 12 gibt es nun neue Klassen, mit denen die alte Bauklasse III eine weitere Unterteilung erfährt und die Bauklassen V und VI zusammengefasst werden (siehe Tabelle 3). Da sowohl die Erfassung der sib-Daten als auch die vorliegenden Informationen der Kommunen in den alten Bauklassen ist, war eine Bearbeitung über die neuen Bauklassen im Rahmen dieser Studie nicht sinnvoll.

Tabelle 3: Vergleich der Straßenklassen nach RStO 01 und RStO 12

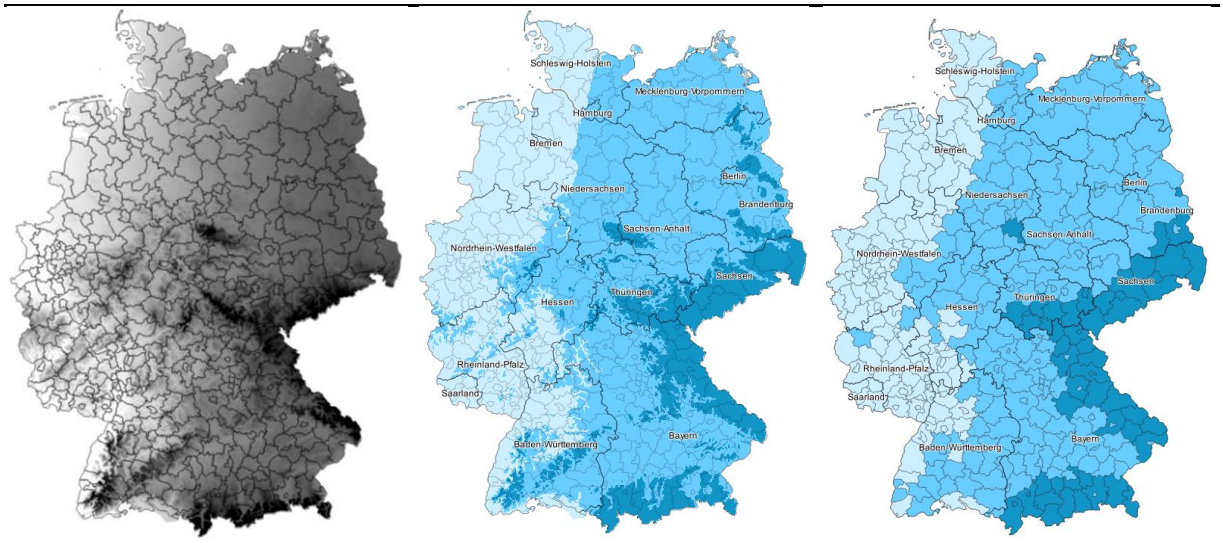
Bauklasse nach RStO 01	Belastungsklasse nach RStO 12	dimensionierungsrelevante Beanspruchung (in Mio. äq. 10-t-Achsüberg.)	typisches Beispiel
SV	Bk100	› 32	Autobahnen, Schnellstraßen
I	Bk32	› 10 und ≤ 32	Industriestraßen
II	Bk10	› 3,2 und ≤ 10	Hauptgeschäftsstraßen
	Bk3,2	› 1,8 und ≤ 3,2	Verbindungsstraßen
III	Bk1,8	› 1,0 und ≤ 1,8	Sammelstraßen, wenig befahrene Hauptgeschäfts-straßen
IV	Bk1,0	› 0,3 und ≤ 1,0	Wohnstraßen

Bauklasse nach RStO 01	Belastungsklasse nach RStO 12	dimensionierungsrelevante Beanspruchung (in Mio. äq. 10-t-Achsüberg.)	typisches Beispiel
V und VI	Bk0,3	≤ 0,3	Wohnwege

Für die verschiedenen Bauklassen schreibt die RStO jeweils verschiedene Mindestdicken des frostsicheren Oberbaus vor, unterschieden in den unterschiedlichen Bauweisen. Sie liegen für SV/I/II bei 55 cm bis 65 cm, für III/IV bei 50 cm bis 60 cm und für V/VI bei 40 cm bis 50 cm. Aus den entsprechenden Tabellenwerken der RStO (Tafel 1) wurden daraus folgende Kennzahlen für die die Dicke der gebundenen/ungebundenen Schicht im Mittel abgeleitet: SV 30 cm/30 cm, I und II 26 cm/35 cm, III und IV 16 cm/40 cm, V und VI 12 cm/35 cm.

Wenn der Untergrund, auf dem die Straße aufgebaut wird, bereits frostsicher (bspw. grobkörnig) ist, kann auf die Ausbringung eines ungebundenen Schotterkörpers (Frostschutzschicht) verzichtet werden und somit eine vollgebundene Bauweise erfolgen. Umfangreiche Befragungen von Straßenbauämtern der Bundesländer und Kreise zeigen aber, dass ein vollgebundener Ausbau in der Praxis quasi nicht umgesetzt ist. Die Bodenverhältnisse sind meist nicht ausreichend homogen, d.h. die Frostunempfindlichkeit ist nicht über die Länge der Baumaßnahmen gegeben. Die Bauweise ist zudem verhältnismäßig teuer. Ausnahmen werden deshalb ggf. in Ortslagen gemacht, um bei der Erneuerung der Straße nicht in Konflikt mit verlegten Leitungen zu kommen. Die hierdurch erzielten Kosten- und Zeitersparnisse können die spezifischen Mehrkosten der Bauweise rechtfertigen. Die vollgebundene Bauweise wurde daher bei der Ableitung der Kennzahlen zum vertikalen Aufbau der Straßen nicht beachtet.

Abbildung 5: Zuordnung der Frosteinwirkungszonen auf Kreise.



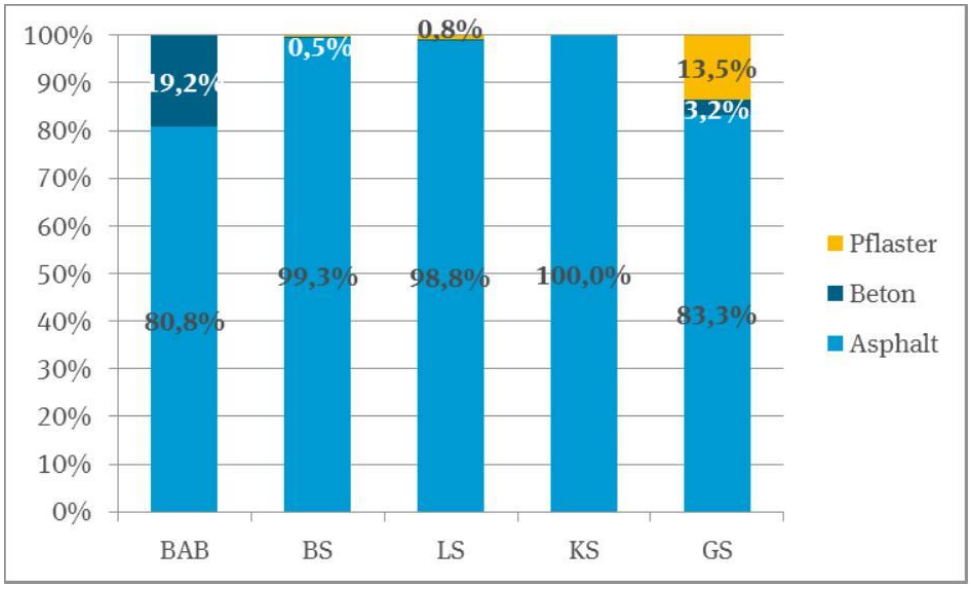
Erklärungen: Die Abbildung zeigt drei Karten der Bundesrepublik, in denen zunächst die Frosteinwirkungszonen dargestellt sind; in der zweiten Karte werden über diese ein Layer mit den Kreisgrenzen gelegt, in der dritten Karte erfolgt eine genaue Zuordnung der einzelnen Kreise zu einzelnen Frosteinwirkungszonen über Mittelungen. Es ist eine 3-Gliederung erkennbar: je höher das Geländeniveau und je weiter östlich, umso eher ist Zone III gegeben.

Die Mächtigkeit der ungebundenen Schichten in einem Straßenkörper richtet sich dann nach der zu erwartenden Frostintensität, die über Frosteinwirkungszonen räumlich beschrieben ist. Nach RStO bedeutet die Lage in Zone II einen Zuschlag um 5 cm Schichtdicke, in Zone III um 15 cm. Um diesen

Einfluss auf den vertikalen Aufbau der Straßen und damit bei der Ableitung von Kennzahlen zur Abschätzung des Materiallagers berücksichtigen zu können, mussten die einzelnen Kreise Frosteinwirkungszonen zugeordnet werden. Hierzu wurden Daten des Deutschen Wetterdienstes zu den maximalen Frostindexes für einen 30-jährigen Wiederkehrzeitraum (ohne Bebauungseinfluss) im 1km-Raster herangezogen (Abbildung 5, links). Diese wurden entsprechend der Einteilung der BASt in die verschiedenen Frosteinwirkungszonen (Zone I bis III) klassifiziert (siehe Abbildung 5, Mitte). Mit einer GIS-Auswertung der zonalen Statistiken wurde dann jedem Kreis eine mittlere Frostbelastung, berechnet aus dem Mittel aller Frostindizes der im Kreis liegenden km-Raster, zugewiesen und nach der Einteilung in Zonen I bis III verordnet. Das Ergebnis der mittleren Frostzonen nach Kreisen zeigt Abbildung 5, rechts. Diese Einteilung ermöglicht eine orientierende Berücksichtigung der Frosteinwirkungszonen.
Die Frosteinwirkung gilt vor allem außerorts. Da die im Projekt gewählte Auswertung eine Zuordnung von Bundes-, Landes- und Kreisstraßen in innerorts und außerorts ermöglicht, kann dieser Sachverhalt berücksichtigt werden. Für Gemeindestraßen wird immer eine Bauweise in geschlossener Bebauung angenommen. Für Autobahnen (auch für “Stadtautobahnen“) wird grundsätzlich von einer Lage außerhalb einer geschlossenen Bebauung ausgegangen. Nach RStO bedeutet eine „geschlossene seitliche Bebauung entlang der Straße“ einen Abschlag von 5cm in der aus Frostschutzgründen erforderlichen Schichtenmächtigkeit.

Auch das Deckschichtenmaterial hat einen Einfluss auf die Bauweisen bzw. den vertikalen Aufbau. Nachstehende Abbildung 6 zeigt die Verteilung der Deckschichtmaterialien aufgeschlüsselt nach Straßenkategorien. Die Bestimmung erfolgte mit Ausnahme der Gemeindestraßen anhand der Angaben, die aus den Straßeninformationsbanken der Länder gewonnen werden konnte. Für Bundes-, Landes- und Kreisstraßen existieren quasi nur Deckschichten aus Asphalt. Bei Bundesautobahnen sind knapp 17 % als Betondeckschicht ausgebildet, wobei regional größere Unterschiede auftreten. So haben nur 34 % der Bundesautobahnen in Sachsen-Anhalt eine Deckschicht aus Asphalt und 66 % eine aus Beton.
Für die Gemeindestraßen wurden die Angaben der Kommunen ausgewertet. Danach befinden sich etwa 13,5 % der Straßen unter einer Pflasterdecke. Auch Betondecken haben eine gewisse Verbreitung (bspw. landwirtschaftliches Wegenetz). Hier gibt es ebenfalls größere regionale Unterschiede. So sind in Berlin beispielsweise nur rund 60 % der Gemeindestraßen asphaltiert, jedoch 26 % gepflastert.
In die Berechnung der Baukörper Straße fließen die entsprechenden Informationen aus der Auswertung der Datensätze immer bezogen auf Kreisebene ein und berücksichtigen damit die regionalen Besonderheiten.

Abbildung 6: Deckschichtmaterialien nach Straßenkategorie



Erklärungen: Die Abbildung zeigt die Verteilung des Deckschichtenmaterials in den verschiedenen Straßenkategorien. Das Deckschichtmaterial ist klassisch Asphalt. Bei Bundesautobahnen kommen in einem Anteil von 19,2 % Betonfahrbahndecken vor, bei kommunalen StraOen zu 3,2%. Hier haben Pflasterdecken einen weiteren Anteil von 13,5%.

Die RStO ermöglicht unterschiedliche Erneuerungsbauweisen. Während innerorts wegen der Zwangspunkte (v.a. Anschlüsse der Grundstücke) immer nur eine grundhafte Erneuerung (Tiefeinbau) möglich ist, kann außerhalb der geschlossenen Bebauung auch ein Hocheinbau erfolgen, so es die strukturelle Substanz des alten Straßenkörpers und seine Tragfähigkeit ermöglicht. Der Tiefeinbau bedeutet, dass bei einer Grunderneuerung einer Straße der alte Baukörper ausgekoffert und tendenziell massengleich ersetzt wird. Bei einem Hocheinbau wird der alte Baukörper weitgehend belassen – die Asphaltdeckschicht und ggf. Asphaltbinderschicht werden vorher abgefräst – und überbaut.
Es existieren keine Statistiken oder Untersuchungen darüber, welche der Erneuerungsbauweisen in welchem Umfang in der Praxis umgesetzt werden. Im Rahmen des Projektes wurden daher umfangreiche Befragungen der Verantwortlichen für Baumaßnahmen in den Kreis- und Landesstraßenbauämtern durchgeführt. Danach wurde seit 1990 bei Straßen der Bauklassen III bis VI möglichst eine Erneuerung im Hochbau vorgenommen. Am wenigsten verbreitet ist der Hochbau bislang in Bayern und Baden-Württemberg. Für die Berechnung des Baukörpers wird unterstellt, dass in allen alten Bundesländern außer Bayern und Baden-Württemberg 25 % der Straßen außerorts in der Kategorie III bis VI als Hocheinbau vorliegen. Für die neuen Bundesländer wird dies zu 100 % angenommen. Der vertikale Aufbau wird aus den Vorgaben der RStO (Tafel 5) übernommen.

Das kommunale Straßennetz ist oft sehr alt, so dass ein Regelaufbau nach RStO in der Praxis nicht immer gegeben ist. Entweder wurden sehr alte Straßenkörper mit neuen Deckschichten überbaut (bspw. Packlagen) oder zu einer Zeit errichtet, zu der es einen Regelaufbau in der heutigen Form noch nicht gab bzw. er nicht üblich war. Mangels anderer Daten muss trotzdem ein an Bauklassen angelehnter Aufbau unterstellt werden. Die im Projekt abgeleitete Mächtigkeit des Straßenkörpers der Gemeindestraßen dürfte daher überschätzt sein. Dies hat aber keine Konsequenzen für die postulierten Massenflüsse, d.h. das Aufkommen an Altmassen und den Baustoffbedarf. Werden diese Straßen grundhaft erneuert, erfolgt ein Aufbau nach RStO. Dass die hierbei anfallenden Massen tlw. aus Böden bestehen und nicht vollständig als Baustoff zurückgeführt werden können, wird in den Szenarien berücksichtigt.
Nach Aussagen aus der Praxis wurden Straßennebenflächen wie Standstreifen, Gehwege, Radwege,

Plätze oder Parkplätze teilweise erst nachträglich aus der Fahrbahn abmarkiert. Sie sollen des Weiteren grundsätzlich für Überfahrungen und Verkehrsumleitungen geeignet sein. Ferner ist ein Vollausbau über die gesamte Straßenbreite kostengünstiger als ein abgestufter Aufbau von Fahrbahn und Gehwegen, da die Arbeitskosten stärker als die Materialkosten ins Gewicht fallen. Folglich wird in diesem Projekt bei der Abschätzung des Baukörpers des Straßennetzes für die Straßennebenflächen der gleiche Aufbau wie für die jeweilige Fahrbahn angenommen.
Die Abgrenzung des kommunalen Straßennetzes außerorts von befestigten Wirtschaftswegen ist nicht immer eindeutig möglich. Für Wirtschaftswege sowie für von der Fahrbahn der Straßen abgetrennte Radwege etc. wird vereinfachend ein Aufbau gemäß RStO Bauklasse V oder VI unterstellt. Dies wird vereinfachend für das gesamte und damit auch das ältere Bestandsnetz angenommen.

2.1.2 Brückenbauwerke

Ermittlung von Anzahl und Längen

Zur Ermittlung von Anzahl und Längen der Brücken wurden wie im vorangegangenen Kapitel ausgeführt die ATKIS-BasisDLM-Datensätze herangezogen. Die Informationen zu den Bauwerken liegen als Linien- und Flächeninformationen vor. Letztere wurden als Berechnungsgrundlage im GIS in Streckeninformationen umgewandelt. Über eine Verschneidung mit dem Straßennetz konnten den Bauwerken Attribute zu ihrer Nutzung zugeordnet werden. Analog zu der Erhebung des Mengengerüsts für die Straßen, galt es auch für die Bauwerke vorerst Datenlücken des Datensatzes für das Attribut „Breite der Fahrbahn“ zu ergänzen. Eine Berechnung der Massen über die Flächen ist wesentlich genauer als die pauschale Berechnung nur über Längen. Das Vorgehen hier gleicht dem der Straßenkörper. Die fehlenden Breiten wurden in erster Priorität mit der nach Länge gewichteten durchschnittlichen Breite der entsprechenden Variation von Bundesland, Widmung und Bauwerkstyp ergänzt. In zweiter Priorität erfolgte dies dann nicht nach Bundesland sondern auf nationalem Schnitt basierend, wo Informationen der Länder nicht eingetragen waren. Abbildung 7 zeigt einen beispielhaften Datensatz zur Kategorie „Brücken“.

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der in dieser Studie flächendeckend durchgeführten Erhebung von Längen und Breiten der Brücken, aufgeschlüsselt nach Straßenkategorien. Zu beachten ist hier, dass die Anzahl keine verlässliche Aussage über die tatsächliche Anzahl an Bauwerken oder Teilbauwerken zulässt. Über die Auswertung von ATKIS-BasisDLM konnte nur die Anzahl der Vektoren berücksichtigt werden. Das heißt ein einzelnes Bauwerk kann durchaus aus mehreren Vektoren zusammengesetzt sein. Dies gilt vor allem dann, wenn die Bauwerke entweder keinen geraden Verlauf haben, oder aber sich im Verlauf des Bauwerks erfasste Attribute verändern. Brücken können jedoch auch in der Praxis aus mehreren einzelnen Bauwerken bestehen. Klassisch sind die für jede Fahrtrichtung getrennt errichteten Autobahnbrücken.

Für die Ermittlung der Baukörper und der verbauten Massen entscheidend sind aber die Informationen zu Länge und Breite. In Vorgängerstudien (bspw. MaRess) wurden Brücken und andere Bauwerke nur grob und orientierend abgeschätzt. Das Deutsche Institut für Urbanistik hat eine gezielte Erhebung der Brücken in Gemeindelast (und deren baulichem Zustand) durchgeführt. Danach [Difu 2013] ergaben sich 1.519 km Brückenlänge für Gemeindestraßen (53.234 Stück) und 373 km für Kreisstraßen in Gemeindelast (9.914 Stück) und damit in Summe eine etwas höhere Brückenlänge.

Abbildung 7: Beispieldatensatz Bauwerke, Brücken (ATKIS-BasisDLM Datensätze)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	WDM	BWF	BRF	FSZ	KreisID	KreisNam	FREQUENCY	Laenge
46	1303	1800	6	2	16071	Weimarer Land	6	0,11287772
47	1303	1800	6	2	16072	Sonneberg	6	0,07139103
48	1303	1800	6	2	16073	Saalfeld-Rudolstadt	26	0,87718429
49	1303	1800	6	2	16074	Saale-Holzland-Kreis	9	0,21695
50	1303	1800	6	2	16075	Saale-Orla-Kreis	6	0,07194763
51	1303	1800	6	2	16076	Greiz	12	0,26916351
52	1303	1800	6	2	16077	Altenburger Land	14	0,41534839
53	1303	1800	6,5	2	16062	Nordhausen	1	0,018824
54	1303	1800	6,5	2	16063	Wartburgkreis	7	0,30457766
55	1303	1800	6,5	2	16065	Kyffhäuserkreis	8	0,34411592
56	1303	1800	6,5	2	16066	Schmalkalden-Meiningen	3	0,11579937
57	1303	1800	6,5	2	16068	Sömmerda	2	0,02689644
58	1303	1800	6,5	2	16069	Hildburghausen	8	0,19683792
59	1303	1800	6,5	2	16070	Ilm-Kreis	5	0,0785489
60	1303	1800	6,5	2	16071	Weimarer Land	3	0,03886115
61	1303	1800	6,5	2	16072	Sonneberg	1	0,01534145
62	1303	1800	6,5	2	16073	Saalfeld-Rudolstadt	1	0,00811121
63	1303	1800	6,5	2	16074	Saale-Holzland-Kreis	1	0,01697142
64	1303	1800	6,5	2	16075	Saale-Orla-Kreis	8	0,39058017
65	1303	1800	6,5	2	16077	Altenburger Land	1	0,03001723
66	1303	1800	7	2	16051	Erfurt	1	0,05885962
67	1303	1800	7	2	16052	Gera	2	0,12244368
68	1303	1800	7	2	16056	Eisenach	3	0,06045647
69	1303	1800	7	2	16061	Eichsfeld	5	0,13702885
70	1303	1800	7	2	16062	Nordhausen	3	0,06084732
71	1303	1800	7	2	16063	Wartburgkreis	13	0,35309117
72	1303	1800	7	2	16064	Unstrut-Hainich-Kreis	10	0,20478478
73	1303	1800	7	2	16065	Kyffhäuserkreis	4	0,19676297
74	1303	1800	7	2	16066	Schmalkalden-Meiningen	8	0,15483883
75	1303	1800	7	2	16067	Gotha	9	0,26698584
76	1303	1800	7	2	16068	Sömmerda	9	0,20519287
77	1303	1800	7	2	16069	Hildburghausen	2	0,07754183
78	1303	1800	7	2	16070	Ilm-Kreis	1	0,01824763
79	1303	1800	7	2	16071	Weimarer Land	1	0,017321
80	1303	1800	7	2	16072	Sonneberg	5	0,06985947
81	1303	1800	7	2	16073	Saalfeld-Rudolstadt	17	1,21285143
82	1303	1800	7	2	16075	Saale-Orla-Kreis	6	0,44873235
83	1303	1800	7	2	16076	Greiz	3	0,06330448
84	1303	1800	7	2	16077	Altenburger Land	7	0,30441991
85	1303	1800	7,5	2	16055	Weimar	1	0,0162749
86	1303	1800	7,5	2	16062	Nordhausen	1	0,0298205
87	1303	1800	7,5	2	16063	Wartburgkreis	9	0,17315561
88	1303	1800	7,5	2	16065	Kyffhäuserkreis	2	0,02468202
89	1303	1800	7,5	2	16066	Schmalkalden-Meiningen	1	0,01024358
90	1303	1800	7,5	2	16067	Gotha	4	0,0456832
91	1303	1800	7,5	2	16068	Sömmerda	1	0,04154739
92	1303	1800	7,5	2	16071	Weimarer Land	2	0,10823483
93	1303	1800	7,5	2	16072	Sonneberg	4	0,10462459
94	1303	1800	7,5	2	16077	Altenburger Land	1	0,03041806
95	1303	1800	8	2	16052	Gera	4	0,07961023

Info | Bauwerke | Bauwerke_FL

Erklärungen: Dargestellt ist ein beispielhafter Datensatz von ATKIS-BasisDLM für die Kategorie Brücken. Er beinhaltet Informationen zur Träger (WDM), Bauwerkstyp (BWF; 1800 = Brücken), Fahrbahnbreite (BRF), Fahrbahnstreifen (FSZ), Anzahl der Vektoren (Frequenzy: hier nicht mit Anzahl an Brücken gleichzusetzen!) und Länge in km. Man erkennt aus diesem Tabellenauszug, dass die einzelnen Bauwerksabschnitte in ATKIS BasisDLM in einer Vielzahl an einzelnen Vektoren abgelegt sind.

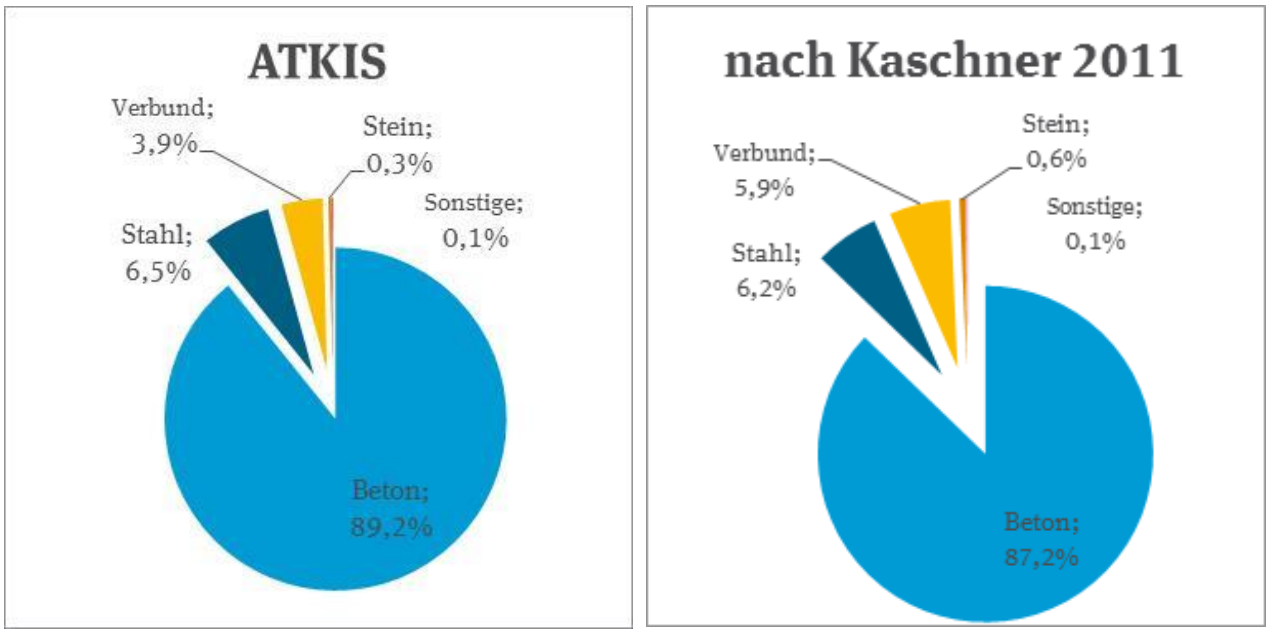
Tabelle 4: Anzahl, Breite und Länge von Brücken nach Straßenkategorie

Straßenkategorie	Durchschnittliche Breite (m)	Länge (km)	Anzahl
BAB	15,5	975	16.621
B	8,2	867	20.511
L	7,0	708	23.449
K	6,0	494	18.400
G	5,6	1.329	50.986

Ermittlung der Massen

Im ATKIS-BasisDLM ist die Bauweise von Brücken als Merkmal enthalten. Die Zusammensetzung der Brückenvektoren hinsichtlich der Bauweise liefert das in Abbildung 8 dargestellte Ergebnis, wonach Betonbrücken deutlich am häufigsten vorkommen. Die Verteilung in anderen Studien stellt sich ähnlich dar.

Abbildung 8: Bauweisen von Brücken, in Längenanteilen

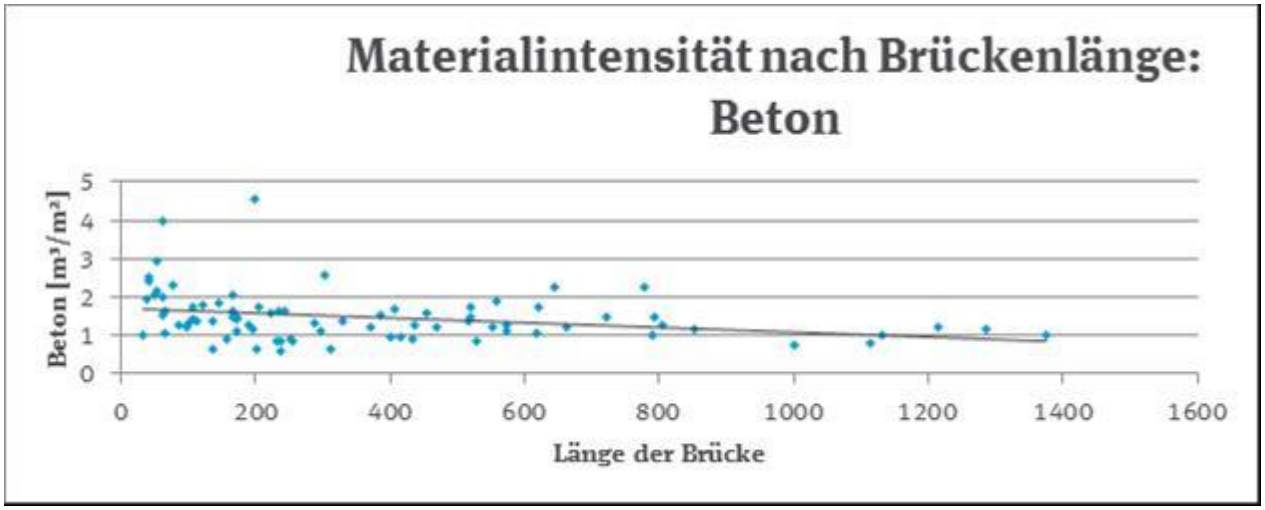


Erklärungen: In Abbildung 8 werden die Brückentypen bzw. die Hauptmaterialarten aus zwei Datenquellen gegenübergestellt. Man erkennt eine gute Übereinstimmung der hier zugrundeliegenden ATKIS-Informationen mit einer Veröffentlichung der BAST; Betonbrücken haben einen Anteil von knapp 90 %.

Mit den ermittelten Brückenflächen und Bauweisen (Materialarten) gilt es im weiteren Schritt die verbauten Massen abzuschätzen. Diese lassen sich über die Statistiken oder aus den ATKIS-BasisDLM Berechnungen nicht auslesen. Es mussten daher auch hier Kennzahlen abgeleitet werden.

Die Materialintensität von Brücken sinkt mit ihrer Länge (Abbildung 9). Dieser Zusammenhang könnte bei der Auswertung von Datensätzen der Straßeninformationsbanken der Länder berücksichtigt werden, sofern Angaben zu einzelnen Bauwerken vorliegen. Eine derartige Auswertung war im Rahmen des Projektes jedoch nicht möglich. Die Kennzahlen wurden unabhängig von Brückenlängen über Auswertungen vorhandener Literatur im Sinne von Materialmengenanalysen erarbeitet. Zu nennen sind hier vor allem Publikationen des BMVBS der Jahre 1994 bis 2010 zu „Brücken und Tunnel der Bundesfernstraßen“, die für die neu errichteten Brücken Angaben zu Fläche, Stützweite sowie Materialmengen und -arten enthalten.

Abbildung 9: Materialintensität von Betonbrücken in Abhängigkeit ihrer Länge



Erklärungen: In der Abbildung ist der spezifische Betonbedarf in m³/m² Brückenfläche in Abhängigkeit der Brückenlänge aufgetragen. Man erkennt eine deutliche Abnehme des Materialeinsatzes bei zunehmender Brückenlänge.

Die Widerlager der Brücken sind in der Quantifizierung der Massen enthalten. Dies gilt jedoch nicht für die eigentlichen Brückenrampen. Hierfür sind zum einen keine Daten vorhanden. Zum anderen dürften die Erdbaustoffe weder bei der Erneuerung der Brücken noch bei ihrem Rückbau immer mobilisiert werden. Für die Zielsetzung des Forschungsprojektes ist deren Vernachlässigung nicht entscheidend.

Tabelle 5: Materialmengenanalyse für Brücken

Brücken	Beton			Stahl		
	m³/m²	Anteil Unterbau	Anteil Oberbau	t/m²	Anteil Unterbau	Anteil Oberbau
Schrägseilbrücke Bremen-Neustadt	0,6	33 %	67 %	0,7	24 %	76 %
Neue Nibelungenbrücke Worms	2,2	54 %	46 %	0,3	34 %	66 %
Grünbrücke Hainholz	2,1	54 %	46 %	0,2	32 %	68 %
LM Stuttgart -Frachthofknotenbrücke	1,2	64 %	36 %	0,5	20 %	80 %
LM Stuttgart - Heerstraßenbrücke	0,9	57 %	43 %	0,5	20 %	80 %
LM Stuttgart – Überführung der Einfahrrampe	1,2	24 %	76 %	0,3	20 %	80 %
Kulmbachtalbrücke	1,4	38 %	62 %	0,2	29 %	71 %
Überführung Querspange Ensdorf	1,6	39 %	61 %	0,3	33 %	67 %
Autobahnüberführung bei Lichtenfels	1,8	72 %	28 %	0,6	33 %	67 %
Insgesamt		47 %	53 %		27 %	73 %

Quelle: Brücken und Tunnel der Bundesfernstraßen 2009

Wie man den erarbeiteten Kennzahlen entnehmen kann, sind Betonbrücken am materialintensivsten und Stahlbrücken am leichtesten. Da das Gewicht allein aber nicht unbedingt eine Aussagekraft über Umweltwirkungen o.Ä. hat, sind hier die CO_2e-Emissionen mit aufgeführt. Es wird ersichtlich, dass Betonbrücken die geringsten Emissionen pro m² aufweisen, jedenfalls aus Sicht der Materialproduktion. Über die Materialkennzahlen erfolgte die Erhebung der in Brückenbauwerken enthaltenden Materiallager.

Tabelle 6: spez. Materialkennzahlen für Brücken (in t/m²) und CO_2e nach [EcoInvent 2014]

	Beton	Stahl	CO_2e 100a
Betonbrücken	3,22	0,62	1,56
Stahlbrücken	1,10	0,92	1,90
Verbundbrücken	2,23	0,94	2,06

2.1.3 Tunnelbauwerke

Ermittlung von Anzahl und Länge

Die Anzahl und Länge der Tunnel wurde wie im Vorkapitel zu Brücken beschrieben aus den ATKIS-BasisDLM-Datensätzen ermittelt. Über die ATKIS-BasisDLM Auswertungen konnte, wie schon bei Brücken ausgeführt, nur die Anzahl der Vektoren berücksichtigt werden. Das heißt ein einzelnes Bauwerk kann durchaus aus mehreren Vektoren zusammengesetzt sein, so dass die Anzahl der Vektoren nicht der Tunnelanzahl gleichgesetzt werden kann.

Tabelle 7: Anzahl, Länge und Breite von Tunneln nach Straßenkategorie

Straßenkategorie	Durchschnittliche Breite (m)	Länge (km)	Anzahl
BAB	9,1	124	319
B	7,9	126	677
L	7,5	42	470
K	6,7	20	337
G	7,8	95	1.653

Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt. Nach Kaschner [2011] beträgt die Länge der Tunnel an Bundesfernstraßen in Summe 242 km. Dies deckt sich gut mit den hier durchgeführten Erhebungen bzw. Auswertungen. Vergleichszahlen für die übrigen Straßenkategorien liegen nicht vor.

Ermittlung der Massen

Für die Abschätzung des in Tunnel enthaltenen Materialagers wurden folgende Kennzahlen herangezogen: 13,73 t/m² Beton sowie 1,39 t/m² Stahl. Die Erhebung der Materialkennzahlen erfolgte hier auch hauptsächlich aus einer Auswertung vor allem der Publikationen des BMVBS der Jahre 1994 bis 2010 zu „Brücken und Tunnel der Bundesfernstraßen“.

2.1.4 Sonstige Bauwerke

Unter den sonstigen Bauwerken sind im Rahmen der Studie Lärmschutzwände, Lärmschutzwälle und Stützbauwerke verstanden. Auch für diese Bauwerke wurde eine Quantifizierung versucht.

Ermittlung von Anzahl und Länge

Die Längen und Flächen der Lärmschutzwände sind Veröffentlichungen des BMVI zu entnehmen [BMVI 2014]. Die Aufteilung über die verschiedenen Bauarten wurde über die übermittelten sib-Datenbanken ermittelt. Die Unterscheidung nach Bauweisen der Lärmschutzwände läuft über die Mate-

rialarten der Wände: Beton, Holz, Metall (Aluminium) und Kunststoff. So gibt es 2.221 km an Lärmschutzwänden an Bundesfernstraßen mit einer Fläche von 8,2 Mio. m². Davon sind 51 % aus Beton, 20 % aus Kunststoff, 18 % aus Metall und 11 % aus Holz.

Für Lärmschutzwälle und Stützmauern konnten keine einheitlichen bundesweiten Daten erhoben werden.

Ermittlung der Massen

Die Materialkennwerte wurden über eine Literaturrecherche für technische Bauweisen der verschiedenen Wandarten ermittelt. Für Kunststoffwände konnten keine Materialkoeffizienten ermittelt werden. Für die Berechnung von Fundament und Pfosten wurde sich auf eine Berechnungsgrundlage der FSGV berufen [FSGV 1997]. Die Materialkennzahlen für die verschiedenen Bauweisen der Lärmschutzwände wurden von einem Hersteller für Lärmschutzwände übernommen [Beck 2014].

Tabelle 8: Materialkennzahlen für Fundament und Pfosten

	Höhe (m)	Breite (m)	Länge (m)	ø (m)	Abstand (m)	Masse (kg/m)	Material
Bohrpfahl	2,5			0,7	5	458,0	Beton
Stahlpfosten	4,85				5	18,2	Stahl
Betonsockel	1	0,125	5		5	297,5	Beton

Tabelle 9: Materialkennzahlen für Lärmschutzwände aus Holz

	Höhe (m)	Breite (m)	Länge (m)	ø (m)	Abstand (m)	Masse (kg/m)	Masse [kg/m²]	Material
Mineraldämmwolle	2,68	0,04	3,7			7,9	2,64	Dämmwolle
Dachprofil	0,105	0,132	5			6,9	2,31	Holz
Halbrundstab	2,7			0,054	0,128	17,9	5,98	Holz
Bohlen	2,87	0,03	5		5	43,1	14,35	Holz
Mittelholz	0,1	0,05	5		5	2,5	0,83	Holz
Hallraumleiste	0,06	0,03	5		5	0,9	0,30	Holz
Bodenprofil	0,105	0,132	5		5	6,9	2,31	Holz

Tabelle 10: Materialkennzahlen für Lärmschutzwände aus Metall (Aluminium)

	Höhe (m)	Breite (m)	Länge (m)	Fläche (m²)	Volumen (m³)	Masse (kg/m)	Masse [kg/m²]	Material
Dämmmatte	3	0,06	5		0,9	18,0	6,0	Dämmwolle
Deckelprofil	3	0,0012	5		0,018	9,7	3,2	Aluminium

	Höhe (m)	Breite (m)	Länge (m)	Fläche (m²)	Volumen (m³)	Masse (kg/m)	Masse [kg/m²]	Material
Deckelprofil (gelocht)	3	0,001	5		0,015	8,1	2,7	Alumi-nium
Strang-pressprofil	0,01	0,03	5	0,000936	0,00468	2,5	0,8	Alumi-nium

Tabelle 11: Materialkennzahlen für Lärmschutzwände aus Beton

	Höhe (m)	Breite (m)	Länge (m)	Volumen (m³)	Masse (kg/m)	Masse [kg/m²]	Material
Tragbeton	3	0,125	5	1,875	892,5	297,5	Beton
Vorsatzbeton (1)	3	0,05	4,82	0,723	344,15	114,7	Beton
Vorsatzbeton (2)	3	0,075	4,82	0,54225	258,11	86,0	Beton

2.2 Erhebung des Status Quo - Massen

Führt man nach den in Kapitel 2.1 aufgeführten Methoden die Angaben zu Baukörpern zusammen, ergibt sich daraus eine Erhebung der in den Straßenkörpern oder in Straßenbauwerken derzeit verbauten Massen.

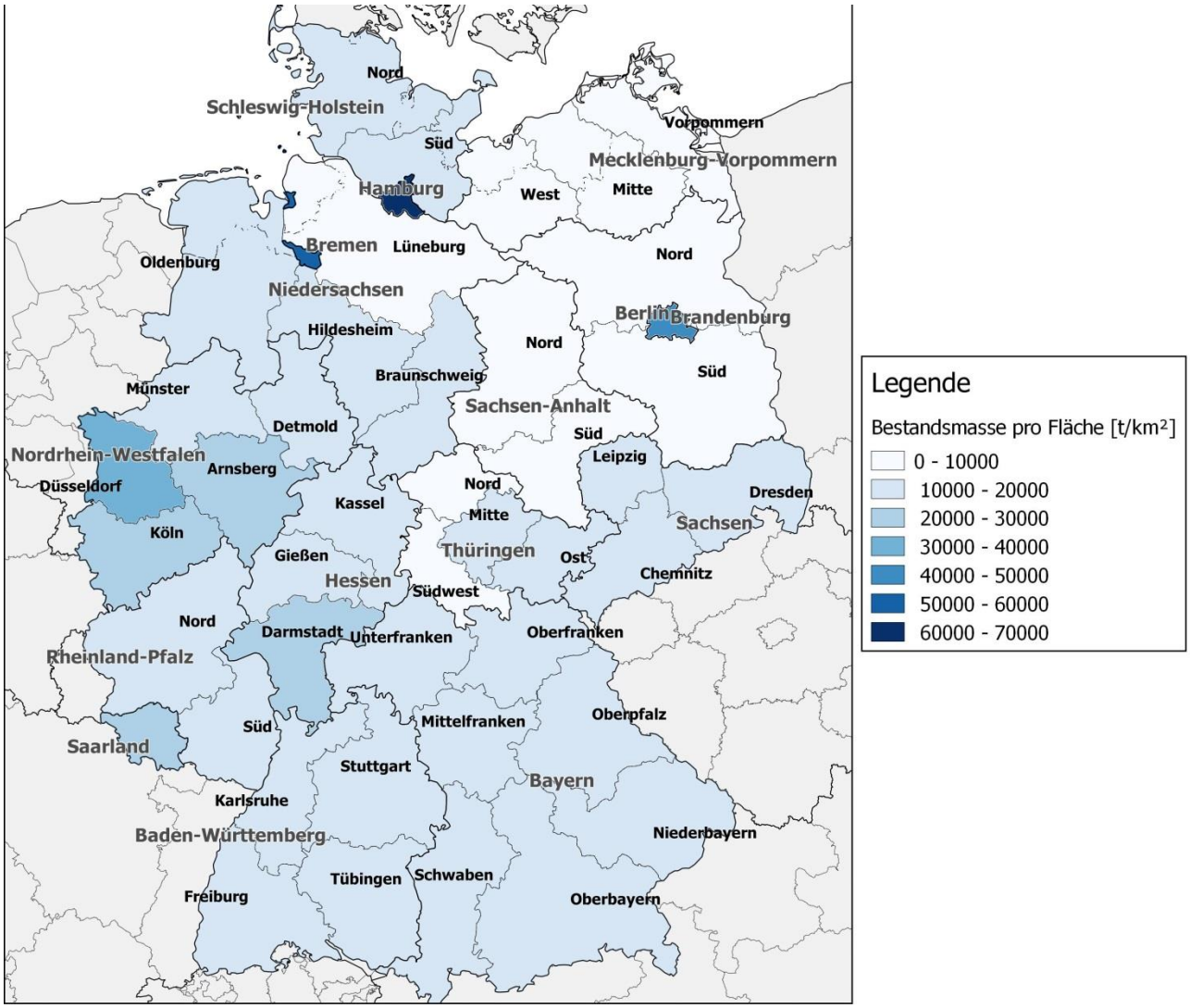
Für die Straßenkörper inklusive der Wirtschaftswege ergibt sich ein Materiallager von etwa 4,2 Mrd. Tonnen. Hierzu tragen die ungebundenen Schichten, d.h. die Frostschutz- und Schottertragschichten entscheidend bei. In Abhängigkeit des großen Anteils, den Gemeindestraßen am gesamten Straßennetz aufweisen, sind nach diesen Schätzungen alleine hier deutlich mehr als 50 % dieser Materialien enthalten.
Diese Abschätzung ist auch für kommunale Straßen mit Unsicherheiten verbunden. Nicht alle Straßen sind zu einem Zeitpunkt errichtet worden, zu dem bereits eine RStO vorlag. Unabhängig davon müssen Straßenkörper in Gemeinden auch nach diesen Vorgaben errichtet worden sein. Die Angaben zum Materiallager für ungebundene Schichten können demnach etwas überschätzt sein. Es wird daher zu diesem Sachverhalt eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Tabelle 12: Materiallager Straßenkörper (in Mio. t)

Straßenkategorie	Asphalt	Beton	Ungebundene Schichten	Pflaster
BAB	180	122	207	0
B	166	7	170	0
L	197	9	256	1
K	168	15	311	14
G	846	75	1.571	73
W	57	82	269	22
Summe	1.614	310	2.784	110

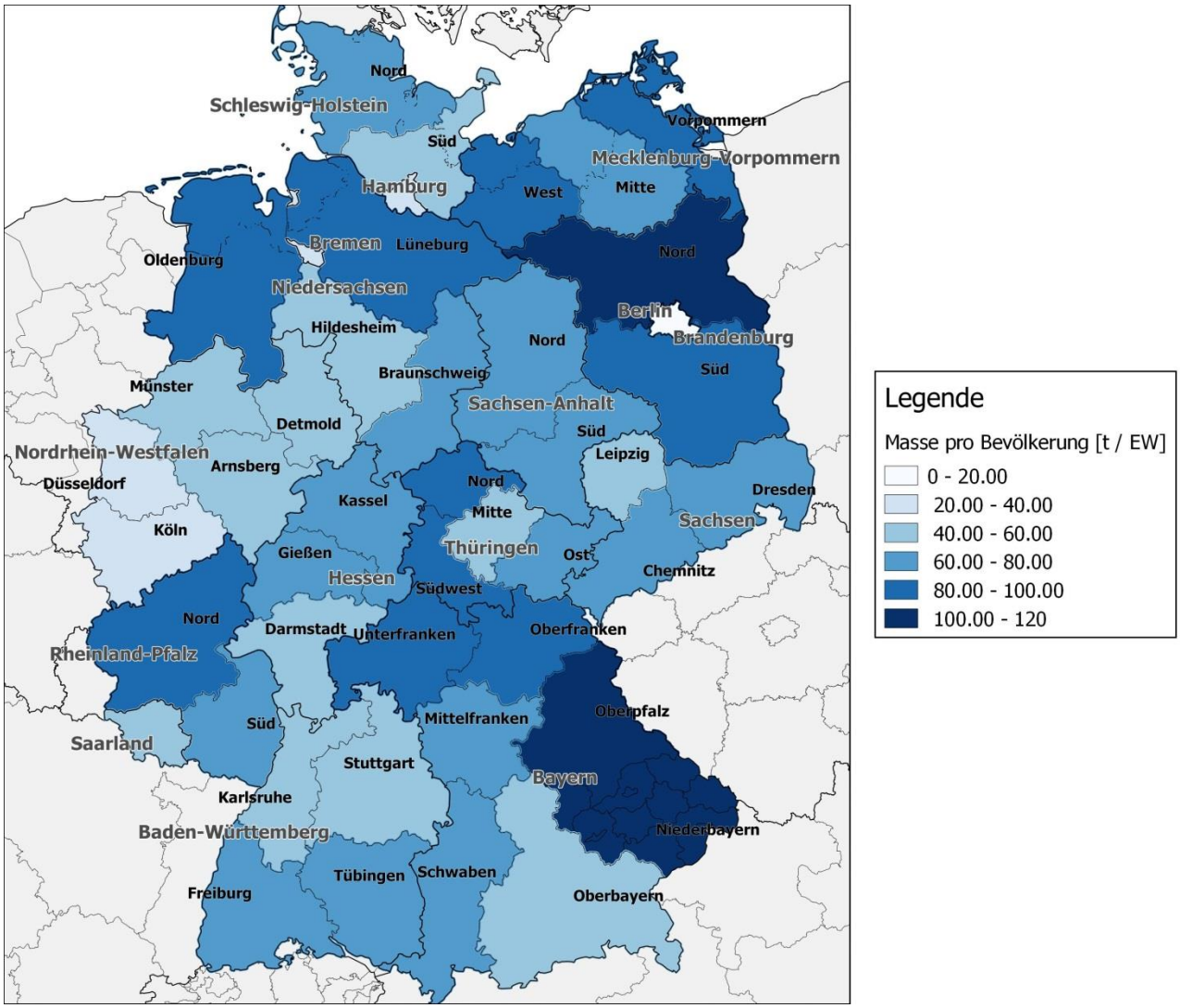
Abschätzungen des im Straßenkörper enthaltenen Materiallagers wurden bereits an anderer Stelle durchgeführt. Zu nennen ist hier insbesondere die Studie „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess), die in der Verantwortung des Wuppertalinstitutes erstellt wurde. Die hier erhobenen Werte lassen sich nicht unmittelbar den obigen Zahlen gegenüberstellen, da in dieser Arbeit eine Ausdifferenzierung nach einzelnen Stoffen erfolgte. So sind die Asphalte bspw. ausdifferenziert in Splitte und dem Bindemittel Bitumen, oder im Falle des Betons ausdifferenziert nach Sand, Kies / Splitt und Zement als hydraulisches Bindemittel. Ein Quervergleich ist aber für die erhobenen Gesamtmassen pro Straßenkategorie möglich.
Danach liegen die Ergebnisse nach MaRess für jede Straßenkategorie höher. Wirtschaftswege wurden in MaRess nicht erhoben. In erster Näherung lässt sich demnach festhalten, dass über die hier vorgelegte Ermittlung der Materiallager eher keine Überschätzung der Massen erfolgte.

Die Grundinformationen für diese hier benannten Materiallager sind regionale differenziert nach Kreisen und kreisfreien Städten erhoben worden. Wie unterschiedlich dieses Materiallager verteilt ist, wird aus den folgenden thematischen Karten ersichtlich. Das Lager ergibt sich zum einen aus der unterschiedlichen Erschließungsnotwendigkeit. Während in den Stadtstaaten das Lager pro Einwohner im Gegensatz zu den ländlichen und dünnbesiedelten Regionen gering ist, zeigt sich deren hohe Besiedlungsdichte in den spezifischen Werten pro Fläche. Über diese strukturellen Unterschiede hinaus zeigen sich jedoch auch regionale Unterschiede.



Thematische Karte 13: Verteilung der Massen im Bestand pro Fläche in t/km² nach Regionen

Erklärungen: Die Karte zeigt die Verdichtungsregionen auf. Die höchsten Bestandsmassen pro Fläche sind für die Stadtstaaten, Nordrhein-Westfalen (insbesondere Regierungsbezirk Düsseldorf), das Saarland sowie Südhessen (Regierungsbezirk Darmstadt) zu erkennen; die niedrigsten Werte werden im Nordosten und der Mitte der Bundesrepublik sowie in der Region Lüneburg verzeichnet.



Thematische Karte 14: Verteilung der Massen im Bestand in Tonnen pro Einwohner nach Regionen

Erklärungen: Die Karte zeigt die peripheren Regionen auf. Hier ist der Materialeinsatz im Straßennetz pro Einwohner am höchsten; so werden die höchsten Werte für den Osten Bayerns sowie den Norden Brandenburgs verzeichnet, aber auch den Norden von Rheinland-Pfalz, von Bayern und von Niedersachsen, den Westen Thüringens, den Süden Brandenburgs sowie Mecklenburg-Vorpommern (mit Ausnahme der Region „Mitte“).

Tabelle 13: Materiallager Tunnel

	Breite (m)	Länge (km)	Beton (Mio. t)	Stahl (Mio. t)
BAB	9,1	123,7	15,4	1,6
B	7,9	126,4	13,8	1,4
L	7,5	42,2	4,3	0,4
K	6,7	20,3	1,9	0,2
G	7,8	94,7	10,1	1,0
Summe			45,5	4,6

Die hier ermittelten Werte für Tunnel liegen deutlich (Faktor 2) über den Werten, die im Forschungsprojekt „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess) erhoben wurden. Im Vergleich zu den in Brücken enthaltenen Materiallagern spielen Tunnel jedoch eine eher geringere Rolle. Auch hier zeigt der Vergleich zu MaRess deutlich abweichende Werte.

Tabelle 14: Materiallager Brücken

	Breite (m)	Länge (km)	Beton (Mio. t)	Stahl (Mio. t)
BAB	15,5	975	45,8	9,9
B	8,2	867	21,6	4,7
L	7,0	708	12,6	3,3
K	6,0	494	7,6	1,9
G	5,6	1.329	19,5	4,9
Summe			107,1	24,7

Tabelle 15: Materiallager Lärmschutzwände

	Länge (km)	Fläche (m²)	Beton (Mio. t)	Stahl (Mio. t)	Alumi-nium (Mio. t)	Holz (Mio. t)	Dämm-wolle (Mio. t)
Holz	235	865.954	0,18	0	0	0	0
Metall	404	1.488.967	0,31	0,01	0,01	0	0,01
Beton	1.135	4.185.645	2,94	0,02	0	0	0
Kunststoffe	447	1.649.434	-	-	-	-	-

Wie die Materiallager der Lärmschutzwände zeigen, sind die zu erwarteten Massenströme verhältnismäßig klein. Durch die fehlende regionale Zuordnung der Wände und somit fehlende Erfassung in den regionalen Strömen sollten die Ergebnisse der Studie nicht beeinflusst werden.

Stützbauwerke und Wälle konnten nicht quantifiziert werden, da hierfür einerseits die Datenlage des Bestands mangelhaft ist, es andererseits nicht möglich war, Materialkennzahlen zu ermitteln.

3 Zu erwartende Materialflüsse

3.1 Von den Baukörpern zu den Stoffströmen – Ableitung von Szenarien

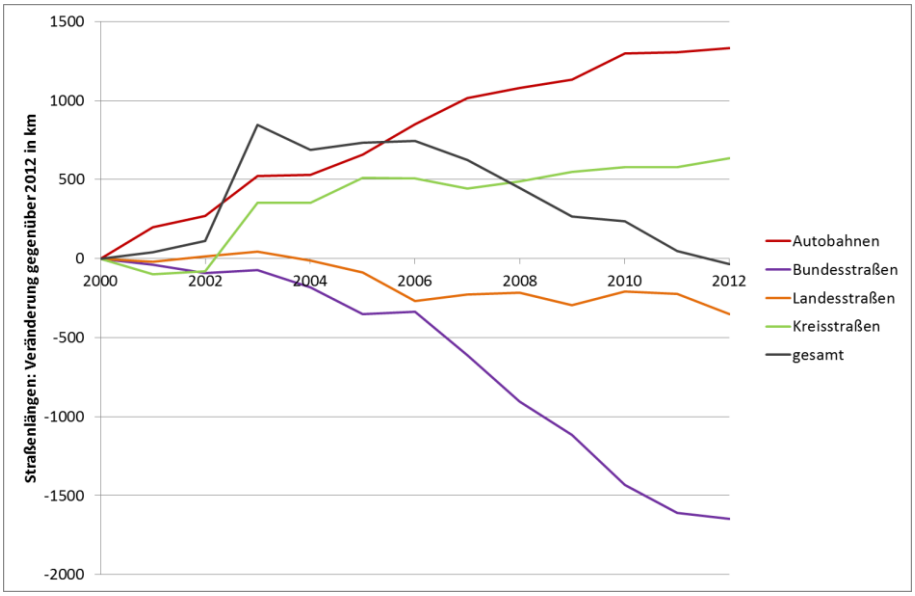
Die Entwicklung des Straßennetzes bis zum Jahr 2030/2050 wird in einem Stoffstrommodell auf Basis der Datenbanksoftware Microsoft Access beschrieben. Grundsätzlich entstehen die Massenflüsse aus dem Zubau von Straßenkörpern, ihrem Rückbau, einem Ausbau (Veränderung Querschnitt) oder den notwendigen Erhaltungsmaßnahmen. Der Umfang dieser Maßnahmen resultiert aus den Vorgaben der entsprechenden Planwerke und den technischen Notwendigkeiten zum Erhalt der Infrastruktur in Abhängigkeit der vorhandenen Finanzmittel. In der Praxis bestimmen insbesondere letztere die Bautätigkeit, so dass weder die einzelnen Planwerke (bspw. Bundesverkehrswegeplan) noch die Informationen zum Zustand der Straßen alleine als Grundlage zur Abschätzung der zukünftigen Stoffströme genommen werden können.

3.1.1 Überlegungen zur Erweiterung des Straßennetzes

Der Rückbau, der ohne einen Ersatzneubau stattfindet, wird vernachlässigt, denn es ist davon auszugehen, dass dieser nur im absoluten Ausnahmefall und damit in einem sehr geringem Umfang erfolgen wird, da er mit Kosten, jedoch ohne dezidierten Nutzen verbunden ist. Die den Statistiken für einzelne Straßenkategorien zu entnehmenden Rückgänge der Netzlänge ergeben sich sehr wahrscheinlich ausschließlich aus Umwidmungen und nicht aus einem tatsächlichen Rückbau eines Straßenbaukörpers und der Entsiegelung der Flächen. Ein genauer Nachweis dieser These ist nicht möglich, da für das kommunale Straßennetz keine Statistiken vorliegen.

Den drastischen Effekt der Umwidmungen verdeutlicht folgende Betrachtung für das überregionale Netz. Für dieses ist bekannt, dass hier kein Rückbau der Straßen in relevantem Maß im letzten Jahrzehnt stattgefunden hat. Weiterhin ist bekannt, dass im Zeitraum zwischen 2001 und 2013 insgesamt knapp 1900 km Bundesstraße neu- oder ausgebaut wurden (BMVI 2014). Betrachtet man die Längenentwicklung der Bundesstraßen, so sind im Jahr 2012 Netto 1600 km weniger Bundesstraßen in den Statistiken geführt als im Jahr 2000. Die Landes- und Kreisstraßen verzeichnen aber keine drastische Zunahme, so dass davon auszugehen ist, dass das kommunale Straßennetz nicht nur durch den tatsächlichen Zubau, sondern auch durch derartige Umwidmungen angewachsen ist.

Abbildung 10: Entwicklung der Straßenlängen überregionaler Straßen 2000-2012



Erklärungen: Die Graphik zeigt die Entwicklung des Straßennetzes der unterschiedlichen Baulastträger über die Zeit, ausgehend von dem Jahr 2000. Während Bundesautobahnen und Kreisstraßen eine stetige Ausdehnung erfahren haben, ging das Netz an Bundesstraßen deutlich zurück (Angaben in km).

Wie die Praxis und der Austausch mit den Verantwortlichen vor Ort zeigt, wird ein faktischer Rückbau im Straßennetz vermieden. Dies entspricht angesichts der Zuwächse im Verkehrsaufkommen auch nicht den faktischen Notwendigkeiten und stößt auf Widerstände vor Ort. Der Rückbau ist zudem mit Kosten verbunden (und dies bei allgemein angespannter Haushaltslage), dem kein verkehrstechnischer Nutzen entgegensteht.

Hinsichtlich des Zu- und Ausbaus von Straßen und Bauwerken ist davon auszugehen, dass im kommunalen Straßennetz auch in Kommunen mit Einwohnerzuwächsen möglichst auf die Entwicklung im Siedlungsbestand geachtet wird. Dies entspricht den politischen Vorgaben, den weiteren Zuwachs der Siedlungsflächen gegenüber heute deutlich zu reduzieren. Auf der grünen Wiese dürften vor allem die Erschließungen eher für Gewerbe und Industrie erfolgen. Die Straßeninfrastruktur hat einen bestimmten Anteil an Gebäude- und Freiflächen (12 %–16 %). Die Entwicklung des kommunalen Straßenbestandes kann man daher an den postulierten Zuwachs dieser Flächen koppeln. Eine weitere Unterteilung ist hier noch nach Gebäude- und Freiflächen mit Wohn- bzw. Wirtschaftszweck zu treffen, wobei die anteilige benötigte Straßeninfrastruktur bei der überschlägigen Betrachtung als gleich angenommen wird. Bei einer angenommen täglichen Flächeninanspruchnahme an Siedlungsfläche von 30 ha (siehe z.B. PANTA RHEI REGIO) sind dies überschlägig etwa 40.000 km Straße. Unstreitig ist auch die Binnenentwicklung mit der Erweiterung des Straßennetzes verbunden. Werden bspw. ehemalige Industrie- und Gewerbeflächen für Wohngebiete erschlossen, bedarf dies des Ausbaus der entsprechenden Erschließungsstraßen. Dies konnte jedoch nicht berücksichtigt werden.

Für das übergeordnete Straßennetz wird zudem das Planwerk des Bundes herangezogen. Nach der Verkehrsprognose für 2030, welche von der Umsetzung aller Projekte des Bundesverkehrswegeplans 2003 im vordringlichen Bedarf ausgeht, bedeutet dies einen Zuwachs um je 1.000 km Neu- und Ausbau der Bundesautobahnen und den Neubau von 3.000 km Bundesstraßen (inkl. 450 Ortsumfahrungen). Hierbei sind Projekte, welche nach dem Investitionsrahmenplan schon umgesetzt wurden, berücksichtigt, was einem recht aktuellen Fortschrittsstand entspricht. Aus- und Neubauaktivitäten der Bundesautobahnen sind hierbei regionalisiert erfasst.

Die Entwicklung des Netzes an Landes- und Kreisstraßen ist in der oben genannten Abschätzung aus der Prognose der Entwicklung der Siedlungsflächen enthalten.

Für die Abschätzung des Neu- und Ausbaus von Brücken und Tunnel wurden zunächst Kennzahlen erarbeitet, so dass eine Berechnung entlang der prognostizierten Entwicklung der Siedlungsflächen möglich war. Für jede Straßenkategorie wird somit eine Kennzahl ermittelt, welche die Länge der Bauwerke auf die Länge des Straßennetzes bezieht. Somit wird unterstellt, dass beim Straßenneubau auch dem Anteil entsprechend der Bau von entsprechenden Bauwerken anfällt. Dies geschieht auf Ebene der Kreise, sodass auch regionale und topologische Spezifika abgebildet werden können.

3.1.2 Überlegungen zu Ausbau und Unterhaltung / Erhaltung

Hinsichtlich des Erhalts des Straßennetzes kann davon ausgegangen werden, dass beim kommunalen Straßennetz die Erhaltungsmaßnahmen vor allem in Abhängigkeit der Finanzmittel erfolgen. Die Befragungen zahlreicher Kommunen zeigten, dass die Deckschichten alle 20–40 Jahre erneuert werden und ein Vollausbau / eine grundhafte Erneuerung der Straßenkörper bislang rechnerisch alle 100 Jahre erfolgt. Allerdings ist aufgrund der steigenden Belastungen vieler Straßen davon auszugehen, dass die Zyklen der Vergangenheit sich nicht auf die Zukunft fortschreiben lassen, sondern kürzer werden. Erhaltungsmaßnahmen für Wirtschaftswege werden im Rahmen des Projektes vernachlässigt.

Für die Straßen außerorts werden für die Erneuerungszyklen der Deckschichten die typischen Faustzahlen angesetzt. Darüber hinaus wird für Kreisstraßen grundsätzlich ein Hocheinbau unterstellt. Die Straßenkörper werden nicht grundhaft erneuert, sondern nach der Vorgaben der RStO (Tafel 5) durch Aufbringen von Asphaltschichten überbaut.
Für die höher belasteten Straßen ist dies nicht möglich. Hier wird ein Vollausbau gemäß der üblichen Zyklen unterstellt. Es wurde mit verschiedenen Fachleuten aus der Praxis (v.a. Landesbauämter) zur Lebensdauer und zum Materialbedarf Rücksprache gehalten. Eine komplette Erneuerung des Straßenkörpers wird möglichst vermieden und nur bei stark belasteten Straßen (>10.000 Fahrzeuge pro Tag und hoher Schwerlastverkehrsanteil) notwendig.

Tabelle 16: Erneuerungszyklen für gebundene und ungebundene Schichten des Straßenaufbaus differenziert nach Straßenkategorie, Ortslage (außerorts/innerorts), Deckschichtmaterial und Bauklasse (in Jahren)

Straßen-kategorie	Ortslage	Deckschicht Material	Bauklasse	Deck-schicht	Binder-schicht	Trag-schicht	Ungeb. Schicht
BAB	-	alle	-	10	20	50	100
B	-	alle	-	10	20	50	100
G	-	Asphalt	SV, I, II	15	30	60	100
G	-	andere	SV, I, II	100	100	100	100
G	-	Asphalt	III, IV, V, VI	50	100	100	100
G	-	andere	III, IV, V, VI	100	100	100	100
K	ao	alle	III, IV, V, VI	15	100	100	100
K	ao	alle	SV, I, II	15	30	60	100
K	io	alle	III, IV, V, VI	100	100	100	100
K	io	alle	SV, I, II	15	30	60	100

Straßen-kategorie	Ortslage	Deckschicht Material	Bauklasse	Deck-schicht	Binder-schicht	Trag-schicht	Ungeb. Schicht
L	ao	Pflaster	-	30	100	100	100
L	ao	Asphalt, Beton	-	15	30	60	100
L	io	Asphalt, Beton	-	15	30	60	100
L	io	Pflaster	-	30	100	100	100
W	-	alle	-	100	100	100	100

Auch für die Abschätzung der Materialflüsse aus der Erneuerung von Brücken und Tunnel werden entsprechend Zyklen angenommen. Auf eine Ausdifferenzierung nach Baulast und Baumaterial wird dabei verzichtet. Für Brücken wird eine pauschale Erneuerung alle 80 Jahre unterstellt, für Tunnel alle 100 Jahre.

3.1.3 Überlegungen zu Rückführbarkeit von Abfallmassen

Bei den oben genannten Baumaßnahmen fallen unterschiedliche Abfallmassen an. Diese Abfallmassen weisen unterschiedliche stoffliche Zusammensetzungen und bautechnische Eigenschaften auf, die sie als Ausgangmaterial für unterschiedliche Bauprodukte geeignet machen.

Asphalt

In der Vergangenheit wurden Ausbauasphalte vor allem zur Herstellung von Asphalttragschichten eingesetzt. Mit der Verlagerung vom Neubau zu Erhaltungsbaumaßnahmen ist der Bedarf an Asphalttragschichten zurückgegangen und wird noch weiter zurückgehen und damit das Wiederverwenden in Asphaltbinder und -deckschichten weiter an Bedeutung gewinnen.

Um dies zu ermöglichen, müssen höhere Anforderungen an das Ausgangsmaterial gestellt werden. Dies setzt eine Asphaltgranulatwirtschaft voraus, die beginnend bei der Ausbaustelle auf hohe Selektivität und gezielte Aufbereitung achtet. Für die Ausbaustelle bedeutet dies ein schichtenweiser Ausbau der Deck-, Binder- und Tragschichten und anschließender separater Lagerung des Materials. Die getrennte Gewinnung und Lagerung des Asphaltgranulates ist Voraussetzung für eine hochwertige Verwendung in möglichst hohen Anteilen.

Der Wiedereinsatz von Altasphalten darf nicht mit Qualitätseinbußen im Endprodukt einhergehen. Schon im Jahre 1998 konnte durch ein Forschungsprojekt anhand von Praxisbeispielen [DAV 2014] gezeigt werden, dass Asphaltmischgut mit Zusatz von Altasphaltgranulat einem ausschließlich auf Basis primärer Rohstoffe hergestellten Asphaltmischgut bei entsprechender Sorgfalt in der Auswahl des Ausbauasphaltes gleichwertig sein kann. Dies wurde auch durch weitere Untersuchungen und Forschungsprojekte bestätigt. In der Praxis können Asphaltgranulatanteile auch über 50 % bei der Herstellung von Asphaltmischgut sowohl für Trag- als auch Binder- und Deckschichten erfolgreich eingesetzt werden, sofern der Ausbauasphalt sorgfältig gewonnen wurde, die Eingangskontrolle den Erfordernissen entspricht, die separat gewonnen Altmassen auch separat gelagert werden, eine Prüfung und Klassifizierung gemäß den Vorgaben der technischen Regelwerke erfolgt, eine erweiterte Erstprüfung durchgeführt wird sowie die Mischanlagen die maschinen- und verfahrenstechnischen Voraussetzungen erfüllen.

Tabelle 17: Zugabemöglichkeiten von Asphaltgranulat zu den Asphaltmischgutarten (nach Tabelle 1 des M WA, Ausgabe 2009/Fassung 2013) [DAV 2014]

Asphaltgranulat aus	Zugabemöglichkeiten zu Asphaltmischgut für				
	Gussasphalt	Walzasphalt-deckschicht	Asphalt-binderschicht	Asphalt-tragschicht	Asphalttrag-deckschicht
Gussasphalt	++	o	o	+	o
Walzasphalt-deckschicht	-	++[1)]	++	+	+
Asphaltdeck[2)]- und Asphaltbinderschicht	-	o[3)]	++	+	+
Asphaltbinderschicht	-	o[3)]	++	+	+
Asphalttrag- der Asphaltdeckschicht	-	-	-	++	o

[1)] Nach TL Asphalt StB 07/13
[2)] in der Regel aus Gussasphalt
[3)] nach gesonderter Aufbereitung

++ = vorrangig, + = möglich, aber ohne volle Ausnutzung der technischen Eigenschaften und der Wirtschaftlichkeit, o = bedingt möglich nach besonderer Prüfung, - = nicht möglich

Die maximal mögliche Zugabemenge von Asphaltgranulat richtet sich nach der Eignung des Asphaltgranulates, seiner Gleichmäßigkeit und den maschinentechnischen Voraussetzungen der jeweiligen Asphaltmischanlage. Hinsichtlich der Eigenschaften des Ausgangsmaterials limitierend wirkt oft die Qualität des Bindemittels. Aufgrund von Alterung weist das Bitumen häufig nicht mehr die gewünschten Eigenschaften auf. Forschungsprojekte zeigen, dass man dem mit Zugabe von Rejuventatoren begegnen kann, so dass sich mit dieser Verjüngung Wiederverwendungsraten von bis zu 90 % erreichen lassen. Derzeit befinden sich diese Mittel noch in der Erprobungsphase, mittelfristig steht diesem Ansatz jedoch nichts entgegen. Es werden Rahmenbedingungen festgelegt werden, bei denen diese Rejuventatoren zielsicher eingesetzt werden können [DAV 2014]. Wie eine Studie des Öko-Institutes [2014] zeigt, ist der Bau einer Fahrbahnbefestigung mit weitestgehendem Einsatz von Sekundärstoffen aus maximal recyceltem Asphalt unter Verwendung eines Rejuventatoren aus ökologischer Sicht gegenüber den klassischen Lösungen aufgrund der erhöhten Substitutionsraten des Bitumen ökologisch zudem deutlich vorteilhaft.

In der Regel handelt es sich bei Heißasphaltmischwerken um Chargenmischanlagen. Gesteinskörnungen, Bindemittel und gegebenenfalls Zusätze werden entsprechend der Rezeptur eingewogen. Altasphaltgranulat kann dem Mischer auf unterschiedliche Weise zugeführt werden, wobei Mischguttemperaturen nicht unterschritten werden dürfen, um die geforderten Produktqualitäten sicherzustellen.

Wird das Altgranulat in einer klassischen Mischanlage zugegeben, erfolgt die Erwärmung des Altgranulates durch die heißen Gesteinskörnungen. Die Zugabemenge beträgt hier in der Regel maximal 30 % und wird durch den Feuchtegehakt des Altasphaltgranulates und die notwendige Temperatur der heißen (Primär)Gesteinskörnungen bestimmt.

Bei einer kontinuierlichen Zugabe des Altgranulates wird dieser gemeinsam mit der Primärgesteinskörnung erwärmt. Die Altasphaltgranulat-Zugabe wird über Bandwaagen gesteuert. Da die Dosierung kontinuierlich erfolgt, findet keine schlagartige Wasserdampfbildung statt. Es sind Zugabemengen bis 40 % erreichbar.

Sollen Zugaberaten von 70 % oder in Einzelfällen gar 100 % erreicht werden, sind Paralleltrommeln als gesonderte Vorrichtungen zur Erwärmung des Altgranulats notwendig. Zur Schonung des enthaltenen Bindemittels und zur Begrenzung von Emissionen wird hier die Temperatur auf maximal 130°C begrenzt. Mit höheren Zugabeanteilen nimmt der Einfluss des Altasphaltgranulates auf die Produkteigenschaften zu. Das Altgranulat muss daher in der Zusammensetzung und der Gleichmäßigkeit in besonderem Maße dem vorgegebenen Verwendungszweck entsprechen.

Ausgehend von einigen Pilotprojekten und den guten Erfahrungen hat das Land Baden-Württemberg für seine Landesstraßen das Maximalrecycling mittlerweile zur Regelbauweise erklärt. So wurde eine ETV-StB-BW erarbeitet, die unter anderem auch Mindestanteile für Altgranulat vorgibt, die für Asphalttrag- und -binderschichten bei mindestens 75 % bis 90 % liegen muss, für Asphaltdeckschichten bei mindestens 40 % bis 50 % [Robert Zimmermann 2014].

Gerade der Altasphalt, der bei kleineren Baumaßnahmen in Schollen anfällt, wird an Bauschuttrecyclinganlagen übergeben und dort gebrochen in Anteilen den Produktmischungen beigegeben, die als Erdbaustoffe, aber auch als Baustoffe für den klassifizierten Straßenbau als Frostschutz- und Schottertragschichten vermarktet werden. Nach TL Gestein darf dieser Anteil maximal 30 % betragen, ein Wert, der in der Praxis aus Gründen der Akzeptanz weit unterschritten wird.

Auf dieser Basis wurde für die Bilanzierung in den Szenarien unterstellt, dass der Altasphalt in Anteilen bis zu 75 % in Asphaltmischwerke und ihre Produkte rückgeführt werden kann.

Betone

Altbeton lässt sich so aufbereiten, dass sich daraus eine Gesteinskörnung herstellen lässt, die in Anteilen wieder in Betonwerken als Rezepturbestandteil von Transportbeton eingesetzt werden kann. Dies zeigen viele Pilotprojekte gerade im Südwesten von Baden-Württemberg [www.rc-beton.de], die vor allem im Raum Stuttgart dazu beigetragen haben, dass sich dieser Baustoff R-Beton zumindest im Ansatz auf dem Markt etablieren konnte. Für Baden-Württemberg sind die Regelwerke und die Ergebnisse aus den Pilotprojekten in einer Broschüre [ifeu 2013] veröffentlicht worden. Die Produkteigenschaften dieser R-Betone dürfen sich nicht von denjenigen von Transportbetonen unterscheiden, die ausschließlich auf Basis primärer Rohstoffe hergestellt wurden. Es gelten die gleichen Regelwerke.

Nach diesen Regelwerken und hier insbesondere nach der Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton [DAfStB 2010] darf diese RC-Gesteinskörnung in Betonen mit einer Druckfestigkeit bis C 30/37 und den für den Hausbau klassischen Expositionsklassen eingesetzt werden. Bei Spannbetonen für Brücken oder auch Stützmauern entlang von Verkehrswegen, die nicht nur Frost sondern auch Tausalz ausgesetzt sind, dürfen nach dieser Richtlinie keine R-Betone eingesetzt werden.

Im Straßen- und Tiefbau besteht aber auch in einfacheren Anwendungsbereichen außerhalb des Konstruktionsbetons ein Bedarf an Betonen. Dies sind im Tiefbau die Verfüllung von Leitungsgräben, Betone zur Bettung von Randsteinen oder Pflastersteinen sowie auch für Sauberkeitsschichten und ähnliche Anwendungen. Auch die Widerlager von Brücken lassen sich problemlos aus R-Beton herstellen. Zum Absatz von Betonen liegen keine statistischen Angaben vor. Trotzdem kann davon ausgegangen werden, dass diese möglichen Absatzwege von R-Beton im Tiefbau oder Straßenbau eine eher kleinere Bedeutung haben.

Ganz anders sieht die Situation bei der Herstellung von Baustoffgemischen aus, die als ungebundene Schichten im Oberbau der Straßen (Frostschutz- und Schottertragschicht) eingesetzt werden sollen. Aufbereitete Altbetone sind hier nach TL Gestein nicht nur zugelassen, in der Praxis stellen sie bei diesen Baustoffen einen zentralen Bestandteil dar. In vielen Regionen lassen sich diese RC-Produkte nur dann in den Straßen- und Wegebau vermarkten, wenn sie quasi ausschließlich auf Altbetone aufbauen, auch wenn danach Altasphaltanteile bis 10 % oder Anteile an aufbereitetem Mauerwerk bis zu 30 % zugelassen sind.

Auf dieser Basis wurde für die Bilanzierung in den Szenarien konservativ unterstellt, dass der Altbeton aus den Bauwerken sowie der Fahrbahndecke aufbereitet und als Bestandteil von Baustoffgemischen verwendet wird, die als Frostschutz- oder Schottertragschicht im Straßenbau eingesetzt werden.

Pflaster

Ein gewisser Anteil an Straßen- und Wegen weist Pflasterdecken auf. In vielen Fällen handelt es sich um einen alten Straßenbelag, der aus behauenen Natursteinen besteht. Neuere Pflastersteine für den Straßen- und Wegebereich bestehen in der Regel aus Beton.

Wie bei jedem Produktionsprozess fallen auch bei der Herstellung von Pflastersteinen Ausschussmassen und Produktionsrückstände an. Wie auch in anderen Produktionsprozessen üblich, werden diese aufbereitet und direkt in die Produktion zurückgeführt. In welchen Anteilen dies erfolgt bzw. welche Anteile der Massenstrom Altmaterial am Rohstoff bzw. der Rezeptur aufweisen darf, ist nicht bekannt und wahrscheinlich sehr an den örtlichen Gegebenheiten gebunden.

Die bei Baumaßnahmen anfallenden Pflastersteine, die sich nicht als solche weiterverwenden lassen, gelangen zu Bauschuttaufbereitern und werden dort der Inputhalde zugewiesen, aus der hochwertige Baustoffe als ungebundene Schichten für den Straßen- und Wegebau hergestellt werden. In manchen Fällen erfolgt auch die Aufbereitung von Produktionsrückständen quasi als externe Dienstleistung durch Bauschuttrecycler.

Schon vor mehr als 10 Jahren wurden im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes in einem Werk für Betonwaren Produktionslinien für Pflastersteine aufgebaut, die auf RC-Gesteinskörnungen aus der Aufbereitung von mineralischen Altmaterialien zurückgriffen. Die Ergebnissen [IWT / Manzke / RWB 2001] zeigten eindeutig die Machbarkeit auf. Die Betonpflastersteine wiesen eine gute, den Regelwerken entsprechende Qualität auf. Inwieweit dieser Impuls auf dem Markt angekommen ist und in weiteren Produktionsstäten praktiziert wird, ist nicht bekannt. Wenn überhaupt in der Praxis umgesetzt, dürfte es sich um Nischenprodukte handeln.

Die Rückführung von alten Pflastersteinen oder auch RC-Gesteinen aus der allgemeinen Aufbereitung von mineralischen Bauabfällen dürfte technisch möglich und von den Regelwerken abgedeckt sein. Trotzdem wurde für die Szenarien konservativ unterstellt, dass auch zukünftig keine Altmaterialien in die Produktion von Pflastersteinen fließen. In Bauprojekten anfallende Pflastersteine werden für die Prognose der Massenflüsse den Bauschuttaufbereitern zugewiesen und hier für die Produktion von ungebundenen Schichten für den Straßen- und Wegebau eingesetzt.

Ungebundene Schichten

Bei Baumaßnahmen im Straßen- und Wegebau fallen auch Abfallmassenströme zur Entsorgung an, die aus den alten Frostschutz- und Schottertragschichten stammen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn innerhalb der geschlossenen Bebauung die Sanierung der Straßen und Wege als Vollausbau / grundhafte Erneuerung umgesetzt werden muss. In einem Vollausbau wird der gesamte Straßenkörper bis zum Planum ausgekoffert, d.h. die gebundenen Schichten des Straßenbelages sowie die ungebundenen Schichten. Da das Straßenniveau nicht verändert werden kann, erfolgt der nachfolgende Neuaufbau der Straße massenneutral. War der alte Straßenkörper bereits im Regelaufbau nach RStO errichtet, ist die gleiche Menge an Altmaterial aus dem Oberbau zu entsorgen wie anschließend wieder eingesetzt werden muss.

Ein Vollausbau einer Straße und damit die Entnahme auch ihrer ungebundenen Schichten ist vor allem dann notwendig, wenn diese keine ausreichende Tragfähigkeit, vor allem jedoch ungenügende Frostschutzeignung aufweisen (sofern bspw. nicht die notwenige umfassende Sanierung der Kanalisation und weiterer Leitungen der Anlass der Baumaßnahme ist). In beiden Fällen ist dies auf einen

zu hohen Feinkornanteil zurückzuführen, der sich im Laufe der Zeit durch die Belastung über Frostdurchgänge sowie durch die verkehrliche Beanspruchung insbesondere durch Schwerlastverkehr ergibt. Ansonsten ist über die Nutzungszeit des Straßenkörpers keine (negative) Beeinflussung des Materials (Schadstoffbelastung) erfolgt.

Die Aufbereitung dieser Altmaterialien aus den ungebundenen Schichten erfolgt daher im Wesentlichen über eine Absiebung der Feinanteile auf das in der Sieblinie benötigte Maß. Dieses Material kann dann wieder zum Neuaufbau des Oberbaus der Straße eingesetzt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass dies vor allem beim Aufbau von Frostschutzschichten oder KFT (kombinierte Frost- und Schottertragschichten) möglich ist.

Auf Basis dieser Überlegungen wird für die Szenarien unterstellt, dass sich 75 % des Altmaterials aus den ungebundenen Schichten des Straßenoberbaus aufbereitet auch wieder in diesen ungebundenen Schichten einsetzen lassen.

Verwendung im Erdbau / Deponiebedarf

Wie aus den obigen Erörterungen deutlich wird, lassen sich Altmaterialien so aufbereiten, dass sie wieder im Straßen- und Wegebau sowie in Straßenbauwerken eingesetzt werden können. Eine Ausnahme stellt der Anteil an Feinmaterial dar, der bei der Aufbereitung der Altmaterialien aus den ungebundenen Schichten des Straßenkörpers anfällt.

Die Massen lassen sich grundsätzlich auch im Rahmen von Erdbaumaßnahmen des Straßen- und Wegebaus (gemäß TL BuB-E) einsetzen. Sie müssen nicht zwangsläufig über die Ablagerung auf Deponien entsorgt werden. Allerdings konkurrieren sie in diesen Einsatzgebieten mit der Verwertung von Böden, die jährlich in großem Umfang zur Entsorgung anfallen und bis dato nur in kleineren Anteilen eine hochwertige Verwendung finden.

3.1.4 Beschreibung der Szenarien

Wie aus den vorangegangenen Ausführungen deutlich wird, lassen sich weder in der Frage Erhaltung noch Neubau aus den Datensätzen zum Bauwerk Straße Massenströme ableiten. Der Umfang der Erhaltungsmaßnahmen macht sich nicht (ausschließlich) an den technischen Notwendigkeiten fest. Dies sowie die Neubaumaßnahmen werden deutlich über die zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel bestimmt. Es ist keine eindeutige Prognose der Entwicklung des Straßenverkehrsnetzes sowie der mit Neubau und Erhaltung verbundenen Massenströme möglich.

Es bedarf daher der Entwicklung von Szenarien, um die möglichen Entwicklungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Randbedingungen aufzeigen zu können. Eine wesentliche Erkenntnis aus der Berechnung der Szenarien liegt in den ermittelten Bandbreiten der aufgezeigten Massenflüsse sowie darin, die Stellschrauben / Randbedingungen zu erkennen, welche die Massenflüsse beeinflussen. Sensitivitätsanalysen sind ein weiterer Baustein und zeigen die Sensitivität von Annahmen auf. Im Rahmen der Szenarien wird die Bandbreite von Materialbedarf und -überschuss über ein minimales und maximales Spektrum bezüglich Bautätigkeit, Bauweisen und spezifischem Materialeinsatz abgebildet. Die Stoffströme können dabei nicht jahresscharf modelliert werden, weil dies jeweils abhängig von der Beschreibung eines bestimmten Stichjahres wäre. Die Umsetzung einer solchen Modellierung wäre nicht zielführend, da die Bautätigkeiten der letzten Dekade zeigten, dass es nur in sehr geringem Maße Zusammenhänge zwischen der zeitlichen Planung und Umsetzung von Bauprojekten gibt. Daher werden Mittelwerte zur prognostizierten Bautätigkeit auf die Jahre verteilt. Das Referenzszenario bildet dabei die wahrscheinlichste Entwicklung bis 2030 ab. Die Szenarien zeigen dann Korridore der Entwicklung bis 2030 und 2050 auf.

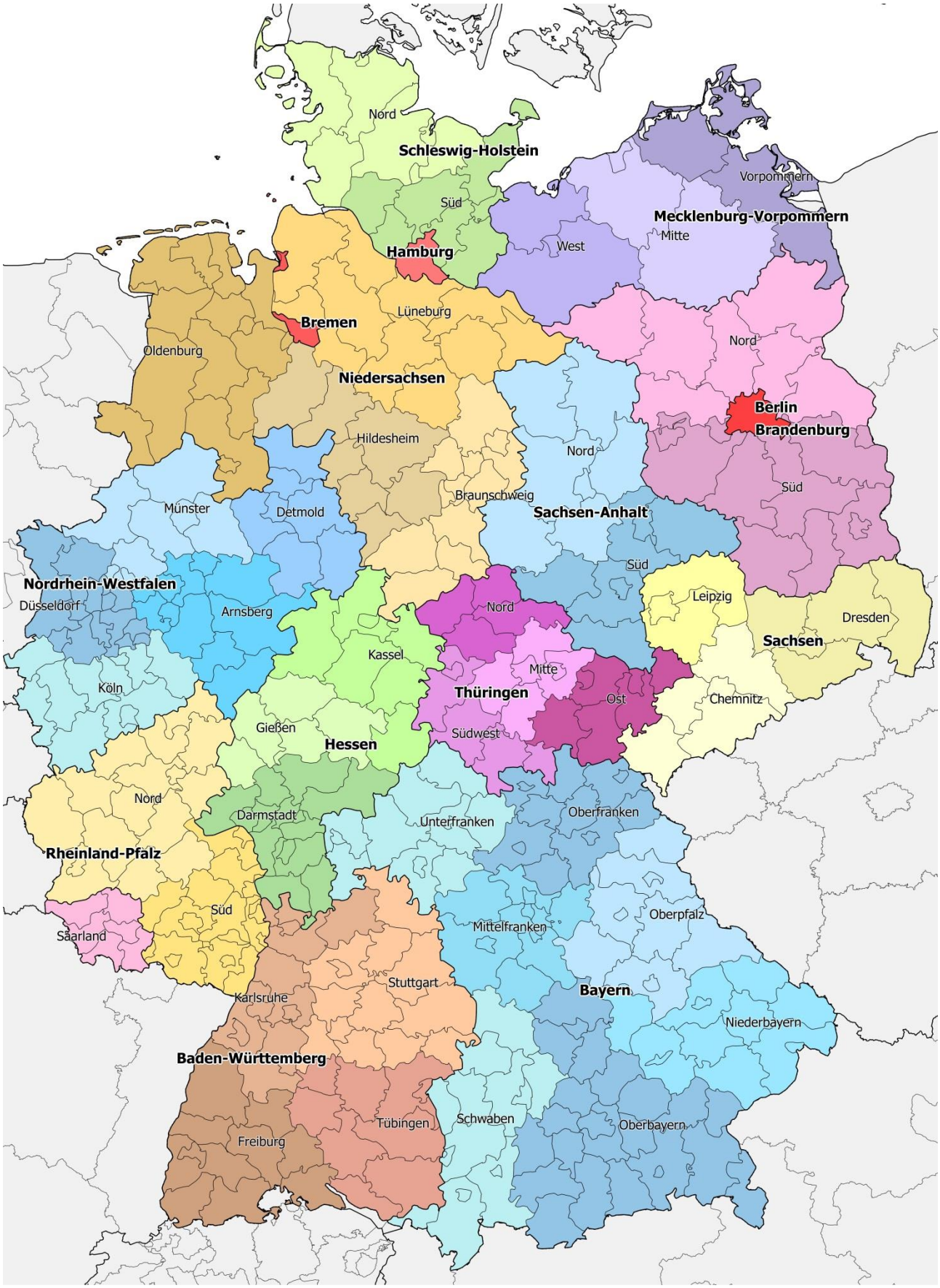
Die Bezifferung erfolgt überschlägig nach den einzelnen Szenarien.

Die Auswertung muss regional differenziert erfolgen, da sowohl die Entsorgung der mineralischen Bauabfälle als auch die Versorgung von Baustoffen regional begrenzt erfolgt. Dazu wird die Arbeitsebene der Kreise verlassen und die Massenströme unter Berücksichtigung der Belastbarkeit und Sinnfälligkeit nach Regionen zusammengeführt. Richtschnur sind die üblichen maximalen Transportentfernungen für mineralische Massen sowie die in den einzelnen Bundesländern bereits vorhandene Verwaltungsstruktur bzw. mögliche Planungsregionen. Die große Anzahl an Regionen sichert trotzdem einen sehr lokalen Blick. Die Regionen wurden zudem nicht willkürlich gewählt, sondern anhand von Verwaltungseinheiten oder Planungsregionen (siehe Tabelle 18 bzw. Thematische Karte 15).

Tabelle 18: Für die Auswertung gewählte Aufteilung nach Regionen

Bayern	Mittelfranken	Ansbach, Ldkr. Ansbach, Erlangen, Erlangen-Höchstadt, Fürth, Ldkr. Fürth, Neustadt a.d. Aisch – Bad Windsheim, Nürnberg, Nürnberger Land, Roth, Schwabach, Weißenburg - Gunzenhausen
	Niederbayern	Deggendorf, Dingolfing - Landau, Freyung – Grafenau, Kehlheim, Landshut, Ldkr. Landshut, Passau, Ldkr. Passau, Regen, Rottal - Inn, Straubing, Straubing – Bogen
	Oberbayern	Altötting, Bad Tölz - Wolfratshausen, Berchtesgadener Land, Dachau, Ebersberg, Eichstätt, Erding, Freising, Fürstenfeldbruck, Garmisch – Partenkirchen, Ingolstadt, Landsberg a. Lech, Miesbach, Mühldorf a. Inn, München, Ldkr. München, Neuburg - Schrobenhausen, Pfaffenhofen a. Inn, Rosenheim, Ldkr. Rosenheim, Starnberg, Traunstein, Weinheim – Schongau,
	Oberfranken	Bamberg, Ldkr. Bamberg, Bayreuth, Ldkr. Bayreuth, Coburg, Ldkr. Coburg, Forchheim, Hof, Ldkr. Hof, Kronach, Kulmbach, Lichtenfels, Wunsiedel - Fichtelgebirge
	Oberpfalz	Amberg, Amberg – Sulzbach, Cham, Neumarkt i.d. Oberpfalz, Neustadt a.d. Waldnaab, Regensburg, Ldkr. Regensburg, Schwandorf, Tirschenreuth, Weiden
	Schwaben	Aichach – Friedberg, Augsburg, Ldkr. Augsburg, Dillingen a.d. Donau, Donau – Ries, Günzburg, Kaufbeuren, Kempten, Lindau, Memmingen, Neu-Ulm, Oberallgäu, Ostallgäu, Unterallgäu
	Unterfranken	Aschaffenburg, Ldkr. Aschaffenburg, Bad Kissingen, Haßberge, Kitzingen, Main – Spessart, Miltenberg, Rhön – Grabfeld, Schweinfurt, Ldkr. Schweinfurt, Würzburg, Ldkr. Würzburg,
Baden-Württemberg	RP Freiburg	Breisgau – Hochschwarzwald, Emmendingen, Freiburg, Konstanz, Lörrach, Ortenaukreis, Rottweil, Schwarzwald – Baar – Kreis, Tuttlingen, Waldshut,
	RP Karlsruhe	Baden-Baden, Calw, Enzkreis, Freudenstadt, Heidelberg, Karlsruhe, Ldkr. Karlsruhe, Mannheim, Neckar-Odenwald-Kreis, Pforzheim, Rastatt, Rhein-Neckar-Kreis
	RP Stuttgart	Böblingen, Esslingen, Göppingen, Heidenheim, Heilbronn, Ldkr. Heilbronn, Hohenlohe-Kreis, Ludwigsburg, Main-Tauber-Kreis, Ostalbkreis, Rems-Mur-Kreis, Schwäbisch-Hall, Stuttgart
	RP Tübingen	Alb-Donau-Kreis, Biberach, Bodenseekreis, Ravensburg, Reutlingen, Sigmaringen, Tübingen, Ulm, Zollernalbkreis
Berlin		
Brandenburg	Nordbrandenburg	Barnim, Frankfurt / Oder, Havelland, Märkisch - Oderland, Oberhavel, Oder – Spree, Ostprignitz – Ruppin, Prignitz, Uckermark
	Südbrandenburg	Brandenburg, Cottbus, Dahme – Spreewald, Elbe – Elster, Oberspreewald - Lausitz, Potsdam, Potsdam – Mittelmark, Spree – Neiße, Teltow – Fläming
Bremen		
Hamburg		
Hessen	RP Darmstadt	Bergstraße, Darmstadt, Darmstadt – Dieburg, Frankfurt, Groß-Gerau, Hochtaunuskreis, Main – Kinzig – Kreis, Main – Taunus – Kreis, Odenwaldkreis, Offenbach, Rheingau – Taunus – Kreis, Wetteraukreis, Wiesbaden
	RP Gießen	Gießen, Lahn – Dill- Kreis, Limburg, Marburg – Biedenkopf, Vogelsbergkreis

	RP Kassel	Fulda, Hersfeld – Rothenburg, Kassel, Ldkr. Kassel, Schwalm – Eder – Kreis, Werra – Meißner – Kreis, Waldeck - Frankenberg
Mecklenburg - Vorpommern	Mecklenburg - Mitte	Mecklenburgische Seenplatte, Rostock, Ldkr Rostock
	Mecklenburg West	Ludwigslust, Nordwest, Schwerin
	Vorpommern	Greifswald, Rügen
Niedersachsen	Braunschweig	Braunschweig, Gifhorn, Göttingen, Goslar, Helmstedt, Northeim, Osterode am Harz, Peine, Salzgitter, Wolfenbüttel, Wolfsburg
	Hildesheim	Diepholz, Hameln, Hannover, Hildesheim, Holzminden, Nienburg, Schaumburg
	Lüneburg	Celle, Cuxhaven, Harburg, Lüchow, Lüneburg, Osterholz, Rotenburg, Soltau, Stade, Uelzen, Verden
	Oldenburg	Ammerland, Aurich, Bentheim, Cloppenburg, Delmenhorst, Emden, Emsland, Friesland, Leer, Oldenburg, Oldenburg Land, Osnabrück, Osnabrück Land, Vechta, Wesermarsch, Wilhelmshaven, Wittmund
Nordrhein-Westfalen	RP Arnsberg	Bochum, Dortmund, Ennepe – Ruhr – Kreis, Hagen, Hamm, Herne, Hochsauerlandkreis, Märkischer Kreis, Olpe, Siegen – Wittgenstein, Soest, Unna
	RP Detmold	Bielefeld, Gütersloh, Herford, Höxter, Lippe, Minden – Lübbecke, Paderborn
	RP Düsseldorf	Düsseldorf, Duisburg, Essen, Kleve, Krefeld, Mettmann, Mönchengladbach, Mühlheim a.d. Ruhr, Remscheid, Rheinkreis Neuss, Solingen, Viersen, Wesel, Wuppertal
	RP Köln	Bonn, Düren, Euskirchen, Heinsberg, Köln, Leverkusen, Rhein – Erft – Kreis, Rhein – Sieg – Kreis, Rheinisch – Bergischer – Kreis, Oberbergischer Kreis, Städteregion Aachen
Rheinland-Pfalz	Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord	Ahrweiler, Altenkirchen, Bad Kreuznach, Bernkastel – Wittlich, Birkenfeld, Cochem – Zell, Eifelkreis-Bitburg-Prüm, Koblenz, Mayen-Koblenz, Neuwied, Rhein-Hunsrück-Kreis, Rhein-Lahn-Kreis, Trier, Trier - Saarburg, Vulkaneifel, Westerwaldkreis,
	Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd	Alzey-Worms, Bad Dürkheim, Donnersberg , Frankenthal, Germersheim, Kaiserslautern, Ldkr. Kaiserslautern, Kusel, Landau, Ludwigshafen, Mainz, Mainz-Bingen, Neustadt/W, Pirmasens, Rhein-Pfalz-Kreis, Südliche Weinstraße, Südwestpfalz, Worms, Zweibrücken
Saarland		
Sachsen	RP Chemnitz	Chemnitz, Erzgebirgskreis, Mittelsachsen, Vogtlandkreis, Zwickau
	RP Dresden	Bautzen, Dresden, Görlitz, Meißen, Sächsische Schweiz - Osterzgebirge
	RP Leipzig	Leipzig, Ldkr. Leipzig, Nordsachsen
Sachsen-Anhalt	Nord	Altmarkkreis Salzwedel, Börde, Harz, Jerichower Land, Magdeburg, Stendal
	Süd	Anhalt – Bitterfeld, Burgenlandkreis, Dessau – Roßlau, Halle, Mansfeld - Südharz, Saalekreis, Salzlandkreis, Wittenberg,
Schleswig - Holstein	Nord	Dithmarschen, Flensburg, Kiel, Neumünster, Nordfriesland, Plön, Rendsburg, Schleswig
	Süd	Herzogtum Lauenburg, Lübeck, Ostholstein, Pinneberg, Segeberg, Steinburg, Stormarn
Thüringen	Mitte	Erfurt, Gotha, Ilm-Kreis, Sömmerda, Weimar, Weimar Land
	Nord	Eichsfeld, Kyffhäuser, Nordhausen, Unstrut-Hainich
	Ost	Altenburger Land, Gera, Greiz, Jena, Saale - Holzland, Saale - Orla, Saalfeld - Rudolstadt
	Südwest	Eisenach, Hildburghausen, Schmalkalden, Sonneberg, Suhl, Wartburg



Thematische Karte 15: Für die Auswertung gewählte Aufteilung nach Regionen

Erklärungen: Die thematische Karte zeigt die Zuordnung der Kreise zu einzelnen Regionen wie auch in Tabelle 18 dargestellt

Tabelle 19: Übersicht über die wesentlichen Randbedingungen für die einzelnen Szenarien

	Referenz	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Siedlungsflächen-entwicklung	30 ha/Tag	50 ha/Tag	50 ha/Tag	0 ha/Tag (nach 2030)	15ha/Tag
Planzahlen Bundesstraßen	Mittlere	Obere	Obere	Kein Zuwachs	50 % von Referenz
Rückführung Asphalt	75 %	100 %	50 %	75 %	75 %
Beton / Pflaster	100 %	100 %	75 %	100 %	100 %
Ungeb. Schichten	75 %	75 %	25 %	75 %	75 %
Erneuerungs-zyklen	s.o.	Wie Referenz	Kommunen Decken 20a Grundhaft 50a Außerorts Hocheinbau 50 % Brücken / Tunnel 50 %	Wie Referenz	Wie Sz. 2

Referenzszenario: 2030, business as usual

Wie schon beschrieben bildet das Referenzszenario die Entwicklung der Straßenkörper bis 2030 ab, indem ein „business as usual“ angenommen wird.

Eine zentrale Annahme zum Materialverbrauch und Abfall- /Recyclingaufkommen ist die unterstellte Erhaltungsarbeit am bestehenden Straßenkörper. Die Erneuerungszyklen der einzelnen Schichten wurden im Referenzszenario nach den weiter oben beschriebenen Annahmen gesetzt (siehe Tabelle 16). Dies spiegelt die zurzeit gängige Praxis im Straßenbau wider. Auch für die Erneuerungszyklen der Bauwerke wurden die gängigen Lebensdauern angesetzt. (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20: Angenommene Lebensdauern der Bauwerke

Bauwerkstyp	Lebensdauer
Brücken	80a
Tunnel	100a

Da der Hocheinbau eine meist preisgünstigere Alternative zur Instandhaltung des Straßenkörpers darstellt, kommt dieser derzeit zum Einsatz so es die Umstände erlauben. Grundsätzlich findet Hocheinbau nur für Straßen statt, bei denen eine Erhöhung des Grundniveaus nicht stört. Dies gilt hauptsächlich für Straßen außerorts. Für Straßen innerorts und Gemeindestraßen (hier war eine Differenzierung zwischen innerorts und außerorts nicht möglich) wird kein Hocheinbau angenommen. Auch für Bundesstraßen und Bundesautobahnen wird unterstellt, dass kein Hocheinbau stattfindet. Mit der RStO 12 wurde der Hocheinbau umbenannt in Erneuerung auf vorhandener Befestigung. Hier gibt es Angaben zu den Tragschichtdicken für die verschiedenen Bauklassen. Eine Übersicht über die Straßen, bei denen Hocheinbau im Modell angenommen wird und welche zusätzlichen Schichtdicken nach RStO 12 angerechnet sind findet sich in Tabelle 21.

Tabelle 21: Straßen für die Hocheinbau bei Erneuerung der Bindeschicht angenommen ist und die unterstellten Einbaumengen

Straßenkategorie	Ortslage	Deckschichtmaterial	Bauklasse	Tragschichtdicke Hocheinbau
L	au	Asphalt	-	100
L	au	Pflaster	-	140
K	au	Asphalt	III	120
K	au	Pflaster	III	160
K	au	Asphalt	IV	80
K	au	Pflaster	IV	120
K	au	Asphalt	V	60
K	au	Pflaster	V	100
K	au	Asphalt	VI	60
K	au	Pflaster	VI	100

Die angenommenen Recycling- und Rückführungsquoten für die relevanten Materialien, sowie die Materialien, welche durch Rückführung substituiert werden, finden sich in Tabelle 22.

Tabelle 22: Angenommene Recyclingquoten der einzelnen Materialien im Straßenbau

Straßenkategorie	Straßen	RC-Material
Asphalt	0,75	Asphalt
Pflaster	1	ungebunden
Beton	1	ungebunden
ungebunden	0,75	ungebunden

Szenario 1: 2030, größeres Netz

Aufbauend auf dem Referenzszenario wird hier eine weitere deutliche Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen unterstellt. Anstatt der im Referenzszenario unterstellten 30 ha/Tag werden auch für das Jahr 2030 noch 50 ha/Tag unterstellt, d.h. ein deutliches Verfehlen der entsprechenden umweltpolitischen Ziele. Dieser weitere deutliche Zuwachs an Siedlungsflächen hat vor allem Auswirkungen auf das kommunale Straßennetz, dessen Funktion in der Erschließung dieser Siedlungsflächen liegt. Um diese Entwicklung auch für das überörtliche Straßennetz abbilden zu können, werden die jeweils oberen Planzahlen übernommen. Angenommen wird weiterhin , dass der Zuwachs an Straßenbauwerken parallel zur postulierten Erweiterung des Straßennetzes erfolgt, d.h. die entsprechenden Kennzahlen zum Verhältnis Länge Straßenbauwerke zur Länge Straßennetz werden regional fortgeschrieben, womit auch topographische Eigenheiten berücksichtigt werden.

Diese größeren Planzahlen zur Entwicklung des Straßennetzes werden in den entsprechend höheren Massenflüssen deutlich. Die zur Entsorgung / Verwertung anfallenden Massen lassen sich je nach Herkunft in unterschiedlichem Umfang in den Baustoffkreislauf zurückführen. Für Asphalt wird eine Rückführungsrate von 100 % angenommen. Dies gilt auch für die Altmassen aus Brücken- und Tunnelbauwerken. In vielen Fällen gerade im kommunalen Straßennetz sind die Straßen nicht im Regelquerschnitt aufgebaut. Der Rückbau der ungebundenen Schichten erfolgt zudem oft aufgrund eines

zu hohen Feinanteils. Beides hat zur Folge, dass nicht die gesamten Altmassen wieder in die Straßen zurückgeführt werden können. Angesetzt wird eine Rückführungsquote von 75 %. Dies bedeutet nicht, dass der verbleibende Mengenanteil nicht anderweitig verwertet werden könnte.

Szenario 2: 2030, größeres Netz und hohe Massenflüsse

Dieses Szenario baut auf dem Szenario 1 auf und stellt eine hinsichtlich der Massenflüsse ungünstigere Situation dar. Diese höheren Massenflüsse ergeben sich aus folgenden Annahmen: Bspw. durch eine bessere Ausstattung an Finanzmitteln werden kürzere Erneuerungszyklen angenommen, die sich in höheren Baustoffbedarfen und einem höheren Aufkommen an Bauabfällen niederschlagen. Die bessere Ausstattung mit Finanzmitteln erlaubt eine Orientierung der Erneuerungszyklen an den tatsächlichen Notwendigkeiten.

Für das kommunale Straßennetz bedeutet das, dass die Asphalt-Deckschichten alle 20 Jahre erneuert werden können, während alle 50 Jahre eine grundhafte Erneuerung des Straßenkörpers unterstellt wird, die auch die ungebundenen Schichten umfasst. Dies erfolgt bislang in der Praxis etwa alle 100 Jahre. Auch für das überörtliche Straßennetz wird eine Halbierung der Erneuerungszyklen angenommen. In der Praxis erfolgt die Erneuerung des weniger belasteten Straßennetzes derzeit nicht selten in Form eines Hocheinbaus. Da auch dies im Wesentlichen mangelnder Ausstattung mit Finanzmitteln entspringt, wird in diesem Szenario 2 der Hocheinbau ebenfalls auf 50 % des bisherigen Ansatzes reduziert. D.h. für 50 % der Straßenlänge, für die ein Hocheinbau angesetzt wurde, kann nun eine grundhafte Erneuerung unterstellt werden. Auch für Brücken und Tunnels wird eine Halbierung der Erneuerungszyklen gegenüber dem Referenzszenario angenommen.

Mit diesem Szenario soll eine Situation abgebildet werden, die den oberen Bereich der zu erwartenden Massenflüsse abdeckt. Die oben genannten Modifikationen werden daher ergänzt um Änderungen an den postulierten Rückführungsraten für die anfallenden Altmaterialien. Sie werden reduziert auf Raten von 75 % für Asphalt und die Altbaustoffe aus Tunnel- und Brückenbauwerke sowie auf eine Rückführung von nur 25 % der aus den ungebundenen Schichten einer Straße ausgebauten Massen.

Szenario 3: 2050, pol. Zielsetzung

Mit diesem Szenario wird der Prognosezeitpunkt von dem Jahr 2030 auf 2050 verlagert. Entsprechend der politischen Zielstellungen wird hier unterstellt, dass der Anteil an Siedlungs- und Verkehrsflächen nicht mehr weiter ansteigt und damit auch das kommunale wie auch überörtliche Netz an Straßen nicht weiter zunimmt.

Szenario 4: 2050, kleiner Netzzuwachs und höhere Massenflüsse

Mit diesem letzten Szenario wir der erhöhte Erneuerungsbedarf für den Prognosezeitpunkt 2030 aus Szenario 2 übernommen, zurückzuführen auf den meist eher schlechten Zustand der Verkehrsinfrastruktur. Der dort prognostizierte Zuwachs der Verkehrsinfrastruktur wird jedoch halbiert. Der Zubau im kommunalen und überörtlichen Straßennetz beträgt also nur 50 % des in Szenario 1 postulierten Wertes.

3.2 Ergebnisse nach Szenarien

3.2.1 Szenario “Referenz“

Asphalt

Wie aus den Ergebnissen entnommen werden kann, liegt die prognostizierte Nachfrage nach Asphalt in Summe bei etwa 46 Mio. t/a. Dies liegt etwas höher als die derzeit produzierte Asphaltmenge, entsprechend der Veröffentlichung des Deutschen Asphaltverbandes [DAV 2014], der für das Jahr 2013 von einer Nachfrage von 40 Mio. Tonnen berichtet. Dies entspricht den für die 80er Jahre typischen Werten, während vor allem in den 90er Jahren aufgrund der hohen Nachholbedarfe im ostdeutschen Straßennetz die Nachfrage auf bis zu knapp 70 Mio. Tonnen Asphalt angestiegen war.

Dem steht mit 37,5 Mio. Tonnen/a ein Aufkommen an Altasphalt gegenüber, das deutlich höher liegt als die Mengen, die derzeit bspw. von Kreislaufwirtschaftsträger Bau als Aufkommen an Straßenaufbruch berichtet werden. Nach dem jüngsten Monitoringbericht Kreislaufwirtschaftsträger Bau [BBS 2015] liegt das Aufkommen hier für das Jahr 2012 bei 15,4 Mio. Tonnen, im langjährigen Mittel bei 16,5 Mio. Tonnen. Dies stellt damit eine deutliche Abweichung dar, die sich nicht allein daraus erklären lässt, dass das Aufkommen an Altasphalt unter den genannten Randbedingungen in Zukunft gegenüber heute in diesem Umfang ansteigen wird. Ein vermehrtes Wirken im Bestand führt zwar unweigerlich zu einem wachsenden Aufkommen und gegenüber heute höheren Mengen. Die dokumentierte Abweichung könnte sich aber auch daraus ergeben, dass in den Angaben des Monitoringberichtes nicht alle Asphaltmengen enthalten sind und hier insbesondere die Mengen fehlen, die als Teilmengen der Aushubmassen aus dem Kanal- und Leitungsbau bei Bauschuttrecyclern angeliefert werden. Diese Massen bestehen aus einem Gemisch aus Boden, den ungebundenen Materialien aus Frostschutz- und Tragschicht sowie den Asphaltschichten. Wegen der kleinen Mengen pro Baustelle werden hier die Asphaltschollen nicht immer abgetrennt. Diese Abfallgemische stammen aus einer Vielzahl von kleinen Bauvorhaben, die in Summe jedoch mit einem größeren Aufkommen verbunden sein können.

Wie man der Tabelle 24 entnehmen kann, ergibt sich die Asphaltnachfrage vor allem aus den Bedarfen zur Erneuerung der Straßen. In die Erneuerung der Asphaltdecken fließen zukünftig 81 % der Gesamtnachfrage, in den Neubau von Straßen fließen nur knapp 14 %. Interessanterweise unterscheiden sich diese Werte je nach Baulastträger. So liegen die Anteile für die Erneuerung bei Bundesautobahnen und Bundesstraßen bei deutlich >80 %, während sie bei Landes- und Kreisstraßen nur bei etwa 60 % liegen, wenn man die Aufwendungen im Hocheinbau nicht mit betrachtet. Die höhere Belastung dieser Straßen in der Baulast des Bundes führen zu kürzeren Erneuerungszyklen. Bei kommunalen Straßen wiederum liegt der Anteil mit etwa 79 % ebenfalls hoch, obwohl gerade hier eher große Zyklen vorherrschen. Für die kommunalen Straßen ist dies darauf zurückzuführen, dass gemessen am Anteil des gesamten Straßennetzes die Neubautätigkeiten hier deutlich am geringsten sind und Bauweisen wie insbesondere der Hocheinbau innerhalb der geschlossenen Ortslagen nicht praktiziert werden können.

Stellt man Aufkommen an Altasphalt der postulierten Nachfrage nach Asphalt gegenüber, könnten in Zukunft rechnerisch 61 % des Bedarfes durch sekundäre Rohstoffe gedeckt werden. Nach diesem Szenario wird eine Rückführungsrate von 75 % unterstellt, d.h. etwa 28,1 Mio. Tonnen dieser Asphalte lassen sich in Heißasphaltmischwerken in die Produktion einbinden. Die Rate von 61 % bedeutet eine Umstellung bzw. Anpassung auf Seiten der Heißasphaltmischwerke. Mit der klassischen Kaltzugabe sind Quoten von bis zu 30 % erreichbar.

Tabelle 23: Massenflüsse nach Szenario „Referenz“ (in 1000 t/a)

	Baustoffbedarfe		Abfallmengen		Verfügbares Recyclingmaterial	
	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke
Asphalt	45.977		37.470		28.102	
Pflaster	1.157		839		839	
Beton	9.513	2.253	8.754	1.548		
FSS / STS	40.163		29.758		31.073	1.548
Stahl	0	1.024		689	0	689

Tabelle 24: Baustoffbedarfe nach Szenario „Referenz“ (in 1000 t/a) für 2030

	Straßen					Ingenieurbauwerke		
	Erneue-rung	Hocheinbau	Erweiterung im Vollausbau	Neubau	Ausbau	Erneue-rung	Neubau	Ausbau
Asphalt	37.470	1.443	479	6.232	353			
Pflaster	839		19	299	0			
Beton	8.234	0	30	493	71	1.548	594	110
HGT	520	0	11	155	0			
FSS / STS	29.758	0	728	9.254	423			
Stahl						689	286	49

Ungebundene Schichten

In Tabelle 23 sind die übrigen mineralischen Straßenbaustoffe (Pflaster, Beton; ungebundene Schichten) in ihren zukünftigen Bedarfen und Abfallmengen aufgeführt. Für die ungebundenen Schichten des Straßenoberbaus werden dabei Bedarfe von 40,2 Mio. Tonnen prognostiziert, die einem Abfallaufkommen von 29,8 Mio. Tonnen gegenüberstehen. Diese Altstoffmenge lässt sich nicht vollständig zu Straßenbaustoffen aufbereiten und rückführen. Die angesetzte Rückführungsrate von 75 % führt zu einer verfügbaren Masse an sekundärem Rohstoff von 22,3 Mio. Tonnen. Die anfallenden Altbetone lassen sich nach den geltenden Regelwerken nicht in die Betonproduktion für den Straßen- und Wegebau zurückführen. Sie werden gebrochen und klassisch zu ungebundenen Straßenbaustoffen verarbeitet. Die Rückführungsrate wird hier mit 100 % angenommen. Für Pflastersteine wurden die gleichen Annahmen getroffen. Nimmt man diese Abfallmassenströme zusammen, ergibt sich so ein Aufkommen in Summe von 31,9 Mio. Tonnen verwertbarem Material. Rechnerisch lässt sich demnach der Materialbedarf für die ungebundene Schichten zu knapp 79 % über Altstoffe aus dem Straßenbau selbst decken.

Wie bereits ausgeführt, wird keine vollständige Rückführung der rechnerisch anfallenden Altasphalte in Heißmischwerke unterstellt. Altasphalte lassen sich aber als Körnung in die Herstellung

von Frostschutz- oder Schottertragschichten einbinden. Geht man davon aus, dass sich 50 % der nicht in die Heißasphaltmischwerke rückgeführten Asphalte für ungebundene Schichten eignen, ließe sich dem errechneten Bedarf eine Mengen an RC-Baustoff von knapp 36 Mio. Tonnen gegenüberstellen, was rechnerisch zu einer Bedarfsdeckung von etwa 90 % führen würde.

Die Bedarfe resultieren vor allem aus dem Erneuerungsbedarf und in deutlich geringerem Umfang (23 %) aus dem Zubau im Straßen- und Wegenetz, der sich zu 66 % aus dem Bedarf im kommunalen Straßennetz speist.

Betone

Die postulierten Bedarfe an Beton resultieren zu etwa 26 % aus den Bedarfen für Ingenieurbauwerke. Dieser verbleibende hohe Anteil der Betonnachfrage für die eigentlichen Straßen dürfte wahrscheinlich eine deutliche Überschätzung darstellen. Zum einen unterstellt die Bedarfsprognose, dass sich der Anteil an Fahrbahndecken aus Beton nicht verändert, bspw. zugunsten der Decken aus Asphalt. Nach der derzeitigen Praxis werden jedoch Betondecken nur noch im Autobahnbau verwendet. Zum anderen enthalten die Zahlen auch die Mengen an hydraulisch gebundenen Tragschichten, zurückzuführen auf den Einsatz von meist Zement. Werden diese Schichten (HGT) tatsächlich ausgebaut, werden sie in Zukunft wohl nur in wenigen Fällen wieder durch eine HGT ersetzt werden.

Abbildung 11: Übersicht über die Massenflüsse für Szenario „Referenz“ im Detail

			Straße					Ing.-Bauwerke			Baustoffbedarf		Abfallmengen		verf. Recyclingmaterial	
			Masse Erneuerung 1000 Mg/a	Masse Hocheinbau Asphalt 1000 Mg/a	Masse Erweiterung im Vollausbau 1000 Mg/a	Masse im Neubau 2030 1000 Mg/a	Masse im Ausbau 2030 1000 Mg/a	Masse Erneuerung 1000 Mg/a	Masse im Neubau 2030 1000 Mg/a	Masse im Ausbau 2030 1000 Mg/a	Straßen Masse 1000 Mg/a	Ing.-Bauwerke Masse 1000 Mg/a	Straßen Masse 1000 Mg/a	Ing.-Bauwerke Masse 1000 Mg/a	Straßen Masse 1000 Mg/a	Ing.-Bauwerke Masse 1000 Mg/a
BAB	Asphalt		7.058	0	0	783	353	0	0	0	8.193	0	7.058	0	5.293	0
BAB	Pflaster		9	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	0	9	0
BAB	Beton	HGT	6.010	0	0	157	71	436	233	110	6.237	780	6.010	436	6.010	436
BAB	ungebunden		2.200	0	0	939	423	0	0	0	3.563	0	2.200	0	1.650	0
BAB	Fliesstoff		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAB	Stahl		0	0	0	0	0	203	112	49	0	364	0	203	0	0
B	Asphalt		6.900	0	0	1.359	0	0	0	0	8.259	0	6.900	0	5.175	0
B	Pflaster		21	0	0	0	0	0	0	0	21	0	21	0	21	0
B	Beton	HGT	183	0	0	0	0	402	188	0	183	590	183	402	183	402
B	ungebunden		1.828	0	0	1.304	0	0	0	0	3.132	0	1.828	0	1.371	0
B	Fliesstoff		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	Stahl		0	0	0	0	0	190	97	0	0	287	0	190	0	0
L	Asphalt		5.241	2.531	237	638	0	0	0	0	8.664	0	5.241	0	3.930	0
L	Pflaster		25	16	1	3	0	0	0	0	29	0	25	0	25	0
L	Beton	HGT	148	0	11	29	0	202	55	0	188	257	148	202	148	202
L	ungebunden		2.647	0	309	834	0	0	0	0	3.791	0	2.647	0	1.985	0
L	Fliesstoff		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L	Stahl		0	0	0	0	0	84	25	0	0	109	0	84	0	0
K	Asphalt		3.626	1.350	207	560	0	0	0	0	6.149	0	3.626	0	2.720	0
K	Pflaster		59	404	18	48	0	0	0	0	125	0	59	0	59	0
K	Beton	HGT	687	0	28	75	0	118	28	0	790	146	687	118	687	118
K	ungebunden		2.806	0	385	1.003	0	0	0	0	4.193	0	2.806	0	2.104	0
K	Fliesstoff		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	Stahl		0	0	0	0	0	43	11	0	0	54	0	43	0	0
G	Asphalt		10.954	0	0	2.916	0	0	0	0	13.870	0	10.954	0	8.216	0
G	Pflaster		734	0	0	250	0	0	0	0	984	0	734	0	734	0
G	Beton	HGT	1.147	0	0	391	0	389	90	0	1.537	479	1.147	389	1.147	389
G	ungebunden		15.897	0	0	5.217	0	0	0	0	21.114	0	15.897	0	11.923	0
G	Fliesstoff		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	Stahl		0	0	0	0	0	169	41	0	0	210	0	169	0	0

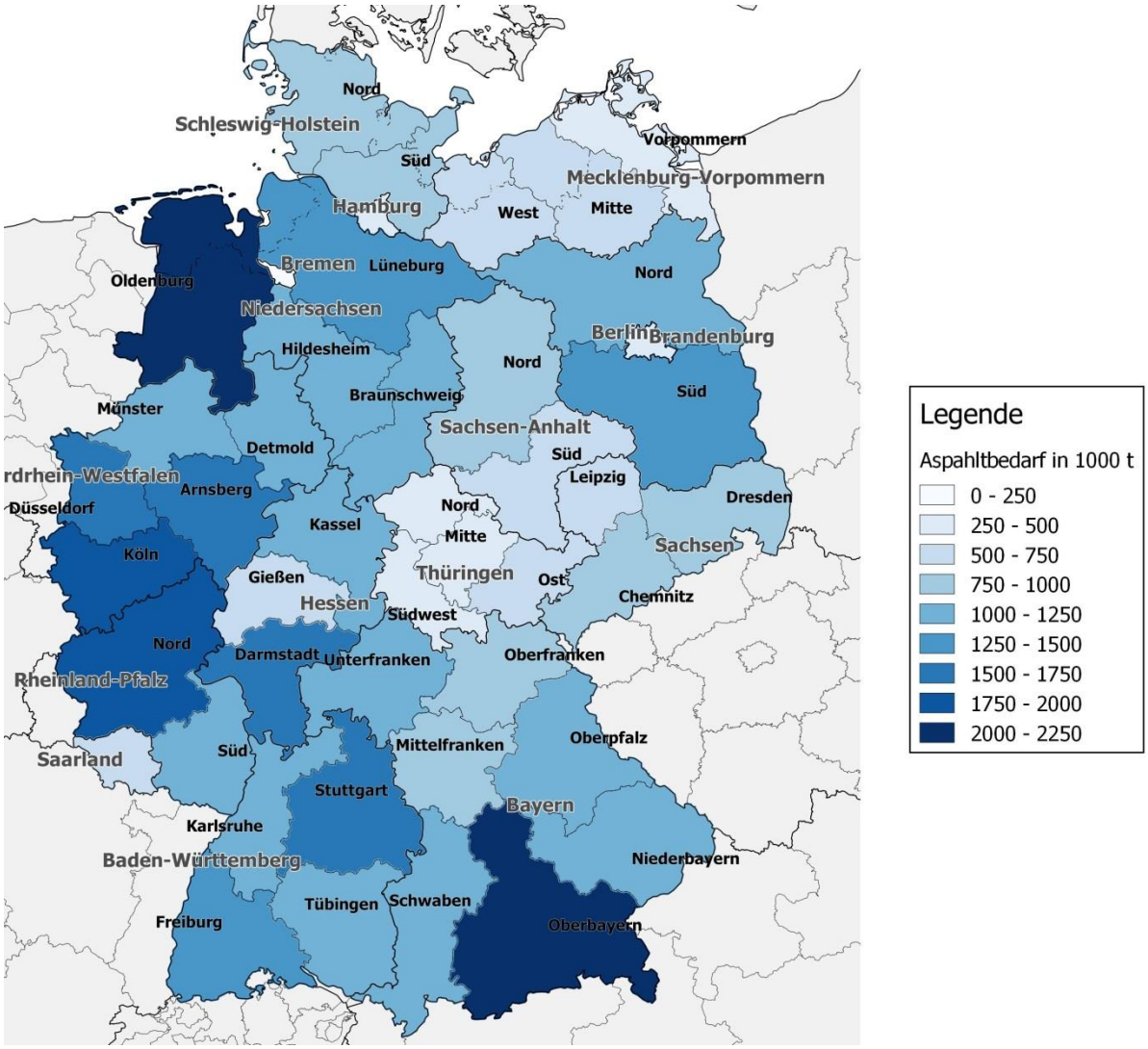
Erklärungen: Bei dieser Abbildung handelt es sich um einen Ausschnitt einer Excel-Tabelle, die unterschieden nach Bauwerken und Straßen die Bedarfe, Abfallmengen und verfügbaren Recyclingmaterialien beziffert und zwar unterschieden nach den einzelnen Materialarten (Asphalt, Pflaster, Beton, ungebunden, Fließstoff, Stahl).

Die Situation in den einzelnen Regionen

Betrachtet man die Ergebnisse unterschieden nach den einzelnen Regionen, so zeigen sich doch deutliche Unterschiede.

Wie man der Thematische Karte 16 entnehmen kann, unterscheidet sich die zukünftige Nachfrage nach **Asphalt** in den einzelnen Regionen. Da die Regionen unterschiedlich groß sind und sich auch die Länge des Straßennetzes unterscheidet, sind daraus keine Interpretationen zum spezifischen Bedarf möglich. Diese Auswertung gibt nur einen Fingerzeig zur regionalen Verteilung des zukünftigen

Bedarfs und damit auch zur regionalen Verteilung entsprechender Produktionskapazitäten. Die größten Bedarfe liegen mit ca. 2 Mio. Tonnen/a und mehr in Oberbayern, in der Region Oldenburg und im Norden von Rheinland-Pfalz. Die geringste Nachfrage mit etwa 0,5 Mio. Tonnen/a und weniger liegen in den Stadtstaaten Berlin, Bremen und Hamburg sowie in den Planungsregionen von Thüringen, in Vorpommern, in Teilen Mecklenburgs sowie dem Saarland.

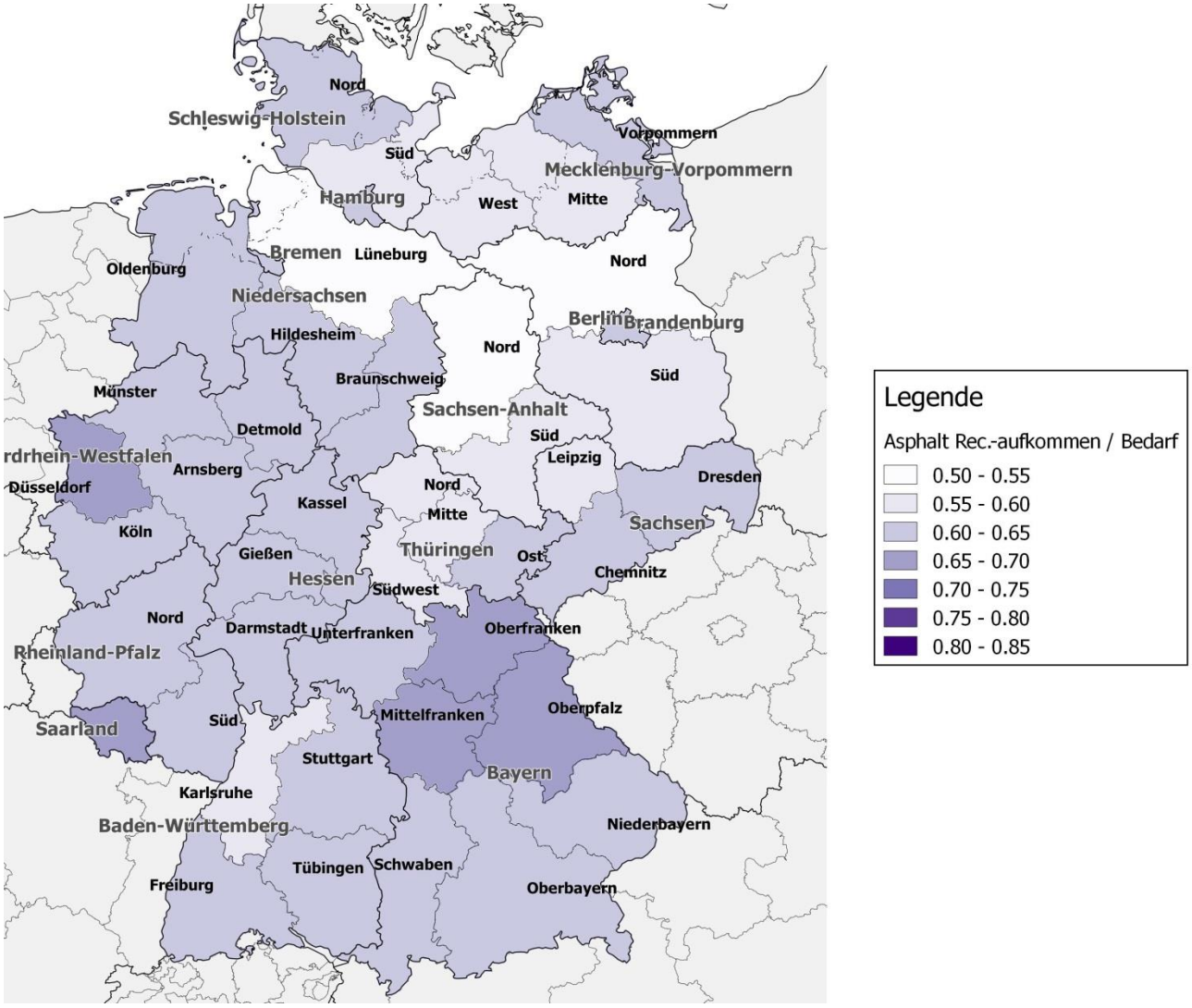


Thematische Karte 16: Jährlicher Asphaltbedarf bis zum Jahr 2030 in 1.000 t/a

Erklärungen: Diese Karte zeigt den prognostizierten Asphaltbedarf nach Regionen. Die größten Bedarfe liegen in Oberbayern, in der Region Oldenburg und im Norden von Rheinland-Pfalz. Die geringste Nachfrage liegt in den Stadtstaaten Berlin, Bremen und Hamburg sowie in den Planungsregionen von Thüringen, in Vorpommern, in Teilen Mecklenburgs sowie dem Saarland.

Diesen Bedarfen stehen in erheblichem Umfang Mengen an Altasphalt gegenüber, die in den Heißasphaltmischwerken als Rohstoff zur Neuproduktion von Asphalten eingesetzt werden können. Hier unterscheiden sich die Verhältnisse in Abhängigkeit der Neubauquote nach den einzelnen Regionen deutlich. In aller Regel lassen sich mit dem Altasphalt rechnerisch etwa 61 % des Neubedarfs an Asphalt abdecken. Deutliche Abweichungen gibt es nach oben mit etwa 67 % in Mittelfranken, mit etwa 66 % in der Oberpfalz und im Regierungsbezirk Düsseldorf sowie mit 65 % in Oberfranken und dem Saarland. Deutliche Abweichungen nach unten zeigen sich für den Norden von Brandenburg mit

53 %, den Norden von Sachsen-Anhalt mit 51 % sowie die Region Lüneburg mit 54 %, wobei auch jeweils der Süden von Brandenburg und Sachsen-Anhalt sowie der Norden von Hamburg (Schleswig-Holstein Süd) kaum höhere Raten aufweisen.



Thematische Karte 17: Verhältnis von jährlich verfügbarem Recyclingasphalt zu Bedarf in Prozent bis 2030

Erklärungen: Diese Karte zeigt das Verhältnis zwischen dem prognostizierten Aufkommen an verwertbaren Altasphalt zur prognostizierten Asphaltnachfrage; es ist wie im Text ausgeführt eine Aufteilung in vier Kategorien zu erkennen.

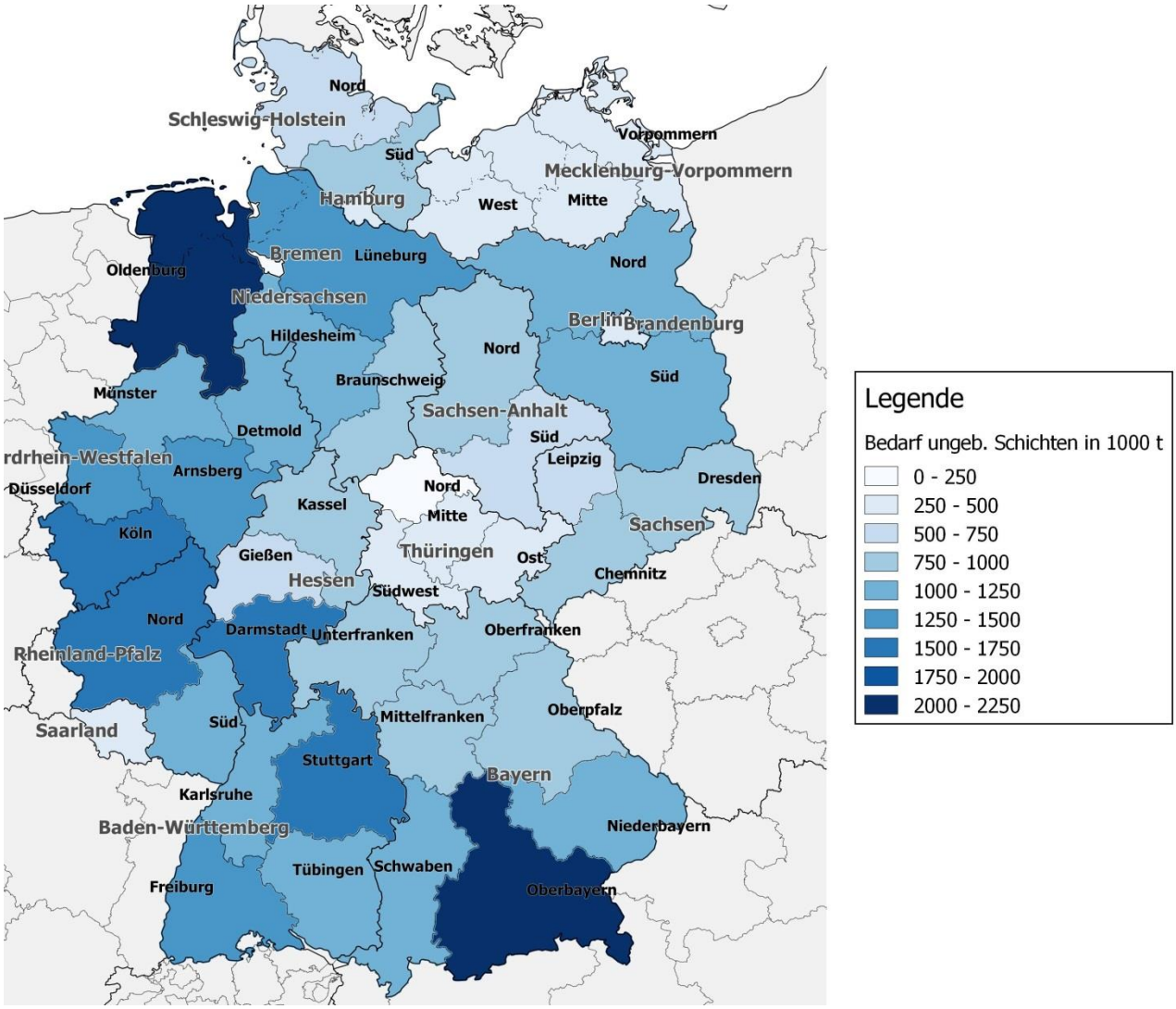
Die Verteilung der Asphaltbedarfe auf die einzelnen Baulastträger ist von Region zu Region ebenfalls sehr unterschiedlich. Die Straßen in der Baulast des Bundes haben grundsätzlich einen hohen Anteil am postulierten Asphaltbedarf, der deutlich über den entsprechenden Anteil am Streckennetz hinausgeht. Dies ist auf die in der Regel höhere Beanspruchung dieses Straßennetzes zurückzuführen.

Tabelle 25: Asphaltbedarfe nach Szenario „Referenz“ (in 1000 t/a) für 2030, aufgeteilt nach Regionen

	Asphalt-bedarfe	Anteil Baulastträger			
		Bund	Land	Kreis	Kommune
Arnsberg	1.593	40 %	16 %	7 %	37 %
Berlin	388	30 %	0 %	0 %	70 %
Brandenburg Nord	1.113	35 %	21 %	9 %	35 %
Brandenburg Süd	1.254	33 %	21 %	8 %	38 %
Braunschweig	978	42 %	12 %	14 %	32 %
Bremen	183	32 %	0 %	0 %	68 %
Chemnitz	883	36 %	22 %	12 %	30 %
Darmstadt	1.527	41 %	14 %	5 %	40 %
Detmold	1.164	32 %	18 %	11 %	39 %
Dresden	951	31 %	23 %	17 %	30 %
Düsseldorf	1.705	45 %	13 %	5 %	38 %
Freiburg	1.415	33 %	10 %	10 %	46 %
Gießen	732	38 %	21 %	10 %	31 %
Hamburg	428	36 %	0 %	0 %	64 %
Hildesheim	1.074	33 %	13 %	12 %	42 %
Karlsruhe	1.175	33 %	13 %	10 %	45 %
Kassel	1.069	46 %	18 %	10 %	26 %
Köln	1.770	39 %	16 %	6 %	39 %
Leipzig	568	35 %	15 %	14 %	35 %
Lüneburg	1.367	33 %	12 %	18 %	36 %
Mecklenburg Mitte	555	43 %	15 %	19 %	23 %
Mecklenburg West	529	51 %	11 %	17 %	21 %
Mittelfranken	952	35 %	11 %	11 %	42 %
Münster	1.231	37 %	17 %	11 %	35 %
Niederbayern	1.087	24 %	14 %	17 %	45 %
Oberbayern	2.194	34 %	10 %	10 %	46 %
Oberfranken	892	42 %	11 %	11 %	36 %
Oberpfalz	1.038	33 %	15 %	13 %	40 %
Oldenburg	2.064	33 %	10 %	11 %	55 %
RLP Nord	1.922	39 %	20 %	14 %	27 %
RLP Süd	1.211	40 %	19 %	9 %	32 %
Saarland	498	43 %	15 %	7 %	35 %

	Asphalt-bedarfe	Anteil Baulastträger			
		Bund	Land	Kreis	Kommune
Sachsen-Anhalt Nord	919	38 %	23 %	19 %	20 %
Sachsen-Anhalt Süd	724	31 %	25 %	15 %	30 %
Schwaben	1.203	34 %	10 %	11 %	44 %
SH Nord	794	37 %	19 %	15 %	30 %
SH Süd	900	43 %	13 %	11 %	31 %
Stuttgart	1.711	39 %	14 %	12 %	46 %
Thüringen Mitte	428	38 %	22 %	10 %	30 %
Thüringen Nord	306	32 %	38 %	8 %	23 %
Thüringen Ost	513	38 %	21 %	13 %	27 %
Thüringen Südwest	386	31 %	28 %	11 %	29 %
Tübingen	1.170	27 %	14 %	14 %	45 %
Unterfranken	1.001	42 %	13 %	12 %	33 %
Vorpommern	414	41 %	19 %	18 %	22 %

Die Bedarfe nach Baumassen für die **Schichten ohne Bindemittel** im Oberbau einer Straße (Frostschutzschichten, Schottertragschichten) unterscheiden sich in den einzelnen Regionen deutlich. Die absoluten Bedarfe nach diesen Baustoffen werden selbstverständlich über auch über die unterschiedlichen jeweiligen Streckenlängen des Straßennetzes bestimmt. Sie ergeben sich aber auch aus den in den Regionen unterschiedlichen Anteilen an Straßenkategorien bzw. auch Straßenlängen innerhalb und außerhalb der geschlossenen Bebauung. Die größten Bedarfe lassen sich mit etwa 2 Mio. Tonnen für die Regionen Oldenburg und Oberbayern bzw. Stuttgart mit knapp 1,7 Mio. t abschätzen. Die geringsten Bedarfe ergeben sich mit unter 0,3 Mio. Tonnen für Bremen sowie die Regionen Thüringen Nord und Südwest und Vorpommern.

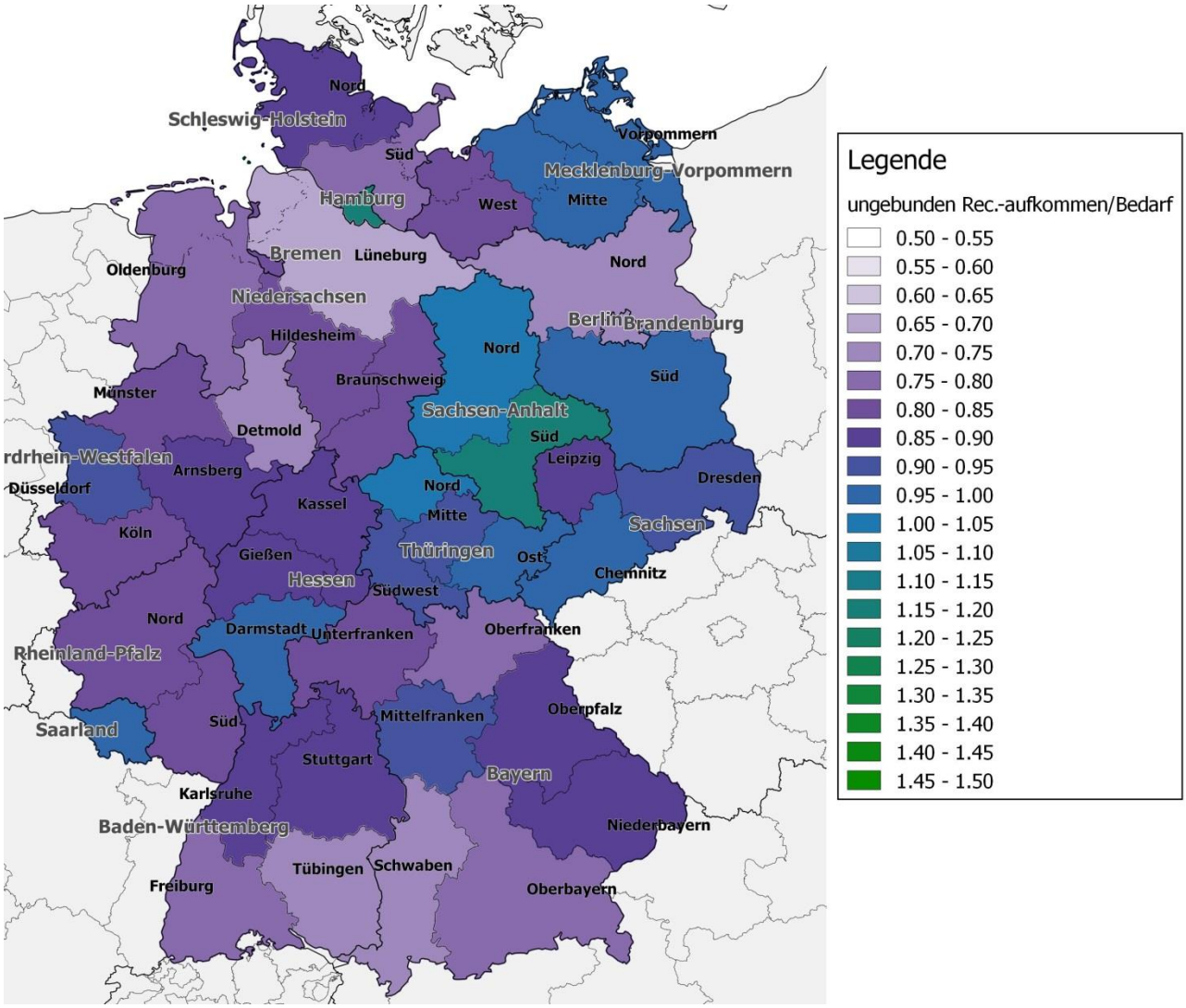


Thematische Karte 18: Jährlicher Bedarf an ungebundenem Material bis zum Jahr 2030 in 1.000 t/a

Erklärungen: Diese Karte zeigt den prognostizierten Bedarf an Material für ungebundene Schichten (FSS und STS) nach Regionen, der in Tabelle 26 im Detail dargelegt ist.

Die errechnete Bedarfsdeckung liegt für ungebundene Schichten gegenüber den Asphalten deutlich höher, mit ebenfalls deutlichen Unterschieden nach den einzelnen Regionen. Die höchsten Quoten mit über 100 % (nur bezogen auf Altmaterial aus FSS/STS und Pflaster) werden in den Regionen Sachsen-Anhalt Nord und Süd sowie in Hamburg erreicht. Vergleichsweise geringe Quoten werden in Lüneburg (65 %), Detmold und Schwaben (69 %) und dem Norden von Brandenburg mit etwa 70 % erreicht. Der bundesweite Deckungsgrad liegt bei 79 %. In diesen Berechnungen ist nicht berücksichtigt, dass auch ein erheblicher Anteile der Altasphalte, für die keine Rückführung in die Heißasphaltmischwerke postuliert wurde, sich als Teil der ungebundenen Schichten für den Straßenbau eignen.

In allen Fällen wird aus diesen Zahlen deutlich, dass die Aufnahmekapazität des Sektors Straßen- und Wegebau für RC-Baustoffe in Zukunft eher abnehmen wird. Dies ist ein dringender Fingerzeig, sich um andere Verwertungswege gerade auch für die mineralischen Bauabfälle aus dem Hochbau zu bemühen.



Thematische Karte 19: Verhältnis von jährlich verfügbarem ungebundenen Recyclingmaterial zu Bedarf in Prozent im Referenzszenario bis 2030

Erklärungen: Diese Karte zeigt das Verhältnis zwischen dem prognostizierten Aufkommen an verwertbaren Altmaterialmengen zur prognostizierten Nachfrage nach Material für die ungebundenen Schichten wie im Text erläutert.

Betrachtet man die Verteilung der Bedarfe auf die Baulastträger (siehe Tabelle 26), fällt die große Bedeutung der kommunalen Straßen auf. Für kommunale Straßen wurde eine Lage innerhalb der geschlossenen Bebauung postuliert. Die Erneuerung der Straßen muss hier grundhaft erfolgen und ist damit mit einem Rückbau des alten Straßenoberbaus bzw. mit einem entsprechenden Neuaufbau und höheren Materialbedarfen verbunden. Dazu kommt, dass sich der Zuwachs des Straßennetzes im Wesentlichen aus dem Bedarf zur Erschließung neuer Siedlungsflächen ergibt und weniger aus der Entwicklung neuer überörtlicher Verkehrstrassen.

Neben den Stadtstaaten liegt der mit Abstand höchste Anteil der Bedarfe für die kommunalen Straßen in der Region Oldenburg mit 71 %. In Sachsen-Anhalt liegt dieser Wert bei nur 31 %.

Tabelle 26: Bedarfe an Schichten ohne Bindemittel nach Szenario „Referenz“ (in 1000 t) für 2030, aufgeteilt nach Regionen

	Bedarfe an SoB	Anteil Baulastträger			
		Bund	Land	Kreis	Kommune
Arnsberg	1.387	28 %	12 %	7 %	53 %
Berlin	408	13 %	0 %	0 %	87 %
Brandenburg Nord	940	24 %	13 %	8 %	55 %
Brandenburg Süd	1.064	21 %	14 %	7 %	58 %
Braunschweig	829	29 %	9 %	14 %	48 %
Bremen	197	20 %	0 %	0 %	79 %
Chemnitz	666	25 %	15 %	12 %	49 %
Darmstadt	1.329	25 %	10 %	6 %	59 %
Detmold	1.038	17 %	14 %	12 %	57 %
Dresden	724	20 %	15 %	16 %	49 %
Düsseldorf	1.448	29 %	10 %	5 %	56 %
Freiburg	1.308	18 %	8 %	10 %	64 %
Gießen	599	27 %	16 %	10 %	47 %
Hamburg	434	21 %	0 %	0 %	79 %
Hildesheim	965	18 %	9 %	12 %	60 %
Karlsruhe	1.167	20 %	10 %	10 %	60 %
Kassel	848	35 %	14 %	10 %	40 %
Köln	1.547	25 %	12 %	6 %	57 %
Leipzig	490	26 %	9 %	13 %	52 %
Lüneburg	1.304	23 %	9 %	18 %	50 %
Mecklenburg Mitte	392	32 %	10 %	17 %	42 %
Mecklenburg West	388	38 %	8 %	16 %	38 %
Mittelfranken	840	19 %	10 %	11 %	60 %
Münster	1.043	23 %	13 %	11 %	53 %
Niederbayern	1.082	16 %	10 %	16 %	58 %
Oberbayern	2.117	17 %	9 %	10 %	63 %
Oberfranken	764	26 %	8 %	13 %	53 %
Oberpfalz	920	19 %	11 %	13 %	57 %
Oldenburg	2.048	13 %	7 %	10 %	71 %
RLP Nord	1.508	24 %	17 %	15 %	44 %
RLP Süd	956	23 %	14 %	10 %	52 %
Saarland	423	29 %	11 %	8 %	51 %

	Bedarfe an SoB	Anteil Baulastträger			
		Bund	Land	Kreis	Kommune
Sachsen-Anhalt Nord	715	41 %	13 %	15 %	31 %
Sachsen-Anhalt Süd	610	27 %	15 %	13 %	45 %
Schwaben	1.146	19 %	8 %	12 %	61 %
SH Nord	641	25 %	14 %	15 %	45 %
SH Süd	817	34 %	10 %	11 %	45 %
Stuttgart	1.665	17 %	10 %	12 %	60 %
Thüringen Mitte	345	27 %	14 %	10 %	48 %
Thüringen Nord	202	25 %	26 %	7 %	41 %
Thüringen Ost	382	29 %	14 %	12 %	45 %
Thüringen Südwest	298	21 %	19 %	10 %	49 %
Tübingen	1.083	13 %	11 %	14 %	62 %
Unterfranken	821	26 %	9 %	14 %	52 %
Vorpommern	262	30 %	13 %	15 %	43 %

Sensitivität: geringere Lebensdauern der Asphaltdeckschichten

In der Sensitivität für die Lebensdauer der Deckschichten werden die Erneuerungszyklen aller nicht-kommunalen Asphaltdeckschichten um 40 % erhöht. Wurde z. B. für eine Deckschicht für Landesstraßen außerorts im Referenzszenario eine Lebensdauer von 15 Jahren angesetzt, so wird in dieser Sensitivitätsrechnung von 9 Jahren ausgegangen. Dies führt zu einer Steigerung des Asphaltbedarfs um 17 % im Vergleich zum Referenzszenario. Die potentielle Deckung des Bedarfs durch Recyclingmaterial steigt marginal um 1 %-Punkt auf 62 %.

Tabelle 27: Massenflüsse nach Sensitivität für Deckschichten (in 1000 t/a)

	Baustoffbedarfe		Abfallmengen		Verfügbares Recyclingmaterial	
	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke
Asphalt	53.778		44.397		33.298	
Pflaster	1.157		839		839	
Beton	9.513	2.253	8.755	1.548		
FSS / STS	40.163		29.758		31.074	1.548
Stahl	0				0	

Sensitivität: Mächtigkeit der kommunalen Straßen

Es ist anzunehmen, dass ein Großteil insbesondere des kommunalen Netzes noch mit wesentlich geringerer Dimensionierung als nach heutigen Standards gebaut wurde. Für diese Sensitivität wird untersucht welchen Einfluss die Überschätzung im kommunalen Straßennetz durch Unterstellung der aktuellen Bauweisen hat. Hierfür wird die Mächtigkeit der ungebundenen Schichten im Bestand halbiert, so dass sich auch der Abfallstrom aus den ungebundenen Schichten im kommunalen Netz halbiert.

Da sich die Bedarfe nicht ändern, das verfügbare RC-Material aber deutlich weniger wird, reduziert sich das Substitutionspotential von knapp 80 % im Referenzszenario auf 64 % für diese Sensitivitätsbetrachtung.

Tabelle 28: Massenflüsse nach Sensitivität für vertikalen Aufbau der kommunalen Straßen (in 1000 t/a)

	Baustoffbedarfe		Abfallmengen		Verfügbares Recyclingmaterial	
	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke
Asphalt	45.977		37.470		28.102	
Pflaster	1.157		839		839	
Beton	9.513	2.253	8.754	1.548		
FSS / STS	40.163		21.240		24.684	1.548
Stahl	0				0	

3.2.2 Szenario 1: 2030, größeres Netz

Vergleicht man die Massenflüsse nach Szenario 1 mit denen des „Referenz"-Szenarios, so unterscheiden sich diese nur in dem leicht höheren Baustoffbedarf. So liegen der Bedarf an Asphalt knapp 6 % höher und der Bedarf an Massen für die ungebundenen Schichten um etwa 12 %. Die höheren Recyclingraten des Altasphalts aber haben zur Folge, dass aus dem anfallenden Asphalt-Granulat 76 % anstatt 61 % der Bedarfe der Asphalt-Heißmischwerke gedeckt werden können. Fasst man die anfallenden Mengen an Altpflaster und Altbeton sowie den wiederverwendbaren Anteil an ungebundenen Schichten zusammen, lassen sich etwa 73 % des Bedarfs für ungebundene Schichten decken. Beim Referenz-Szenario lag die Quote bei etwa 79 %.

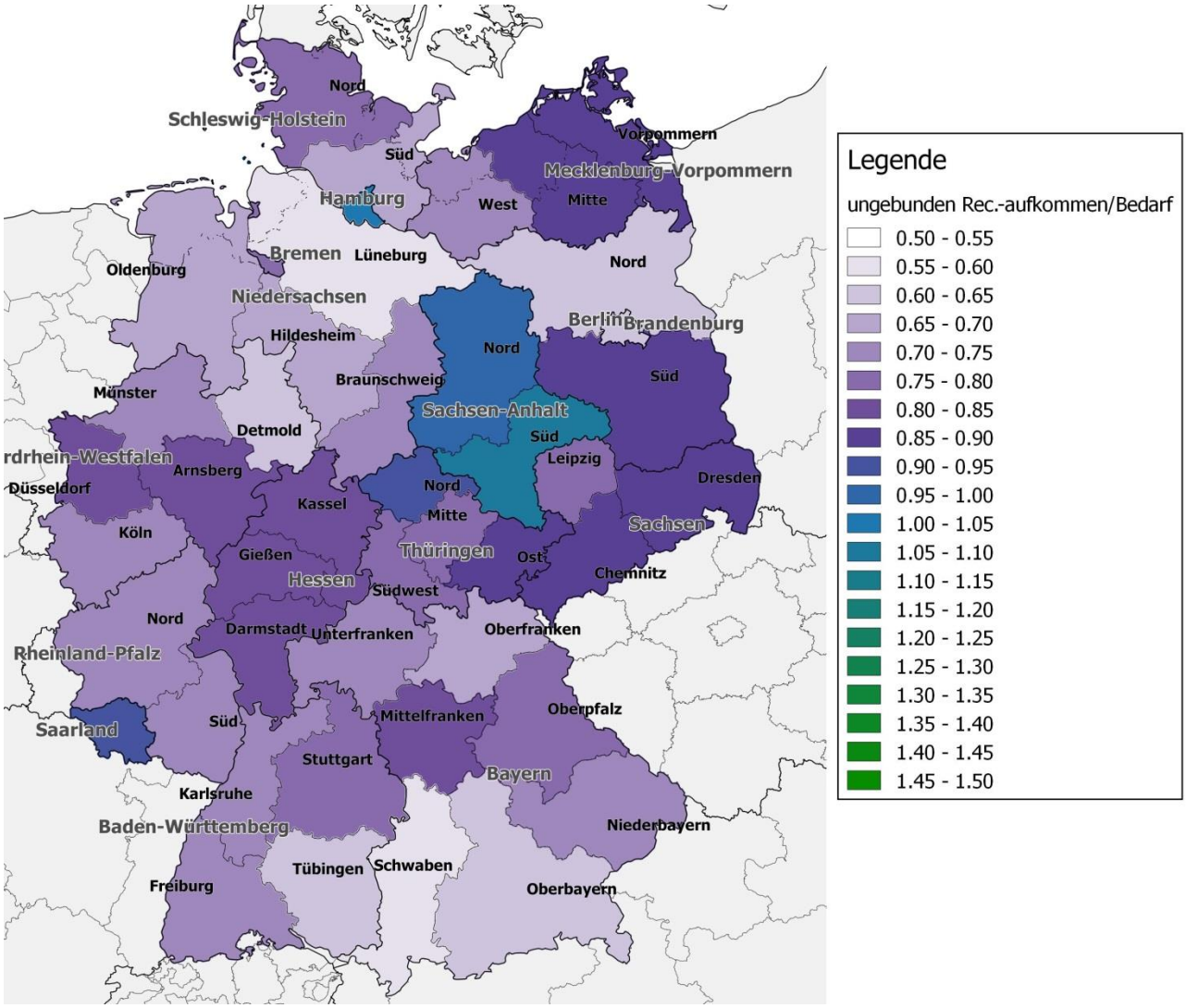
Tabelle 29: Massenflüsse nach Szenario 1 (in 1000 t)

	Baustoffbedarfe		Abfallmengen		Verfügbares Recyclingmaterial	
	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke
Asphalt	48.704		37.470		37.470	
Pflaster	1.356		839		839	
Beton	9.840	2.362	8.754	1.548	8.754	1.548
FSS / STS	44.836		29.758		22.319	
Stahl	0	1.072		689	0	689

Tabelle 30: Baustoffbedarfe nach Szenario 1 (in 1000 t) für 2030

	Straßen					Ingenieurbauwerke		
	Erneuerung	Hocheinbau	Erweiterung im Vollausbau	Neubau	Ausbau	Erneuerung	Neubau	Ausbau
Asphalt	37.470	1.443	479	8.959	353			
Pflaster	839		19	498	0			
Beton	8.234	0	30	717	71	1.548	703	110
HGT	520	0	11	258	0			
FSS / STS	29.758	0	728	13.927	423			
Stahl						689	335	49

Dieses Ergebnis zeigt sich auch in seiner regionalen Verteilung. Da die Unterschiede im Verhältnis von Altaltasphaltgranulat zu Asphaltneubedarf nur relativ gering sind, wird hierfür auf eine Darstellung im Kartenbild verzichtet. Die Situation für die Bedarfsdeckung für die Schichten ohne Bindemittel (FSS; STS) ist dargestellt. Die höchsten Raten werden in Hamburg (104 %) sowie in Sachsen-Anhalt (Nord: 99 %; Süd: 107 %) erreicht. Die niedrigsten Raten lassen sich für die Region Lüneburg mit nur 55 % errechnen, jeweils bezogen nur auf das Altmaterial aus FSS und STS (ungebundene Schichten) sowie Pflaster.



Thematische Karte 20: Verhältnis von jährlich verfügbarem ungebundenen Recyclingmaterial zu Bedarf in Prozent in Szenario 1 bis zum Jahr 2030

Erklärungen: Diese Karte zeigt das Verhältnis zwischen dem prognostizierten Aufkommen an verwertbaren Altmaterialmengen zur prognostizierten Nachfrage nach Material für die ungebundenen Schichten; hohe Raten werden vor allem in Sachsen-Anhalt, aber auch Nord-Thüringen, Saarland und Hamburg erzielt, niedrige in der Region Lüneburg und Schwaben, aber auch Berlin, Nord-Brandenburg, Detmold, Oberfranken, Oberbayern und Tübingen.

3.2.3 Szenario 2: 2030, größeres Netz und hohe Massenflüsse

Mit diesem Szenario wird eine in Zukunft deutliche Abnahme der Rückführungsraten unterstellt. Dies gilt zum einen für Asphalt und Beton, für die eine Rückführung in den Baustoffkreislauf von 75 % angenommen wird, vor allem jedoch für die alten Frostschutz- und Schottertragschichten mit einer Rückführungsrate von nur 25 %. Diese Annahmen haben deutliche Auswirkungen auf die Massenflüsse.

Wie man an den in den Tabellen dokumentierten Ergebnissen ersehen kann, liegt der Bedarf nach Asphalt im Vergleich zum Referenzszenario um etwa 9 Mio. Tonnen und damit deutlich höher. Dem steht mit 22,7 Mio. Tonnen eine relativ kleine Menge an Altgranulat gegenüber, das in die Heißmischwerke zurückgeführt werden kann. Die Substitutionsrate liegt demnach nur noch bei knapp

über 40 %. Der Asphaltbedarf resultiert weit überwiegend aus dem Erneuerungsbedarf des vorhandenen Straßennetzes.

Dies gilt auch für den Bedarf an Gemischen für die ungebundenen Schichten im Straßenoberbau, wobei dem Neubau hier mit etwa 25 % eine vergleichsweise hohe Bedeutung zukommt. Mit der sehr niedrigen Rückführungsrate für die entsprechenden Altmaterialien aus dem Straßenkörper werden – auch unter Einbeziehung von Altbeton und Altpflaster – nicht mehr ganz 40 % als Substitutionspotenzial erreicht.

Tabelle 31: Massenflüsse nach Szenario 2 (in 1000 t/a)

	Baustoffbedarfe		Abfallmengen		Verfügbares Recyclingmaterial	
	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke
Asphalt	55.806		45.346		22.673	
Pflaster	2.079		1.564		1.564	
Beton	10.776	3.910	9.694	3.096	7.271	2.322
FSS / STS	54.384		39.395		9.849	
Stahl	0	1.761		1.378		1.034

Tabelle 32: Baustoffbedarfe nach Szenario 2 (in 1000 t/a) für 2030

	Straßen					Ingenieurbauwerke		
	Erneue-rung	Hocheinbau	Erweiterung im Vollausbau	Neubau	Ausbau	Erneue-rung	Neubau	Ausbau
Asphalt	45.346	722	426	8.959	353			
Pflaster	1.564		17	498	0			
Beton	8.878	0	27	717	71	3.096	703	110
HGT	816	0	10	258	0			
FSS / STS	39.395	0	639	13.927	423			
Stahl						1.378	335	49

3.2.4 Szenario 3: 2050, pol. Zielsetzung

Mit diesem Szenario wird der Prognosezeitpunkt von 2030 auf 2050 verlagert. Entsprechend der politischen Zielstellungen wird hier unterstellt, dass der Anteil an Siedlungs- und Verkehrsflächen nicht mehr weiter ansteigt und damit auch das kommunale wie auch überörtliche Netz an Straßen nicht weiter zunimmt. Werden diese umweltpolitischen Ziele erreicht, hat dies deutliche Auswirkungen auf die zukünftigen Massenflüsse.

Asphalt

So nimmt der Bedarf an Asphalt gegenüber dem Referenzszenario von 46 Mio. Tonnen auf 39,4 Mio. Tonnen ab. Die Nachfrage bei den Heißasphaltmischwerken nimmt so auf 86 % ab. Da der Erneuerungsbedarf der Asphaltschichten im Bestand unverändert bleibt, verändert sich auch das Verhältnis von nutzbarem Asphaltfräsgut zu Asphaltbedarf auf gut 71 %, wenn man eine Rückführungsrate von 75 % unterstellt. Der Bedarf an Asphalt ergibt sich für Bundesautobahnen und Bundesstraßen sowie für das kommunale Netz ausschließlich aus dem Erneuerungsbedarf. Nur auf Ebene der Landes- und Kreisstraßen beträgt der Anteil für die Erneuerung etwa 65 %. Vor allem der hier praktizierte Hocheinbau ist eine weitere Nachfragequelle.

Welche Potenziale hier noch vorhanden sind, wird mit einer Rate von knapp 95 % über alle Straßenkategorien deutlich, wenn man das gesamte Altasphaltaufkommen diesem Bedarf gegenüber stellt. Sollen diese Massen an Altasphaltfräsgut tatsächlich in Heißasphaltmischwerken als sekundärer Rohstoff genutzt werden, so ist eine technische Weiterentwicklung des Anlagenbestandes notwendig.

Tabelle 33: Massenflüsse nach Szenario 3 (in 1000 t)

	Baustoffbedarfe		Abfallmengen		Verfügbares Recyclingmaterial	
	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke
Asphalt	39.392		37.470		28.102	
Pflaster	858		839		839	
Beton	8.795	2.362	8.754	1.548	8.754	1.548
FSS / STS	30.486		29.758		22.319	
Stahl	0	689		689		689

Tabelle 34: Baustoffbedarfe nach Szenario 3 (in 1000 t) für 2050

	Straßen					Ingenieurbauwerke		
	Erneue-rung	Hochein-bau	Erweite-rung im Vollaus-bau	Neubau	Ausbau	Erneue-rung	Neubau	Ausbau
Asphalt	37.470	1.443	479	0	0			
Pflaster	839		19	0	0			
Beton	8.234	0	30	0	0	1.548	703	110
HGT	520	0	11	0	0			
FSS / STS	29.758	0	728	0	0			
Stahl						689		

Ungebundene Schichten

In Tabelle 33 sind die übrigen mineralischen Straßenbaustoffe (Pflaster, Beton; ungebundene Schichten) in ihren zukünftigen Bedarfen und Abfallmengen aufgeführt. Für die ungebundenen Schichten des Straßenoberbaus werden dabei Bedarfe von 30,5 Mio. Tonnen prognostiziert, die einem Abfallaufkommen von 29,8 Mio. Tonnen gegenüberstehen. Diese Altstoffmenge lässt sich nicht vollständig zu Straßenbaustoffen aufbereiten und rückführen. Die angesetzte Rückführungsrate von 75 % führt zu einer verfügbaren Masse an sekundärem Rohstoff von 22 Mio. Tonnen. Die anfallenden Altbetone lassen sich nach den geltenden Regelwerken nicht in die Betonproduktion für den Straßen- und Wegebau zurückführen. Sie werden gebrochen und klassisch zu ungebundenen Straßenbaustoffen verarbeitet. Die Rückführungsrate wird hier mit 100 % angenommen. Für Pflastersteine wurden die gleichen Annahmen getroffen. Nimmt man diese Abfallmassenströme zusammen, ergibt sich so ein Aufkommen in Summe von 32,6 Mio. Tonnen verwertbarem Material. Rechnerisch lässt sich demnach der Materialbedarf für die ungebundene Schichten zu 107 % über Altstoffe aus dem Straßenbau selbst decken. Diese Situation unterscheidet sich deutlich von dem derzeitigen Status Quo und hat bedeutende Auswirkungen. Rechnerisch würde der Straßen- und Wegebau seinen Materialbedarf für Schichten ohne Bindemittel ausschließlich aus eigenen Altstoffmassen decken können und dies selbst im bundesweiten Schnitt. Die Bedarfe resultieren bei diesem Szenario quasi ausschließlich aus dem Erneuerungsbedarf.

Betone

Die postulierten Bedarfe an Beton resultieren zu etwa 21 % aus den Bedarfen für Ingenieurbauwerke. Dieser verbleibende hohe Anteil der Betonnachfrage für die eigentlichen Straßen dürfte wahrscheinlich eine deutliche Überschätzung darstellen. Zum einen unterstellt die Bedarfsprognose, dass sich der Anteil an Fahrbahndecken aus Beton nicht verändert, bspw. zugunsten der Decken aus Asphalt. Nach der derzeitigen Praxis werden jedoch Betondecken nur noch im Autobahnbau verwendet. Zum anderen enthalten die Zahlen auch die Mengen an hydraulisch gebundenen Tragschichten, zurückzuführen auf den Einsatz von meist Zement. Werden diese Schichten (HGT) tatsächlich ausgebaut, werden sie in Zukunft wohl nur in wenigen Fällen wieder durch eine HGT ersetzt werden.

Abbildung 12: Übersicht über die Massenflüsse für Szenario 3 im Detail

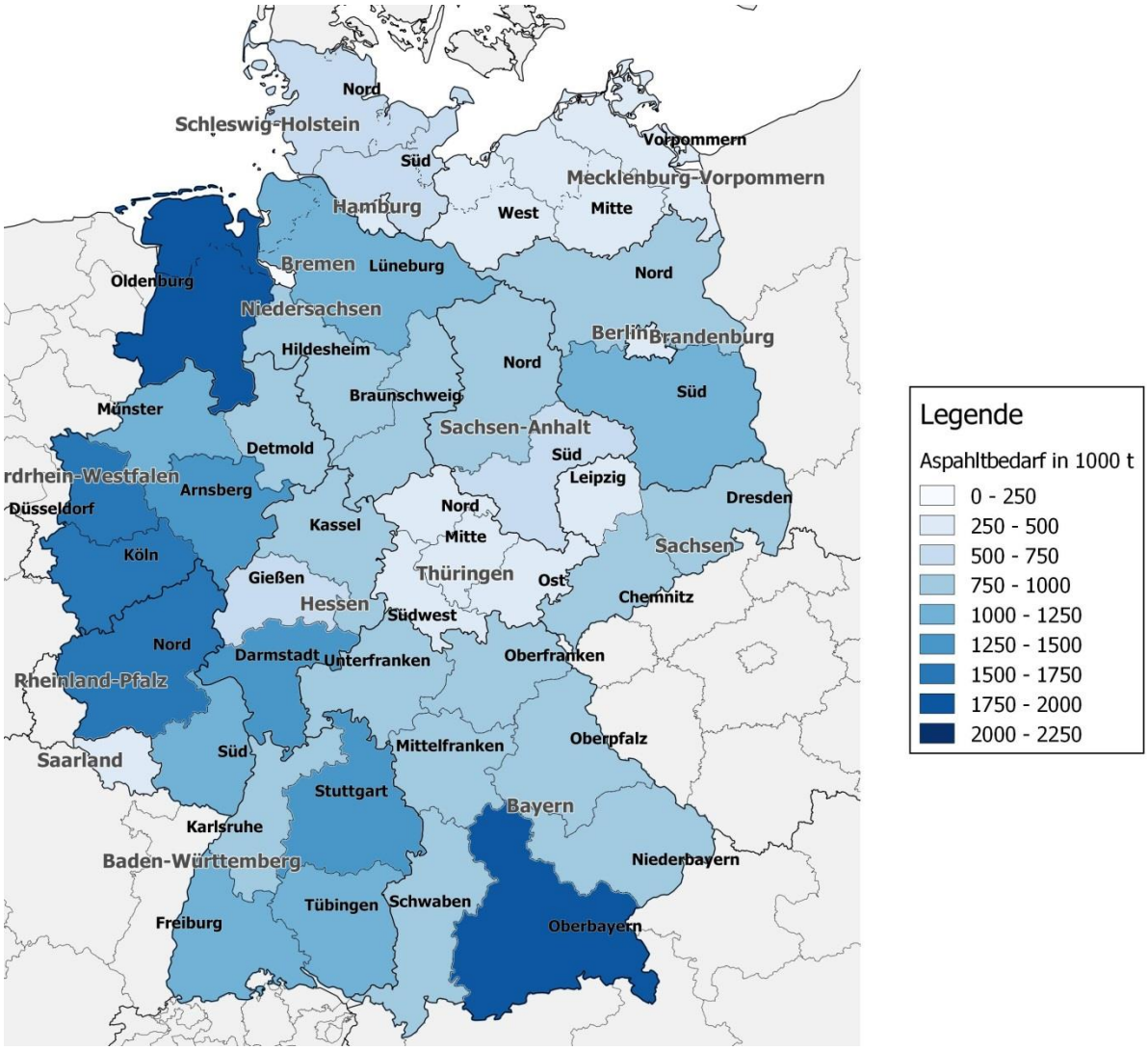
			Straße					Ing.-Bauwerke			Baustoffbedarf		Abfallmengen		verf. Recyclingmaterial	
			Masse Erneuerung 1000 Mg/a	Masse Hocheinbau Asphalt 1000 Mg/a	Masse Erweiterung im Vollausbau 1000 Mg/a	Masse im Neubau 2030 1000 Mg/a	Masse im Ausbau 2030 1000 Mg/a	Masse Erneuerung 1000 Mg/a	Masse im Neubau 2030 1000 Mg/a	Masse im Ausbau 2030 1000 Mg/a	Straßen Masse 1000 Mg/a	Ing.-Bauwerke Masse 1000 Mg/a	Straßen Masse 1000 Mg/a	Ing.-Bauwerke Masse 1000 Mg/a	Straßen Masse 1000 Mg/a	Ing.-Bauwerke Masse 1000 Mg/a
BAB	**Asphalt**		7.088	0	0	0	0	0	0	0	7.088	0	7.088	0	5.316	0
BAB	**Pflaster**		9	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	0	9	0
BAB	**Beton**	**HGT**	6.513	0	0	0	0	436	233	110	6.513	780	6.513	436	6.513	436
BAB	**ungebunden**		4.137	0	0	0	0	0	0	0	4.137	0	4.137	0	3.102	0
BAB	**Fliesstoff**		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BAB	**Stahl**		0	0	0	0	0	203	112	49	0	364	0	203	0	0
B	**Asphalt**		6.906	0	0	0	0	0	0	0	6.906	0	6.906	0	5.179	0
B	**Pflaster**		21	0	0	0	0	0	0	0	21	0	21	0	21	0
B	**Beton**	**HGT**	192	0	0	0	0	402	188	0	192	590	192	402	192	402
B	**ungebunden**		2.346	0	0	0	0	0	0	0	2.346	0	2.346	0	1.760	0
B	**Fliesstoff**		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	**Stahl**		0	0	0	0	0	190	97	0	0	287	0	190	0	0
L	**Asphalt**		5.248	849	237	0	0	0	0	0	6.340	0	5.248	0	3.936	0
L	**Pflaster**		25	6	1	0	0	0	0	0	26	0	25	0	25	0
L	**Beton**	**HGT**	151	0	11	0	0	202	90	0	161	292	151	202	151	202
L	**ungebunden**		3.269	0	310	0	0	0	0	0	3.579	0	3.269	0	2.452	0
L	**Fliesstoff**		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L	**Stahl**		0	0	0	0	0	84	41	0	0	125	0	84	0	0
K	**Asphalt**		3.760	453	242	0	0	0	0	0	4.591	0	3.760	0	2.820	0
K	**Pflaster**		59	136	18	0	0	0	0	0	77	0	59	0	59	0
K	**Beton**	**HGT**	687	0	30	0	0	118	46	0	717	164	687	118	687	118
K	**ungebunden**		2.970	0	418	0	0	0	0	0	3.387	0	2.970	0	2.227	0
K	**Fliesstoff**		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	**Stahl**		0	0	0	0	0	43	18	0	0	61	0	43	0	0
G	**Asphalt**		14.468	0	0	0	0	0	0	0	14.468	0	14.468	0	10.851	0
G	**Pflaster**		725	0	0	0	0	0	0	0	725	0	725	0	725	0
G	**Beton**	**HGT**	1.211	0	0	0	0	389	147	0	1.211	536	1.211	389	1.211	389
G	**ungebunden**		17.037	0	0	0	0	0	0	0	17.037	0	17.037	0	12.778	0
G	**Fliesstoff**		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	**Stahl**		0	0	0	0	0	169	67	0	0	236	0	169	0	0

Erklärungen: Bei dieser Abbildung handelt es sich um einen Ausschnitt einer Excel-Tabelle, die unterschieden nach Bauwerken und Straßen die Bedarfe, Abfallmengen und verfügbaren Recyclingmaterialien beziffert und zwar unterschieden nach den einzelnen Materialarten (Asphalt, Pflaster, Beton, ungebunden, Fließstoff, Stahl).

Die Situation in den einzelnen Regionen

Betrachtet man die Ergebnisse unterschieden nach den einzelnen Regionen, so zeigen sich doch deutliche Unterschiede.

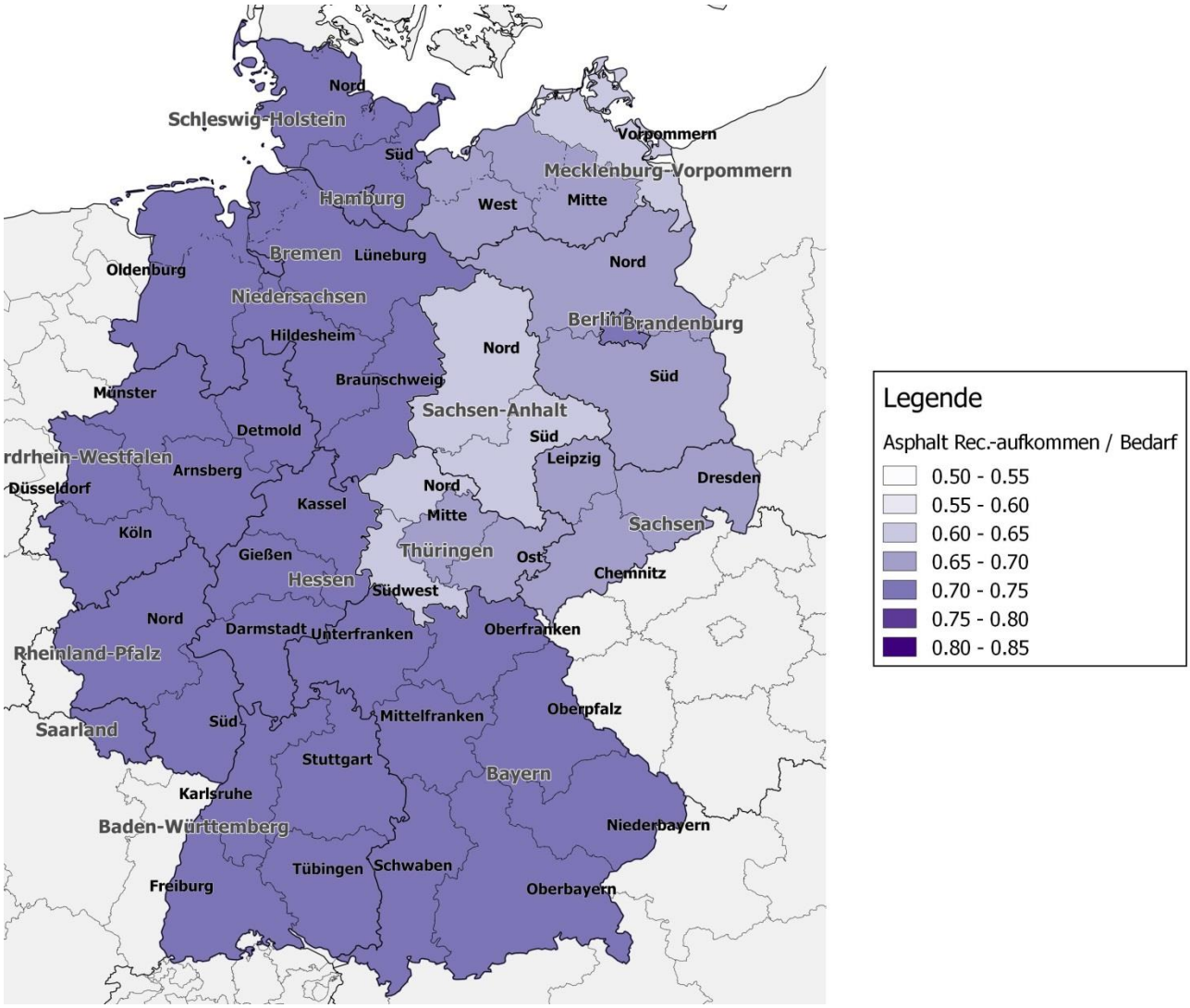
Wie man der thematischen Karte 9 entnehmen kann, unterscheidet sich die zukünftige Nachfrage nach **Asphalt** in den einzelnen Regionen. Da die Regionen unterschiedlich groß sind und sich auch die Länge des Straßennetzes unterscheidet, sind daraus keine Interpretationen zum spezifischen Bedarf möglich. Diese Auswertung gibt nur einen Fingerzeig zur regionalen Verteilung des zukünftigen Bedarfs und damit auch zur regionalen Verteilung entsprechender Produktionskapazitäten. Die größten Bedarfe liegen mit ca. 1,7 Mio. Tonnen/a und mehr in Oberbayern, in der Region Oldenburg und im Norden von Rheinland-Pfalz. Die geringste Nachfrage mit etwa 0,4 Mio. Tonnen/a und weniger liegen in den Stadtstaaten Berlin, Bremen und Hamburg sowie in einigen Planungsregionen von Thüringen.



Thematische Karte 21: Jährlicher Asphaltbedarf für die Jahre von 2030 bis 2050 in 1.000 t/a

Erklärungen: Diese Karte zeigt die prognostizierte Asphaltnachfrage, differenziert nach Regionen wie im Text ausgeführt und in Tabelle 35 dargestellt.

Diesen Bedarfen stehen in erheblichem Umfang Mengen an Altasphalt gegenüber, die in den Heißasphaltmischwerken als Rohstoff zur Neuproduktion von Asphalten eingesetzt werden können. Hier unterscheiden sich die Verhältnisse in Abhängigkeit der Neubauquote nach den einzelnen Regionen sehr deutlich. So gibt es zum einen sehr viele Regionen mit Raten über 70 %, denen einige Regionen gegenüberstehen, die nahe an 60 % heranreichen. Eine Rate von 73 % oder mehr zeigen die Stadtstaaten Berlin, Bremen und Hamburg, alle Regionen in Bayern, alle Regionen in Baden-Württemberg, das Saarland sowie die Regierungsbezirke Arnsberg und Düsseldorf in Nordrhein-Westfalen und Darmstadt in Hessen. Die Regionen mit einer Rate von 65 % und weniger liegen in Thüringen (Nord und Südwest), in Mecklenburg-Vorpommern (Mitte und Vorpommern), umfassen Sachsen-Anhalt und beinhalten die Region Dresden.



Thematische Karte 22: Verhältnis von jährlich verfügbarem Recyclingasphalt zu Bedarf in Prozent für den Zeitraum 2030 bis 2050

Erklärungen: Diese Karte zeigt das prognostizierte verwertbare Asphaltaufkommen im Verhältnis zur prognostizierten Asphaltnachfrage, differenziert nach Regionen wie im Text ausgeführt.

Die Verteilung der Asphaltbedarfe auf die einzelnen Baulastträger ist von Region zu Region ebenfalls sehr unterschiedlich. Die Straßen in der Baulast des Bundes haben grundsätzlich einen hohen Anteil am postulierten Asphaltbedarf, der deutlich über den entsprechenden Anteil am Streckennetz hinausgeht. Dies ist auf die in der Regel höhere Beanspruchung dieses Straßennetzes zurückzuführen. Gemäß seiner Bedeutung am Gesamtnetz resultiert der Asphaltbedarf aber auch aus dem kommunalen Netz, zu >50 % in den Stadtstaaten sowie in der Region Oldenburg.

Tabelle 35: Asphaltbedarfe nach Szenario 3 (in 1000 t/a) für 2050, aufgeteilt nach Regionen

	Asphalt-bedarfe	Anteil Baulastträger			
		Bund	Land	Kreis	Kommune
Arnsberg	1.384	38 %	17 %	7 %	38 %
Berlin	317	34 %	0 %	0 %	66 %

	Asphalt-bedarfe	Anteil Baulastträger			
		Bund	Land	Kreis	Kommune
Brandenburg Nord	891	33 %	23 %	9 %	34 %
Brandenburg Süd	1.066	34 %	33 %	9 %	35 %
Braunschweig	818	39 %	13 %	15 %	33 %
Bremen	153	31 %	0 %	0 %	69 %
Chemnitz	820	34 %	23 %	12 %	30 %
Darmstadt	1.344	41 %	14 %	6 %	39 %
Detmold	976	32 %	19 %	12 %	37 %
Dresden	879	30 %	23 %	17 %	30 %
Düsseldorf	1.529	44 %	14 %	5 %	37 %
Freiburg	1.214	33 %	11 %	10 %	46 %
Gießen	641	35 %	22 %	11 %	32 %
Hamburg	370	37 %	0 %	0 %	63 %
Hildesheim	933	34 %	13 %	13 %	41 %
Karlsruhe	938	34 %	14 %	10 %	43 %
Kassel	910	41 %	20 %	11 %	28 %
Köln	1.537	41 %	16 %	6 %	37 %
Leipzig	483	34 %	17 %	15 %	34 %
Lüneburg	1.041	32 %	14 %	20 %	35 %
Mecklenburg Mitte	495	44 %	15 %	19 %	22 %
Mecklenburg West	439	50 %	12 %	18 %	20 %
Mittelfranken	858	37 %	11 %	11 %	41 %
Münster	1.063	38 %	18 %	11 %	33 %
Niederbayern	915	24 %	15 %	18 %	44 %
Oberbayern	1.776	36 %	10 %	10 %	43 %
Oberfranken	781	44 %	11 %	11 %	33 %
Oberpfalz	928	44 %	15 %	13 %	38 %
Oldenburg	1.782	24 %	11 %	12 %	54 %
RLP Nord	1.679	39 %	21 %	15 %	26 %
RLP Süd	1.061	41 %	20 %	9 %	30 %
Saarland	443	44 %	15 %	7 %	34 %
Sachsen-Anhalt Nord	760	28 %	27 %	23 %	23 %
Sachsen-Anhalt Süd	628	29 %	26 %	16 %	29 %
Schwaben	995	37 %	10 %	11 %	42 %

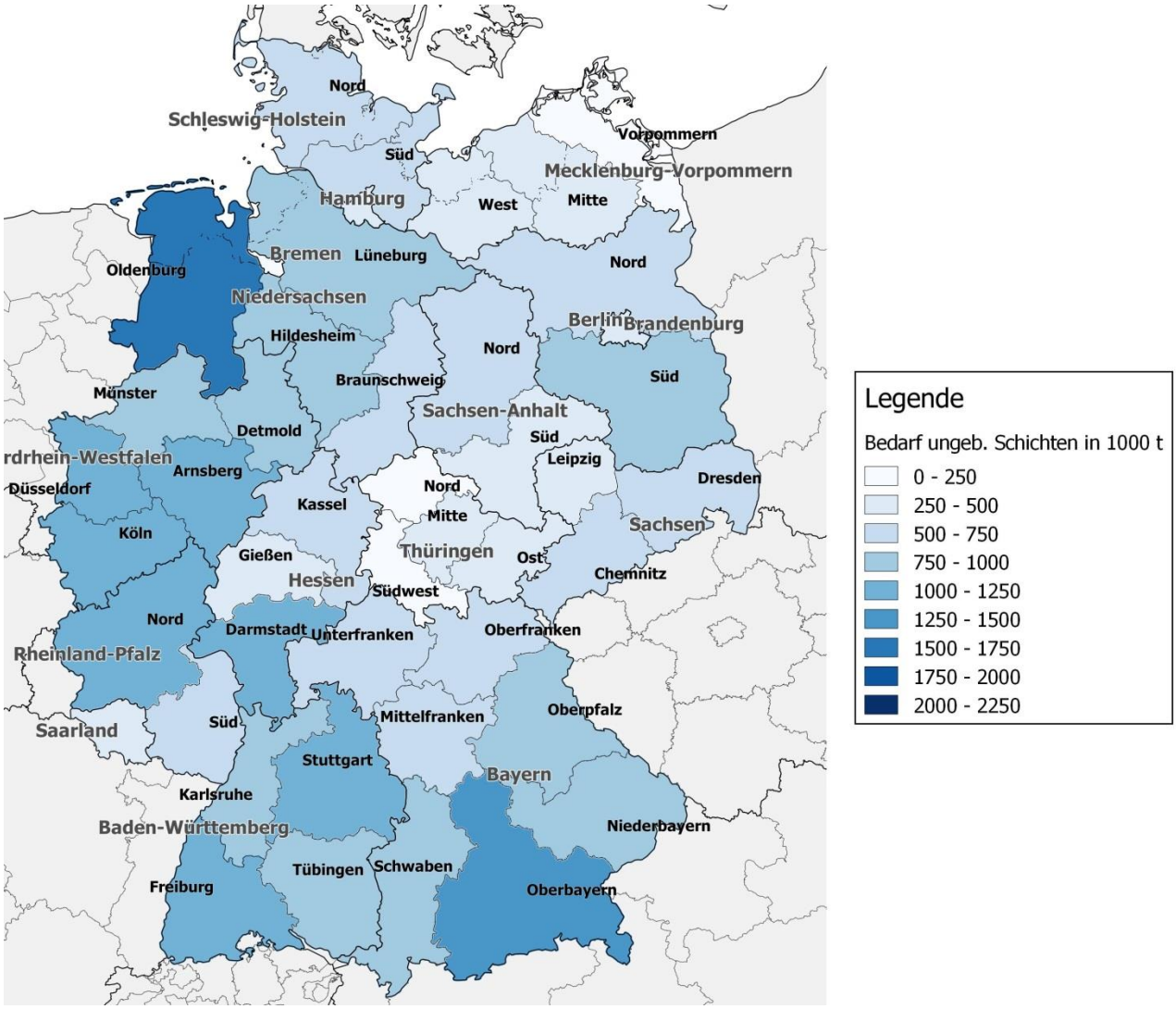
	Asphalt-bedarfe	Anteil Baulastträger			
		Bund	Land	Kreis	Kommune
SH Nord	707	32 %	21 %	16 %	31 %
SH Süd	698	40 %	15 %	12 %	33 %
Stuttgart	1.438	30 %	14 %	12 %	44 %
Thüringen Mitte	364	38 %	23 %	10 %	28 %
Thüringen Nord	287	30 %	39 %	8 %	23 %
Thüringen Ost	463	36 %	23 %	14 %	27 %
Thüringen Südwest	336	32 %	29 %	11 %	27 %
Tübingen	1.007	27 %	15 %	14 %	44 %
Unterfranken	858	43 %	13 %	12 %	32 %
Vorpommern	386	39 %	20 %	19 %	23 %

Die Bedarfe nach Baumassen für die **Schichten ohne Bindemittel** im Oberbau einer Straße (Frostschutzschichten, Schottertragschichten) unterscheiden sich in den einzelnen Regionen deutlich. Die absoluten Bedarfe nach diesen Baustoffen werden selbstverständlich über die unterschiedlichen jeweiligen Streckenlängen des Straßennetzes bestimmt. Sie ergeben sich aber auch aus den in den Regionen unterschiedlichen Anteilen an Straßenkategorien bzw. auch Straßenlängen innerhalb und außerhalb der geschlossenen Bebauung. Die größten Bedarfe lassen sich mit über 1,5 Mio. Tonnen für die Region Oldenburg abschätzen. Die geringsten Bedarfe ergeben sich mit <0,3 Mio. Tonnen für Berlin, Bremen sowie Regionen in Thüringen und in Vorpommern.

Tabelle 36: Bedarfe an Schichten ohne Bindemittel nach Szenario 3 (in 1000 t) für 2050, aufgeteilt nach Regionen

	Bedarfe SoB	Anteil Baulastträger			
		Bund	Land	Kreis	Kommune
Arnsberg	1.096	24 %	13 %	8 %	56 %
Berlin	289	15 %	0 %	0 %	86 %
Brandenburg Nord	623	20 %	14 %	8 %	58 %
Brandenburg Süd	782	22 %	15 %	7 %	57 %
Braunschweig	613	23 %	10 %	15 %	52 %
Bremen	151	17 %	0 %	0 %	83 %
Chemnitz	584	22 %	15 %	12 %	50 %
Darmstadt	1.059	26 %	10 %	6 %	58 %
Detmold	750	18 %	15 %	12 %	56 %
Dresden	622	19 %	15 %	16 %	49 %
Düsseldorf	1.192	28 %	11 %	5 %	56 %
Freiburg	1.012	16 %	9 %	10 %	65 %

	Bedarfe SoB	Anteil Baulastträger			
		Bund	Land	Kreis	Kommune
Gießen	476	22 %	17 %	11 %	50 %
Hamburg	343	20 %	0 %	0 %	80 %
Hildesheim	750	18 %	10 %	12 %	60 %
Karlsruhe	805	21 %	10 %	10 %	59 %
Kassel	647	26 %	16 %	12 %	46 %
Köln	1.195	26 %	13 %	6 %	55 %
Leipzig	367	23 %	10 %	13 %	53 %
Lüneburg	823	18 %	10 %	19 %	53 %
Mecklenburg Mitte	309	32 %	10 %	17 %	41 %
Mecklenburg West	265	36 %	8 %	16 %	40 %
Mittelfranken	696	19 %	10 %	11 %	59 %
Münster	794	23 %	14 %	11 %	53 %
Niederbayern	818	14 %	11 %	16 %	58 %
Oberbayern	1.455	18 %	9 %	10 %	62 %
Oberfranken	596	29 %	8 %	12 %	51 %
Oberpfalz	754	21 %	11 %	13 %	56 %
Oldenburg	1.600	12 %	7 %	10 %	71 %
RLP Nord	1.165	23 %	17 %	16 %	44 %
RLP Süd	737	25 %	15 %	10 %	51 %
Saarland	345	29 %	12 %	8 %	51 %
Sachsen-Anhalt Nord	525	25 %	17 %	19 %	39 %
Sachsen-Anhalt Süd	473	26 %	16 %	13 %	45 %
Schwaben	816	20 %	9 %	11 %	60 %
SH Nord	532	19 %	16 %	16 %	49 %
SH Süd	538	25 %	12 %	12 %	50 %
Stuttgart	1.240	17 %	11 %	12 %	60 %
Thüringen Mitte	251	28 %	15 %	10 %	47 %
Thüringen Nord	179	22 %	27 %	8 %	43 %
Thüringen Ost	316	25 %	15 %	13 %	47 %
Thüringen Südwest	224	23 %	20 %	10 %	47 %
Tübingen	837	11 %	12 %	14 %	63 %
Unterfranken	615	24 %	9 %	14 %	52 %
Vorpommern	229	25 %	13 %	16 %	45 %

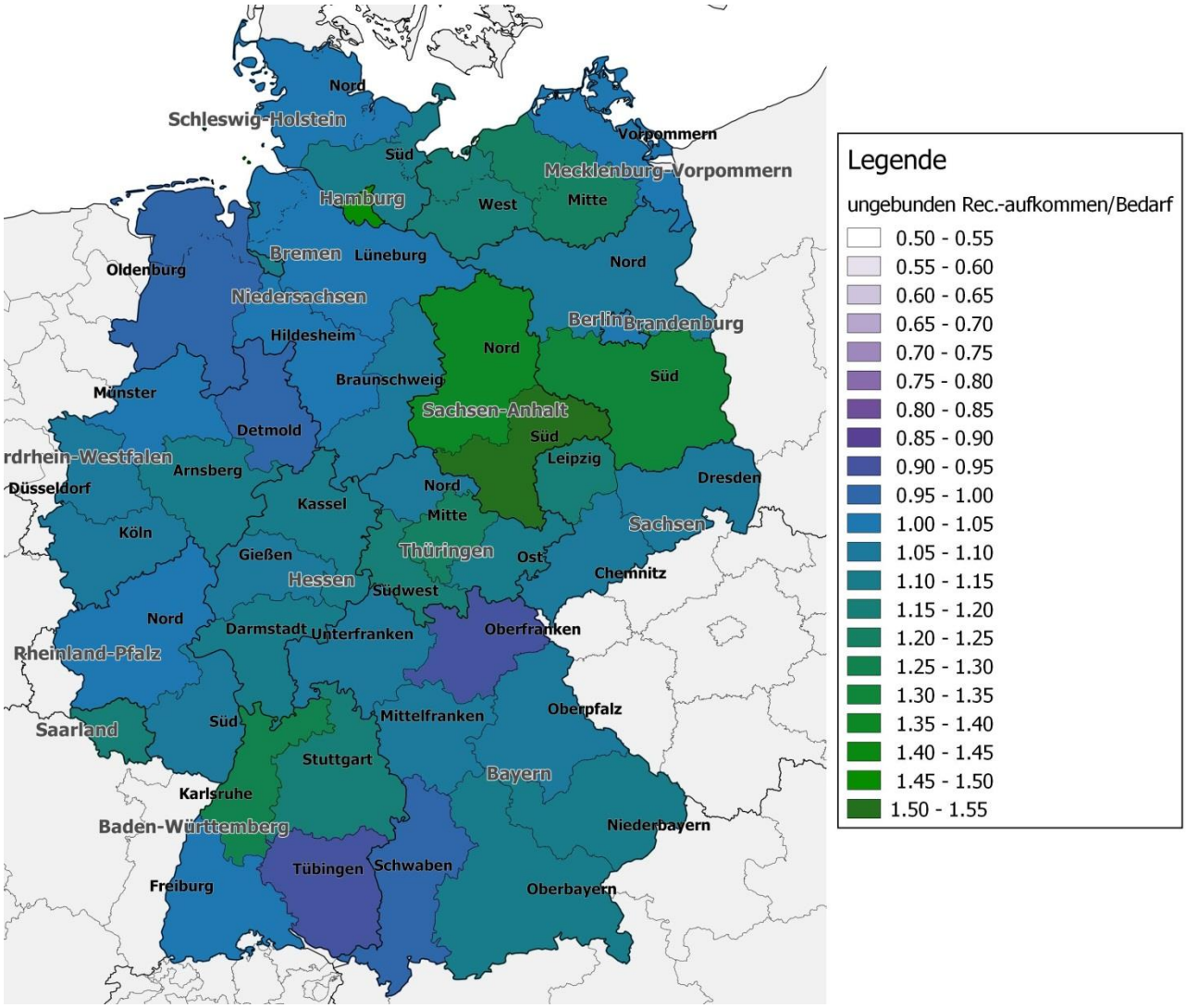


Thematische Karte 23: Jährlicher Bedarf an ungebundenem Material für den Zeitraum 2030 bis 2050 in 1.000 t/a

Erklärungen: Diese Karte zeigt die prognostizierte Nachfrage nach ungebundenem Material, differenziert nach Regionen wie in Tabelle 36 dargestellt.

Die errechnete Bedarfsdeckung liegt für ungebundene Schichten deutlich höher. In allen Regionen lässt sich nach diesem Szenario die Nachfrage nach Baustoffen für die Erstellung ungebundener Schichten (FSS, STS) vollständig aus im Straßenbau anfallenden Altmaterialien decken, selbst wenn man die Altmaterialien nur auf die ungebundenen Schichten (FSS, STS) und Pflaster bezieht. Die errechnete Bedarfsdeckung liegt nahezu überall bei mindestens 1. Dieser Wert wird nur in Tübingen (0,93) und Schwaben (0,97) knapp nicht erreicht. Sehr deutliche Überhänge an Altmaterialien werden für Brandenburg Süd (1,34), Hamburg (1,46), Sachsen-Anhalt (Nord: 1,4; Süd: 1,52) sowie den Regierungsbezirk Karlsruhe (1,26) errechnet.

In allen Fällen wird aus diesen Zahlen deutlich, dass die Aufnahmekapazität des Sektors Straßen- und Wegebau für RC-Baustoffe in Zukunft eher abnehmen wird. Dies ist ein dringender Fingerzeig, sich um andere Verwertungswege gerade auch für die mineralischen Bauabfälle aus dem Hochbau zu bemühen.



Thematische Karte 24: Verhältnis von jährlich verfügbarem ungebundenen Recyclingmaterial zu Bedarf in Prozent im Szenario 3 für den Zeitraum 2030 bis 2050

Erklärungen: Diese Karte zeigt wie im Text ausgeführt das prognostizierte verwertbare Aufkommen an Altmaterial für ungebundene Schichten im Verhältnis zur prognostizierten Nachfrage, differenziert nach Regionen.

Betrachtet man die Verteilung der Bedarfe auf die Baulastträger, fällt die große Bedeutung der kommunalen Straßen auf. Kommunale Straßen wurden mit der Lage innerhalb der geschlossenen Bebauung gleichgesetzt. Die Erneuerung der Straßen muss hier grundhaft erfolgen und ist damit mit einem Rückbau des alten Straßenoberbaus bzw. mit einem entsprechenden Neuaufbau und höheren Materialbedarfen verbunden.

3.2.5 Szenario 4: 2050, kleiner Netzzuwachs und höhere Massenflüsse

Mit diesem letzten Szenario wird der erhöhte Erneuerungsbedarf für den Prognosezeitpunkt 2030 aus Szenario 2 übernommen, um den meist eher schlechten Zustand der Verkehrsinfrastruktur zu berücksichtigen. Der dort prognostizierte Zuwachs der Verkehrsinfrastruktur wird jedoch auf 50 % des in Szenario 1 postulierten Wertes reduziert.

Diese Randbedingungen zeigen sich auch in den Ergebnissen. Die Nachfrage nach Asphalt liegt höher als nach Frostschutz- und Schottertragschichten. In beiden Fällen reicht das prognostizierte Abfallaufkommen nahe an diese Bedarfe heran, so dass sich die hohe Nachfrage rechnerisch zu einem großen Anteil durch RC-Baustoffe decken lässt. Für Asphalt errechnet sich eine Rate von 68 %, für die ungebundenen Schichten von 91 % wenn man die Altmengen an Pflaster und Betonen miteinbezieht.

Tabelle 37: Massenflüsse nach Szenario 4 (in 1000 t)

	Baustoffbedarfe		Abfallmengen		Verfügbares Recyclingmaterial	
	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke	Straße	Ingenieur-bauwerke
Asphalt	49.787		45.346		34.009	
Pflaster	1.730		1.564		1.564	
Beton	10.090	3.910	9.694	3.096	9.694	2.322
FSS / STS	44.873		39.395		29.546	
Stahl		857		689		689

Tabelle 38: Baustoffbedarfe nach Szenario 4 (in 1000 t) für 2030

	Straßen					Ingenieurbauwerke		
	Erneue-rung	Hochein-bau	Erweite-rung im Vollaus-bau	Neubau	Ausbau	Erneue-rung	Neubau	Ausbau
Asphalt	45.346	722	426	3.117	176			
Pflaster	1.564		17	149	0			
Beton	8.878	0	27	247	35	3.096	703	110
HGT	816	0	10	77	0			
FSS / STS	39.395	0	639	4.628	212			
Stahl						689	143	24

4 Erkenntnisse und ihre Bewertung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus den Massenbilanzen der unterschiedlichen Szenarien und Massenflüsse zusammengeführt und bewertet. Für einige der diskutierten Abfallmassenströme zeichnen sich bspw. Entwicklungen in der Aufbereitungstechnik oder den umweltpolitischen Rahmenbedingungen ab, mit entsprechenden Auswirkungen auf die Massenbilanzen. Darüber hinaus werden aber auch Potenziale aufgezeigt, die Rückführungsraten auch problematischer Ausgangsmaterialien zu erhöhen.

Zusammenführen auf Bundesebene

In der Bilanzierung der Baustoffbedarfe sind in kleinen Anteilen auch Hydraulisch Gebundene Tragschichten (**HGT)** enthalten, die sich rechnerisch aus den HGT-Anteilen im Rückbaumaterial ergeben und unterstellen, dass anteilig im gleichen Umfang wie bisher auch weiterhin HGT hergestellt werden. Eine HGT wird in der Praxis gerne dann hergestellt, damit ein hochbelastetes Material (in der Regel pechhaltiger Straßenaufbruch) nicht über Deponien entsorgt werden muss und durch die Konditionierung die Freisetzung von Schadstoffen deutlich begrenzt werden kann.

Wie unter „Rückführung von Altasphalt“ benannt, wird diese Methode in Zukunft wohl nicht mehr praktiziert werden können. Pechhaltige Materialien sollen demnach aus dem Materialkreislauf ausgeschleust werden. Sofern sie nicht auf Deponien abgelagert werden, könnte eine gezielte thermische Behandlung erfolgen. Die in den Szenarien aufgezeigten Bedarfe an HGT-Material in den Straßenkörpern müssen daher in Zukunft über ungebundene Tragschichten oder auch Beton bzw. Asphalt abgedeckt werden.

In den Massenbilanzen der einzelnen Szenarien werden auch zukünftige Bedarfe an **Pflastermaterial** postuliert. Auch diese ergeben sich rechnerisch aus dem abgeschätzten Aufkommen an Altmaterial. Es wird davon ausgegangen, dass die Straßen und Plätze in gleichem anteiligem Umfang wieder mit einer Deckschicht aus Pflastermaterial erstellt würden. Dies ist jedoch nicht immer zu erwarten. Die hier aufgezeigten Bedarfe lassen sich auch über andere Materialien für gebundene Deckschichten abdecken. Die aufgezeigte Masse an Pflastermaterial müsste dann anderen Materialströmen zugerechnet werden.

Auch **Beton** wird nach den einzelnen Szenarien in nicht unerheblichem Umfang benötigt. Der jährliche Bedarf liegt zwischen 8,8 Mio. Tonnen (Szenario 3) und 10,8 Mio. Tonnen nach Szenario 2. In der Referenz liegt der Bedarf bei 9,5 Mio. Tonnen. Diese Bedarfe ergeben sich vor allem aus dem postulierten Erneuerungsbedarf der Straßen (und nicht der Straßenbauwerke) und schreiben damit – wie bei den oben aufgeführten Materialien – die derzeitige Bedeutung von Betondecken im Straßennetz auf die Zukunft fort. Die Einschätzungen über die Stärken und Schwächen von Beton- im Vergleich zu Asphaltdecken sind in der Fachwelt geteilt. Es gibt hierzu unterschiedliche Philosophien. In der Vergangenheit war mit Sicherheit auch die regionale Verfügbarkeit der Baumaterialien ein wichtiges Kriterium, d.h. die Nachbarschaft zu entsprechenden Lieferwerken.

Betonfahrbahnen, aber auch Betonbauwerke lassen sich nur schwierig für den Einsatz von Altmaterialien erschließen. Die Anforderungen an die Betonqualitäten sind hoch. Bei Fahrbahnen stehen die hohe mechanische Beanspruchung und der chemische Angriff über Taumittel der Verwendung von RC-Gesteinskörnung entgegen. Bei den Straßenbauwerken ist nur in den Widerlagern von Brücken ein Einsatz denkbar bzw. auch gut praktikabel. Die in den Szenarien abgeschätzten Bedarfe an Beton sind daher in der Regel über Normalbeton zu decken. Sekundäre Rohstoffe finden sich hier nur im Zement, für dessen Produktion oft in Anteilen auf industrielle Nebenprodukte zurückgegriffen wird.

Für den Straßen- und Wegebau ist **Asphalt** ein zentraler Baustoff. Der nach den einzelnen Szenarien postulierte jährliche Bedarf liegt zwischen 39,4 Mio. Tonnen (Szenario 3) und 55,8 Mio. Tonnen (Szenario 2). Wie die Sensitivitätsbetrachtung für das Referenzszenario zeigt, führen geringere Lebensdauern für die Asphaltdecken zu deutlichen Änderungen in der Bedarfsprognose (17 %). In den letzten Jahren war die Asphaltqualität nach einer nahezu einhelligen Rückmeldung aus den Straßenbauämtern weniger befriedigend, was kürzere Erhaltungszyklen zur Folge hatte. Auch wenn dies mittlerweile ausgeräumt ist haben dadurch bedingte Änderungen in den Erneuerungszyklen deutliche Auswirkungen auf die Mengenflüsse. Dies gilt es bei den aufgezeigten Rückführungsraten zu beachten.

Tabelle 39: Massenflüsse nach den Szenarien (in Mio. t/a)

	Referenz	Szen. 1	Szen. 2	Szen. 3	Szen. 4
Asphalt					
Bedarf	46,0	48,7	55,8	39,4	49,8
Aufkommen	37,5	37,5	45,3	37,5	45,3
Rückführung	28,1	37,5	22,7	28,1	34,0
FSS / STS					
Bedarf	40,2	44,8	54,4	30,5	44,9
Aufkommen	29,8	29,8	39,4	29,8	39,4
Rückführung	22,3	22,3	9,8	22,3	29,6

Stellt man diesen Bedarfen das postulierte Aufkommen an Altasphalt gegenüber, dann zeigen sich Rückführungsraten im Schnitt zwischen 40 % (Szenario 2) und 76 % (Szenario 1), mit deutlichen regionalen Unterschieden. Diese hohen Anteile an Altgranulat im Produkt sind nur unter bestimmten Randbedingungen zu erreichen: Die Asphaltdecken müssen lagenweise und nach einzelnen Asphaltqualitäten unterschieden zurückgebaut und im Input der Heißasphaltmischwerke getrennt gelagert werden. Die Asphaltmischwerke müssen zudem technisch für hohe Rückführungsraten ausgelegt sein. Erfahrungen gerade aus Baden-Württemberg und Hamburg zeigen, dass hohe Anteile an Altasphalt möglich sind, ohne die Qualität des Produktes Asphalt zu gefährden.

Der in den Szenarien aufgezeigte Bedarf an ungebundenen Materialien (**FSS / STS**) schwankt zwischen 30,5 Mio. Tonnen (Szenario 3) und 54,4 Mio. Tonnen nach Szenario 2. Das Referenzszenario geht von 40,2 Mio. Tonnen aus. Diese Mengen dürften unisono unter den heutigen Massenflüssen liegen. Genaue Zahlen lassen sich aus den Statistiken nicht ableiten. Ungebundene Materialmischungen gelangen auch in Dammschüttungen, in die Aufschüttung von Wällen, die Errichtung temporärer Baustraßen oder in Ausgleichsschichten zur Verbesserung der Tragfähigkeit des Untergrundes. Darüber hinaus fließen große Anteile gerade der Frostschutzschichten nicht in den Straßen- und Wegebau, sondern in den Gewerbebau. Hier werden sie als Aufstandskörper von Industriehallen, zur Anlage von Parkplätzen oder auch zur Errichtung von privaten Erschließungsstraßen und -wegen verwendet. Die für die Szenarien aufgezeigten Massenbedarfe beziehen sich nur auf den Oberbau öffentlicher Straßen und Wege. Es handelt sich um Frostschutz- (FSS) und Schottertragschichten (STS).

Vor allem für das kommunale Straßennetz ist das Materiallager nur schlecht zu bestimmen. Es ist davon auszugehen, dass es zu einem größeren Anteil nicht dem Regelaufbau nach RStO entspricht. Wie die Sensitivitätsbetrachtung für das Referenzszenario zeigt, hat dies Auswirkungen auf die postulierte Rückführungsrate. Entspricht der Straßenbaukörper nicht der RStO, reduziert sich der rückführbare Anteil an Altmaterial von 79 % auf 64 %. Trotzdem lässt sich aus den vorgelegten Ergebnissen festhalten, dass sich ein erheblicher Anteil des Baustoffbedarfes im Straßen- und Wegebau aus Altmassen abdecken lässt. Für Szenario 3 liegt die Rate bei 107 %.

In diese Raten sind die anfallenden Altbetone und Altpflaster miteinbezogen, nicht jedoch die Altasphalte, die bspw. nach den Regelwerken für Frostschutzschichten im Straßenbau bis zu einem Anteil von 30 % enthalten sein dürfen. In den Bilanzierungen für den Asphalt wurde in der Regel davon ausgegangen, dass sich nur 75 % der Altasphalte für eine Rückführung in die Heißasphaltmischwerke eignen. Angesichts der großen Massenströme an Altasphalt verbleiben demnach erhebliche Mengen, die sich in die Herstellung von FSS und STS einbinden ließen. Im Referenzszenario ließen sich dann die Baustoffbedarfe rechnerisch zu mindestens 90% (anstatt 79%) aus RC-Materialien decken. Hierbei ist unterstellt, dass sich nur 50% des nicht in Heißasphaltmischwerke rückführbaren Altasphaltes für diese Baustoffe eignen (bspw. Ausschleusung von teerhaltigem Material).

Schon in der Vergangenheit war die Nachfrage an Primärgesteinskörnungen/Splitt aus den Steinbrüchen rückläufig. Dieser Trend dürfte sich auch noch in Zukunft fortsetzen. Im Gegenzug kann der Baustoffbedarf zukünftig in erheblichem Umfang aus dem Aufkommen an Altmaterialien gedeckt werden.

Situation in einzelnen Regionen

Betrachtet man die beiden Szenarien „Referenz“ und „3“ (2050, pol. Zielsetzung), für die die Auswirkungen auch differenziert nach Regionen aufgezeigt wurden, zeigt sich folgende Situation.

In beiden Szenarien ist der Asphaltbedarf in den Regionen Oldenburg und Oberbayern sowie in der Region Rheinland-Pfalz Nord und Nordrhein-Westfalen Süd am höchsten. Die geringsten Bedarfe konnten in beiden Fällen für Thüringen und im Falle des Szenarios „3“ auch für das westliche Sachsen festgestellt werden. Diese Nachfrage korreliert nicht eindeutig mit dem Altasphaltaufkommen, so dass sich die höchsten und niedrigsten Rückführungsraten für andere Regionen feststellen lassen. Im Referenzszenario ist dies Nordbayern, in Szenario „3“ (2050, pol. Zielsetzung) deckt sich dies mit der Flächenausdehnung der alten BRD. Im Referenzszenario werden die niedrigsten Quoten für den Raum Lüneburg, den Norden von Sachsen-Anhalt sowie den Norden von Brandenburg errechnet. Im Falle von Szenario „3“ (2050, pol. Zielsetzung) liegt der Schwerpunkt etwas südlicher, nämlich in Sachsen-Anhalt und in Teilen von Thüringen.

Für die ungebundenen Schichten, d.h. Frostschutz- und Schottertragschichten, sieht die Situation ähnlich aus. Auch hier ist die Nachfragespitze für die Regionen Oldenburg und Oberbayern gegeben. Im Szenario „Referenz“ ergänzt um den Norden von Rheinland-Pfalz und den Süden von Nordrhein-Westfalen sowie den Regionen Darmstadt und Stuttgart. Die geringsten Nachfragen ergeben sich für die Stadtstaaten und Regionen in Thüringen. Aus diesen Ergebnissen wird deutlich, dass der Zuschnitt der Regionen bzw. deren unterschiedliche Größe großen Einfluss auf diese Ergebnisse hat. Sie sind jedoch nicht nur hieraus zu erklären. Über alle Szenarien hinweg sind es die Regionen in Sachsen-Anhalt und Hamburg, für die sich die größten Deckungsraten aus RC-Baustoffen ergeben. Im Szenario „1“ wird dies noch ergänzt um das Saarland, im Szenario „3“ (2050, pol. Zielsetzung) um den Süden von Brandenburg sowie den Regierungsbezirk Karlsruhe. Die geringsten Raten zeigen sich für Lüneburg und das bayerische Schwaben.

Rückführung aus den ungebundenen Schichten

Nicht alle anfallenden Altmaterialien aus den ungebundenen Schichten einer Straße lassen sich aus technischer Sicht als Frostschutz- oder Schottertragschicht wieder vollständig in den Oberbau von Straßen zurückführen. Diese Straßenbaumaterialien müssen in der Regel wegen eines zu hohen Feinanteils rückgebaut werden. Die Belastungen aus dem Straßenverkehr und Frostdurchgänge führen zu einem Feinmaterialanteil, der insbesondere die Drainagefunktion nicht mehr gewährleistet. Soll das Altmaterial in den Straßenkörper rückgeführt werden, muss deshalb der Feinanteil reduziert werden. Feinmaterial fällt zudem auch bei der Aufbereitung der Altmaterialien an. Mit dem Brechen werden

grobe Komponenten, die Defizite hinsichtlich des Widerstands gegenüber Schlagzertrümmerung oder Frost haben, zu Brechsand. Gerade im kommunalen Straßennetz weisen die älteren Straßen in der Regel keinen Schichtenaufbau gemäß der Philosophie der RStO auf. Müssen diese Straßenkörper grundhaft erneuert und auf ein ausreichendes Niveau (bspw. minus 0,6m) ausgekoffert werden, fallen hierbei nicht selten auch Böden oder Bodengemische zur Entsorgung an.

Schon heute stellen die Feinmaterialien im Stoffkreislauf für mineralische Abfälle ein größeres Problem dar. Während sich „Körnungen“ zu Baustoffen verarbeiten lassen, lassen sich für Brechsande, (Vor)Siebmaterial oder Böden nur schwierig Absatzwege finden. Hochwertig wäre die Vermarktung als Pflastersande oder als Bettungsmaterial für Leitungen und Rohre. In der Regel werden diese Materialien aber eher im Erdbau eingesetzt, entweder als Schüttmaterial für Dämme und Wälle, zur Hinterfüllung von Arbeitsräumen oder auch zur Ablagerung im Rahmen von Rekultivierungsmaßnahmen oder auf Deponien. Der Ruf nach weiteren, bislang noch fehlenden Ablagerungskapazitäten, ist vor allem der Notwendigkeit zur Entsorgung derartiger Feinmaterialien und Böden geschuldet.

Diese Verknappung der Ablagerungskapazitäten und die damit einhergehende Steigerung der Entsorgungspreise (steigende Kippgebühren in Verbindung mit höheren Transportkosten) bieten jedoch Anreize zur Entwicklung von neuen Verwertungsstrategien bzw. machen diese finanziell erst möglich. Die Aufbereitung und Wiederverwendung von Altmaterialien erfolgt bislang nahezu ausschließlich in Form von Gemischen, die ungebunden als Baustoff im Straßen- und Wegebau oder im Erdbau eingesetzt werden können. Eine weitergehende Aufbereitung dieser Materialien zu Stoffströmen mit definierten Eigenschaften erfolgt bislang kaum. Dies wäre die Grundvoraussetzung für ihre Verwendung als sekundärer Rohstoff in der Baustoffindustrie. Am ehesten geschieht dies noch mit R-Beton, d.h. der Produktion von Transportbeton unter Rückgriff auf eine RC-Gesteinskörnung. Diese Praxis hat sich in manchen Regionen in Südwestdeutschland in kleinem Umfang etabliert. Ähnliche Verwertungswege sollten sich jedoch auch für andere Massenströme, d.h. insbesondere für Feinmaterialien, finden lassen. Es gibt zahlreiche Beispiele für sinnvolle und technisch umsetzbare Lösungsstrategien, die bisher aber noch an ungünstigen ökonomischen Randbedingungen scheitern.

Abbildung 13: Aufbereitung über eine Schwertwäsche bei der Fa. Feeß in Kirchheim/T

Erklärungen: Diese Abbildung zeigt ein Foto der Nassklassierungsanlage auf dem Betriebshof der Fa. Feeß zusammen mit den unterschiedlichen Output-Massen in den verschiedenen Kornabstufungen.

Hierzu gehört bspw. die Aufbereitung mittels Schwertwäsche, mit der nicht nur eine "Schadstoff"-Abreicherung erfolgen kann, sondern auch eine saubere Auftrennung eines heterogenen Ausgangsmaterials in einzelne Kornabstufungen und Bodenarten (Sande, Schluffe, Tone). Dies kann einen wichtigen Baustein zur Vermarktung von Massenströmen als sekundäre Rohstoffe an die Baustoffindustrie darstellen. Geprüft werden sollten Absatzwege in die Kalksandsteinproduktion und in die Ziegelindustrie. Recht weit gediehen ist das Konzept der Herstellung einer Aufbaukörnung[1], aber auch die Vermarktung in Richtung Zementindustrie. Hier lassen sich Altmaterialien entweder dem Klinker zumischen, wie es in einem BMBF-Forschungsvorhaben[2] entwickelt und erprobt werden soll, oder als Rohstoff in der Klinkerproduktion verwenden, ein Vermarktungsweg, der bspw. von der Richi AG[3] aus der Schweiz mit „AROMA" (alternatives Rohstoffmaterial) schon umfangreich praktiziert wird. Hierfür ist in der Aufbereitung der Altmaterialien jedoch eine weitergehende Störstoffabscheidung notwendig.

Als Fazit lässt sich festhalten: Auch wenn es zukünftig rechnerisch in einzelnen Regionen unter bestimmten Randbedingungen zu Materialüberhängen kommt und dies wahrscheinlich gerade mit den Feinmaterialien einen Massenstrom betrifft, für den sich schon heute nur schwierig Verwertungswege finden lassen, so lässt sich daraus nicht zwangsläufig ein Bedarf an neuen Ablagerungskapazi-

[1] (www.aufbaukoernungen.de/)

[2] (www.r-beton.de)

[3] (www.richi-weiningen.ch/rich/files/Baublatt-Jura %20Cement.pdf)

täten (Deponien oder Verfüllmaßnahmen) ableiten. Gerade die Verknappung dieser Kapazitäten bietet die Chance, auch für diese Materialien (Feinmaterialien) hochwertige Verwertungswege zu erschließen. Das Schottermaterial aus dem Rückbau von Straßenkörpern lässt sich auch zu Gesteinskörnungen für bspw. den Hochbau verarbeiten und vermarkten. Für grobe Gesteinskörnungen sind keine Entsorgungsengpässe zu erwarten.

Rückführung von Altasphalt bzw. Fräsgut

Ein Teil der beim Rückbau von Deckschichten anfallenden Materialien ist nicht Asphalt, sondern teerhaltiges Material. Auch wenn das Bindemittel Pech schon lange nicht mehr zugelassen ist und eingesetzt wird, fällt pechhaltiges Material auch zukünftig in größeren Umfang zur Entsorgung an. Dieses Material darf nicht in die Heißasphaltmischwerke zurückgeführt werden. Es wird derzeit getrennt gehalten und in der Regel noch zu einer HGT (hydraulisch gebundenen Tragschicht) aufbereitet, die wieder in den Straßenkörper zurückgeführt wird. Die Einsatzorte für dieses belastete Material werden dokumentiert.

Der Umgang mit pechhaltigem Straßenaufbruch wird sich zukünftig stark verändern. Das BMVI und die Straßenbaulastträger haben sich auf Betreiben des Bundesrechnungshofes[4] darauf geeinigt, diese Materialien aus dem Stoffkreislauf zu entnehmen und zukünftig tendenziell einer thermischen Behandlung/Verbrennung zuzuführen (oder auf Deponien abzulagern). Dies ist schon heute bspw. in den Niederlanden die einzig zugelassene Entsorgung dieser Materialien. Hier gibt es auch schon seit vielen Jahren entsprechende Entsorgungskapazitäten. Mit diesem Verwertungsansatz wird das pechhaltige Material verbrannt und der organische Anteil energetisch verwertet. Es verbleibt der ehemals als Zuschlag eingesetzte Splitt, der als solcher auch wieder in die Asphaltindustrie zurückgeführt werden kann. Rechnerisch bedeutet dies, dass der Materialkreislauf um den Bindemittelanteil von etwa 5 Massen- % reduziert würde. Sollte die Entsorgung jedoch (zunächst) über Anlagen in den Niederlanden erfolgen, wäre die Gesteinskörnung für die deutschen Baustoffmaterialkreislauf “verloren“. Gesteinskörnung ist in den Niederlanden ein “knappes Gut“.

Trotz zukünftig verlässlicher Ausschleusung dieser pechhaltigen Materialien dürften auf Asphaltheißmischwerke weiter wachsende Massen an Straßenaufbruch zur Verwertung zukommen. Um damit umgehen zu können, müssen sie technisch auf höhere Rückführungsraten ausgelegt und bspw. durchgängig mit Paralleltrommeln ausgerüstet werden. Das Bitumen wird über die Jahre spröde und kann bei einer Rückführung in den Produktionskreislauf nicht mehr vollständig die von Bindemitteln geforderten Eigenschaften erfüllen. Zur Verbesserung der Eigenschaften stehen hierfür schon heute Rejuvenatoren als Spezialprodukte zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Produkte lassen sich Rückführungsraten in den Produktionsprozess von bis zu 90 % erreichen. Nicht zuletzt darauf fußt die ressourcenpolitische Vorgabe der Straßenbauverwaltung Baden-Württembergs zum Maximalrecycling[5].

Rückführung von Alt-Beton

Der Einsatz von ressourcenschonendem R-Beton ist in Ingenieurbauwerken mit den Feuchtigkeitsklassen WA (feucht mit häufiger Alkalizufuhr von außen) und WS (feucht mit hoher dynamischer Beanspruchung und Alkalieintrag) und den entsprechenden Expositionsklassen mit hohem chemischem (XA3) und mechanischem Angriff (XM) nicht zugelassen. Dies wird auch in Zukunft nicht der

[4] (www.bundesrechnungshof.de/de/veroeffentlichungen/bemerkungen-jahresberichte/jahresberichte/2013-weitere-pruefungsergebnisse/einzelplanbezogene-pruefungsergebnisse/bundesministerium-fuer-verkehr-und-digitale-infrastruktur/langfassungen/2013-bemerkungen-weitere-pruefungsergebnisse-nr-05-bund-sollte-keine-krebserregenden-stoffe-mehr-in-seine-strassen-einbauen)

[5] (https://www.ise.kit.edu/rd_download/SBT/Maximalrecycling_bei_Asphaltschichten_in_Baden_Wuerttemberg.pdf)

bevorzugte Einsatzbereich sein, deshalb wurden die über die verschiedenen Szenarien prognostizierten Mengen an Altbeton rechnerisch der Herstellung der ungebundenen Schichten für den Straßenaufbau zugeschlagen.

Selbstverständlich spricht nichts dagegen, diese Altbetone für eine Gesteinskörnung nach DIN EN 12620 für den Einsatz in Betonwerken aufzubereiten. Diese aus Brücken und anderen Straßenbauwerken stammende Altbetone waren hochwertige Betone mit hohen Druckfestigkeiten. Sie stellen damit prinzipiell einen hochwertigen sekundären Rohstoff für die Rückführung in die Betonproduktion dar. Zwei Drittel der Schäden an Brückenbauwerken sind jedoch auf chloridinduzierte Korrosion zurückzuführen. Dies ist ein Indiz für eine aus der Tausalzanwendung resultierende erhöhte Chloridbelastung des Altbetons. Dies gilt zumindest für die Massen, die aus Fahrbahnen und aus an die Fahrbahn angrenzenden Betonbauteilen (bspw. Stützmauern) gewonnen werden.

Chloride werden in den Regelwerken begrenzt. So ist der Anteil wasserlöslicher und säurelöslicher Chloride nach der DIN EN 12620 (Gesteinskörnung für Beton) auf jeweils 0,04 % begrenzt. In der Praxis liegen die Gehalte deutlich darunter, bei wasserlöslichen Chloriden bis zu 2 Größenordnungen, wie umfangreiche Untersuchungen zum Einsatz von R-Betonen in Baden-Württemberg[6] zeigten. Altbetone aus Ingenieurbauwerken stellen im Vergleich zu den üblichen Konstruktionsbetonen aus dem Hochbau keine großen Massenflüsse dar. Die Aufbereitung dieser Betone aus Ingenieurbauwerken erfolgt auch nicht separat, sondern in zentralen Anlagen zusammen mit anderen Betonen. Falls notwendig, kann die Chloridbelastung jedoch auch über eine nasse Aufbereitung der Gesteinskörnung gemindert werden.

Für die Entsorgung der beim Rückbau von Ingenieurbauwerken anfallenden Altbetonmassen werden auch zukünftig eher keine Entsorgungskapazitäten auf Deponien benötigt. Alle Massen, die sich nicht in ungebundene Schichten des Straßen- und Wegebaus vermarkten lassen, werden einen Absatz als Gesteinskörnung für die Betonproduktion finden.

Auswirkungen auf die zukünftige Entsorgung von Hochbauschutt

Die mit diesem Projekt aufgezeigten zukünftigen Massenströme werden deutliche Auswirkungen auf die zukünftige Entsorgung der bei der Sanierung und beim Rückbau von Gebäuden anfallenden mineralischen Abbruchmassen haben. Nach den Informationen des Kreislaufwirtschaftsträgers Bau[7] wurden von den 51,6 Mio. Tonen Bauschutt 78,3 % recycelt. Das sind 40,4 Mio. Tonnen. Nimmt man an, dass diese Zahlen auf die Output-Massen bezogen sind und damit schon die Teilmenge berücksichtigen, die im Recycling mineralischer Bauabfälle als ungeeignet ausgeschleust werden müssen, so gelangen hiervon erhebliche Anteile in den Straßen- und Wegebau. Der Kreislaufwirtschaftsträger Bau benennt etwa 34 Mio. Tonnen, die in diese Richtung vermarktet wurden.

In der vorliegenden Studie werden nur Massenströme aus dem Straßenoberbau diskutiert. In den zahlreichen Projekten des ifeu-Institutes zur Optimierung der Kreislaufwirtschaft, und dies gerade auch im Straßenbau, wird deutlich, dass ein erheblicher Anteil der Verantwortlichen in den Kommunen und anderen Baulastträgern RC-Baustoffen gegenüber äußert reserviert eingestellt sind. Es handelt sich immer eher um Ausnahmefälle, wenn RC-Baustoffe auch für Frostschutz- oder gar Schottertragschichten eingesetzt werden. Dies selbst dann, wenn die RC-Betriebe sich einer Qualitätssicherung gemäß TL SoB StB 04 unterwerfen. Insbesondere erweist sich der Absatz von Mauerwerksschutt

[6] (https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Umwelt/BW_Stoffkreislaeufe_7214.pdf)

[7] Kreislaufwirtschaft Bau, Mineralische Bauabfälle Monitoring 2012, Bericht zum Aufkommen und Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahre 2012, Berlin 2015

als sehr problematisch. Obwohl nach TL SoB StB mit bis zu 30 % in den Produkten FSS und STS zugelassen, finden auch deutlich geringere Anteile im Produkt häufig keinerlei Akzeptanz seitens der Bauherren.

Dies gilt zumindest für die Mittelgebirgslagen, in denen diese Straßenbaustoffe auf Basis primärer Rohstoffe kostengünstig angeboten werden können. Sind diese Bezugsquellen vor Ort nicht vorhanden und damit RC-Baustoffe deutlich kostengünstiger zu beziehen als die Baustoffalternativen aus Primärgesteinskörnung, ist eine deutliche höhere Akzeptanz gegeben und der Einsatz qualifizierter RC-Baustoffe im Straßenoberbau weiter verbreitet.

Geht man davon aus, dass von den benannten etwa 34 Mio. in den Straßen- und Wegebau vermarkteten Tonnen etwa 20 Mio. Tonnen tatsächlich in Frostschutz- und Schottertragschichten gelangen, dann liegen diese Mengen etwas über dem prognostizierten Bedarf nach dem Szenario „Referenz". Nach diesem Szenario wird ein Baustoffbedarf von 35,8 Mio. Tonnen für FSS/STS prognostiziert, wobei ein Abfallaufkommen von 19 Mio. Tonnen aus dem Rückbau dieser ungebundenen Schichten unterstellt wird. Dieses Material läuft in den Statistiken unter „Boden und Steine". Das ebenfalls für die Rückführung prognostizierte Aufkommen aus Altmaterial aus Brücken und Pflasterbelägen wird unter „Bauschutt" geführt und ist damit in den Massen des Kreislaufwirtschaftsträgers Bau enthalten.

Auch weiterhin wird es im Straßenbau Bedarfe für Schüttmaterial geben, die für Dammschüttungen oder Wälle benötigt werden. Die Baulastträger im Straßenbau sind jedoch traditionell darauf bedacht, alle in Baumaßnamen anfallenden Erdmassen möglichst in der Baumaßnahme selbst wieder einzubauen. Die rechnerisch darüber hinaus gehenden Bedarfe werden deshalb nicht sehr hoch sein.

Die sich daraus ergebende rechnerische Menge von etwa 3 Mio. Tonnen Überhang ist ein Hinweis darauf, dass für die Rückbaumassen aus dem Hochbau verstärkt Absatzwege außerhalb des Straßen- und Wegebaus gesucht werden müssen. Der Absatz in die Transportbetonindustrie und die Herstellung von R-Beton kann hier nur eine Alternative sein. Gerade für die Feinmaterialien müssen dringend neue Absatzwege neu erschlossen werden, ähnlich wie dies für R-Beton zumindest im Ansatz im Südwesten Deutschlands gelungen ist.

5 Quellenverzeichnis

Deutscher Asphaltverband e.V. (2014): Wiederverwendung von Asphalt. Nachhaltigkeit auf höchstem Niveau, Bonn

Öko-Institut Freiburg e.V.: Vergleichende PCF-Analyse für Fahrbahn-Beläge unter Verwendung von Recycling-Asphalt, Studie im Auftrag der STORIMPEX AsphalTec GmbH Glinde, Freiburg 2014

Zimmermann, Robert (2014): Maximalrecycling bei Asphaltschichten in Baden-Württemberg, Vortrag auf dem Kolloquium „Neues aus der Straßenbautechnik“ des KIT Karlsruher Institut für Technologie am 17.12.2014 in Karlsruhe

ifeu-Institut Heidelberg GmbH (2013): Schließen von Stoffkreisläufen. Informationsbroschüre für die Herstellung von Transportbeton unter Verwendung von Gesteinskörnungen nach Typ 2, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Heidelberg

Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (2010): DAfStb-Richtlinie: Beton nach DIN EN 206-1 und DIN EN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620, Ausgabe 2010, Berlin

IWT Bremen / Manzke / RWB Bremen (2001): Entwicklung eines Verfahrens zur Wiederverwertung von Hochbaurestmassen als Zuschlag in zementgebundenen Systemen der Betonsteinproduktion, Forschungsprojekt gefördert durch die Bundesstiftung Umwelt (DBU) Osnabrück, Bremen

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2014): „Statistik des Lärmschutzes an Bundesfernstraßen 2013“, Bonn 2014

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswege (1997): „Entwurfs- und Berechnungsgrundlagen für Bohrpfahlgründungen und Stahlpfosten von Lärmschutzwänden an Straßen“, Köln

Beck Lärmschutzsysteme (geprüft 2014): „Absorbierende und reflektierende Lärmschutzwände aus Holz“ verfügbar unter: http://www.beck-laermschutz.com/dateien/holz.pdf; „Lärmschutzwände aus Aluminium“, verfügbar unter: http://www.beck-laermschutz.com/dateien/alu.pdf; „Lärmschutzsysteme aus Beton“, verfügbar unter: http://www.beck-laermschutz.com/dateien/beton.pdf

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2014), Verkehr in Zahlen 2014, Bonn

Deutsches Institut für Urbanistik (2013): Erneuerungs- und Ersatzbedarf kommunaler Brücken, Difu-Berichte 1/2013, Berlin

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2014), Brücken und Tunnel der Bundesfernstraßen 2014, Bonn

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2014): Investitionen in Bundesfernstraßen, https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/investitionen-in-die-bundesfernstrassen.html

Kreislaufwirtschaftsträger Bau (2015): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2012, Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2012, Berlin

Steger, S.; Fekkak, M. & Bringezu, S. (2011): MaRess – Materialbestand und Materialflüsse in Infrastrukturen. Meilensteinbericht des Arbeitspakets 2.3 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, (Hrsg.), Wuppertal

Mottschall, M. & Bergmann, T. (2013). Treibhausgas-Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland. (Arbeitspaket 4 des Projekts "Weiterentwicklung des Analyseinstruments Renewbility"), im Auftrag des Umweltbundesamt, Freiburg.