



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmisch- gut: Synthesebericht

**Paquet de recherche de recyclage des matériaux bitumi-
neux de démolition des routes dans des enrobés à chaud: –
synthèse**

**Research package of the recycling of reclaimed asphalt in
hot mixes: – Synthesis**

**Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH)
Institut für Geotechnik**

**Dr. Markus Caprez
Dr. Carlo Rabaiotti**

**Forschungsprojekt VSS 2005/450 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Februar 2017

1599

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heiss- mischgut: Synthesebericht

**Paquet de recherche de recyclage des matériaux bitumi-
neux de démolition des routes dans des enrobés à chaud:
– synthèse**

**Research package of the recycling of reclaimed asphalt in
hot mixes: – Synthesis**

**Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH)
Institut für Geotechnik**

**Dr. Markus Caprez
Dr. Carlo Rabaiotti**

**Forschungsprojekt VSS 2005/450 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Februar 2017

1599

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Dr. Markus Caprez, Institut für Geotechnik, ETH Zürich

Mitglieder

Dr. Carlo Rabaiotti, Institut für Geotechnik, ETH Zürich

Federführende Fachkommission

Fachkommission 3: Baustoffe

Gesamtprojekt (EP1, EP2, EP3, EP4, EP5)

Projektleiter

Dr. Markus Caprez, Institut für Geotechnik, ETH Zürich

Begleitkommission

Präsident

Alex Nellen, Implenia Schweiz AG, Bern

Mitglieder

Hans-Peter Beyeler, Bundesamt für Strassen ASTRA, Ittigen

Thomas Arn, Lombardi SA, Minusio

Tony Bühler, Implenia SA, Satigny

Markus Grieder, Jauslin Stebler AG, Ingenieure, MuttENZ

Martin Horat, Tiefbauamt Stadt Zürich, Zürich

Daniel Kästli, Kästli AG, Ostermundigen

Andrea Bieder, Ammann Schweiz AG, Langenthal

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Einleitung.....	13
1.1 Ausgangslage	13
1.1.1 Motivation	13
1.1.2 Ziel und Zweck	13
1.1.3 Abgrenzung.....	13
1.1.4 Aufbau dieses Syntheseberichts.....	14
1.2 Fragestellungen im Forschungspaket.....	15
1.3 Erwartete Resultate und Nutzen	15
1.4 Berichte des Initialprojektes und der Einzelprojekte	16
1.5 Schlussfolgerungen der Einzelprojekte	16
1.5.1 EP1: Optimaler Anteil an Ausbauasphalt.....	16
1.5.2 EP2: Mehrfachrecycling von Strassenbelägen	18
1.5.3 EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung.....	19
1.5.4 EP4: Beurteilung der Dauerhaftigkeit	22
1.5.5 EP5: Mischgutoptimierung von Recyclingbelägen.....	24
2 Aufträge	27
2.1 Gesamtprojektleitung und Evaluation der Einzelprojekte	27
2.1.1 Gesamtprojektleitung	27
2.1.2 Notwendigkeit.....	28
2.1.3 Nutzniesser	28
2.1.4 Ziel und Wirkung	28
2.2 Einzelprojekt 1 (EP1): Optimaler Anteil an Ausbauasphalt (VSS 2005/452).....	29
2.2.1 Thema und Ziele	29
2.2.2 Erwartete Resultate	29
2.2.3 Beauftragter	29
2.3 Einzelprojekt 2 (EP2): Mehrfachrecycling von Strassenbelägen (VSS 2005/453)	29
2.3.1 Thema und Ziele	29
2.3.2 Erwartete Resultate	29
2.3.3 Beauftragter	29
2.4 Einzelprojekt 3 (EP3): Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung (VSS 2005/454).....	30
2.4.1 Thema und Ziele	30
2.4.2 Erwartete Resultate	30
2.4.3 Beauftragter	30
2.5 Einzelprojekt 4 (EP4): Evaluation of Durability (VSS 2005/455)	30
2.5.1 Thema und Ziele	30
2.5.2 Erwartete Resultate	31
2.5.3 Beauftragter	31
2.6 Einzelprojekt 5 (EP5): Formulation des enrobés avec matériaux recyclés (VSS 2005/456)	31
2.6.1 Thema und Ziele	31
2.6.2 Erwartete Resultate	31
2.6.3 Beauftragter	31
3 Vorgehen.....	33
3.1 Materialwahl und Aufbereitung	33
3.1.1 Basismaterialien und Basisuntersuchungen (roter Faden).....	33
3.2 Prüfplan und Ergebnisse der Untersuchungen.....	34
3.3 Koordination der Einzelprojekte	34

3.4	Beigabe von Recyclingasphalt (RAP)	34
4	Ergebnis.....	35
4.1	Grundsätzliche Erkenntnisse und Feststellungen	35
4.2	Zusammenfassung Schlussbericht EP1	35
4.3	Zusammenfassung Schlussbericht EP2	37
4.4	Zusammenfassung Schlussbericht EP3	38
4.5	Zusammenfassung Schlussbericht EP4	39
4.6	Zusammenfassung Schlussbericht EP5	40
4.7	Zielerreichung	41
5	Weiterer Forschungs- und Normierungsbedarf.....	43
5.1	Validierung der erarbeiteten „Laborresultate“ im Feld	43
5.2	Verjüngungsmittel	43
5.3	PmB-Bindemittel in Recyclingmischgut	44
5.4	Homogenität der Bindemittelphase	44
5.5	Erweitern der Untersuchungen auf sehr hohe Anteile RAP	44
5.6	Anforderungen an Mineralstoffe der aufbereiteten recycelten Anteile	44
5.7	Übertragung der Resultate auf Warm- und Kaltasphalte.....	44
5.8	Einfluss des RAP auf den Schichtenverbund	45
5.9	Einfluss und Beitrag des rezyklierten Bindemittels	45
5.10	Beitrag zur Normierung	45
	Glossar.....	47
	Literaturverzeichnis.....	49
	Projektabschluss	51
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	55

Zusammenfassung

Die Erkenntnisse des in diesem Synthesebericht referenzierten Forschungspaketes zeigen ein mehrheitlich sehr positives Bild zur Möglichkeit eines hohen Anteils an Recyclingmaterialien in heiss aufbereitetem Mischgut zu verwenden ohne messbare Einbussen an der Qualität des neuen Baustoffes. Der Umfang dieses Forschungspaketes zwang die Forschenden sich auf wenige Arten und Typen von Recyclingmaterialien zu beschränken. Die Festlegung von für die schweizerischen Verhältnisse „repräsentativem“ Recyclingmaterial welches aus Heissmischasphalt aufbereitet wurde, war eine schwierige Aufgabe. Die Projektleitung war sich bewusst, dass die Herkunft, die Gewinnung und die Art der Aufbereitung des Recyclingmaterials erheblichen Einfluss auf die Resultate der Forschung haben. Dieser Einfluss wurde durch die Wahl einer speziell ausgerüsteten und daher gut geeigneten Aufbereitungsanlage minimiert.

Seit 30 Jahren wird in der Schweiz Ausbauasphalt aufbereitet und wiederverwendet. Anfänglich erfolgte die Zugabe nur in kleinen Mengen von 10-20% als Kaltzugabe, jedoch entwickelte man schon bald bessere Verfahren, um grössere Mengen wiederverwerten zu können. Mit der heutigen Maschinen- und Aufbereitungstechnik ist theoretisch sogar ein 100% Recycling für Beläge mit geringer Verkehrsbeanspruchung möglich.

Mittels klassischen und neuen Untersuchungsmethoden im Labor und im Feld wurden im Wesentlichen die folgenden Erkenntnisse gewonnen.

Durch die Kombination von altem und neuem Mischgut wird grundsätzlich ein neues Material geschaffen, welches eine eigene Identität aufweist. Die zwei Ausgangsmaterialien müssen kompatibel sein und die Kombination zum erwünschten Resultat, sei dies bezüglich Korngrössenverteilung und/oder Bindemittleigenschaften, führen. Letztendlich soll ein neues Material geschaffen werden, welches bestimmten mechanischen und Dauerhaftigkeitsanforderungen genügen muss. Diese Eigenschaften und deren Verhalten müssen nach wie vor geprüft werden.

Die Resultate aus dem Forschungsprojet EP1 (Optimaler Anteil an Ausbauasphalt) haben gezeigt, dass es unter bestimmten Bedingungen möglich ist bis zu 100% Recyclingmischgut bei der Mischgutaufbereitung zu verwenden. Die einzuhaltenden Bedingungen sind:

- Die Sollwerte der Korngrössenverteilung und der Bindemittleigenschaften (Menge und Viskosität) müssen eingehalten werden, was je nach Zusammensetzung des verwendeten Recyclingmischgutes die maximal mögliche Zugabe von rezykliertem Mischgut einschränkt.
- Bei Zugaben von mehr als ca. 60% Anteilen an Recyclingmischgut ist in den meisten Fällen eine Zugabe von Verjüngungsmittel notwendig.
- Eine optimale Aufbereitung von Mischgut mit höheren Anteilen (>20%) an Recyclingstoffen ist nur in Anlagen, welche mit einer „Recyclingtrommel“ ausgestattet sind, sinnvoll und qualitativ zielführend.

Das Forschungsprojet EP3 (Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung) zeigt dass, für das Verwenden von hohen Anteilen an rezyklierten Asphaltgranulaten deren Qualität entscheidend ist. Je höher der Anteil an rezyklierten Ausgangsstoffen ist, desto strengere Anforderungen sind an dessen Homogenität und Qualität zu stellen. Die Gewinnung und die Bewirtschaftung von rezykliertem Ausbauasphalt sind von grosser Bedeutung für die Qualität der damit hergestellten neu gemischten Baustoffe.

Für die Verwendung von hohen Anteilen an Recyclingasphalt eignen sich besonders Asphaltbetone (AC) für Fundations- und Tragschichten.

Mehrfachrecycling beeinflusst zwar die Qualität des Mischgutes ist aber unter Einhaltung einiger Bedingungen problemlos möglich. Die Untersuchung von Mineralstoffeigenschaften (Kornoberfläche), Korngrössenverteilung und Bindemittelseigenschaften sind nötig um allfällige Anpassungen an Korngrössenverteilung der Mineralstoffe und Viskosität der Bindemittel zu steuern. Auch die Resultate aus dem Forschungsprojekt“ EP2 (Mehrfachrecycling von Strassenbelägen) zeigen auf, dass die Qualität und Bewirtschaftung des Ausbauasphaltes grossen Einfluss auf das Mischgut haben und daher hohe Anforderungen positive Auswirkungen haben.

Die Dauerhaftigkeit von Mischgut mit verschiedenen Anteilen an rezykliertem Ausbauasphalt wurde im EP4 (Evaluation of Durability) untersucht. Es wurde mittels labortechnischen Versuchen festgestellt, dass die Dauerhaftigkeit durch Zugabe von rezykliertem Ausbauasphalt nicht übermässig beeinflusst wird und die geforderten Normwerte in allen Fällen eingehalten werden konnten. Durch die Alterung des Mischgutes wird das Bindemittel bekanntermassen verhärtet. Diese Veränderung kann und muss mit entsprechender Wahl und Dosierung von Verjüngungsmittel kompensiert werden. Verglichen mit den erhaltenen Resultaten schreiben die Schweizer Normen bisher zu konservative Maximalanteile an Recyclingasphalten vor.

Die Mischgutoptimierung bei der Zugabe von Recyclingasphalt wurde in EP5 (Formulation des enrobés avec matériaux recyclés) mittels der Methode der analytischen Rezeptierung gemäss dem Belgischen Centre de Recherche Routiers (CRR) durchgeführt. Mittels dieser Analysen und entsprechenden Laborversuchen wurden die verschiedenen Eigenheiten und Parameter zur Rezeptierung von Asphaltmischgut mit verschiedenen hohen Anteilen an rezyklierten Ausbauasphalten erhoben. Auch dieses Forschungsprojekt zeigt prominent auf, dass die Homogenität und die Qualität des Ausbauasphaltes entscheidenden Einfluss auf die Resultate der mechanischen Eigenschaften der wiederaufbereiteten Baustoffe haben. Zur Qualität des Ausbauasphaltes gehören insbesondere auch die Kantigkeit, die Anteile an gebrochenen Mineraloberflächen und die Mineralogie sowie die Bindemittelseigenschaften.

Das Hauptresultat der Untersuchungen der 5 Projekte in diesem Forschungspaket kann so zusammengefasst werden: Unter Einhaltung bestimmter Grundregeln und Erkenntnisse bei Ausbau, Rezeptur und Herstellung ist die Verwendung von Recycling-Asphalt (RAP) bis zu hohen Anteilen ohne negativen Einfluss auf die massgebenden Eigenschaften der damit gebauten Schichten, möglich.

Diese Grundregeln und die Erkenntnisse, welche aus den Resultaten der Forschungsprojekte entnommen werden können, sollten direkt in die entsprechenden Normen einfließen.

Dabei müssen dieselben Anforderungen, welche für konventionelle Asphalte gelten, erfüllt werden. Diese können mit den herkömmlichen Prüfverfahren untersucht werden. Das konnte auch mit Resultaten der komplexeren und umfangreicheren Versuche in den durchgeführten Forschungsprojekten gezeigt werden.

Das vorliegende Forschungspaket zeigt den Weg zu einem erheblich grösseren Recycling-Anteil in neu aufbereiteten Mischgütern als dies in den aktuellen Normen und in der Mischgutindustrie vorgeschrieben und festgelegt wird.

Résumé

Les connaissances dans ce rapport de synthèse du paquet de recherche présenté montrent, dans l'ensemble, une image très positive de la possibilité de réutilisation d'une quantité élevée de matériaux de recyclage dans l'emploi d'asphalte mélangé à chaud sans perdre la qualité de matériaux de construction neufs. La portée de ce paquet de recherche a obligé les chercheurs à se limiter à quelques types de matériaux de recyclage. La création d'un matériau de recyclage représentatif, dans le contexte suisse, préparé d'un asphalte mélangé à chaud, s'est révélée une tâche difficile. La direction du projet était consciente de la grande influence de l'origine, de l'extraction et de la méthode de préparation du matériau de recyclage sur les résultats de la recherche. Cette influence a été minimisée par le choix d'une installation spécialement équipée pour le mélange de l'asphalte.

L'asphalte provenant de démolition a été préparé et utilisé en Suisse depuis 30 ans. Au début, seulement de petites quantités de 10-20% ont été ajoutées comme ingrédients à froid; cependant, des procédures améliorées ont été bientôt développées pour permettre l'utilisation de plus grandes quantités. Avec les machines actuelles, théoriquement il est possible d'arriver à 100% de recyclage pour des surfaces de qualité inférieure.

Grace à l'utilisation de méthodes de recherche traditionnelles et innovatrices in situ et en laboratoire, il a été possible d'obtenir les connaissances suivantes.

Grace à une combinaison de mélanges avec du vieux et du neuf, un nouveau mélange se forme avec ses propres caractéristiques. Les deux matériaux mélangés doivent être compatibles et la combinaison doit mener à des résultats souhaités, quant à la granulométrie et/ou les propriétés du liant. Enfin, un nouveau matériau doit être trouvé qui fournit certains critères mécaniques et de durabilité. Ces propriétés et leur comportement doivent encore être testés.

Les résultats du projet de recherche EP1 (Quantité optimale d'asphalte de démolition) ont montré que dans certaines conditions il est possible d'utiliser jusqu'à 100% du matériau recyclé pendant la préparation du mélange. Les conditions qui doivent être respectées sont:

- Les valeurs de référence de la granulométrie et les propriétés du liant (quantité et viscosité) doivent être respectées, limitant ainsi l'addition maximale possible du matériau recyclé selon la composition du matériau recyclé utilisé.
- Pour des quantités ajoutées supérieures à 60% du matériau recyclé, dans la plupart des cas, l'ajout d'additifs rajeunissants est nécessaire.
- Une préparation optimale de mélanges avec des quantités supérieures de matériaux recyclés (>20%) est sensée et atteignable qualitativement seulement dans des installations équipées d'un tambour de recyclage.

Le projet de recherche EP3 (Evaluation du flux de matériaux et durabilité) montre que, pour l'utilisation de quantités élevées de granulats d'asphalte recyclés, leur qualité est décisive. Plus haute est la quantité de matériaux de recyclage, plus strictes sont les critères de homogénéité et de qualité. La production et le contrôle de l'asphalte recyclé de démolition sont très pertinents quant à la qualité du matériau neuf de construction provenant de ceux-ci.

Pour une utilisation de quantités élevées d'asphalte recyclé, le béton bitumineux (AC) est particulièrement approprié pour des couches de fondation et des couches portantes.

En effet, le recyclage multiple influence la qualité du mélange et, mais dans certaines conditions, est possible sans problèmes. L'investigation des propriétés des matériaux

minéraux (surface des grains), de la granulométrie et des propriétés du mélange du liant est nécessaire pour tout réglage de la granulométrie du matériaux minéral et la viscosité. Les résultats du projet de recherche EP2 (Recyclage multiple des chaussées routières) montrent que la qualité et le contrôle de l'asphalte de démolition a une influence significative sur le mélange et que des critères sévères mènent à des résultats positifs.

La résistance de mélanges ayant des quantités différentes d'asphalte de démolition recyclé a été étudiée dans EP4 (Evaluation de la résistance). On a pu remarquer à travers les essais en laboratoire que la résistance n'est pas fortement influencée par l'ajout d'asphalte de démolition recyclé et que les valeurs standard ont pu être atteintes dans tous les cas. Le liant a pu être sensiblement endurci par le processus de séchage. Ce changement peut et doit être compensé par un choix et un dosage approprié d'additif rajeunissant. Par rapport aux résultats obtenus, jusqu'à présent les normes suisses ont toujours prescrit des quantités maximales d'asphalte recyclé excessivement conservatrices.

L'optimisation du mélange par l'ajout d'asphalte recyclé a été effectuée dans EP5 (Formulation des enrobés avec matériaux recyclés) avec la méthode analytique de recette conformément au Centre Belge de Recherche Routière (CRR). A travers ces analyses et les essais en laboratoire correspondants, les diverses propriétés et les paramètres pour les recettes des mélanges bitumineux avec des quantités élevées d'asphalte de démolition recyclé ont été formalisées. En plus dans ce projet de recherche, on a pu remarquer clairement que l'homogénéité et la qualité de l'asphalte de démolition ont une influence décisive sur les résultats des propriétés mécaniques des matériaux de construction réélaborés. La qualité de l'asphalte de démolition est surtout influencée par l'angularité, la quantité de surface minérale broyée et la minéralogie ainsi que les propriétés minérales du liant.

Le résultat principal des investigations des 5 projets dans ce paquet de recherche peut être résumé comme suit: Si certaines règles de base et des connaissances sont respectées pendant la démolition, la recette et la production, l'utilisation d'asphalte recyclé, même en quantités importantes, est possible sans effets négatifs sur les propriétés décisives des couches construites.

Ces règles de base et ces connaissances, qui peuvent être déduites des résultats des projets de recherche, doivent être intégrées directement dans les normes correspondantes.

Les mêmes critères qui s'appliquent pour l'asphalte conventionnel doivent aussi être suivis. Ceux-ci peuvent être investigués par des méthodes d'essai conventionnelles; cependant, ils peuvent aussi être démontrés en utilisant les résultats des essais plus complexes et complets qui ont été effectués dans les projets de recherche.

Le paquet de recherche disponible montre le chemin vers des quantités plus élevées de matériau recyclé dans les mélanges neufs par rapport aux quantités présentées dans les normes actuelles et celles prescrites et établie par l'industrie des mélanges.

Summary

The knowledge in this synthesis report gleaned from the referenced research packet presents, on the whole, a very positive image of the possibility of high amounts of recycling material in the use of "hot-mix asphalt" mixtures without forfeiting the quality of new construction materials. The scope of this research packet forced the researchers to restrict themselves to only a few sorts and types of recycling material. The establishment of "representative", under Swiss circumstances, recycling material which was prepared from hot-mix asphalt was a difficult task. The project leaders were aware that the origin, the extraction and the preparation method of the recycling materials have considerable influence on the research results. This influence was minimized through the choice of a specially equipped and, therefore, well suited asphalt mixing plant.

Demolition asphalt has been prepared and reused in Switzerland for the last 30 years. Initially, only small amounts of 10-20% were added as cold ingredients; however, improved procedures were soon developed in order to reuse larger amounts. With current machines and production techniques, it is theoretically possible to achieve 100% recycling for lesser quality surfaces.

Through the use of traditional and innovative research methods in the laboratory and in the field, it has been possible to acquire the following knowledge.

Through the combination of old and new mixtures, a basically new material is formed which has its own properties. The two mixed materials must be compatible and the combination must lead to the desired results, whether relating to grain size distribution and/or binding material properties. Finally, a new material must be formed which fulfills certain mechanical and durability requirements. These properties and their behaviour must still be tested.

The results from the EP1 research project (Optimal Amount of Demolition Asphalt) have shown that, under certain conditions, it is possible to use up to 100% of recycled mixture during the mixture preparation. The conditions which must be respected are:

- The reference values of the grain size distribution and the binding material properties (amount and viscosity) must be respected, which restricts the maximum possible addition of recycled mixture depending on the composition of the recycled mixture used.
- For added amounts in excess of 60% of recycled mixture, in most cases, the addition of rejuvenating additives is necessary.
- An optimum preparation of mixtures with higher amounts (> 20%) of recycled material is sensible and qualitatively attainable only in installations which are equipped with a "recycling drum".

The EP3 research project (Evaluation of material flow and sustainability) shows that, for the use of high amounts of recycled asphalt granules, their quality is decisive. The higher the amount of recycled materials, the stricter the requirements on their homogeneity and quality. The production and quality control of recycled demolition asphalt are of great relevance for the quality of the newly-mixed construction material that has been made from them.

For the use of high amounts of recycled asphalt, asphalt concrete (AC) is especially suitable for foundation and bearing layers.

In fact, multiple recycling influences the quality of the mixture and, if certain conditions are respected, it is possible without problems. The investigation of mineral material properties (grain surface), grain size distribution curve and binding mix properties is necessary for any adjustment of the grain size distribution curve of the mineral material

and the viscosity. The results from the EP2 research project (Multiple recycling of road surfaces) show that the quality and control of demolition asphalt has a significant influence on the mixture and that strict requirements lead to positive results.

The durability of mixtures with different amounts of recycled demolition asphalt were studied in EP4 (Evaluation of Durability). It was observed through laboratory testing that the durability is not overly influenced by the addition of recycled demolition asphalt and the required standard values could be achieved in all cases. Through the curing process of the mixture, the binding material was substantially hardened. This change can and must be compensated by an appropriate choice and dosage of rejuvenating additive. Compared with the results obtained, up until now, the Swiss Standards have prescribed overly conservative maximum amounts of recycled asphalt.

The optimisation of the mixture through the addition of recycled asphalt was carried out in EP5 (Formulation of macadam using recycled material) using the Analytical Recipe Method in accordance with the Belgian Centre for Road Research (CRR). Through these analyses and the corresponding laboratory tests, the various properties and parameters for recipes of asphalt mixtures with varying high amounts of recycled demolition asphalt were formalized. Also in this research project, it was clearly shown that homogeneity and quality of demolition asphalt have a decisive influence on the results of the mechanical properties of the remade construction material. The quality of the demolition asphalt is especially influenced by the angularity, the amount of crushed mineral surface area and the mineralogy, as well as the binding material properties.

The main result of the investigations of the 5 projects in this research packet can be summarized as follows: If certain basic rules and knowledge are respected during the demolition, recipe and production, the use of recycled asphalt (RAP), even up to high amounts, is possible without negative effects on the decisive properties of the built layers.

These basic rules and knowledge, which can be taken from the results of the research projects, should be directly integrated into the corresponding standards.

The same requirements which apply for conventional asphalt must also be complied with. These can be investigated with conventional test methods; however, they can also be shown using the results of the more complex and complete tests carried out in the research projects.

The presented research packet shows the path to much higher amounts of recycled material in newly-prepared mixtures than those presented in the current standards and those prescribed and established by the mixture industry.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

1.1.1 Motivation

Die Einrichtung und der Betrieb eines ökologisch und ökonomisch sinnvollen Stoffkreislaufs ist zunehmend eine gesellschaftspolitische Notwendigkeit. Dies entspricht den politischen Zielvorgaben von verschiedenen nationalen und internationalen Instanzen.

Mit steigender Bedeutung von Nachhaltigkeits- und Umweltthemen aber auch mit der sich immer klarer abzeichnenden Material-Ressourcenknappheit und der Entsorgungsproblematik hat die Frage des Recyclings von Strassenausbruch sowohl in politisch-gesellschaftlichem als auch ökologisch-ökonomischem Sinne erheblich an Aktualität und Bedeutung gewonnen. In der Schweiz werden jährlich in der Grössenordnung von 5 Mio. t Mischgut produziert und es fallen 2 Mio. t Ausbauasphalt an. Es handelt sich dabei um teilweise qualitativ hoch stehende, wenn auch nicht immer unproblematische Wertstoffe, deren optimale und möglichst vollständige Wiederverwendung Gegenstand dieses Forschungspakets (FP) darstellt.

Das vorliegende Forschungspaket orientiert sich an den strassenverkehrspolitischen Zielsetzungen des UVEK 2004 - 2007 A (Moderne Infrastruktur schaffen, welche die zukünftigen Mobilitätsbedürfnisse möglichst effizient abdecken) und C (Schutz der Menschen und der Lebensgrundlagen), die unter der Priorität 1 eingestuft sind. Diese beinhalten die Forschungsschwerpunkte des ASTRA „Verfügbarkeit der Infrastruktur“ Punkte P...T, insbesondere aber Q und R.

1.1.2 Ziel und Zweck

Ziel des Forschungspaketes ist die Erarbeitung praktischer und systematischer Grundlagen, Normierungshinweise und Empfehlungen für die Anwendung und Konzipierung von Schichten aus bitumenhaltigem Heissmischgut mit Ausbauasphalt unter besonderer Berücksichtigung von Recyclinganteil, Mehrfachrecycling, Nachhaltigkeit, Dauerhaftigkeit und Mischgutkonzipierung.

Das Forschungspaket dient der Normung und Formulierung von Empfehlungen und Richtlinien zur optimalen, sicheren und nachhaltigen Beherrschung und Nutzung von Ausbauasphalt für bitumenhaltiges Heissmischgut, mit dem Ziel letztlich die Wiederverwendung dieser Wertstoffe zu fördern und die Entsorgungsmenge (in Deponien etc.) zu minimieren. Der Materialkreislauf im Bereich des bitumengebundenen Materials soll mit grösseren RAP-Anteilen ermöglicht und gefördert werden. Dabei ist auf die Einhaltung der nötigen Materialqualität zu achten.

1.1.3 Abgrenzung

Das grosse Spektrum der Recycling-Thematik von „schwarz gebundenen“ Strassenbaustoffen zwingt die Beteiligten dieses Forschungspaketes sich auf wenige prioritäre Bereiche zu fokussieren. Ausgeklammert sind insbesondere das Kaltrecycling und die Teerproblematik. Zu diesen selbstverständlich auch zentralen und wichtigen Themen des Materialkreislaufs sind schon Forschungsprojekte in Bearbeitung oder stehen in Planung. Aus wirtschaftlichen und praktischen Überlegungen ist es gerechtfertigt, den Focus auf das Heissrecycling in Mischanlagen zu richten.

Einbaubedingungen und allfällige Erschwernisse sowie die Einbaufähigkeit werden in diesem Forschungspaket nur indirekt über die spezifischen Laborversuche und Auswertungen der entsprechenden Versuchsergebnisse gemacht. Das Forschungspaket sieht aber keine direkten Untersuchungen zu allfälligen Veränderungen beim Einbau der Mischgüter mit erhöhtem Recyclinganteil vor.

Allerdings ist bei der Initialisierung dieses Forschungspaketes bereits vorgesehen, die ermittelten Resultate in grossmassstäblichen Versuchen mit dem Verkehrslastsimulator MLS10 der EMPA zu validieren. Die Praxis Validierung der erhaltenen Resultate und Erkenntnisse sind Gegenstand in einem weiteren Einzelprojekt (EP6). Dieses Projekt (EP6) steht zurzeit in Bearbeitung.

1.1.4 Aufbau dieses Syntheseberichts

Der vorliegende Synthesebericht fasst die Grundlagen, Resultate und Schlussfolgerungen der einzelnen Forschungsberichte der Einzelprojekte (EP) und die weiteren Dokumente und Schriften des Forschungspaketes „Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut“ zusammen und enthält Kopien und Abschriften von Darstellungen, Tabellen und Texten aus den folgenden Berichten:

- Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP1: Optimaler Anteil an Ausbauasphalt (Max Seeberger, Tecnotest Rüslikon; Dr. Martin Hugener, Empa Dübendorf)
- Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP2: Mehrfachrecycling von Strassenbelägen (Dr. Martin Hugener, Dr. Atsushi Kawakami, Empa Dübendorf)
- Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung (Sandra Dünner, dipl. Ing. ETH, Walo Bertschinger AG, Schlieren)
- Research Package on Recycling of Reclaimed Asphalt in Hot Mixes: EP4: Evaluation of Durability (Dr. Lily D. Poulikakos, Prof. Dr. Manfred N. Partl, Empa Dübendorf)
- Paquet de recherche de recyclage des matériaux bitumineux de démolition des routes dans des enrobés à chaud : EP5 : Formulation des enrobés avec matériaux recyclés (Prof. A.-G. Dumont, Dr. N. Bueche, M. Pittet, LAVOC, EPFL)
- Ausschreibung und Antragsformulare: Pflichtenheft und Erläuterungen zum Forschungspaket VSS 2005/450 (Dr. Martin Hugener, Empa Dübendorf)

Dieser Synthesebericht stellt in geraffter Form die wichtigsten Ergebnisse des Forschungspaketes dar, welche in den vorstehend aufgeführten Einzelprojekten dieses Forschungspaketes erarbeitet wurden. Die ausführlichen und massgebenden Darstellungen der einzelnen Forschungsergebnisse sind in den Berichten ASTRA/VSS Nr. 1242, 1483, 1510, 1446, 1478, 1526 enthalten. Diese gehen der im vorliegenden Synthesebericht zusammengefassten Darstellung vor. Das Urheberrecht der Ergebnisse der Teilprojekte steht den Autoren dieses Syntheseberichts nicht zu.

1.2 Fragestellungen im Forschungspaket

Aus der zentralen Bedürfnislage und Aufgabenstellung des Rezyklierens von Heissmischasphalt und der bisher gemachten praktischen Erfahrungen in der Schweiz ergeben sich zur Hauptsache die folgenden Fragestellungen.

1. Kann ein optimaler Anteil an Ausbauasphalt in neuen Asphaltmischgütern eruiert und wissenschaftlich begründet werden und wie gross ist dieser maximale Anteil?
2. Ist ein wiederholtes Recycling von Heissasphalt möglich, ohne dass die Qualität und die Gebrauchsdauer der damit gebauten Schichten übermässig beeinträchtigt werden?
3. Können Nachhaltigkeit und Eigenschaften vom Stoffkreislauf quantifiziert bzw. beschrieben und beurteilt werden?
4. Können Dauerhaftigkeit und Veränderungen der Qualität von Asphaltmischgut mit hohem Anteil an Recycling (RAP) festgestellt und beurteilt werden?
5. Wie kann die Rezeptur für Heissmischasphalt mit hohem Anteil an Recycling formuliert und angepasst werden?

In einem weiteren Forschungsprojekt sollen die gefundenen Zusammenhänge und Resultate im Grossmassstab in situ validiert werden. Dazu bietet sich die Grossversuchsanlage MLS10 der Empa an. Dieses Forschungsprojekt ist zurzeit in Arbeit. Die Ergebnisse der ersten 5 EP dieses Forschungspaketes bildeten die Grundlage für das „Validierungs-Projekt“ EP 6 (früher bezeichnet als VP6)

1.3 Erwartete Resultate und Nutzen

Die Erarbeitung der Ergebnisse zu den einzelnen Fragestellungen für die typischen schweizerischen Verhältnisse sind erforderlich, weil weder im In- noch im Ausland genügend robuste Ergebnisse zu den gestellten Themen erforscht wurden, und weil anderweitig gemachte Erfahrungen und deren Praxis nicht ohne weiteres auf die schweizerischen Verhältnisse übertragen werden können.

Die schweizerische Mischgutindustrie hat sich in den letzten Jahren vermehrt mit neuen Mischanlagen ausgerüstet. Neue Mischanlagen berücksichtigen prioritär die Bedürfnisse der Qualität und der ökologischen wie wirtschaftlichen Anforderungen an die Produktion. Die Wiederverwendung der hochwertigen Komponenten von Ausbauasphalt ist daher von grosser Bedeutung für das Erfüllen der beschriebenen Ziele.

Die Umsetzung der erwarteten und erhaltenen Resultate hat grossen wirtschaftlichen und ökologischen Input auf die zweckmässige Anwendung und Einrichtung eines optimalen Stoffkreislaufes bei der Herstellung von Heissasphalt.

Nutziesser sind sowohl der Bund als auch die Kantone und in grossem Mass auch die Gemeinden, welche Strassennetze erhalten und erneuern müssen. Die Reduktion von Aufwendungen für Deponie der Ausbauasphalte und die Einsparungen im Beschaffen von primären Baustoffen können erheblich sein.

1.4 Berichte des Initialprojektes und der Einzelprojekte

Die Forschungsberichte der Einzelprojekte und des Initialprojekts wurden unter den folgenden ASTRA Forschungspublikationen veröffentlicht:

- Prof.Dr. Manfred N. Partl, Dr. Martin Hugener; Empa; Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut, Initialprojekt. Forschungsbericht 1242; ASTRA (VSS 2005/451)
- Max Seeberger, Tecnotest; Dr. Martin Hugener, Empa; Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP1: Optimaler Anteil an Ausbauasphalt. Forschungsbericht ASTRA 1483, (VSS 2005/452) September 2014
- Dr. Martin Hugener, Dr. Atsushi Kawakami, Empa; Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP2: Mehrfachrecycling von Strassenbelägen. Forschungsbericht ASTRA 1510; (VSS 2005/453), April 2015
- Sandra Dünner, Walo Bertschinger AG; Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung. Forschungsbericht ASTRA 1446; (VSS 2005/454), November 2013
- Dr. Lily D. Poulikakos, Prof. Dr. Manfred N. Partl, Empa; Research Package on Recycling of Reclaimed Asphalt in Hot Mixes: EP4: Evaluation of Durability. Forschungsbericht ASTRA 1478; (VSS 2005/455), April 2015
- Prof. A.-G. Dumont, Dr. N. Bueche, M. Pittet, LAVOC EPFL; Paquet de recherche de recyclage des matériaux bitumineux de démolition des routes dans des enrobés à chaud: EP5: Formulation des enrobés avec matériaux recyclés. rapport de recherche ASTRA 1526; (VSS 2005/456), Septembre 2015
- In-situ-Validierung des Verhaltens innovativer Heissasphaltschichten mit Ausbauasphalt; EP6: Projekt Empa (VSS 2005/457), in Bearbeitung

1.5 Schlussfolgerungen der Einzelprojekte

1.5.1 EP1: Optimaler Anteil an Ausbauasphalt

Vergleich der Qualität von Mischgut mit und ohne RAP

Für die drei in die Untersuchungen einbezogenen Mischgutsorten AC 11 S (Zielbitumen 70/100), AC T 22 S (Zielbitumen 50/70) und AC EME 22 C2 (Zielbitumen 10/20) beeinflusst die Zugabe von Recycling-Ausbauasphalt-Granulat (RAP) auch in hohen Anteilen von bis zu 80%, bei fachgerechter Aufbereitung, die Mischgut-Qualitäten nicht nachteilig. Es kann angenommen werden, dass dies bei Erreichen der geforderten Mischgutzusammensetzung auch für Mischgut mit bis zu 100% RAP gilt. Alle Prüfungen wurden im Sinne von Aufbereitungskontrollen an neu hergestellten Labormischungen durchgeführt.

Mit dem vorliegenden Einzelprojekt VSS 2005/452 EP1: „Optimaler Anteil an Ausbauasphalt“ nicht beurteilt werden kann das Alterungsverhalten von RAP-haltigen Strassenbelägen. Dieses Thema wurde im Einzelprojekt EP4 „Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Strassenbelägen mit Ausbauasphalt“ des Forschungspaketes „Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut“ [5] bearbeitet.

Begrenzung der maximalen RAP-Anteile durch RAP-Eigenschaften und Mischgut-Aufbereitung

Grundsätzlich ist von der Mischgutqualität her beurteilt die Verwendung von bis zu 100% RAP möglich. Es gibt aber verschiedene Gründe, welche die Anteile an Recycling-Ausbauasphalt-Granulat RAP begrenzen:

- Theoretische Berechnungen zeigen, dass je nach Korngrössenverteilungen des RAP und der „neuen“ Mineralstoffe bei hohem RAP-Anteil die Sollwerte der Korngrössenverteilungen des herzustellenden Mischgutes zum Teil nicht mehr zu erreichen sind (AC 11 S ab 70%, AC T 22 S bis 100% möglich und AC EME 22 C2 ab 90%). Falls Sollwerte der Korngrössenverteilung des herzustellenden Mischgutes angepasst werden können und trotzdem normkonformes Mischgut hergestellt werden kann, können entsprechend auch höhere RAP-Anteile verwendet werden.
- Durch geeignete Fraktionierungen des Ausbauasphaltes RAP können die maximal möglichen Anteile, welche für die Mischgutherstellung verwendet werden können, deutlich erhöht werden.
- Das in der Regel stark verhärtete Bindemittel im RAP erfordert bei der Aufbereitung, mit Ausnahme von EME-Mischgut, ab etwa 60% bis 70% RAP die Verwendung von Verjüngungsmittel.
- Der maximal mögliche Anteil an RAP hängt direkt vom Typ der Asphaltmischanlage ab:
 - maximal 20-30% bei Kaltzugabe mit dem Batchverfahren
 - maximal 60-70% mit konventionellen Recycling-/Paralleltrommeln bei der Warmzugabe
 - bis 100% bei Recyclingtrommeln der neusten Generation mit indirekter Erwärmung des RAP bei der Heisszugabe mit neuen 100%-Recycling-Anlagen

Kalt-/Batchverfahren

Asphaltmischgut mit bis zu 20% RAP ist bei fachgerechter Aufbereitung mit dem Kalt-/Batchverfahren gegenüber demjenigen mit dem Warmverfahren hergestellten in der Qualität gleichwertig.

Qualität des Ausbauasphaltes RAP

Für das Verwenden von hohen Anteilen an Ausbauasphalt, ab etwa 50%, ist die Qualität des RAP entscheidend. Je höher der RAP-Anteil und je höher die Anforderungen an das Mischgut sind, desto strenger werden die Anforderungen an die Qualität und Homogenität des RAP. Alle Mischgutsorten und Mischguttypen müssen die entsprechenden Anforderungen auch bei hohen RAP-Anteilen erfüllen. Dies bedeutet, dass auch an die Bewirtschaftung des RAP sehr hohe Anforderungen zu stellen sind. So ist es eventuell vorteilhaft verschiedene RAP-Qualitäten herzustellen und diese getrennt zu lagern, um verschiedene Mischgutqualitäten besser gewährleisten zu können.

Verwendung von RAP bei verschiedenen Mischgutsorten

In der Schweiz wurde bisher und wird auch heute noch in allen Schichten hauptsächlich Asphaltmischgut aus der Gruppe „Asphaltbeton AC“ eingebaut. Die entsprechenden Mischgutsorten sind nach dem Betonprinzip mit stetig abgestuften Korngrössenverteilungen der Mineralstoffe konzipiert. Je nach Beanspruchung gelangen die verschiedenen Mischguttypen H, S, N und L zum Einsatz. Diese weisen unterschiedliche Anforderungen, insbesondere an die Rundanteile und an die teilweise gebrochenen Körner, auf. Da Ausbauasphalte überwiegend aus solchen Schichten

stammen, ist RAP ebenfalls meist nach dem Betonprinzip, je nach Region jedoch mit unterschiedlichen Eigenschaften (Rundanteile, teilweise gebrochene Körner, usw.) zusammengesetzt.

Ideal für hohe RAP-Anteile ist das Herstellen von Asphaltbeton AC für Fundations- und Tragschichten, welche in grossen Schichtdicken eingebaut werden und somit grosse RAP-Anteile enthalten können. Die Ansprüche bei der Herstellung von Mischgut mit RAP, insbesondere mit hohen RAP-Anteilen, sind in Abhängigkeit der Beanspruchung aus Verkehr und Klima ansteigend für die Mischguttypen L, N, S und H. Generell gilt, für alle Mischgutsorten und Mischguttypen sind alle Anforderungen zu erfüllen. Ideal sind hohe RAP-Anteile auch für Mischgut mit hartem Bitumen. Ein Mischgut AC EME 22 C2 ist in die vorliegende Arbeit einbezogen und hat sich auch für hohe RAP-Anteile bewährt. Voraussetzung bei EME-Mischgut ist, dass das RAP genügend hartes Bitumen enthält, weil es härtere Ergänzungsbitumen als 10/20 nicht gibt.

Kaum lohnen dürfte sich die Verwendung von RAP-Anteilen bei sehr feinkörnigen Mischgutsorten wie AC 4 und AC 8. Dazu müsste RAP 0/4 und RAP 0/8 hergestellt werden. Zudem ist die Menge, wegen den dünnen Schichten in denen diese eingebaut werden, klein. Kaum ein Thema für hohe RAP-Anteile dürften auch Mischgutsorten mit Ausfallkörnungen, wie SMA, PA, AC MR, SDA, sein.

Wirtschaftliche Überlegungen zur Wiederverwendung von RAP

Der optimale Anteil an RAP ist nicht zwangsläufig der maximal mögliche. Mit zunehmenden Anforderungen an die Mischgutsorte und an den Mischguttyp nehmen die Kosten für die Bewirtschaftung des dazu erforderlichen RAP zu und verteuern das Mischgut. Bei nur über den Preis geregelter Auftragsvergabe kann deshalb Mischgut mit sehr hohem RAP-Anteil je nach Sorte eventuell nicht mehr konkurrenzfähig sein. Gesamtwirtschaftliche Überlegungen und der volkswirtschaftliche Nutzen der Wiederverwendung von grossen Anteilen an Ausbauasphalt und der Schonung der Ressourcen von Neumaterialien sind deshalb einzubeziehen.

1.5.2 EP2: Mehrfachrecycling von Strassenbelägen

Das Bindemittel verändert sich durch das Mehrfachrecycling mit einem Recyclinganteil von 40% nur gering. Sobald aber Verjüngungsmittel zugegeben wird, was ab einem Recyclinganteil von etwa 60% unumgänglich wird, ist diese Aussage nicht mehr garantiert. Es liegen aber noch zu wenige Daten vor (nur ein Verjüngungsmittel), um beurteilen zu können welche Eigenschaften wie beeinflusst werden. Insbesondere ist aufgrund der unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung kein allgemeines Verhalten für alle Verjüngungsmittel möglich.

Weitere Schlussfolgerungen sind:

- Die alleinige Beurteilung von Recyclingbelägen anhand der Bindemittelkennwerte Penetration und Erweichungspunkt Ring und Kugel am rückgewonnenen Bindemittel ist für Beläge mit Polymerbitumenzugabe oder für hohe RAP-Anteile mit Verjüngungsmittel nicht ausreichend. Belagskennwerte wie Ermüdung, Steifigkeit und plastische Verformung sollten ebenfalls berücksichtigt werden.
- Die FTIR-Indices eignen sich nicht für die Beurteilung der Alterung von künstlich hergestelltem RAP, da die Resultate der FTIR-Messungen nicht mit den rheologischen Bindemiteleigenschaften korrelieren. Beim RAP wurde das Potential für die Oxidierung zu Sulfoxidgruppen vollständig und zu den Cargonylgruppen zu einem Grossteil ausgeschöpft.
- Die Kälteprüfung ITS bei -10°C ist nicht sehr empfindlich, denn Unterschiede innerhalb der gleichen Mischserie werden nur ungenügend aufgezeigt. Eine aussagekräftigere, einfache Prüfung für die Beurteilung der Tieftemperatureigenschaften wäre wünschenswert.

- In Recyclingasphalt müssen vor allem die groben Mineralstoff-Fractionen ergänzt werden, da durch das Fräsen und Brechen eine Verfeinerung der Korngrössenverteilung auftritt.
- Für Beläge mit hohen Anforderungen (Deckschichten, Beläge vom Typ H) sollte nur RAP ohne Rundkornanteil verwendet werden, was nur über eine Triage von RAP mit und ohne Rundanteil zu erreichen ist.

1.5.3 EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung

Allgemeine Bemerkungen

Die Normen unterscheiden nicht zwischen Belägen mit oder ohne Recycling, es gelten dieselben Anforderungen.

Der gesamte Prozess von der Aufbereitung von Ausbauasphalt bis zum Endprodukt Walzasphalt ist normiert. Es sollten keine zusätzlichen Einschränkungen zu den Normvorgaben gemacht werden, sei dies im Recyclinganteil oder in den Qualitätsvorgaben.

Die Wiederverwertung von Ausbauasphalt ist im Sinne von allen, sei das der Bauherr, der Unternehmer oder der Mischgutproduzent.

Die Homogenität des Asphaltgranulates spielt für die Asphaltqualität eine grosse Rolle. Zu grosse Schwankungen im Bindemittel oder in den Gesteinskörnungen können Probleme in der Asphaltqualität bewirken. Eine regelmässige Überprüfung der Recyclingqualität ist deshalb unumgänglich. Um Schwankungen in der Qualität entgegen wirken zu können, ist ein zweckmässiges Beschicken des Brechers sicherzustellen (Fräs- und Ausbaumaterial regelmässig mischen). Zudem ist ein geeignetes Zwischenlager für das Granulat ein wichtiger Qualitätsaspekt. Es sollten immer grössere Mengen gebrochen und gelagert werden, um Entmischungen vorzubeugen. Zudem muss der Pneuladerfahrer gut geschult werden, damit er beim Beschicken der Recyclingdoseure kein entmischtes Material von Asphaltgranulat-Depot lädt.

Es sind Vorkehrungen zu treffen, damit der Feuchtigkeitsgehalt des Asphaltgranulates so tief wie möglich gehalten wird (z.B. Abdecken des Depots, Hallen erstellen etc.). Einerseits kann dadurch Energie beim Aufheizen des Granulates gespart werden, andererseits ist eine regelmässige Entfüllung in der Paralleltrommel gewährleistet, so dass der Restfülleranteil im erhitzten Granulat konstant bleibt.

Unabhängig von den Vorgaben zur maximalen Zugabemenge von Ausbauasphalt stellt sich die Frage, welche Beläge man überhaupt mit dem vorhandenen Asphaltgranulat herstellen kann und welcher Anteil möglich ist. Dazu müssen vorgängig sämtliche Werte des Asphaltgranulates vorliegen, damit man dementsprechende Rezepte für die Produktion errechnen kann, um die Zielsollwerte festlegen zu können. Bei der eigentlichen Produktion können diese Annahmen dann durch Mischgutkontrollen überprüft werden. Dadurch wird der optimale Anteil Recyclingmaterial für die einzelnen Mischgutsorten ermittelt. Langjährige Erfahrungen mit Recyclingbelägen haben gezeigt, dass bei der Qualität keine Einbussen gemacht werden müssen. Die Mischgutaufbereitung wird durch regelmässige Kontrollen und Überwachung der Ausgangsstoffe in keiner Phase dem Zufall überlassen.

Das Ziel soll eine optimale Wiederverwertung von Ausbauasphalt bei geeigneten Objekten bzw. den richtigen Belägen sein.

Sämtliche Beteiligte müssen sich bewusst sein, dass das Produkt Asphaltgranulat ein hochwertiger Rohstoff ist und dementsprechend gehandhabt werden muss. Für die Asphaltproduktion ist ein homogenes Asphaltgranulat der wichtigste Aspekt. Dementsprechend gross ist der Aufwand für die Annahme von Ausbauasphalt, die Lagerung und die Aufbereitung des Granulates. Zudem machen die Kosten für die

Qualitätsüberwachung des Granulates einen nicht unbedeutenden Anteil in der Mischgutkalkulation aus.

Zur Förderung von RAP sollen Anreizsysteme geschaffen werden. Diese Aufgabe liegt in erster Linie beim Bauherrn, welcher am meisten Einfluss nehmen kann auf die Förderung bzw. die Forderung von Ausbauasphalt. Schichten mit einer grossen Zugabemöglichkeit von RAP sind wo immer möglich vorzusehen. Wiederverwertungskonzepte sind schon bei der Ausschreibung vorzusehen.

Es soll ein Umdenken stattfinden, so dass Ausbauasphalt nicht mehr als mineralischer Bauabfall, sondern als hochwertiger Rohstoff/Wertstoff gesehen wird.

Mehr Einschränkungen für die RAP-Aufbereitung sind zu verhindern. Ausschreibungen, bei welchen RAP im Heissmischgut ausgeschlossen wird, sollen der Vergangenheit angehören.

Qualitätsanforderungen sollen gelten und auch überprüft, aber nicht unnötig verschärft werden.

Regulative Aspekte

Generell sollen für die Mischgutanforderungen keine Unterschiede gemacht werden, ob die Aufbereitung mit oder ohne Asphaltgranulat erfolgte. Dies wird in den geltenden VSS Normen so umgesetzt.

Deshalb sollte auch auf eine normierte zulässige Zugabemenge von Ausbauasphalt gem. SN 640 431-1, Tabelle 3: „Asphaltbeton, zulässige Zugabemengen von Ausbauasphalt in Abhängigkeit der Schichten, Mischgutsorten und Mischgutttypen“ verzichtet werden, da immer die Normanforderungen für die einzelnen Mischgutsorten eingehalten werden müssen. Bei Spezialbelägen wie z.B. AC MR, DRA oder EME Belägen müssten aber vorgängig diverse Qualitätsabklärungen gemacht werden, um sämtliche Anforderungen zu berücksichtigen. Diese Analysen könnten im Rahmen der Erstprüfung hinterlegt werden.

Eine Lücke bieten die Werte am rückgewonnenen Bindemittel, für die es keine Normanforderungen gibt. Da dies dazu führt, dass von verschiedenen Seiten trotzdem Anforderungen gestellt werden, diese aber zum Teil nur sehr schwer eingehalten werden können, besteht hier ein Handlungsbedarf für das Normenwerk. Mit der vermehrten Verwendung von Recycling im Strassenbau sind die Werte am rückgewonnenen Bindemittel ein qualitativ wichtiger Aspekt um das Mischgut bewerten zu können. Damit aber nicht ein Wildwuchs an Anforderungen entsteht, sollten normative Zeichen gesetzt werden.

Nachhaltigkeit

Seit 30 Jahren wird in der Schweiz Ausbauasphalt wiederverwendet. Zu Beginn erfolgte die Zugabe meistens nur in kleinen Mengen von 10-20% als Kaltzugabe, jedoch entwickelte man schon bald bessere Verfahren, um grössere Mengen wiederverwerten zu können. Dadurch wird weniger Neumaterial benötigt und im Sinne der Nachhaltigkeit werden wertvolle Baustoffressourcen geschont.

Das nachweisliche Leistungsvermögen, die Dauerhaftigkeit und Vielseitigkeit von Asphalt, untermauern die Bedeutung des Baustoffs als hervorragende Lösung in der nachhaltigen Entwicklung von Verkehrsinfrastrukturen. Asphalt weist nicht nur eine lange Erfolgsbilanz in der Erstellung sehr haltbarer Beläge auf; der Bau von ebenen, langlebigen, wartungsarmen und leisen Fahrbahnen spielt schliesslich auch eine wichtige Rolle in der Bereitstellung wirklich nachhaltiger Lösungen.

Generell können folgende Nachhaltigkeitsvorteile von Heissasphalt aufgezählt werden [Nynas, Zeitschrift „Performance“, Ausgabe 1, Sommer 2012]:

Gesellschaftlich: - Bau von Infrastrukturen im Einklang mit der Umwelt

- weniger Instandsetzungen
- Fahrkomfort
- weniger Verkehrslärm (lärmarmer Belag)
- Sicherheit (Spritzwasserreduktion, Versickerung des Oberflächenwassers, Griffigkeit)

Wirtschaftlich: - kürzere Bauzeiten

- Weniger Instandsetzungen (lange Lebensdauer)
- dünnere Belagskonstruktionen
- geringerer Verbrauch von Energie und Rohstoffen
- weniger Transportkosten

Umweltrelevant: - Bewahrung natürlicher Ressourcen

- Treibstoffeinsparung (Materialtransporte, etc.)
- Energieeinsparung
- kürzere Bau- und Instandsetzungszeiten
- Schonung natürlicher Ressourcen (Mineralstoffe, Energieträger)

Das Recycling von Ausbauasphalt im Heissmischgut bringt in erster Linie einen Nachhaltigkeitsvorteil auf wirtschaftlicher und umweltrelevanter Basis. Betrachtet man die weltweite Rohstoffknappheit als Ganzes, können wir in Zukunft nicht mehr auf die Wiederverwertung von Ausbauasphalt verzichten, um die Produktion von Asphaltmischgut zu gewährleisten. Deshalb können sämtliche Aspekte der Nachhaltigkeitsbeurteilung in die Betrachtung mit einbezogen werden.

In den letzten Jahren konnte man in der Aufbereitung, in der Qualitätsüberwachung und im Umgang mit Ausbauasphalt viele Erfahrungen sammeln. Schadenfälle, welche direkt auf die Qualität des Ausbauasphaltes zurückzuführen sind, konnten nicht in Erfahrung gebracht werden. Abweichungen sind meist auf den unsachgemässen Umgang bei der Recyclingaufbereitung zurückzuführen und nicht auf die eigentliche Qualität des Ausbauasphaltes. Zu hohe Schwankungen des Asphaltgranulates in der Korngrößenverteilung oder im Bindemittelgehalt können die Qualität des Recyclingmischgutes negativ beeinflussen.

Die Problematik der Bindemittelqualität im Recyclingmischgut sollte normativ geregelt werden, um Vorbehalte gegenüber dem Recycling auszulöschen. Das Bindemittel hat einen grossen Einfluss auf die Lebensdauer des eingebauten Belages. Damit diese Unsicherheit nicht eine Unmenge von kantonalen oder baustellenspezifischen Vorgaben auslöst, sollte dieser Faktor einheitlich geregelt werden.

Zukünftige Szenarien

In der Zukunft wird die Wiederverwertung von Ausbauasphalt immer eine grössere Rolle in der Asphaltproduktion spielen. Rohstoffe werden knapper, die Schonung von Ressourcen wird immer wichtiger. Zudem werden wertvolle Deponieräume geschont und ein optimaler Rohstoffkreislauf kann beibehalten werden.

Es ist anzunehmen, dass für die Aufbereitung von verschiedenen Mischgutsorten unterschiedliche Asphaltgranulate gebrochen oder sortiert werden. So kann es eine Unterteilung nach den Bindemittleigenschaften im Ausbauasphalt geben oder es wird nach Fraktionen unterschieden, für die Herstellung von Trag-, Binder- oder Deckschichten.

Baustellenspezifische Aufbereitungen von geeignetem Ausbauasphalt mit speziellen Eigenschaften können von Interesse sein, wie es zum Beispiel schon heute bei der Produktion von EME-Belägen mit einem hohen Anteil an Ausbauasphalt angewendet wird.

Dafür bedarf es aber an genügend Platz für die Lagerung und das Brechen des Ausbauasphaltes. Grössere Recyclingaufbereitungen werden wahrscheinlich die heute gängige Praxis ablösen, dass jede Mischanlage für sich vor Ort das Material selber aufbereitet und einen Lagerplatz bewirtschaftet. Dies wird qualitativ und finanziell irgendwann nicht mehr interessant sein, so dass sich die Hersteller wahrscheinlich zu grösseren Aufbereitungsplätzen zusammenschliessen.

Durch die heutige Technik ist ein 100% Recycling möglich. Verschiedene Projekte haben gezeigt, dass dabei auch die qualitativen Aspekte erfüllt werden können. Es stellt sich nur die Frage, ob dies auch notwendig ist. Der richtige Weg liegt wahrscheinlich irgendwo dazwischen, d.h. dass eine optimale Wiederverwertung von Ausbauasphalt bei geeigneten Objekten bzw. den richtigen Belägen erfolgen soll. Wichtig ist es die Akzeptanz von Recyclingbelägen zu fördern und jegliche Vorurteile zu vernichten, damit in Zukunft ein optimaler Rohstoffkreislauf erhalten bleibt.

Der gesamte Prozess von der Annahme des Ausbauasphaltes, der Aufbereitung und Lagerung bis zur Wiederverwertung bei der Mischgutaufbereitung wird in nächster Zeit noch mehr professionalisiert werden. Das Produkt Asphaltgranulat soll in Zukunft als wertvoller Baustoff und nicht als Abfallprodukt anerkannt werden.

1.5.4 EP4: Beurteilung der Dauerhaftigkeit

In diesem Einzelprojekt EP4 werden das Langzeitverhalten und die Dauerhaftigkeit von ausgewählten Recyclingasphalten untersucht. Es wurden ein AC 11 S und ein Hochmodul Tragschichtmaterial AC EME 22 bezüglich ihres chemischen und mechanischen Alterungsverhaltens untersucht. Die Materialien erfüllen als Ausgangsmaterialien für die Untersuchung die Anforderungen an die Schweizer Normen. Beide Materialien wurden ohne Alterung und auch nach künstlicher Alterung untersucht. Die erhaltenen Resultate können wie folgt zusammengefasst werden.

- Die chemische Analyse mittels der Verfahren ATR-FTIR zeigten klare Hinweise auf die Oxydation (Alterung) der Bindemittel quantifiziert mit den Carbonyl- und Sulfoxid Indizes. Beide Indizes wurden grösser beim Vergleich mit extrahiertem Bindemittel eines Mischguts ohne RAP und eines gealterten Mischguts mit 40% und 60% RAP. Das Verhalten wurde erwartet, weil das künstliche Altern und das Vorhandensein von „RAP-Bindemittel“ die Anzahl oxidierte Moleküle erhöht.
- Das künstliche Altern verkleinerte zusätzlich zum RAP-Anteil die Penetration und erhöhte den Erweichungspunkt des Bindemittels. Der Einfluss des künstlichen Alterns war dabei grösser als der Einfluss von der Beigabe von RAP.

- Die rheologische Untersuchung mittels DSR zeigte für beide Materialien (Beigabe 40% und 60% RAP) nur geringe Unterschiede. Im Vergleich zu Mischgut ohne RAP zeigten die Versuche für beide „RAP-Mischgüter“ eine Erhöhung der Moduli bei höheren Temperaturen (kleineren Frequenzen).
- Die Eigenschaften des Bindemittels aus AC 11 S mit 40% RAP zeigten keine signifikanten Unterschiede zu den Bindemitteln aus dem Mischgut mit 60% RAP. Das lässt den Schluss zu, dass das eingesetzte Verjüngungsmittel den Einfluss des zusätzlichen RAP kompensieren konnte.
- Die Resultate zeigen, dass die Marshall-Stabilität bei Deckschichten der Typen L und N grösser ist als die gemäss Norm geforderten 7.5 kN. Durch das Altern und die Zugabe von RAP erhöhten sich die Stabilitätswerte vor allem bei den AC EME 22.
- Die gealterten AC 11 S Proben mit 0% und 40% RAP zeigten höhere Zugfestigkeiten (mit dem indirekten Versuch gemessen) als unbehandelte Proben bei 22°C. Die Proben wurden in Wasser und trocken konditioniert. Dieser Effekt war umgekehrt bei den Hoch-Modul Proben.
- Das Tieftemperatur-Verhalten wurde nicht signifikant durch die Beigabe von RAP beeinflusst. Eine Vergrösserung der indirekten Zugfestigkeit von AC Mischungen und eine Verkleinerung bei den EME Mischungen wurde festgestellt. Die Tieftemperatur-Festigkeit von Hochmodul Mischungen waren niedriger als beim Asphaltbeton AC.
- Die Beigabe von RAP hat den Steifigkeitsmodul bei tieferen Temperaturen nicht signifikant beeinflusst. Die Beigabe von RAP erhöhte den Steifigkeitsmodul von AC EME 22 bei höheren Temperaturen erheblich mehr als von Proben aus AC 11 S.
- Die Ermüdungsfestigkeit bei der Mischung AC 11 S war wenig besser mit RAP als bei den Proben ohne RAP. Bei AC EME 22 war sie leicht besser bei Proben ohne RAP.
- Die plastischen Deformationen gemessen mit dem Spurrinntester zeigten bei den Proben mit RAP und zusätzlich gealtert kleinere (bessere) Werte als bei den Proben ohne RAP. Alle Resultate liegen unter den Anforderungen der Norm von 10% max. Deformation für AC 11 S/H. Die plastischen Deformationen der Hochmodul Mischungen AC EME 22 C2 mit 40% RAP waren bemerkenswert kleiner als diejenigen von AC 11 S und kleiner als die normativen Anforderungen von 7.5 %.
- Die Wasserempfindlichkeit wurde mit ITSR und CAST ITSR gemessen. Die Resultate zeigen, dass die Mischungen mit RAP wie auch ohne RAP die Anforderungen der Norm (ITSR $\geq$ 70%) sowohl ungealtert als auch künstlich gealtert erfüllen. Es konnte im Weiteren gezeigt werden, dass die Alterung den ITSR beeinflusst, aber ob 40% oder 60% RAP zugegeben werden hat keinen Einfluss auf die Wasserempfindlichkeit. Beide Versuchsmethoden zeigten genügend sensitiv dass die Zugabe von RAP keinen oder nur geringen Einfluss auf die Wasserempfindlichkeit haben.
- Mit dem Cantabro Versuch konnte gezeigt werden, dass die Zugabe von RAP keinen negativen Einfluss auf die Abriebfestigkeit der Oberfläche von Deckschichten hat. Es wurde ein Abrieb von 5% für alle Mischungen (RAP Zugaben 0%, 40%, 60%) gemessen.
- Die Kriecheigenschaften wurden mit zyklischen Belastungen von Asphaltproben getestet. Es konnte gezeigt werden, dass Mischungen mit RAP, insbesondere solche mit AC Zusammensetzung weniger plastische Verformungen aufwiesen als solche ohne RAP obwohl beide Probenreihen gealtert wurden. Dieser Effekt trat insbesondere bei den weicheren Mischungen auf. Der Wendepunkt (Anzahl dynamische Belastungszyklen) der Deformationskurve von AC 11 S (mit RAP) wird durch die Zugabe von RAP fast verdoppelt.

- Es wurde gezeigt dass Mischungen mit 40% und 60% RAP mit und ohne künstliche Alterung im Wesentlichen die gleichen Resultate in den Laborversuchen ergeben als wie die Proben ohne Beigabe von rezyklierten Asphalten. Diese Resultate bestätigen die Erkenntnisse aus den anderen Einzelprojekten. Es wurde auch gemessen dass die Zugabe von RAP negativen Einfluss auf das Ermüdungsverhalten von Hochmodul-Mischungen hat, während AC Mischungen positive Veränderungen der Ermüdungseigenschaften zeigen.

Die Zusammenfassung der Resultate und der Vergleich mit der entsprechenden Schweizer Norm sind in untenstehender Tabelle dargestellt. Die normativen Anforderungen wurden bei allen Proben erfüllt. Im Weiteren sind verschiedene mechanische Versuche an gealterten Proben durchgeführt worden, welche zeigen dass die Dauerhaftigkeit von Mischgut mit RAP ebenso zufriedenstellend ist wie diejenigen ohne Zugabe von RAP.

Weiter zeigen die Resultate, dass die Beigabe von RAP Anteilen in Deckschichten aus Asphaltbeton (AC) und EME Tragschichten entgegen den aktuellen Normvorschriften erhöht werden können. Die Normen lassen heute keine RAP Anteile in Deckschichtmischgut AC 11 S und nur 15% und 30% bei AC EME 22 C2 (kalt und heiss) zu.

Anforderungen gemäss Norm [SN 640 431-1b-NA]

Mischgut Typ	RAP	ITSR [%]	Perm Def [%] (Spurbildung)	Komplexmodul E [MPa] (bei 15°C)
Vorgeschriebene Werte	0 %	≥70	≤10	(note 1)
AC 11 S/Mx05			6.82	
AC 11 S/Mx05b gealtert	0%	91	5.57	8'000
AC 11 S/Mx07a gealtert	40%	97	5.12	8'000
AC 11 S/Mx10b gealtert	60%	98	3.60	
Vorgeschriebene Werte	15%/30%	(3)	≤7.5	≥14'000
AC EME 22 C2/Mx30b gealtert	0%	87	(note 2)	17'000
AC EME 22 C2/Mx32b gealtert	40%	85	2.73	17'000
(1) Nicht anwendbar				
(2) = nicht vorhanden				
(3) = kalt/heiss				

1.5.5 EP5: Mischgutoptimierung von Recyclingbelägen

Das EP5 befasst sich mit der Formulierung von Rezepturen für Mischgut mit Recycling-Asphalten RAP und mit dem Ermitteln von wesentlichen Parametern für optimierte Rezepturen.

Die aktuellen bekannten Methoden der Rezeptierung genügen weiterhin für Mischgut welches weniger als 20% Ausbauasphalt RAP enthält. Das Verhalten von Mischgut mit

wenig RAP ist vergleichbar mit demjenigen welches nur aus neuen Baustoffkomponenten produziert wurde.

Bei Mischgütern welche grössere Anteile (> 25%), an Ausbauasphalt enthalten, weisen Literaturstudien und Erfahrungen mit eigenen Laborversuchen darauf hin, dass die Komplexität der Rezeptierung und das Materialverhalten des eingebauten Mischguts weitere Anforderungen an die Untersuchung stellen. Dies erfordert eine Gesamtbeurteilung aller bestimmenden Parameter und wo nötig gezielte Laborstudien.

Parameter welche das Verhalten des Mischguts beeinflussen

- Homogenität des aufbereiteten Ausbauasphaltmaterials
- Charakteristik des Bindemittels
- Qualität des RAP; Anteil und Eigenschaften der gebrochenen Oberflächen und Kantigkeit der Mineralstoffe
- Das Zusammenspiel von Filler und Bitumen und die Benetzungseigenschaften der Mineraloberflächen sind bestimmende Faktoren für das Verhalten der damit gefertigten Mischung. Der Mechanismus der Mischung von Bitumen mit dem vorhandenen Film des Bindemittels im RAP ist komplex und hängt von vielen unterschiedlichen Faktoren ab. Die üblicherweise ermittelten Resultate aus den Bindemitteluntersuchungen des RAP ist ein Mittelwert und gibt zu wenig Kenntnis in die physikalische Realität. Der Mechanismus der Mischung von neuem Bitumen mit dem rezyklierten Bindemittel aus dem RAP ist nicht mit punktuellen Versuchen zu bestimmen. Die vorliegende Forschungsarbeit kann diese Zusammenhänge auch nicht abschliessend untersuchen.
- Das beigegebene Bindemittel muss sich nach den Eigenschaften des Bindemittels im RAP richten. Die amerikanische Empfehlung für die Rezeptierung von Recycling-Asphaltemischgut schlägt in Diagrammen die entsprechenden Mischungsanteile vor. Obwohl einfach in der Handhabung, ist jedoch anzunehmen, dass diese „linearen Zusammenhänge“ nicht abschliessend genügen um die Qualität des Mischguts zu optimieren. Der Typ und die Eigenschaften des Zusatz-Bindemittels sind auf der Basis des Fabrikationsprozesses in der Mischgutaufbereitungsanlage und vor allem auf die Wahl der Temperaturen.

Prüfung und Kontrolle des Mischguts

Für die Kontrolle und Analyse von Mischgut mit RAP im Labor schlagen wir folgende Punkte vor:

- Die Fabrikationsmethode und die Alterung des Mischguts muss vorgängig vertieft untersucht werden. Der Einfluss der Alterung des Mischguts und folglich sein mechanisches Verhalten dürfen nicht vernachlässigt werden. Die angewandte Methodologie hat signifikante Auswirkungen auf die im Labor festgelegten Referenzwerte der Typenprüfung der Mischgutrezeptur (ETF)
- Die im Labormischer eingesetzte Energie unterscheidet sich erheblich von derjenigen in der industriellen grossen Aufbereitungsanlage. Das hat vermutlich Einfluss auf die Dicke der Bindemittelfilme und deren Homogenität. Im Falle von heiss aufbereitetem Mischgut mit RAP im Labor ist die Repräsentativität der Labormischungen zu untersuchen. Dabei ist auch die Auswirkung auf die erhobenen und festgelegten Referenzwerte zu untersuchen.

- Obwohl mehr oder weniger systematisch in der Normierung angeregt und hauptsächlich um generelle Tendenzen zu ermitteln ist die Marshall Methode (Stabilität und Fließen) nur wenig diskriminierend.
- Der Spurrinnenversuch und die Wasserempfindlichkeit ITSR (speziell die Analyse der Druckfestigkeit) erlauben die Unterschiede im Verhalten der verschiedenen Mischungen zu prüfen.
- Die Charakteristiken des rückgewonnenen Bindemittels (Penetration bei 25 °C, Temperatur Ring und Kugel) sind entscheidend für die Analyse der Laborresultate. Diese Werte geben aber nicht vollständige Analysewerte über die Eigenschaften der „Doppelumhüllung“. Tatsächlich scheinen die Untersuchungen am rückgewonnenen Bindemittel des RAP und am neuen Bindemittel eine perfekte Mischung der beiden Bindemittel zu zeigen, was aber nicht der Realität entspricht. Obwohl die hier untersuchten Recyclingmischgüter nicht primär in den ermüdungsbeanspruchten Schichten (Deckschicht) eingesetzt werden, lässt ein gutes Ermüdungsverhalten auf einen erhöhten Widerstand gegen schädliche Einflüsse von thermischen Spannungen schliessen.
- Das Verhalten bei niedrigen Temperaturen war nicht Gegenstand dieses Forschungspakets. Es scheint jedoch, dass mit der Erhöhung des RAP Anteils das Verhalten bei niedrigen Temperaturen potentiell beeinflusst wird. Die Durchführung von entsprechenden Versuchen (verhinderte thermische Rückstellung) könnte weitere Erkenntnisse geben.
- Schliesslich ist es hilfreich festzuhalten, dass die adäquate Rezeptierung von Mischgut mit RAP zu Mischgut führen muss, welches mindestens gleiches Verhalten wie Mischgut ohne RAP aufweist.

Beitrag der analytischen Formulierung der Rezeptur

Die folgenden Elemente konnten anschliessend an die analytische Rezeptierungsmethode gemäss CRR (Belgische Methode) aufgestellt werden.

Das Anwenden der analytischen Rezeptierung zeigt etliche Vorteile wie z.B. die mögliche Reduktion von nötigen späteren Versuchen im Labor und aufzeigen der Zusammenhänge des mechanischen Verhaltens des Mischguts und das Einführen der analytischen Parameter.

Grundsätzlich gilt:

- Die verschiedenen Berechnungen entsprechen dem globalen Trend und sind kohärent und konsequent. Wo durchführbar, ist auch der Vergleich mit den Laborresultaten befriedigend.
- Die analytische Methode zur Formulierung der Rezeptur sollte grundsätzlich angewendet werden um die volumetrische Zusammensetzung des Mischguts und die Durchführbarkeit zu verifizieren. Die Module zur Ermittlung des mechanischen Verhaltens ergeben Indexwerte auf Basis der bekannten Modelle. Diese Werte sind jedoch mit Vorsicht zu beurteilen.
- Unter Berücksichtigung dieser verschiedenen Elemente, können wir die Wichtigkeit und die Vorteile der analytischen Formulierung der Rezeptur unterstreichen. Die angewendete Methode liefert wichtige Elemente bezüglich der Optimierung der Rezepturen. Es ist trotzdem unabdingbar in einer weiteren Phase Laborversuche durchzuführen um die Charakteristik und das Verhalten des Mischguts zu prüfen.

2 Aufträge

2.1 Gesamtprojektleitung und Evaluation der Einzelprojekte

Für die fachliche und administrative Begleitung und Durchführung des Forschungspakets wurden ein Projektleiter und eine Begleitkommission bestimmt. Die mit diesen Aufgaben betrauten Personen sind im Impressum dieses Berichts aufgeführt. Für jedes Einzelprojekt (EP) wurde je ein Mitglied aus der Begleitkommission als EP-Begleitkommissionspräsident konstituiert. Deren Namen sind im Impressum der EP-Berichte aufgelistet. Diese Organisation hat sich für die direkten Ansprechpartner innerhalb der einzelnen EP bewährt. Für die Koordination und den Abgleich der Ergebnisse der einzelnen EP wurden periodische Sitzungen abgehalten.

Die Evaluation der Offerten der Einzelprojekte (EP) erfolgte durch die gesamte Begleitkommission und dem anschliessenden üblichen Verfahren der Forschungskommissionen des ASTRA und der VSS.

Mit Datum vom 12.01.2007 wurde der Auftrag „Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: Gesamtprojektleitung“ aufgrund des entsprechenden Forschungsgesuchs der VSS vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) an das Institut für Geotechnik (IGT) der ETH Zürich vergeben. Mit der Projektleitung wurde Dr. Markus Caprez wie folgt beauftragt:

Der Projektleiter stellt die fachliche und administrative Durchführung der Einzelprojekte, deren Abstimmung und Koordination sicher. Mit dem Abschluss der Einzelprojekte hat der Projektleiter eine konzise Zusammenfassung und einen Synthesebericht mit den Erkenntnissen zu erstellen.

2.1.1 Gesamtprojektleitung

In verschiedenen von der Gesamtprojektleitung geführten und koordinierten Einzelprojekten werden praktische und systematische Grundlagen, Normierungshinweise und Empfehlungen für die Anwendung und Konzipierung von Schichten aus bitumenhaltigem Heissmischgut mit Ausbauasphalt unter besonderer Berücksichtigung vom Recyclinganteil im Mischgut, Mehrfachrecycling, Nachhaltigkeit, Dauerhaftigkeit und Mischgutkonzipierung erarbeitet um letztlich die Wiederverwendung dieser Wertstoffe zu fördern und die Entsorgungsmenge (in Deponien etc.) zu minimieren.

Zur „in situ“ Validierung der Resultate im Massstab 1:1 ist zusätzlich als Ergänzung des Forschungspaketes ein zeitlich versetztes objektbezogenes Projekt EP6 vorgesehen. In diesem Projekt sollen zweckmässigerweise auch die verfügbaren technischen Mittel der beschleunigten In-situ-Verkehrslastsimulation (MLS 10) eingesetzt werden. Das Projekt wurde nach Vorliegen der Ergebnisse aus diesem Forschungspaket in die Wege geleitet: EP6 In-Situ Validierung des Verhaltens innovativer Heissasphaltschichten mit Ausbauasphalt, VSS EP 2005/457.

Für die Durchführung des Forschungspaketes wird für die zeitliche und materielle Koordinationsaufgabe und die Kontrolle des Rechnungswesens ein vom Projektteam unabhängiger Gesamtprojektleiter (GPL) eingesetzt. Er ist dem ASTRA gegenüber verantwortlich und vertritt das Forschungspaket gegenüber der Begleitkommission.

Seine Aufgabe ist es auch, in Absprache mit den Einzelprojektleitern den abschliessenden Synthesebericht zu erstellen und gegebenenfalls das objektbezogene Forschungsprojekt VP6 zu planen und zu initiieren. Er ist zudem verantwortlich für die Öffentlichkeitsarbeit.

Zur Aufgabe des Gesamtprojektleiters gehört es daher auch sicherzustellen, dass in den Einzelprojekten für die Basisuntersuchungen im Sinne eines „roten Fadens“ möglichst die

gleichen Materialien und Prüfungen angewendet und diese Referenzmaterialien an einem einzigen Ort aufbereitet und unter gleichen Bedingungen eingebaut werden.

2.1.2 Notwendigkeit

Das Projekt für die Gesamtprojektleitung ist notwendig, um bei der Durchführung des Forschungspaketes einen möglichst hohen Nutzen und Wirkungsgrad hinsichtlich technischer Erkenntnisse, Informationsfluss, Terminabstimmung und Synergiebildung zu erreichen.

2.1.3 Nutzniesser

Nutzniesser des Forschungspaketes sind:

- Die Gesellschaft allgemein, da die Entsorgungs- und Material-Ressourcen-Problematik entschärft wird, zumal erwartet wird, dass die Akzeptanz des Recycling wirksam beeinflusst und Anreize zum Recycling geschaffen werden.
- Die Verkehrsteilnehmer, weil die Infrastruktur für Personen- und Warenflüsse geringere Einschränkungen der Verfügbarkeit erleidet.
- Die Bauherren, denen sich bessere Managementgrundlagen für wirtschaftliche, technische und andere planerische Entscheide bieten.
- Die Unternehmen und Mischguthersteller, die Dank besser verankerter Normen, Empfehlungen und Richtlinien sich auf eine breitere Grundlage zur Optimierung ihrer Prozesse bezüglich Qualität, Effizienz und Wirtschaftlichkeit abstützen können.
- Die Fachleute in der Praxis, da vertieftes Wissen einen sicheren Umgang mit der Recycling-Thematik bei der Lösung konkreter Aufgaben ermöglicht und gleichzeitig die persönliche internationale Konkurrenzfähigkeit von Fachleuten aus der Schweiz und damit die internationale Einflussnahme unseres Landes in dieser Angelegenheit gefördert wird.

2.1.4 Ziel und Wirkung

Das vorliegende Forschungspaket wird sich positiv auswirken auf die Schonung der Umwelt und auf eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen. Das Recycling von Asphaltgranulat wird gefördert und die Anwendung auf weitere Mischgutttypen und Schichten ausgedehnt. Die Forschungsergebnisse werden als objektive Argumentationsbasis gegenüber den europäischen Normierungsorganisation nützlich sein, um die teilweise starke Eingrenzung der Verwendung von RAP im Mischgut in den Normen zu lockern. Der vermehrte Einsatz führt direkt zu Kostenersparnissen beim Strassenbau da Entsorgungskosten wegfallen und die Menge an primären Mineralstoffen verringert werden kann. Durch die Forschung kann aber die Qualität und Dauerhaftigkeit der bitumenhaltigen Schichten im Strassen- und Wegebau mit RAP sichergestellt werden, da die Anwendungsgrenzen aufgrund wissenschaftlicher Untersuchungen definiert und quantifiziert werden können. Dies könnte letztlich auch helfen die Anzahl Baustellen zu reduzieren.

2.2 Einzelprojekt 1 (EP1): Optimaler Anteil an Ausbauasphalt (VSS 2005/452)

2.2.1 Thema und Ziele

Das Thema und das Ziel sind Grundlagen zu erarbeiten um „optimale Anteile“ an Ausbauasphalten in verschiedene neue Mischgutsorten einzubringen. Dabei soll besonderes Augenmerk auf eine hohe (mindestens genügende) Qualität des Materials und damit lange Gebrauchsdauer der eingebauten Schichten gelegt werden. Wissenschaftliche Untersuchungsmethoden sollen helfen Vorbehalte gegenüber Mischgüter mit verschiedenen Anteilen an Ausbauasphalt abzubauen.

2.2.2 Erwartete Resultate

Es werden Resultate und Anleitungen erwartet mit welchen erklärt werden kann, wie hoch in welchen Mischgutsorten der Anteil an Ausbauasphalt sein kann um die gesetzten Ziele (Qualität) zu erreichen. Es werden Zugabemengen von bis zu 80% erwartet.

Weitere erwartete Resultate sind die Beurteilung und Quantifizierung der Unterschiede zwischen der Ausbauasphaltzugabe in unterschiedlichen Verfahren und Systemen: Paralleltrommel- oder Batchverfahren. Im Batchverfahren erfolgt die Zugabe in der Regel kalt, in der Paralleltrommel kann das Asphaltgranulat vorgeheizt werden.

2.2.3 Beauftragter

Der Forschungsauftrag wurde an Tecnotest AG Rüschlikon und Empa Dübendorf vergeben. Die Kosten sind auf 205 kCHF veranschlagt. Projektleiter ist Max Seeberger.

2.3 Einzelprojekt 2 (EP2): Mehrfachrecycling von Strassenbelägen (VSS 2005/453)

2.3.1 Thema und Ziele

Das Ziel dieses Forschungsprojekts ist die Veränderung des Materials nach mehreren Recycling-Zyklen zu beschreiben und zu bewerten. Dazu gehört insbesondere die Untersuchung der Veränderungen der zwei Hauptkomponenten, dem Bindemittel und den Mineralstoffen. Der Einfluss der Mischprozesse und der verschiedenen Mischanlagen wäre auch ein gewünschtes Ziel.

2.3.2 Erwartete Resultate

Kenntnisse über und Quantifizierung der Auswirkungen der Veränderung der Mineralstoffe nach mehrmaligen Mischen, Einbauen und Fräsen

Beurteilung der Veränderung des Bindemittels nach mehrfachem Recycling

Beurteilung der Veränderung des Belages durch die veränderten Mineralstoffe und Bindemittel

Beurteilung und quantifizierbare Angaben über die Empfindlichkeiten verschiedener Bindemittelsorten auf die Qualität bei Mehrfachrecycling.

2.3.3 Beauftragter

Der Forschungsauftrag wurde an Empa Dübendorf vergeben. Die Kosten sind auf 156 kCHF veranschlagt. Projektleiter ist Dr. Martin Hugener.

2.4 Einzelprojekt 3 (EP3): Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung (VSS 2005/454)

2.4.1 Thema und Ziele

Das Thema ist die Untersuchung der aktuellen Praxis der Wiederverwendung von Ausbauasphalten in verschiedenen neuen Strassenbelägen und die Förderung durch die öffentliche Hand als grösster Auftraggeber und Besteller von bitumenhaltigem Mischgut. Die finanziellen Anreize sind geografisch sehr unterschiedlich und hängen von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren ab. Die Verfügbarkeit primärer Baustoffe sowie die Einrichtung und Möglichkeiten der Bauindustrie spielen dabei eine grosse Rolle. Die Nachhaltigkeit spielt in der heute gängigen Praxis keine zentrale Rolle.

Ziel ist die Erfassung des status-quo des Recyclings von Ausbauasphalt und die Analyse der damit zusammenhängenden Stoffflüsse zu eruieren. Darauf basierend wird die Ausarbeitung von Vorschlägen, wie das Asphalt-Recycling wesentlich beeinflusst und optimiert werden kann, angestrebt.

2.4.2 Erwartete Resultate

Es werden neue Hinweise erwartet wie Normen und regulative Aspekte die Akzeptanz von vermehrter Verwendung von Ausbauasphalten fördern können.

Die Akzeptanz des Recyclings von bituminösen Belägen wird heute im Wesentlichen von 3 Faktoren geprägt:

1. Finanzielle Anreize
2. Technisches Normenwerk
3. Richtlinien des BAFU

2.4.3 Beauftragter

Der Forschungsauftrag wurde an Walo Bertschinger AG vergeben. Die Kosten sind auf 91 kCHF veranschlagt. Projektleiterin ist dipl. Ing. ETH Sandra Dünner.

2.5 Einzelprojekt 4 (EP4): Evaluation of Durability (VSS 2005/455)

2.5.1 Thema und Ziele

Die Zielsetzung des EP4 ist die Dauerhaftigkeit von bitumenhaltigen Schichten mit Ausbauasphalt zu fördern. Das ergibt die Teilziele

- Evaluation der relevanten Eigenschaften der Komponenten, des RAP und des Mischgutes in Hinblick auf Dauerhaftigkeit
- Evaluation von geeigneten Prüfverfahren für das Bestimmen dieser Eigenschaften
- Einfluss von Art und Anteil des RAP und von Zusätzen zu ermitteln

Auf Basis der gewonnen Daten sollen generelle Bewertungskriterien für die Dauerhaftigkeit erarbeitet werden und soweit möglich eine spezifische Bewertung der verwendeten Komponenten durchgeführt werden.

2.5.2 Erwartete Resultate

Die Forschungsarbeit soll aufzeigen, wie höhere Anteile an RAP als bisher im Strassenbau eingesetzt werden können, ohne dass ins Gewicht fallende Einbussen an Dauerhaftigkeit entstehen. Sie soll auch Hinweise geben, was für Anforderungen an RAP zu stellen sind und wie Mischgüter mit hohem RAP-Anteil auf ihre Eignung besonders in Hinblick auf Dauerhaftigkeit untersucht werden können.

Es werden die folgenden Resultate von der Durchführung der Forschungsarbeit erwartet:

- Umfassende Darstellung des Einflusses von Art und Anteils von RAP auf die Dauerhaftigkeit
- Evaluation der Aussagekraft verschiedener Methoden

2.5.3 Beauftragter

Der Forschungsauftrag wurde an Empa Dübendorf vergeben. Die Kosten sind auf 276 kCHF veranschlagt. Projektleiter sind Prof. Dr. Manfred Partl und Dr. Lily D. Poulikakos.

2.6 Einzelprojekt 5 (EP5): Formulation des enrobés avec matériaux recyclés (VSS 2005/456)

2.6.1 Thema und Ziele

Das Ziel dieses Forschungsprojekts ist einen „Guide“ für die Optimierung von bitumenhaltigen Mischungen mit unterschiedlichen Anteilen von Recyclingasphalt zu erstellen.

Dazu sollen mindestens zwei Methoden zur Optimierung von Mischgut evaluiert werden. Dabei soll eine Methode für die optimale Mischgutrezeptur auf „Marshall“ basieren.

2.6.2 Erwartete Resultate

Es wird eine Optimierungsmethode für Mischgutrezepturen mit verschiedenen Anteilen von rezykliertem Asphalt erwartet. Die Methode soll auf der Steuerung der Zusammensetzung und Anteile der primären Materialien basieren. Um die Anwendung und Umsetzung der Methode zu vereinfachen ist vorgesehen, grafische Elemente mit einzubeziehen. Die Methode soll eine rasche „Vor-Rezeptierung“ und eine Typologie von verschiedenen Rezepturen in Abhängigkeit vom Umfang und der Wichtigkeit der Baumassnahme und von den verkehrlichen und klimatischen Bedingungen erlauben. Ein wichtiges erwartetes Resultat ist eine homogene, quantifizier- und kontrollierbare Rezeptmethode zu erhalten, welche von der Praxis akzeptiert und umgesetzt werden kann.

2.6.3 Beauftragter

Der Forschungsauftrag wurde an das Laboratoire des voies de circulation (LAVOC) der EPFL vergeben. Die Kosten sind auf 260 kCHF veranschlagt. Projektleiter sind Prof. A.G. Dumont und Dr. N. Bueche.

3 Vorgehen

3.1 Materialwahl und Aufbereitung

Die Wahl der Materialien welche in diesem Forschungspaket einbezogen wurden, war eine der grossen Herausforderungen der Projektleitung. Der Hauptzweck und das Wesen eines Forschungspakets sind, dass die Resultate der einzelnen Forschungsprojekte synergetisch ausgewertet werden können. Dies gelingt im vorliegenden (Mischgut-) Bereich, wo wissenschaftliche Untersuchungsmethoden für einzelne physikalische und chemische Charakteristiken miteinander verglichen und beurteilt werden sollen nur wenn alle Forschungsprojekte die gleichen Grundmaterialien in ihren jeweiligen Forschungsthemen einsetzen. Dazu gehören nebst den Ausbauasphaltprodukten (RAP) auch die weiteren eingesetzten Materialien wie Primärmineralstoffe und Bindemittel sowie Verjüngungsmittel.

Im Laufe der Forschungsarbeiten wurde erkannt, dass für die Zielerreichung verschiedener Ergebnisse die Verwendung von zwei RAP Körnungen sinnvoll ist. Es sind die zwei aufbereiteten RAP Materialien:

RAP1 fraktioniert auf 0/11 mm

RAP2 fraktioniert auf 11/22 mm

3.1.1 Basismaterialien und Basisuntersuchungen (roter Faden)

Um die Vergleichbarkeit und Validierung der Resultate der verschiedenen Forschungsstellen sicherzustellen, wurden einige Materialien (Recyclinggranulat, Bindemittel, Mineralstoffe) und Prüfungen vorgegeben. Die „rote Faden“ Materialien waren:

Recycling-Asphaltgranulat (RAP1), gebrochen aus Asphalttschollen: Fraktion 0/11. Bindemittel Bitumen 160/220, für die Verjüngung des ursprünglichen Bindemittels. Mineralstoffe für die Korrektur der Siebkurve.

- . Eigen-Füller
- . Kornfraktion 0/2 mm
- . Kornfraktion 2/4 mm
- . Kornfraktion 4/8 mm
- . Kornfraktion 8/11 mm

Das Basismaterial für den „roten Faden“ enthält 40 % RAP.

Allen Beteiligten war klar, dass die Wahl der zu untersuchenden Materialien und Methoden von zentraler Bedeutung ist und massgebendem Einfluss auf die erhaltenen Resultate hat. Da der Umfang des Forschungspakets nicht zulies, dass RAP aus mehreren Provenienzen in die grossen Versuchsreihen einbezogen werden konnte, musste der „repräsentativen“ Materialwahl für das RAP grosse Aufmerksamkeit geschenkt werden. Ein zentrales Anliegen war, dass die Abgleichphase der verschiedenen Forschungsstellen ohne grosse Unsicherheiten und mit vertretbarem Aufwand gemacht werden kann.

Unter Einbezug verschiedener Kriterien einigte sich die Gesamtprojektleitung auf den Lieferanten für das RAP und die weiteren Grundmaterialien, die BERAG AG in Rubigen (www.beragrubigen.ch). Die BERAG AG bereitete auf Empfehlung der

Gesamtprojektleitung geeignete Mischgüter und Komponenten für die verschiedenen Forschungsprojekte vor, sorgte für gute Homogenität der Stoffe und hielt die Materialien in genügender Menge vor. Für den zielführenden und grosszügigen Einsatz der Beteiligten in der Aufbereitungsanlage gebührt den Verantwortlichen dieser Anlagen grosser Dank des Forschungsteams.

Schon die ersten Forschungsergebnisse in den Einzelprojekten führten zur Erkenntnis, dass die Labortechnik, die labormässige Probenherstellung wie Chargengrösse und Art der Mischprozesse heikle Einflüsse auf die Resultate haben können. Die Forschungsstellen zeigen in ihren Schlussberichten den Einfluss des Mischprozesses auf, soweit dieser Einfluss auf die in dieser Forschung relevanten Resultate hat. Zusammengefasst konnte festgestellt werden, dass kleine Labormischer grössere Messunsicherheiten verursachen.

3.2 Prüfplan und Ergebnisse der Untersuchungen

Bis auf das EP3, in welchem es nicht um Untersuchungen an Proben und Mischungen ging, haben alle Projektleiter/Forschungsstellen der einzelnen Forschungsprojekte (EP) Prüfpläne erstellt. Aus diesen Prüfplänen geht hervor, in welchen EP welche Prüfungen durchgeführt wurden. Diese Prüfpläne sind in den einzelnen Schlussberichten der Forschungsstellen enthalten und werden hier nicht wiedergegeben.

Die umfangreichen Prüfungen und Untersuchungen führten in den einzelnen Projekten zu teils umfangreichen „Resultatetabellen“. Aus diesen Resultaten konnten quer über alle Einzelprojekte statistische Auswertungen und interessante Schlüsse gezogen werden.

3.3 Koordination der Einzelprojekte

An periodischen Koordinationssitzungen der Gesamtprojektleitung wurden unter der Führung des Begleitkommissionspräsidenten, Alex Nellen, die Resultate aus den EP diskutiert und gewürdigt. Dabei konnten verschiedentlich Synergien angestossen und genutzt werden, indem Erfahrungen aus den EP zusammengeführt wurden und daraus folgend unnötige Aktionen verhindert bzw. umgeleitet werden konnten.

3.4 Beigabe von Recyclingasphalt (RAP)

Die Aufbereitungsprozesse bzw. die mechanischen und thermischen Installationen in den Mischanlagen sind von Bedeutung in der Limitierung der Menge beizugebender RAP-Anteile. In den einzelnen Forschungsprojekten sind die beiden Hauptarten der Wiederaufbereitung von bitumenhaltigem Recyclingmaterial (RAP) erklärt. Es handelt sich dabei um das sogenannte „Kaltverfahren“ auch als Batchverfahren bezeichnet und das Warmverfahren in den Aufbereitungsanlagen mit einer beheizbaren „warmen“ Paralleltrommel. Falls mit den beigegebenen Materialien die Rezeptur erfüllt werden kann, ist mit dem Paralleltrommelverfahren der max. Anteil an RAP bis gegen 100 % möglich, weil in diesem Verfahren das Mischgut schonend aufbereitet werden kann und nicht „überhitzt“ werden muss.

Die Limite der RAP-Zugabe wird auch wesentlich von der Art des Mischgutes und dem Einsatzort des Materials (Tragschicht/Binderschicht/Deckschicht) bestimmt, weil davon abhängig verschieden hohe Anforderungen an das Mineral (Griffigkeit/Kornfestigkeit etc.) gestellt werden.

4 Ergebnis

4.1 Grundsätzliche Erkenntnisse und Feststellungen

Als gesamtes zusammengefasstes Fazit welches aus den Einzelberichten EP1 .. EP5 konzentriert werden kann steht:

Unter Einhaltung verschiedener Bedingungen war es möglich bis zu 80% Ausbauasphalt für die Herstellung von verschiedenen Sorten Mischgut, welche die Qualitätsanforderungen der Normen erfüllen, zu verwenden. Unter gewissen Umständen sind sogar Anteile bis gegen 100% Ausbauasphalt möglich.

Diese Aussage (bis 80% bzw 100% RAP) gilt nur für Asphaltbeton. Spezialmischgüter mit nicht stetigen Korngrössenverteilungen sind nur mit geringeren Anteilen an Ausbauasphalt normkonform herzustellen.

Je höher der Anteil an RAP in einem Mischgut gewünscht wird, desto höhere Anforderungen müssen an die Qualitäten des RAP gestellt werden. Damit erhöhen sich auch der Aufwand für die nötigen Untersuchungen des RAP und die Anforderungen an konstante Qualitäten des RAP.

Es gab Hinweise, dass die Eigenschaften des verwendeten Ausbauasphalts neben der materialtechnischen Untersuchung des Bindemittels je nach Anwendungszweck auch bezüglich der Oberflächenbeschaffenheit und Kantigkeit der Mineralstoffe zu prüfen sind.

Die in diesem Forschungspaket ermittelten Erkenntnisse basieren ausschliesslich auf Laborprüfungen. Es wurde bereits bei der Initiierung dieses Forschungspakets darauf hingewiesen, dass allfällige Erkenntnisse zum realen Verhalten der Mischgüter in einem Anschlussprojekt (damals Validierungsprojekt VP6) bestätigt werden müssen. Dies ist mittlerweile mit einem entsprechenden Forschungsprojekt (VSS 2005/457) in Bearbeitung.

Die Resultate dieses Forschungspakets sollten spätestens sobald das Validierungsprojekt die Laborresultate im Feld unter realen Beanspruchungen bestätigt in die Revisionen der entsprechenden Normen einfließen.

In den Kapiteln 4.2 bis 4.6 sind die Zusammenfassungen aus den EP1 bis EP5 aufgeführt.

4.2 Zusammenfassung Schlussbericht EP1

Die im Rahmen des Einzelprojekt EP1 durchgeführten Untersuchungen dienen vor allem der Abklärung, ob und in welchen Fällen Ausbauasphalt, eingesetzt als Recycling-Ausbauasphalt-Granulat RAP, in möglichst grossen Anteilen bei der Produktion von verschiedenen Asphaltmischgutsorten eingesetzt werden kann, ohne dass die Qualität des Mischgutes massgebend beeinträchtigt wird. Eine gute Belagsqualität soll sowohl mit als auch ohne RAP im Mischgut gewährleistet sein.

Von drei Mischgutsorten aus der Gruppe „Asphaltbeton AC“ AC 11 S (Zielbitumen 70/100), AC T 22 S (Zielbitumen 50/70) und AC EME 22 C2 (Zielbitumen 10/20) wurden insgesamt 16 Mischungen mit jeweils unterschiedlichen RAP-Anteilen im Labormischer der Empa hergestellt. Die sehr umfangreichen Prüfungen haben für diese drei geprüften Mischgutsorten gezeigt, dass das verwendete RAP auch in sehr hohen Anteilen von bis zu 80% RAP, die Qualitäten von neu hergestelltem Mischgut nicht nachteilig beeinflusst. Es kann gefolgert werden, dass dies auch für Mischgut mit bis zu 100% RAP bei Erreichen der geforderten Sollzusammensetzungen gilt. Zusätzlich in die Beurteilung

einzu beziehen ist jedoch das Alterungsverhalten. Dieses wird im EP4 „Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Strassenbelägen mit Ausbauasphalt“ [5] bearbeitet.

Grundsätzlich ist von der Mischgutqualität her die Verwendung von bis zu 100% RAP bei der Mischgutaufbereitung möglich. Es gibt aber Bedingungen, welche die Anteile an Recycling-Ausbauasphalt-Granulat RAP begrenzen. Im Wesentlichen sind dies die folgenden:

- Je nach Korngrössenverteilungen von RAP und „neuen“ Mineralstoffen sind bei hohen RAP-Anteilen übliche Sollwerte der Korngrössenverteilungen nicht mehr zu erreichen. In diesem Projekt war dies beispielsweise für das Mischgut AC 11 S (Deckschicht) ab mehr als 70% RAP1 0/11 der Fall.
- Aufgrund der relativ harten Bindemittel in RAP1 und RAP2 ist bei der Aufbereitung, mit Ausnahme von EME-Mischgut, ab etwa 60 bis 70% RAP die Verwendung eines Verjüngungsmittels notwendig.
- Die Erwärmung von RAP ist bei der Mischgutherstellung in Anlagen mit konventioneller Recyclingtrommel, bezeichnet als Warmverfahren, auf etwa 135°C begrenzt, in Anlagen ohne Recyclingtrommel nicht möglich. Beim Kalt- oder Batchverfahren muss das RAP bei Umgebungstemperatur, je nach Jahreszeit zwischen 5 bis 30°C, zudosiert werden. Die Erwärmung des RAP erfolgt beim Warmverfahren zusätzlich und beim Kaltverfahren hauptsächlich indirekt über die heisseren Mineralstoffe, die entsprechend stärker erhitzt werden müssen. Die maximalen Anteile an RAP werden damit über die maximal möglichen Mineraltemperaturen, welche keine Schädigungen der Bindemittel bewirken, begrenzt. Diese Begrenzungen fallen mit den neuen 100%-Recycling-Anlagen weg, da hier das RAP schonender und bis zur üblichen Mischguttemperatur erhitzt wird.

RAP-Mischgut ist bei Aufbereitung mit dem Kalt-/Batchverfahren gegenüber demjenigen mit dem Warmverfahren in der Qualität gleichwertig, wie die Ergebnisse an Vergleichsmischungen von AC 11 S mit 20% RAP1 aufzeigen. Mit dem Kalt-/Batchverfahren können aber mit maximal 20 bis 30% deutlich kleinere RAP-Anteile verwendet werden, als mit dem Warmverfahren, bei dem maximal 60 bis 70% RAP zudosiert werden können.

Für das Verwenden von hohen Anteilen an Ausbauasphalt ist die Qualität des RAP entscheidend. Je höher der RAP-Anteil und je höher die Anforderungen an das Mischgut sind, desto strenger werden die Anforderungen an die Qualität und an die Homogenität des RAP. Alle Mischgutsorten und Mischguttypen müssen die entsprechenden Anforderungen auch bei hohen RAP-Anteilen erfüllen. Dies bedeutet, dass auch an die Bewirtschaftung des RAP sehr hohe Anforderungen zu stellen sind. So ist es eventuell vorteilhaft verschiedene RAP-Qualitäten herzustellen und diese getrennt zu lagern, um verschiedene Mischgutqualitäten besser gewährleisten zu können. Zudem können durch geeignete Fraktionierungen des RAP die zu verwendenden maximal möglichen RAP-Anteile meist deutlich erhöht werden, weil so die gewünschten Korngrössenverteilungen besser zu erreichen sind.

Basierend auf den durchgeführten Laboruntersuchungen gibt es prinzipiell keine Einschränkungen für die Verwendung von hohen Anteilen an RAP, solange die Qualität und die Homogenität des RAP gewährleistet ist und die Normanforderungen an die Mischgutsorten und Mischguttypen erfüllt werden können. Dies ist zumindest für die im Projekt geprüften drei Mischgutsorten aus der Gruppe „Asphaltbeton AC“ AC 11 S, AC T 22 S und AC EME 22 C2 sowie für die verwendeten Mineralstoffe und Recycling-Ausbauasphalt-Granulate RAP1 0/11 sowie RAP2 11/22 der Fall. Die Resultate der vorliegenden Forschungsarbeit müssen sich jedoch in der Praxis noch bestätigen, wofür zwingendermassen Feldversuche notwendig sind. Vorbehalte sind angebracht bei Mischgutsorten für Deckbeläge mit Ausfallkörnungen (SMA, PA, AC MR, SDA) und mit hohen Anforderungen, beispielsweise an die Griffbarkeit und die übrigen Eigenschaften

der Mineralstoffe, sowie bei Mischgutsorten mit Spezialbitumen (Polymerbitumen). Diese Mischgutsorten waren nicht Bestandteil dieses Projektes.

Ideal für hohe RAP-Anteile ist das Herstellen von Asphaltbeton AC für Fundations- und Tragschichten, welche in grossen Schichtdicken eingebaut werden und somit grosse RAP-Anteile beanspruchen können. Die Ansprüche bei der Herstellung von Mischgut mit RAP, insbesondere mit hohen RAP-Anteilen, sind in Abhängigkeit der Beanspruchung aus Verkehr und Klima ansteigend für die Mischguttypen L, N, S und H. Ideal sind hohe RAP-Anteile auch für Mischgut mit hartem Bitumen. Ein Mischgut AC EME 22 C2 ist in die vorliegende Arbeit einbezogen und hat sich auch für hohe RAP-Anteile bewährt. Kaum lohnen dürfte sich die Verwendung von hohen RAP-Anteilen bei sehr feinkörnigen Mischgutsorten wie AC 4 und AC 8. Dazu müsste RAP 0/4 und RAP 0/8 hergestellt werden. Zudem ist die Menge, wegen der geringen Dicke der Schichten in denen diese eingebaut werden, klein.

Der optimale Anteil an RAP ist nicht zwangsläufig der maximal mögliche. Mit zunehmenden Anforderungen an die Mischgutsorte und an den Mischguttyp nehmen die Kosten für die Bewirtschaftung des dazu erforderlichen RAP zu und verteuern das Mischgut. Bei nur über den Preis geregelter Auftragsvergabe kann deshalb Mischgut mit sehr hohem RAP-Anteil je nach Sorte eventuell nicht mehr konkurrenzfähig sein. Gesamtwirtschaftliche Überlegungen und der volkswirtschaftliche Nutzen der Wiederverwendung von grossen Anteilen an Ausbauasphalt sowie der Schonung der Ressourcen von Neumaterialien sind deshalb einzubeziehen. Es ist auch in Betracht zu ziehen, dass die kürzeren Gebrauchsdauern von Deckschichten im Gesamtzyklus auch wieder grössere Mengen ergeben.

4.3 Zusammenfassung Schlussbericht EP2

Im Einzelprojekt EP-2 des Recyclingpaketes zum Heissrecycling von Ausbauasphalt (RAP) wurde untersucht, wie sich das wiederholte Recycling auf die Eigenschaften der Mineralstoffe, des Bindemittels und des Mischgutes auswirkt. Die Veränderungen der Mineralstoffe durch Fräsen und Brechen des alten Strassenbelages wurde möglichst praxisnah durchgeführt. Hierzu stand ein Testfeld mit einem zweischichtigen Belag, bestehend aus einer Tragschicht AC T 22 H und einer Deckschicht AC 11 N, sowie das für den Einbau verwendete Mischgut zur Verfügung. Der Belag wurde schichtweise mit einer grossen Strassenfräse im Kaltverfahren gefräst und nachträglich gebrochen. Aufgrund der kurzen Liegedauer war das RAP aber nur geringfügig gealtert. Die Untersuchungen ergaben, dass insbesondere die groben Mineralstofffraktionen reduziert wurden und sich der Anteil der mittleren Fraktion bis zum Sand erhöhte. Das produzierte RAP der Tragschicht entsprach der Korngrössenverteilung eines AC T 16, und das RAP der Deckschicht jener eines AC 8. Füller wurde praktisch keiner gebildet oder wurde durch das Waschwasser beim Fräsvorgang weggespült. Der Anteil an runden und teilweise runden Körnern wurde durch das Fräsen/Brechen reduziert. Aus dem RAP der Deckschicht wurde im Labor ein zum AC 11 N möglichst identischer Belag mit einem Recyclinganteil von 60% nachgebildet. Da die Ausgangsstoffe (Mineralstoffe, Bitumen), die für die Deckschicht verwendet wurden, nicht vorhanden waren, wurde das Material, das für das Recyclingpaket zur Verfügung gestellt wurde, verwendet. Der nachgebildete Belag war trotz tieferem Bindemittelgehalt etwas dichter, ergab aber bezüglich Neigung zur Spurrinnenbildung, Marshall-Stabilität und Tieftemperatureigenschaften ähnliche Resultate. Einzig die Wasserempfindlichkeit war deutlich reduziert, was unter Umständen auf die anderen Mineralstoffe zurückzuführen ist. Leider konnte für die Mineralstoffschädigung nur ein Recyclingzyklus untersucht werden, da es keine Möglichkeit gab, das RAP unter den gewünschten Bedingungen nochmals einzubauen und zu fräsen.

Für die Untersuchung der Veränderung des Bindemittels durch das mehrfache Recycling wurde als Ausgangsmischgut der AC 11 S gemäss Rezept des roten Fadens des Forschungspaketes verwendet, jedoch ohne Ausbauasphalt. Das Referenzmischgut wurde im Labor künstlich während 4 Tagen bei 100°C gealtert, sodass ein RAP mit einer Penetration von 30 [0.1 mm] erhalten wurde. Dieses künstlich hergestellte RAP wurde mit

einem Anteil von 40% für ein neues Mischgut verwendet, dessen Bindemittel-eigenschaften und volumetrischen Kennwerte möglichst dem Referenzmischgut entsprechen sollten. Dieses Mischgut wurde danach wiederum künstlich gealtert bis schliesslich drei Recyclingzyklen durchgeführt worden waren. Die meisten Bindemittel- und Mischguteigenschaften blieben praktisch konstant, bei der Wasserempfindlichkeit wurde aber eine deutliche Abnahme des ITSR-Kennwertes festgestellt. Die Analyse mittels Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (FTIR) zeigte, dass im RAP die potentiellen funktionellen Gruppen praktisch vollständig oxidiert waren und so keine Informationen zum Alterungsgrad des RAP geben konnten.

Da in zunehmendem Masse höhere Recyclinganteile verwendet werden, um die massiven Überschüsse an RAP abzubauen, wurde auch der Einfluss eines Verjüngungsmittels auf das wiederholte Recycling untersucht. Dazu wurde das künstlich hergestellte RAP ohne Zugabe von Bitumen oder Mineralstoffen nur mit Verjüngungsmittel versetzt, was einem Recyclinganteil von 100% entspricht. Es zeigte sich, dass sich bei gleicher Zugabemenge an Verjüngungsmittel das Bindemittel im Mischgut bei jedem Recyclingschritt stärker verhärtete. Trotzdem zeigte das Mischgut aber gute Eigenschaften, insbesondere bezüglich Wasserempfindlichkeit, Ermüdungsverhalten und plastischer Verformung (Druckschwellversuch). Daraus muss geschlossen werden, dass für die Beurteilung von Recyclingbelägen nicht nur die Bindemittelkennwerte Penetration und Erweichungspunkt Ring und Kugel verwendet werden können, sondern auch die Mischguteigenschaften berücksichtigt werden sollten. Allerdings sollten auch die Resultate des vorgesehenen Validierungsprojektes VP6, wo Recyclingbeläge mit Verjüngungsmittel eingebaut und geprüft werden, berücksichtigt werden.

Durch das Mehrfachrecycling verändern sich die Mineralstoff-, Bindemittel- und Mischguteigenschaften in unterschiedlichem Masse. Bis zu einem Recyclinganteil von 40% sind die beobachteten Einflüsse in der Regel jedoch gering, da das zugegebene Neumaterial das Verhalten dominiert. Bei höheren Recyclinganteilen, insbesondere wenn Verjüngungsmittel zugegeben werden muss, wird das Verhalten nach mehreren Recyclingschritten komplex und schwer vorhersagbar. In diesem Punkt ist sicherlich noch Forschungsbedarf vorhanden, um dauerhafte Strassenbeläge auch mit mehrfach rezykliertem RAP in hohen Anteilen zu erhalten.

4.4 Zusammenfassung Schlussbericht EP3

Aus diesem Projekt können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Die Normen unterscheiden nicht zwischen Belägen mit oder ohne Recycling, es gelten dieselben Anforderungen. Der gesamte Prozess von der Aufbereitung von Ausbauasphalt bis zum Endprodukt Walzasphalt ist normiert. Es sollten keine zusätzlichen Einschränkungen zu den Normvorgaben gemacht werden, sei dies im Recyclinganteil im Mischgut oder in den Qualitätsvorgaben.

Die Wiederverwertung von Ausbauasphalt ist in der Schweiz auf einem hohen Stand. Neue Mischanlagen werden meist nur noch mit Paralleltrommel geplant, alte Mischanlagen werden umgerüstet, um durch Kalt- oder Warmaufbereitung Recyclingmischgut herstellen zu können. Jedoch sind diese Faktoren stark von der geografischen Lage der Mischanlage abhängig. Der finanzielle Faktor spielt dabei die entscheidende Rolle.

Die Wiederverwertung von Ausbauasphalt ist im Sinne von allen, sei das der Bauherr, der Unternehmer oder der Mischgutproduzent. Die Förderung des Asphaltrecyclings liegt aber in erster Linie beim Bauherrn, welcher darauf am meisten Einfluss nehmen kann. Wiederverwertungskonzepte sollten schon bei der Ausschreibung vorgesehen werden.

Mit der Verwendung von grösseren Mengen an Ausbauasphalt können, gesamtwirtschaftlich betrachtet, die Kosten der Mischgutproduktion gesenkt werden. Damit kann der grosse, volkswirtschaftliche Wert, den die Strassen darstellen, weitreichend und besser erhalten werden. Zudem wird weniger Neumaterial benötigt, wodurch im Sinne der Nachhaltigkeit wertvolle Baustoffressourcen geschont werden.

Der gesamte Prozess von der Annahme des Ausbauasphaltes, der Aufbereitung und Lagerung bis zur Wiederverwertung bei der Mischgutaufbereitung wird in nächster Zeit noch mehr professionalisiert werden. Das Produkt Ausbauasphalt soll in Zukunft als wertvoller Baustoff und nicht als Abfallprodukt anerkannt werden.

4.5 Zusammenfassung Schlussbericht EP4

Teilprojekt EP4 untersucht das Langzeitverhalten und die Performance des Ausbauasphalts. Es wurden eine Deckschicht AC 11 S und eine Hochmodul-Binderschicht AC EME 22 nach Schweizernormen chemisch und mechanisch mit Verwendung von 40% und 60% Ausbauasphalt (RAP) charakterisiert. Die hier präsentierten Ergebnisse beziehen sich exklusiv auf gealtertes Mischgut. Andere Teilprojekte im Recycling Paket haben gleiche Mischgüter in ungealtertem Zustand untersucht. In Einzelfällen wurden diese Ergebnisse auch hier präsentiert. Die künstliche Alterung wurde gemäss der AASHTO R30 Methode durchgeführt, da das Langzeitverhalten von Interesse war.

Es wurden chemische und mechanische/rheologische Untersuchungen an Bindemitteln durchgeführt. Die chemischen Untersuchungen mit ATR-FTIR zeigten klare Zeichen einer Oxidation (Alterung) des Bindemittels mit Erhöhung des Karbonyl und Sulfoxid Indexes. Rheologische Untersuchungen mit DSR zeigten die Erhöhung des Modulwertes der Mischgüter für beide Materialien mit RAP, wobei bei hohen Temperaturen eine grössere Erhöhung der Modulwerte des Hochmodulmischguts festgestellt wurde. Ein grosser Unterschied zwischen den Eigenschaften des Mischguts mit 40% RAP und demjenigen mit 60% RAP wurde nicht festgestellt. Offensichtlich hat das Verjüngungsmittel die Erhöhung des RAP Anteils gut kompensieren können. Alterung und RAP haben die Penetrationswerte reduziert und den Erweichungspunktwert erhöht, wobei der Einfluss der Alterung grösser war als die Zugabe von RAP.

Da Asphaltbeläge hauptsächlich in drei Punkten versagen, Ermüdungsrisse, Thermalrisse und Spurbildung, wurden verschiedene Prüfmethoden benutzt, um das Langzeitverhalten des Materials festzustellen. Diese mechanischen Prüfungen haben gezeigt, dass die Zugabe von RAP das Langzeitverhalten und die Dauerhaftigkeit der Mischgüter nicht komprimiert hat. Beispielsweise wurde eine Erhöhung der indirekten Zugswerte für AC 11S und der Reduktion des Wertes für das Hochmodulmischgut festgestellt. Die Marshallwerte für das AC 11 S Mischgut mit RAP erfüllen für Stabilität und das Fliessen die nach Norm geforderten Anforderungen für Typ N. Die Zugabe von RAP hat den Steifigkeitsmodul bei niedrigen Temperaturen nicht signifikant beeinflusst, obwohl bei hohen Temperaturen eine Erhöhung der EME Modulwerte festgestellt wurde. Der Widerstand gegen Ermüdung war besser für AC 11 S mit RAP als für Mischgut ohne und schlechter für AC EME ohne RAP als mit. Die Spurbildung, untersucht mit der Französischen Methode, hat gezeigt, dass die Prüfkörper mit RAP weniger Spuren bilden als solche ohne; mit allen Ergebnissen unter der normierten Anforderungen von 10% beziehungsweise 7.5%. Wie erwartet war die Spurbildung beim AC EME erheblich geringer als beim AC 11 S. In Druck-schwellversuchen zeigten die Mischgüter mit RAP vor allem beim AC 11 S viel weniger permanente Deformationen und Dehnungsraten. Das Niedrigtemperaturverhalten der Mischgüter mit RAP wurde nicht signifikant beeinflusst, wobei die indirekten Zugswerte des Hochmodulmischguts niedriger waren als derjenige des AC 11 S. Die im Cantabro Test ermittelten Kornverlustwerte der Mischgüter mit RAP waren nicht erhöht. Zwei Methoden wurden für die Ermittlung der Wasserempfindlichkeit benutzt: KAST und ITSr. Beide Prüfungen zeigten keine statistisch signifikanten Veränderungen der Wasserempfindlichkeitswerte der Mischgüter mit RAP im Vergleich zu denjenigen ohne RAP.

Ein Vergleich mit den Anforderungen der Schweizer Normen zeigt, dass die hier untersuchten Materialien die Anforderungen erfüllen. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass ein hoher Anteil an RAP für Deckschicht AC und Binderschicht AC EME möglich ist und die Schweizer Normen überarbeitet werden sollten, um diesen höheren Anteil zu ermöglichen.

Die Zugabe des gealterten Bindemittels des RAP im Mischgut kann das Mischgut verhärten und es spröder und weniger ermüdungsresistent machen. Die hier präsentierten Er-

gebnisse zeigen, dass ein gealtertes Mischgut mit 40% und 60% RAP sich wie ein Originalmischgut (ohne RAP) verhalten kann.

4.6 Zusammenfassung Schlussbericht EP5

Das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit, Einzelprojekt 5 (EP5) ist die Mischgutoptimierung bei der Zugabe von Ausbauasphalt und das Ermitteln der massgebenden Parameter zur Verbesserung und Optimierung des Rezeptes. Die Beurteilung von zielführenden Versuchen und Messungen sind ebenfalls inhaltlicher Teil des EP5.

Allgemein konnte festgestellt werden, dass die verschiedenen Mischgutuntersuchungen wie sie aktuell für die Optimierung von Mischgut bei Verwendung von Primärmaterial ohne Recyclingmaterial (RAP) verwendet werden nur sehr gering oder überhaupt nicht von kleinen Anteilen an RAP (weniger als 20%) beeinflusst werden. Bei Mischungen mit mehr als ca. 25% RAP-Anteil zeigt die Analyse der wissenschaftlichen Literatur und die im Rahmen des vorliegenden Forschungsauftrages durchgeführten Untersuchungen eine recht hohe Komplexität verschiedener Parameter und deren Einfluss auf die Mischgutmerkmale und mechanischen Eigenschaften des Ausbauasphaltes.

Anfänglich wurden Untersuchungen mit der Methode der analytischen Rezeptierung nach der am CRR (Centre de Recherche Routier) in Belgien entwickelten Methode durchgeführt. Dieses Vorgehen mit der CRR-Methode, erlaubt eine erhebliche Reduktion von Laborversuchen und Messungen an Mischgutproben und fördert das Verständnis des mechanischen Verhaltens von Ausbauasphalt. In diesem Zusammenhang wurden auch Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Die verschiedenen analytischen Berechnungen wurden mit den im Labor gemessenen Prüfungsergebnissen kalibriert. Die Ergebnisse ermöglichen insbesondere die Wirkung der Gesteinsqualität auf das mechanische Verhalten und auf die volumetrischen Charakteristiken der Mischung zu quantifizieren.

Folgend auf die analytischen Eignungsprüfungen wurde eine umfangreiche Kampagne von Laborversuchen realisiert, um die Eigenheiten und die kritischen Parameter zur Rezeptierung von Asphaltmischgut mit verschiedenen Anteilen an Ausbauasphalt (RAP) zu erheben. Die Untersuchungen wurden an Proben mit vorwiegend 40% RAP Anteil in einem AC 11 S Mischgut durchgeführt. Eine begrenzte Anzahl Proben wurde mit 40% RAP Anteil mit einem Hochmodul-Asphaltbeton hergestellt und untersucht. Die Resultate zeigen, dass die nachstehend aufgeführten Parameter einen entscheidenden Einfluss auf die Eignungsprüfungen und den Anteil RAP ausüben:

- Homogenität des Ausbauasphaltes: Beherrschung des RAP-Stock
- RAP-Qualität (Prozentanteil der gebrochenen Oberfläche der Gesteine, Zustand der Gesteine, Kantigkeit, Gesteinskunde)
- Eigenschaften der Bindemittel des Ausbauasphaltes
- Bedingungen der Fabrikation in der Asphaltanlage
- Wahl des Zusatzbindemittels

Die unterschiedlichen Versuche und Messungen haben ebenfalls ermöglicht, Empfehlungen für die Kontrolle und die Analyse der Asphaltmischgute mit einem hohen Ausbauasphalt Anteil vorzuschlagen. Es wurde auch festgestellt, dass die Durchführung von Spurbildungsversuchen und Versuche zur Wasserempfindlichkeit der Mischgutproben sachbezogene Indikatoren sind, welche die Verhaltensunterschiede zwischen den Mischungen anzeigen. Die erhobenen Ergebnisse zeigen ebenfalls den Einfluss der Herstellungsmethode sowie der Alterung des Asphaltmischgutes auf die im Labor gemessenen Merkmale und mechanischen Eigenschaften.

Die verschiedenen Betrachtungen ermöglichen Empfehlungen für die Aktualisierung der Normierung vorzuschlagen. Solche sind in Kap. 5 aufgelistet. Insbesondere zeigen die Untersuchungen die Möglichkeiten von Versuchen und Messungen zum Vorschlag von adaptierten Prüfungen für die mögliche Erhöhung des RAP Anteiles unter Beibehaltung des Verhaltens des Mischgutes. Die Wahl des RAP Anteiles und die erforderlichen

intrinsischen Merkmale des verwendeten RAP Anteiles müssen in Abhängigkeit von der Schicht, in welcher das Mischgut eingesetzt wird und den vorgesehenen Beanspruchungen bestimmt werden. Auf ein Harmonisierungsbedürfnis der Labormethoden (Produktion, Alterung, Vorwärmung) wurde auch hingewiesen. Dies ermöglicht die typischen Eignungsprüfungen besser zu bewerten.

4.7 Zielerreichung

Die gesetzten Ziele konnten grösstenteils erreicht werden. Die anlässlich der Ausschreibung der einzelnen Forschungsprojekte gestellten Fragen waren zum Teil recht umfangreich und führten naturgemäss während der Bearbeitung der einzelnen Projekte zu weiteren Fragen und Ergänzungen der ursprünglichen Fragestellungen.

Ausser der zeitlichen Koordination der einzelnen Forschungsprojekte konnten mit dem Forschungspaket die vorhandenen Synergien gut ausgeschöpft werden. Die zeitlichen Verzögerungen waren die Folge von nötigen Anpassungen der Organisation und Einrichtungen in einzelnen Forschungsstellen und deren Labors.

Da die Maschinenindustrie auch in der Begleitkommission des Forschungspakets vertreten war, konnten die Forschenden aus erster Hand über die neusten Entwicklungen in der Mischanlagentechnik im Recyclingbereich informiert werden und die Wünsche und Hinweise aus den erhaltenen Resultaten präsentieren. Die Hinweise an die Aufbereitungstechnik bezogen sich hauptsächlich auf die Schonung und optimale Qualität der Baustoffe. Dazu gehören die Begrenzung der Höchsttemperaturen und die Homogenität des produzierten Mischguts.

Ein angestrebtes Hauptziel war auch das Erstellen von Grundlagen für zukünftige Revisionen der Normen im Gebiet des Recyclings von Asphaltmischgut für die Heissaufbereitung. Dieses Ziel konnte erreicht werden. Die einzelnen Punkte sind in Kap. 5 aufgeführt. Kurz zusammengefasst zeigen die Resultate aus den einzelnen Forschungsprojekten dass:

- Der gemäss Schweizer Normen zulässige Anteil RAP für die meist verwendeten Mischgutsorten massiv erhöht werden kann
- Die Qualität des Mischguts mit und ohne RAP im untersuchten Bereich vergleichbar bleibt

5 Weiterer Forschungs- und Normierungsbedarf

5.1 Validierung der erarbeiteten „Laborresultate“ im Feld

Es wurde bereits anlässlich der Diskussion des Initialprojekts zum vorliegenden Forschungspaket (Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut, Initialprojekt. Forschungsbericht 1242; ASTRA (VSS 2005/451) vorgesehen, die in den verschiedenen Labors erarbeiteten Resultate aus den Einzelprojekten EP1 bis EP5 im Feld zu validieren. Für die Prüfung der Praxistauglichkeit der erhaltenen Forschungsergebnisse in Versuchsfeldern eignet sich die MLS 10 Prüfmaschine der Empa. Ein entsprechendes Forschungsprojekt wurde bereits in die Wege geleitet und wird unter dem Titel: (VSS2005/457; Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut – VP6 In-situ Validierung) bearbeitet.

Auf dem Testgelände des ASTRA in Lenzburg werden vier Testfelder mit zwei Belagsaufbauten (Verkehrslastklasse T3) geprüft:

- Belagsaufbau 1: Deckbelag AC 11 S (35 mm) auf Tragschicht AC T 16 (45 mm)
- Belagsaufbau 2: Tragschicht AC T 22 S (80 mm)

Der RAP-Anteil beträgt 60% für den Deckbelag und 80% für die Tragschicht AC 22 T S, analog zu den Labormischungen des EP1 (der AC T 16 enthält kein RAP).

In der ersten Projektphase wird eine geeignete Asphaltmischanlage evaluiert, die Recyclingmischgut mit den definierten hohen RAP-Anteilen herstellen kann. Danach wird das LAVOC die Ausgangsmaterialien untersuchen und Laborprüfungen durchführen, um mit Hilfe der im Einzelprojekt EP5 (VSS 2005/456) entwickelten Mixdesign-Methoden die Mischrezepte zu formulieren. In einem zweiten Schritt werden diese Rezepte für den Einbau der Testfelder angewendet. An Bohrkernen aus den Testfeldern wird überprüft, ob die volumetrischen Kennwerte der Schichten mit und ohne RAP vergleichbar sind. Für die Bestimmung des Belagsverhaltens werden verschiedene Sensoren eingebaut und regelmässige Messungen (Spurrinnentiefe) vor, während und nach der Prüfung mit dem Verkehrslastsimulator MLS 10 durchgeführt. Die erhaltenen Resultate werden ausgewertet und mit den Ergebnissen aus den Laborversuchen verglichen. Zudem soll ermittelt werden, ob die aus den Laborexperimenten ermittelte Lebensdauer mit jener aus der MLS10-Prüfung korreliert.

5.2 Verjüngungsmittel

Bei der Verwendung von Verjüngungsmitteln bestehen noch erhebliche Mängel an breiter Erfahrung und klare Richtlinien zur Art und Dosierung der Verjüngungsmittel. Das vorliegende Forschungspaket zeigt zwar, dass bei hohen Anteilen an RAP Verjüngungsmittel zwingend eingesetzt werden müssen, ob und wie die „verjüngten“ Bindemittleigenschaften mit den klassischen Untersuchungen genügend sensitiv beurteilt werden können ist nicht abschliessend bekannt.

Es fehlt auch an Kenntnissen und Erfahrungen welchen Einfluss Verjüngungsmittel auf den Alterungsprozess des Bindemittels haben, was im laufenden Forschungsprojekt VSS 2011/403 „Einfluss unterschiedlicher Verjüngungsmittel im Heissrecycling auf die Performance von bitumenhaltigen Schichten“ untersucht wird. Die Kriterien für die Wahl der Art und Dosierung sowie der Prüfung von Verjüngungsmittel sind in weiteren Forschungsarbeiten zu ermitteln.

5.3 PmB-Bindemittel in Recyclingmischgut

Die Thematik der Kombination von PmB-Bindemitteln und RAP in aufbereitetem Recyclingmischgut ist bis anhin nicht genügend erforscht. Erkenntnisse zu dieser Thematik sollten in weiteren Forschungsarbeiten anvisiert werden.

5.4 Homogenität der Bindemittelphase

Durch das Mischen von „neuem“ und rezykliertem Bitumen und Filler (im RAP) entsteht eine ver- und gemischte Bindemittelphase welche je nach Aufbereitungsmethode verschiedene Mischungsstadien aufweisen kann. Wie intensiv die Feinstkornanteile und die Bindemittel beider Materialanteile (Primärmaterial oder RAP) miteinander vermischt werden, wird das Verhalten des Mischguts beeinflussen. Es sind Vermischungsstadien zwischen „zwei separaten Bindemittelfilmen“ und homogener Vermischung denkbar. Dies wird hauptsächlich durch die Asphaltaufbereitungsanlage und den Mischprozess beeinflusst.

5.5 Erweitern der Untersuchungen auf sehr hohe Anteile RAP

Indexversuche zeigten, dass sehr hohe Anteile an RAP von über 80% verwendet werden können. In diesen Bereichen müssen neue 100%-Recycling-Mischanlagen mit Heisszugabe verwendet werden. Im Bereich der neusten Generationen der Aufbereitungsindustrie sind Optimierungen durch Forschung wünschenswert und zu erwarten. Ein entsprechendes durch das BAFU unterstütztes Projekt ist an der Empa in Arbeit.

5.6 Anforderungen an Mineralstoffe der aufbereiteten recycelten Anteile

Das Thema der Oberflächenbeschaffenheit und Kantigkeit der aus dem RAP rückgewonnenen Mineralstoffe bedarf noch vertiefter Forschung. In den Diskussionen der Forschungsteilnehmer und Begleitkommissionmitgliedern wurde die Problematik der Auswirkung der Oberflächenbeschaffenheit der Mineralstoffe auf die Trag- und Standfestigkeit der Schichten mehrfach erörtert. Eine abschliessende Lösung und Anforderung konnte nicht gefunden werden. Es besteht Forschungsbedarf für die Verwendung der Mineralstoffe und insbesondere deren Scharfkantigkeit in den verschiedenen Mischguttypen und Anwendungen. Diese Problematik ist insbesondere für die Griffigkeit von Deckschichten von Bedeutung.

5.7 Übertragung der Resultate auf Warm- und Kaltasphalte

Das vorliegende Forschungspaket wurde an und mit Mischgütern im Heissasphalt durchgeführt. Die Ausbauasphalte RAP wurden bei der Herstellung meist erhitzt (im Warmverfahren), in einem Fall auch kalt (im Kalt- oder Batchverfahren) zugegeben.

Inwieweit sich die Resultate auf Recycling im Warm- (Niedertemperaturasphalt) und Kaltasphalt übertragen oder partiell verwenden lassen ist eine zukunftssträchtige Frage. Ein Forschungsprojekt zu dieser Thematik, allenfalls im Zusammenhang mit der Forschung an Verjüngungsmitteln wird vorgeschlagen.

5.8 Einfluss des RAP auf den Schichtenverbund

Der Einfluss der Art und des Anteils an rezyklierten Asphalten auf den Schichtenverbund ist noch weitgehend unbekannt. Eine Untersuchung dieser Thematik mit verschiedenen Variablen ist ins Auge zu fassen.

5.9 Einfluss und Beitrag des rezyklierten Bindemittels

Das kombinierte Wirken der Bindemittel aus dem RAP und demjenigen welches neu zugegeben wurde (black rock Effekt) ist zu erforschen. Dazu gehört die Problematik der chemischen Bindungen auf der wirksamen Oberfläche des Granulats.

5.10 Beitrag zur Normierung

Die im vorliegenden Forschungspaket erarbeiteten Resultate zeigen einige bemerkenswerte Verbesserungsmöglichkeiten in der Schweizerischen Normierung im Bereich des Recyclings von Ausbauasphalt auf. Die wesentlichen Elemente einer zukünftigen Normenrevision sind:

- Der maximal zulässige Anteil an RAP kann bei bestimmten Mischguttypen und Schichten massiv erhöht werden. Diese Erkenntnis steht immer unter dem Gesichtspunkt, dass keine Verminderung der Qualität stattfindet. Die maximal zulässigen RAP Anteile sind nicht für alle Mischgut Typen gleich. Durchgehend konnte aber festgestellt werden, dass die heute normierten Grenzen für die RAP Anteile viel zu klein sind. Es sind die Resultate des Validierungsprojektes VP6 abzuwarten
- Insbesondere für tiefer liegende Schichten wie AC T und AC F sind bei Heissasphalt die zulässigen RAP Anteile massiv zu erhöhen
- Die Beschränkung von Masseanteilen an RAP ist aus dem Focus zu beurteilen, dass die allgemeinen und normierten Anforderungen an das hergestellte Mischgut, unabhängig wieviel RAP enthalten ist, gelten. Konsequenterweise, wären maximale RAP Anteile nicht zwingend, wenn die Qualität des produzierten Mischgutes beurteilt werden könnte. Aus diesem Grund ist die Einführung von Performance-orientierten Mischgutprüfungen voranzutreiben
- Die Anforderungen an RAP für die Wiederverwendung in verschiedenen Mischguttypen sollten spezifiziert werden. Die entsprechenden Prüfmethode sollten festgelegt werden. Dazu werden vorgeschlagen: Spurrinnentester, Wasserempfindlichkeit, Verhalten bei tiefen Temperaturen etc.
- Bei Zugabe von mehr als 25% RAP sind erweiterte Untersuchungsmethoden angezeigt. Diese sollten sowohl die physikalischen Eigenschaften der Bindemittel (Viskosität, rheologische Eigenschaften) als auch die Eigenschaften der Mineralstoffe (Homogenität, Kantigkeit, Anteil gebrochener Oberflächen, Affinität etc) umfassen. Insbesondere müssen die Anforderungen an die Homogenität des RAP mit zunehmendem RAP-Anteil steigen (Bindemittelanteil und –eigenschaften, Korngrössenverteilung),
- Die Verwendung von RAP in Deckschichten scheint aufgrund der ermittelten Resultate zwar durchaus für eine Revision nach grösseren Maximalbeigaben offen zu sein. Bei den Deckschichten sind aber besondere Vorsicht und Untersuchungen angezeigt. Insbesondere sind Prüfungen bezüglich genügender Griffbarkeit und Stabilität gegen Kornausbruch notwendig

- Um die in verschiedenen Laboratorien hergestellten Mischgüter vergleichen zu können, sollte ein detailliertes Verfahren für die Herstellung von Heissmischgut mit unterschiedlichen Anteilen an Ausbauasphalt RAP im Labor definiert und normiert werden. Angelieferte Mischgutproben werden für die Probenteilung unabhängig vom RAP-Anteil mit der Temperatur in bezug auf das Zielbindemittel aufgeheizt. Kalt-, Warm- und Heisszugabe von RAP ist zu unterscheiden.

Da diese erarbeiteten Erkenntnisse grosse oekologische wie auch oekonomische Auswirkungen auf die Allgemeinheit und die Mischgutindustrie haben, ist eine unverzügliche Inangriffnahme der Normenrevision zwingend.

Glossar

Begriff	Bedeutung
AA	Ausbauasphalt
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials, US
AC	Asphaltbeton (Asphalt concrete)
AC MR	Mischgutsorte Raubelag SN 640 431-1
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BERAG	Belagslieferwerk Rubigen AG
CEN	Europäisches Komitee für Normung (CEN)
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EN	Europäische Norm
EP1...EP6	Einzelprojekt 1...6 des Forschungspaketes Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
ERK	Erweichungspunkt Ring und Kugel
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)
FEHRL	Forum of European Highway Research Laboratories
FHWA	Federal Highway Administration
HMA	Hot Mix Asphalt
ISO	Internationale Organisation für Normung
LAVOC	Laboratoire des voies de circulation der ETH Lausanne, EPFL
Mischguttypen L,N, S,H	Mischguttypen gemäss Norm SN 640 431-1 (leichte, mittel, starke, sehr starke Beanspruchung)
MLS10	Mobiler Verkehrslastsimulator
PmB	Polymerhaltiges Bitumen
RAP	Ausbauasphalt oft auch Recyclingasphaltgranulat (Reclaimed Asphalt Pavement)
RILEM	International union of laboratories and experts in construction materials, systems and structures
SMA	Splittmastixasphalt
SN	Schweizer Norm (SN)
SN	Schweizer Norm
TRB	Transportation Research Board
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Literaturverzeichnis

Dokumentation

-
- [1] Prof.Dr. Manfred N. Partl, Dr. Martin Hugener, Empa; Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut, Initialprojekt. Forschungsbericht 1242; ASTRA (VSS 2005/451)
 - [2] Max Seeberger, Tecnotest; Dr. Martin Hugener, Empa; Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP1: Optimaler Anteil an Ausbauasphalt. Forschungsbericht ASTRA 1483, (VSS 2005/452) September 2014
 - [3] Dr. Martin Hugener, Dr. Atsushi Kawakami, Empa; Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP2: Mehrfachrecycling von Strassenbelägen. Forschungsbericht ASTRA 1510; (VSS 2005/453), April 2015
 - [4] Sandra Dünner, Walo Bertschinger AG; Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung. Forschungsbericht ASTRA 1446; (VSS 2005/454), November 2013
 - [5] Dr. Lily D. Poulidakos, Prof.Dr. Manfred N. Partl, Empa; Research Package on Recycling of Reclaimed Asphalt in Hot Mixes: EP4: Evaluation of Durability. Forschungsbericht ASTRA 1478; (VSS 2005/455), April 2015
 - [6] Prof. A.-G. Dumont, Dr. N. Bueche, M. Pittet, LAVOC EPFL; Paquet de recherche de recyclage des matériaux bitumineux de démolition des routes dans des enrobés à chaud: EP5 : Formulation des enrobés avec matériaux recyclés. rapport de recherche ASTRA 1526; (VSS 2005/456), Septembre 2015
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 26. September 2016

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2005/450

Projekttitel: Forschungspaket: Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut
Gesamtleitung

Enddatum: Oktober 2016

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Das Forschungspaket: Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut, ein Ziel in der Forschungsstrategie des ASTRA "Verfügbarkeit der Infrastruktur" liegt schwerpunktmässig im Interesse und der Kompetenz der beiden Fach-Kommissionen 3 "Baustoffe" und 4 "Bau- & Geotechnik" der VSS.

In diesen beiden Kommissionen stehen in naher Zukunft die Revisionen verschiedener "Recycling-Normen" an. Die im vorliegenden Forschungspaket erarbeiteten und gefundenen Resultate bieten wertvolle Grundlagen für eine Anzahl interessanter Fragen im Zusammenhang mit Verhalten und Behandlung rezyklierter Bindemittel, Verhalten bei Mehrfachrecycling, Erkenntnisse zum Maximalanteil von rezykliertem Ausbauasphalt in verschiedenen Mischgütern, Anpassung der Rezepturen zur Wiederverwendung der Ausbauasphalte.

Zwar konnten in den einzelnen Forschungsprojekten nicht fertige Vorschläge und Rezepte für anstehende Normenrevisionen niedergelegt werden, es konnten aber etliche Wissenslücken und Anhaltspunkte für das Recycling in Heissasphalt ermittelt werden.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit "Gesamtprojektleitung" war die Koordination der fünf Einzelprojekte dieses Forschungspakets. Das Ziel konnte erreicht werden, obwohl einzelne Forschungsprojekte infolge verschiedener Ursachen verspätet zum Schlussbericht führten.

Folgerungen und Empfehlungen:

Das sehr umfangreiche Material in den 5 Einzelprojekten wurde in einem Synthesebericht zusammengefasst. Dies dient der besseren Übersicht für den Leser und zeigt die wichtigsten Zusammenhänge. Verfasst wurde der Synthesebericht vom Projektleiter.

Publikationen:

Folgende Berichte wurden verfasst, von den zuständigen Normierungskommissionen der VSS geprüft, freigegeben und publiziert:

Synthesebericht; Schlussbericht zum Forschungsauftrag "Recycling von Heissasphalt, VSS 2016 / 450"

- Einzelprojekt EP 1 Optimaler Anteil an Ausbauasphalt (ASTRA 1483)
- Einzelprojekt EP 2 Mehrfach-recycling von Strassenbelägen (ASTRA 1510)
- Einzelprojekt EP 3 Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung (ASTRA 1446)
- Einzelprojekt EP 4 Evaluation of Durability (ASTRA 1478)
- Einzelprojekt EP 5 Formulation des enrobés avec matériaux recyclés (ASTRA 1526)

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Caprez

Vorname: Markus

Amt, Firma, Institut: ETH Zürich, Institut für Geotechnik

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Jedes Einzelprojekt EP wurde durch eine Begleitkommission (EP1 bis EP5) betreut. Die Leitung des Gesamtprojektes übernahmen eine übergeordnete Begleitkommission zusammen mit dem für den operativen Bereich zuständigen Projektleiter. Dieser hatte die Aufgabe, die Arbeiten der 5 Einzelprojekte in Bezug auf die Einhaltung des Forschungsprogrammes, in inhaltlicher finanzieller und zeitlicher Hinsicht zu überwachen. Dazu wurden in halbjährlichen Sitzungen - jeweils unter der Leitung des Präsidenten der Begleitkommission zusammen mit den Forschungsstellen sowie dem Projektleiter - ganztägige Sitzungen abgehalten. Dabei wurden Arbeitsfortschritte, Projekt-Änderungen und Anpassungen sowie Koordinationsprobleme besprochen. Ein spezielles Problem zeigte sich bei der zeitlichen Abwicklung der Aufträge. Die Dauer von ca. 9 Jahren für das gesamte Projekt inkl. Synthesebericht muss als zu lang bezeichnet werden.

Positiv wirkte sich aus, dass vorgängig zu den Hauptarbeiten ein Initialprojekt erstellt wurde, das sich grundsätzliche Überlegungen zu Umfang und Rahmenbedingungen machte und als Basis für die Ausschreibung der Projekte und die Durchführung diente, ein für ein solches Projekt unbedingt erforderliches Vorgehen.

Die 5 Forschungsberichte weisen eine Fülle von Ergebnissen auf, die für die verstärkte Anwendung von Recyclingasphalt RAP in höheren Anteilen selbst in hoch beanspruchten Schichten eingesetzt werden können. Hilfreich war dabei die Teilnahme einer Vertreterin der Fa. Ammann Langenthal, die durch Informationen über die neueste Produktionstechnik aufzeigte, dass mit Parallel-Trommeln der neuesten Generation unter bestimmten Bedingungen Mischgüter mit bis zu 100% Recycling-Anteile eingesetzt werden können. Entsprechende Möglichkeiten müssen in zukünftigen Forschungsarbeiten vertieft überprüft werden.

Umsetzung:

Die Erkenntnisse von fertiggestellten Berichten wurden bereits bei Normrevisionen berücksichtigt. Erkannte Schwachstellen werden über neue Forschungsarbeiten erfasst, speziell beim Einsatz von Verjüngungsmittel sowie von höheren RAP-Anteilen als bisher zulässig waren. Insgesamt haben die Forschungsstellen gute Arbeit geleistet und damit eine weitere Grundlage für den vermehrten, dringend notwendigen Einsatz von Recycling-Mischgut geschaffen.

weitergehender Forschungsbedarf:

Der Einfluss von Verjüngungsmitteln auf die Bindemittelalterung nach wiederholtem Rezyklieren muss in einem spezifischen Forschungsprojekt vertieft betrachtet werden. Zudem ist eine Feldvalidierung der Laborresultate von Nutzen für die Umsetzung der Resultate aus diesem Forschungspaket.

Einfluss auf Normenwerk:

Die Resultate können als Grundlagen für die Revision der Normen der Thematik Asphalt-Recycling, Verjüngung von bituminösen Bindemitteln und sortenreines Rückbauen dienen.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Nellen

Vorname: Alex

Amt, Firma, Institut: Implenia Schweiz AG

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter www.astra.admin.ch (Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare) heruntergeladen werden.