



Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heiss- mischgut: EP1: Optimaler An- teil an Ausbauasphalt

**Paquet de recherche de recyclage des matériaux bitumi-
neux de démolition des routes dans des enrobés à
chaud: EP1: Teneur optimale en matériaux de recyclage**

**Research package of the recycling of reclaimed asphalt
in hot mixes: EP1: Optimal content of recycling asphalt
pavement RAP**

**Tecnotest AG Rüslikon
Max Seeberger**

**Empa Dübendorf
Dr. Martin Hugener**

**Forschungsprojekt VSS 2005/452 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

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: EP1: Optimaler An- teil an Ausbauasphalt

**Paquet de recherche de recyclage des matériaux bitumi-
neux de démolition des routes dans des enrobés à
chaud: EP1: Teneur optimale en matériaux de recyclage**

**Research package of the recycling of reclaimed asphalt
in hot mixes: EP1: Optimal content of recycling asphalt
pavement RAP**

**Tecnotest AG Rüschlikon
Max Seeberger**

**Empa Dübendorf
Dr. Martin Hugener**

**Forschungsprojekt VSS 2005/452 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Max Seeberger, Tecnotest AG, 8803 Rüschlikon

Projektteam

Dr. Martin Hugener, Empa, 8600 Dübendorf

Federführende Fachkommission VSS

Fachkommission 4: Baustoffe

Fachkommission 5: Bau- und Geotechnik

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

Projektleiter

Dr. M. Caprez, ETH Zürich

Präsident

Alex Nellen, Implenia Schweiz AG, Bern

Mitglieder

Hans-Peter Beyeler, Bundesamt für Strassen ASTRA, Ittigen

Thomas Arn, Lombardi SA, Minusio

Tony Bühler, Implenia Suisse SA, Satigny

Markus Grieder, Tiefbauamt Basel-Landschaft, Liestal

Martin Horat, Tiefbauamt Stadt Zürich, Zürich

Daniel Kästli, Kästli AG, Ostermundigen

Andrea Bieder, Ammann Schweiz AG, Langenthal

Begleitkommission EP1

Präsident

Daniel Kästli, Kästli AG, Ostermundigen

Mitglieder

Thomas Arn, Lombardi SA, Minusio

Hans-Peter Beyeler, Bundesamt für Strassen ASTRA, Ittigen

Tony Bühler, Implenia Suisse SA, Satigny

Markus Grieder, Tiefbauamt Basel-Landschaft, Liestal

Martin Horat, Tiefbauamt Stadt Zürich, Zürich

Alex Nellen, Implenia Schweiz AG, Bern

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	Zielsetzung	13
1.1	Ausgangslage	13
1.2	Stand der Forschung.....	13
1.3	Projekt und Forschungsziele.....	14
2	Materialien	16
2.1	Ausgangsmaterialien.....	16
2.2	Charakterisierung der Gesteinskörnungen	17
2.3	Charakterisierung der Ausbausphalte RAP	18
2.4	Charakterisierung der Bitumen und Verjüngungsmittel	21
3	Wahl der Mischgutsorten und Prüfungen	24
3.1	Änderungen gegenüber Prüfplan der Projekteingabe	26
3.1.1	Ausbauasphal.....	26
3.1.2	Mischgutsorten	26
3.1.3	Prüfungen.....	27
3.2	Begrenzung der RAP-Anteile bei der Mischgutaufbereitung	29
3.2.1	Korngrößenverteilung von RAP und „neuen“ Mineralstoffen.....	29
3.2.2	Bindemittelgehalt im RAP	31
3.2.3	Bindemittelleigenschaften im RAP, Zugabe von Verjüngungsmittel.....	31
3.2.4	Temperaturen bei der Mischgutherstellung, Erwärmung des RAP	32
3.3	Prüfmethoden.....	35
3.3.1	Charakterisieren der Mischguteigenschaften.....	36
3.3.2	Wasserempfindlichkeit	36
3.3.3	Steifigkeitsmodul bei 5, 10, 20 und 30°C	36
3.3.4	Spurbildungstest bei 60°C.....	37
3.3.5	Spaltzug-Schwellversuch bei 20°C (Ermüdung).....	38
3.3.6	Druckschwellversuch bei 50°C	39
3.3.7	Indirekter Zugversuch bei -10°C	40
4	Mischgutherstellung	41
4.1	Herstellung mit Labormischer	41
4.2	Laborvergleiche.....	42
4.3	Vergleich zwischen Aufbereitungsanlage und Labor.....	44
4.4	Berechnen der Mischgutrezepturen.....	46
5	Resultate	50
5.1	Mischgut AC 11 S (Zielbitumen 70/100)	50
5.1.1	Mischgut-Eigenschaften.....	51
5.1.2	Wasserempfindlichkeit	52
5.1.3	Steifigkeitsmodul	53
5.1.4	Spurbildungstest	54
5.1.5	Spaltzug-Schwellversuch	55
5.1.6	Druckschwellversuch	56
5.1.7	Indirekter Zugversuch	58
5.2	Mischgut AC T 22 S (Zielbitumen 50/70).....	59
5.2.1	Mischgut-Eigenschaften.....	60
5.2.2	Wasserempfindlichkeit	61

5.2.3	Steifigkeitsmodul	62
5.2.4	Spurbildungstest	63
5.2.5	Spaltzug-Schwellversuch	64
5.2.6	Druckschwellversuch	65
5.2.7	Indirekter Zugversuch	67
5.3	Mischgut AC EME 22 C2 (Zielbitumen 10/20)	68
5.3.1	Mischgut-Eigenschaften	69
5.3.2	Wasserempfindlichkeit	70
5.3.3	Steifigkeitsmodul	71
5.3.4	Spaltzug-Schwellversuch	72
5.3.5	Druckschwellversuch	73
5.3.6	Indirekter Zugversuch	75
5.4	Zusammenstellung der Resultate für die drei Mischgutsorten	76
6	Diskussion und Empfehlungen	83
6.1	Einfluss von Recycling-Asphalt-Granulat RAP auf die Mischgutqualität	83
6.1.1	Mischgut AC 11 S, AC T 22 S und AC EME 22 C2	83
6.1.2	Mögliche Nachteile durch RAP	83
6.1.3	Anteil gebrochener Oberflächen in groben Gesteinskörnungen	84
6.2	Begrenzung der RAP-Anteile	85
6.2.1	Begrenzung durch Korngrößenverteilungen von RAP und „neuen“ Mineralstoffen	85
6.2.2	Begrenzung durch Bindemittelgehalt und Bindemittleigenschaften im RAP, Zugabe von Verjüngungsmittel	86
6.2.3	Begrenzung durch Temperaturen bei der Mischgutherstellung, Erwärmung von RAP	87
6.2.4	Maximale RAP-Anteile für die geprüften Mischgutsorten	88
6.2.5	Begrenzung durch die Qualität des RAP / RAP-Fraktionen	88
6.3	Mischgutherstellung im Labormischer	89
6.4	Zugabe von Ausbauasphalt RAP im Warm- und Kaltverfahren	90
6.5	Verwendung von RAP bei verschiedenen Mischgutsorten	90
7	Schlussfolgerungen	92
8	Weiterer Forschungsbedarf	94
	Anhänge	95
	Glossar	106
	Literaturverzeichnis	107
	Projektabschluss	109
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	112

Zusammenfassung

Das Forschungspaket „Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut“ mit fünf Einzelprojekten hat zum Ziel, die optimale und möglichst vollständige Wiederverwendung von Ausbauasphalt in bituminösen Strassenbelägen zu fördern. Die vorliegende Forschungsarbeit zum Einzelprojekt EP1 dient 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 einzubeziehen ist jedoch das Alterungsverhalten. Dieses wird im EP4 „Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Strassenbelägen mit Ausbauasphalt“ [1] 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. Zur Hauptsache sind dies die folgenden drei:

- 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 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 vorteil-

haft 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 Griffigkeit 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 den dünnen 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.

Résumé

Le paquet de recherche «Recyclage des matériaux bitumineux de démolition des routes dans les enrobés à chaud» qui comporte cinq projets a pour but de promouvoir le recyclage optimal et aussi complet que possible des agrégats d'enrobés dans des revêtements routiers. Le présent travail de recherche EP1 sert avant tout à éclaircir si et dans quels cas l'enrobé de recyclage, sous forme de granulats d'agrégats d'enrobés RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), peuvent être utilisés dans des proportions aussi élevées que possible pour la production de différentes sortes d'enrobés bitumineux sans porter notablement atteinte à leur qualité. Une bonne qualité du revêtement doit demeurer assurée aussi bien avec que sans adjonction de RAP dans l'enrobé.

Avec trois sortes d'enrobés du groupe «enrobés bitumineux AC», soit AC 11 S (bitume 70/100), AC T 22 S (bitume 50/70) et AC EME 22 C2 (bitume 10/20) on a confectionné dans le malaxeur de laboratoire de l'Empa au total 16 enrobés renfermant différentes proportions de RAP. Les essais très étendus réalisés ont montré que pour les trois sortes d'enrobés testés, l'utilisation de RAP, même en de très grandes proportions atteignant jusqu'à 80% de RAP, n'influençaient pas défavorablement la qualité des nouveaux enrobés produits. On peut ainsi conclure que cela est aussi valable pour des enrobés renfermant jusqu'à 100% de RAP lorsque leur composition nominale exigée est atteinte. Il faut toutefois aussi inclure dans leur évaluation le comportement à long terme, ce qui est l'objet du projet EP4, «Evaluation de la durabilité des revêtements routiers renfermant des granulats d'agrégats d'enrobés» [1].

En principe, pour ce qui est de la qualité d'un enrobé, il est possible d'utiliser jusqu'à 100% de RAP pour sa confection. Toutefois certaines conditions limitent la teneur en RAP. Pour l'essentiel il s'agit des trois conditions suivantes:

- Suivant la granulométrie du RAP et des granulats minéraux «neufs», avec une teneur en RAP élevée, il n'est plus possible d'atteindre les valeurs nominales de granulométrie usuelles. Dans ce projet, ceci était par exemple le cas pour l'enrobé AC 11 S à partir d'une teneur en RAP 0/11 dépassant 70%.
- Du fait du liant relativement dur des RAP 1 et RAP 2, il est nécessaire, à l'exception de l'enrobé EME, de procéder lors de la fabrication à une adjonction d'un régénérateur à partir d'environ 60 à 70% de RAP.
- Le chauffage du RAP dans les postes d'enrobage équipées d'une tambour de recyclage conventionnel, dénommé procédé à chaud, est limité à environ 135°C, alors que ce chauffage n'est pas possible dans les postes d'enrobage ne possédant pas de tambour de recyclage. Avec le procédé discontinu ou le procédé à froid, le RAP est ajouté à la température ambiante, soit entre 5 et 30°C selon la saison. Le réchauffement du RAP, qui est obtenu par chauffage supplémentaire sur le procédé à chaud, s'effectue ici principalement indirectement à travers les granulats minéraux qui doivent être chauffés en conséquence plus fortement. Les teneurs maximales en RAP sont ainsi limitées par les températures maximales des granulats minéraux qui ne provoquent pas d'endommagement du liant. Cette limitation ne s'applique pas aux nouvelles installations de recyclage à 100% car ici le RAP est chauffé avec ménagement jusqu'à la température usuelle de l'enrobé.

La qualité des enrobés obtenus par procédé à froid ou discontinu (batch) est égale à celle des enrobés obtenus par le procédé à chaud ainsi que le montrent les résultats d'essais comparatifs sur des enrobés AC 11 S avec 20% de RAP. Avec le procédé à froid ou discontinu, les adjonctions possibles de RAP, avec au maximum 20 à 30%, sont nettement plus faibles qu'avec le procédé à chaud où l'adjonction de RAP peut atteindre jusqu'à 60 à 70% au maximum.

Pour l'utilisation de fortes proportions d'agrégats d'enrobés, la qualité du RAP est décisive. Plus la teneur en RAP est élevée, plus les exigences posées à l'enrobé sont élevées et plus sévères sont aussi les exigences quant à la qualité et à l'homogénéité du RAP. Toutes les sortes et types d'enrobés doivent remplir les exigences correspondantes

même avec les teneurs en RAP élevées. Ceci implique que la gestion du RAP doit elle aussi satisfaire des exigences élevées. Ainsi il peut être avantageux de produire différentes qualités de RAP et de les stocker séparément pour pouvoir mieux assurer la production de différentes qualités d'enrobés. De plus, un fractionnement adéquat du RAP peut permettre d'accroître le plus souvent nettement les pourcentages maximaux possibles de RAP utilisables car ceci permet d'atteindre plus facilement les granulométries désirées.

Les essais de laboratoire effectués montrent qu'il n'existe en principe aucune limitation à l'utilisation de fortes proportions de RAP tant que la qualité et l'homogénéité du RAP sont assurées et que les performances requises par les normes pour les sortes et les types d'enrobés peuvent être atteintes. Ceci est au moins valable pour les trois sortes d'enrobés du groupe «enrobés bitumineux AC» AC 11 S, AC T 22 S et AC EME 22 C2 ainsi que pour les granulats minéraux et les granulats d'agrégats d'enrobés RAP1 0/11 et RAP2 11/22 utilisés. Les résultats du présent travail de recherche doivent encore être confirmés dans la pratique, ce qui implique obligatoirement des essais in situ. Des réserves doivent être émises pour les sortes d'enrobés à granulométrie discontinue pour couches de roulement (SMA, PA, AC MR, SDA) et celles devant répondre à des exigences élevées, par exemple en ce qui concerne leur qualité antidérapante et les autres propriétés des granulats minéraux ainsi que pour les sortes d'enrobés avec des bitumes spéciaux (bitumes-polymères). Ces sortes d'enrobés n'étaient pas l'objet de ce projet.

Les enrobés bitumineux AC pour les couches de fondation et les couches de base qui sont posées en des fortes épaisseurs sont idéaux pour l'incorporation de forts pourcentages de RAP. Les exigences lors de la production d'enrobés renfermant du RAP, et plus particulièrement pour les fortes teneurs en RAP, vont dans un ordre croissant, en fonction des sollicitations par le trafic et le climat, pour les types d'enrobés L, N, S et H. Les enrobés à base de bitumes durs se prêtent aussi idéalement à une incorporation élevée de RAP. Un enrobé AC EME 22 C2 a aussi été inclus dans cette étude et s'est révélé apte à supporter de forts pourcentages de RAP. L'utilisation de forts pourcentages de RAP ne devrait guère valoir la peine pour les sortes d'enrobés à granulométrie très fine tels que les enrobés AC 4 et AC 8 car il faudrait pour cela produire des RAP 0/4 et RAP 0/8. De plus les quantités utilisées de ces enrobés sont faibles du fait de leurs faibles épaisseurs de pose.

Le pourcentage optimal de RAP n'est pas forcément le pourcentage maximum possible. Le coût de la mise à disposition du RAP nécessaire augmente avec l'accroissement des exigences posées aux enrobés et en augmente ainsi le prix. Avec une passation des marchés réglée par les prix, un enrobé avec une teneur très élevée en RAP peut éventuellement, suivant la sorte, ne plus être concurrentiel. Il est donc nécessaire de faire intervenir ici une réflexion macroéconomique incluant les bénéfices socio-économiques et la préservation des ressources qui découlent du recyclage de grandes quantités d'agrégats d'enrobés.

Summary

The research package “Recycling of Reclaimed Asphalt in Hot Mixes”, comprising five individual projects, is intended to promote the optimal and highest possible reuse of reclaimed asphalt in bituminous pavements. The present report on the individual project EP1 primarily serves to clarify whether and in which cases the highest possible percentage of reclaimed asphalt, in the form of recycling asphalt pavement RAP, can be used in the production of various types of asphalt mixtures without significantly affecting its quality. Good-quality pavement should be achieved both with and without RAP in the mixture.

The research has been focused on three different asphalt types of the group “asphalt concrete AC”: AC 11 S (target bitumen 70/100), AC T 22 S (target bitumen 50/70) and AC EME 22 C2 (target bitumen 10/20). A total of 16 mixtures with different RAP contents were prepared in the laboratory mixer of Empa (Swiss Federal Laboratories for Materials Science & Technology). The extensive tests carried out on these mixtures showed that the use of RAP, even at very high percentages of up to 80% RAP, does not negatively influence the quality of newly prepared asphalt mixtures. Hence, it can be concluded that this applies as well for mixtures with up to 100% RAP, provided the required target mix is achieved. In addition, the assessment of the long term behaviour has to be considered which is covered in project EP4 “Assessment of Durability of Pavements with Reclaimed Asphalt” [1].

Regarding the quality of the mixture, in principle up to 100% RAP can be used in the preparation of mixtures. However, there are requirements which limit the content of recycling asphalt pavement RAP. These are mainly the following three:

- Depending on the grading curve of the RAP and the virgin aggregates, the target values for grading may no longer be achieved with high percentages of RAP. In this project, this was the case with the mixture AC 11 S with more than 70% RAP1 0/11.
- With the exception of AC EME mixtures, the use of a rejuvenator is required due to the relatively hard binder in RAP1 and RAP2, if the RAP content exceeds 60 to 70%.
- Heating of the RAP for hot mix production in asphalt plants with a conventional recycling drum is limited to about 135°C and is not possible in plants without a recycling drum. In the cold or batch process, the RAP is added at ambient temperature between 5 and 30°C, depending on the time of year. In the hot process, the RAP is heated additionally, and in the cold process, it is mainly heated indirectly by the hot mineral aggregates, which consequently must be heated to a higher temperature. Hence, the maximum RAP content is limited by the maximum possible mineral temperatures at which no damage is caused to the binder. These limitations do not apply to new 100%-recycling asphalt plants heating the RAP more gently to the required mixture temperature.

The quality of RAP mixtures produced by the cold or batch process is identical to those produced by the warm process, as shown in the results of the comparative mixture study of AC 11 S with 20% RAP1. However, in the cold or batch process, the possible RAP content is significantly lower (maximum 20 to 30%) than in the warm process, where a maximum of 60 to 70% RAP can be added.

The quality of the RAP is crucial when high percentage of reclaimed asphalt is used. The higher the RAP content and the higher the requirements for the mixture, the stricter the requirements are for quality and homogeneity of the RAP. All mixture types must meet the applicable requirements, even with high RAP content. This means that the requirements for handling RAP must also be very high. Thus it might be advantageous to produce RAP in various quality levels and to store these separately, in order to be able to produce different types of mixtures. In addition, the maximum possible RAP content can usually be significantly increased by appropriate fractionation of the RAP. In that way, the desired grading can be better achieved.

Based on the laboratory tests conducted, in principle there are no limitations on the use of high percentages of RAP, provided the quality and homogeneity of the RAP is ensured and the standard requirements for the mixture sorts and types can be met. This is the case at least for the three mixture varieties of the group "asphalt concrete AC", used in the project, AC 11 S, AC T 22 S, and AC EME 22 C2, as well as for the mineral materials and recycling asphalt pavement RAP1 0/11 and RAP2 11/22 used in the project. However, the findings of this present study have to be confirmed in practice, mandatory requiring field tests. Reservations have to be addressed to gap graded mixtures (SMA, PA, AC MR, SDA) for surface courses, to mixtures for surface courses with increased demands in terms of skid resistance and the other aggregate properties and to mixtures containing special bitumen (polymer bitumen). These mixture types were outside the scope of this project.

Mixtures with high percentages of RAP are beneficial for base and sub base courses placed in thick layers and therefore are able to accommodate high RAP amounts. The requirements for the production of mixtures with RAP, especially with high RAP content, increase with the mixture types L, N, S, and H depending on the level of exposure to traffic and climate. High RAP content is also ideal for mixtures with hard bitumen. A AC EME 22 C2 has been included in the present study and proved to be suitable for high RAP content. The use of high percentages of RAP in very fine-grained mixture types like AC 4 and AC 8 is hardly worthwhile. First because special RAP 0/4 and RAP 0/8 must be produced and second, because of the small mix quantities which are used for thin pavement layers.

As a conclusion, the optimal RAP content is not necessarily identical with the highest possible content. With increasing requirements on the mixture type, the costs for pre-processing of the RAP increase, resulting in higher asphalt mix prices. Thus, for contracts awarded solely based on price, mixtures with a very high RAP content may no longer be competitive. For this reason, macroeconomic considerations, the economic benefits of recycling large amounts of reclaimed asphalt and the conservation of natural resources of virgin materials should also be considered.

1 Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Das Recycling von Asphalt aus Strassen hat vor über 25 Jahren begonnen. Obwohl für die Produktion von verschiedenen Asphaltarten nach Schweizer Normen [2] bereits heute teilweise grosse Anteile an Ausbauphosphalt verwendet werden dürfen, wird dies oft wenig oder gar nicht ausgenutzt. Die Akzeptanz für die Verwendung von Ausbauphosphalt ist teilweise noch ungenügend. Auf der einen Seite steht die Forderung, möglichst allen Ausbauphosphalt wieder in den Stoffkreislauf einzuführen, da der Überschuss an diesem Material fortlaufend wächst und zu einem ernsthaften Problem wird. Auf der anderen Seite ist es wichtig, dass die Strassenbeläge mit Recyclingbaustoffen eine möglichst lange Lebensdauer erreichen, vergleichbar mit den recyclingfreien Belägen.

Mit steigender Sensibilisierung für Nachhaltigkeits- und Umweltthemen bei gleichzeitig zunehmendem Einsatz neuer Materialien und Mischgutsorten hat die Frage des Recyclings von Strassenaufbruch erheblich an Aktualität und Bedeutung gewonnen. Zudem ermöglicht die neuste Generation von Recycling-Mischanlagen die Verwendung von bis zu 100% Ausbauphosphalt. Aufgrund der Komplexität der Thematik und der bereits vorhandenen breiten Erfahrungen sowie der vielfältigen Praxis des Recyclings von Heissmischgut haben die Fachkommissionen FK4 und FK5 ein Initialprojekt veranlasst, das durch die Empa Dübendorf im Jahr 2006 erarbeitet wurde [3].

Die optimale und möglichst vollständige Wiederverwendung von Ausbauphosphalt in bituminösen Strassenbelägen ist das Hauptziel des Forschungspaketes mit der Umschreibung „Recycling von Ausbauphosphalt in Heissmischgut“. Das im Rahmen des Initialprojektes erarbeitete Forschungspaket umfasst fünf Einzelprojekte.

VSS 2005/452 EP1: Optimaler Anteil an Ausbauphosphalt

VSS 2005/453 EP2: Mehrfachrecycling von Strassenbelägen [4]

VSS 2005/454 EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung [5]

VSS 2005/455 EP4: Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Strassenbelägen mit Ausbauphosphalt [1]

VSS 2005/456 EP5: Mischgutoptimierung von Recyclingbelägen [6]

Beim vorliegenden Forschungsprojekt handelt es sich um das Einzelprojekt EP1: Optimaler Anteil an Ausbauphosphalt.

Das Forschungspaket wird gemäss Initialprojekt ergänzt durch ein In-Situ-Validierungsprojekt VP6. Dieses VP6 hat zum Inhalt und Ziel: Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit der im Labor optimierten Mischungen gemäss Resultaten und Erkenntnissen von EP1, EP4 und EP5 im Massstab 1:1 unter Verkehrs- und Klimabeanpruchung. Beurteilung und Untersuchung des Verhaltens von verschiedenen RAP-haltigen Strassenbelägen mittels beschleunigter Verkehrssimulation.

1.2 Stand der Forschung

Im Initialprojekt wurde der Stand der Forschung mit einer Standortbestimmung und Literaturübersicht erstellt [3]. Wichtige Literaturen wurden darin zusammengefasst. Deshalb beschränkt sich die Literaturübersicht in diesem Bericht auf Untersuchungen mit höheren RAP-Anteilen. Interessanterweise sind vor allem Publikationen mit bis zu 50% Recyclinganteilen oder dann mit 100%-RAP-Anteil zu finden. Der Bereich zwischen 50 und 90% ist kaum untersucht worden. Die Erfahrungen mit höheren Anteilen an RAP (bis ca.

50%) sind überwiegend positiv, sowohl in Laboruntersuchungen als auch in Feldstudien [7], [8], [9]. In einer Untersuchung an identischen Mischungen mit 50% RAP und ohne RAP hat das recyclinghaltige Mischgut schlechtere Resultate erbracht, was auf eine ungenügende Vermischung des neuen und alten Bindemittels zurückgeführt wurde [10]. In der Regel wurden das Ermüdungsverhalten, die bleibende Verformung und die Steifigkeit untersucht, in einigen Fällen auch das Kälteverhalten und die Wasserempfindlichkeit. Bei RAP-Zugaben bis 30% wurde kein Unterschied im Kälteverhalten festgestellt [11]. Viele Forschungsgruppen haben sich in den letzten Jahren mit der Frage beschäftigt, in wie weit sich das alte Bitumen des RAP mit dem neuen Zugabebindemittel vermischt [12], [13]. Dies wird beispielsweise durch eine progressive Extraktion des Bindemittels durchgeführt, bei der das extrahierte Bindemittel zu unterschiedlichen Zeitpunkten untersucht wird mittels Infrarotspektroskopie, Erweichungspunkt Ring und Kugel oder anderen Prüfmethoden [14]. Diese Methode basiert auf der Annahme, dass sich das Bindemittel ähnlich einer Zwiebel Schicht um Schicht ablöst. In den meisten dieser Untersuchungen war die Schlussfolgerung, dass sich das alte und neue Bindemittel nur schlecht vermischt. Diese Annahme der zwiebelartigen Ablösung des Bitumens ist aber umstritten, da die Extraktion stark von Zugänglichkeit des Bindemittels abhängt und die Annahme, dass das RAP in Form von einzelnen Kugeln vorliegt, stark vereinfacht ist. Andere Resultate, die auf der Untersuchung von Prüfkörpern beruhen, wie beispielsweise dem Verhältnis des dynamischen Moduls von Mischgut und extrahiertem Bindemittel, zeigen weit höhere Vermischungen von 70-90% [11], [13].

Verjüngungsmittel sind ein wichtiges Thema, wenn die Recyclingrate hoch ist, insbesondere bei 100% Recycling. Die Vielfalt der eingesetzten Verjüngungsmittel ist gross, jedoch aber in der Regel regional stark begrenzt. In der Schweiz gibt es im Moment nur zwei bekannte Anbieter und drei verschiedene Verjüngungsmittel auf dem Markt. Mit zunehmender Nachfrage wird sich dies jedoch sicherlich schnell ändern. Die Verjüngungsmittel (engl. Rejuvenators) lassen sich grob in drei Klassen einteilen: erdölstämmige, vegetabile und andere Verjüngungsmittel [15]. Die Viskosität ist dabei recht unterschiedlich und dementsprechend die Dosierung. Eine Validierung von Verjüngungsmitteln ist schwierig, da nicht alleine die Viskosität ausschlaggebend ist, sondern auch die Kompatibilität mit dem Bitumen. Bei den erdölstämmigen ist dies weniger ein Thema als bei den vegetabilen Verbindungen, die im Bitumen nicht enthalten sind und als Fremdkörper agieren können.

1.3 Projekt und Forschungsziele

Das Projekt dient der Abklärung, ob und in welchen Fällen Ausbausphalt in möglichst grossen Anteilen bei der Produktion von verschiedenen Mischgutsorten eingesetzt werden kann, ohne dass die Qualität des Mischgutes beeinträchtigt wird und eine hohe Belagsqualität erreicht werden kann. Der Zweck des Projektes liegt auch im ökologisch-gesellschaftlichen Bedürfnis, im Sinne der Nachhaltigkeit möglichst stabile geschlossene Stoffkreisläufe zu erreichen.

Insbesondere folgende Problempunkte sollen daher als Forschungsziele in diesem EP1 untersucht werden:

- Bestimmung des optimalen Anteils an Ausbausphalt für verschiedene Mischgutsorten und -typen. Insbesondere sind auch Aussagen über die Verwendung in Deckschichten und in EME-Belägen zu erarbeiten
- Variation des Anteils an Ausbausphalt zwischen 0 und >80% mit Beurteilung der Mischgutqualität. Der Ausbausphalt wird in der Folge meist bezeichnet als Recycling-Asphalt-Granulat RAP
- Einfluss von zwei verschiedenen Recycling-Körnungen, beispielsweise 0/11 und 11/22
- Vergleichende Untersuchung und Beurteilung der Zugabe von Ausbausphalt im Paralleltrommel- und im Batchverfahren (Warm-/Kaltzugabe)

Projektgemäss wurden die einzelnen Mischgutsorten im Labor hergestellt.

Kein Thema dieses Forschungspaketes sind Polymermodifizierte Bitumen (PmB). Diese sind zum heutigen Zeitpunkt im Ausbauasphalt praktisch noch nicht enthalten. Bei neu herzustellendem PmB-Mischgut mit verschiedenen und insbesondere mit hohen Anteilen an RAP müsste entsprechend PmB in der Anlage separat und in verschiedensten Mengen zudosiert sowie homogen vermischt werden können.

2 Materialien

2.1 Ausgangsmaterialien

Die Mineralstoffe und die Recycling-Asphalt-Granulate RAP A 0/11 und RAP A 11/22 wurden von der BERAG Belagslieferwerk Rubigen AG aufbereitet und zur Verfügung gestellt:

Abb. 2.1 Ausgangsmaterialien

Code	Beschreibung
Min1	Füller BERAG
Min2	Mineralstoffe BERAG Fraktion 0/2
Min3	Mineralstoffe BERAG Fraktion 2/4
Min4	Mineralstoffe BERAG Fraktion 4/8
Min5	Mineralstoffe BERAG Fraktion 8/11
Min6	Mineralstoffe BERAG Fraktion 11/16
Min7	Mineralstoffe BERAG Fraktion 16/22
Rap1	Recycling-Asphalt-Granulat RAP A 0/11
Rap2	Recycling-Asphalt-Granulat RAP A 11/22
Bit1	Bitumen 160/220
Bit2	Bitumen 70/100
Bit3	Bitumen 10/20
Bit4	Bitumen 50/70
V1	Verjüngungsmittel
V2	Verjüngungsmittel

Der Firmenstandort der BERAG wie auch die Provenienz der Mineralstoffe ist Rubigen im schweizerischen Mittelland, in der Nähe von Bern. Die Mineralstoffe stammen aus der Kiesgrube Schwarzbach. Diese gewährt Einblicke in die eiszeitliche Vergangenheit. Man kann von oben nach unten verschiedene typische Schichten beobachten: gewachsener Boden in kleiner Dicke von etwa 1 m, Grundmoräne von 3 bis 15 m Dicke, Schotter-schicht mit etwa 30 m Mächtigkeit – der abgebaute Rohstoff für die Asphaltproduktion – und feinkörnige Seetone.

Schotter und Grundmoräne stammen aus einem Zyklus der letzten Eiszeit. Der Aaregletscher hat die Sedimente der Grundmoräne bei seinem vorläufig letzten Vorstoss vor etwa 20 000 Jahren abgelagert. Der Schotter ist aber nicht das Produkt des Gletschers selbst, sondern seiner Schmelzwasserflüsse im Gletschervorfeld. Erst nach der Aufschotterung ist der Gletscher über sein eigenes Vorfeld vorgestossen und hat beim Rückzug das Moränematerial liegen gelassen. Das Moränematerial wird ebenfalls abgebaut, aber anderweitig verwendet.

2.2 Charakterisierung der Gesteinskörnungen

Der Füller und die Mineralstoffe weisen folgende Korngrößenverteilungen auf.

Abb. 2.2 Mineralstoffe, Ergebnisse der Korngrößenverteilungen

Code	Min1	Min2	Min3	Min4	Min5	Min6	Min7
Fraktion	Füller	0/2	2/4	4/8	8/11	11/16	16/22
Prüfsieb [mm]	Siebdurchgang [Masse-%]						
22.4							100
16.0					100	97	18
11.2				100	85	18	2
8.0				90	10	3	1
5.6			100	32	2	2	1
4.0		100	90	3	2	1	1
2.0		90	4	0.7	1.4	0.8	0.5
1.0		63	1	0.6	1.1	0.8	0.5
0.5		41	1	0.6	1.0	0.7	0.5
0.25	100	19	1	0.6	0.8	0.7	0.5
0.125	98	9	1	0.6	0.7	0.7	0.5
0.063	80	8	1	0.5	0.6	0.6	0.5

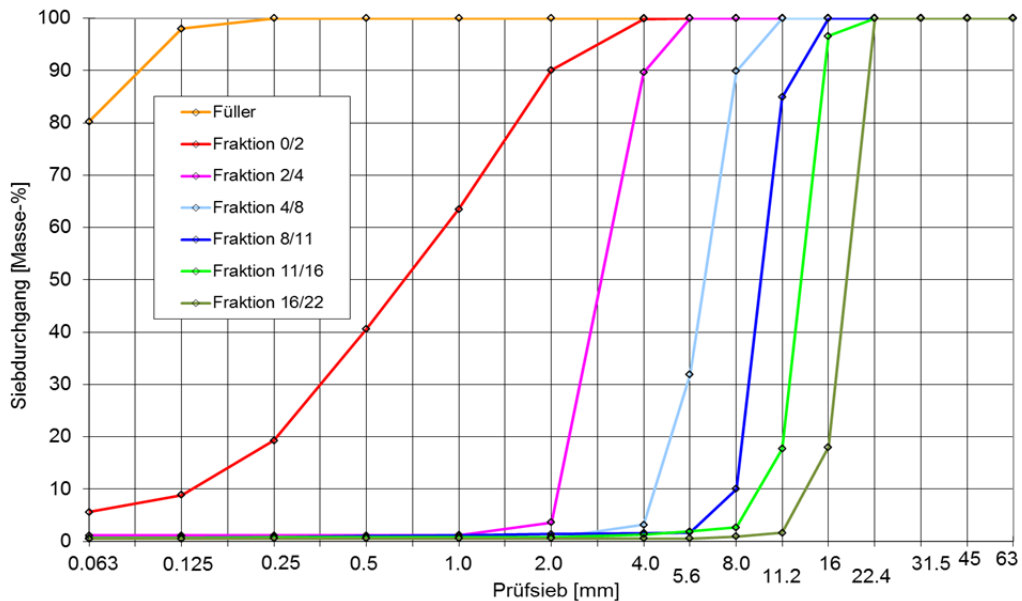


Abb. 2.3 Mineralstoffe, graphische Darstellung der Korngrößenverteilungen

2.3 Charakterisierung der Ausbausphalte RAP

Die beiden Ausbausphalte RAP A 0/11 und RAP A 11/22 wurden in der BERAG Belagslieferwerk Rubigen AG bezogen.

Die Recycling-Asphalt-Granulate RAP werden in der BERAG, wie für die Verwendung in der Mischgutproduktion üblich, durch Brechen und durch wiederholtes Mischen möglichst homogen hergestellt und in die zwei Fraktionen RAP A 0/11 und RAP A 11/22 aufgeteilt und separat gelagert. Die Ausbausphalte stammen grösstenteils aus Strassenbelägen, die in einem Umkreis von etwa 30 km vom Belagslieferwerk in Rubigen, in der Nähe von Bern, ausgebaut wurden.

Im Folgenden werden für diese beiden Ausbausphalte oft die Kurzbezeichnungen verwendet:

- RAP1 für Recycling-Asphalt-Granulat RAP A 0/11
- RAP2 für Recycling-Asphalt-Granulat RAP A 11/22.

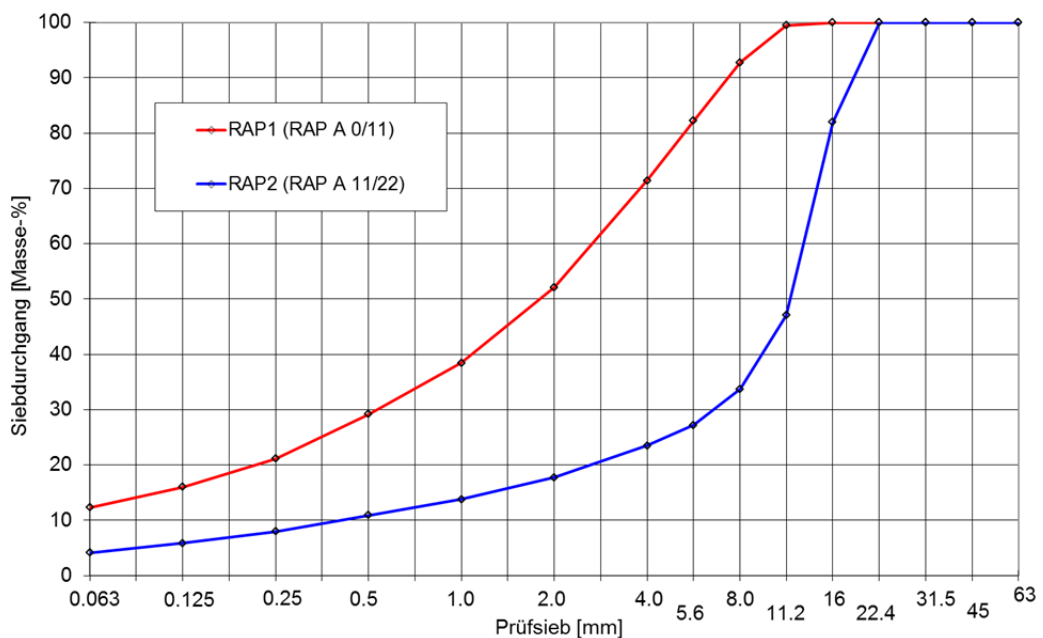


Abb. 2.4 RAP, graphische Darstellung der Korngrössenverteilungen nach der Extraktion

Abb. 2.5 Recycling-Asphalt-Granulate RAP (Ausbauasphalte)

Code		RAP1	RAP2
Ausbauasphalt		RAP A 0/11	RAP A 11/22
Wassergehalt	Masse-%	1.61	0.35
Bindemittelgehalt	Masse-%	6.00	3.00
Rohdichte	kg/m ³	2406	2587
Korngrößenverteilung	Masse-%		
Prüfsieb [mm]			
22.4			100
16.0		100	82
11.2		99	47
8.0		93	34
5.6		82	27
4.0		71	24
2.0		52	18
1.0		38	14
0.5		29	11
0.25		21	8
0.125		16	6
0.063		12	4
Rückgewonnenes Bindemittel			
Penetration	0.1 mm	28	34
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	60.6	57.8
Penetrationsindex	-	-0.2	-0.3
Oberflächen der Gesteinskörnungen (Mittelwerte)*			
Anteil vollständig und teilweise gebrochene Körner	Masse-%	75	75
Anteil vollständig gerundete Körner	Masse-%	10	7
Kategorie C nach SN 670 103b-NA		C _{70/10}	C _{70/10}

* Bestimmt durch das LAVOC im Teilprojekt VSS 2005/456 EP5: Mischgutoptimierung von Recyclingbelägen [6]

Homogenität des RAP

Im Labormischer werden gegenüber im Mischer einer Aufbereitungsanlage nur kleine Chargen hergestellt. Total 7 Proben RAP2, die für Labormischungen vorgesehen waren, wurden untersucht, eine bei der Eingangskontrolle durch die Empa, 6 zusätzliche zu einem späteren Zeitpunkt durch die Tecnotest AG anlässlich der Herstellung der Mischgut im Labor.

Diese Kontrollen an RAP2 haben aufgezeigt, dass die Streuungen in der Zusammensetzung gross sind, obwohl das RAP mittels Probeteiler sorgfältig auf 30 kg Chargen geteilt wurde. Insbesondere trifft dies in der Korngrössenverteilung und im Bindemittelgehalt zu, deutlich weniger jedoch in den Bindemittleigenschaften. Es ist anzunehmen, dass die Streuungen in den RAP1- und RAP2-Anteilen eine wesentliche Ursache für die grosse Anzahl an Fehlmischungen beim Herstellen der Labormischungen gewesen sein dürften.

Abb. 2.6 Recycling-Asphalt-Granulate RAP2, Kontrollen von Laborproben

Probe		1	2	3	4	5	6	Mittel	Eing*
Ausbauasphalt RAP2		11/22	11/22	11/22	11/22	11/22	11/22	11/22	11/22
Bindemittelgehalt	Masse-%	2.74	2.86	3.26	2.90	2.85	2.67	2.88	3.00
Korngrössenverteilung	Masse-%								
Prüfsieb [mm]									
22.4		99.1	98.9	100.0	99.2	99.3	100.0	99.4	100
16.0		81.3	73.2	91.8	77.6	83.7	89.2	82.8	82
11.2		44.4	42.9	65.0	45.8	48.6	48.9	49.3	47
8.0		33.7	32.9	48.2	35.8	35.4	33.3	36.9	34
5.6		29.1	28.2	39.7	30.2	29.9	27.5	30.8	27
4.0		25.5	24.0	34.3	26.2	26.0	23.7	26.7	24
2.0		19.3	18.7	26.7	20.0	19.9	18.3	20.5	18
1.0		14.6	14.1	21.7	15.2	15.2	14.3	15.9	14
0.5		11.0	10.6	17.5	11.5	11.8	11.2	12.3	11
0.25		8.0	7.4	12.4	8.3	8.5	8.1	8.8	8
0.125		5.6	5.1	8.0	5.9	5.7	5.4	6.0	6
0.063		4.0	3.5	5.2	4.3	4.2	3.8	4.2	4
Rückgewonnenes Bindemittel									
Penetration	0.1 mm		24			20	23	22	34
Erweichungspkt. Ring und Kugel	°C		61.2			62.2	62.6	62.0	57.8
Penetrationsindex	-		-0.3			-0.5	-0.2	-0.3	-0.3
Eing* = Eingangsprüfung	6 Kontrollen:		Minimaler Wert				Maximaler Wert		

2.4 Charakterisierung der Bitumen und Verjüngungsmittel

Die Bitumen und die Verjüngungsmittel wurden von verschiedenen Lieferanten bezogen.

Verschiedene, zunehmend weiche Bitumen bis hin zu Verjüngungsmittel waren erforderlich um die Mischgutsorten mit hohen Recycling-Anteilen in der jeweils angestrebten resultierenden Bindemittelsorte herstellen zu können.

Bitumen

Folgende vier Bitumen fanden Verwendung. Das Bitumen 10/20 wurde ausschliesslich für die Mischgutsorte AC EME 22 C2 eingesetzt:

Abb. 2.7 Bitumen

Code		Bit1	Bit2	Bit4	Bit3
Bitumensorte [16], [17]		180/220	70/100	50/70	10/20
Bitumen im Anlieferungszustand					
Penetration [18]	0.1 mm	184	76	50	18
Erweichungspunkt Ring und Kugel [19]	°C	39.8	46.8	49.4	69.2
Penetrationsindex [16]	-	-0.5	-1.0	-1.4	+0.5

Verjüngungsmittel

Verjüngungsmittel werden in der Schweiz bisher selten verwendet, dementsprechend sind sie nicht normiert und die Auswahl der angebotenen Produkte ist klein. Durch die alterungsbedingte Verhärtung des Bindemittels im Strassenbelag verändert sich die chemische Zusammensetzung des Bitumens. Insbesondere entsteht eine Verarmung der Maltenphase, die durch die Beigabe des Verjüngungsmittels wieder korrigiert werden soll [15].

Für die eingesetzten zwei Verjüngungsmittel V1 und V2 wurden mit dem „weichsten“ Bitumen 180/220 je Mischungen mit 2%, 4% und 6% hergestellt und geprüft. Die Wirkung der Verjüngung war bei V2 geringer, da dessen Viskosität auch höher lag als beim V1. Um eine erweiterte Verjüngung abschätzen zu können, wurde eine Mischung mit 8% V2 extrapoliert berechnet.

Verjüngungsmittel V1

Das Verjüngungsmittel V1 ist eine niederviskose Flüssigkeit mit nicht genau bekannter Zusammensetzung. Es enthält unter anderem Bitumen, sowie vegetabile (z.B. Leinöl, Rapsöl) und erdölstämmige niederviskose Öle.

Abb. 2.8 Verjüngungsmittel V1

Bitumen 180/220 mit Verjüngungsmittel V1		0 %	2 %	4 %	6 %
Prüfergebnisse an der Mischung					
Penetration	0.1 mm	183	251	338	460
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	41.0	38.4	34.9	32.2
Penetrationsindex	-	0.0	+04	+0.2	+1.2

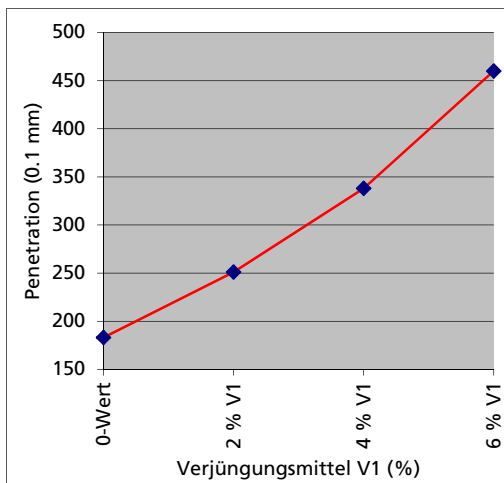


Abb. 2.9 Penetration (0.1 mm)

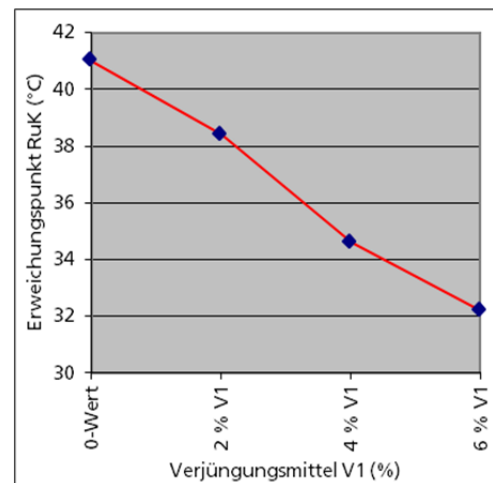


Abb. 2.10 Erweichungspunkt Ring und Kugel (°C)

Verjüngungsmittel V2

Das Verjüngungsmittel V2 ist eine niederviskose, honigartige Flüssigkeit hergestellt aus Abfallprodukten bei der Gewinnung von Cashewnüssen.

Abb. 2.11 Verjüngungsmittel V2

Bitumen 180/220 mit Verjüngungsmittel V2		0 %	2 %	4 %	6 %	8 %
Prüfergebnisse an der Mischung						
Penetration	0.1 mm	183	236	271	326	394*
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	41.0	38.6	37.0	35.4	33.4*
Penetrationsindex	-	0.0	+0.2	+0.1	+0.4	+0.6*

*Die Werte für 8% V2 sind extrapoliert

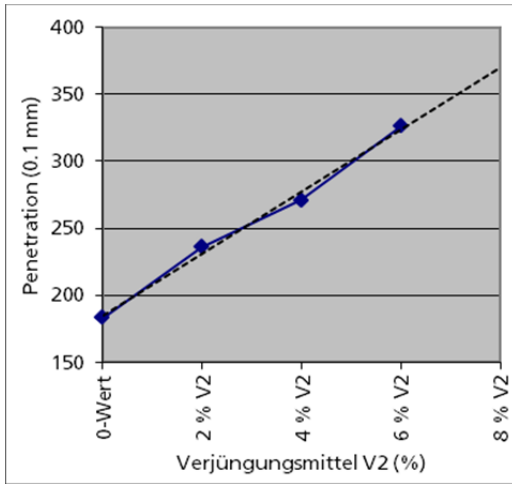


Abb. 2.12 Penetration (0.1 mm)
Wert bei 8% V2 ist extrapoliert

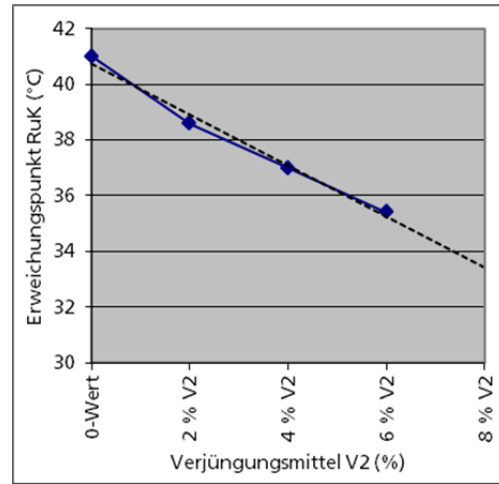


Abb. 2.13 Erweichungspunkt Ring und Kugel (°C)
Wert bei 8% V2 ist extrapoliert

3 Wahl der Mischgutsorten und Prüfungen

Gegenüber der Projekteingabe wurde der Prüfplan geändert.

Abb. 3.14 Prüfplan gemäss Projekteingabe

Forschung im Strassenwesen, Recycling von Ausbaus asphalt in Heissmischgut VSS 2005/452 Einzelprojekt EP1 Optimaler Anteil an Ausbaus asphalt: Prüfplan gemäss Ausschreibung		Stand 14.03.2007																		
Belagstyp	RAP-Anteile %	Berechnen der Rezepturen	Labormischung herstellen	Extraktion / Bindemittelgehalt / Siebanalyse	4 Marshall-Prüfkörper herstellen, Räumlichte	Marshallversuch	Rohdichte Mischgut im Pyknometer	Rohdichte Mischgut rechnerisch	Aufarbeiten von Bindemittel inkl. Rük und Fen	Alterung von Asphaltprokörpem, 120 h/85°C	Wasserempfindl. Zugversuch, inkl. 6 Marshall-Pk. herstellen	Steifigkeitsmodul 5°C gealtert, 3 Marshall-Pk.	Steifigkeitsmodul 22°C ungealtert, 3 M.-Pk.	Steifigkeitsmodul 22°C gealtert, 3 Marshall-Pk.	Steifigkeitsmodul 40°C ungealtert, 3 M.-Pk.	Spurrinntest	Biegeversuch Wöhler, rinnenverdichtung	Druckschwellversuch, inkl. Gyator-Pk.	Zugschwellversuch, inkl. Pk.	Dünnschliff
AC 11	0 20%/A 20%/A kalt 40%/A 40%/B 60%/A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AC MR 8	0 20%/A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ACT 22 S	0 40%/A 40%/B 60%/B 80%/B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AC EME 22	0 40%/A 40%/B 60%/B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AC B 16	0 40%/A 40%/B 60%/A 60%/B 80%/B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Total Anzahl	23	23	23	23	23	17	6	23	0	23	23	23	23	23	7	5	23	9	10
Labor: Prüfung durch T=Technost / E=EMPA		T	E+T	T	T	T	T	T	T	E+T	T	E	E	E	E	E	E	T+E	E	T
	1																			
	1																			
	1																			
	1																			

3.1 Änderungen gegenüber Prüfplan der Projekteingabe

Der ursprüngliche, bei der Projektvergabe festgelegte Prüfplan vom 29.10.2008 bzw. 14.03.2007 musste, in Absprache mit der Begleitkommission, teilweise geändert werden.

Änderungen betreffen, wie im Folgenden ausgeführt, Ausbausphal, Mischgutsorten und Prüfungen.

3.1.1 Ausbausphal

Die ursprünglich festgelegten zwei Ausbausphal A und B, die in der Zusammensetzung nicht genau definiert waren, wurden geändert in die zwei Fraktionen des Ausbausphaltes A:

- RAP1, Ausbausphal A 0/11
- RAP2, Ausbausphal A 11/22

Dabei bedeutet RAP die Abkürzung von Recycling-Ausbauasphal-Granulat

Für das Herstellen von „feinkörnigem“ Mischgut muss entsprechend „feinkörniger“ Ausbausphal verwendet werden. Somit kann für AC 11 S nur RAP1, Ausbausphal 0/11 eingesetzt werden. Sinngemäss erforderlich wären noch „feinkörnigere“ Ausbausphal für die Mischgut der Sorten 4 und 8.

Um einen möglichst gleichmässigen Ausbausphal zu erhalten, wird üblicherweise an einer Aufbereitungsanlage aus dem gesamten anfallenden Recyclingasphal durch gezieltes Brechen und Mischen „eine Sorte Ausbausphal RAP“ hergestellt. Dadurch werden, wie die Erfahrungen zeigen, genügend gleichmässige RAP erreicht, um die Mischgut-Rezepturen an den Anlagen jeweils über längere Perioden unverändert verwenden werden zu können. Wie ausgeführt kann es Sinn machen, um auch feinkörnigere Recyclingasphal herzustellen, den Ausbausphal RAP in verschiedene Fraktionen aufzuteilen.

Gelegentlich wird für grosse Baustellen, von denen grosse Mengen an bekanntem Recyclingmaterial anfallen, baustellenspezifisches RAP hergestellt. Mit entsprechenden Rezepturen wird dieser Ausbausphal in der Folge auf dieser Grossbaustelle wieder eingebaut.

3.1.2 Mischgutsorten

Mischgut AC 11, geändert in AC 11 S (Zielbitumen 70/100)

Da für das Herstellen des Mischgutes neben Ausbausphal gebrochene Mineralstoffe verwendet wurden, wird das Mischgut als AC 11 S bezeichnet.

Als Ausbausphal ist ausschliesslich RAP1, Körnung 0/11, verwendet.

Anstelle der geplanten 6 Mischungen sind folgende 7 Mischungen hergestellt und untersucht:

Geplant	Ausgeführt	
0%	0%	
20%/A	20%/RAP1	
20%/A kalt	20%/RAP1 kalt	
40%/A roter Faden	40%/RAP1 roter Faden	ab Anlage Berag
40%/B	40%/RAP1 roter Faden	EMPA-Labormischer
60%/A	60%/RAP1 + V1 Verjüngungsmittel	
	60%/RAP1 + V2 Verjüngungsmittel	

Mischgut AC MR 8 nicht hergestellt

Da Ausbausphalte eine gleichmässige Zusammensetzung nach dem Betonprinzip aufweisen, sind in Mischgutsorten mit Ausfallkörnungen, wie AC MR 8 und SMA 8, nur kleine Anteile und damit auch nur kleine Mengen an Ausbausphalt verwendbar.

Aus diesem Grunde und weil kein Ausbausphalt 0/8 vorliegt, wurde auf den Einbezug dieser Mischgutsorte AC MR 8 in diese Forschungsarbeit verzichtet.

Mischgut AC T 22 S (Zielbitumen 50/70)

Anstelle der geplanten 5 Mischungen wurden folgende 6 Mischungen hergestellt:

Geplant	Ausgeführt
0%	0%
40%/A	40%/RAP1
40%/B	40%/RAP2
	40%/RAP1+2, im Verhältnis 1:2
60%/B	60%/RAP1+2, im Verhältnis 1:2
80%/B	80%/RAP1+2, im Verhältnis 1:2 + V1 Verjüngungsmittel

Mischgut AC EME 22 präzisiert in AC EME 22 C2 (Zielbitumen 10/20), Tragschicht

Ursprünglich war vorgesehen Mischgut AC EME 22 C1, Binderschicht herzustellen.

Für die 4 geplanten Mischungen sind die Anteile an Ausbausphalt wie folgt geändert:

Geplant	Ausgeführt
0%	0%
	20%/RAP1+2, im Verhältnis 1:2
40%/A	
40%/B	
60%/B	60%/RAP1+2, im Verhältnis 1:2
	80%/RAP1+2, im Verhältnis 1:2

Mischgut AC B 16 S nicht hergestellt

Auf die Herstellung der geplanten 6 Mischungen AC B 16 S wurde verzichtet.

Verzichtet wurde, weil die 16er-Mischgutsorte nicht so häufig verwendet wird, wie die 22er-Sorte, sich diese beiden Sorten vom Konzept her wenig unterscheiden und beim 16er-Mischgut gegenüber dem 22er-Mischgut weniger Ausbausphalt verwendet werden kann.

3.1.3 Prüfungen**Alterung von Asphaltprobekörpern, 120 h/85°C [20]**

Ursprünglich war vorgesehen, einen Teil der Prüfungen an gealtertem Mischgut durchzuführen. Darauf wurde im EP1 verzichtet, weil im Projekt EP4 standardmässig diese Alterung und die entsprechenden Bestimmungen der Steifigkeitsmoduli durchgeführt werden. Dafür wurde im EP1 die Anzahl der Prüftemperaturen für die Bestimmung der Steifigkeitsmoduli an ungealterten Marshall-Prüfkörpern erhöht, wodurch das Temperaturverhalten des Mischgutes genauer bestimmt werden kann.

Steifigkeitsmodul [21]

Alle Bestimmungen des Steifigkeitsmoduls sind an ungealterten Marshall-Prüfkörpern durchgeführt. Die Temperaturen wurden geändert von 5, 22, 40 °C auf 5, 10, 20, 30 °C:

Geplant	Ausgeführt
5°C gealterte Marshall-Prüfkörper	5°C ungealterte Marshall-Prüfkörper
22°C ungealterte Marshall-Prüfkörper	10°C ungealterte Marshall-Prüfkörper
22°C gealterte Marshall-Prüfkörper	20°C ungealterte Marshall-Prüfkörper
40°C ungealterte Marshall-Prüfkörper	30°C ungealterte Marshall-Prüfkörper

Die Temperaturen wurden geändert, da die Modulbestimmung an den gealterten Prüfkörpern nicht durchgeführt wurde. Um einen möglichst breiten Temperaturbereich abzudecken, wurden die Prüftemperaturen regelmässiger zwischen 5 und 30°C verteilt. Bei 40°C waren die Prüfkörper schon so verformungsanfällig, dass die in der EN geforderte minimale Kraft von 500 N für die empfohlene horizontale Verformung von $5 \pm 2 \mu\text{m}$ mit 220 N deutlich unterschritten wurde. Im Fall des EME hingegen konnte die Prüfung bei 5°C nicht durchgeführt werden, da er zu steif war und zu hohe Kräfte für die geforderte Verformung benötigte.

Ermüdung mit Biegeversuch Wöhler: Vierpunktbiegung geändert in Spaltzug-Schwellversuch

Der Biegeversuch nach Wöhler war ursprünglich mit der Vierpunktbiegung an trapezoidalen Prüfkörpern geplant [22], hergestellt aus Prüfkörpern mit dem Spurrinnenverdichtungsgerät. Die Erfahrung hat aber gezeigt, dass die Ermittlung der Ermüdungseigenschaften mit dem Spaltzug-Schwellversuch die genaueren Resultate hervorbrachte [23]. Dies wurde anlässlich eines deutschen Ringversuches festgestellt, an dem die Empa neben einem weiteren Prüfinstitut aus der Schweiz, teilgenommen hat.

Die Prüfungen wurden an Marshall-Prüfkörpern durchgeführt. Die Prüfungen sind jetzt bezeichnet als „Ermüdung bei 20°C mit Spaltzug-Schwellversuch“.

Druckschwellversuch an Marshall-Prüfkörpern, nicht an Gyrator-Prüfkörpern

Da nach dem aktuellen Forschungsprojekt VSS 2005/504, „Druckschwellversuch zur Beurteilung des Verformungsverhaltens von Belägen“ [24], der bei der IMP durchgeführt wird, die Prüfungen mit Seitendruck gemäss EN-Norm keine brauchbaren Ergebnisse liefern, wurde nach folgender, in der Schweiz häufig eingesetzten deutschen Vorschrift geprüft:

Druckschwellversuche nach TP Asphalt-StB, Ausgabe 2010 [25].

Pro Prüfung wurden 3 Marshall-Prüfkörper (geschliffen) mit Oberspannung 0,35 MPa für „besondere Beanspruchung“ geprüft (0,20 MPa für „normale Beanspruchung“ gibt es in dieser Ausgabe nicht mehr). Da gemäss deutscher Norm alle Prüfungen an Prüfkörpern mit einem Durchmesser von 100 mm durchgeführt werden, wurden anstelle der Gyratorprüfkörper Marshall-Prüfkörper verwendet.

Zugschwellversuch als indirekter Zugversuch bei -10°C an Marshall-Prüfkörpern

Bei der Evaluation des Zugschwellversuches respektive des einachsigen zyklischen Zugversuches (UCTST) gemäss EN 12697-46 [26] zeigte sich, dass dieser alleine nicht aussagekräftig ist für die Beurteilung der Tieftemperatureigenschaften. Gemäss Norm müssen zusätzlich zum Spaltzugschwellversuch auch der direkte Zugversuch (UTST) und der Abkühlversuch (TSRST) durchgeführt werden. Diese sind aber aus prüftechnischen Gründen an der Empa nicht möglich. Aus diesem Grunde wurde für die Tieftemperatureigenschaften der indirekte Zugversuch (ITS) bei -10°C [27] eingesetzt.

Keine Dünnschliffversuche

Dünnschliffversuche wurden nicht durchgeführt. Diese Prüfung war vorgesehen, um eventuelle ungenügende Vermischungen der Bindemittel aus den Recycling-Asphalt-Granulaten RAP1 und RAP2 und den neu zugegebenen Bindemitteln festzustellen.

Die sehr umfangreichen Prüfungen an den im Labor hergestellten Mischgut der Sorten AC 11 S, AC T 22 S und AC EME 22 C2 haben gezeigt, dass RAP auch in sehr hohen Anteilen von bis zu 80% RAP, die Qualität gegenüber Mischgut ohne RAP nicht nachteilig beeinflusst. Es kann gefolgert werden, dass gute Vermischungen der Bindemittel „alt und neu“ in den Labormischungen erzielt wurden.

3.2 Begrenzung der RAP-Anteile bei der Mischgutaufbereitung

Bei der Mischgutaufbereitung mit Recycling-Ausbauasphalt-Granulaten RAP gibt es folgende Einflüsse, welche die RAP-Anteile begrenzen:

- Korngrößenverteilungen von RAP und „neuen“ Mineralstoffen
- Bindemittelgehalt im RAP
- Bindemittleigenschaften im RAP, Zugabe von Verjüngungsmittel
- Temperaturen bei der Mischgutherstellung, Erwärmung des RAP

3.2.1 Korngrößenverteilung von RAP und „neuen“ Mineralstoffen

Für die einzelnen Mischgutsorten sind die maximal möglichen Anteile an Ausbausphalt, mit denen vorgegebene „übliche Mischungen“ hergestellt werden können, verschieden gross. Zur Verfügung stand ein Ausbausphalt, der in die beiden Fraktionen 0/11 (RAP1) und 11/22 (RAP2) ausgesiebt war.

Beispielsweise kann für einen feinen Belag kein grobes RAP eingesetzt werden und umgekehrt fehlen bei einem Belag mit 22 mm Nominalkorn die gröberen Fraktionen, wenn zu feines RAP verwendet wird. Extrahiert enthält der Ausbausphalt 11/22 etwa 50 Masse-% Mineralstoffe mit Korngrösse < 11 mm. Der Durchgang beim Prüfsieb 2,0 mm beträgt beispielsweise etwa 20 Masse-%.

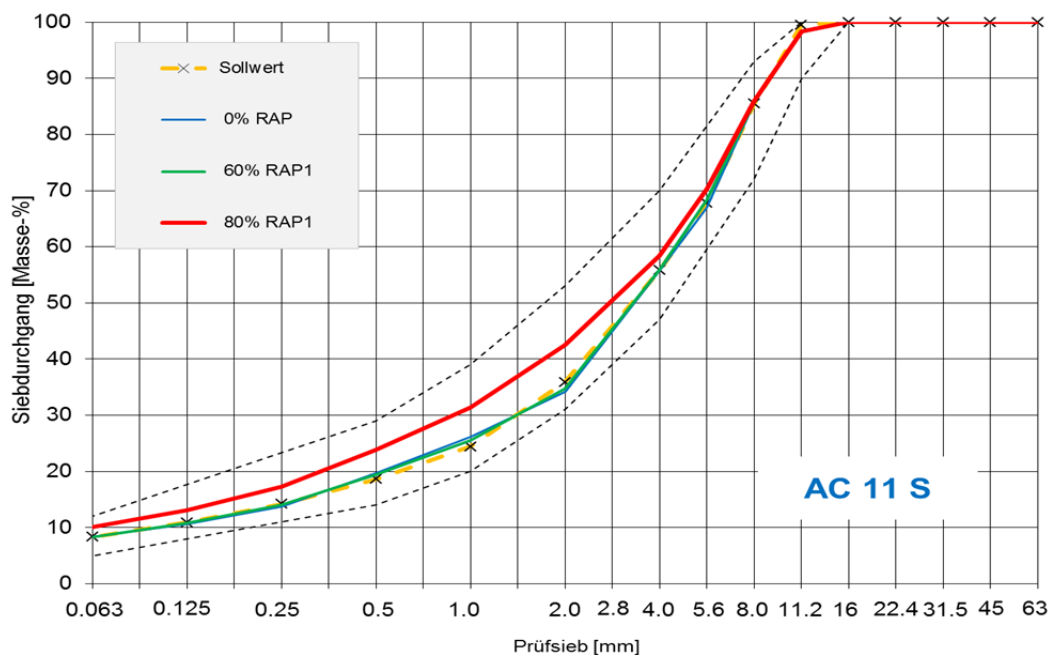


Abb. 3.16 Maximal mögliche Recyclinganteile für AC 11 S

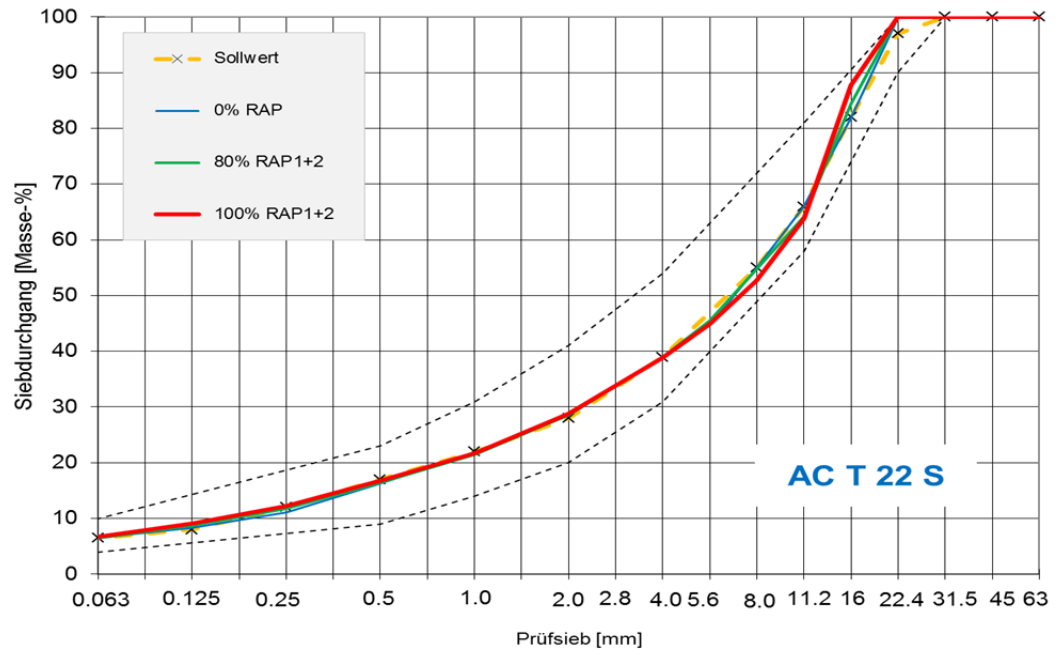


Abb. 3.17 Maximal mögliche Recyclinganteile für AC T 22 S

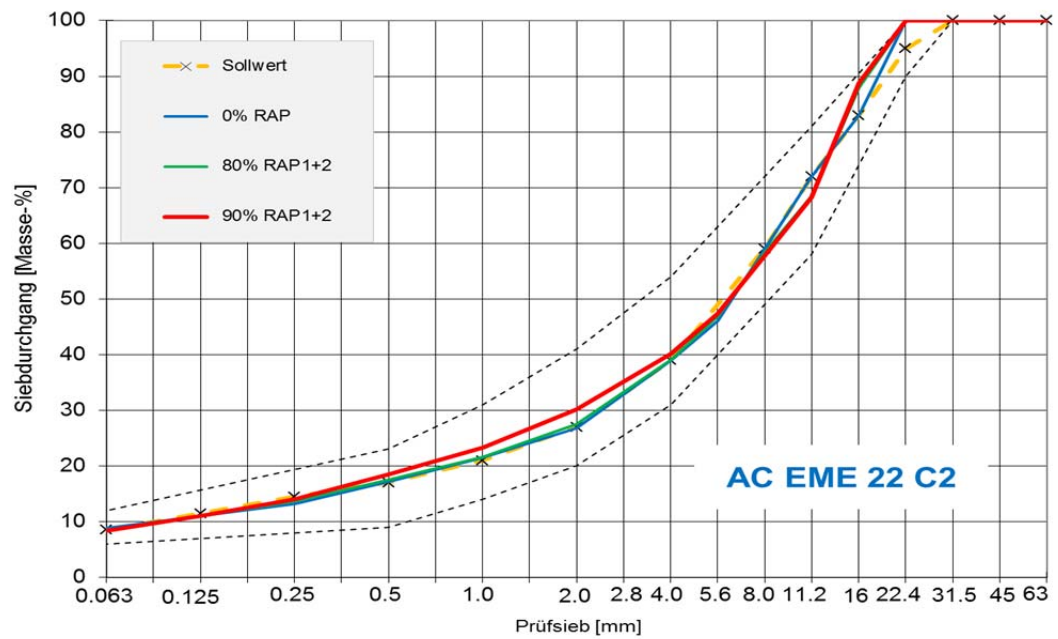


Abb. 3.18 Maximal mögliche Recyclinganteile für AC EME 22 C2

Begrenzung

Mit den für den Forschungsprojekt ausgewählten Mineralstoffen und Ausbausphalten sind für die festgelegten Mischgutsorten folgende, maximale Anteile an Recycling-Asphalt-Granulat RAP verwendbar:

- Mischgut AC 11 S 70 Masse-% RAP1 0/11
- Mischgut AC T 22 S 100 Masse-% RAP1 0/11 und RAP2 11/22 gemischt 1:2
- Mischgut AC EME 22 C2 90 Masse-% RAP1 0/11 und RAP2 11/22 gemischt 1:2

3.2.2 Bindemittelgehalt im RAP

Die Recycling-Ausbauasphalt-Granulate RAP haben in der Regel kleine Bindemittelgehalte. Diese werden meist aus verschiedensten Ausbausphalten, aus Fundations-, Trag-, Binder- und Deckschichten, hergestellt. Teilweise enthält der Ausbausphalt auch Anteile an Kiessand ohne Bindemittel aus der Foundation. In diesen Fällen muss auch bei hohen Anteilen an RAP bei der Mischgutherstellung Zugabebindemittel dosiert werden.

Wird RAP mit „hohem“ Bindemittelgehalt verwendet, können nur Mischgut mit entsprechend höheren Bindemittelgehalten hergestellt werden.

Begrenzung

Der Bindemittelgehalt des RAP muss kleiner sein als der Bindemittelgehalt des zu produzierenden Mischgutes.

3.2.3 Bindemittelleigenschaften im RAP, Zugabe von Verjüngungsmittel

Die Recycling-Ausbauasphalt-Granulate RAP enthalten in der Regel härteres Bitumen als die Mischgut, welche neu hergestellt werden. Bei der Herstellung von Neumischgut mit RAP muss entsprechend je höher der RAP-Anteil ist, desto weicher das Zugabebindemittel gewählt werden, um der Sorte entsprechend die jeweils gleiche Bindemittelhärte zu erreichen. Eine Ausnahme bilden diejenigen Mischgutsorten, welche harte Bitumen enthalten, wie AC EME 22 der Klasse C1 gemäss Norm SN 640 431-1 [2] mit Bitumen 15/25 oder der Klasse C2 mit Bitumen 10/20 [17].

Mit Ausnahme bei EME-Mischgut ist ab etwa 60% RAP der Einsatz von Verjüngungsmitteln mit niedriger Viskosität unumgänglich. Prinzipiell stellt sich die Frage, wie die gewünschte Penetration des Zielbitumens erreicht werden soll? Entweder kann ein möglichst weiches Bindemittel und, falls notwendig, zusätzlich ein möglichst kleiner Anteil an Verjüngungsmittel, oder es kann prinzipiell immer das gleiche Bindemittel verwendet werden und die Penetration des Zielbitumens mit dem Verjüngungsmittel eingestellt werden. Da es in der Schweiz noch wenig Erfahrung mit dem Einsatz von Verjüngungsmitteln gibt, war die Meinung der Begleitkommission eher zurückhaltend und die erste Variante mit möglichst weichem Bindemittel wurde gewählt. Als weichstes Bindemittel wurde ein Bitumen 160/220 bestimmt, da das ebenfalls normierte nächst weichere Bitumen 250/330 oft schon mit Verjüngungsmittel geliefert wird [16].

Bei Forschungsbeginn waren drei Verjüngungsmittel auf dem Schweizer Markt erhältlich, wobei zwei vom gleichen Hersteller stammen und sich hauptsächlich im Anteil an biogenen Bestandteilen unterscheiden. Das dritte Verjüngungsmittel wurde neu angeboten und bestand vollständig aus nachwachsenden Abfallmaterialien.

Für die Berechnung der Zielpenetration wurde die folgende Formel verwendet:

$$\log P_M = a \log P_R + b \log P_B \quad (1)$$

P_M : Penetration des Mischgutes

P_R : Penetration des Recyclingasphaltes

P_B : Penetration des Zugabebindemittels

Da das Bindemittel bei der Mischgutherstellung im Mischer und der nachfolgenden Abkühlphase verhärtet, was oft als altern bezeichnet wird, wurde ein Alterungsfaktor f eingeführt, um die Alterung zu berücksichtigen. Der Alterungsfaktor entspricht der in der Norm definierten „Verbleibenden Penetration“.

$$P_g = f P_u \quad (2)$$

P_g : Penetration gealtert

P_u : Penetration ungealtert

Ziel bei der Mischgutherstellung war, dass das Mischgut nach der Herstellung im Labor die gleiche Korngrössenverteilung und das rückgewonnene Bindemittel die gleichen Eigenschaften aufwies, unabhängig vom Anteil RAP. Denn für den Vergleich der mechanischen Eigenschaften der Mischungen mit unterschiedlichem Recyclinganteil sollten diese in den anderen Eigenschaften möglichst ähnlich sein.

Durch die Verwendung von mehreren Sorten RAP und Bindemittel ergibt sich schliesslich die folgende Formel für die Berechnung des gealterten Zielbitumens P_{Mg} :

$$\log P_{Mg} = a \log (f_{R1} \cdot P_{R1u}) + b \log (f_{R2} \cdot P_{R2u}) + c \log (f_{B1} \cdot P_{B1u}) + d \log (f_{B2} \cdot P_{B2u}) \quad (3)$$

Begrenzung

Mit Ausnahme bei EME-Mischgut ist ab etwa 60% bis 70% RAP der Einsatz von Verjüngungsmitteln mit niedriger Viskosität unumgänglich.

3.2.4 Temperaturen bei der Mischgutherstellung, Erwärmung des RAP

Bei der Verwendung von Strassenbaubitumen sind die Mischguttemperaturen in allen Phasen der Aufbereitung festgelegt, beispielsweise für Asphaltbeton AC gemäss Norm SN 640 431-1 [2]. Für Bitumen 50/70 und 70/100 betragen diese Temperaturen z.B. 140...180°C.

Für die Aufbereitung von Asphaltmischgut mit Recycling-Asphalt-Granulat RAP gibt es folgende drei Produktionsvarianten:

- Neue 100%-Recycling-Anlagen mit Heisszugabe (bisher gibt es in der Schweiz fünf Anlagen, die sechste ist im Bau)
- Anlagen mit herkömmlicher Recycling-Trommel, oft bezeichnet als Paralleltrommel; Warmzugabe
- Anlagen ohne Recycling-Trommel, somit Kalt-/Batchverfahren; Kaltzugabe

Bei der Warmzugabe muss das RAP zusätzlich und bei der Kaltzugabe ausschliesslich über die neu zugegebenen Ausgangsstoffe erhitzt werden. Somit hauptsächlich über die Mineralstoffe, weniger über das Zugabebindemittel. Dabei dürfen die Mineralstoffe nicht beliebig hoch erhitzt werden, um die Bindemittel beim Mischen nicht zu überhitzen und dadurch zu stark zu altern.

Heisszugabe

Bei den neuen 100%-Recycling-Anlagen wird mit der neuen Heiztechnik das RAP in der Regel auf 140 bis 165°C erhitzt. Die Maximaltemperatur ist auf etwa 180°C begrenzt. Bei der Mischgutproduktion können dadurch die übrigen Ausgangsmaterialien, Neuminerale und Zugabebindemittel, in etwa üblichen Temperaturen wie für Mischgut ohne RAP dosiert werden.

Warmzugabe

Mit den herkömmlichen Recycling-Trommeln oder Paralleltrommeln kann das RAP bei der Warmzugabe nur auf etwa 135°C erhitzt werden. Um eine Mischguttemperatur von beispielsweise 160°C zu erreichen, müssen hauptsächlich die neu zugegebenen Mineralstoffe als „zusätzliche Heizung“ eingesetzt werden und deutlich heisser als 160°C zugegeben werden.

Beim Einsatz von hohen Recyclinganteilen sind die Temperaturen der einzelnen Anteile, von RAP, der Mineralstoffe und des Zugabebindemittels ein begrenzender Faktor. Das RAP sollte möglichst schonend und kann erfahrungsgemäss auf maximal etwa 135°C erwärmt werden.

Die Temperatur des Zugabebindemittels wird der Sorte entsprechend nicht variiert. Die Steuerung der Bindemitteltemperatur wirkt oft träge. Hohe Bindemitteltemperaturen bewirken auch leicht eine starke und nachteilige Verhärtung des Bitumens.

Damit die gewünschte, der Norm entsprechende Mischtemperatur von beispielsweise 160°C erreicht werden kann, müssen die zugegebenen Mineralstoffe entsprechend höher erhitzt werden. Dabei muss sich im Mischprozess ein Temperatenausgleich zwischen RAP und Mineralstoffen einstellen, der bei Mischende des Mischgutes im von der Norm empfohlenen Temperaturbereich liegt. Je geringer der Mineralstoffanteil desto höher muss deren Temperatur sein. Eine Temperatur von etwa 200 - 220°C ist bei direktem Kontakt mit RAP und Bindemittel im Maximum vertretbar. Höhere Temperaturen sind kritisch, da dadurch die Bindemittel beim Kontakt mit den überhitzten Mineralstoffen geschädigt werden können oder zu stark verhärtet.

Kaltzugabe

Beim Kalt- oder Batchverfahren, bei Anlagen ohne Recycling-Paralleltrommeln, muss das kalte RAP ausschliesslich über die neu zugegebenen Ausgangsstoffe erhitzt werden. Somit hauptsächlich über die Mineralstoffe, weniger über das Zugabebindemittel. Da die Mineralstoffe nicht beliebig hoch erhitzt werden dürfen, um die Bindemittel beim Mischen nicht zu überhitzen, können in solchen Anlagen nur Mischgut mit kleinen Anteilen an RAP produziert werden.

Abhängigkeit der Mineralstofftemperatur vom Recyclinganteil

Die erforderliche Temperatur der Mineralstoffe lässt sich über den Energieerhaltungssatz der Thermodynamik berechnen, gemäss dem die Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems sich mit der Zeit nicht ändert (1. Hauptsatz der Thermodynamik). Dabei kann der Beitrag des Bindemittels vernachlässigt werden, da die Wärmekapazität und der prozentuale Anteil des Bindemittels nicht ins Gewicht fallen. Unter Vernachlässigung der mechanischen Energie (Mischenergie) stammt die Wärmeenergie des Mischgutes aus der Wärme der Einzelkomponenten, zur Hauptsache aus der Wärme der Mineralstoffe und des RAP.

$$Q_{MG} = Q_{Min} + Q_R = \text{konstant} \quad (4)$$

Q_{MG} [J] Wärme Mischgut

Q_{Min} [J] Wärme Mineralstoffe

Q_R [J] Wärme RAP

Die Wärme ist direkt abhängig von der Wärmekapazität und der Temperatur in Kelvin:

$$Q = C \cdot T_K = C \cdot (T + K) \tag{5}$$

Q [J] Wärme

C [J/K] Wärmekapazität

T_K [K] Temperatur in Kelvin

T [°C] Temperatur in °C

K [°C] Umrechnungskonstante = 273.15°C

a [Masse-%] Recyclinganteil

Formel (5) eingesetzt in Formel (4) ergibt:

$$Q_{MG} = C \cdot (T_{MG} + K) = (1-a) \cdot C \cdot (T_{Min} + K) + a \cdot C \cdot (T_R + K) = \text{konstant} \tag{6}$$

a [Masse-%] Recyclinganteil

T_{MG} [°C] Temperatur des Mischgutes

T_{Min} [°C] Temperatur der Mineralstoffe

T_R [°C] Temperatur des RAP

Aufgrund ähnlicher Wärmekapazitäten von Mineralstoffen und RAP kann diese aus der Gleichung (6) gekürzt werden, wodurch alleine die Temperatur zurückbleibt:

$$(T_{MG} + K) = (1-a)(T_{Min} + K) + a(T_R + K) = \text{konstant} \tag{7}$$

Die Temperatur der Mineralstoffe lässt sich näherungsweise bei bekannter Mischtemperatur wie folgt berechnen:

$$T_{Min} = \frac{T_{MG} - aT_R}{1-a} \tag{8}$$

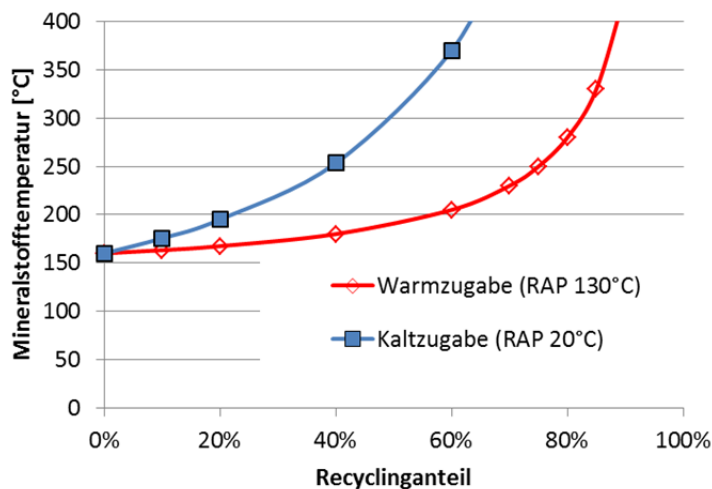


Abb. 3.19 : Abhängigkeit der Mineralstofftemperatur T_{Min} vom Recyclinganteil

Begrenzung der RAP-Anteile bei Warm- und Kaltzugabe

Wie aus Abb. 3.19 hervorgeht, liegt der maximale Recyclinganteil bei vorgegebener Mischtemperatur von beispielsweise 160°C und maximaler Mineralstofftemperatur bei Zugabe von 200 bis 220°C:

- Bei der Warmzugabe des RAP von 130°C, bei Anlagen mit herkömmlicher Recycling-Trommel, oft bezeichnet als Paralleltrommel; bei 60 bis 70% RAP
- Bei Kaltzugabe des RAP von 20°C, bei Anlagen ohne Recycling-Trommel (Kalt-/Batchverfahren); bei 20 bis 30% RAP

3.3 Prüfmethoden

Gemäss Forschungsziel sollen die im Folgenden aufgeführten Eigenschaften mittels mechanischen Prüfmethoden an Mischgutprobekörpern erfolgen. Folgende, für dieses Projekt geeignete Prüfungen wurden festgelegt:

Kälteverhalten

Für das Verhalten bei tiefen Temperaturen wird die Bestimmung des indirekten Zugversuchs bei -10°C durchgeführt [27]

Wärmeverhalten

Der Widerstand gegen Spurbildung wird durch die dynamische Prüfung Druckschwellversuch bei 50°C [25] und den Spurbildungstest (Variante mit grossem Rad) bei 60°C [28] bestimmt.

Gebrauchstemperaturverhalten

Steifigkeitsmodul bei 5, 10, 20 und 30°C mittels dynamischem Spaltzugversuch IT-CY [21]

Ermüdungsverhalten

Die Ermüdung eines Strassenbelages spielt sich im mittleren Temperaturbereich von etwa 10 bis 25°C ab. Als Prüfmethode wird der Spaltzug-Schwellversuch bei 20°C durchgeführt [23].

Wasserempfindlichkeit

Wasserempfindlichkeit bestimmt mit der indirekten Zugfestigkeit [29] bei 22°C und vorgängiger Lagerung der Marshall-Prüfkörper bei 40°C.

3.3.1 Charakterisieren der Mischguteigenschaften

Von den in der EMPA hergestellten Mischgut AC 11 S, AC T 22 S und AC EME 22 C2 mit verschiedenen Anteilen an Ausbauasphalt wurde je eine Teilprobe durch die Tecno-test AG nach folgender Tabelle Abb.3.20 auf die üblichen Mischguteigenschaften untersucht:

Abb. 3.20 Prüfplan für die Mischguteigenschaften

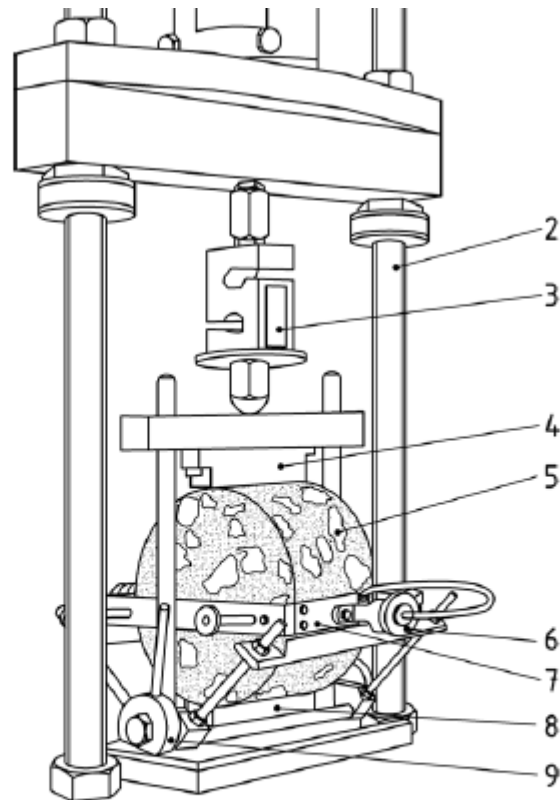
Prüfmethode	Normen	
Löslicher Bindemittelanteil	SN 670 401a	EN 12 697-1 [30]
Korngrößenverteilung für Heissasphalt	SN 670 402a	EN 12 697-2 [31]
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	EN 12 697-5] [32]
Bestimmen der Raumdichte, Berechnen des Hohlraumgehaltes	SN 670 406a	EN 12 697-6 [33], [34]
Marshall-Verdichtung	SN 670 430a	EN 12697-30 [35]
Marshall-Versuch	SN 670 434a	EN 12697-34 [36]
Rückgewinnung des Bindemittels aus Extraktionslösung	SN 670 403a	EN 12 697-3 [37]
Penetration	SN 670 511a	SN EN 1426 [18]
Erweichungspunkt Ring und Kugel	SN 670 512a	SN EN 1427 [19]
Penetrationsindex PI	SN 670 205	EN 12591 [16]

3.3.2 Wasserempfindlichkeit

Mit der Prüfung „Bestimmung der Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Probekörpern“ nach den Normen SN 670 412-NA und EN 12697-12 [29] wird der Einfluss der Wassersättigung und der Lagerung von Marshall-Prüfkörpern bei 40°C auf die indirekte Zugfestigkeit gemessen. Die indirekten Zugfestigkeiten der Prüfkörper mit und ohne Wasserlagerungen sind nach den Normen SN 670 423-NA und EN 12697-23 bei 22°C bestimmt [27]. Die Wasserempfindlichkeit ITSR ist das Verhältnis der der indirekten Zugfestigkeit der Prüfkörper mit Wasserlagerung zu derjenigen der Prüfkörper ohne Wasserlagerung. Mit dieser Prüfung wird vor allem der Einfluss von Wasser auf die Eigenschaften der Mineralstoffe bewertet. In der Reihe der Normen SN 640 431 sind für die verschiedenen Mischgutsorten ITSR-Werte von mindestens 70% gefordert.

3.3.3 Steifigkeitsmodul bei 5, 10, 20 und 30°C

Für die Bestimmung des Steifigkeitsmoduls sind verschiedene Methoden in der EN 12697-26 normiert [21]. Aufgrund der einfachen Durchführung wurde die Variante IT-CY ausgewählt. Sie verwendet zylindrische Prüfkörper von 100 oder 150 mm Durchmesser, die cyclisch mit Impulsen von 0.25 s Länge gefolgt von Lastpausen von 2.75 s belastet werden. Da die Prüfung den Prüfkörper nicht beschädigen soll, sind die Belastungen klein und kurz. Der Mittelwert aus 5 Zyklen wird für die Berechnung des Steifigkeitsmoduls verwendet.



Legende

1	Pneumatisches Laststellglied	6	LVDT-Einstellelement
2	Belastungsrahmen aus Stahl	7	LVDT-Einbaurahmen
3	Kraftmessdose	8	Unterer Druckstreifen
4	Oberer Druckstreifen	9	LVDT-Justiervorrichtung
5	Probekörper		

Abb. 3.21: Vorgeschlagene Prüfeinrichtung für den indirekten Zugversuch IT-CY gemäss EN 12697-26 [21].

Im Forschungsprojekt wurden Marshall-Prüfkörper verwendet, die bei 4 Temperaturen 5, 10, 20 und 30°C geprüft wurden. Der Temperaturbereich ist eingeschränkt, da bei höheren Temperaturen der Prüfkörper zu weich ist und plastische permanente Deformationen auftreten. Bei tiefen Temperaturen hingegen wird der Prüfkörper zu hart und die für die geforderte horizontale Verformung von mindestens 3 mm notwendigen Kräfte zu hoch.

3.3.4 Spurbildungstest bei 60°C

Für die Beurteilung der permanenten Verformung bei hohen Temperaturen wurde für die beiden Mischgutsorten AC 11 S und AC T 22 S Spurrinnenprüfungen gemäss EN 12697-22 durchgeführt [28]. Diese können als Ergänzung zu den Druckschwellversuchen angesehen werden, da sie bei ähnlich hohen Temperaturen durchgeführt werden. Für den Deckbelag AC 11 S wurden Prüfkörper von 5 cm Dicke und für die Tragschicht von 10 cm Dicke verwendet. Der AC EME 22 C2 wurde nicht geprüft. Für jede Spurbildungsprüfung werden jeweils parallel zwei Prüfkörper im Spurrinntester bei 60°C geprüft. Nach einer Nullmessung werden die relativen Spurbildungstiefen, das heisst die absolute Spurrinntiefe in Prozent der Prüfkörperdicke, zu unterschiedlichen Zeitpunkten gemessen und graphisch dargestellt. Massgebend sind für AC 11 S und AC T 22 S die Mittelwerte der Spurrinntiefen nach 10000 Zyklen.

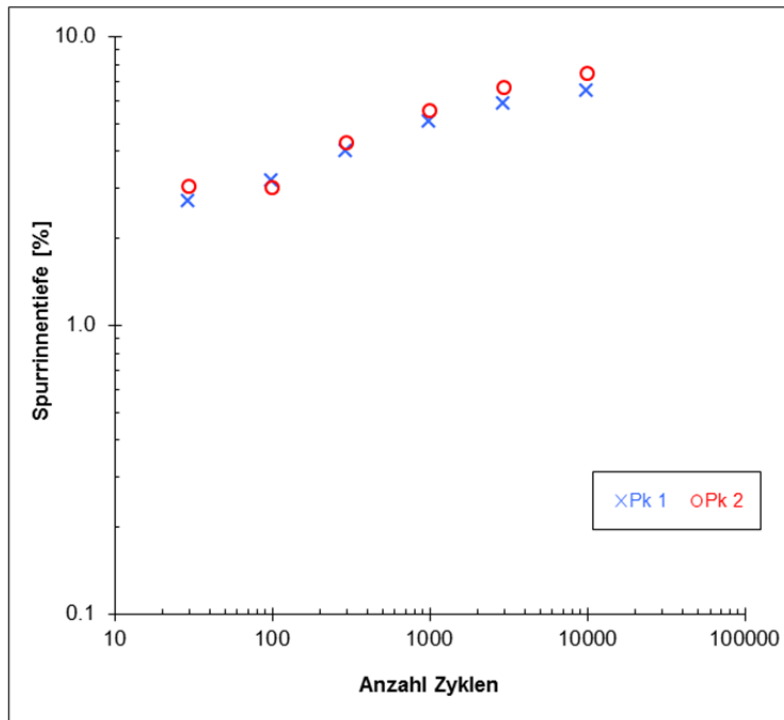


Abb. 3.22 Resultate des Spurrinntest an einem Deckbelag AC 11 S

3.3.5 Spaltzug-Schwellversuch bei 20°C (Ermüdung)

Die Ermüdungsprüfung simuliert die wiederholte Belastung des Verkehrs, die mit der Zeit durch die zahlreichen kleinen Belastungen zu einem Versagen führen. Die Bestimmung der Ermüdungsempfindlichkeit von Belagsschichten kann mit unterschiedlichen Prüfmethoden durchgeführt werden. Einige davon sind in der europäischen Prüfnorm 12697-24 [22] beschrieben, darunter die Zweipunktbiegung an trapezförmigen Prüfkörpern, Zwei-, Drei- und Vierpunktbiegung an prismatischen Prüfkörpern und die indirekte Zugprüfung an zylindrischen Prüfkörpern. Jede dieser Prüfungen hat ihre Vor- und Nachteile die beispielsweise in [38], [39] diskutiert wurden. Die erhaltenen Resultate können in der Regel nicht direkt verglichen werden, da die Ermüdung im Gegensatz zum Steifigkeitsmodul keine physikalische Eigenschaft des Materials darstellt. Durch die unterschiedlichen Formen der Prüfkörper und Belastungen ergeben sich unterschiedliche Arten des Versagens. Die Ermüdungsprüfungen sind sehr anspruchsvoll, insbesondere an die Prüfeinrichtung, da sehr kleine Belastungen mit hoher Präzision aufgebracht und die resultierende Verformung gemessen werden müssen. Insbesondere die Vierpunktbiegung ist durch die vielen erforderlichen Lager, die auch bei höchster Qualität ein gewisses Spiel aufweisen, oft mit Fehlern behaftet.

Für dieses Projekt wurde der Spaltzugschwellversuch anstelle der ursprünglich vorgeschlagenen Vierpunktbiegung gewählt, da dieser Versuch inzwischen durch einen Ringversuch mit Deutschland validiert werden konnte [23]. Er ist inzwischen als Variante der indirekten Zugprüfung der EN 12697-24:2012 [22] zugelassen, mit dem Unterschied, dass für die Belastung eine kontinuierliche Sinusfunktion verwendet wird, anstelle eines Haversine-Impulses mit einer Ruhephase. Zudem bietet er bezüglich Probenherstellung und -vorbereitung verschiedene Vorteile, da zylindrische Prüfkörper verwendet werden können. Es hat sich gezeigt, dass durch die Einfachheit der Prüfeinrichtung gut reproduzierbare Resultate erhalten werden können. Da es sich nicht um eine Biegeprüfung handelt, sondern um eine indirekte Zugbelastung ohne Druckbelastung, sind die erhaltenen Resultate nicht direkt mit jenen der Biegeprüfung zu vergleichen. Allerdings liefern auch die klassischen Biegeprüfungen keine Versagensgrenzen, die direkt für die Dimensionierung übernommen werden können. Die Resultate müssen immer mit Felddaten kalibriert werden, woraus ein Schifffaktor für die jeweilige Prüfung berechnet werden kann, der die Resultate aus den Feldversuchen mit den Laborversuchen korreliert.

In der Regel werden mehrere Prüfkörper bei verschiedenen Laststufen geprüft. Dabei muss ein Kompromiss zwischen Aufwand und Genauigkeit gemacht werden. Deshalb werden oft drei unterschiedliche Laststufen mit 3-4 Prüfkörpern durchgeführt. Dabei wird die kleinste Belastung so gewählt, dass der Prüfkörper nach etwa einer Million Zyklen versagt und die grösste Belastungsamplitude mindestens 1000 Zyklen durchhält. Auch die Auswertung ist nicht einheitlich geregelt, 50%-Verlust des Anfangsmoduls werden oft als Versagensgrenze gewählt. Allerdings ändert das Steifigkeitsmodul am Anfang sehr stark, was einen entsprechend grossen Einfluss auf die Versagensgrenze hat. Ein anderer Ansatz wird in der deutschen Anleitung gewählt, wo das Maximum der Energy-Ratio (ER) als Produkt von Zyklenzahl und Steifigkeitsmodul verwendet wird. Dies hat den Vorteil dass die Kurve am Anfang genau definiert ist, da sie durch den Nullpunkt verläuft. Durch eine Polynomfunktion 4. Grades kann diese Kurve in der Regel sehr gut angenähert werden und das Maximum entsprechend gut bestimmt werden. Die Prüfmethode ist sehr detailliert in der deutschen Arbeitsanleitung beschrieben [23].

3.3.6 Druckschwellversuch bei 50°C

Beim einaxialen Druckschwellversuch [25] wird ein planparallel geschliffener Prüfkörper mit einem zylindrischen Stempel einer Druck-Schwell-Belastung unterzogen. Der haversineförmigen, relativ kurzzeitigen Belastung (Oberlast von 0,35 MPa) von 0.2 Sekunden folgt eine deutlich längere Lastpause von 1.5 Sekunden, in welcher nur die Schwell-Belastung (Unterlast von 0.025 MPa) aufgebracht wird. Standardmässig wird die Prüfung bei einer Temperatur von 50°C durchgeführt.

Der Druckschwellversuch wurde durchgeführt nach der Technischen Prüfvorschrift für Asphalt, TP Asphalt-StB, Teil 25 B 1, Einaxialer Druckschwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalt bei Wärme, Ausgabe 2010 [25].

In diesem Forschungsprojekt wurden kleine Abweichungen von der Prüfmethode angewendet, die primär die Verwendung von Original-Marshallprüfkörpern von 60 mm Höhe beinhaltet. Gemäss deutscher Anleitung sind die Prüfkörper von 100 mm Durchmesser auf eine Höhe von 40 mm zu schneiden. Da jedoch primär die verschiedenen Mischungen AC 11 S, AC T 22 S und AC EME 22 C2 untereinander verglichen werden, ist die grössere Dicke vor allem für die grobkörnigeren Mischgutsorten idealer, weil für alle Mischgutsorten Marshall-Prüfkörper verwendet wurden.

Beim Druckschwellversuch wird in der Verformungskurve die Steigung der Kurve im Wendepunkt als Kriterium zur Beurteilung der Verformbarkeit ermittelt (siehe Abb. 3.23). Die Prüfung wird spätestens nach 10 000 Lastzyklen beendet, sofern nicht bereits vorher der Wendepunkt erreicht wird. Je steiler die Kurve verläuft, desto höher ist die Verformung und desto schneller versagt der Prüfkörper.

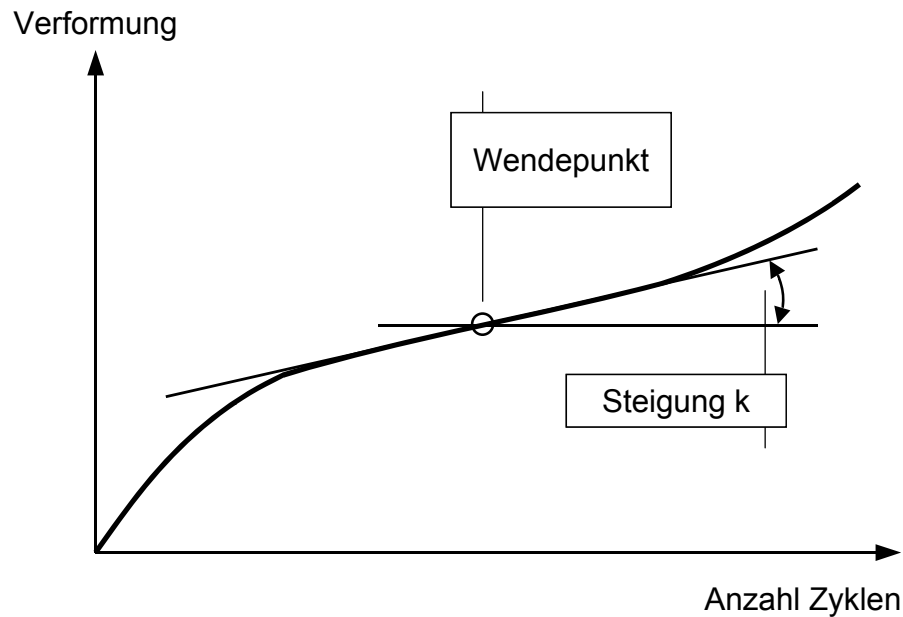


Abb. 3.23 Bestimmung der Steigung im Wendepunkt einer typischen Verformungskurve im Druckschwellversuch

3.3.7 Indirekter Zugversuch bei -10°C

In der Schweizer Norm gab es bis vor kurzem keine Methode, um die Tieftemperatureigenschaften zu prüfen. Im Jahr 2012 wurde die EN 12697-46 eingeführt, die fünf Prüfvarianten enthält [26]. In Deutschland wurde ein Verfahren für die Beurteilung der Tieftemperatureigenschaften entwickelt, die aber sehr aufwändig ist. Drei Prüfmethode der EN 12697-46 müssen dazu durchgeführt werden, die teilweise die Verwendung von hochpräzisen Spindelmaschinen voraussetzen. Da die Forschungsinstitute mit hydraulischen Universalprüfmaschinen ausgerüstet sind, konnten die verlangten drei Prüfungen nicht durchgeführt werden. Ausserdem war für die Tieftemperaturprüfungen nicht so grosse finanzielle Mittel reserviert worden, weil davon ausgegangen wurde, dass, wie üblich, eine Prüfmethode für die Kälteeigenschaften ausreichend ist. Daher wurde die Bestimmung der Tieftemperatureigenschaften wie vereinbart mittels indirekten Zugversuchs [27], der auch für die Wasserempfindlichkeit verwendet wird, bei -10°C durchgeführt.

4 Mischgutherstellung

4.1 Herstellung mit Labormischer

Wie in der Ausschreibung zum Projekt festgelegt, wurden die einzelnen Mischgutsorten im Labor hergestellt. Diese erfolgten in der Empa. Der eingesetzte Labormischer der Empa hat eine Kapazität bis 150 kg Mischgut. Für dieses Forschungsprojekt wurden in der Regel Mischungen von 75 bis 150 kg nach folgendem, für die einzelnen Ausgangsmaterialien gestaffeltem Vorgehen hergestellt. Die Mineralstoffe wurden über Nacht auf die Zieltemperatur aufgeheizt. Weil das RAP teilweise relativ nass war, wurde dieses nach dem Herunterteilen auf Chargen von 30 kg über mehrere Tage offen bei Raumtemperatur oder 2 Tag im Ofen bei 30°C getrocknet und vor dem Mischen innerhalb von 3 Stunden auf eine Temperatur von 130±5°C erwärmt. Die Bitumen, in Gebinden von jeweils 5 kg entnommen, wurden während 5.5 Stunden auf eine Temperatur von 130°C erwärmt. Bei der Verwendung von Verjüngungsmittel wurde dieses kalt in das heisse Bitumen gegeben und danach gut umgerührt. Der Mischer wurde auf die Mischtemperatur erwärmt, anschliessend mit den heissen Mineralstoffen beschickt, danach das RAP und schliesslich das Bindemittel zugegeben. Die anschliessende Mischzeit betrug 3 Minuten. Der ganze Mischprozess von der Zugabe der Mineralstoffe bis zum Ausleeren des Mischgutes dauerte 10 - 15 Minuten. Das Mischgut wurde darauf für das Homogenisieren umgeschichtet und danach auf verschiedene Kartonschachteln verteilt. Das abgekühlte Mischgut wurde bis zur Herstellung der Prüfkörper gelagert und für die Herstellung der Marshallprüfkörper im Ofen ein zweites Mal erwärmt. Das LAVOC liess das hergestellte Mischgut nicht abkühlen, sondern liess es für 50 Minuten bei 135°C im Ofen lagern. Da an der Empa Mischungen von 75 bis 150 kg hergestellt wurden, war die Menge zu gross, um alles sofort für die Prüfungen verwenden zu können. Das zweite Aufwärmen für die Prüfkörperherstellung entspricht aber einer ähnlichen Wärmebelastung wie das zusätzliche, 50 Minuten lange Lagern des Mischgutes bei 135°C nach der Herstellung beim LAVOC.

Alle Herstellungen der einzelnen Mischgutsorten im Labor der Empa entsprechen, mit einer Ausnahme, möglichst der Warmzugabe, wie sie in einer Aufbereitungsanlage mit herkömmlicher Recycling-/Paralleltrommel durchgeführt werden. Die eine Ausnahme betrifft das Mischgut AC 11 S mit 20% RAP1, welches dem Prüfplan entsprechend zusätzlich auch mit Kaltzugabe hergestellt wurde.

Die Mischprozeduren im Labor und in der Mischanlage unterscheiden sich in mehreren Punkten. In der Mischanlage werden Zwangsmischer mit hoher Energie verwendet, die Mischzeiten von weniger als einer Minute ermöglichen. Auch die Erwärmung der Komponenten ist unterschiedlich. Das Bindemittel wird heiss gelagert und muss nicht speziell erwärmt werden. Mineralstoffe und RAP werden separat in rotierenden Trommeln erwärmt und teilweise heiss gelagert. Diese Prozesse können im Labor nicht genau simuliert werden, wodurch Abweichungen in den Mischguteigenschaften zwischen Labormischung und Anlagemischung auftreten können. Wie in Ziffer 4.2.2 ausgeführt, wird das resultierende Bindemittel im Anlagemischgut stärker verhärtet als im Labormischgut. Das Ausmass der unterschiedlichen Verhärtung gilt für die eingesetzten Mischer und kann bei anderen Anlagen und Labormischern je nach technischen Ausrüstungen und durchgeführten Mischvorgängen unterschiedlich ausfallen.

Um die geplanten 16 Mischungen prüfen zu können, mussten insgesamt 27 Mischungen von 75 bis 150 kg hergestellt werden. Davon waren 11 Fehlmischungen und mussten verworfen werden, da oft die Korngrössenverteilung zu wenig gut mit den Vorgaben übereinstimmten.

Die Ausgangsmaterialien wurden in der Aufbereitungsanlage Berag entnommen. Die Entnahme der Mineralstoffe erfolgte nach der Trocknung und Reklassierung in die Fraktionen 0/2, 2/4, 4/8, 8/11, 11/16, 16/22, Rückgewinnungsfüller, die Entnahme der Ausbausphalte RAP1 und RAP2 ab den entsprechenden Depots.

Die in der Aufbereitungsanlage entnommenen Mineralstoffe und die zwei RAP-Materialien wurden in der EMPA systematisch in gleichmässige, möglichst homogene Teilproben von ca. 20 kg heruntergeteilt. Trotzdem sind die Inhomogenitäten in den Ausbauasphalten für die im Labor herzustellenden Probemischungen ein grosses Problem. Wie beispielsweise die Untersuchungen an RAP2 nach der Teilung zeigen, vgl. Ziffer 2.3 streuen die Korngrössenverteilungen und die löslichen Bindemittelanteile stark, sehr gleichmässig sind jedoch die Bindemittelleigenschaften.

Es muss gefolgert werden, dass für die vorliegenden Ausbauasphalte mit der Probenteilung bzw. der Reduktion in kleine Teilproben keine ausreichende Homogenisierung erreicht werden konnte. Aufbereitungsanlagen, die grosse Chargen produzieren, erreichen mit den grösseren Mengen an Ausbauasphalt gleichmässigeren Mischungen.

Die hohe Anzahl an Fehlmischungen dürfte zu einem grossen Teil auf Materialstreuungen zurückzuführen sein, insbesondere auf Streuungen bei den RAP1- und RAP2-Ausbauasphalten.

4.2 Laborvergleiche

Zum Start des Forschungspakets „Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut“ wurde ein als roter Faden bezeichnetes Mischgut AC 11 S mit 40% RAP1 in der BERAG, Belagslieferwerk Rubigen AG aufbereitet. Je eine Mischgutprobe wurde von den mit den Einzelprojekten betrauten prüfenden Labors untersucht - Empa Dübendorf, Tecnotest AG Rüşchlikon sowie LAVOC Lausanne - und die Ergebnisse verglichen, vgl. Abb. 4.24 und 4.25.

Bei den Mischgut-Eigenschaften und der Wasserempfindlichkeit gemäss Abb. 4.24 resultierten in allen drei Labor sehr gute Übereinstimmungen. Die Anforderungen der Normen an die zulässigen Standardabweichung σ_R der Vergleichbarkeiten sind mit zwei Ausnahmen erfüllt.

Die eine Ausnahme betrifft die Penetration der Bindemittel mit σ_R von 2 gegenüber der maximal zulässigen Standardabweichung σ_R von 1.5. Alle, in den letzten Jahren durchgeführten Ringanalysen haben ebenfalls deutlich grössere Standardabweichungen σ_R ergeben und aufgezeigt, dass die Normanforderung zu enge Grenzen setzt.

Die zweite Ausnahme betrifft einzelne Siebdurchgänge der Mineralstoffe. In der Norm EN 12697-2 ist für alle Durchgänge keine Anforderung sondern lediglich eine geschätzte Standardabweichung σ_R von 0.6 angegeben. In den Durchgängen bei den Prüfsieben 4.0 bis 8.0 mm resultierten etwas grössere Standardabweichung σ_R von 1.0 bis 2.2. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Standardabweichung σ_R kaum über den gesamten Bereich konstant ist, da bei den grösseren Siebweiten die absoluten Durchgänge auch wesentlich grösser sind, als bei den kleinen.

Abb. 4.24 AC 11 S mit 40% RAP1, roter Faden/BERAG: Mischgut-Eigenschaften

Mischgut geprüft bei		Empa	Tecnot	LAVOC	Mittel	Stabw.	Norm
Mischgut hergestellt bei		BERAG	BERAG	BERAG	BERAG	σ_R	σ_R
Bindemittelgehalt	Masse-%	6.10	5.98	5.87	5.98	0.09	0.15
Penetration	0.1 mm	51	47	52	50	2	1.5
Erweichungspunkt RuK	°C	51.6	53.8	52.2	52.5	0.9	1.75
Penetrationsindex	-	-0.8	-0.4	-0.6	-0.6	0.2	-
Raumdicke	kg/m ³	2381	2381	2387	2383	2.8	8.2
Rohdicke-Mischgut	kg/m ³	2443	2443	2467	2451	11.3	15
Hohlraumgehalt	Vol.-%	2.5	2.5	3.2	2.7	0.3	0.8
Hohlraumgehalt VMA	Vol.-%	16.6	16.3	16.8	16.6	0.2	-
Hohlraumfüllungsgrad	%	84.8	84.8	80.9	83.5	1.8	-
Marshall Stabilität	kN	9.7	11.5	9.0	10.1	1.1	-
Marshall Fließen	mm	2.9	3.2	3.5	3.2	0.2	-
Siebdurchgang	Masse-%						
Prüfsieb [mm]							
16.0		100.0	100.0	100.0	100.0		
11.2		99.5	98.2	98.7	98.8	0.5	0.6*
8.0		85.5	82.9	80.1	82.8	2.2	0.6*
5.6		67.8	66.9	64.2	66.3	1.5	0.6*
4.0		55.8	55.1	53.5	54.8	1.0	0.6*
2.0		35.9	34.9	34.8	35.2	0.5	0.6*
1.0		24.4	23.7	-	24.0	0.4	0.6*
0.5		18.6	17.6	17.8	18.0	0.4	0.6*
0.25		14.2	13.2	13.4	13.6	0.4	0.6*
0.125		10.9	10.0	10.1	10.3	0.4	0.6*
0.063		8.4	8.2	7.8	8.1	0.2	0.6*
Wasserempfindlichkeit							
ITSR	%	97	106	95	99	5	-
ITS trocken	kPa	960	873	1051	961	73	-
IST nass	kPa	928	929	1002	953	35	-

* Angabe der Norm EN 12697-2 als geschätzter Wert

Abb. 4.25 AC 11 S mit 40% RAP1, roter Faden/BERAG: Spurbildungstest

Labor		Empa	LAVOC
Mischgut hergestellt bei		BERAG	BERAG
Prüfkörper-Dicke	mm	100*	50
Raumdichte	kg/m ³	2367	2346
Hohlraumgehalt	Vol.-%	3.1	4.3
Relative Spurrinnentiefe	%		
nach 30 Zyklen		3.1	1.7
nach 100 Zyklen		4.1	2.4
nach 300 Zyklen		5.2	3.4
nach 1000 Zyklen		6.2	5.0
nach 3000 Zyklen		9.2	7.1
nach 10000 Zyklen		11.4	10.3
nach 30000 Zyklen		**	**

* Prüfkörperhöhe 100 mm anstelle von 50 mm, da irrtümlicherweise von einem AC B 11 ausgegangen wurde.

** Prüfung abgebrochen, da $\geq 10\%$

Der direkte Vergleich der Ergebnisse des Spurbildungstests ist insofern nicht möglich, weil bei unterschiedlichen Prüfkörperhöhen geprüft wurde. Die Empa hat die Prüfkörperhöhe mit 100 mm anstelle von 50 mm gewählt, da irrtümlicherweise von einem AC B 11 ausgegangen wurde. In der Folge resultierten deutlich höhere Hohlraumgehalte bei den 100 mm dicken Prüfkörpern.

4.3 Vergleich zwischen Aufbereitungsanlage und Labor

Das Mischgut des roten Fadens AC 11 S mit 40% RAP1 aus der Aufbereitungsanlage konnte mit der gleichen Rezeptur im Labormischer mit den zwei Mischungen Mx02 und Mx03 sehr gut nachgebildet werden. Im Bindemittelgehalt und in der Korngrößenverteilung der Mineralstoffe wurden sehr gute Übereinstimmungen erreicht. Da die Hohlraumgehalte-Marshall mit 2.4 und 2.5 praktisch gleich sind, resultierten auch sehr ähnliche Mischgutkonzepte.

Abb. 4.26 AC 11 S mit 40% RAP1, roter Faden: Mischgut-Eigenschaften

Mischgut hergestellt		Labor	Labor	Labor	Anlage	Differenz
		Empa Mx02	Empa Mx03	Mittel	BERAG	
Mischgut geprüft durch		Empa	Empa	Empa	Empa	
Bindemittelgehalt	Masse-%	6.00	5.90	5.95	6.10	-0.15
Penetration	0.1 mm	61	57	59	51	+8
Erweichungspunkt RuK	°C	50.4	51.0	50.7	51.6	-0.9
Penetrationsindex	-	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8	+0.2
Raumdicthe	kg/m ³	2385	2394	2390	2381	+9
Rohdicthe-Mischgut	kg/m ³	2450	-	2450	2443	+7
Hohlraumgehalt	Vol.-%	2.7	2.0	2.4	2.5	-0.1
Hohlraumfüllungsgrad	%	83.9	87.3	85.6	84.8	+0.8
Marshall Stabilität	kN	9.6	-	9.6	9.7	-0.1
Marshall Fliesen	mm	3.1	-	3.1	2.9	+0.2
Siebdurchgang	Masse-%					
Prüfsieb [mm]						
16.0		100.0	100.0	100.0	100.0	0
11.2		99.4	99.4	99.4	99.5	-0.1
8.0		87.6	86.8	87.2	85.5	+1.7
5.6		67.2	67.4	67.3	67.8	-0.5
4.0		56.0	55.9	55.9	55.8	+0.1
2.0		35.6	35.6	35.6	35.9	-0.3
1.0		26.7	27.2	26.9	24.4	+2.5
0.5		19.9	20.8	20.4	18.6	+1.8
0.25		13.7	14.8	14.2	14.2	0
0.125		10.1	11.5	10.8	10.9	-0.1
0.063		7.5	8.6	8.1	8.4	-0.3
Relative Spurrinntiefe	%					
nach 1000 Zyklen		12.8	13.9	13.4	6.2	7.2
nach 3000 Zyklen		19.2	-	19.2	9.2	10.0
nach 10000 Zyklen					11.4	-

Ein klarer Unterschied weisen die resultierenden Bindemittel der beiden Mischgut auf. Das Bindemittel des Anlagemischgutes ist deutlich stärker verhärtet als dasjenige aus dem Labormischer.

In der Folge führte der Spurbildungstest zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen. Beim Mischgut aus dem Labormischer mit dem weicheren Bitumen resultierten etwa doppelt so grosse Spurrinntiefen, wie beim härteren Mischgut aus der Aufbereitungsanlage. Da irrtümlich die Spurbildungsteste an 100 mm dicken anstelle den normgerechten 50 mm dicken Prüfkörpern durchgeführt wurden, können die Ergebnisse nicht mit der Normanforderung von maximal 10% nach 10'000 Überrollungen bewertet werden.

Im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit wurde für das Herstellen der Mischgutserie AC 11 S im Labormischer härteres Bindemittel verwendet. Die Zugabebindemittel wurden so gewählt, dass die Bindemittelhärte der 6 AC 11 S-Mischgut Mx5 bis Mx10 demjenigen des Mischgutes aus der Aufbereitungsanlage entspricht.

4.4 Berechnen der Mischgutrezepturen

Die einzelnen Mischgutsorten sind so rezeptiert, dass für die einzelnen Mischungen mit verschiedenen Anteilen an Ausbauasphalt jeweils „gleiche Zusammensetzungen“ erhalten wurden. Massgebend waren einerseits die Korngrößenverteilung und andererseits der Bindemittelgehalt und die Penetration des rückgewonnenen Bindemittels. Da alle Materialien von der BERAG AG erhalten wurden, sind auch die Rezepte dieser Mischanlage verwendet worden. In der Regel konnten die Siebkurven mit dem Primärmaterial und dem RAP gut nachgebildet werden. Für die Berechnung der Anteile der verschiedenen Fraktionen an Splitt, Sand und RAP wurde ein EXCEL-Programm erstellt. Dieses berechnete auch den Anteil und den Penetrationswert des Zugabebindemittels unter der Annahme, dass sich das Zugabebindemittel vollständig mit dem Bindemittel des RAP mischt. In der Regel wurde die berechnete Viskosität des Bindemittels (Penetrationswert) durch zwei unterschiedliche Bindemittelhärten eingestellt. Bei Mischungen mit hohem RAP-Anteil ab 60% wurde ein Bitumen 160/220 mit einem Verjüngungsmittel gemischt, da sonst die benötigte Viskosität nicht erreicht wurde. Für den Hochmodulasphalt EME 22 C2 wurde jedoch immer das gleiche Bindemittel 10/20 verwendet, da kein härteres Bindemittel erhältlich war um die etwas hohen Penetrationswerte des RAP zu kompensieren.

Von den Rezepturen der Mischungen sind alle Anteile in % von 100% Mischgut angegeben: AC 11 S (Zielbitumen 70/100) in Abb. 4.27, AC T 22 S (Zielbitumen 50/70) in Abb. 4.28 und AC EME 22 C2 (Zielbitumen 10/20) in Abb. 4.29.

Die Berechnungen der Kategorien C für die prozentualen Anteile an gebrochenen Oberflächen in den Gesteinskörnungen ≥ 4 mm der einzelnen Mischgutsorten erfolgten im Rahmen der Rezeptierung. Dazu wurden die Ergebnisse des LAVOC verwendet, die im Teilprojekt VSS 2005/456 EP5: Mischgutoptimierung von Recyclingbelägen [6] an den Ausbauasphalten RAP und den neu zugegebenen Mineralstoffen bestimmt wurden.

In den folgenden drei Tabellen 4.27 bis 4.29 sind die Kategorien C und die berechneten Anteile an vollständig gebrochenen und teilweise gebrochenen Körnern (bezeichnet als „Körner: gebr+teilw. gebr“) sowie an runden Körnern je in Masse-% (M-%) aufgeführt.

Abb. 4.27 Rezepturen für AC 11 S (Zielbitumen 70/100)

Code		Mx05	Mx06	Mx08	Mx07	Mx09	Mx10
Anteil RAP1		0%	20%	20%	40%	60%	60%
RAP Zugabe kalt / warm				kalt			
Verjüngungsmittel V						V1	V2
Zugabe in	%						
RAP1	%	0	20	20	40	60	60
RAP2	%						
RAP total	%	0	20	20	40	60	60
Min1, Füller	%	7	5	5	3	0.5	0.5
Min2, Fraktion 0/2	%	26	18	18	10	1.6	1.6
Min3, Fraktion 2/4	%	20	16	16	13	9.8	9.8
Min4, Fraktion 4/8	%	29	25	25	21	16.8	16.8
Min5, Fraktion 8/11	%	12	11	11	10	8.7	8.7
Total Mineralstoffe + RAP	%	93.9	95.1	95.1	96.2	97.4	97.4
Zugabebindemittel *inkl. V	%	6.1	4.9	4.9	3.8	2.6*	2.6*
Total Mischgut	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1 bis 2 Zugabebindemittel							
Bitumen 1/ Verjüngungsmittel		70/100	70/100	70/100	70/100	V1	V2
Anteil	%	100	81	81	22	5.2	8.3
Bitumen			160/220	160/220	160/220	160/220	160/220
Anteil	%		19	19	78	94.8	91.7
Total Zugabebindemittel*	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Aufwärmtemperatur	°C						
RAP	°C		130	20	130	140	140
Mineralstoffe	°C	165	175	200	185	200	200
Total Zugabebindemittel	°C	130	130	130	130	130	130
Zieltemperatur Mischgut	°C	160	160	160	160	160	160
Mischdauer	Min	3	3	3	3	3	3
Körner: gebr+teilw. gebr/rund M-%		100 / 0	91 / 4	91 / 4	86 / 6	82 / 7	82 / 7
Kategorie C, SN 670 103b-NA		C _{95/1}	C _{70/10}	C _{70/10}	C _{70/10}	C _{70/10}	C _{70/10}

Abb. 4.28 Rezepturen für AC T 22 S (Zielbitumen 50/70)

Code	Mx20	Mx21	Mx22	Mx23	Mx24	Mx25	
Anteil RAP	0%	40%	40%	40%	60%	80%	
RAP-Sorte		RAP1	RAP2	RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2	
Verjüngungsmittel						+V1	
Zugabe in	%						
RAP1	%	0	40		14	20	27
RAP2	%			40	28	40	53
RAP total (Verhältnis)	%	0	40	40	40 (1:2)	60 (1:2)	80 (1:2)
Min1, Füller	%	6	1	4	3	2	1
Min2, Fraktion 0/2	%	23	7	12	8	8	3
Min3, Fraktion 2/4	%	8	1	8	6	3	2
Min4, Fraktion 4/8	%	15	7	13	11	8	2
Min5, Fraktion 8/11	%	10	7		5		
Min6, Fraktion 11/16	%	12	14				
Min7, Fraktion 16/22	%	22	21	17	21	16	10
Total Mineralstoffe + RAP	%	95.8	98.1	97.1	97.5	98.2	99.1
Zugabebindemittel * inkl. V1	%	4.2	1.9	2.9	2.5	1.8	0.9*
Total Mischgut	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Bitumen 1/ Verjüngungsmittel		50/70	70/100	70/100	70/100	70/100	V1
Anteil	%	100	18	70	77	29	4.1
Bitumen 2			160/220	160/220	160/220	160/220	160/220
Anteil	%		82	30	23	71	95.9
Total Zugabebindemittel	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Aufwärmtemperatur	°C						
RAP	°C		130	130	130	130	150
Mineralstoffe	°C	160	185	185	180	200	210
Total Zugabebindemittel	°C	130	130	130	130	130	130
Zieltemperatur Mischgut	°C	160	160	160	160	160	160
Mischdauer	Min	3	3	3	3	3	3
Körner: gebr+teilw. gebr/rund M-%		94 / 0	85 / 4	83 / 4	85 / 4	80 / 6	77 / 7
Kategorie C, SN 670 103b-NA		C _{90/1}	C _{70/10}	C _{70/10}	C _{70/10}	C _{70/10}	C _{70/10}

Abb. 4.29 Rezepturen für AC EME 22 C2 (Zielbitumen 10/20)

Code		Mx30	Mx31	Mx32	Mx34
Anteil RAP		0%	20%	40%	80%
RAP-Sorte			RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Zugabe in	%				
RAP1	%		7	13	26
RAP2	%		13	27	52
RAP total (Verhältnis)			20 (1:2)	40 (1:2)	80 (1:2)
Min1, Füller	%	9	7	6	3
Min2, Fraktion 0/2	%	18	13	8	
Min3, Fraktion 2/4	%	11	9	7	2
Min4, Fraktion 4/8	%	19	17	15	6
Min5, Fraktion 8/11	%	13	10	4	
Min6, Fraktion 11/16	%	5			
Min7, Fraktion 16/22	%	21	19	16	8
Total Mineralstoffe + RAP	%	94.6	95.4	96.2	97.7
Zugabebindemittel	%	5.4	4.6	3.8	2.3
Total Mischgut	%	100.0	100.0	100.0	100.0
Zugabebindemittel					
Bitumen		10/20	10/20	10/20	10/20
Anteil	%	100	100	100	100
Aufwärmtemperaturen	°C				
RAP	°C		135	135	140
Mineralstoffe	°C	180	190	195	210
Zugabebindemittel	°C	170	170	170	170
Zieltemperatur Mischgut	°C	180	180	180	180
Mischdauer	Min	3	3	3	3
Körner: gebr+teilw. gebr/rund M-%		95 / 0	89 / 2	84 / 4	78 / 7
Kategorie C, SN 670 103b-NA		C _{95/1}	C _{70/10}	C _{70/10}	C _{70/10}

5 Resultate

In diesem Kapitel sind die Prüfergebnisse aufgeführt, graphisch dargestellt und beurteilt. Im Anhang sind zusätzlich die Einzelwerte der Ermüdungsprüfungen mittels Spaltzug-Schwellversuch aufgeführt.

5.1 Mischgut AC 11 S (Zielbitumen 70/100)

Abb. 5.30 Prüfmatrix für das Mischgut AC 11 S

Code	Mx05	Mx06	Mx08	Mx07	Mx09	Mx10
Anteil RAP1	0%	20% warm	20% kalt	40%	60%	60%
Verjüngungsmittel					V1	V2
Mischgut-Eigenschaften	X	X	X	X	X	X
Wasserempfindlichkeit	X	X	X	X	X	X
Steifigkeitsmodul	X		X	X	X	X
Spurbildungstest	X			X	X	X
Spaltzug-Schwellversuch	X			X	X	X
Druckschwellversuch	X	X	X	X	X	X
Indirekter Zugversuch bei -10°C	X	X	X	X	X	X

5.1.1 Mischgut-Eigenschaften

Abb. 5.31 AC 11 S, hergestellte Mischungen: Mischgut-Eigenschaften

Code		Mx05	Mx06	Mx08	Mx07	Mx09	Mx10
Anteil RAP1		0%	20%	20% kalt	40%	60%	60%
Verjüngungsmittel						V1	V2
Bindemittelgehalt	Masse-%	6.12	6.22	5.94	5.89	5.63	5.66
Penetration	0.1 mm	42	52	44	46	49	40
Erweichungspunkt RuK	°C	55.2	52.6	52.8	53.4	52.8	56.2
Penetrationsindex	-	-0.4	-0.5	-0.8	-0.6	-0.6	-0.3
Raumdichte	kg/m ³	2371	2387	2380	2383	2387	2388
Rohdichte-Mischgut	kg/m ³	2438	2432	2443	2442	2454	2453
Rohdichte Mineral	kg/m ³	2677	2673	2675	2671	2675	2675
Hohlraumgehalt	Vol.-%	2.7	1.9	2.6	2.4	2.7	2.6
Stabilität-Marshall S	kN	13.4	13.3	12.4	13.0	12.2	12.8
Fliessen-Marshall F_t	mm	1.8	2.0	1.8	1.8	1.5	1.7
Siebdurchgang	Masse-%						
Prüfsieb [mm]							
16.0		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
11.2		98.8	98.5	99.3	99.0	98.1	98.6
8.0		87.9	85.2	86.7	85.0	84.2	86.6
4.0		56.1	54.4	55.0	53.1	53.6	56.1
2.0		34.9	35.7	34.5	33.6	33.0	34.3
1.0		26.2	27.0	25.5	25.0	24.4	25.2
0.063		7.3	7.7	7.8	7.9	8.3	8.5

Diese 6 Mischungen wurden als ausreichend vergleichbar bewertet. Insbesondere 5 der 6 Hohlraumgehalte-Marshall, die das Mischgutkonzept bei ähnlichen Zusammensetzungen bewerten, streuen mit Werten von 2.4 bis 2.7 Vol.-% sehr wenig. In bezug auf die Mischgutzusammensetzungen sind bei den beiden Mischungen Mx09 und Mx10 mit je 60% RAP1 und unterschiedlichen Anteilen an Verjüngungsmitteln die Bindemittelgehalte etwas kleiner und die Füllergehalte etwas grösser als bei den übrigen Mischungen.

Einzig beim Mischgut Mx6 mit 20% RAP1 ist der Hohlraumgehalt-Marshall mit 1.9 Vol.-% etwas klein ausgefallen.

5.1.2 Wasserempfindlichkeit

Abb. 5.32 Wasserempfindlichkeit ITSR, geprüft bei 22°C, Wasserlagerung bei 40°C

Code		Mx05	Mx06	Mx08	Mx07	Mx09	Mx10
Anteil RAP1		0%	20%	20% kalt	40%	60%	60%
Verjüngungsmittel						V1	V2
Indirekte Zugfestigkeit							
- nach Wasserlagerung	kPa	1036	1067	1144	975	952	1115
- nach Trockenlagerung	kPa	984	1017	1112	947	919	1049
Wasserempfindlichkeit ITSR	%	105	105	103	103	104	106

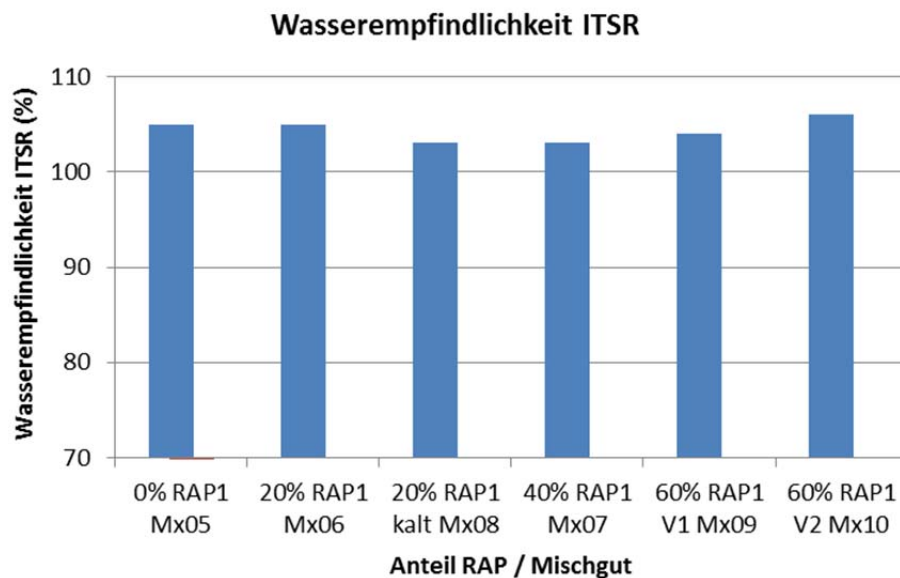


Abb. 5.33 Wasserempfindlichkeit ITSR des AC 11 S

Mit Werten zwischen 103 und 106 streuen die Wasserempfindlichkeiten, als Verhältnis der indirekten Zugfestigkeiten ITSR, sehr wenig. Die Anforderung der Norm SN 640 431-1b-NA „Asphaltmischgut, Mischgutanforderungen – Teil 1: Asphaltbeton [2] von >70 ist deutlich erfüllt.

Die Prüfung „Wasserempfindlichkeit“ zeigt keinen Einfluss durch die unterschiedlichen Anteile an Recycling-Asphalt-Granulat RAP1 0/11 auf. Ebenso liegt kein Einfluss durch die unterschiedlichen Verjüngungsmittel vor. Bei allen Mischungen ist die Empfindlichkeit der Mineralstoffe auf den Einfluss von Wasser klein oder die Mineralstoffe werden durch das Bindemittel in einem gleichen Ausmass vom Einfluss des Wassers geschützt.

5.1.3 Steifigkeitsmodul

Abb. 5.34 Steifigkeitsmodul des AC 11 S im Bereich von 5 bis 30 °C

Code		Mx05	Mx06	Mx08	Mx07	Mx09	Mx10
Anteil RAP1		0%	20%	20% kalt	40%	60%	60%
Verjüngungsmittel						V1	V2
Steifigkeitsmodul IT-CY							
Mittelwert-bei 5 °C	MPa	14800	13500	13300	13000	12400	14700
Stabw.-bei 5 °C	MPa	600	100	100	300	600	700
Mittelwert-bei 10 °C	MPa	10800	9200	9400	9700	8800	10800
Stabw.-bei 10 °C	MPa	400	200	100	100	500	300
Mittelwert-bei 20 °C	MPa	4800	3900	4200	4300	3900	5200
Stabw.-bei 20 °C	MPa	200	400	200	600	300	200
Mittelwert-bei 30 °C	MPa	2100	1400	1500	1600	1600	2200
Stabw.-bei 30 °C	MPa	100	100	0	0	200	100

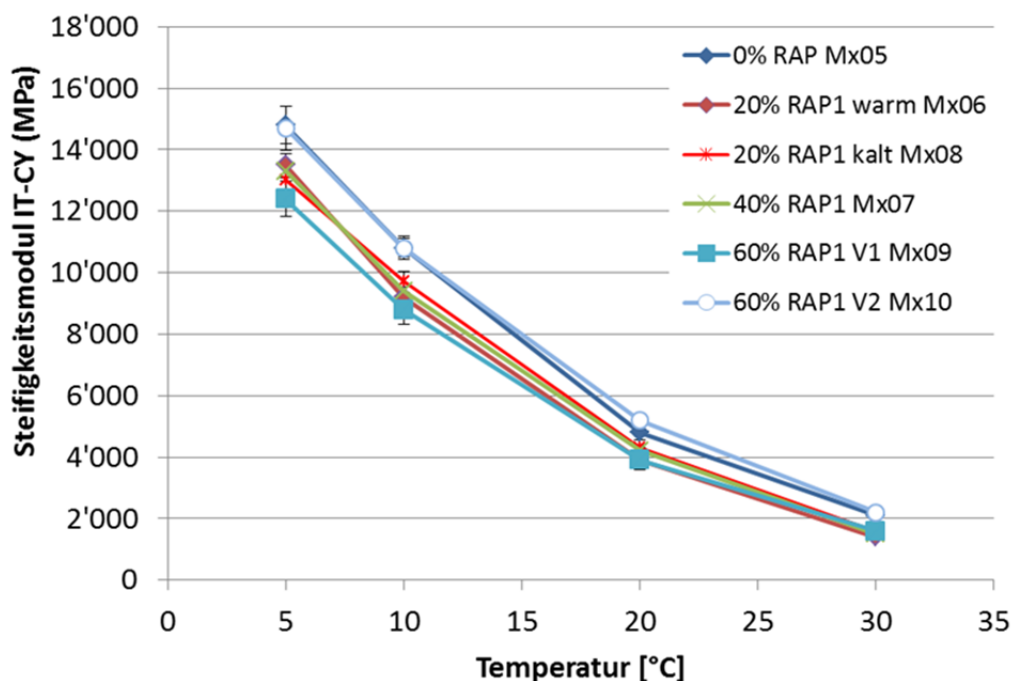


Abb. 5.35 Steifigkeitsmodul des AC 11 S im Bereich 5 bis 30°C

Die Werte des Steifigkeitsmoduls liegen bei allen Temperaturen nahe beieinander, was eine gute Übereinstimmung der Mischungen mit unterschiedlichen RAP1-Gehalten zeigt. Die leicht höheren Werte, die bei den Mischgutsorten ohne RAP1 Mx5 und mit 60% RAP1 Mx10 festzustellen sind, lassen einen Zusammenhang zu den „härteren“ Bindemiteleigenschaften erkennen. Die Penetrationen sind etwas kleiner, die Erweichungspunkte Ring und Kugel etwas höher, als bei den übrigen Mischungen.

5.1.4 Spurbildungstest

Abb. 5.36 Spurbildungstest des AC 11 S bei 60°C

Code		Mx05	Mx06	Mx08	Mx07	Mx09	Mx10
Anteil RAP1		0%	20%	20% kalt	40%	60%	60%
Verjüngungsmittel						V1	V2
Relative Spurrinnentiefe	%	6.8	n.b.	n.b.	6.7	6.9	5.6
nach 10000 Zyklen							
n.b. nicht bestimmt							

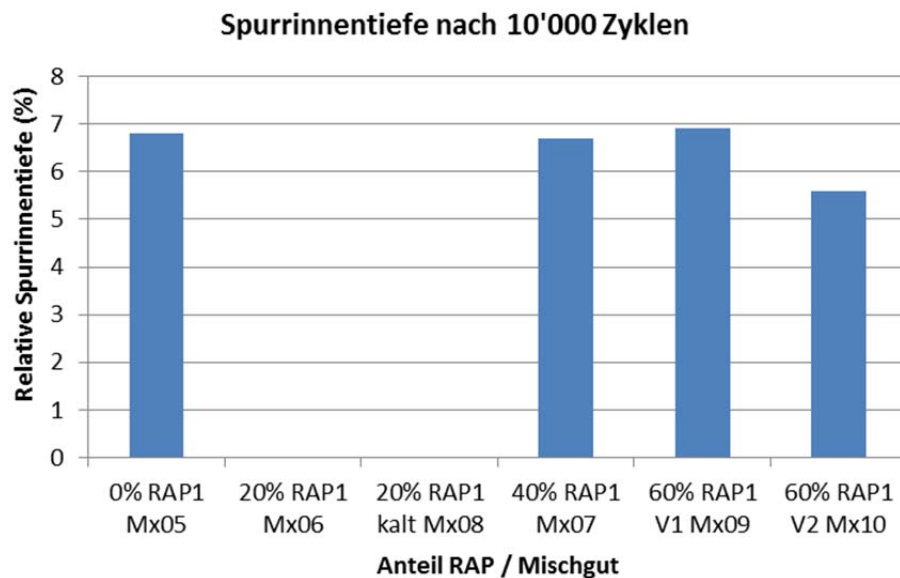


Abb. 5.37 Relative Spurrinnentiefen nach 10'000 Zyklen des AC 11 S

Die Spurbildungsteste wurden an Prüfkörpern von 5 cm Dicke durchgeführt und mit 10'000 Zyklen beendet, wie dies für Deckschichten vorgeschrieben ist. Aufgrund des relativ hohen Bindemittelgehaltes und mit dem Zielbitumen 70/100 eher weichen Bindemittels sind die Spurrinnentiefen bei allen Mischgutvarianten mit ungefähr 7% relativ hoch (Abb. 5.36). Sie liegen aber alle noch unterhalb des von der Norm vorgegebenen Maximalwertes von 10%. Einzig die Mischung Mx10 mit dem Verjüngungsmittel V2 zeigt eine geringere Spurrinnentiefe, die allerdings auch mit dem etwas steiferen Bindemittel zusammenhängen dürfte (Mx10 Penetration $40 \cdot 10^{-1}$ mm, Mx09 Penetration $49 \cdot 10^{-1}$ mm).

5.1.5 Spaltzug-Schwellversuch

Abb. 5.38 Spaltzug-Schwellversuch des AC 11 S

Code	Mx05	Mx06	Mx08	Mx07	Mx09	Mx10
Anteil RAP1	0%	20%	20% kalt	40%	60%	60%
Verjüngungsmittel					V1	V2
Spaltzug-Schwellversuch		-	-			
Anfängliche elastische Dehnung %	0.031	n.b.	n.b.	0.039	0.034	0.036
nach 1 Mio. Lastwechseln (ε6)						
n.b. nicht bestimmt						

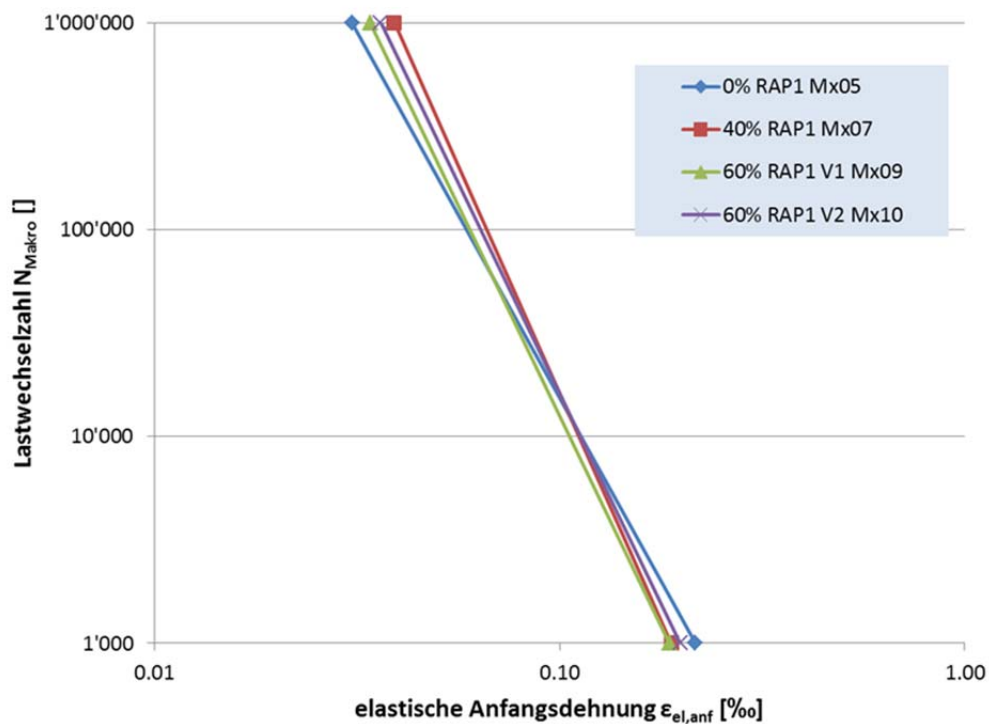


Abb. 5.39 Ermüdungsverhalten des AC 11 S

Die Resultate des Spaltzug-Schwellversuchs zum Ermüdungsverhalten unterscheiden sich bei einer Million Lastzyklen wenig. Tendenziell zeigen die Mischungen mit Ausbauasphalt RAP1 ein leicht besseres Ermüdungsverhalten im Vergleich zur Referenzmischung Mx05 ohne RAP1. Die unterschiedlichen Verjüngungsmittel der beiden Mischungen Mx9 und Mx10 zeigen praktisch keinen Einfluss auf das Ermüdungsverhalten.

5.1.6 Druckschwellversuch

Abb. 5.40 AC 11 S, Druckschwellversuch, Prüftemperatur 50°C

Code		Mx05	Mx06	Mx08	Mx07	Mx09	Mx10
Anteil RAP1		0%	20%	20%	40%	60%	60%
Verjüngungsmittel				kalt		V1	V2
Raumdichte der Prüfkörper	kg/m ³	2370	2385	2380	2384	2397	2396
WP Belastungszyklen		3323	4652	3724	4180	5639	6937
WP Belastungszyklen Stabw.	%	5.0	13.9	1.9	9.0	18.4	17.5
WP Dehnung	%	15.49	15.90	17.66	19.80	17.24	17.57
WP Dehnung Stabw.	%	6.8	3.8	9.7	6.2	5.5	1.2
WP Steigung	%/10 ⁴ n	18.38	9.18	12.80	15.54	7.29	5.45
WP Steigung Stabw.	%	6.9	11.2	13.2	7.7	14.5	13.6

WP=Wendepunkt

DSV: Wendepunkt Belastungszyklen

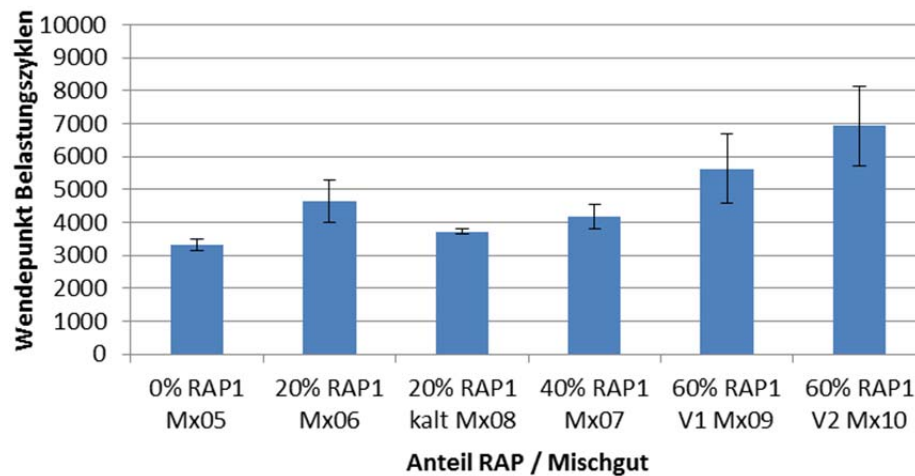


Abb. 5.41 Anzahl Belastungszyklen im Wendepunkt des AC 11 S

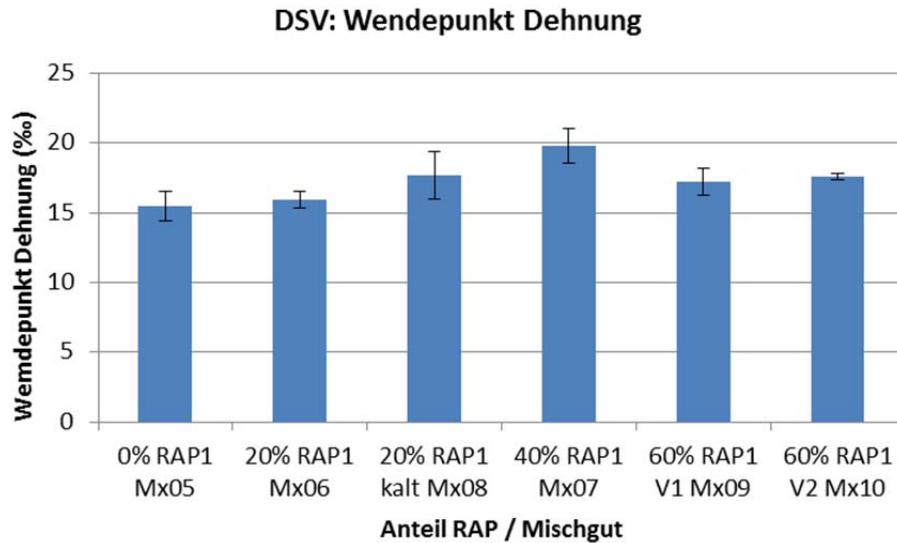


Abb. 5.42 Dehnung im Wendepunkt des AC 11 S

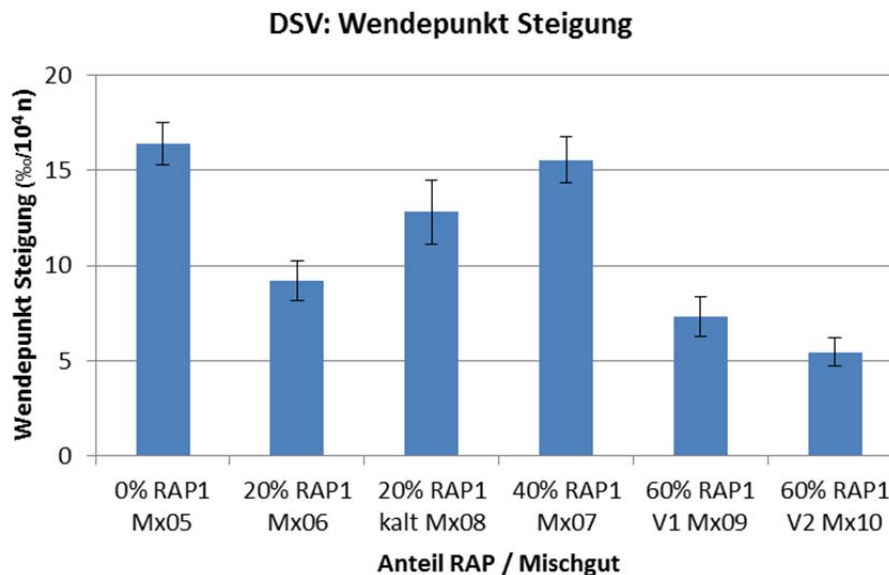


Abb. 5.43 Steigung im Wendepunkt des AC 11 S

Kleinere Steigungen nach dem Wendepunkt zeigen ein besseres Deformationsverhalten auf. Die besseren Deformationsverhalten beim AC 11 S sind eher auf Abweichungen bei den Mischgut-Eigenschaften als auf die Recyclinganteile RAP zurückzuführen. Der AC 11 S mit 20% RAP1 (Mx6) hat ein dichteres Mischgutkonzept (kleinerer Hohlraumgehalt-Marshall) und die beiden AC 11 S mit 60% RAP1 und Verjüngungsmitteln (Mx09 und Mx10) sind bindemittelärmer und füllreicher. Sicher ist kein Einfluss des RAP auf ein schlechteres Deformationsverhalten festzustellen. Im Gegenteil, mit RAP wäre eher ein besseres Deformationsverhalten anzunehmen.

Ein sehr ähnliches Verhalten zeigen die Anzahl der Belastungen bis zum Wendepunkt. Höhere Werte ebenfalls bei den gleichen Mischungen Mx6, Mx09 und Mx10. Die Dehnungen beim Wendepunkt zeigen ebenfalls keinen zuverlässigen Einfluss durch das Recycling RAP1 auf.

5.1.7 Indirekter Zugversuch

Abb. 5.44 Indirekter Zugversuch des AC 11 S

Code	Mx05	Mx06	Mx08	Mx07	Mx09	Mx10	
Anteil RAP1	0%	20%	20% kalt	40%	60%	60%	
Verjüngungsmittel					V1	V2	
Indirekter Zugversuch		-	-				
Spaltzugfestigkeit bei -10°C	MPa	5.32	4.67	4.49	4.60	5.32	5.40
Stabw.	MPa	0.22	0.18	0.08	0.18	0.22	0.22

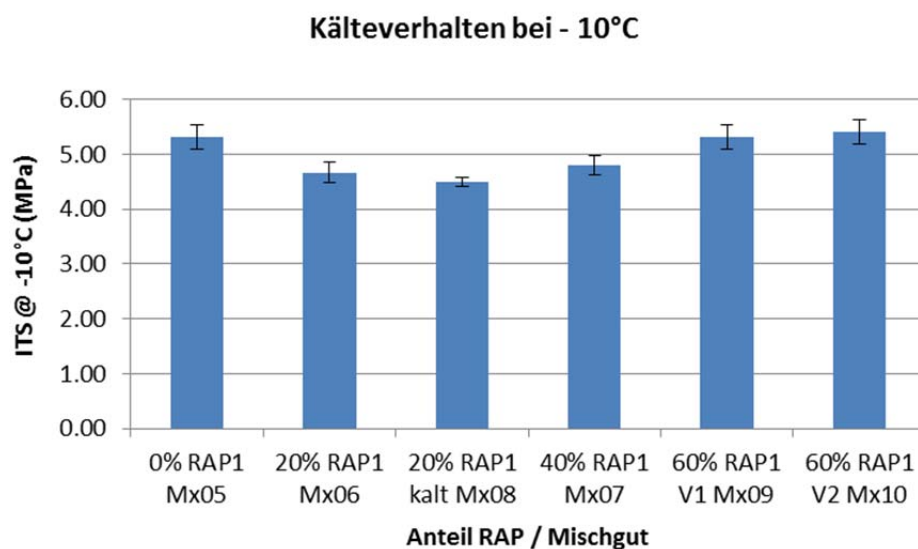


Abb. 5.45 Kälteverhalten, indirekter Zugversuche bei -10°C des AC 11 S

Das Kälteverhalten nimmt etwas ab, wenn Ausbauasphalt RAP zwischen 20 und 40% zugegeben wird. Dies ist jedoch nicht der Fall bei Zugaben von 60% mit Verjüngungsmittel, welche gleiche Kälteverhalten zeigen wie die Referenzmischung ohne RAP (0%). Möglicherweise wird das Kälteverhalten durch die Zugabe von Verjüngungsmitteln positiv beeinflusst, wobei mit beiden Produkten etwa gleiche Wert resultierten

5.2 Mischgut AC T 22 S (Zielbitumen 50/70)

Abb. 5.46 Prüfmatrix für das Mischgut AC T 22 S

Code	Mx20	Mx21	Mx22	Mx23	Mx24	Mx25
Anteil RAP	0%	40%	40%	40%	60%	80%
RAP-Sorte		RAP1	RAP2	RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Mischungsverhältnis				1 : 2	1 : 2	1 : 2
Verjüngungsmittel						V1
Mischgut-Eigenschaften	X	X	X	X	X	X
Wasserempfindlichkeit	X		X	X	X	X
Steifigkeitsmodul	X	X	X	X	X	X
Spurbildungstest	X				X	X
Spaltzug-Schwellversuch	X			X	X	X
Druckschwellversuch	X		X	X	X	X
Indirekter Zugversuch bei -10°C	X				X	X

5.2.1 Mischgut-Eigenschaften

Abb. 5.47 AC T 22 S, hergestellte Mischungen: Mischgut-Eigenschaften

Code		Mx20	Mx21	Mx22	Mx23	Mx24	Mx25
Anteil RAP		0%	40%	40%	40%	60%	80%
RAP-Sorte / Verhältnis 1:2			RAP1	RAP2	RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Verjüngungsmittel							V1
Bindemittelgehalt	Masse-%	4.11	4.33	4.22	3.94	4.07	4.07
Penetration	0.1 mm	31	24	27	31	31	30
Erweichungspunkt RuK	°C	56.8	67.4	63.4	58.2	58.0	60.4
Penetrationsindex	-	-0.7	+0.7	+0.3	-0.4	-0.4	-0.1
Raumdichte	kg/m ³	2378	2375	2374	2391	2419	2438
Rohdichte-Mischgut	kg/m ³	2503	2500	2500	2517	2510	2510
Rohdichte Mineral	kg/m ³	2666	2673	2668	2676	2673	2673
Hohlraumgehalt	Vol.-%	5.0	5.0	5.0	5.0	3.5	2.9
Stabilität-Marshall S	kN	15.6	15.2	14.7	14.6	15.1	15.1
Fliessen-Marshall F _t	mm	1.3	1.3	1.2	1.2	1.4	1.4
Siebdurchgang	Masse-%						
Prüfsieb [mm]							
22.4		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
16.0		86.3	86.3	81.3	74.9	81.6	87.0
11.2		69.6	73.7	61.8	62.6	65.3	68.9
8.0		57.3	51.3	55.1	51.4	57.1	57.2
4.0		39.9	41.2	37.1	34.9	40.2	41.3
2.0		30.2	29.9	25.6	24.6	29.8	30.1
1.0		23.5	22.1	20.0	19.0	22.6	23.0
0.063		5.9	7.1	6.6	6.3	7.1	8.8

Diese 6 Mischungen wurden als ausreichend vergleichbar bewertet. Bei den ersten 4 Mischungen sind die Hohlraumgehalte-Marshall, die das Mischgutkonzept bei ähnlichen Zusammensetzungen bewerten, mit je 5.0 Vol.-% gleich. Bei den zwei Mischungen mit den höchsten Anteilen an RAP1+2 von 60% und 80% sind die Hohlraumgehalte-Marshall mit 3.5 und 2.9 Vol.-% deutlich kleiner. Obwohl 2 bzw. 3 verschiedene Rezepturen hergestellt wurden, konnte keine bessere Übereinstimmung erreicht werden. Neben den höheren Füllergehalten dürfte die Ursache für die dichteren Konzepte in den Eigenschaften des RAP liegen. Die Zusammensetzungen sind sonst soweit ähnlich.

5.2.2 Wasserempfindlichkeit

Abb. 5.48 Wasserempfindlichkeit ITSR, geprüft bei 22°C, Wasserlagerung bei 40°C

Code	Mx20	Mx21	Mx22	Mx23	Mx24	Mx25	
Anteil RAP	0%	40%	40%	40%	60%	80%	
RAP-Sorte		RAP1	RAP2	RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2	
Mischungsverhältnis				1 : 2	1 : 2	1 : 2	
Verjüngungsmittel						V1	
Indirekte Zugfestigkeit							
-Wasserlagerung	kPa	1138	n.b.	1064	1125	1191	1420
-Trockenlagerung	kPa	1180	n.b.	1094	1117	1246	1363
Wasserempfindlichkeit ITSR	%	97	n.b.	97	101	96	104

n.b. nicht bestimmt

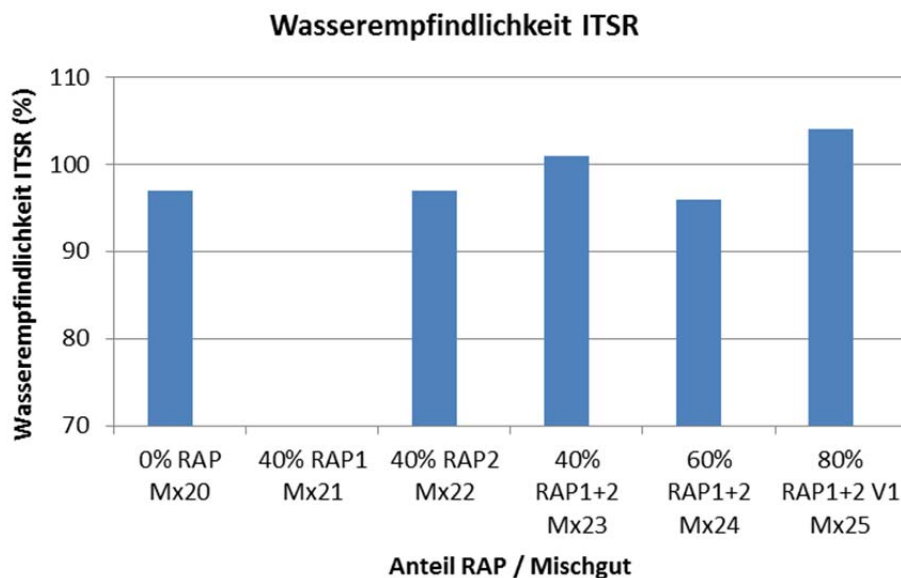


Abb. 5.49 Wasserempfindlichkeit ITSR des AC T 22 S

Die Werte der Wasserempfindlichkeiten, als Verhältnis der indirekten Zugfestigkeiten ITSR, sind mit 97 bis 103 sind hoch und weisen keine systematischen Streuungen auf. Die Anforderung der Norm SN 640 431-1b-NA „Asphaltmischgut, Mischgutanforderungen – Teil 1: Asphaltbeton [2] von >70% ist von allen Werten deutlich erfüllt.

Mit dieser Prüfung ist kein Einfluss auf die Wasserempfindlichkeit der Mineralstoffe durch die unterschiedlichen Anteile an Recycling-Asphalt-Granulat RAP1 0/11, RAP2 11/22 und den Mischungen an RAP 1+2 im Verhältnis 1:2 festzustellen.

5.2.3 Steifigkeitsmodul

Abb. 5.50 Steifigkeitsmodul des AC T 22 S im Bereich von 5 bis 30 °C

Code	Mx20	Mx21	Mx22	Mx23	Mx24	Mx25	
Anteil RAP	0%	40%	40%	40%	60%	80%	
RAP-Sorte		RAP1	RAP2	RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2	
Mischungsverhältnis				1 : 2	1 : 2	1 : 2	
Verjüngungsmittel						V1	
Steifigkeitsmodul IT-CY							
Mittelwert-bei 5 °C	MPa	18300	n.b.	17100	15900	20200	19600
Stabw.-bei 5 °C	MPa	400	n.b.	400	400	800	900
Mittelwert-bei 10 °C	MPa	13900	n.b.	14100	12200	16000	15400
Stabw.-bei 10 °C	MPa	300	n.b.	500	700	600	600
Mittelwert-bei 20 °C	MPa	6700	n.b.	7200	5900	8200	7800
Stabw.-bei 20 °C	MPa	400	n.b.	400	200	500	600
Mittelwert-bei 30 °C	MPa	3000	n.b.	3300	2700	3700	3800
Stabw.-bei 30 °C	MPa	100	n.b.	100	100	200	200

n.b. nicht bestimmt

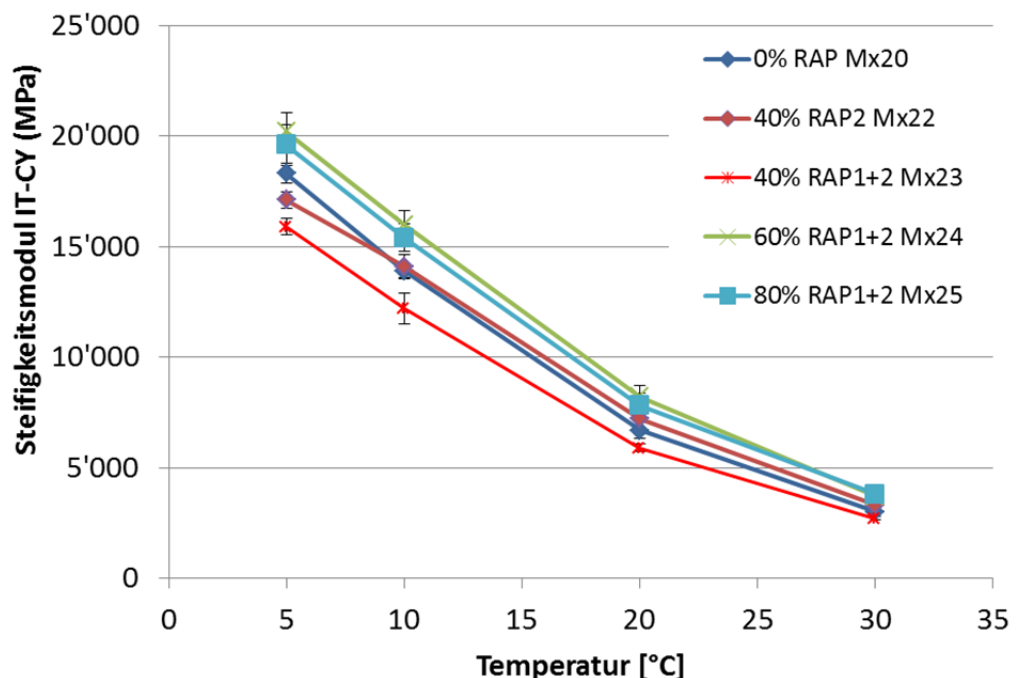


Abb. 5.51 Steifigkeitsmodul des AC T 22 S im Bereich 5 bis 30°C

Die Werte des Steifigkeitsmoduls liegen deutlich höher als beim AC 11 S, was auf das härtere Bindemittel und auf die grobkörnigere Mischgutsorte AC T 22 S zurückzuführen ist. Sie streuen auch deutlich mehr als beim AC 11 S. Dies ist unter anderem auf das grössere Nominalkorn zurückzuführen, was zu inhomogeneren Prüfkörpern führt. Der

Steifigkeitsmodul ist mit den beiden höchsten Recyclinganteilen 60% und 80% etwas höher, was auf die dichteren Mischgutkonzepte zurückzuführen sein dürfte, sonst eher gleichwertig. Interessant ist jedoch, dass sich die beiden Varianten mit 40% RAP unterschiedlich verhalten. Das Mischgut mit RAP2 verhält sich steifer, insbesondere bei den tiefen Temperaturen von 5 und 10°C, als jenes, das mit einem Gemisch von RAP1+2 hergestellt wurde. Es lässt sich kein systematisch nachteiliger Einfluss des Recycling-Anteils feststellen (siehe auch Kapitel 5.4).

5.2.4 Spurbildungstest

Abb. 5.52 Spurbildungstest des AC T 22 S bei 60°C

Code	Mx20	Mx21	Mx22	Mx23	Mx24	Mx25
Anteil RAP	0%	40%	40%	40%	60%	80%
RAP-Sorte		RAP1	RAP2	RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Mischungsverhältnis				1 : 2	1 : 2	1 : 2
Verjüngungsmittel						V1
Relative Spurrinnentiefe	% 3.3	n.b.	n.b.	n.b.	2.9	4.1

nach 30000 Zyklen
n.b. nicht bestimmt

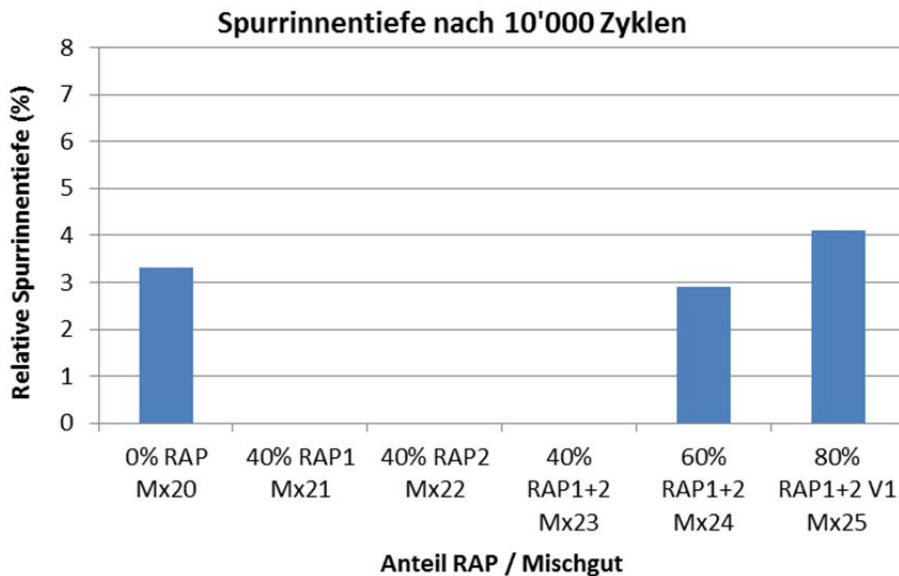


Abb. 5.53 Spurrinnentiefen des AC T 22 S

Die Spurrinnenprüfungen des AC T 22 S wurden an 10 cm dicken Prüfkörpern durchgeführt und nach 10'000 Zyklen beurteilt. Die Spurrinnen sind im Vergleich zum AC 11 S deutlich geringer und liegen zwischen 2.9 und 4.1 % (Abb. 5.53). Dies ist auf die gröbere Mischgutsorte, den niedrigeren Bindemittelgehalt, die höhere Steifigkeit des Bindemittels (Penetrationswerte des rückgewonnen Bindemittels bei etwa $30 \cdot 10^{-1}$ mm), sowie auf den höheren Hohlraumgehalt zurückzuführen. Auch für diese Mischgutsorte AC T 22 S sind die Spurrinnentiefen der verschiedenen Mischungen mit und ohne Ausbausphalt RAP praktisch identisch.

5.2.5 Spaltzug-Schwellversuch

Abb. 5.54 Spaltzug-Schwellversuch des AC T 22 S

Code	Mx20	Mx21	Mx22	Mx23	Mx24	Mx25
Anteil RAP	0%	40%	40%	40%	60%	80%
RAP-Sorte		RAP1	RAP2	RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Mischungsverhältnis				1 : 2	1 : 2	1 : 2
Verjüngungsmittel						V1
Anfängliche elastische Dehnung	‰ 0.018	n.b.	n.b.	0.026	0.041	0.033
nach 1 Mio. Lastwechseln (ϵ_6)						
n.b. nicht bestimmt						

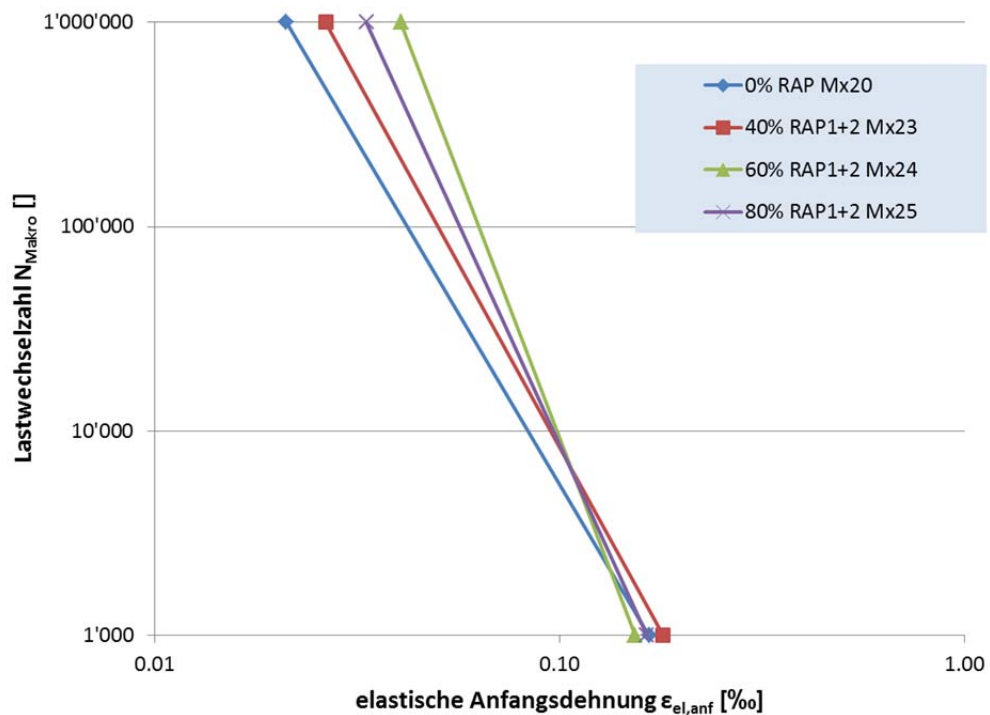


Abb. 5.55 Spaltzug-Schwellversuch des AC T 22 S

Die Mischungen der Tragschicht AC T 22 S unterscheiden sich bezüglich Spaltzug-Schwellversuch (Ermüdung) deutlicher als die Mischungen der Deckschicht AC 11 S. Beim Kennwert ϵ_6 , der einer Versagensgrenze nach einer Million Zyklen entspricht, schneiden die beiden Mischungen mit 60 und 80% RAP am besten ab, das heisst sie können die höchsten Dehnungen ertragen. Die Mischung Mx20 ohne Recyclingasphalt RAP zeigt die niedrigste Ermüdungsresistenz, insbesondere ist auch die Neigung der Ermüdungskurve (Wöhlerkurve) geringer. Es lässt sich kein systematisch nachteiliger Einfluss des Recycling-Anteils feststellen.

5.2.6 Druckschwellversuch

Abb. 5.56 Druckschwellversuch des AC T 22 S, Prüftemperatur 50°C

Code	Mx20	Mx21	Mx22	Mx23	Mx24	Mx25	
Anteil RAP	0%	40%	40%	40%	60%	80%	
RAP-Sorte		RAP1	RAP2	RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2	
Mischungsverhältnis				1 : 2	1 : 2	1 : 2	
Verjüngungsmittel						V1	
Raumdicke der Prüfkörper	kg/m ³	2385	n.b.	2391	2376	2427	2442
WP Belastungszyklen		4851	n.b.	10000*	4764	8545	10000*
WP Belastungszyklen Stabw.	%	9.4	n.b.	0*	23.5	22.9	0*
WP Dehnung	‰	14.94	n.b.	14.43*	14.30	15.70	12.79*
WP Dehnung Stabw.	%	7.8	n.b.	4.7*	10.9	6.5	5.3*
WP Steigung	‰/10 ⁴	9.69	n.b.	4.01*	7.95	5.82	2.97*
	n						
WP Steigung Stabw.	%	19.8	n.b.	18.0*	13.4	18.3	12.0*

* Prüfung ohne WP=Wendepunkt, Prüfmethode bei 10000 Belastungszyklen ist üblich
n.b. nicht bestimmt

DSV: Wendepunkt Belastungszyklen

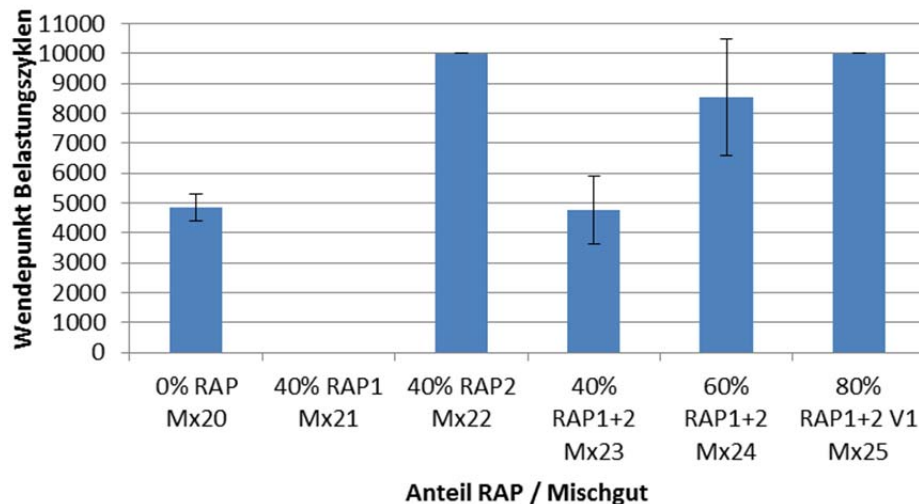


Abb. 5.57 Anzahl Belastungszyklen im Wendepunkt des AC T 22 S

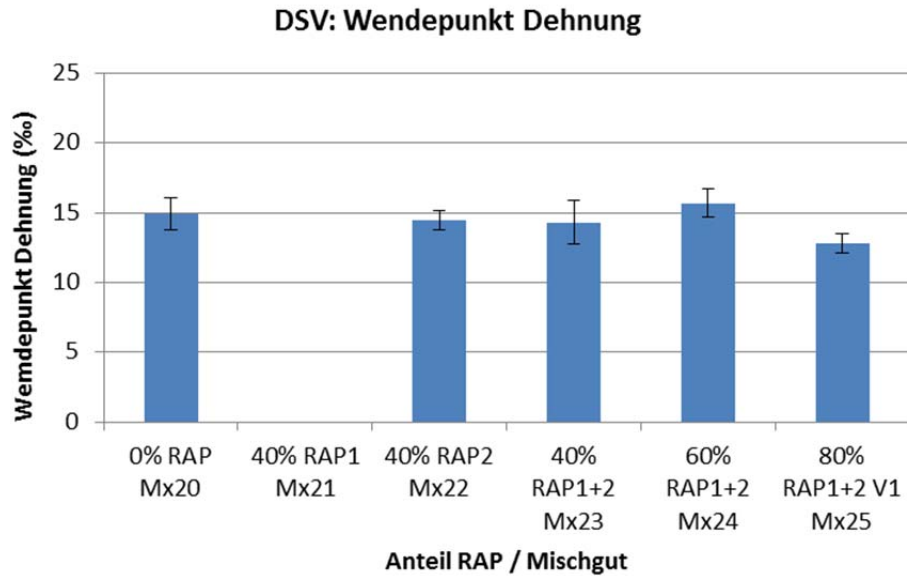


Abb. 5.58 Dehnung im Wendepunkt des AC T 22 S

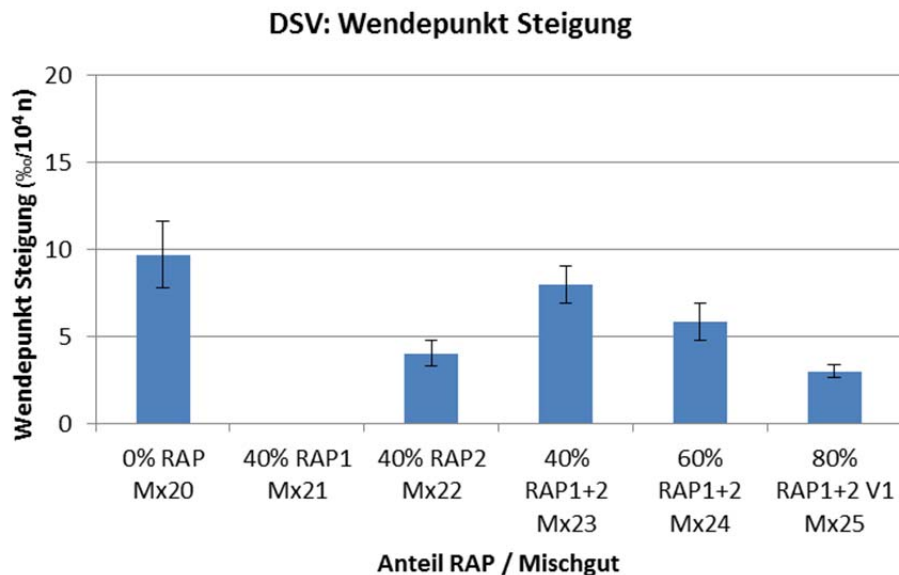


Abb. 5.59 Steigung im Wendepunkt des AC T 22 S

Kleinere Steigungen nach dem Wendepunkt zeigen ein besseres Deformationsverhalten auf. Die besseren Deformationsverhalten sind auch beim AC T 22 S eher auf Abweichungen bei den Mischgut-Eigenschaften als auf den Anteil an Recycling RAP zurückzuführen. Der AC T 22 S mit 20% RAP1 (Mx21) hat ein etwas härteres Bindemittel und die beiden AC T 22 S mit 60% und 80% RAP (Mx24 und Mx25) ein dichteres Mischgutkonzept mit kleinerem Hohlraumgehalt-Marshall. Sicher ist kein Einfluss des RAP auf ein schlechteres Deformationsverhalten festzustellen. Im Gegenteil, mit RAP wäre eher ein besser Deformationsverhalten anzunehmen.

Ein sehr ähnliches Verhalten zeigen die Anzahl der Belastungen bis zum Wendepunkt mit höheren Werten bei den gleichen Mischungen Mx21, Mx24 und Mx25. Die Dehnungen beim Wendepunkt zeigen ebenfalls keinen signifikanten Einfluss durch den Anteil an Recycling RAP1 auf.

5.2.7 Indirekter Zugversuch

Abb. 5.60 Indirekter Zugversuch des AC T 22 S

Code	Mx20	Mx21	Mx22	Mx23	Mx24	Mx25
Anteil RAP	0%	40%	40%	40%	60%	80%
RAP-Sorte		RAP1	RAP2	RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Mischungsverhältnis				1 : 2	1 : 2	1 : 2
Verjüngungsmittel						V1
Spaltzugfestigkeit bei -10°C	MPa 4.75	n.b.	4.16	3.24	5.02	5.13
Stabw.	MPa 0.24	n.b.	0.39	0.18	0.75	0.16

n.b. nicht bestimmt

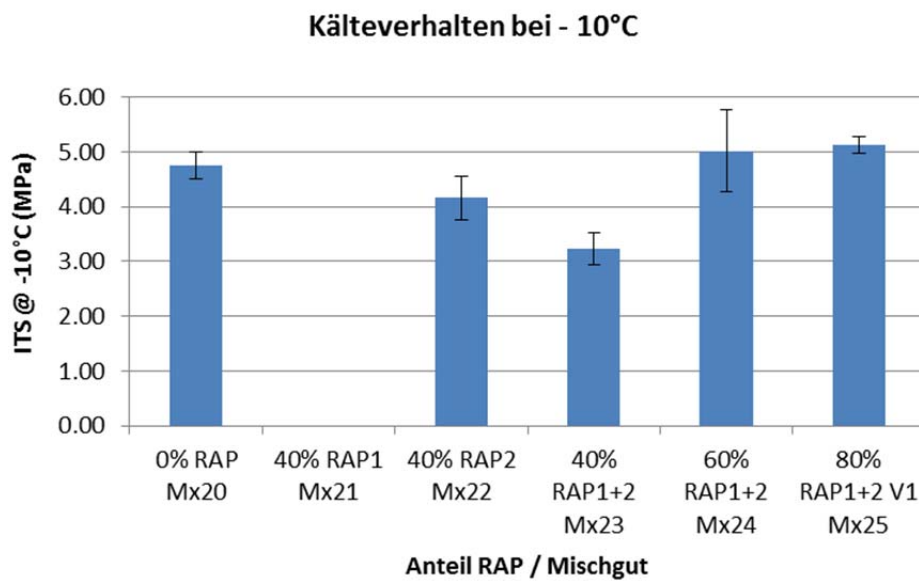


Abb. 5.61 Kälteverhalten, indirekter Zugversuch bei -10°C des AC T 22 S

Die Spaltzugfestigkeit ist für die Mischungen mit 40% RAP am tiefsten. Interessanterweise sind die Werte der Mischungen mit Verjüngungsmittel und hohem RAP sogar höher als bei der Referenzmischung ohne Recyclingasphaltzugabe. Das Verjüngungsmittel zeigt einen positiven Einfluss, zumindest im geprüften, nicht gealterten Zustand.

5.3 Mischgut AC EME 22 C2 (Zielbitumen 10/20)

Abb. 5.62 Prüfmatrix für das Mischgut AC EME 22 C2

Code	Mx30	Mx31	Mx32	Mx34
RAP-Anteil	0%	20%	40%	80%
RAP-Sorte		RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Mischungsverhältnis		1 : 2	1 : 2	1 : 2
Mischgut-Eigenschaften	X	X	X	X
Wasserempfindlichkeit	X	X	X	X
Steifigkeitsmodul	X	X	X	X
Spaltzug-Schwellversuch	X			X
Druckschwellversuch	X	X	X	X
Indirekter Zugversuch bei -10°C	X			X

5.3.1 Mischgut-Eigenschaften

Abb. 5.63 AC EME 22 C2, hergestellte Mischungen: Mischgut-Eigenschaften

Code		Mx30	Mx31	Mx32	Mx34
RAP-Anteil		0%	20%	40%	80%
RAP-Sorte/Verhältnis 1:2			RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Bindemittelgehalt	Masse-%	5.20	5.22	4.95	4.95
Penetration	0.1 mm	13	11	12	14
Erweichungspunkt RuK	°C	74.4	74.6	78.2	76.0
Penetrationsindex	-	+0.7	+0.4	+1.1	+1.0
Raumdichte	kg/m ³	2406	2410	2416	2419
Rohdichte-Mischgut	kg/m ³	2475	2471	2481	2480
Rohdichte Mineral	kg/m ³	2681	2677	2677	2676
Hohlraumgehalt	Vol.-%	2.8	2.5	2.6	2.5
Stabilität-Marshall S	kN				
Fliesen-Marshall F_t	mm				
Siebdurchgang	Masse-%				
Prüfsieb [mm]					
22.4		98.9	100.0	99.0	100.0
16.0		84.1	81.5	79.8	83.5
11.2		74.3	76.4	67.9	68.8
8.0		59.9	64.4	58.2	55.0
4.0		39.9	42.4	37.8	38.3
2.0		28.1	28.8	26.7	28.2
1.0		22.8	23.0	21.5	22.5
0.063		8.0	8.6	8.4	9.1

Diese 4 Mischungen sind ausreichend vergleichbar. Die Hohlraumgehalte-Marshall, die das Mischgutkonzept bei ähnlichen Zusammensetzungen bewerten, streuen mit 2.5 bis 2.8 Vol.-% sehr wenig. Die Bindemittleigenschaften sind ebenfalls ähnlich.

Bei allen 4 Mischungen konnte Zugabebindemittel Bitumen 10/20 mit Penetration 18 0.1 mm und Erweichungspunkt RuK 69.2 °C verwendet werden. Dies war möglich, weil das RAP-Gemisch im Verhältnis 1 : 2 eine Penetration von etwa 30 0.1 mm und einen Erweichungspunkt RuK von etwa 59 °C aufweist, recht hart ist und durch die erneute Erhitzung bei der Aufbereitung offensichtlich auf ähnliche Eigenschaften verhärtet wie das Bitumen 10/20.

5.3.2 Wasserempfindlichkeit

Abb. 5.64 Wasserempfindlichkeit ITSR, geprüft bei 22°C, Wasserlagerung bei 40°C

Code		Mx30	Mx31	Mx32	Mx34
RAP-Anteil		0%	20%	40%	80%
RAP-Sorte			RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Mischungsverhältnis			1 : 2	1 : 2	1 : 2
Indirekte Zugfestigkeit					
-Wasserlagerung	kPa	2803	2962	2344	2600
-Trockenlagerung	kPa	2767	2873	2349	2501
Wasserempfindlichkeit ITSR	%	101	103	100	104

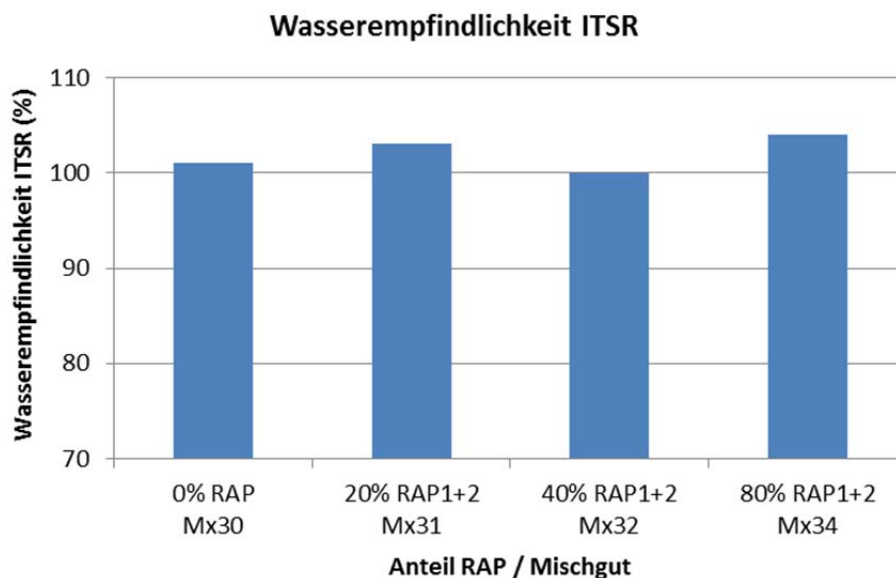


Abb. 5.65 Wasserempfindlichkeit ITSR des AC 22 EME C2

Mit Werten zwischen 101 und 104 streuen die Wasserempfindlichkeiten, als Verhältnis der indirekten Zugfestigkeiten ITSR, sehr wenig. Die Anforderung der Norm SN 640 431-1b-NA „Asphaltmischgut, Mischgutanforderungen – Teil 1: Asphaltbeton [2] von >70% ist deutlich erfüllt.

Die Prüfung „Wasserempfindlichkeit“ zeigt keinen Einfluss durch die unterschiedlichen Anteile an Recycling-Asphalt-Granulat RAP1+2 im Verhältnis 1:2 auf.

5.3.3 Steifigkeitsmodul

Abb. 5.66 Steifigkeitsmodul des AC EME 22 C2 im Bereich von 10 bis 30°C

Code		Mx30	Mx31	Mx32	Mx34
RAP-Anteil		0%	20%	40%	80%
RAP-Sorte			RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Mischungsverhältnis			1 : 2	1 : 2	1 : 2
Steifigkeitsmodul IT-CY					
Mittelwert-bei 5 °C	MPa	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Stabw.-bei 5 °C	MPa	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Mittelwert-bei 10 °C	MPa	22000	21800	n.b.	22500
Stabw.-bei 10 °C	MPa	400	1000	n.b.	500
Mittelwert-bei 20 °C	MPa	13600	14200	n.b.	14000
Stabw.-bei 20°C	MPa	300	600	n.b.	300
Mittelwert-bei 30 °C	MPa	7200	7900	n.b.	7700
Stabw.-bei 30 °C	MPa	200	200	n.b.	600

n.b. nicht bestimmt

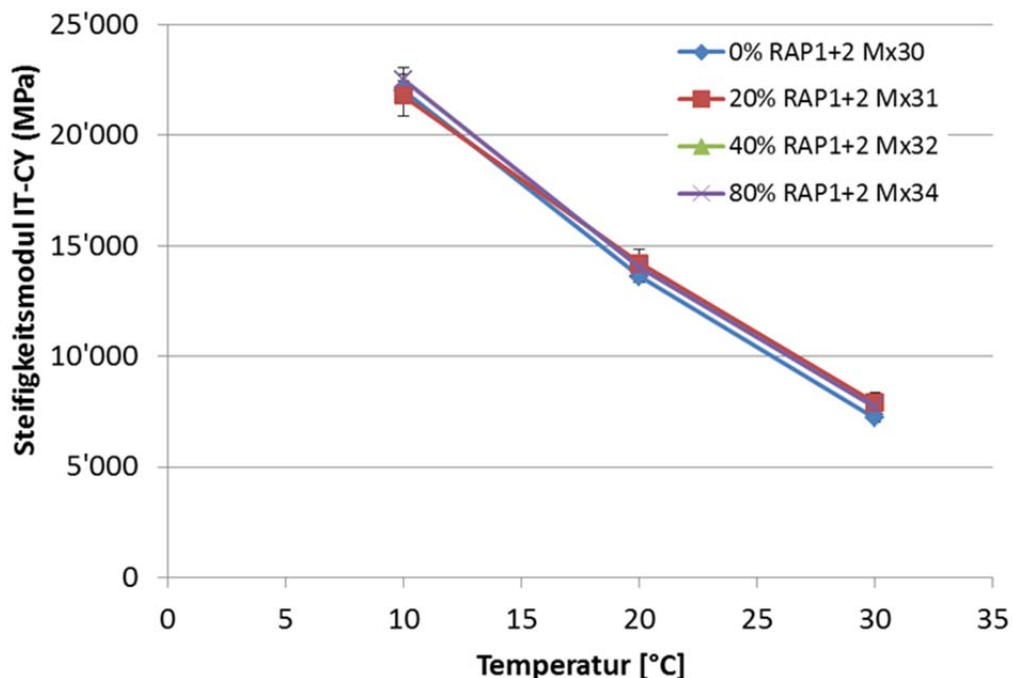


Abb. 5.67 Steifigkeitsmodul des AC EME 22 C2 im Bereich von 10 bis 30°C

Die Steifigkeitsmodule unterscheiden sich wenig und sind kleiner als die Messunsicherheit. Diese ist deutlich höher als bei den beiden anderen Mischgutsorten, was auch der Grund dafür ist, dass die Werte bei 5°C nicht bestimmt werden konnten. Dazu waren die erforderlichen Kräfte, um die geforderte horizontale Verformung von mindestens 3 µm zu erreichen, zu hoch.

5.3.4 Spaltzug-Schwellversuch

Abb. 5.68 Spaltzug-Schwellversuch des AC EME 22 C2

Code	Mx30	Mx31	Mx32	Mx34
RAP-Anteil	0%	20%	40%	80%
RAP-Sorte		RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Mischungsverhältnis		1 : 2	1 : 2	1 : 2
Anfängliche elastische Dehnung ‰	0.045	n.b.	n.b.	0.043
nach 1 Mio. Lastwechseln (ϵ_6)				
n.b. nicht bestimmt				

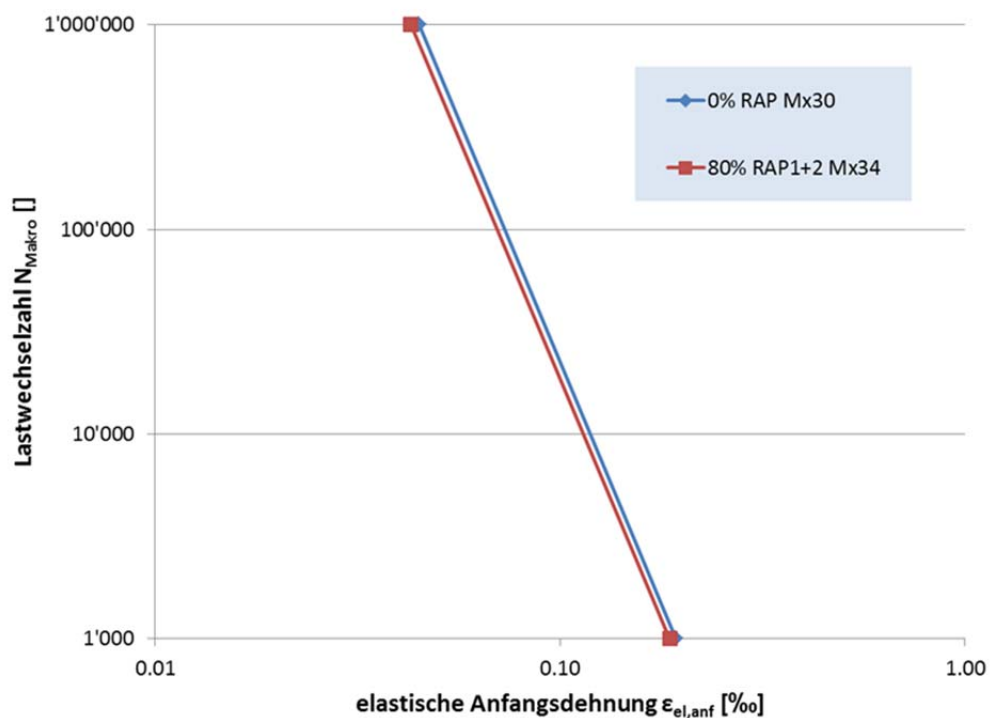


Abb. 5.69 Spaltzug-Schwellversuch des AC 22 EME C2

Die Ergebnisse der beiden untersuchten Mischungen unterscheiden sich sehr wenig, mit kleineren Differenzen als der Messunsicherheit. Die beiden ermittelten Wöhlerkurven verlaufen vollständig parallel. Die Mischung mit 80% Recyclingmaterial RAP ist demzufolge bezüglich Ermüdungsverhalten einer Mischung mit 100% Primärmaterial identisch.

5.3.5 Druckschwellversuch

Abb. 5.70 Druckschwellversuch des AC EME 22 C2, Prüftemperatur 50°C

Code		Mx30	Mx31	Mx32	Mx34
RAP-Anteil		0%	20%	40%	80%
RAP-Sorte			RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Mischungsverhältnis			1 : 2	1 : 2	1 : 2
Raumdicke der Prüfkörper	kg/m ³	2414	2418	2394	2429
Belastungszyklen		10000*	10000*	10000*	10000*
Belastungszyklen Stabw.	%	0*	0*	0*	0*
Dehnung	‰	8.33*	9.73*	9.15*	8.37*
Dehnung Stabw.	%	14.3*	0.8*	11.9*	6.4*
Steigung	‰/10 ⁴ n	1.08*	1.33*	1.08*	1.19*
Steigung Stabw.	%	23.2*	19.2*	37.5*	7.9*

* Prüfung ohne WP=Wendepunkt, Prüfende bei 10000 Belastungszyklen ist üblich

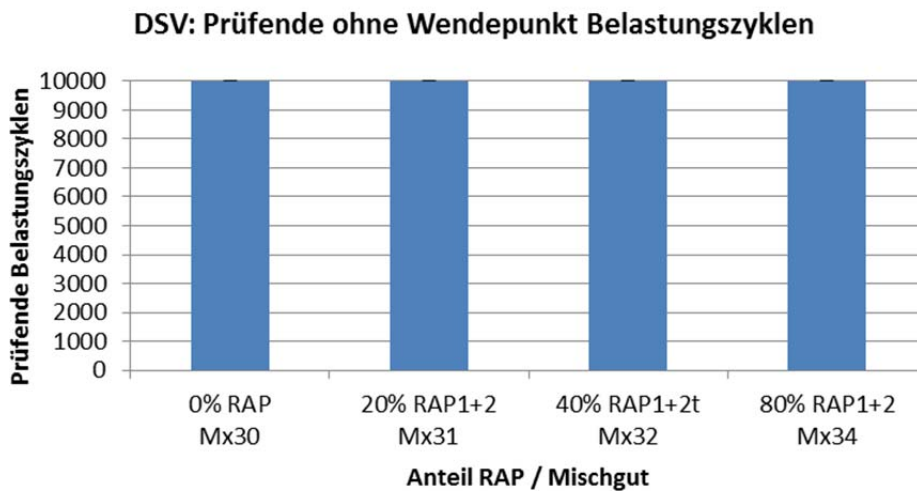


Abb. 5.71 Anzahl Belastungszyklen bei Prüfende des AC EME 22 C2

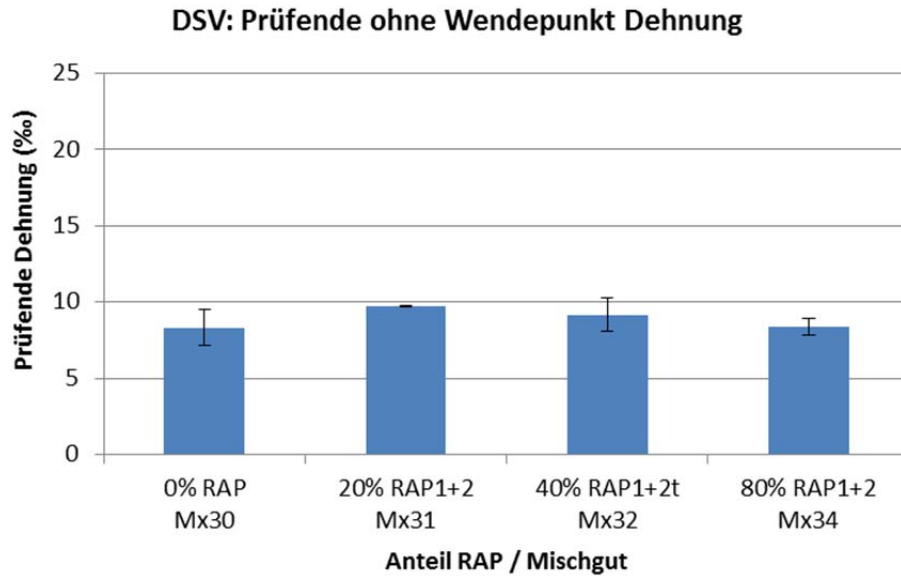


Abb. 5.72 Druckschwellversuch Dehnung bei Prüfende des AC EME 22 C2

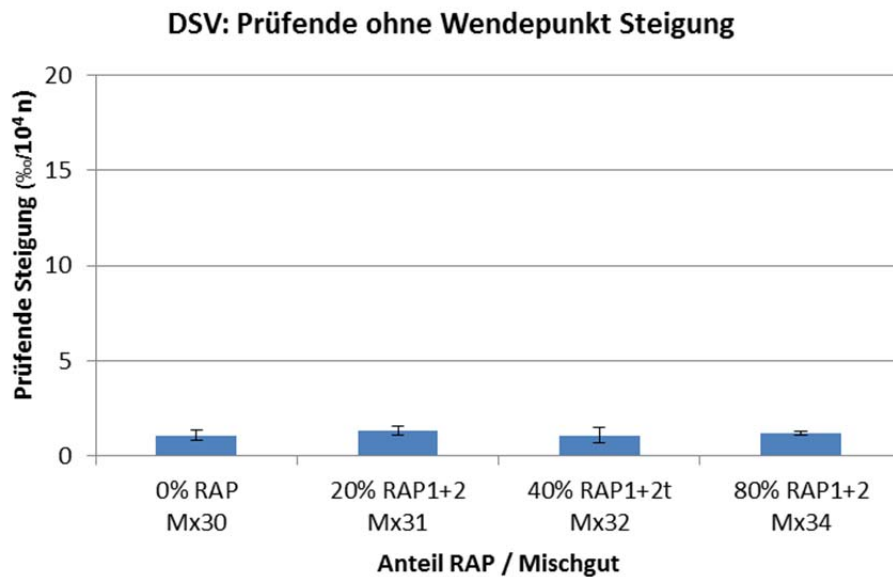


Abb. 5.73 Druckschwellversuch Steigung bei Prüfende des AC EME 22 C2

Bei allen vier Mischgut AC EME 22 C2 trat bis zum üblichen Prüfende von 10'000 Belastungszyklen kein Wendepunkt auf. Die Dehnungen bei Prüfende sind klein, weisen ähnliche Werte und keinen Zusammenhang zum Recycling-Anteil auf. Ebenso sind die Steigungen, als Mass für das Deformationsverhalten klein und unabhängig vom Recycling-Anteil.

Auch beim AC EME 22 C2 ist kein Einfluss des Anteils an Recycling-Asphalt-Granulat RAP auf die Ergebnisse des Druckschwellversuchs festzustellen.

5.3.6 Indirekter Zugversuch

Abb. 5.74 Indirekter Zugversuch des AC EME 22 C2

Code	Mx30	Mx31	Mx32	Mx34
RAP-Anteil	0%	20%	40%	80%
RAP-Sorte		RAP1+2	RAP1+2	RAP1+2
Mischungsverhältnis		1 : 2	1 : 2	1 : 2
Spaltzugfestigkeit bei -10°C	MPa 5.10	4.73	4.94	5.08
Stabw.	MPa 0.29	0.43	0.33	0.20

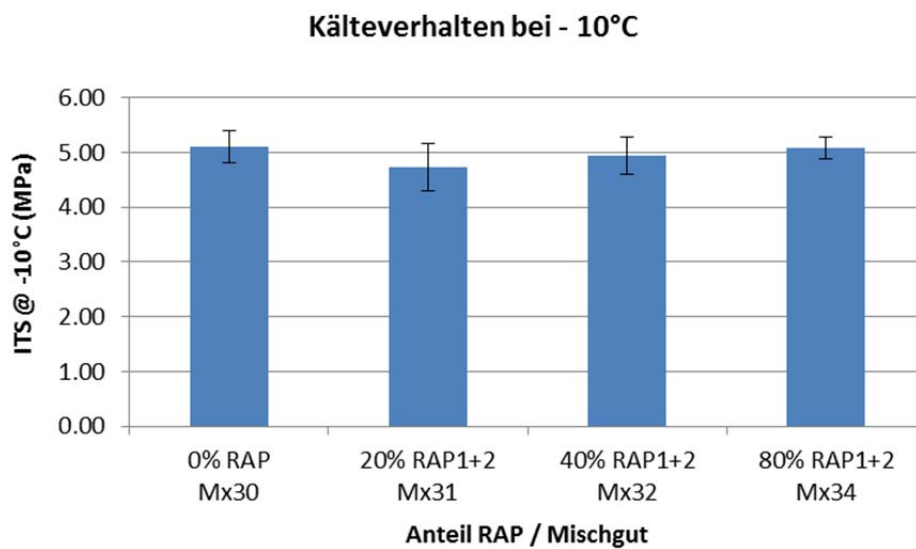


Abb. 5.75 Kälteverhalten, indirekter Zugversuch des AC EME 22 C2

Alle Resultate sind innerhalb der Messunsicherheit identisch. Es ist kein Einfluss des Anteils an Recyclingasphalt RAP auf das Kälteverhalten festzustellen.

5.4 Zusammenstellung der Resultate für die drei Mischgutsorten

Kommentare zu den einzelnen Prüfergebnissen sind für Mischgut AC 11 S im Kapitel 5.1, für Mischgut AC T 22 S im Kapitel 5.2 und für Mischgut AC EME 22 C2 im Kapitel 5.3 ausgeführt.

Mischguteigenschaften, löslicher Bindemittelgehalt

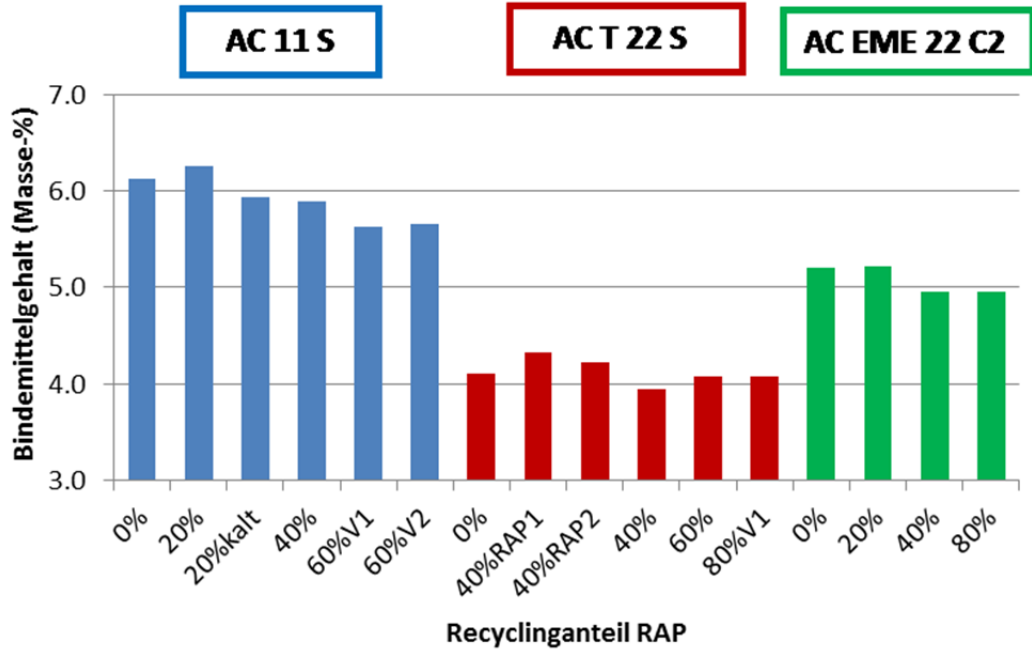


Abb. 5.76 Löslicher Bindemittelgehalt

Mischguteigenschaften, Penetration des zurückgewonnenen Bindemittels

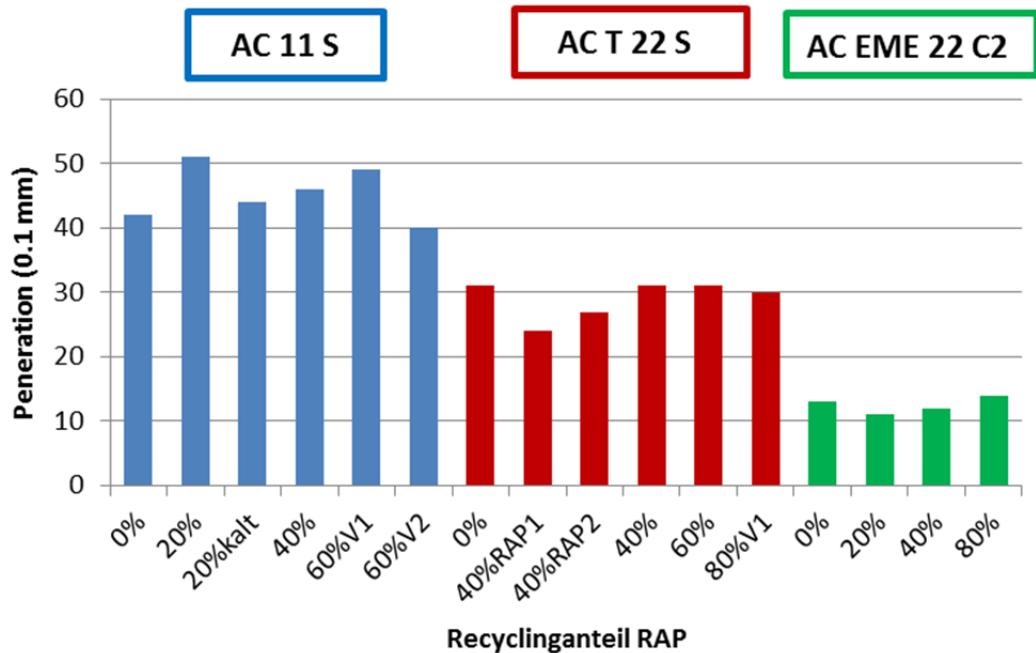


Abb. 5.77 Penetration der aufgearbeiteten löslichen Bindemittelanteile

Mischguteigenschaften, Hohlraumgehalt-Marshall

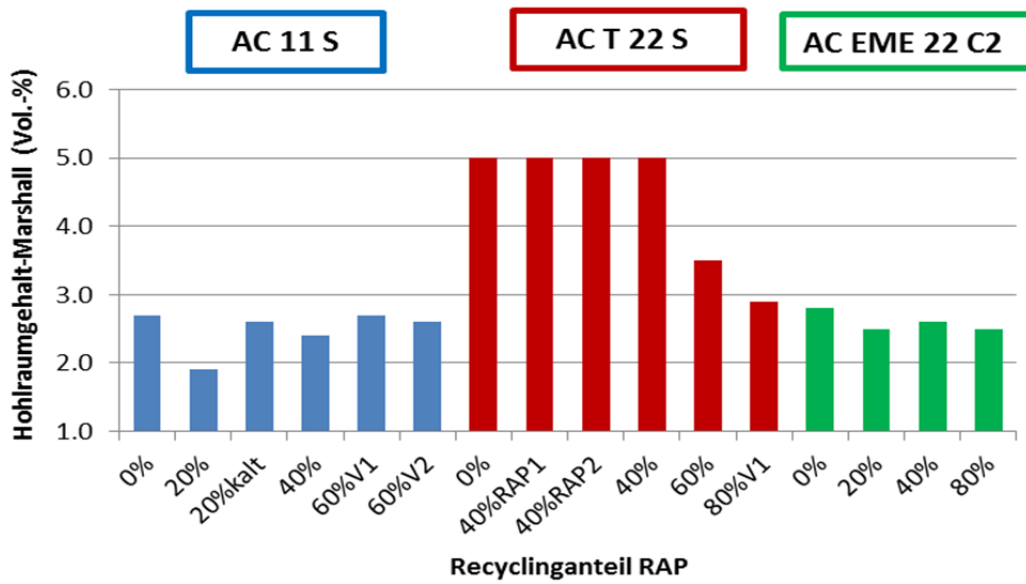


Abb. 5.78 Hohlraumgehalt-Marshall als Mass für das Mischgutkonzept

Kälteverhalten, indirekter Zugversuch bei -10°C

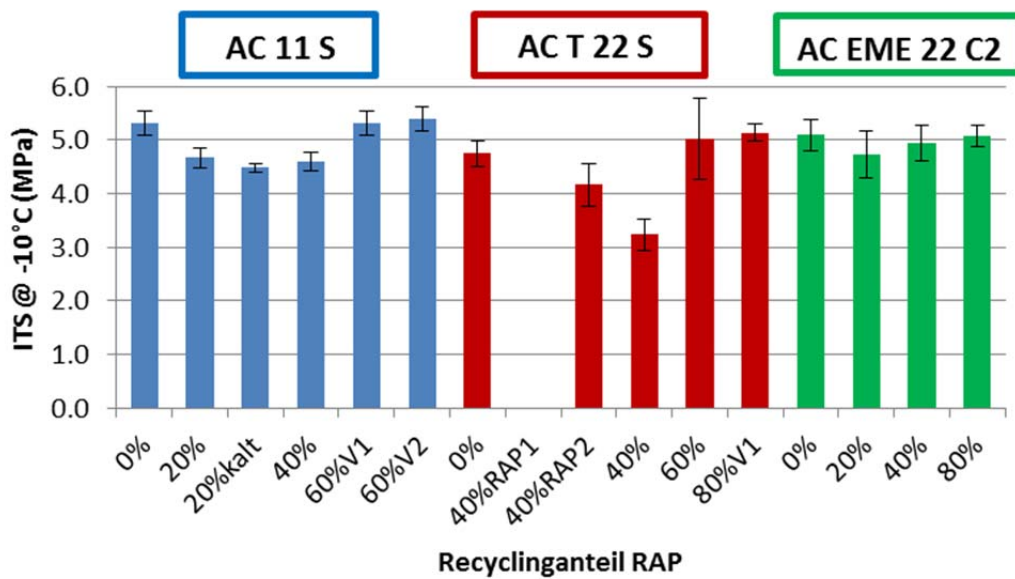


Abb. 5.79 Indirekter Zugversuch bei -10°C

Wärmeverhalten, Spurbildungstest bei 60°C

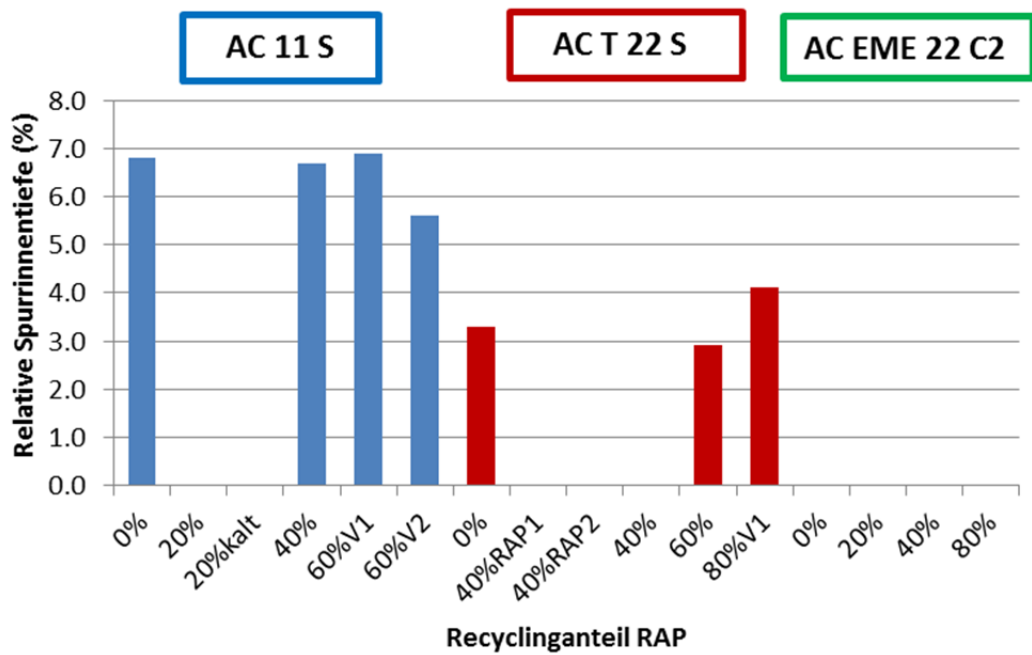


Abb. 5.80 Spurrinnentiefen

Wärmeverhalten, Druckschwellversuch bei 50°C

Anzahl Belastungszyklen: bei Wendepunkt oder bei Prüfende von 10'000

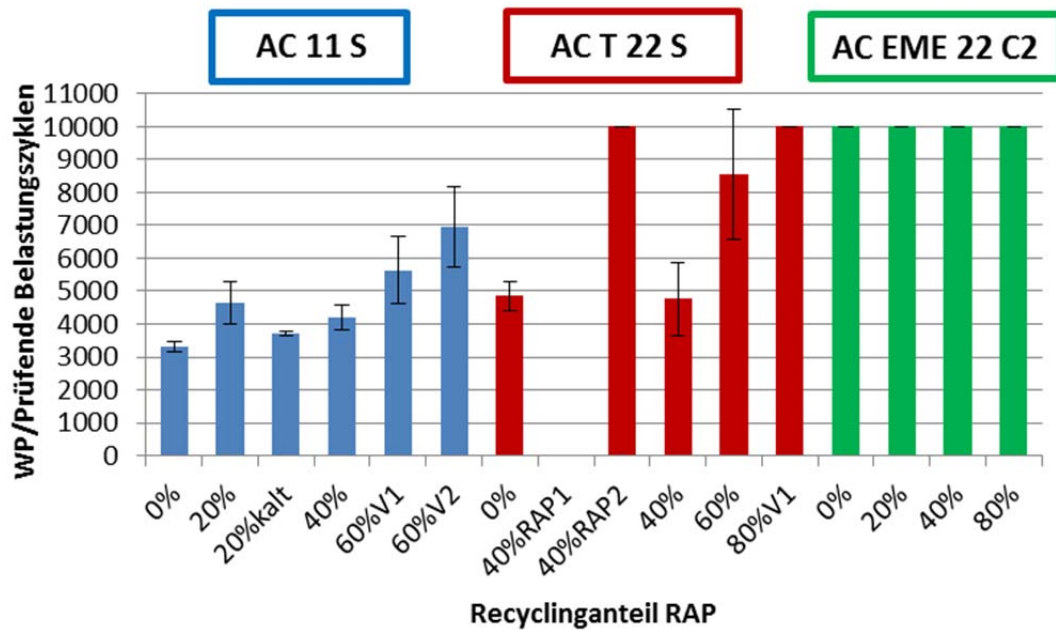


Abb. 5.81 Anzahl Belastungszyklen bei WP / Belastungszyklen bei Prüfende von 10'000

Dehnung: bei Wendepunkt oder bei Prüfende von 10'000 Zyklen

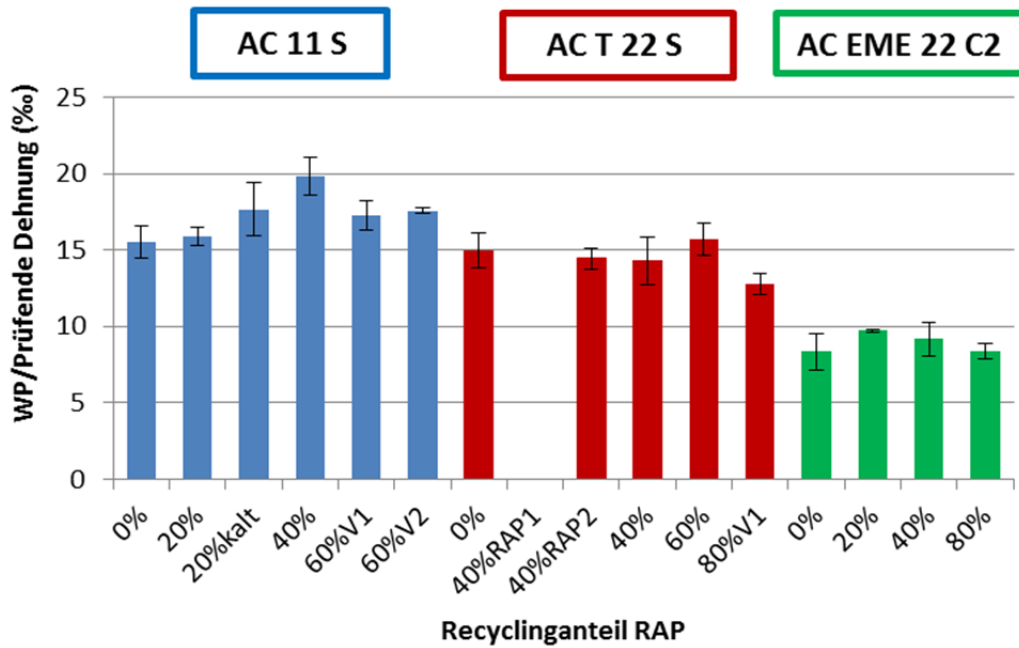


Abb. 5.82 Dehnung WP / Dehnung bei Prüfende von 10'000 Zyklen

Steigung: bei Wendepunkt oder bei Prüfende von 10'000 Zyklen

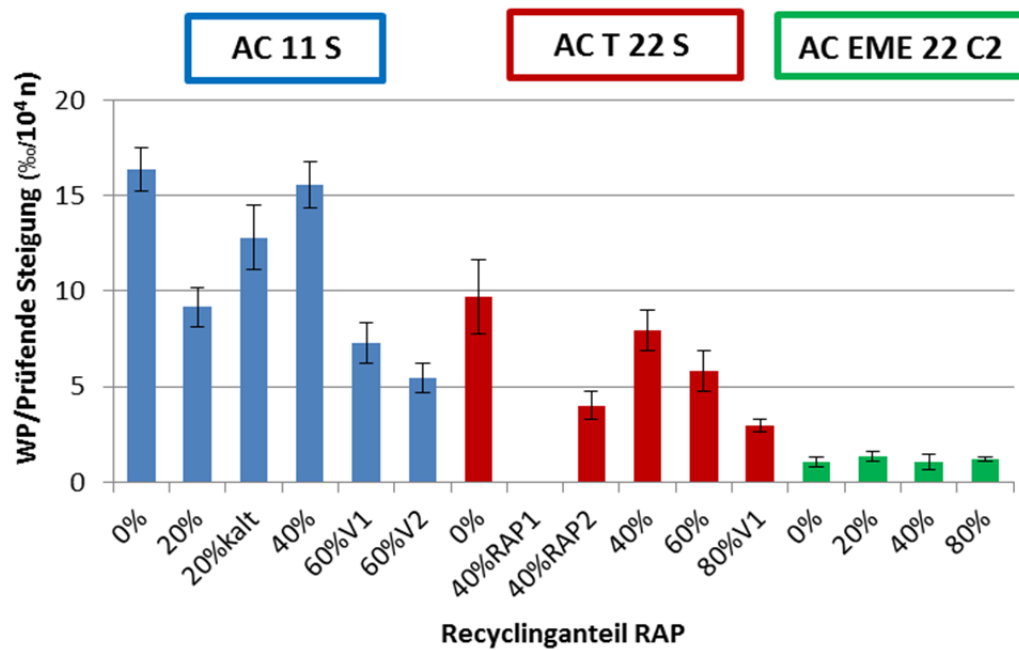


Abb. 5.83 Steigung bei WP oder bei Prüfende von 10'000 Zyklen

Gebrauchstemperaturverhalten

Steifigkeitsmodul bei 5°C

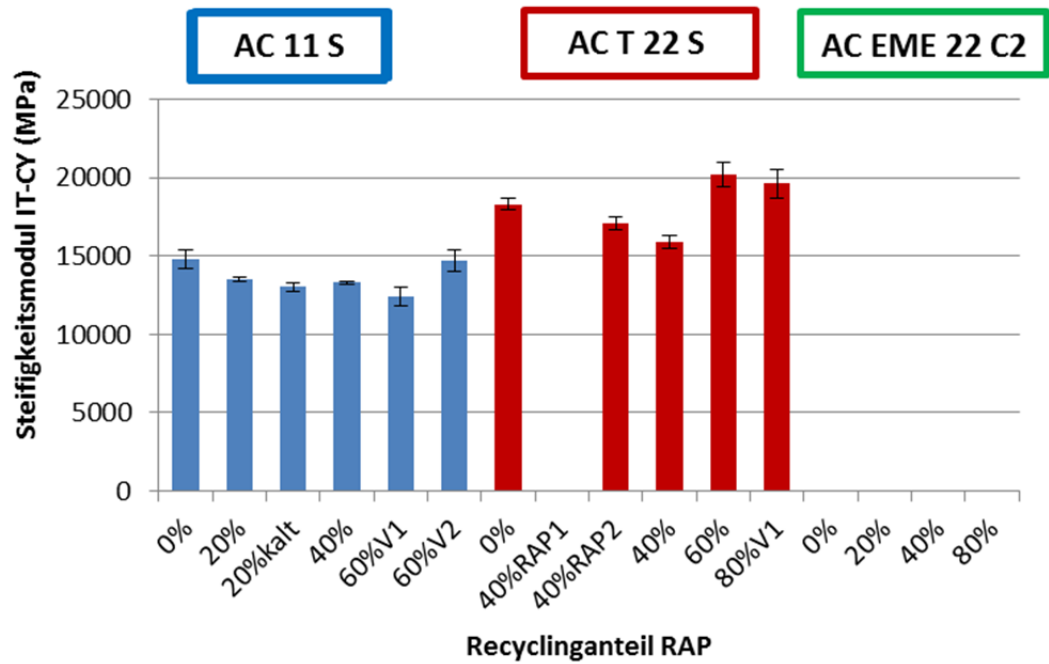


Abb. 5.84 Steifigkeitsmodul bei 5°C, mit dynamischem Spaltzugversuch IT-CY

Steifigkeitsmodul bei 10°C

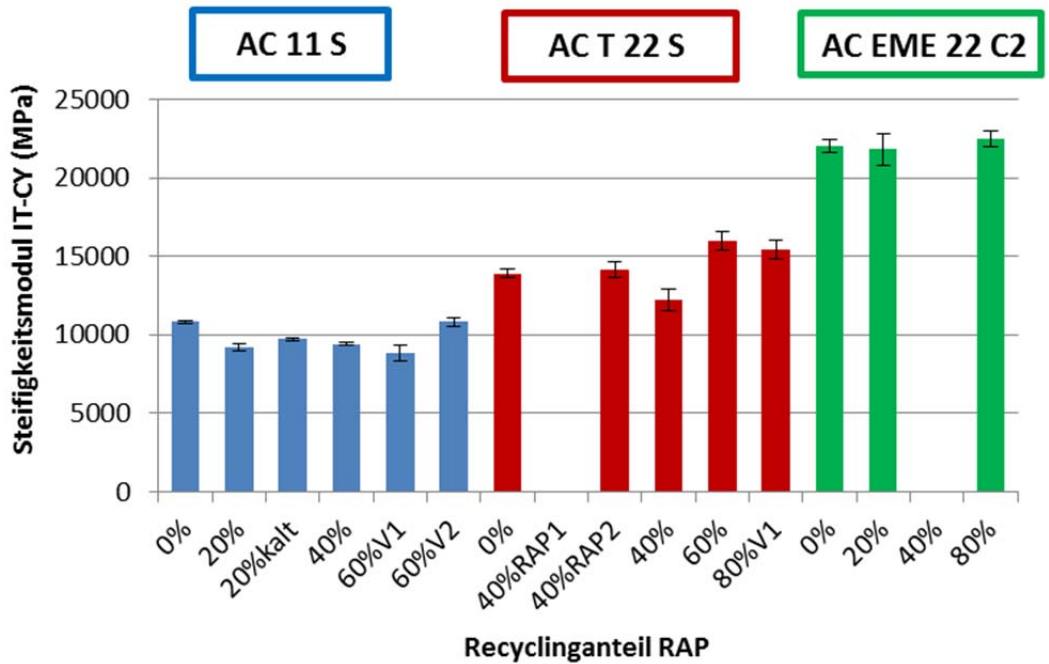


Abb. 5.85 Steifigkeitsmodul bei 10°C, mit dynamischem Spaltzugversuch IT-CY

Gebrauchstemperaturverhalten

Steifigkeitsmodul bei 20°C

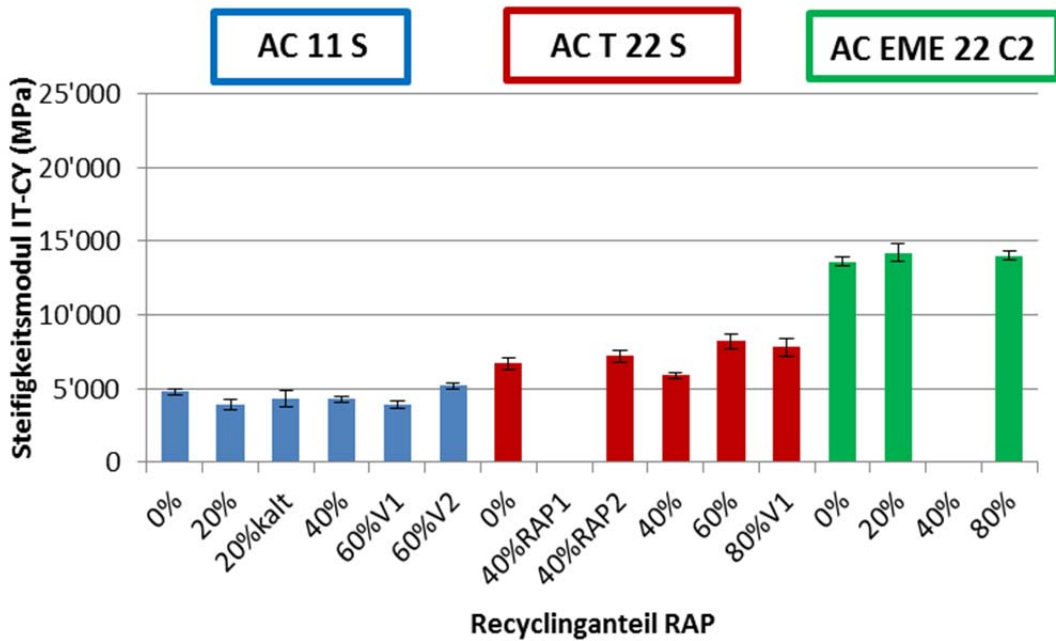


Abb. 5.86 Steifigkeitsmodul bei 20°C, mit dynamischem Spaltzugversuch IT-CY

Steifigkeitsmodul bei 30°C

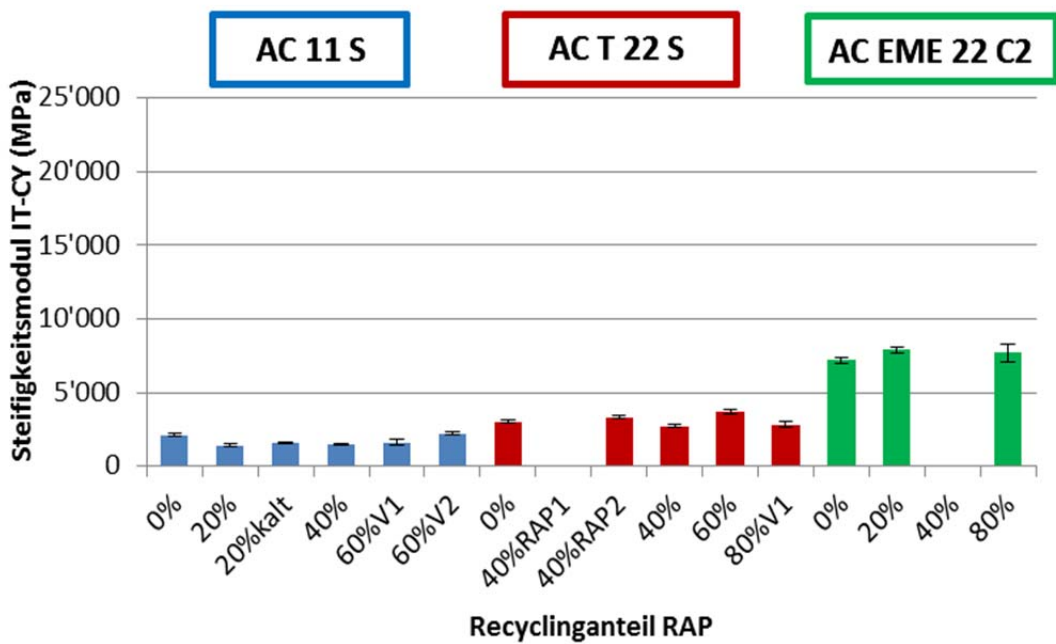


Abb. 5.87 Steifigkeitsmodul bei 30°C, mit dynamischem Spaltzugversuch IT-CY

Ermüdungsverhalten, Spaltzug-Schwellversuch bei 20°C

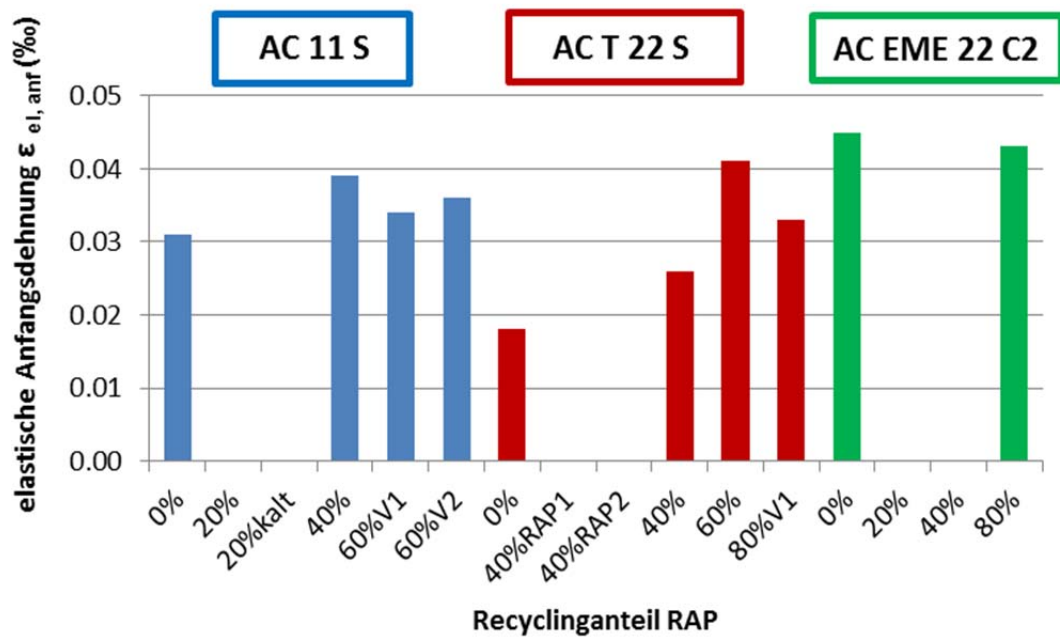


Abb. 5.88 Ermüdungsverhalten, Spaltzug-Schwellversuch bei 20°C

Wasserempfindlichkeit

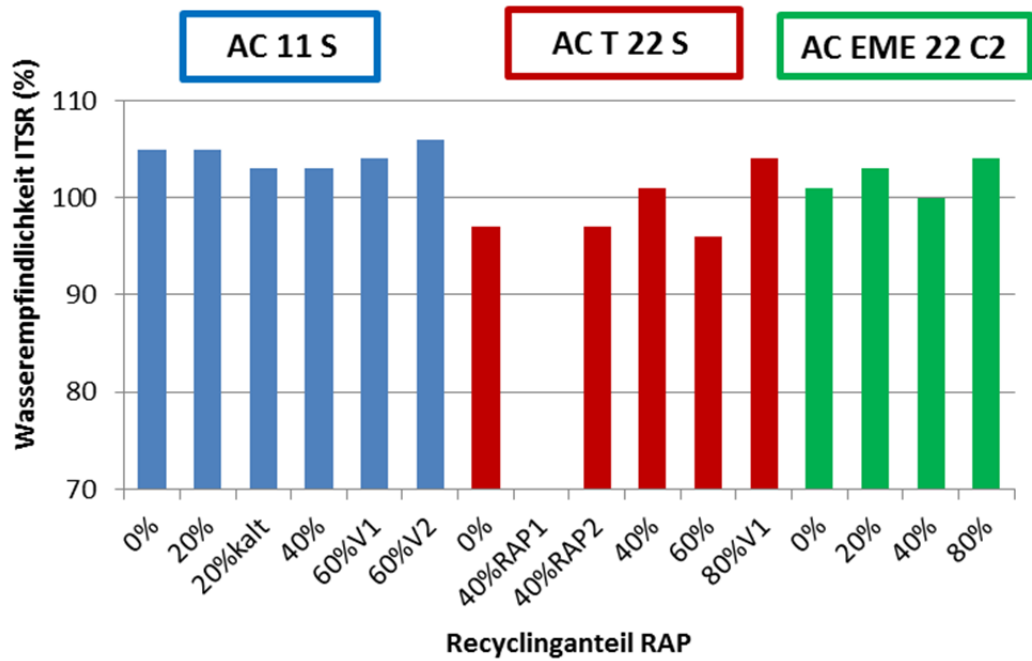


Abb. 5.89 Wasserempfindlichkeit ITSR, Verhältnis der indirekten Zugfestigkeiten

6 Diskussion und Empfehlungen

6.1 Einfluss von Recycling-Asphalt-Granulat RAP auf die Mischgutqualität

6.1.1 Mischgut AC 11 S, AC T 22 S und AC EME 22 C2

Für die drei festgelegten Mischgutsorten AC 11 S (Zielbitumen 70/100), AC T 22 S (Zielbitumen 50/70) und AC EME 22 C2 (Zielbitumen 10/20) wurden je Mischungen ohne RAP und Mischungen mit zunehmenden, bis zu folgenden maximalen RAP-Anteilen hergestellt:

- AC 11 S 60 % RAP mit Verjüngungsmittel / 40 % ohne Verjüngungsmittel
- AC T 22 S 80 % RAP mit Verjüngungsmittel / 60 % ohne Verjüngungsmittel
- AC EME 22 C2 80 % RAP (Zugabebindemittel immer Bitumen 10/20)

Wie aus den vorliegenden Prüfergebnissen für die drei Mischgutsorten AC 11 S, AC T 22 S und AC EME 22 C2 gefolgert werden kann, beeinflusst das eingesetzte Recycling-Ausbauasphalt-Granulat RAP auch in hohen Anteilen von bis zu 60 und 80% die Mischgut-Qualitäten nur unwesentlich und nicht nachteilig.

Alle Prüfergebnisse beziehen sich auf im Labormischer der Empa „neu hergestelltes Mischgut“. Die Prüfungen wurden als umfassende Bewertung der Qualitäten auch im Sinne von Aufbereitungskontrollen durchgeführt und umfassen:

- Kälteverhalten mit indirektem Zugversuch bei -10°C
- Wärmeverhalten mit Spurbildungstest bei 60°C und dynamischem Druckschwellversuch bei 50°C
- Gebrauchstemperaturverhalten mit Steifigkeitsmodul bei 5, 10, 20 und 30°C
- Ermüdungsverhalten mit Spaltzug-Schwellversuch bei 20°C
- Wasserempfindlichkeit

Nicht beurteilt werden kann mit dem vorliegenden Einzelprojekt VSS 2005/452 EP1: „Optimaler Anteil an Ausbauasphalt“ der Einfluss von RAP auf das Alterungsverhalten von Belägen. Dieses Thema wurde im Einzelprojekt EP4 „Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Strassenbelägen mit Ausbauasphalt“ des Forschungspaketes „Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut“ bearbeitet [1].

6.1.2 Mögliche Nachteile durch RAP

Aus der Verwendung auch von hohen Anteilen an RAP sind keine Nachteile in der Qualität der untersuchten Mischgutsorten aufgetreten. Keine oder geringe Auswirkungen haben damit die hauptsächlich vermuteten Nachteile, wie ungenügende Vermischung von Alt- und Neubitumen, Auswirkungen durch die geringeren Anteile an gebrochenen Oberflächen in den Gesteinskörnungen ≥ 4 mm und Streuungen in den Mischguteigenschaften wegen eventuell vom RAP herrührenden Inhomogenitäten.

Die Veränderungen in den Anteilen an gebrochenen Oberflächen sind quantifiziert im Kapitel 4.4, Berechnung der Mischgutrezepturen, Abb. 4.27 bis 4.29, und im folgenden Kapitel kommentiert.

6.1.3 Anteil gebrochener Oberflächen in groben Gesteinskörnungen

Im RAP1 0/11 und RAP2 11/22

Die Anforderungen an die Kategorien „prozentualer Anteil gebrochener Oberflächen“, bezeichnet mit C, sind für Ausbauasphalte in der Norm SN 640 431-8a-NA „Mischgutanforderungen – Teil 8: Ausbauasphalt“ [40] gestellt. Diejenigen an Gesteinskörnungen für Neumaterialien sind in der Norm SN 670 103b-NA „Gesteinskörnungen für Asphalte und Oberflächenbehandlungen für Strassen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen“ [41] enthalten.

Wie in der Norm SN 640 431-8a-NA [40] in Ziffer 13 ausgeführt, werden für Ausbauasphalt wegen der wirtschaftlichen Bedeutung und der zwingenden Notwendigkeit das Deponieren grosser Mengen an Ausbauasphalt zu vermeiden, reduzierte Anforderungen an die Anteile gebrochener Oberflächen in Gesteinskörnungen ≥ 4 mm gestellt. Für die Mischgutgruppe AC sind Anforderungen, abgestuft nach Verwendungszweck und Mischgutsorte und -typen in Tabelle 5 dieser Norm [40] zusammengestellt. Die Reduktion für die C-Kategorie der Ausbauasphalte entspricht dabei maximal einer C-Stufe.

Die beiden eingesetzten RAP1 0/11 und RAP2 11/22 entsprechen je der Kategorie $C_{70/10}$. Dabei bedeuten die beiden Zahlenwerte in der Kategorie C:

- 1. Zahl, minimaler Anteil an vollständig gebrochen und teilweise gebrochenen Körnern
- 2. Zahl, maximaler Anteil an vollständig gerundeten Körnern

Im Folgenden sind die Anforderungen an die Kategorien C der hergestellten und untersuchten Mischgutsorten behandelt.

Gebrochene Oberflächen im Mischgut AC 11 S

Für Deckschichten AC vom Typ S (und Typ H) sind nach der gültigen Schweizer Norm SN 640 431-1b-NA [2] keine Ausbauasphalte zulässig. Entsprechend sind auch keine reduzierten Anforderungen in [40] an die Kategorien C für Ausbauasphalte gestellt.

Für mit Neumaterial hergestellte Deckschichten AC 11 S gilt nach [41] die Anforderung Kategorie $C_{70/10}$. Die beiden eingesetzten RAP erfüllen mit $C_{70/10}$ diese Anforderung. Entsprechend wäre die Anforderung auch für Mischgut mit 100% RAP erfüllt. In der Abb. 4.27, im Kapitel 4.4, sind für die Mischgut AC 11 S die resultierenden Werte für die vollständig + teilweise gebrochenen Körner, die runden Körner und die Kategorie C zusammengestellt. Beim Mischgut ohne RAP resultierten 100 / 0 / $C_{95/1}$. Die Werte verändern sich bis zum maximal verwendeten RAP1-Anteil von 60% auf 82 / 7 / $C_{70/10}$.

Für Deckschichten AC vom Typ H ist dagegen für Neumaterial mit der Kategorie $C_{95/1}$ eine deutlich höhere Anforderung in [41] festgelegt.

Gebrochene Oberflächen im Mischgut AC T 22 S

Für Tragschichten AC T ist für die Ausbauasphalte von allen Mischguttypen die Kategorie $C_{50/30}$ in [40] gefordert. Mit Kategorie $C_{70/10}$ erfüllen die vorliegenden Ausbauasphalte diese Anforderung.

Für mit Neumaterial hergestellte Tragschichten AC T 22 S gelten die Anforderungen nach [41] Kategorie $C_{70/10}$ für Mischgut vom Typ S und H sowie $C_{50/30}$ für die Mischgut vom Typ L und N. Für die Tragschichten AC T 22 S ist von den Ausbauasphalten somit auch die Anforderung, welche an Neumaterial gilt, erfüllt. In der Abb. 4.28, im Kapitel 4.4, sind für die Mischgut AC T 22 S die resultierenden Werte für die vollständig + teilweise gebrochenen Körner, die runden Körner und die Kategorie C zusammengestellt. Beim Mischgut ohne RAP resultierten 94 / 0 / $C_{90/1}$. Die Werte verändern sich bis zum maximal verwendeten RAP-Anteil von 80% auf 77 / 7 / $C_{70/10}$.

Gebrochene Oberflächen im Mischgut AC EME 22 C2

Für AC EME sind für Ausbausphalte weder für Trag- noch für Binderschichten reduzierte Norm-Anforderungen in [40] an die C-Kategorie gestellt. Bei Kalt- und Warmzugabe sind nach Norm [2] ≤ 15 und ≤ 30 Masse-% RAP zulässig.

Für Neumaterialien gilt nach [41] für Tragschichten AC EME 22 C2 Kategorie C_{90/1}. In der Abb. 4.29, im Kapitel 4.4, sind für die Mischgut AC EME 22 C2 die resultierenden Werte für die vollständig + teilweise gebrochenen Körner, die runden Körner und die Kategorie C zusammengestellt. Beim Mischgut ohne RAP resultierten 95 / 0 / C_{95/1}. Die Werte verändern sich bis zum maximal verwendeten RAP-Anteil von 80% auf 78 / 7 / C_{70/10}.

Normanforderungen

Von den drei hergestellten und untersuchten Mischgutsorten AC 11 S, AC T 22 S und AC EME 22 C2 ohne RAP sind die Anforderungen an die Kategorie der Anteile an gebrochenen Oberflächen in den groben Gesteinskörnungen für Neumaterialien nach Norm [41] erfüllt. Diese Anforderungen sind sogar auch mit RAP für die Mischgutsorten AC 11 S und AC T 22 S erfüllt, nicht jedoch für Mischgut AC EME 22 C2. In Norm [40] sind für AC EME 22 C2 keine reduzierten Anforderungen an Ausbausphalte festgelegt.

Wird die Verwendung von höheren RAP-Anteilen und von weiteren Mischgutsorten in die Norm SN 640 431-1b-NA „Asphaltmischgut, Mischgutanforderungen – Teil 1: Asphaltbeton [2] aufgenommen, ist es erforderlich die Normen SN 640 431-8a-NA [40] und SN 670 103b-NA [41] entsprechend zu überarbeiten und aufeinander abzustimmen.

6.2 Begrenzung der RAP-Anteile

Dass keine Mischungen mit höheren RAP-Anteilen als 60% und 80% hergestellt wurden, liegt daran, dass es betreffend Rezeptierung und Mischgutaufbereitung folgende Einflüsse gibt, welche die Anteile an RAP begrenzen:

- Korngrößenverteilungen von RAP und „neuen“ Mineralstoffen
- Gehalt und Eigenschaften des Bindemittels im RAP, Zugabe von Verjüngungsmittel
- Temperaturen bei der Mischgutherstellung, Erwärmung von RAP

Im Weiteren können hohe Anteile an RAP im Mischgut eventuell auch begrenzt werden durch:

- nicht geeignete Qualität des RAP für das entsprechend herzustellende Mischgut

Dieser Aspekt wird im Kapitel 6.3 ausgeführt.

6.2.1 Begrenzung durch Korngrößenverteilungen von RAP und „neuen“ Mineralstoffen

Je nach Korngrößenverteilungen von RAP und „neuen“ Mineralstoffen sind bei hohen RAP-Anteilen die Sollwerte der Korngrößenverteilungen des herzustellenden Asphaltmischgutes nicht mehr zu erreichen. Beispielsweise war für das Mischgut AC 11 S ab einer Zugabe von 70% RAP1 0/11 die Korngrößenverteilung zu fein, aufgrund des zu hohen Anteils an Mastix im RAP. Beim AC T 22 S könnten durch das Aufteilen des RAP in die zwei Fraktionen RAP1 0/11 und RAP2 11/22 Mischgut mit bis zu 100% RAP im Verhältnis von 1:2 hergestellt werden. Ein AC 11 lässt sich wegen dem Überkornanteil nicht mit RAP 0/22 oder RAP 11/22 herstellen. Umgekehrt ist die Zugabemenge bei ausschliesslicher Verwendung von RAP 0/11 in einem AC T 22, weil die grobkörnigen Fraktionen ausschliesslich als Neumaterial zugegeben werden müssen, stark beschränkt.

Mit den für das Forschungsprojekt ausgewählten Mineralstoffen und Ausbausphalten RAP sind von den Korngrößenverteilungen für die festgelegten Mischgutsorten her nach

den Berechnungen in Kapitel 3.2.1 folgende maximalen Anteile an Recycling-Asphalt-Granulat RAP verwendbar:

- Mischgut AC 11 S 70 % RAP1 0/11
- Mischgut AC T 22 S 100 % RAP1 0/11 und RAP2 11/22 gemischt 1:2
- Mischgut AC EME 22 C2 90 % RAP1 0/11 und RAP2 11/22 gemischt 1:2

Höhere RAP-Anteile könnten verwendet werden, wenn die RAP- oder Mineralstofffraktionen enger aufgeteilt würden. Dadurch könnten die Korngrößenverteilungskurven besser angepasst werden.

6.2.2 Begrenzung durch Bindemittelgehalt und Bindemittleigenschaften im RAP, Zugabe von Verjüngungsmittel

Bei der Zugabe von Recyclingasphalt haben Bindemittelgehalt und Bindemittleigenschaften des RAP einen direkten Einfluss auf die Wahl der Zugabebindemittel. Je höher der Recyclinganteil ist, desto weicher muss das Zugabebindemittel sein. Berechnungen gemäss Formel (3) in Ziffer 3.2.3 zeigen, dass ab etwa 60% RAP-Anteil die Penetration des Zugabebindemittels über 300 dmm (0.1 mm) sein muss. Allerdings spielt nicht nur der Recyclinganteil eine Rolle, sondern auch die Differenz zwischen Bindemittelgehalt im RAP und im neuen Mischgut. Je kleiner diese Differenz, desto kleiner ist der Spielraum die Bindemittelhärte zu beeinflussen, respektive desto weicher muss das Zugabebindemittel sein.

Diese Betrachtungen gelten aber nur unter der Annahme, dass sich das Zugabebindemittel gut mit dem verhärteten RAP-Bindemittel vermischt. Diese Vermischung wird massgeblich beeinflusst durch die Mischdauer und die Mischtemperatur in der Mischanlage oder im Labormischer, aber auch durch die Körnung des RAP und den Verhärtungsgrad des Bindemittels im RAP. Grobes RAP kann grössere Anteile an Mastixstücken enthalten, die nicht genug erwärmt werden können, um sich optimal mit dem neuen Bindemittel zu vermischen. Bei höherer Mischtemperatur ist die Vermischung besser, weshalb insbesondere bei Niedertemperaturasphalt und bei Kaltasphalt, wo die Mischtemperaturen tiefer sind, eine gute Vermischung des ursprünglichen mit dem neuen Bindemittel nicht mehr gewährleistet ist und spezielle Massnahmen erfordern.

Der Anteil der Vermischung des verhärteten Bindemittels aus dem RAP und dem neuen Zugabebindemittel wird gegenwärtig in der Literatur intensiv diskutiert [12], [13], [14]. Die direkte Bestimmung der Vermischung ist aufgrund der ähnlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften von Zugabebindemittel und verhärtetem Bindemittel im RAP nicht möglich und die Resultate der indirekten Methoden sind oft widersprüchlich. Obwohl dieses Thema nicht direkt Bestandteil des Projektes war, können aufgrund der Vergleiche zwischen Prüfkörpern mit hohen RAP-Anteilen und solchen ohne RAP Hinweise zur Vermischung abgeleitet werden. Die sehr ähnlichen Resultate in allen mechanischen Prüfungen weisen darauf hin, dass die Vermischungen hoch sein müssen, da bei einer niedrigen Vermischung der Bindemittel das weiche Zugabebindemittel die mechanischen Eigenschaften der Prüfkörper, insbesondere bei den indirekten Spaltzugprüfungen, stärker beeinflussen müssten. Das heisst, dass bei hohem Recyclinganteil die plastische Verformung grösser sein müsste, was aber in den Resultaten des Spurrinntests und des Druckschwellversuchs nicht zum Ausdruck kommt.

Bis anhin wurden in der Schweiz für die „Verjüngung“ der verhärteten Bindemittel im RAP meist weiche Bindemittel zugegeben, Verjüngungsmittel wurden bis anhin nicht routinemässig eingesetzt. Dies funktionierte bis zu einem Recyclinganteil von 50% in der Regel ohne Probleme. Erfahrungen mit der Zugabe von Verjüngungsmitteln fehlen deshalb in der Schweiz noch weitgehend. Bei höheren RAP-Anteilen ab etwa 60% bis 70%, abhängig von den vorher erwähnten Kriterien, kann die Verhärtung des Bindemittels im RAP jedoch oft nicht mehr mit einem weichen Bindemittel, in der Regel einem Bitumen 160/220, kompensiert werden.

Mittlerweile wurde in der Schweiz auch das noch weichere Bitumen 250/330 normiert

[16], speziell als Zugabebindemittel für das Heissrecycling. Dieses ist aber oft kein reines Destillationsbitumen, da in der Raffinerie schon ein Verjüngungsmittel zugemischt wird. Der Vorteil bei der Verwendung dieses weichen Bindemittels ist, dass es wie ein gewöhnliches Bitumen verwendet werden kann und das Verjüngungsmittel nicht separat zudosiert werden muss. Andererseits ist in der Regel nichts bekannt über die Art des zugefügten Verjüngungsmittels und die Auswirkungen auf das Langzeitverhalten.

Alternativ kann das Verjüngungsmittel auch auf der Anlage zudosiert werden, wodurch ein zusätzlicher Bitumentank eingespart werden kann. Je nach Viskosität des Zugabebindemittels muss bei einem gegebenen RAP-Anteil mehr oder weniger Verjüngungsmittel zugegeben werden. Inwiefern dies einen Einfluss auf das Langzeitverhalten hat, wurde in diesem Forschungsprojekt nicht untersucht. In dieser Arbeit wurde mit der Wahl eines weichen Zugabebindemittels (Bitumen 160/220) die Menge an Verjüngungsmittel bewusst tief gehalten. Die erhaltenen Resultate zeigten keinen negativen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften, in einigen Fällen war das Verhalten sogar etwas besser (standfester). Es muss jedoch eingeschränkt werden, dass die Resultate von im Labor hergestelltem, ungealtertem Mischgut stammen, die das Langzeitverhalten, welches hauptsächlich in Frage gestellt wird, nicht beurteilen kann. Diesbezüglich ist weiterer Forschungsbedarf angezeigt.

Eine Ausnahme stellt die Herstellung von EME-Mischgut mit RAP dar, da für diese Sorte ein hartes Bitumen 10/20 (bei Klasse C2) und Bitumen 15/25 (bei Klasse C1) vorgeschrieben ist. Da die Viskosität von RAP oft im gleichen Bereich liegt, wäre diese Belagssorte aus Sicht des Bindemittels ideal für die Beimischung grösserer Mengen an RAP. In diesem Zusammenhang stellt sich aber die Frage, ob ein Bitumen 10/20 ähnliche Eigenschaften aufweist wie ein verhärtetes Bindemittel im RAP. In diesem Projekt wurden für das Mischgut AC EME 22 C2 alle Mischungen bis 80 % RAP mit dem gleichen Zugabebindemittel Bitumen 10/20 hergestellt. Die erhaltenen Resultate zeigten auch bei einem Recyclinganteil von 80% noch ein sehr ähnliches Verhalten, wiederum nur für ungealtertes Mischgut.

6.2.3 Begrenzung durch Temperaturen bei der Mischgutherstellung, Erwärmung von RAP

Für die Aufbereitung von Asphaltmischgut mit Recycling-Asphalt-Granulat RAP gibt es folgende drei Produktionsvarianten:

- Heisszugabe mit neuen 100%-Recycling-Anlagen (bisher sind fünf Anlagen in der Schweiz in Betrieb, eine sechste ist im Bau)
- Warmzugabe in Anlagen mit herkömmlicher Recycling-/Paralleltrommel
- Kaltzugabe in Anlagen ohne Recycling-Trommel, sogenanntes Kalt-/Batchverfahren.

Bei den neuen 100%-Recycling-Anlagen können, wie die Bezeichnung ausdrückt, im Prinzip Mischgut mit bis zu 100% Recycling-Asphalt-Granulat RAP produziert werden. Bei diesen Anlagen kann das Recycling-Asphalt-Granulat RAP vor der Zugabe in den Mischer schonend auf die Mischtemperatur erwärmt werden (bis maximal 180°C). Die übrigen Ausgangsstoffe, wie Neubindemittel und eventuell Mineralstoffe können in üblichen und somit nicht erhöhten Temperaturen in den Mischer zudosiert werden.

Bei Anlagen mit herkömmlichen Recycling-/Paralleltrommeln können bei der Produktion von Mischgut maximal etwa 60 bis 70% RAP zugegeben werden. Das Mischgut sollte in diesen Paralleltrommeln nicht höher als 135°C erwärmt werden (Warmzugabe). Höhere Temperaturen führen zu einer zunehmenden Schädigung des Bindemittels und aufwändig zu entfernenden Ablagerungen in den Recyclingtrommeln.

Beim Kalt- oder Batch-Verfahren, das bei Anlagen ohne Recycling-Trommeln zum Einsatz kommt, muss das kalte RAP, dessen Temperatur die je nach Jahreszeit zwischen 5 bis 30°C schwankt, ausschliesslich über die neu zugegebenen Ausgangsstoffe erhitzt werden. In solchen Anlagen kann nur Mischgut mit deutlich kleineren Anteilen an RAP von maximal etwa 20 bis 30% produziert werden.

6.2.4 Maximale RAP-Anteile für die geprüften Mischgutsorten

Die Begründungen für die höchsten RAP-Anteile, welche für die einzelnen Asphaltmischgutsorten verwendet wurden, sind:

Mischgut AC 11 S (Zielbitumen 70/100)

Die Begrenzung durch Korngrößenverteilungen von RAP1 und „neuen“ Mineralstoffen liegt bei 70 %. Ab 60 % RAP1 ist zum Erreichen der angestrebten Bitumensorte von 70/100 Verjüngungsmittel notwendig. Entsprechend wurde Mischgut AC 11 S mit 60 % RAP1 mit 5.2% Verjüngungsmittel V1 und 8.3% Verjüngungsmittel V2 hergestellt.

Mischgut AC T 22 S (Zielbitumen 50/70)

Mit einem Gemisch von RAP1 0/11 und RAP2 11/22 im Verhältnis 1:2, welches üblicherweise eingesetzt wird, können von der Korngrößenverteilung her bis 100 % RAP verwendet werden. Die Bindemittelgehalte und die Bindemittelleigenschaften sind durch geeignete Zugabebindemittel zu erreichen. Ab etwas über 60 % RAP1+RAP2 im Verhältnis 1:2 ist zum Erreichen der angestrebten Bitumensorte von 50/70 die Zugabe von Verjüngungsmittel notwendig.

Entsprechend wurde Mischgut AC T 22 S mit 80 % RAP1+2 im Verhältnis 1:2 mit 4.1% Verjüngungsmittel V1 hergestellt.

Mischgut AC EME 22 C2 (Zielbitumen 10/20)

Die Begrenzung durch die Korngrößenverteilungen von RAP1+2 im Verhältnis 1:2 und „neuen“ Mineralstoffen liegt bei 90 %.

Da im Gegensatz zu den anderen Mischgutsorten bei EME-Mischgut ein sehr hartes Bindemittel benötigt wird, ist EME-Mischgut prädestiniert um mit hartem RAP hergestellt zu werden. Mit den vorliegenden Ausgangsmaterialien können unabhängig vom Anteil RAP alle Mischungen mit dem üblichen Zugabebindemittel Bitumen 10/20 hergestellt werden. Kritischer ist die Situation, wenn ein RAP mit zu weichem Bindemittel verwendet werden muss, weil es im Moment kein härteres Zugabebindemittel gibt als Bitumen 10/20. Aus diesem Grund ist die Einführung einer härteren Bitumensorte 5/15 geplant [42].

Entsprechend wurden Mischgut AC EME 22 C2 mit 0, 20, 40 und 80 % RAP1+2 im Verhältnis 1:2 hergestellt. Auf eine Mischung mit dem höchst möglichen RAP-Anteil von 90 % wurde verzichtet, weil keine zusätzlichen Erkenntnisse zu erwarten waren.

6.2.5 Begrenzung durch die Qualität des RAP / RAP-Fraktionen

Das Entscheidende bei der Verwendung eines hohen Anteils an Recycling-Asphalt-Granulat RAP ist eine genügend gute Homogenität und Qualität. Einerseits sind die Anforderungen an die zulässigen Abweichungen von den Sollwerten des herzustellenden Mischgutes und andererseits die weiteren Anforderungen, wie beispielsweise Beständigkeit gegen bleibende Verformungen (Spurrinntiefen), zu erfüllen. Alle Anforderungen sind zu erfüllen, obwohl für RAP teilweise reduzierte C-Kategorien für die Anteile Brechkorn mit vollständig und teilweise gebrochenen sowie runden Gesteinskörnungen gelten. Dies bedeutet, je eingrenzender die Anforderungen und je kleiner die zulässigen Abweichungen von Sollwerten an das resultierende Mischgut sind, desto höher müssen die Anforderungen an das RAP sein.

Wird RAP aus der Vermischung von verschiedensten Ausbauasphalten, inklusive N- und L-Schichten hergestellt, kann das RAP auch sehr hohe Anteile an runden und teilweise runden Körnern enthalten.

Kann RAP ausschliesslich mit Ausbauasphalt vom Typ H hergestellt werden, kann auch RAP mit der höchsten Anforderung an die Kategorie C_{95/1} hergestellt werden. Inwiefern

aber die Kanten der einzelnen Körner durch Einbau, Betrieb und Fräsen abgerundet wurden, ist nicht untersucht worden, da keine entsprechende Prüfnorm dazu existiert. Die „Scharfkantigkeit“ hat einen signifikanten Einfluss auf die Eigenschaften eines Belages und verbessert bei erhöhten Temperaturen vor allem die Standfestigkeit [43] markant. Bisher kann die erhöhte Scharfkantigkeit nur bei Neumineral mit dem Festlegen des Brechertyps erreicht werden. Dieser Aspekt ist für Mischgut vom Typ H, nicht nur bei Verwendung von Ausbausphalt RAP, sondern auch bei Mischgut das ausschliesslich aus Neumineralien hergestellt wird, noch zu bearbeiten. Eventuell ist dazu eine Prüfnorm für den Nachweis der Scharfkantigkeit an Mineralstoffen zu entwickeln.

Für das Herstellen von „feinkörnigem“ Mischgut muss entsprechend „feinkörniger“ Ausbausphalt verwendet werden. Somit wurde für AC 11 S RAP1, Ausbausphalt 0/11 eingesetzt. Sinngemäss erforderlich wären noch „feinkörnigere“ Ausbausphalthe für die Mischgutsorten AC 4 und AC 8.

Gelegentlich werden für grosse Baustellen, von denen grosse Mengen an bekanntem Recyclingmaterial anfallen, baustellenspezifische Ausbausphalthe hergestellt. Mit entsprechend ermittelten Rezepturen wird dieser Ausbausphalt in der Folge auf dieser Grossbaustelle wieder eingebaut.

Für das vorliegende Forschungsprojekt hat sich die Aufteilung des RAP in die zwei Fraktionen RAP1 0/11 und RAP2 11/22 für die Mischgutsorten mit 22 mm Nominalkorn als ideal erwiesen. Durch die Mischung der zwei Fraktionen im Verhältnis 1:2 konnten die maximal möglichen Anteile an RAP in der Mischgutaufbereitung markant erhöht werden. Beim AC T 22 S wären dadurch sogar Mischungen mit 100% RAP möglich. Allerdings können dann andere Faktoren einschränkend wirken, wie beispielsweise die Verwendung von Verjüngungsmitteln (beim AC T 22 S ab 60% RAP) oder zu hohe Mineralstofftemperaturen bei der Aufbereitung mit dem Warmverfahren/Paralleltrommeltechnik oder mit dem Kalt-/Batchverfahren. Generell lässt sich durch die Verwendung von zwei unterschiedlichen RAP-Gradationen der Anteil des RAP-Anteils beträchtlich erhöhen. Dies gilt auch für feinere Mischgutsorten und insbesondere für Mischgut mit Ausfallkörnung. Der dafür benötigte Mehraufwand (Lagerplatz, Siebung, Zudosierung) führt aber zu höheren Kosten.

Zusammenfassend gilt, bei der Aufbereitung von Mischgut mit RAP-Anteil - insbesondere von hohem RAP-Anteil - muss man sich den Eigenschaften des RAP und den Produktionsmöglichkeiten der Anlage anpassen. Natürlich sind auch zusätzliche Massnahmen möglich, wie beispielsweise Umbauen auf 100%-Recycling-Anlagen mit Heisszugabe des RAP, Verbessern der Homogenität des RAP bei der Herstellung, Fraktionieren des RAP.

6.3 Mischgutherstellung im Labormischer

Wie in der Ausschreibung zum Projekt festgelegt, wurden die einzelnen Mischgutsorten im Labor hergestellt. Der eingesetzte Labormischer der Empa hat eine Kapazität bis 150 kg. Für dieses Forschungsprojekt wurden Mischungen von 75 bis 150 kg hergestellt.

Um die geplanten 16 Mischungen prüfen zu können, mussten insgesamt 27 Mischungen hergestellt werden. Davon waren 11 Fehlmischungen und mussten verworfen werden.

Im Labormischer werden gegenüber im Mischer einer Aufbereitungsanlage nur kleine Chargen hergestellt. Es hat sich gezeigt, dass die Streuungen in der Zusammensetzung der Recycling-Asphalt-Granulate RAP1 und RAP2 in kleinen Mengen für die Labormischung grösser sind als in grossen Mengen für die Anlagemischung. Diese grösseren Streuungen in den RAP1- und RAP2-Anteilen dürften eine wesentliche Ursache für die grosse Anzahl an Fehlmischungen im Labor gewesen sein.

Für das Verwenden von hohen Anteilen an Ausbausphalt RAP ist die Qualität des RAP entscheidend. Sehr wichtig ist, dass das Recycling-Asphalt-Granulat RAP genügend homogen sowie in jeweils genügend grosser Menge produziert wird.

6.4 Zugabe von Ausbauasphalt RAP im Warm- und Kaltverfahren

Beim Kalt- oder Batch-Verfahren, das bei Anlagen ohne Recycling-Trommeln zum Einsatz kommt, muss das kalte RAP ausschliesslich über die neu zugegebenen Ausgangsstoffe, in der Regel vor allem über die Mineralstoffe, erhitzt werden. In solchen Anlagen kann nur Asphaltmischgut mit kleinen RAP-Anteilen produziert werden. Je nach Sorte des Zugabebindemittels müssen die maximalen Temperaturen für Bindemittel und Mineralstoffe begrenzt werden. Sonst besteht die Gefahr, dass das Neubindemittel und das Bindemittel aus dem RAP lokal zu hoch erhitzt und dadurch geschädigt werden. Eventuell müssen im Kalt-/Batchverfahren die Mischzeiten verlängert werden. Dies bedeutet, dass die Anlageleistung reduziert wird und sich die Kosten für das Mischgut erhöhen.

Das Mischgut AC 11 mit 20% RAP1 wurde vergleichsweise mit Warm- und Kaltzugabe produziert. Beim Mischen im Labor wurde entsprechend die Temperatur der Mineralstoffe von 185°C bei Mx07 warm auf 200°C bei Mx08 kalt erhöht. Die Mischzeit war unverändert 3 Minuten. Für beide Mischungen resultierten gleichwertige Prüfergebnisse.

Es kann gefolgert werden, dass bei fachgerechter Aufbereitung im Kalt-/Batchverfahren das Mischgut gegenüber demjenigen im Paralleltrommel-/Warmverfahren gleichwertig ist. Die maximalen Anteile an RAP sind beim Kalt-/Batchverfahren aufgrund der Bindemittelhärte im RAP und im zu produzierenden Mischgut abzuklären. Um die erforderlichen Mischguttemperaturen zu erreichen, dürfen die maximal zulässigen Mineralstofftemperaturen, welche zum Aufheizen des RAP notwendig sind, nicht überschritten werden.

6.5 Verwendung von RAP bei verschiedenen Mischgutsorten

Die Korngrössenverteilungen der verschiedenen Recycling-Asphalt-Granulate RAP entsprechen meist dem Betonprinzip mit gleichmässig abgestuften Verteilungen. Dies ist nicht verwunderlich, da die Ausbauasphalte überwiegend aus Asphaltbeton AC mit entsprechenden Siebkurven stammen, die nach dem Betonprinzip aufgebaut sind. In der Schweiz wurde bisher und werden auch heute noch in allen Schichten hauptsächlich Asphaltmischgut aus der Gruppe „Asphaltbeton AC“ in Fundations-, Trag-, Binder- und in Deckschichten eingebaut. Spezialbeläge mit Ausfallkörnungen sind eher untergeordnet vertreten und stammen meist aus Deckschichten mit geringen Mengen, beispielsweise SMA, PA und AC MR. Da im Mittelland meist Mischgut Asphaltbeton AC vom Typ H, S und N, untergeordnet auch vom Typ L eingebaut sind, können die Mineralstoffe der RAP, insbesondere solche, die aus der Vermischung von Ausbauasphalten hergestellt werden, auch höhere Anteile an runden und teilweise runden Körner enthalten. Bei den Bindemitteln handelt es sich meist um Bitumen, wie im Penetrationsindex ersichtlich ist. Anteile an polymermodifizierten Bindemitteln PmB dürften heute im RAP untergeordnet vorhanden sein.

RAP eignet sich daher, insbesondere in grossen Anteilen, für die entsprechenden Mischgutsorten aus der Gruppe „Asphaltbeton AC“ aus denen diese stammen, für AC F 22 und 32 in Fundationsschichten, für AC T 11 bis 32 in Tragschichten, für AC B 11 bis 22 in Binderschichten und für AC 4 bis 11 in Deckschichten. Kaum lohnen dürfte sich die Verwendung von RAP-Anteilen bei sehr feinkörnigen Mischgutsorten wie AC 4 und AC 8. Dazu müsste RAP 0/4 oder RAP 0/8 hergestellt werden. Zudem sind die Mengen, 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 und SDA, sein.

Ideal für hohe RAP-Anteile ist Asphaltbeton für Schichten, welche in grossen Dicken eingebaut werden und somit grosse RAP-Anteile beanspruchen können, für Fundations- und Tragschichten. Ideal sind hohe RAP-Anteile auch für Mischgut mit Bitumen als Bindemittel. Ein Mischgut AC EME 22 C2 mit sehr hartem Bitumen 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 Bindemittel enthält, weil es härtere Ergän-

zungsbitumen als 10/20 bisher nicht gibt.

Bei der Verwendung von RAP zu berücksichtigen ist, für alle Mischgutsorten und Mischguttypen gelten alle Anforderungen, inklusive beispielsweise Beständigkeit gegen bleibende Deformationen, wobei für RAP reduzierte Anforderungen an die Anteile der gebrochenen Oberflächen der groben Gesteinskörnungen gelten. Je höher die Anforderungen an Mischgut-Sorte und Mischguttyp in Abhängigkeit der Beanspruchung aus Verkehr und Klima sind, desto höher sind die Anforderungen an das RAP. Die Ansprüche bei der Herstellung von Mischgut mit RAP, insbesondere mit hohen RAP-Anteilen, sind somit ansteigend für die Mischguttypen L, N, S und H.

Kann RAP ausschliesslich mit Ausbauasphalt vom Typ H hergestellt werden, kann auch RAP mit der höchsten Anforderung an die Kategorie C_{95/1} hergestellt werden. Um sehr standfeste Mischungen zu erreichen, ist eventuell die Thematik der Scharfkantigkeit der Gesteinskörnungen, wie in Kapitel 6.3 ausgeführt, zu berücksichtigen.

Bereits heute wird auch PmB-Mischgut mit zum Teil hohen RAP-Anteilen hergestellt. Entsprechende Bindemittel mit erhöhtem PmB-Gehalt sind auf dem Markt. Diese Bindemittel werden in Zukunft an Bedeutung gewinnen. In diesem Forschungsprojekt war PmB-Bindemittel und PmB-Mischgut noch kein Thema.

7 Schlussfolgerungen

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“ [1] bearbeitet.

Begrenzungen der RAP-Anteile durch RAP-Eigenschaften und Mischgut-Aufbereitung

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

- Theoretische Berechnungen haben gezeigt, 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%). Können Sollwerte der Korngrößenverteilung des herzustellenden Mischgutes angepasst und trotzdem normkonformes Mischgut hergestellt werden, 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 Ausbausphaltes RAP

Für das Verwenden von hohen Anteilen an Ausbausphalt, 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 gleichmässig 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 Ausbausphalthe 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 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. 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 Ausbausphalt und der Schonung der Ressourcen von Neumaterialien sind deshalb einzubeziehen.

8 Weiterer Forschungsbedarf

Die vorliegende Forschungsarbeit hat folgenden weiteren Forschungsbedarf aufgezeigt:

- Durchführen des In-Situ-Validierungsprojekts VP6, welches gemäss Initialprojekt das Forschungspaket ergänzt. Dieses VP6 hat zum Inhalt und Ziel: Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit der im Labor optimierten Mischungen gemäss Resultaten und Erkenntnissen von EP1, EP4 und EP5 im Massstab 1:1 unter Verkehrs- und Klimabeanpruchung. Beurteilung und Untersuchung des Verhaltens von verschiedenen RAP-haltigen Strassenbelägen mittels beschleunigter Verkehrssimulation. Alle Mischgutsorten für das In-Situ-Validierungsprojekt VP6 sollen in einer Aufbereitungsanlage hergestellt und unter Praxisbedingungen eingebaut werden.
- Erarbeiten von Erfahrungen mit Verjüngungsmitteln, insbesondere von hohen Anteilen bei der Mischgutaufbereitung. Die Einflüsse auf die Mischguteigenschaften und das Alterungsverhalten sind abzuklären.
- Herstellen von Mischgut mit PmB-Bindemitteln und hohen RAP-Anteilen. Entsprechende Bindemittel mit erhöhtem PmB-Anteil sind seit einigen Jahren auf dem Markt und in Gebrauch.
- Verifizieren der Qualität von Mischgut mit sehr hohen Anteilen an RAP von über 80% bis zu 100%. Industriell können solche Mischgutsorten nur in einer 100%-Recycling-Anlage mit Heisszugabe hergestellt werden. In einer Recyclinganlage dieser neusten Generation wird das RAP mit indirekter Erwärmung schonend bis zur Mischtemperatur erhitzt
- Ausdehnung der Untersuchungen auf Niedertemperaturasphalte, da die Vermischung des alten und des neuen Bindemittels aufgrund der tieferen Mischtemperatur weniger gut möglich ist.

Anhänge

I	Prüfergebnisse	96
I.1	Spaltzug-Schwellversuch.....	96
I.1.1	Mischgut AC 11 S	96
I.1.2	Mischgut AC T 22 S	100
I.1.3	Mischgut AC EME 22 C2	104

I Prüfergebnisse

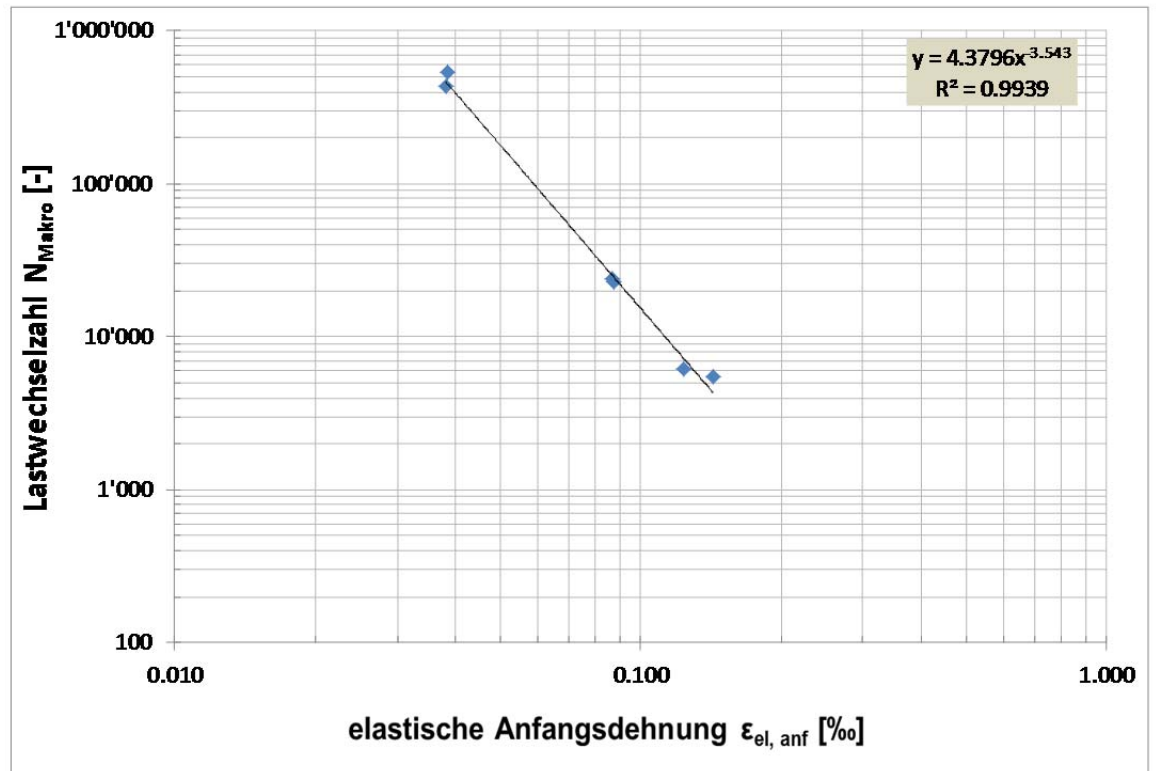
I.1 Spaltzug-Schwellversuch

I.1.1 Mischgut AC 11 S

Asphaltmaterial:	AC 11 S
RAP-Anteil	0%
Mischung	Mx5b

- PT Prüftemperatur (gemessen)
- σ_O Oberspannung
- N_{Ende} Anzahl der gemessenen Lastzyklen
- N_{Makro} Anzahl der Lastzyklen bis zum Makroriss
- ΔF Zweifache Kraftamplitude
- Δu Zweifache Amplitude der Horizontalverformung
- $|E|$ Steifigkeitsmodul (absoluter Modul)
- $\epsilon_{el, anf}$ anfängliche elastische Dehnung in Probekörpermitte

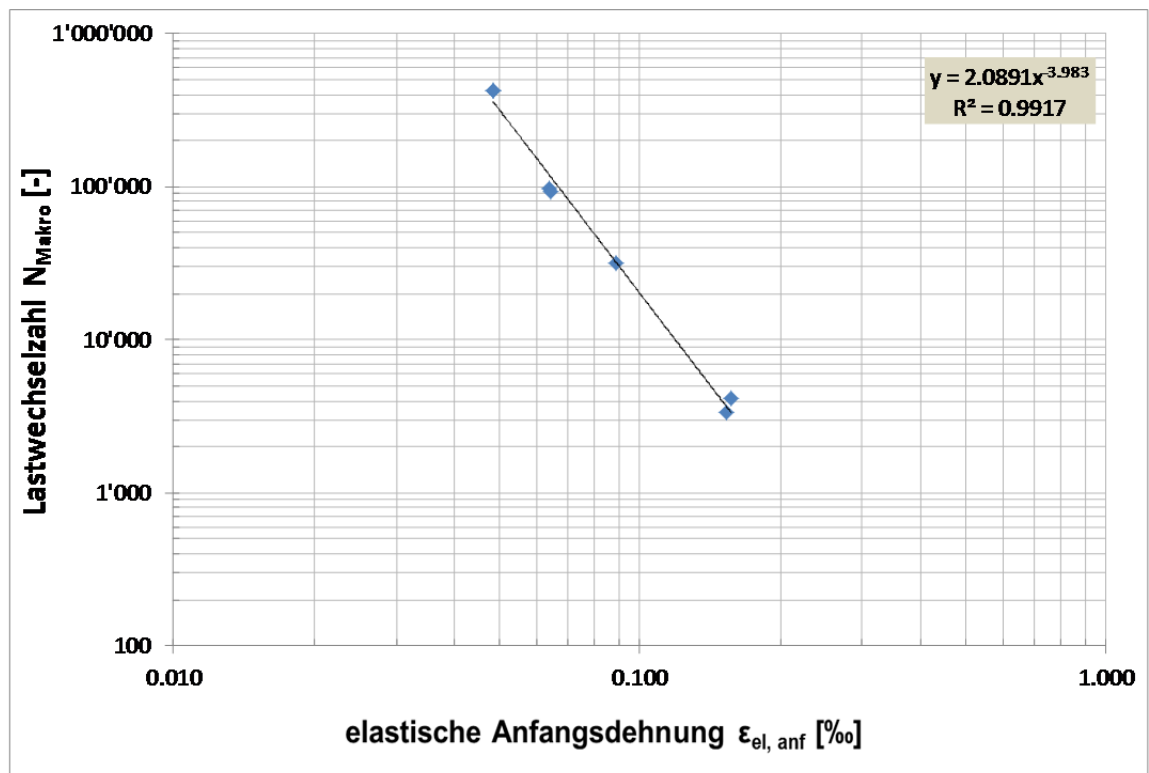
Pk-Nr. [-]	Durchmesser [mm]	Höhe [mm]	Last- klasse	PT [°C]	σ_O [MPa]	N_{Ende} [-]	N_{Makro} [-]	ΔF [N]	Δu [mm]	$ E $ [MPa]	$\epsilon_{el, anf}$ [‰]
Mx05b_10	101.6	63.45	O1	21.0	0.166	563'100	431'500	1'680.9	0.0018	8'330	0.038
Mx05b_9	101.6	63.6		21.1	0.166	674'900	531'200	1'683.7	0.0019	8'289	0.038
Mx05b_5	101.7	63.625	O2	21.1	0.336	33'200	23'700	3'416.7	0.0042	7'416	0.087
Mx05b_6	102.2	64.174999		21.0	0.336	31'600	22'600	3'462.1	0.0042	7'375	0.087
Mx05b_7	101.7	65.049999	O3	21.1	0.47	7'700	5'500	4841.5	0.0069	6251	0.143
Mx05b_8	101.7	64		21.0	0.47	9'000	6'200	4764.3	0.0060	7238	0.123



Asphaltmaterial:	AC 11 S
RAP-Anteil	40% RAP1
Mischung	Mx07

- PT Prüftemperatur (gemessen)
- σ_0 Oberspannung
- N_{Ende} Anzahl der gemessenen Lastzyklen
- N_{Makro} Anzahl der Lastzyklen bis zum Makroriss
- ΔF Zweifache Kraftamplitude
- Δu Zweifache Amplitude der Horizontalverformung
- $|E|$ Steifigkeitsmodul (absoluter Modul)
- $\epsilon_{el, anf}$ anfängliche elastische Dehnung in Probekörpermitte

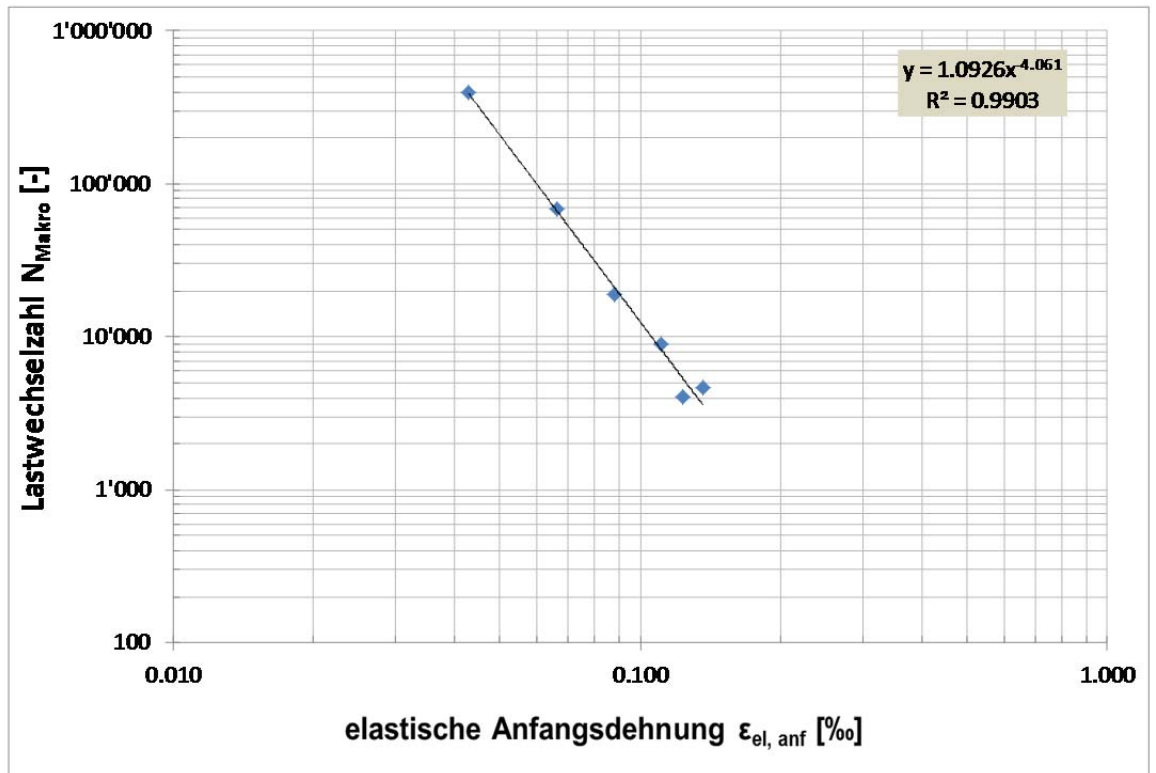
Pk-Nr. [-]	Durchmesser [mm]	Höhe [mm]	Last- klasse	PT [°C]	σ_0 [MPa]	N_{Ende} [-]	N_{Makro} [-]	ΔF [N]	Δu [mm]	$ E $ [MPa]	$\epsilon_{el, anf}$ [‰]	
Pk2	101.6	63.329999	σ1	20.0	0.22	542'200	425'600	2180.0	0.0023	8524	0.048	
Pk5	101.7	63.2				0.216	542'200	425'600	2'180.0	0.0023	8'524	0.048
Pk7	101.35	63.179999	σ2		0.266	128'400	97'400	2'675.6	0.0031	7'993	0.064	
Pk1	101.6	64.079999				0.266	122'200	93'800	2'723.7	0.0031	7'893	0.064
Pk3	101.7	63.399999	σ3		0.366	42'000	31'800	3'709.8	0.0043	7'881	0.089	
Pk7	101.6	63.479999				0.57	4'660	3'330	5'735.1	0.0074	7'089	0.153
Pk6	101.6	63.479999				0.566	5'795	4'165	5'736.8	0.0076	6'928	0.157



Asphaltmaterial:	AC 11 S
RAP-Anteil	60% RAP1 + V1
Mischung	Mx9w2

- PT Prüftemperatur (gemessen)
- σ_0 Oberspannung
- N_{Ende} Anzahl der gemessenen Lastzyklen
- N_{Makro} Anzahl der Lastzyklen bis zum Makroriss
- ΔF Zweifache Kraftamplitude
- Δu Zweifache Amplitude der Horizontalverformung
- $|E|$ Steifigkeitsmodul (absoluter Modul)
- $\epsilon_{el, anf}$ anfängliche elastische Dehnung in Probekörpermitte

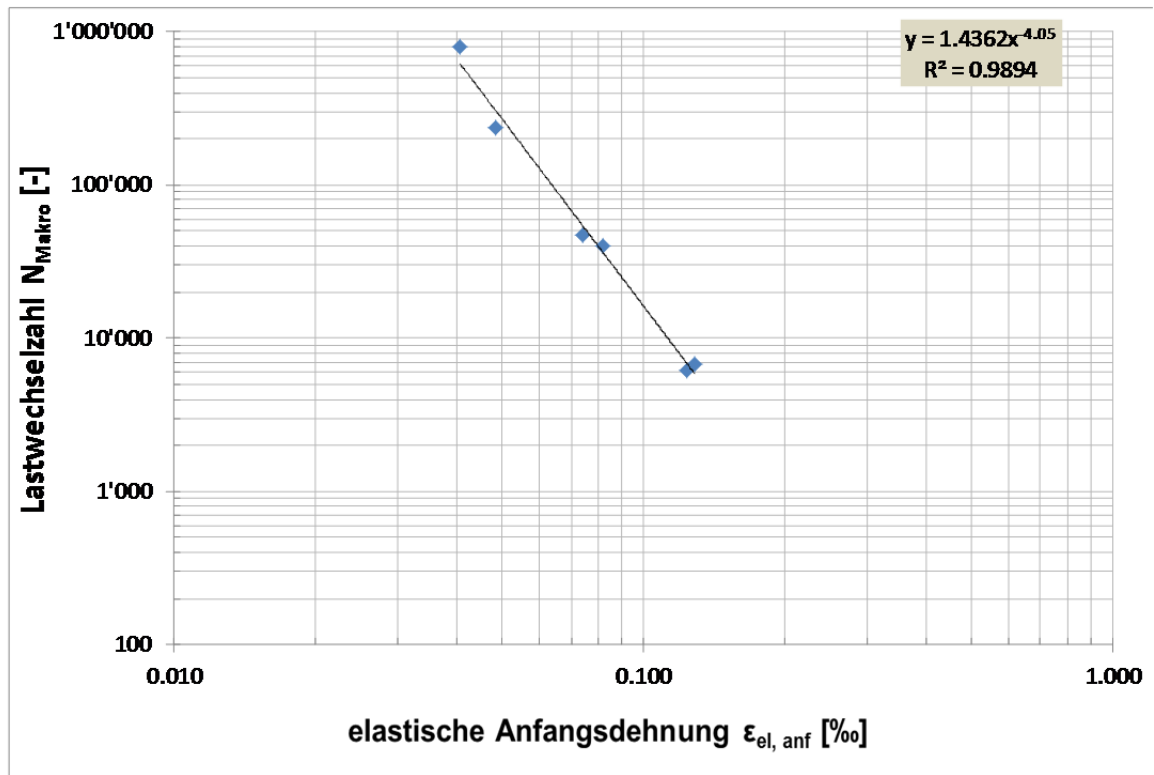
Pk-Nr.	Durchmesser	Höhe	Lastklasse	PT	σ_0	N_{Ende}	N_{Makro}	ΔF	Δu	$ E $	$\epsilon_{el, anf}$
[-]	[mm]	[mm]		[°C]	[MPa]	[-]	[-]	[N]	[mm]	[MPa]	[%]
Mx09w2-Pk7	102.2	62.7	σ1	21.1	0.396	11'620	8'870	3'987.5	0.0054	6'852	0.111
Mx09w2-Pk8	102.2	63.225		20.9	0.456	5'470	4'030	4'628.3	0.0060	7'062	0.124
Mx09w2-Pk10	101.7	63.399999		20.9	0.456	6'280	4'630	4'618.8	0.0066	6'422	0.136
Mx09w2-Pk5	101.7	63.35	σ2	20.9	0.316	24'950	19'000	3'199.9	0.0043	6'852	0.088
Mx09w2-Pk6	101.7	63.149999		20.9	0.256	88'750	69'350	2'583.2	0.0032	7'376	0.066
Mx09w2-Pk9	101.6	63.5	σ3	20.8	0.17	494'400	397'800	1680.0	0.0021	7380	0.043



Asphaltmaterial:	AC 11 S
RAP-Anteil	60% RAP1 + V2
Mischung	Mx10w2

- PT Prüftemperatur (gemessen)
- σ_0 Oberspannung
- N_{Ende} Anzahl der gemessenen Lastzyklen
- N_{Makro} Anzahl der Lastzyklen bis zum Makroriss
- ΔF Zweifache Kraftamplitude
- Δu Zweifache Amplitude der Horizontalverformung
- |E| Steifigkeitsmodul (absoluter Modul)
- $\epsilon_{el, anf}$ anfängliche elastische Dehnung in Probekörpermitte

Pk-Nr. [-]	Durchmesser [mm]	Höhe [mm]	Last- klasse	PT [°C]	σ_0 [MPa]	N_{Ende} [-]	N_{Makro} [-]	ΔF [N]	Δu [mm]	E [MPa]	$\epsilon_{el, anf}$ [‰]
Mx10w2-PK7	101.7	63.1	σ1	20.9	0.226	296'600	236'200	2'279.2	0.0023	8'958	0.048
Mx10w2-PK10	101.7	63		21.1	0.186	979'800	795'800	1'870.6	0.0020	8'780	0.041
Mx10w2-PK5	101.6	64.075	σ2	20.9	0.316	61'300	47'200	3'231.9	0.0036	8'133	0.074
Mx10w2-PK9	101.6	64.375		21.1	0.316	50'500	40'400	3'246.9	0.0040	7'389	0.082
Mx10w2-PK6	101.7	62.674999	σ3	20.9	0.53	8'300	6'170	5268.5	0.0060	8169	0.123
Mx10w2-PK8	101.7	63		20.9	0.53	9'110	6'800	5295.5	0.0062	7839	0.128

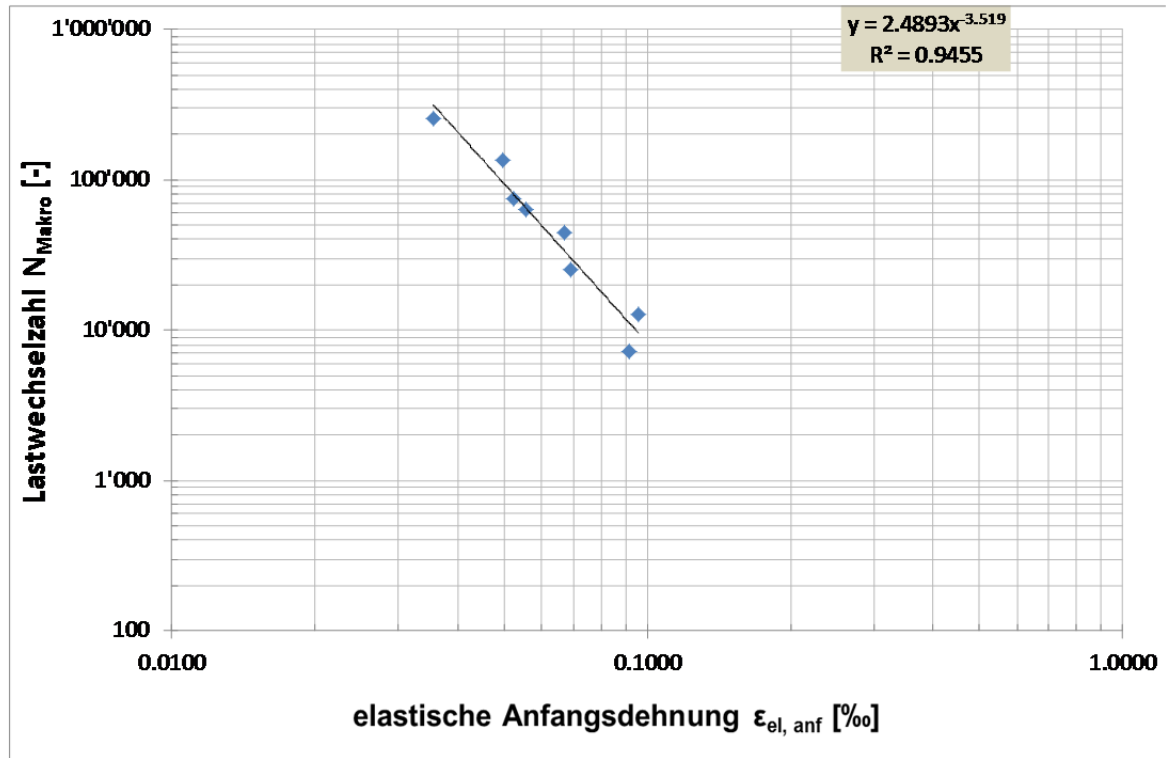


I.1.2 Mischgut AC T 22 S

Aspaltmaterial:	AC T 22 S
RAP-Anteil	0%
Mischung	Mx20w

- PT Prüftemperatur (gemessen)
- σ_0 Oberspannung
- N_{Ende} Anzahl der gemessenen Lastzyklen
- N_{Makro} Anzahl der Lastzyklen bis zum Makroriss
- ΔF Zweifache Kraftamplitude
- Δu Zweifache Amplitude der Horizontalverformung
- $|E|$ Steifigkeitsmodul (absoluter Modul)
- $\epsilon_{el, anf}$ anfängliche elastische Dehnung in Probekörpermitte

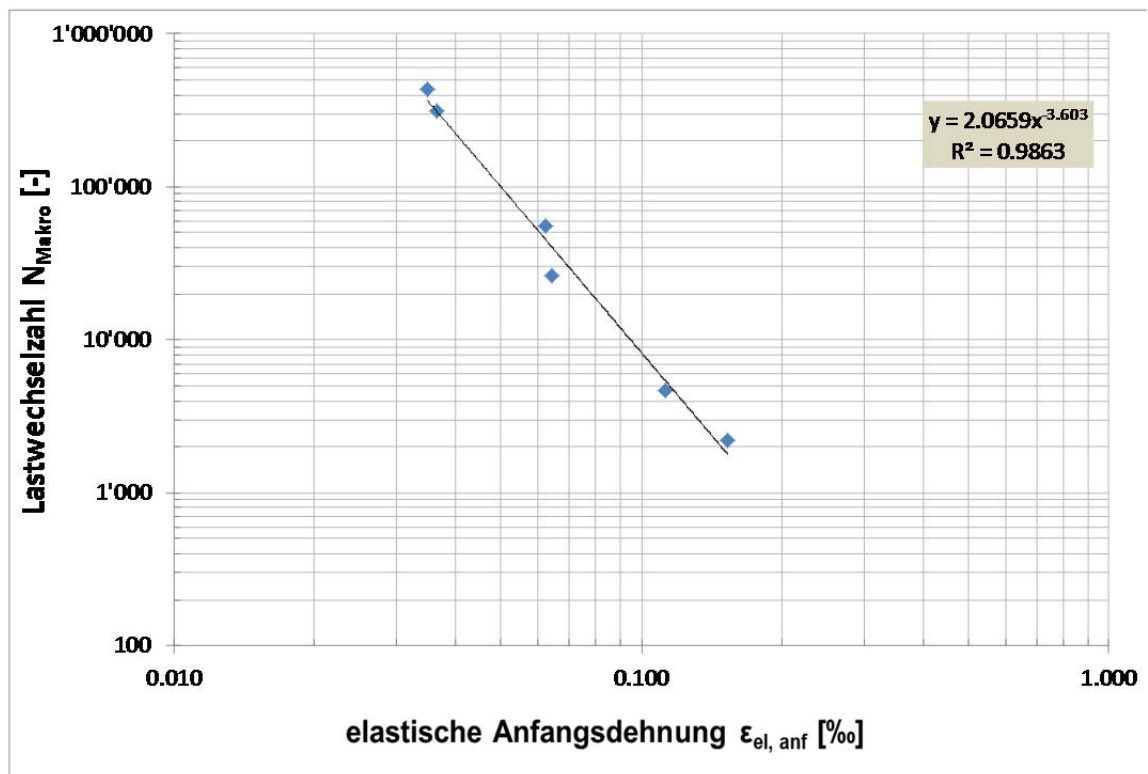
Pk-Nr. [-]	Durchmesser [mm]	Höhe [mm]	Last- klasse	PT [°C]	σ_0 [MPa]	N_{Ende} [-]	N_{Makro} [-]	ΔF [N]	Δu [mm]	$ E $ [MPa]	$\epsilon_{el, anf}$ [%]
Pk11	101.6	65.98	σ1	21.0	0.46	11'010	7'240	4800.8	0.0040	10448	0.084
Mx20w_7	102.05	63.475		21.0	0.466	18'200	12'600	4743.9	0.0042	10'270	0.087
Mx20w_6	101.6	64.9		21.0	0.306	68'100	44'300	3'170.1	0.0028	10'202	0.057
Pk9	101.6	65.299999	σ2	20.9	0.336	37'210	25'130	3'499.8	0.0028	11'193	0.057
Pk2	101.6	65		21.0	0.266	92'800	63'600	2'759.0	0.0023	10'890	0.047
Pk1	101.6	64.3		20.9	0.244	111'000	75'200	2'506.5	0.0020	11'222	0.042
Pk4	101.4	64.579999	σ3	21.0	0.166	407'400	258'200	1'704.8	0.0013	12'156	0.026
Mx20w_8	101.5	63.875		21.0	0.22	216'500	135'500	2199.2	0.0019	10414	0.040



Asphaltmaterial:	AC T 22 S
RAP-Anteil	40% RAP1+2
Mischung	Mx23w

- PT Prüftemperatur (gemessen)
- σ_o Oberspannung
- N_{Ende} Anzahl der gemessenen Lastzyklen
- N_{Makro} Anzahl der Lastzyklen bis zum Makroriss
- ΔF Zweifache Kraftamplitude
- Δu Zweifache Amplitude der Horizontalverformung
- $|E|$ Steifigkeitsmodul (absoluter Modul)
- $\epsilon_{el, anf}$ anfängliche elastische Dehnung in Probekörpermitte

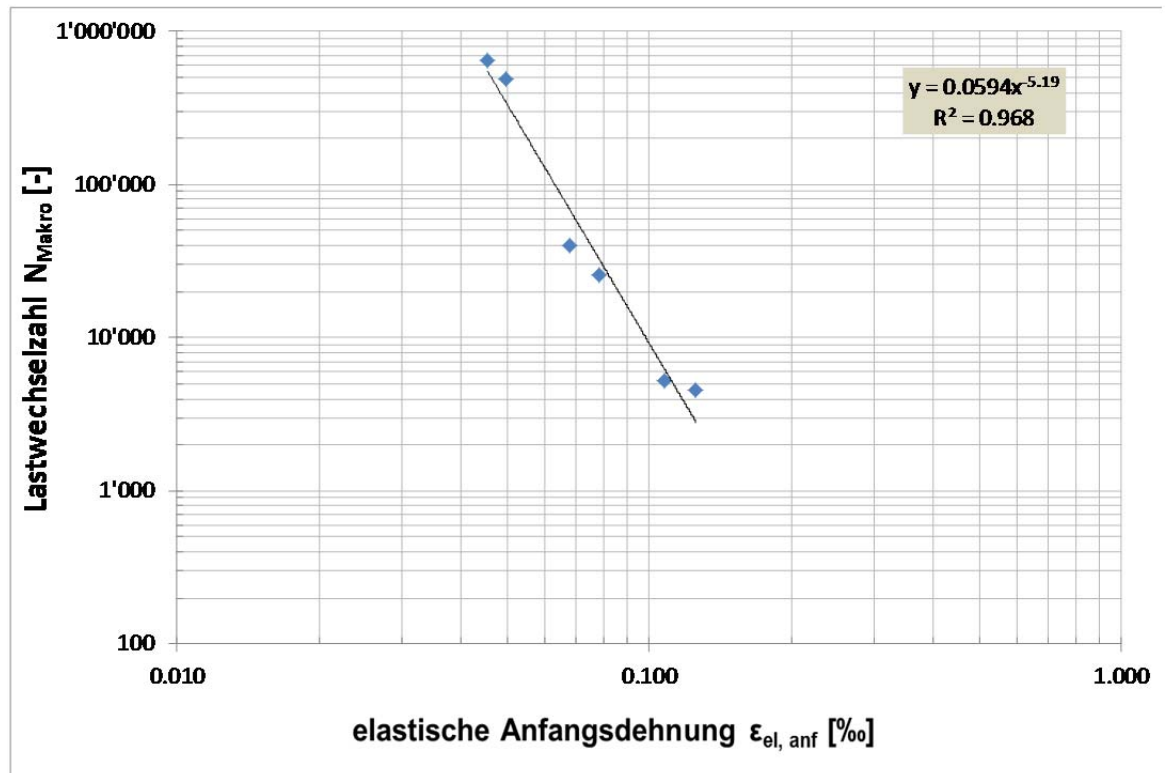
Pk-Nr. [-]	Durchmesser [mm]	Höhe [mm]	Last- klasse	PT [°C]	σ_o [MPa]	N_{Ende} [-]	N_{Makro} [-]	ΔF [N]	Δu [mm]	$ E $ [MPa]	$\epsilon_{el, anf}$ [‰]
Mx23w_10	101.7	65.4	σ1	21.0	0.166	566'400	432'500	1'730.8	0.0017	9'098	0.035
Mx23w_9	101.5	66.224999		21.0	0.166	436'100	313'200	1'750.8	0.0018	8'707	0.036
Mx23w_4	101.6	65	σ2	21.1	0.316	37'700	26'200	3'279.1	0.0031	9'394	0.065
Mx23w_5	101.6	64.5		21.0	0.316	88'100	55'000	3'253.0	0.0030	9'678	0.063
Mx23w_6	101.6	64.8	σ3	21.1	0.47	7'100	4'700	4827.1	0.0054	7956	0.112
Mx23w_8	101.4	66.875		21.1	0.47	3'300	2'200	4966.2	0.0074	5830	0.153



Asphaltmaterial:	AC T 22 S
RAP-Anteil	60% RAP1+2
Mischung	Mx24w

- PT Prüftemperatur (gemessen)
- σ_0 Oberspannung
- N_{Ende} Anzahl der gemessenen Lastzyklen
- N_{Makro} Anzahl der Lastzyklen bis zum Makroriss
- ΔF Zweifache Kraftamplitude
- Δu Zweifache Amplitude der Horizontalverformung
- $|E|$ Steifigkeitsmodul (absoluter Modul)
- $\epsilon_{el, anf}$ anfängliche elastische Dehnung in Probekörpermitte

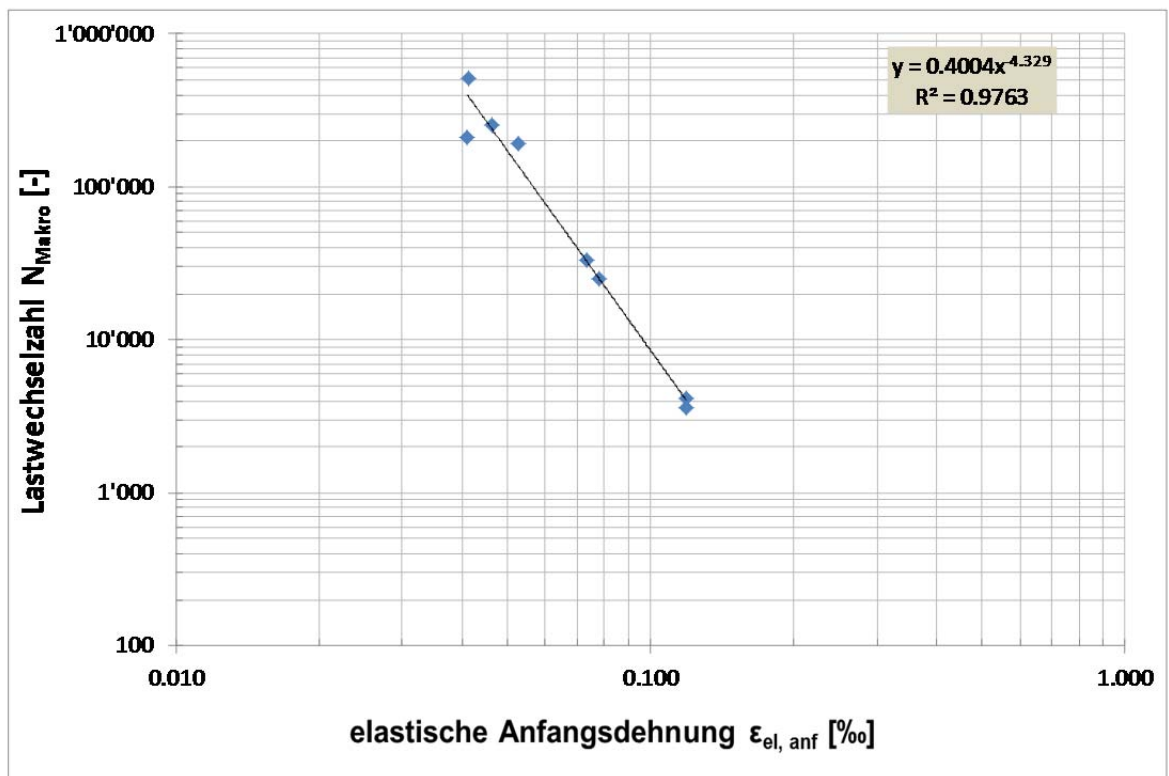
Pk-Nr. [-]	Durchmesser [mm]	Höhe [mm]	Last- klasse	PT [°C]	σ_0 [MPa]	N_{Ende} [-]	N_{Makro} [-]	ΔF [N]	Δu [mm]	$ E $ [MPa]	$\epsilon_{el, anf}$ [%]
Mx24w_5	101.7	62.5	σ1	21.0	0.295	690'400	486'100	2'940.7	0.0024	11'384	0.050
Mx24w_10	101.7	62.25		21.0	0.296	900'800	651'100	2'941.9	0.0022	12'447	0.046
Mx24w_6	101.6	62.85	σ2	21.1	0.466	55'000	39'900	4'674.4	0.0033	13'139	0.068
Mx24w_7	101.7	62.899999		21.0	0.466	36'600	25'400	4'681.4	0.0038	11'424	0.078
Mx24w_8	101.7	62.5	σ3	21.0	0.67	6'700	4'500	6647.5	0.0061	10'155	0.126
Mx24w_9	101.7	62.524999		21.0	0.67	8'900	5'200	6652.1	0.0052	11'805	0.108



Asphaltmaterial:	AC T 22 S
RAP-Anteil	80% RAP1+2 + V1
Mischung	Mx25w

- PT Prüftemperatur (gemessen)
- σ_o Oberspannung
- N_{Ende} Anzahl der gemessenen Lastzyklen
- N_{Makro} Anzahl der Lastzyklen bis zum Makroriss
- ΔF Zweifache Kraftamplitude
- Δu Zweifache Amplitude der Horizontalverformung
- |E| Steifigkeitsmodul (absoluter Modul)
- $\epsilon_{el, anf}$ anfängliche elastische Dehnung in Probekörpermitte

PK-Nr. [-]	Durchmesser [mm]	Höhe [mm]	Last- klasse	PT [°C]	σ_o [MPa]	N_{Ende} [-]	N_{Makro} [-]	ΔF [N]	Δu [mm]	E [MPa]	$\epsilon_{el, anf}$ [‰]
Mx25_12	101.6	63.024999	σ1	20.9	0.296	747'700	513'400	2'975.2	0.0020	13'660	0.041
Mx25_11	101.6	62.575		21.1	0.296	358'600	213'100	2'954.2	0.0020	13'767	0.041
Mx25_10	101.6	62.85	σ2	21.0	0.316	358'200	253'500	3'166.0	0.0022	13'017	0.046
Mx25_5	101.7	62.299999		20.9	0.366	305'400	193'100	3'646.3	0.0026	13'267	0.053
Mx25_8	101.6	62.674999		21.0	0.476	50'600	33'400	4'764.1	0.0035	12'464	0.073
Mx25_9	101.6	62.825	σ3	21.0	0.476	38'300	25'200	4'771.5	0.0038	11'655	0.078
Mx25_6	101.6	63.3		21.1	0.68	6'300	4'100	6832.4	0.0057	10934	0.119
Mx25_7	101.6	63.725		21.1	0.68	5'700	3'600	6873.7	0.0057	10883	0.119

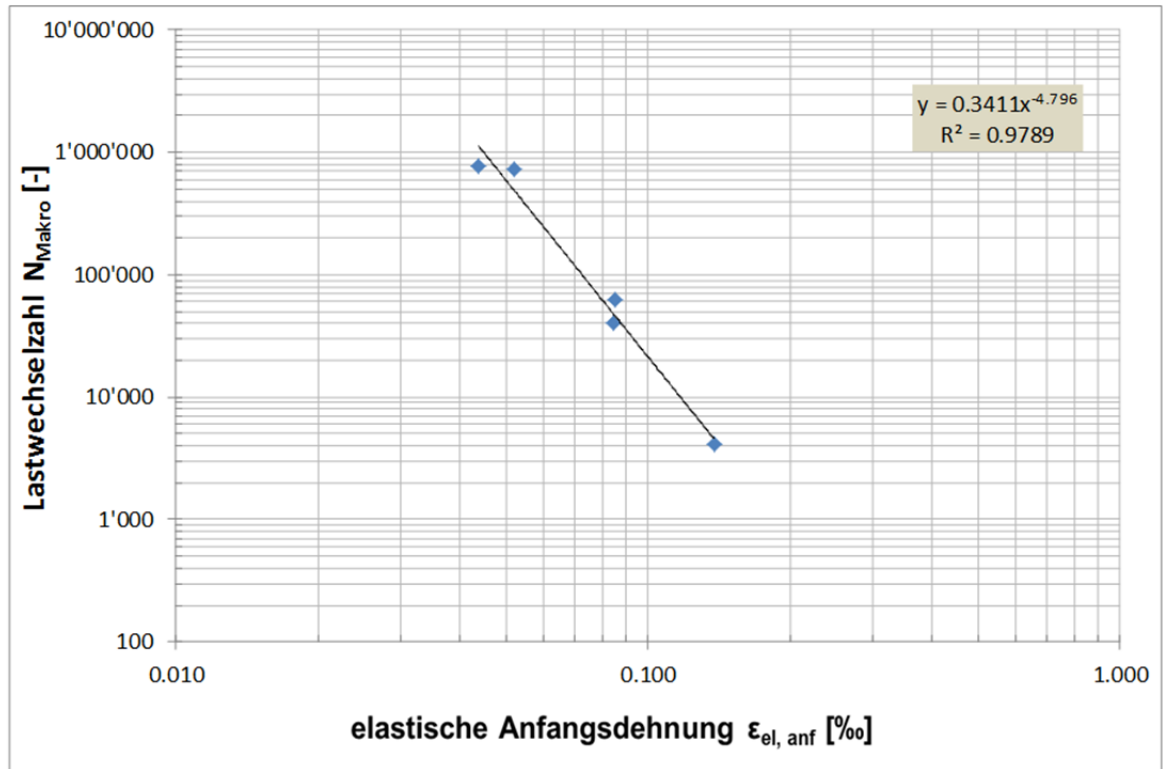


I.1.3 Mischgut AC EME 22 C2

Asphaltmaterial:	AC EME 22 C2
RAP-Anteil	0%
Mischung	Mx30

- PT Prüftemperatur (gemessen)
- σ_O Oberspannung
- N_{Ende} Anzahl der gemessenen Lastzyklen
- N_{Makro} Anzahl der Lastzyklen bis zum Makroriss
- ΔF Zweifache Kraftamplitude
- Δu Zweifache Amplitude der Horizontalverformung
- $|E|$ Steifigkeitsmodul (absoluter Modul)
- $\epsilon_{el, anf}$ anfängliche elastische Dehnung in Probekörpermitte

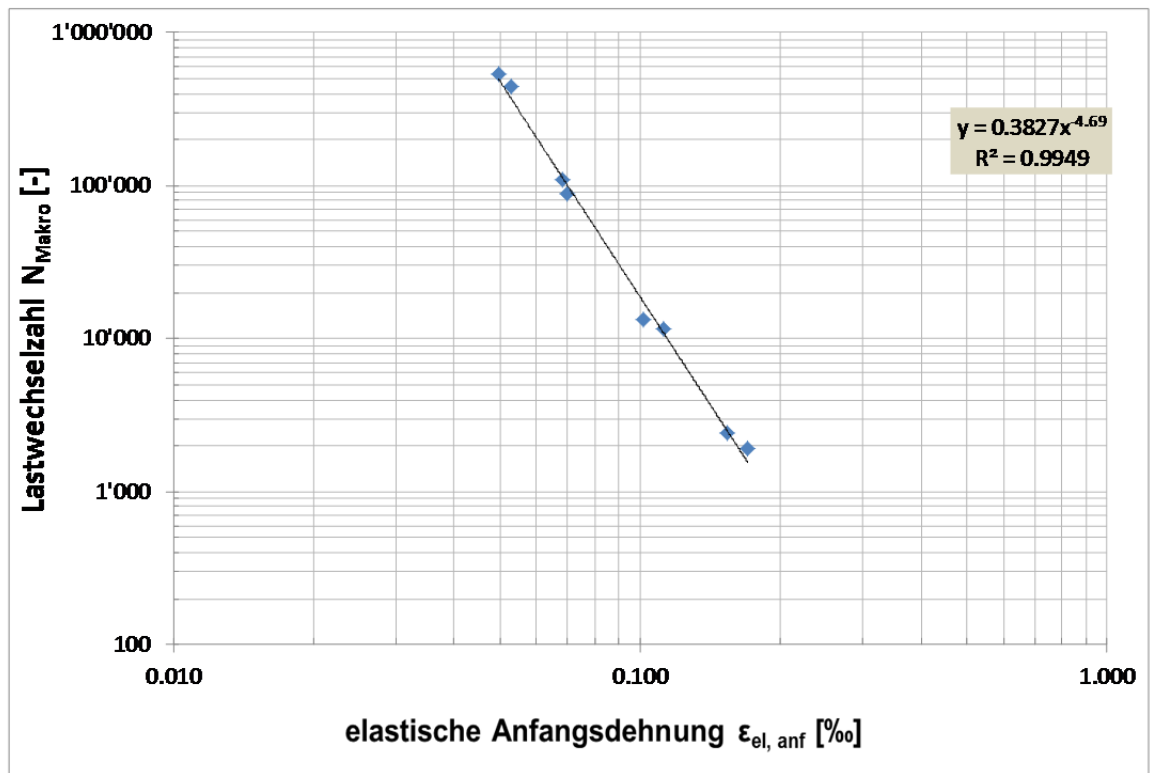
Pk-Nr.	Durchmesser	Höhe	Lastklasse	PT	σ_O	N_{Ende}	N_{Makro}	ΔF	Δu	$ E $	$\epsilon_{el, anf}$
[-]	[mm]	[mm]		[°C]	[MPa]	[-]	[-]	[N]	[mm]	[MPa]	[%]
Pk2	101.7	61.929999	U1	20.0	0.965	26'000	19'600	9'544.4	0.0051	17'402	0.106
Pk6	102	61.049999		21.1	1.262	5'750	4'100	12'347.8	0.0067	17'569	0.138
				20.0							
Pk3	101.6	61.829999	U2	21.0	0.765	88'000	62'400	7'552.4	0.0041	17'269	0.085
Pk5	101.4	62.88		20.9	0.766	54'600	40'000	7'671.0	0.0041	17'360	0.084
				20.0							
Pk4	101.6	61.85	U3	21.0	0.47	978'400	773'800	4600.3	0.0021	20'356	0.044
Pk7	101.7	61.649999		21.0	0.47	935'200	723'200	4589.6	0.0025	17'185	0.052



Asphaltmaterial:	AC EME 22 C2
RAP-Anteil	80% RAP1+2
Mischung	Mx34w

- PT Prüftemperatur (gemessen)
 σ_o Oberspannung
 N_{Ende} Anzahl der gemessenen Lastzyklen
 N_{Makro} Anzahl der Lastzyklen bis zum Makroriss
 ΔF Zweifache Kraftamplitude
 Δu Zweifache Amplitude der Horizontalverformung
 $|E|$ Steifigkeitsmodul (absoluter Modul)
 $\epsilon_{el, anf}$ anfängliche elastische Dehnung in Probekörpermitte

Pk-Nr. [-]	Durchmesser [mm]	Höhe [mm]	Last- klasse	PT [°C]	σ_o [MPa]	N_{Ende} [-]	N_{Makro} [-]	ΔF [N]	Δu [mm]	$ E $ [MPa]	$\epsilon_{el, anf}$ [‰]
Mx34_9	101.7	61.95	σ1	20.9	0.506	680'400	441'400	5'008.6	0.0026	18'251	0.053
Mx34_11	101.7	61.625		21.0	0.506	777'400	531'700	4'983.3	0.0024	19'539	0.050
Mx34_5	101.7	61.875	σ2	21.0	0.666	169'600	109'000	6'579.4	0.0033	18'718	0.068
Mx34_10	101.7	62		21.0	0.666	134'200	87'900	6'596.2	0.0034	18'291	0.070
Mx34_13	101.6	61.75	σ3	20.9	1.263	3'000	1'900	12'441.9	0.0082	14'225	0.170
Mx34_4	101.6	60.95		21.1	0.96	16'400	11'600	9'379.5	0.0054	16'495	0.112
Mx34_8	101.7	61.85		21.0	0.96	19'200	13'200	9'534.6	0.0049	18'150	0.102
Mx34_12	101.7	61.35		21.0	1.262	3'500	2'400	12'369.7	0.0074	15'707	0.154



Glossar

Begriff	Bedeutung
AC	Asphaltbeton (Asphalt concrete)
DSV	Druckschwellversuch
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EN	Europäische Norm
ERK	Erweichungspunkt Ring und Kugel
ITT	Indirekter Zugversuch
PK	Prüfkörper
PmB	Polymerhaltiges Bitumen
SN	Schweizer Norm
Stabw.	Standardabweichung
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
WP	Wendepunkt

Literaturverzeichnis

-
- [1] Poulikakos, L. Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut - Einzelprojekt EP4: VSS 2005/455 Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Strassenbelägen mit Ausbauasphalt, im Druck. 2
-
- [2] SN 640431-1 NA (EN 13108-1:2008) Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Teil 1: Asphaltbeton, VSS.
-
- [3] Partl, M. N., Hugener, M. Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut, VSS 2005/451, Forschungsbericht, Bundesamt für Strassen, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Nr. 1242, 66 p.
-
- [4] Hugener, M. Forschungspaket: Recycling von Ausbauasphalt Einzelprojekt EP2: VSS 2005/453: Mehrfachrecycling von Strassenbelägen, im Druck
-
- [5] Dünner, S., Forschungspaket: Recycling von Ausbauasphalt Einzelprojekt EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung, Forschungsauftrag VSS 2005/454, 2013, Bundesamt für Strassen, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Forschungsbericht Nr 1446, 69p.
-
- [6] A.-G. Dumont, N. Bueche, M. Pittet, Recyclage des matériaux bitumineux de démolition des routes dans des enrobés à chaud : EP5 Formulation, VSS 2005/456 ;, im Druck
-
- [7] Aurangzeb, Q., Al-Qadi, I. L., Abuwad, I. M., Pine, W. J., & Trepanier, J. S. (2012). Achieving Desired Volumetrics and Performance for Mixtures with High Percentage of Reclaimed Asphalt Pavement Asphalt Materials and Mixtures 2012 (Vol. 2, pp. 34-42): Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board
-
- [8] Anderson, E. D., & Daniel, J. S. (2013). Long Term Performance of High RAP Pavements: Case Studies. Paper presented at the Transportation Research Board 92nd Annual Meeting.
-
- [9] Anderson, E. D., & Daniel, J. S. (2013). Long Term Performance of High RAP Pavements: Case Studies. Paper presented at the Transportation Research Board 92nd Annual Meeting.
-
- [10] Oliver, J. W. H. (2001). The Influence of the Binder in RAP on Recycled Asphalt Properties. Road Materials and Pavement Design, 2(3), 311-325. doi: 10.1080/14680629.2001.9689906
-
- [11] Mogawer, W. S., Austerman, A. J., & Bonaquist, R. (2012). Determining the Influence of Plant Type and Production Parameters on Performance of Plant-Produced Reclaimed Asphalt Pavement Mixtures Construction 2012, pp. 71-81: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board
-
- [12] Huang, B., Li, G., Vukosavljevic, D., Shu, X., & Egan, B. K. (2005) Laboratory Investigation of Mixing Hot-Mix Asphalt with Reclaimed Asphalt Pavement. Vol. 1929. Transport Research Record (pp. 37-45): Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.
-
- [13] Doyle, J. D., & Howard, I. L. (2010). COMPACTABILITY AND BITUMEN UTILIZATION OF 100% WARM MIXED RAP. Paper presented at the TRB Annual Meeting, Washington DC.
-
- [14] Eddhahak-Ouni, A., Dony, A., Colin, J., Mendez, S., Navaro, J., Drouadaine, I., et al. (2012). Experimental investigation of the homogeneity of the blended binder of a high rate recycled asphalt. Road Materials and Pavement Design, 13(3), 566-575.
-
- [15] Zaumanis, M., Mallick, R., & Frank, R. (2013). Evaluation of Rejuvenator's Effectiveness with Conventional Mix Testing for 100% Reclaimed Asphalt Pavement Mixtures. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2370(-1), 1.
-
- [16] SN 670202 NA (EN12591:2009) Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Anforderungen an Strassenbaubitumen CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [17] SN 670205 NA (EN 13924:2006) Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Anforderungen an harte Straßenbaubitumen, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [18] EN 1426:2007 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Nadelpenetration, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [19] EN 1427:2007 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Erweichungspunktes - Ring und Kugel-Verfahren, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [20] AASHTO. (2010). R30 Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt (HMA): American Association of State Highway and Transportation Officials.
-
- [21] EN 12697-26:2004 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 26: Steifigkeit, Anhang C, Indirekte Zugprüfung an zylindrischen Probekörpern (IT-CY), CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [22] EN 12697-24:2004+ A1:2007 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 24: Beständigkeit gegen Ermüdung, Anhang D Vierpunkt-Biegeprüfung an prismatischen Probekörpern, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [23] AL-Sp-Asphalt 09 (2009) Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Steifigkeits- und Ermüdungsverhaltens von Asphalten mit dem Spaltzug-Schwellversuch als Eingangsgrösse in die Dimensionierung, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen FGSV, Köln.
-
- [24] Angst, Ch. Druckschwellversuch zur Beurteilung des Verformungsverhaltens von Belägen, VSS 2005/504, Forschungsprojekt in Arbeit.
-
- [25] TP Asphalt-StB Teil 25 B 1 (2010). Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Einaxialer Druckschwellver-

- such - Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalt bei Wärme, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen FGSV, Köln.
-
- [26] EN 12697-46:2012 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 46: Widerstand gegen Klterisse und Tieftemperaturverhalten bei einachsigen Zugversuchen), CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [27] EN 12697-23:2003 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 23: Bestimmung der indirekten Zugfestigkeit von Asphalt-Probekörpern, CEN (Europäisches Komitee für Normung) 2003.
-
- [28] EN 12697-22:2003+A1:2007 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 22: Spurbildungstest, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [29] EN 12697-12:2008 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 12: Bestimmung der Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Probekörpern, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [30] EN 12697-1:2005 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 1: Löslicher Bindemittelgehalt, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [31] EN 12697-2:2007 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 2: Korngrenverteilung, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [32] EN 12697-5:2009Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 5: Bestimmung der Rohdichte, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [33] EN 12697-6:2003+A1:2007 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 6: Bestimmung der Raumdichte von Asphalt-Probekörpern, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [34] EN 12697-8:2003 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 8: Bestimmung von volumetrischen Charakteristiken von Asphalt-Probekörpern, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [35] EN 12697-30:2004+A1:2007 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 30: Probenvorbereitung, Marshall-Verdichtungsgerät, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [36] EN 12697-34:2004+A1:2007 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 34: Marshall-Prüfung, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [37] EN 12697-3:2005 Asphalt - Prüfverfahren für Heiasphalt - Teil 3: Rückgewinnung des Bindemittels: Rotationsverdampfer, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [38] Arand, W. (2004). Zur prüftechnischen Ansprache der Ermdungsbestndigkeit von Asphalten – Teil1. *Bitumen*, 66(1), 2-7.
-
- [39] Di Benedetto, H., de la Roche, C., Baaj, H., & Pronk, A. (2003). Fatigue of bituminous mixtures: different approaches and RILEM group contribution. In M. N. Partl (Ed.), *Proceedings pro028 : 6th International RILEM Symposium on Performance Testing and Evaluation of Bituminous Materials (PTEBM'03)* (pp. 15-38): RILEM Publications SARL.
-
- [40] SN 640 431-8a-NA (EN 13108-8:2008) „Mischgutanforderungen – Teil 8: Ausbauasphalt“
-
- [41] SN 670 103b-NA (EN 13043:2002/AC:2004), „Gesteinskörnungen für Asphalte und Oberflächenbehandlungen für Strassen, Flugpltze und andere Verkehrsflchen“
-
- [42] prEN13924-1:2013 (Normentwurf) Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel -Anforderungsrahmenwerk für spezielle Straenbaubitumen - Teil 1: Harte Straenbaubitumen, CEN (Europäisches Komitee für Normung).
-
- [43] Dumont, A. G., Turty, J.-C., Beauverd, J., & Bhler, T. (1999). Influence de la forme des granulats sur les caractéristiques d'un béton bitumineux, 2. partie VSS 1994/10. (424), 104.
-

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: 28.03.2014 / 26.05.2014

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2005/452
 Projekttitel: Recycling von Ausbausphal in Heissmischgut
 Einzelprojekt EP1: Optimaler Anteil an Ausbausphal
 Enddatum: 26.05.2014

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Im vorliegenden Einzelprojekt EP1 zum Forschungspaket „Recycling von Ausbausphal in Heissmischgut“ wurden 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) insgesamt 16 Mischungen mit jeweils unterschiedlichen RAP-Anteilen im Labormischer der Empa hergestellt. Die sehr umfangreichen Prüfungen haben gezeigt, dass Recycling-Ausbauasphal-Granulat (RAP) auch in sehr hohen Anteilen von bis zu 80% RAP, die Qualität 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 einzubeziehen ist jedoch das Alterungsverhalten, das im EP4 „Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Strassenbelägen mit Ausbausphal“ bearbeitet wird.

Für das Verwenden von hohen RAP-Anteilen in der Mischgutherstellung ist die Qualität des RAP entscheidend. Sehr wichtig ist, dass das eingesetzte RAP bezüglich aller Eigenschaften homogen zusammengesetzt ist. Dies wird mit zunehmendem RAP-Anteil wichtiger. Durch geeignete Fraktionierungen des RAP können die maximal möglichen RAP-Anteile, die verwendbar sind, meist deutlich erhöht werden, da so die gewünschten Korngrößenverteilungen besser zu erreichen sind.

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 RAP begrenzen. Zur Hauptsache sind dies die folgenden drei:

- Je nach Korngrößenverteilungen von RAP und „neuen“ Mineralstoffen sind bei hohen RAP-Anteilen übliche Sollwerte der Korngrößenverteilungen nicht mehr zu erreichen, wie beispielsweise für das Mischgut AC 11 S ab mehr als 70% RAP1 0/11.
- 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 RAP-Anteile werden damit über die maximal möglichen Mineraltemperaturen, welche keine Schädigungen der Bindemittel bewirken, begrenzt. Diese Begrenzungen fallen bei den neuen 100%-Recycling-Anlagen weg, da bei diesen 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.

Basierend auf den durchgeführten Laboruntersuchungen gibt es prinzipiell keine Einschränkungen für die Verwendung von hohen Anteilen an RAP, solange die Homogenität des RAP gewährleistet ist und die Normanforderungen an die Mischgutsorten sowie Mischguttypen erfüllt werden können. Dies ist zumindest für die im Projekt geprüften drei Mischgutsorten AC 11 S, AC T 22 S und AC EME 22 C2 sowie für die verwendeten Mineralstoffe und Recycling-Ausbauasphal-Granulate RAP1 0/11, RAP2 11/22 der Fall.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Die Ziele des vorliegenden Einzelprojektes EP1 "Optimaler Anteil an Ausbauasphalt" konnten erreicht werden.

Die sehr umfangreichen Prüfungen haben gezeigt, dass RAP auch in sehr hohen Anteilen von bis zu 80% RAP, die Qualitäten von neu hergestelltem Mischgut AC 11 S (Zielbitumen 70/100), AC T 22 S (Zielbitumen 50/70) und AC EME 22 C2 (Zielbitumen 10/20) 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 einzubeziehen ist jedoch das Alterungsverhalten. Dieses wird im EP4 „Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Strassenbelägen mit Ausbauasphalt“ bearbeitet.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Resultate der vorliegenden Forschungsarbeit, welche die Eignung von hohen RAP-Anteilen in Labormischungen aufgezeigt haben, müssen sich jedoch in der Praxis noch bestätigen, wofür zwingendermassen Feldversuche notwendig sind. Nicht Bestandteil dieses Projektes waren Mischgutsorten mit Polymerbitumen und Mischgutsorten mit Ausfällkörnungen (SMA, PA, AC MR, SDA). Bei diesen sind unter Umständen Vorbehalte für hohe RAP-Anteile angebracht, wie zum Beispiel auch bei Mischgut für Deckbeläge mit hohen Anforderungen an die Griffigkeit und die übrigen Eigenschaften der Mineralstoffe. Entsprechend wurde an der Sitzung der Begleitkommission vom 17.08.2010 beschlossen, wegen Qualitätsfragen auf den Einbezug des AC MR 8 und auch anderer Deckbeläge mit Ausfällkörnungen zu verzichten.

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 Mischgut-Typen 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 oder RAP 0/8 hergestellt werden. Zudem ist die Menge, wegen den dünnen 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.

Publikationen:

Eine Präsentation an der RILEM-Konferenz in Ancona 2015 ist in Vorbereitung.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Seeberger

Vorname: Max

Amt, Firma, Institut: Tecnotest AG, 8803 Rüschlikon

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:

Die Zielsetzungen dieses Forschungsauftrages wurden vollumfänglich erreicht. Für die drei repräsentativen Mischgutsorten AC 11 S (Zielbitumen 70/100), AC T 22 S (Zielbitumen 50/70) und AC EME 22 C2 (Zielbitumen 10/20) haben die sehr umfangreichen Prüfungen gezeigt, dass RAP auch in sehr hohen Anteilen von bis zu 80% RAP, die Qualitäten von neu im Labor hergestelltem Mischgut nicht nachteilig beeinflusst. Es kann gefolgert werden, dass dies auch für Mischgut mit bis zu 100% RAP gilt. Verschiedene Einflüsse, welche hohe RAP-Anteile begrenzen oder erschweren können, wurden aufgezeigt. Dies betrifft hauptsächlich die Anforderungen an die Homogenität und Qualität von RAP, die Nichterreichbarkeit von Mischgutsollwerten, der Einsatz von Verjüngungsmittel, die Anforderungen an die Mischgut-Aufbereitungsanlagen (Kalt-/Batchverfahren, Warmverfahren/Recyclingtrommel, Heissverfahren/neue 100%-Recycling-Anlagen).

Umsetzung:

Mit den Ergebnissen des vorliegenden Einzelprojektes EP1 "Optimaler Anteil an Ausbausphal" kann das angestrebte Ziel des Forschungspaketes „Recycling von Ausbausphal in Heissmischgut“ die Wiederverwendung von Ausbausphal in bituminösen Strassenbelägen zu fördern klar unterstützt werden.

weitergehender Forschungsbedarf:

Die Resultate der vorliegenden Forschungsarbeit, welche die Eignung von hohen RAP-Anteilen in Labormischungen aufgezeigt haben, sind in der Praxis noch zu bestätigen. Dafür sind zwingend Feldversuche notwendig. Weiterer Forschungsbedarf wurde aufgezeigt: wie Einflüsse von insbesondere hohen Anteilen an Verjüngungsmitteln auf die Mischguteigenschaften, Zugabe von PmB-Bindemitteln und RAP sowie Niedertemperaturasphal mit RAP.

Einfluss auf Normenwerk:

Die Resultate des EP1 können als Grundlage für die Erhöhung der in der SN 640431-1 festgehaltenen maximalen Recyclinganteile in Asphaltbeton verwendet werden. Für die Revision wird aber empfohlen, die Ergebnisse des Validierungsprojektes VP6 abzuwarten.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Kästli

Vorname: Daniel

Amt, Firma, Institut: BERAG Belagslieferwerk Rubigen AG

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

FK4 : M. Hugener

Forschung im Strassenwesen des UVEK: Formular 3

Seite 3 / 3

Dübendorf 23.6.14

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Viellissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugeitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labor-massstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkierungsanlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkombeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystem / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystem / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009