

**Anhang zu:**

**Studie zum  
Anwendungspotenzial von  
werksgemischten  
Kaltbauweisen – Asphalt**

von

Konrad Mollenhauer

Sachgebiet Bau und Erhaltung  
von Verkehrswegen  
Universität Kassel

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 114 – Anhang

**bast**

## Anhang

Zusammenfassung der Forschungsergebnisse der im Rahmen des CEDR-Calls „Recycling“ 2012 geförderten Projekte

### 1 Einleitung

Seit 2006 fördert CEDR (Conference of European Directors of Roads - Konferenz Europäischer Verkehrsministerien) transnationale Forschungsprojekte. Hierzu werden jährlich Forschungsaufträge herausgegeben. Im Jahr 2012 war dies der Forschungsauftrag „Recycling – Road construction in a post-fossil fuel society“. Darin wurden drei Projekte zum Thema Recyclingtechnologien für Straßenbefestigungen gefördert:

- Projekt **CoRePaSol**: Characterization of Advanced Cold Recycling Bitumen Stabilized Pavement Solutions  
*Beschreibung und Weiterentwicklung von Kaltrecycling-Bauweisen mit Bitumen-Stabilisierten Straßenbaustoffen*
- Projekt **EARN**: Effects of Availability on the Road Network  
*Einflüsse auf die Verfügbarkeit des Straßennetzwerkes*
- Projekt **AllBack2Pave**: Toward a sustainable 100% recycling of reclaimed asphalt in road pavements  
*Entwicklungen für ein 100%-Recycling von Asphalt in Straßenbefestigungen*

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der drei abgeschlossenen Forschungsprojekte zusammenfassend vorgestellt.



**Bild A 1: Logos des Förderers und der vorgestellten Forschungsprojekte**

## 2 Projekt CoRePaSol

### 2.1 Projektinhalt und –struktur

Der Begriff „Kaltrecycling“ beschreibt die Wiederverwertung von Straßenausbaustoffen in neuen bituminösen Schichten durch die Verwendung von Schaumbitumen oder Bitumenemulsion. Kaltrecycling wird Europa- und weltweit angewendet, wobei sich die national angewendeten Mischguteigenschaften und –anwendungen stark unterscheiden. Im Zuge der bevorstehenden Einführung von harmonisierten Anforderungen für kalt verarbeitetes Asphaltmischgut setzte sich das Projektkonsortium zum Ziel die verschiedenen Technologien vergleichend zu untersuchen und zu bewerten um einen Vorschlag für harmonisierte Prüfverfahren und Mischgutanforderungen zu erarbeiten.

Das Projekt wurde durch die Tschechische Technische Universität Prag, Dr.-Ing. Jan Valentin, koordiniert. Beteiligte Projektpartner waren LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. - Portugal), UCD (University College Dublin – Irland) die Universität Kassel sowie die Wirtgen GmbH (Deutschland).

Die inhaltliche Bearbeitung des Forschungsprojektes wurde in 5 Arbeitspaketen (work packages – WP) gegliedert:

- WP1: Weiterentwicklung des Mix Designs für Kaltrecycling-Baustoffe
- WP2: Dauerhaftigkeit von Kaltrecycling-Baustoffen (Laborstudie)
- WP3: Dimensionierung von Befestigungen mit Kaltrecycling-Tragschicht
- WP4: Recyclingstrategien für Kaltrecycelte Tragschichten
- WP5: Umweltaspekte des Kaltrecyclings

Im Folgenden werden die in den einzelnen Arbeitspaketen erarbeiteten Ergebnisse vorgestellt. Die ausführlichen Projektberichte sowie Ergebnispräsentationen eines Workshops sind unter <http://silnice.fsv.cvut.cz/corepasol/> veröffentlicht.

### 2.2 Vorschlag für ein harmonisiertes Mix Design für KRC-Baustoffe

Im Rahmen des EU-Projektes DIRECT-MAT [12] konnten zahlreiche in Europa angewendete Technologien zum Recycling von Straßenausbaustoffen in kalt verarbeiteten bitumenhaltigen Baustoffen vergleichend gegenübergestellt werden. Dabei wurden große Unterschiede in der angewendeten Baustoffzusammensetzung, insbesondere bei der Zugabe von hydraulischen Bindemitteln als aktiver Füller und der Bindemittelgehalte festgestellt, wie

als Punkte mit den jeweiligen Nationalfarben in Bild A 2 gezeigt.

Als Vorbereitung für die Erarbeitung harmonisierter Mischgutspezifikationen wurden die nationalen Regelwerke zum Kaltrecycling zahlreicher Länder ausgewertet. Die darin enthaltenen Anforderungen an die Gehalte von Bitumen und Zement (vgl. Bild A 2) bestätigte die große Variabilität der unter dem Oberbegriff „Kaltrecycling“ verstandenen Baustoffe.

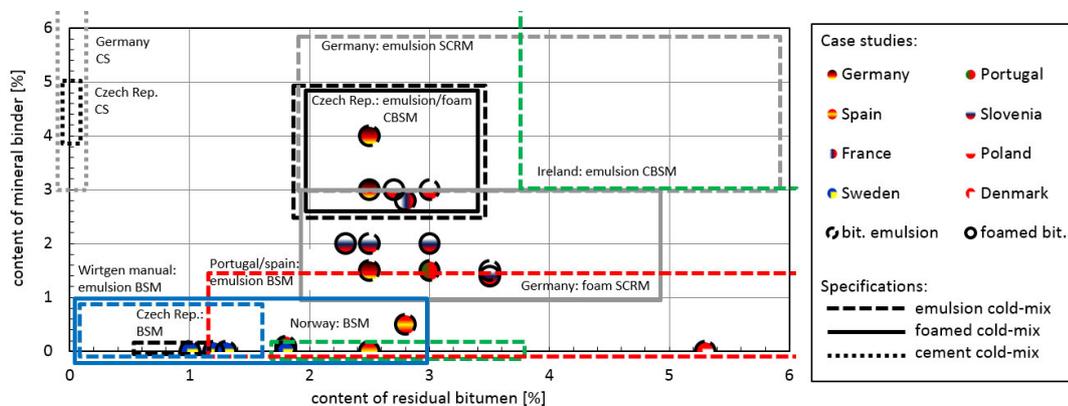
Hinsichtlich der zum Mix Design verwendeten Verfahren zur Herstellung des KRC-Mischgutes, der Verdichtung und Nachbehandlung der Probekörper sowie der Prüfung mechanischer Eigenschaften wurden ebenso große Unterschiede festgestellt und im Projektbericht D1.1 dokumentiert.

In umfangreichen Laborstudien wurden im Rahmen der Arbeit in WP1 der Einfluss der unterschiedlichen Verdichtungs- und Konditionierungsverfahren auf die mechanischen Eigenschaften von KRC-Mischgutvarianten mit unterschiedlichen Bindemittelgehalten untersucht. Zunächst wurden anhand der Ergebnisse die in Tabelle A 1 zusammengestellten Varianten für KRC-Baustoffe definiert und Anwendungsgrenzen für die betrachteten KRC-Baustoffe anhand der Laborprüfungen abgeleitet. So besteht bei Bitumen-stabilisierten KRC-Baustoffen mit geringen Zugabemengen bei Verwendung von Bitumenemulsion an hydraulischen Bindemittel die Gefahr des Re-Emulgierens, sodass eine Verwendung in warmen Regionen bevorzugt wird. Bei Verwendung von Schaumbitumen ist eine Verwendung auch in kalten Regionen möglich. Durch die Zugabe von größeren Mengen hydraulischen Bindemittels kann in vergleichsweise kurzer Zeit überschüssiges Wasser gebunden

werden, wodurch eine höhere Früh-Tragfähigkeit erreicht wird.

Abschließend wurde ein Vorschlag für ein harmonisiertes Mix-Design-Verfahren erarbeitet:

1. Untersuchung des verfügbaren Asphaltgranulats bzw. des Straßenausbaustoffes hinsichtlich Korngrößenverteilung, Bindemittel- und Wassergehalt. Bei Bedarf ist Ergänzungsstein einzusetzen, um einen Feinanteil  $< 0,063$  mm zwischen 4 und 10 % sowie einen Siebdurchgang bei 2 mm von 15 bis 40 % zu erreichen.
2. Auswahl der Art und des Gehaltes der Bindemittels.
3. Bestimmung des optimalen Wassergehaltes mittels modifiziertem Proctorversuch.
4. Herstellung des Mischgutes und Verdichtung von Probekörpern
  - mittels Gyrtorverdichtung oder
  - mittels statischer Verdichtung unter Anwendung von Verdichtungsspannungen zwischen 5,0 und 7,5 MPa
5. Ausformen der Probekörper nach einem Tag und Durchführung einer Labor-Konditionierung (Curing):
  - für BSM ( $< 1$  % Zement): Lagerung der Probekörper bei 50 °C für drei Tage
  - für CBSM und SCRM ( $\geq 1$  % Zement): Lagerung bei Raumbedingungen für 14 Tage
6. Bestimmung der Spaltzugfestigkeit sowie der Wasserempfindlichkeit.



**Bild A 2: Bindemittelgehalte (Bitumen bzw. hydraulische Bindemittel) unterschiedlicher Kaltrecycling-Baustoffe von im Projekt DIRECT-MAT zusammengestellter Probestrecken sowie zulässige Bindemittelgehalte gemäß internationalen Regelwerken [13]**

**Tabelle A 1: Bezeichnung verschiedener Kaltrecycling-Baustoffe in Abhängigkeit der Bindemittelgehalte [13].**

Kaltrecycling-Baustoff	Abkürzung	Bitumengehalt	Zementgehalt
Bitumen-stabilisiertes Mischgut (Bitumen-stabilised material)	BSM	1 bis 3 %	≤ 1 %
Bitumen-Zement-Stabilisiertes Mischgut (Bitumen-cement-stabilised material)	BCSM	1 bis 3 %	1 bis 3 %
Kaltrecycling-Baustoff für schadstoffhaltige Straßenausbaustoffe (Sealing cold recycled material)	SCRM	3 bis 6 %	1 bis 6 %

Für die Anwendbarkeit der verschiedenen KRC-Baustoffe in Abhängigkeit der regionalen Klimaverhältnisse wurden folgende Bedingungen vorgeschlagen:

- Bitumen-stabilisiertes Kaltmischgut mit einem Zementgehalt ≤ 1 % (BSM)
  - mit Schaumbitumen anwendbar in flexiblen Befestigungen in kalten Regionen
  - mit Bitumenemulsion anwendbar in warmen Regionen
  - mit Bitumenemulsion nicht anwendbar in feuchten Regionen wegen Gefahr der Re-Emulgierung des Bitumens
- Bitumen-Zement-Stabilisiertes Kaltmischgut (Zementgehalt > 1 %)
  - Anwendbar in feuchten Regionen
  - Anwendbar bei Anforderungen an Mindesttragfähigkeit bereits kurz nach Einbau und Verdichtung.

### 2.3 Dauerhaftigkeit von Kaltrecycling-Baustoffen (Laborstudie)

In Laborstudien wurden verschiedene Prüfverfahren zur Erfassung des Gebrauchsverhaltens von KRC-Baustoffen eingesetzt. Als relevante Eigenschaften wurden insbesondere die Steifigkeit und die Wasserempfindlichkeit untersucht. Weiterhin wurden Verfahren zur Simulation der Langzeitalterung im Labor erprobt. Die Ergebnisse sind in drei einzelnen Teilberichten des Deliverable D2.1 zusammengestellt.

Hinsichtlich der Wasserempfindlichkeit kann die Wasserlagerung gemäß DIN EN 12697-12 auch für KRC-Baustoffe angewendet werden.

Zur Ermittlung des Steifigkeitsmoduls eignet sich der Spaltzug-Schwellversuch. Biegeversuche an prismatischen Probekörpern sind nicht geeignet, da insbesondere bei geringen Bindemittelgehalten das Sägen der Probekörper nur schwer bis gar nicht möglich ist. Statische Prüfungen in Anlehnung an DIN EN 13286-43 sind ebenfalls geeignet, wobei eine Variation der Probentemperatur sowie der Belastungsgeschwindigkeit zur Erfassung der viskoelastischen Eigenschaften erforderlich ist. Mit

der CBR-Prüfung können Unterschiede des Verformungsverhaltens des KRC-Baustoffes untersucht werden.

Die in prEN 12697-52 beschriebene Alterungsverfahren durch Lagerung von Probekörpern im Wärmeschrank kann auch bei KRC-Baustoffen eingesetzt werden. Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass KRC-Gemische mit Schaumbitumen stärkere Veränderungen der mechanische Eigenschaften infolge Alterung erfahren als KRC-Gemische gleicher Zusammensetzung mit Bitumenemulsion.

### 2.4 WP3: Dimensionierung von Befestigungen mit Kaltrecycling-Tragschicht

Zunächst wurden die national angewendeten Dimensionierungsverfahren und die resultierenden Befestigungen mit KRC-Materialien gesichtet und verglichen. Anhand von in der Literatur dokumentierten Ergebnissen von Versuchsstraßen und beschleunigten Belastungsversuchen konnte nachvollzogen werden, dass bei KRC-Baustoffen mit geringen Bindemittelgehalten das Verformungsverhalten die Nutzungsdauer der Befestigungen stärker einschränkt als Rissbildung infolge Ermüdung. Dies hat zur Folge, dass bei Anwendung mechanistischer Dimensionierungsverfahren das Verformungsverhalten der KRC-Baustoffe eingebunden werden muss.

Für empirische Dimensionierungsverfahren wurden vergleichende Untersuchungen durchgeführt. Als Beispiel zeigt Bild A 3 die sich ergebenden Aufbauhöhen gemäß dem deutschen Merkblatt für Kaltrecycling (jeweils rechte Säule) und dem international verwendeten Wirtgen Design Manual.

### 2.5 WP4: Recyclingstrategien für Kaltrecycelte Tragschichten

In Arbeitspaket 4 wurden die Recyclingeigenschaften von KRC-Baustoffen labortechnisch untersucht.

Zunächst wurde untersucht, in welchem Maße die Zusammensetzung des Mischgranulates die Eigenschaften der resultierenden KRC-Baustoffe beeinflussen. Dazu wurden KRC-Varianten (BCSM) mit Schaumbitumen und Bitumenemulsion unter Verwendung von verschiedenen Gesteinskörnungsmischen (Asphaltgranulat, Betongranulat, gebrochene Gesteinskörnungen) hergestellt und deren mechanische Eigenschaften überprüft. Dabei zeigte sich ein Einfluss des Anteils an Asphaltgranulat im Mischgranulat auf die volumetrischen und mechanischen Eigenschaften, vgl. Bild A 4. Unterschiede zwischen Betongranulat und gebrochenen Gesteinskörnungen (Basalt) konnten nur bei dem BCSM-Mischgut mit Schaumbitumen erkannt werden. Neben dem Nachweis, dass das im Asphaltgranulat enthaltene Bitumen auch in Kaltrecycling-Baustoffen „aktiviert“ wird, konnten anhand der in den Kontrollprüfungen gemäß M KRC genannten Grenzwerte (gestrichelte Linien in Bild A 4) Grenzen der Inhomogenität der verarbeiteten Befestigung beim In-Situ-Recycling abgeschätzt werden.

Des Weiteren wurde die Recyclingfähigkeit von KRC-Baustoffen sowohl in wiederholten Kaltrecycling-Zyklen sowie im Heißrecycling untersucht. Zur Simulation gealterten KRC-Materials wurde ein Laboralterungsverfahren eingesetzt, indem KRC-Probekörper im Wärmeschrank gealtert und anschließend granuliert wurden.

Hinsichtlich des mehrfachen Kaltrecyclings zeigte sich, dass bereits kaltrecyceltes Mischgut auch bei wiederholtem Recycling adäquate Mischguteigenschaften erreicht, vgl. Bild A 5. Für das Recycling in Bitumen-Stabilisiertem Mischgut (BSM) zeigt sich jedoch im dritten Recycling-Zyklus eine Abnahme der Spaltzugfestigkeit ITS, was auf unstabiles Mischgutverhalten hervorgerufen durch Bindemittelüberschuss hindeutet. Durch die Zugabe von Zement bei BCSM kann das ausgeglichen werden, wobei bei hohen Bindemittelgehalten sehr hohe

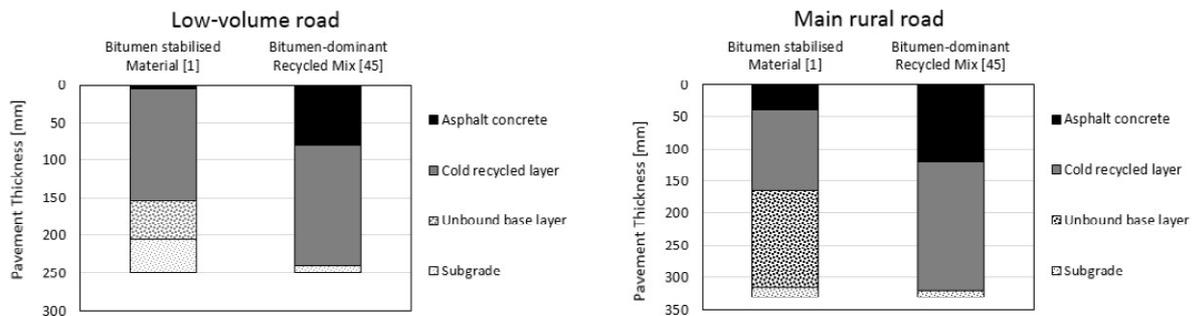
Gesamt-Bitumenanteile im Mischgut resultieren. Daher sollte neben der Spaltzugfestigkeit auch der Verformungswiderstand analysiert werden.

Weiterhin konnte in Laborstudien nachgewiesen, dass kaltrecycelte Baustoffe genauso im Heißmischgut verwendet werden können wie herkömmliches Asphaltgranulat. Dabei wurden Zugabemengen von bis zu 50 % KRC-Granulat im Labor erprobt, wobei KRC-Mischgut mit hohem Zementgehalt eingesetzt wurde.

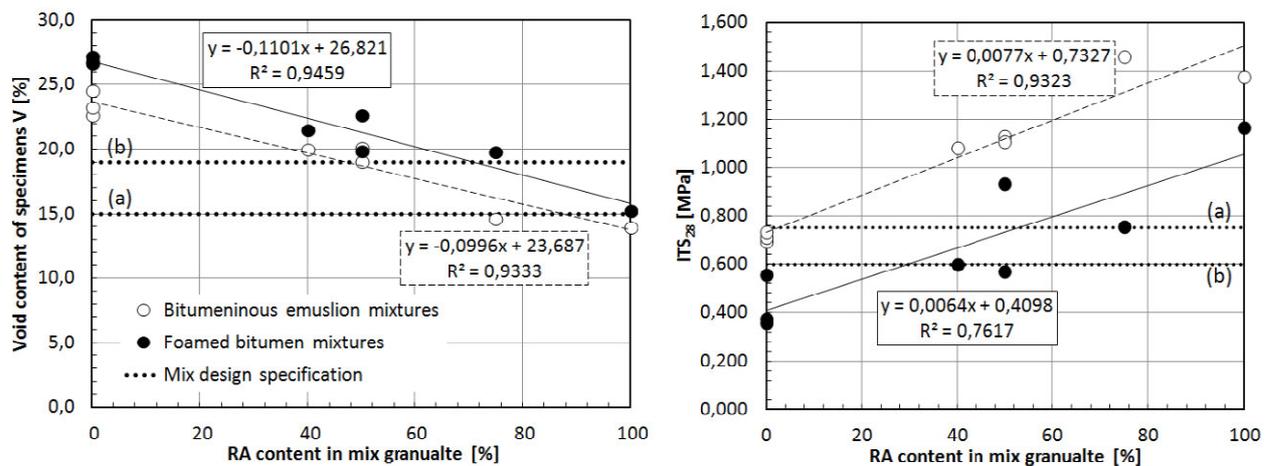
## 2.6 WP5: Umweltaspekte des Kaltrecyclings

In Arbeitspaket 5 wurde untersucht, ob KRC-Baustoffe in der Lage sind, schadstoffhaltige Straßenausbaustoffe so einzubinden, dass ein Recycling dieser Baustoffe aus Umweltgesichtspunkten möglich ist. Da herkömmliche Prüfungen das Granulieren der Proben beinhaltet sind diese nicht für die Untersuchung der genannten Fragestellung geeignet. An Auslaug-Versuchen, die an frisch hergestellten KRC-Probekörpern sowie aus Bohrkernen einer KRC-Befestigung aus dem Jahr 1991 stammte zeigten sich Hinweise auf erfolgreiche Einbindung der in den verwendeten Granulaten enthaltenen PAKs.

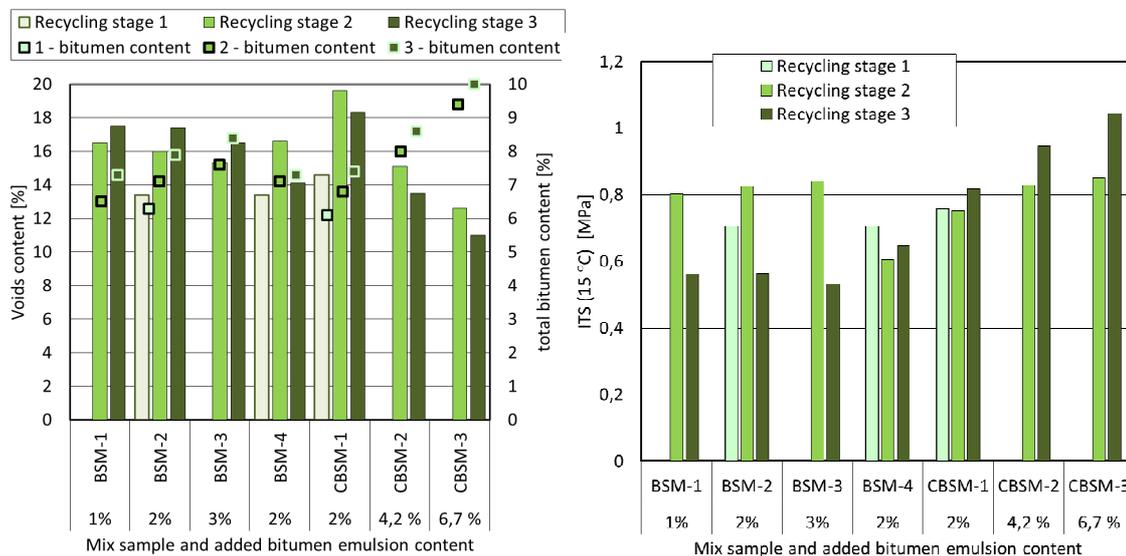
Bei den in Arbeitspaket 5 durchgeführten Ökobilanzrechnungen wurde der Schwerpunkt in die Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Baugeräte zur Herstellung von KRC-Schichten gelegt. Durch die Analyse des Kraftstoffverbrauches der verschiedenen Baumaschinen konnten entsprechende Werte ermittelt werden. Demnach machen deren Emissionen einen Anteil von 5 % bis 10 % den Gesamt-Emissionen von KRC-Baumaßnahmen aus. Die überwiegenden Anteile an den Umweltindikatoren fällt demnach während der Herstellung der Ergänzungsbaustoffe (insbesondere der Bindemittel Bitumen, Bitumenemulsion und Zement) an.



**Bild A 3. Vergleich von Befestigungen gemäß katalogisierten Aufbauvarianten für hohe (rechts) und geringe (links) Verkehrsbeanspruchungen nach dem Wirtgen Kaltrecycling-Handbuch sowie dem Merkblatt für das Kaltrecycling M KRC**



**Bild A 4.** Einfluss des Anteils von Asphaltgranulat im Mischgranulat von BCSM auf den Hohlraumgehalt (links) und die Spaltzugfestigkeit (rechts)



**Bild A 5.** Einfluss wiederholten Recyclings auf die Eigenschaften von BSM und CBSM; links: Hohlraumgehalt und Gesamt-Bitumengehalt; rechts: Spaltzugfestigkeit

### 3 Projekt EARN

#### 3.1 Projektinhalt und –struktur

Mit dem Ziel der Reduzierung von Umweltverschmutzung und Kosten werden zur Herstellung von Asphaltmischgut vermehrt Additive zur Verringerung der Herstellungstemperatur (WMA) zugegeben und/oder Asphaltgranulat recycelt. Im Projekt EARN wurde untersucht, ob sich daraus Veränderungen der Nutzungsdauer ergeben und wie sich solche auf die Ökobilanz und Lebenszykluskosten auswirken können.

Das Projekt wurde durch TRL Limited (Vereinigtes Königreich), Dr. Cliff Nicholls, koordiniert. Beteiligte Projektpartner waren die TU Delft (Niederlande),

UCD (University College Dublin – Irland), die Universität Kassel, Lagan Asphalt (Irland) und Shell Bitumen (Vereinigtes Königreich/Deutschland).

Die inhaltliche Bearbeitung des Forschungsprojektes wurde in 4 technischen Arbeitspaketen (work packages – WP) gegliedert:

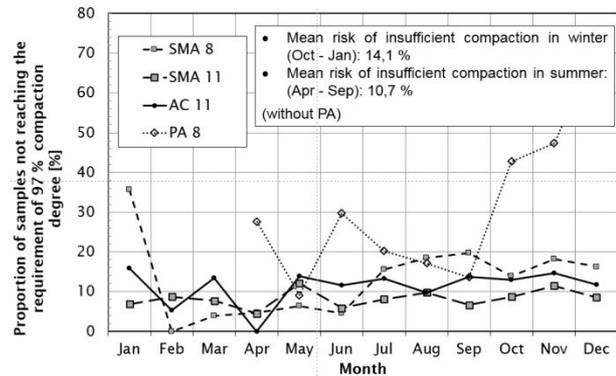
- WP1: Nutzungsdauer und Verfügbarkeit von Straßenbaustoffen und –befestigungen – Analyse vorhandenen Datenmaterials
- WP2: Versuchsstraße zur Ermittlung des Einflusses variiertes Asphaltgranulat-Anteile in Asphaltdeckschichten
- WP3: Experimentelle Analyse von Feuchtigkeitsschäden und Alterung in Asphaltmischgut
- WP4: Lebenszyklus-Analysen

Im Folgenden werden die in den einzelnen Arbeitspaketen erarbeiteten Ergebnisse vorgestellt. Die ausführlichen Projektberichte sowie Ergebnispräsentationen eines Workshops sind unter <http://www.trl.co.uk/solutions/road-rail-infrastructure/sustainable-infrastructure/earn/> veröffentlicht.

### 3.2 WP1: Nutzungsdauer und Verfügbarkeit von Straßenbaustoffen und -befestigungen – Analyse vorhandenen Datenmaterials

Die Nutzungsdauer von Straßenbefestigungen hängt von zahlreichen Einflussgrößen (Befestigungsart, Verkehrsbelastung, Klimatische Verhältnisse, Baustoffeigenschaften, Einbaubedingungen) ab, wodurch eine vollständige Prognose anhand von Experimenten und Stoffmodellen sehr aufwändig ist. Um den Einfluss der Verwendung von Asphaltgranulat und/oder Additiven zur Verbesserung der Ökobilanzen auf die Dauerhaftigkeit zu ermitteln wären daher umfangreiche Labor- und Feldstudien erforderlich. Daher wurde untersucht, ob anhand bestehender Datenbanken detaillierte Informationen über die Nutzungsdauer von Straßenbefestigungen in Abhängigkeit von den verwendeten Baustoffen abgeleitet werden können. Bald wurde erkannt, dass bestehende Datenbanken und Nutzungsdauer-Annahmen, welche für Pavement Management Systeme verwendet werden, nicht den für die angedachte Analyse erforderlichen Detailierungsgrad bzw. Datenpräzision hinsichtlich der Strukturdaten enthalten. Eine vergleichende Analyse der in PMS-Systemen implementierten Nutzungsdauern ergab zudem große Unterschiede. So werden für eine Deckschicht aus Splittmastixasphalt nach deutschem Vorgehen 16 Jahre Nutzungsdauer angesetzt, während in den Niederlanden nur 1 Jahre und im Vereinigten Königreich 8 Jahre prognostiziert werden.

Daher wurde die Datenbank der Niedersächsischen Landesbehörde für Verkehr, in der sein mehr als zwei Jahrzehnten die Ergebnisse der Asphalt-Kontrollprüfungen eingepflegt werden enthält Baustoffdaten im hohen Detailierungsgrad. Allerdings enthält die Datenbank keine Hinweise auf die Nutzungsdauer der Schichten und eine Verknüpfung mit Bestandsdatenbanken war nur punktuell möglich. Jedoch konnte der Einfluss Jahreszeit des Asphalteinbaus auf den Anteil von Befestigungen, in denen Anforderungen an den Verdichtungsgrad sowie Schichtenverbund nicht erreicht wurden, berechnet werden, vgl. Bild A 6.



**Bild A 6. Anteil der Kontrollprüfungen, bei denen ein unzureichender Verdichtungsgrad festgestellt wurde in Abhängigkeit vom Einbaumonat**

Hinsichtlich des Einflusses des Asphaltrecyclings auf die Eigenschaften und die Dauerhaftigkeit von Asphaltbefestigungen zeigte eine Literaturanalyse, dass eine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften und damit Verbunden der Nutzungsdauer auftreten kann. Die überwiegende Anzahl der Studien konnten keine relevante Verschlechterung der Gebrauchseigenschaften identifizieren. Daraus wurde die Empfehlung abgeleitet, dass bei Verwendung von hohe Anteilen Asphaltgranulats in Asphaltmischgut der Qualitätssicherung in allen Stadien der Herstellung (Erstprüfung, Mischgutherstellung, Einbau und Verdichtung) eine große Bedeutung zukommt.

### 3.3 WP2: Versuchsstraße zur Ermittlung des Einflusses variiertes Asphaltgranulat-Anteile in Asphaltdeckschichten

Die experimentellen Untersuchungen im Projekt EARN wurden im Zuge der Herstellung von Untersuchungsabschnitten in Irland durchgeführt. Im Zuge einer Deckschichterneuerung auf dem Hauptfahrstreifen einer Zubringerautobahn um Dublin wurden vier verschiedene Splittmastixasphaltvarianten untersucht, bei denen der Gehalt von Asphaltgranulat sowie die Zugabe eines WMA-Additivs untersucht wurde, siehe Tabelle A 2.

Die vier Splittmastixasphalte wurden am selben Tag hergestellt, eingebaut und verdichtet. Während er Mischgutherstellung wurde der Strom- und Brennstoffverbrauch am Asphaltmischwerk überwacht, um ökobilanzielle Untersuchungen durchzuführen. Der Zustand der Oberfläche (Rauigkeit, Spurrinntiefe, Griffigkeit) der hergestellten Untersuchungsabschnitte wurde direkt nach der Herstellung sowie nach 6, 12 und 24 Monaten er-

fasst. Dabei wurden für alle Probefelder vergleichbar gute Zustandsmerkmale festgestellt.

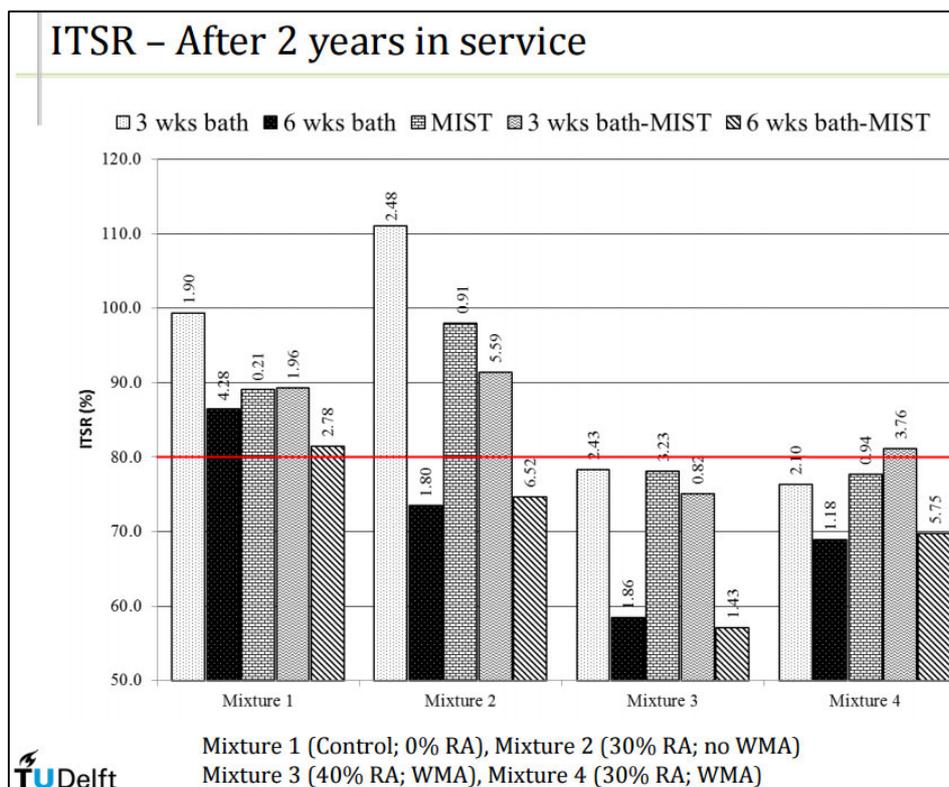
Aus der Asphaltbefestigung wurden nach der Herstellung sowie 12 und 24 Monate später Bohrkernproben entnommen. Diese wurden für die Ermittlung des Widerstandes gegen Feuchtigkeitseinfluss (WP 3) verwendet.

**Tabelle A 2. Untersuchte SMA10-Varianten**

Eigenschaft	SMA 1	SMA 2	SMA 3	SMA 4
AG-Anteil [%]	0	30	40	30
WMA-Additiv (Cecabase)	-	-	0,5 %	0,5 %
Bindemittelzugabe [%]	5,6	4,9	4,7	4,9
Gesamt-Bindemittelgehalt (inkl. AG)	5,6	6,3	6,3	6,3
Mischguttemperatur am Mischwerk T[°C]	150	140±10	135±2	130±5
Länge des Abschnittes [m]	104	229	227	140

### 3.4 WP3: Experimentelle Analyse von Feuchtigkeitsschäden und Alterung in Asphaltmischgut

An den aus der Versuchsstraße entnommenen Bohrkernproben wurden experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Zur Analyse des Feuchtigkeitwiderstandes wurden die Bohrkernproben für drei bzw. 6 Wochen in einem 60 °C warmen Wasserbad gelagert. Die Lagerungsdauer wurde anhand von Modellrechnungen zur Dauer der Wassersättigung der Probekörper festgelegt. Zusätzlich wurde die dem Verfahren MIST (Moisture Induced Stress Test) konditioniert. Dabei werden die mit Wasser gesättigten Probekörper bei 60 °C 4.000 Druck-Belastungszyklen (Luftdrucksteigerung je Zyklus auf 0,48 MPa) ausgesetzt. Diese sollen die dynamischen Porendruckschwankungen bei Verkehrsbelastung simulieren. An trockenen sowie konditionierten Probekörpern wurde die Spaltzugfestigkeit bei 20 °C ermittelt. Aus dem Vergleich der nach Feuchtigkeitskonditionierung gemessenen Spaltzugfestigkeit mit der am trockenen Probekörper ermittelten Wert wurde die verbleibende Spaltzugfestigkeit ITSR in Prozent angegeben.



**Bild A 7. Einfluss der Probekörperkonditionierung in 60 °C warmen Wasser sowie mit anschließendem MIST-Verfahren auf die verbleibende Spaltzugfestigkeit im Vergleich zur Festigkeit eines trockenen Probekörpers**

An den aus der frisch hergestellten Befestigung entnommenen Probekörpern wiesen die Mischgutvarianten mit Asphaltgranulat eine höhere Spaltzugfestigkeitsabnahme auf als das Vergleichsmischgut. Jedoch wurde bei keiner Mischgutprobe und Konditionierungsvariante eine Festigkeitsabnahme um mehr als 20 % beobachtet. An den Proben, welche nach einem Jahr Verkehrsbeanspruchung aus der Befestigung entnommen wurden, konnten höhere Spaltzugfestigkeiten gemessen werden, welche eine geringere Reduktion bei Feuchtigkeitskonditionierung erfuhren. Lediglich das Kontrollmischgut ohne Asphaltgranulat wies eine größere Empfindlichkeit gegenüber der Feuchtigkeitskonditionierung auf im Vergleich zu der Probe aus der neuen Befestigung. Die Varianten mit WMA-Additiv wiesen das günstigste Gebrauchsverhalten auf. Die an Proben gemessenen verbleibenden Spaltzugfestigkeiten sind in Bild A 7 dargestellt. Das Kontrollmischgut (SMA 0) sowie die Variante mit 30 % Asphaltgranulat (SMA 8) weisen ähnliches Materialverhalten auf wie ein Jahr zuvor. Die Varianten mit WMA-Additiv (SMA 3 und SMA 4) jedoch weisen eine deutliche Abnahme der Spaltzugfestigkeit durch die Feuchtigkeitskonditionierung auf. Insgesamt zeigten die Ergebnisse, dass bei Zugabe von Asphaltgranulat die Spaltzugfestigkeiten anstiegen, was auf die höhere Bindemittelviskosität zurück zu führen ist. Zwischen 30 % und 40 % AG-Zugabe kann kein Unterschied hinsichtlich der Spaltzugfestigkeit und der Wasserempfindlichkeit erkannt werden.

Insgesamt hat sich das Konditionierungsverfahren mittels MIST als geeignet für die Ansprache der Feuchtigkeitsempfindlichkeit von Asphalt herausgestellt.

### 3.5 WP4: Lebenszyklus-Analysen

Unter Verwendung des Programmes asPECT (asphalt Pavement Embodied Carbon Tool) wurden ökobilanzielle Berechnungen durchgeführt, um die Einflüsse verschiedener im Projekt EARN betrachteten Aspekte auf die Lebenszykluskosten und

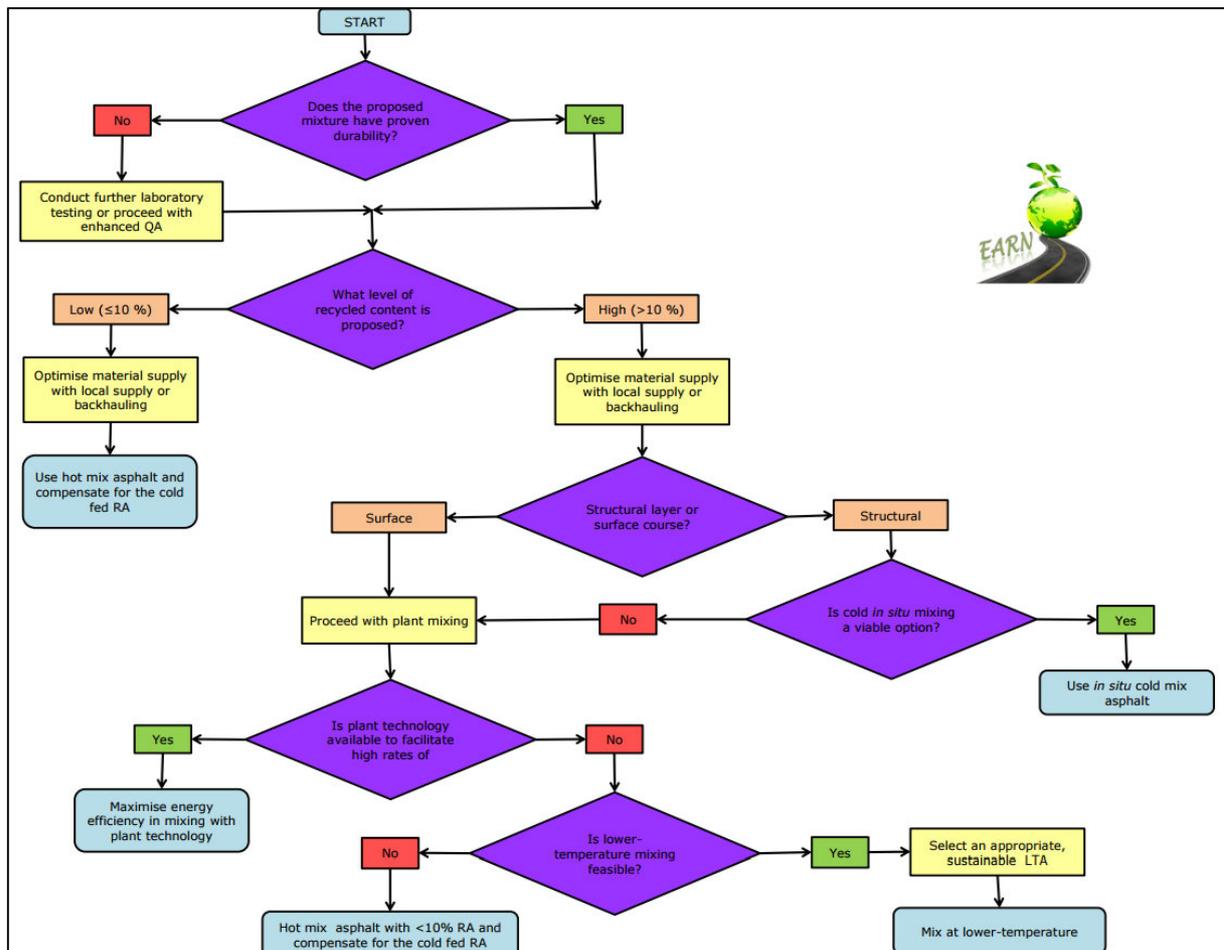
Umweltauswirkungen zu berechnen. Dabei wurde eine Nutzungsdauer einer Straßenbefestigung von 60 Jahren angesetzt, sodass mehrere Erhaltungszyklen in die Beurteilung einfließen. Als Untersuchungsgegenstand wurde der in WP2 beprobte Streckenabschnitt verwendet. Als Datengrundlage dienen die Ergebnisse der verschiedenen Arbeitspakete des Projektes EARN. So wurden die Messungen des Energieverbrauchs der Asphaltmischanlage bei der Herstellung der vier Untersuchungsmaterialien als Grundlage für die Kalkulation der Umweltindikatoren bezüglich des Einsatzes von Asphaltgranulat und WMA-Additiv verwendet.

Im Ergebnis konnte berechnet werden, dass die Zugabe von 30 % Asphaltgranulat die für den Treibhauseffekt maßgeblichen äquivalenten CO<sub>2</sub>-Emissionen um ca. 3 % reduzieren. Gegenüber der Heiasphaltvariante bewirkt der zusätzliche Einsatz von WMA-Additiven zur Reduzierung der Herstellungstemperatur in Kombination mit 30 % AG-Zugabe eine Verringerung des Umweltindikators um ca. 10 %.

Hinsichtlich des Einflusses der Nutzungsdauer der Asphaltdeckschicht wurden der Einfluss der unterschiedlichen Nutzungsdauerannahmen zwischen 8 und 16 Jahren untersucht. Die dadurch reduzierte Anzahl von Erhaltungsmaßnahmen (Ersatz der Deckschicht) überdeckt sehr stark den Einfluss der untersuchte Splittmastixasphaltvarianten hinsichtlich lebenszykluskosten und Umweltindikatoren.

Falls die Leerfahrten der für den Mischguttransport verwendeten Transportfahrzeuge vermieden werden und dafür Asphaltgranulat von der Baumaßnahme zum Asphaltmischwerk transportiert werden kann, können die CO<sub>2</sub>-Emissionen, welche mit der Produktion des Mischgutes verbunden sind, um bis zu 10 % reduziert werden.

Abschließend wurde ein vereinfachtes Ablaufschema entworfen, welches eine hinsichtlich der Ökobilanz optimierte Auswahl von Erhaltungsverfahren ermöglicht, vgl. Bild A 8.



**Bild A 8. Entscheidungsschema für die Auswahl unter ökobilanziellen Gesichtspunkten optimierte Erneuerungsverfahren**

## 4 Projekt AllBack2Pave

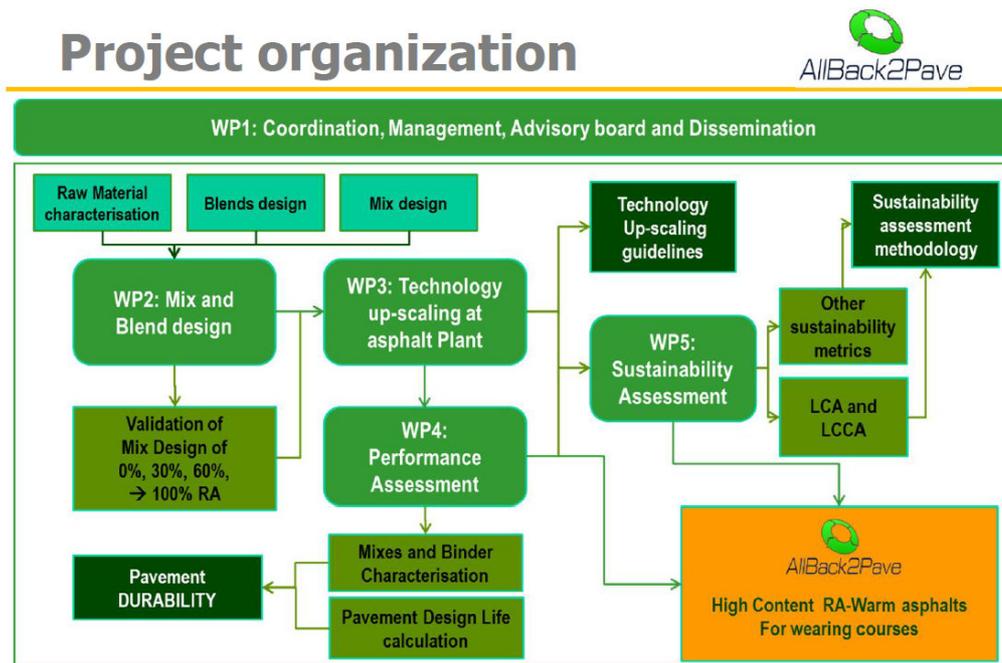
### 4.1 Projektinhalt und –struktur

Mit dem Ziel Möglichkeiten für das 100%-Recycling von Asphaltgranulat in neuen Asphaltdeckschichten zu entwickeln, wurde zum einen das mechanische Verhalten und die Dauerhaftigkeit von Deckschichtvarianten untersucht und zum anderen ein Leitfaden aufgestellt, der Voraussetzungen für die praktische Umsetzung des 100%-Recyclings unter Qualitäts- und Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten zusammenfasst. Das Projekt wurde durch die TU Dresden, Prof. Wellner koordiniert. Beteiligte Projektpartner waren die Universität Palermo (Italien) und die Universität Nottingham (Vereinigtes Königreich).

Die inhaltliche Bearbeitung des Forschungsprojektes wurde in 4 technischen Arbeitspaketen (work packages – WP) gegliedert, vgl. Bild A 9:

- WP2: Erstprüfung des Asphaltmischgutes und Einbindung des Asphaltgranulates
- WP3: Umsetzung am Asphaltmischwerk
- WP4: Untersuchung des Gebrauchsverhaltens
- WP5: Untersuchung der Nachhaltigkeit

Die Projektergebnisse sind unter <http://allback2pave.fehrl.org> in Form von bisher zwei Projektberichten (deliverables) (D2.1 „High-content PA asphalt mixture design“ und D3.1 „End-user manual“) sowie Präsentationen eine Abschlussworkshops und weiteren Konferenzbeiträgen veröffentlicht.



**Bild A 9. Struktur des Projektes „AllBack2Pave“**

## 4.2 Mix design

Für die Bearbeitung des Forschungsprojektes wurden zwei Asphaltgranulate ausgewählt (ein SMA 11 aus Deutschland und ein AC 16 aus Italien), welche jeweils selektiv aus Asphaltdeckschichten gefräst wurden. Anhand der Eigenschaften des Asphaltgranulate konnten eine maximale AG-Zugabe von 60 % für das deutsche Deckschichtmischgut SMA 11 und von 90 % für das italienische Deckschichtmischgut AC 16 ermittelt werden. Die italienischen Asphaltbetone und eine deutsche SMA-Variante wurden dabei unter Verwendung eines Rejuvenators sowie von WMA-Additiven hergestellt.

## 4.3 Leitfaden für den Endanwender

Das Ergebnis des Arbeitspaketes 2 ist in Bericht „D3.1 End User Manual“ zusammengestellt. Zunächst wird anhand der statistischen Daten zum Anfall von Ausbauasphalt sowie der Produktion von neuem Asphaltmischgut deutlich gemacht, dass auch die Verwertung von Asphaltgranulat in neuen Asphaltdeckschichten in Zukunft häufiger zur Anwendung kommen muss. Um dieses unter möglichst hohen Qualitätskriterien zu erreichen werden für die Straßenbaubehörde, den Mischguthersteller sowie für die Einbaufirma Checklisten aufgestellt, anhand derer die Qualität des Verwertungsverfahrens für Ausbauasphalt sowie für die Herstellung und Einbau neuen Asphaltmischgutes mit hohen Recyclingquoten überwacht bewertet

werden kann. Die Anwendung dieser Checklisten wird für zwei Fallstudien in Deutschland und Italien angewendet.

## 4.4 Gebrauchsverhalten

Die an zwei Asphaltmischwerken gemäß den in Arbeitspaket 2 erarbeiteten Zusammensetzungen hergestellten Asphaltdeckschichtmischgutvarianten wurden hinsichtlich ihres Gebrauchsverhaltens im Labor untersucht. Zur Bestimmung der Steifigkeit und des Ermüdungswiderstandes wurden Spaltzug-Schwellversuche eingesetzt. Der Verformungswiderstand wurde mittels Spurbildungsversuchen und einaxialen Druck-Schwellversuchen mit variiertem Prüftemperatur gemessen. Eine Ermittlung des Kälterisswiderstandes erfolgte nicht.

Mit Zunahme der Anteile an Asphaltgranulat wird bei den untersuchten Splittmastixasphalt-Varianten eine Zunahme des Steifigkeitsmoduls sowie eine Erhöhung des Ermüdungs- und Verformungswiderstandes beobachtet. Die Zugabe von einem Rejuvenator für die Mischgutvarianten mit dem AG-Anteil von 60 % resultiert in geringerer Steifigkeit und einer Abnahme des Ermüdungs- und Verformungswiderstandes im Vergleich zur Variante ohne Asphaltgranulat. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Additiv-Zugabe aufgrund des gering gealterten Bindemittels im Asphaltgranulat nicht erforderlich war.

Die Asphaltbetonvarianten unter Verwendung von 30, 60 und 90 % Asphaltgranulates wurden mit Verwendung eines Rejuvenator-Additivs hergestellt. Bis auf die 90%-Zugabevariante wurden die

Mischgutproben großtechnisch im Asphaltmischwerk hergestellt. Die Herstellung der 90%-Zugabevariante war nur im Labor möglich.

Im Vergleich zur Variante ohne AG-Zugabe nimmt auch für die Asphaltbetonvarianten mit 30 % und 60 % Asphaltgranulat-Zugabe die Steifigkeit, der Widerstand gegen Ermüdung sowie gegen Verformungen zu. Die im Labor hergestellte Variante mit 90 % Zugabe weist hingegen ungünstigeres Verhalten auf.

#### 4.5 Nachhaltigkeitsuntersuchungen

Zur Bestimmung des gesamtwirtschaftlichen und ökologischen Nutzens des Einsatzes der untersuchten Recycling-Technologien wurde für drei typische Szenarien (Nordeuropa – Vereinigtes Königreich, Zentraleuropa – Deutschland und Südeuropa - Italien) Ökobilanzen zur Nutzung von hohen Asphaltgranulatanteilen in Asphaltdeckschichten untersucht. In Bild A 10 sind die Ergebnisse für die

berechneten äquivalenten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die im Projekt untersuchten Asphaltvarianten zusammengestellt. Je nach Anwendungsland ergeben sich unterschiedliche Treibhausgasreduzierungen, welche auf unterschiedliche angenommene Transportentfernungen für Asphaltgranulat und Gesteinskörnungen zurück zu führen sind.

Die Analyse der anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen für Herstellung von Ausgangsstoffen (Bindemittel, Gesteinskörnungen, Additive sowie Asphaltgranulatgewinnung), den Transportvorgängen sowie der Mischgutproduktion bei Variation der AG-Anteile ist in Bild A 11 gezeigt. Mit zunehmenden Anteilen an Asphaltgranulat sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Rohstoffproduktion und den Materialtransport. Dadurch nimmt der Anteil der Mischgutproduktion an der CO<sub>2</sub>-Bilanz von Asphaltmischgut zu, obwohl dieser nicht von der AG-Zugabe beeinflusst wird.

## Carbon Footprinting/LCA



**Results (1 service life):** Cradle-to-laid + EOL CF of the considered AB2P asphalt mixes for wearing course and variations with respect to the currently used mixes (baselines)

	South EU (Italy) (kgCO <sub>2</sub> e/t)		Central EU (Germany) (kgCO <sub>2</sub> e/t)		North EU (UK) (kgCO <sub>2</sub> e/t)	
	Value	% Change	Value	% Change	Value	% Change
Baseline	93.1	-	105.3	-	72.9	-
SMA 16-RA30add	92.9	-0.2%	82.1	-22.3%	64.4	-11.7%
SMA 16-RA60add	90.5	-2.8%	68.2	-35.2%	62.3	-14.5%
SMA IT-RA90add	88.2	-5.3%	54.8	-48.0%	60.5	-17.0%
SMA D-RA30	102.3	9.9%	91.1	-13.5%	73.7	1.1%
SMA D-RA60	95.0	0.0%	74.3	-29.4%	67.1	-8.0%
SMA D-RA60add	99.0	0.2%	77.3	-26.6%	70.6	-3.2%

*From an overall analysis of the results, it is possible to affirm that **using the asphalt mixes with high RA content generally provides similar or lower carbon footprint than the asphalt mixes currently used in Europe.***

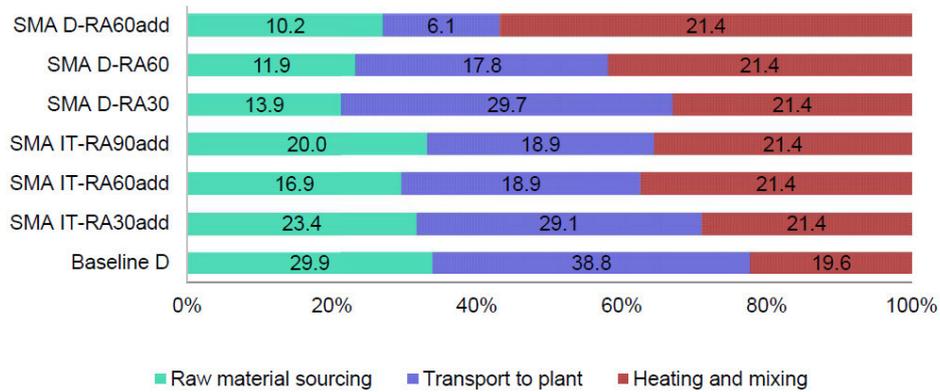
**Bild A 10.** Ergebnis der Ökobilanz-Rechnungen zum Einfluss der AG-Zugabe bei verschiedenen Szenarien

## Carbon Footprinting/LCA



### Results (1 service life): LIFECYCLE HOTSPOTS

Contribution of each operation to the cradle-to-gate stage for the Central EU case study.



**Bild A 11. Anteile von Rohstoffherstellung, Transporte sowie Mischgutherstellung an den CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Herstellung von Asphaltmischgut bei Variation des AG-Anteils**