

Diplomarbeit

Einsatz von Asphaltgranulat in hoch beanspruchten Asphaltstraßen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn.

Ronald Blab

Univ. Ass. Dipl. Ing. Dr. techn.

Bernhard Hofko

eingereicht an der **Technischen Universität Wien**

Institut für Verkehrswissenschaften

Forschungsbereich für Straßenwesen

Masterstudium Infrastrukturplanung- und management

und an der

Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie Sofia

Fakultät für Straßenbau

Masterstudium Verkehrsbau auf Deutsch

Krasimira Georgieva

Matr.Nr. 1129506

Vidinstraße 15

6300 Haskovo, Bulgaria



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology



UNIVERSITY
OF ARCHITECTURE
CIVIL ENGINEERING
AND GEODESY

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Sofia, im November 2014

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die zum Gelingen meiner Diplomarbeit beigetragen haben.

Ehrlichen Dank gebührt Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Blab für das Vertrauen und die Möglichkeit meine Diplomarbeit am Institut für Verkehrswissenschaften im Forschungsbereich für Straßenwesen an der Technischen Universität Wien auszuarbeiten.

Herrn Univ. Ass. Dipl. Ing. Dr. techn. Hofko möchte ich auch für die Hilfe und Verständnis während meines Aufenthaltes in Wien und Sofia danken.

Spezieller Dank gebührt meiner Familie und engsten Leute für die unendliche Unterstützung und Glauben an mich.

KURZFASSUNG

Das Thema der unterliegenden Diplomarbeit ist die Verwertung und Wiederverwendung von benutzten Asphaltgranulat mit Hilfe des heißen Recyclings. Das Ziel ist den Einsatz des Baustoffes in hoch beanspruchten Asphaltstraßen zu ermöglichen. Zum Beistand der Literaturrecherche werden Laborprüfungen von Asphaltgemischen zusammengefasst, um die Wirkung von recycelten Zugabemengen an neuen Asphaltsschichten zu erproben. Die Untersuchungen werden im Labor von Technischen Universität Wien, sowie in Instituten von Spanien, USA, Italien, Belgien, Schweden und Deutschland durchgeführt.

ABSTRACT

The theme of the current diploma paper is the exploitation and recycling of reclaimed asphalt pavement (RAP) with the help of the hot mix asphalt practice. The aim is to justify the use of the recycled material in highly loaded asphalt roads. To support the literature research laboratory tests on asphalt mixtures are summarized to test the performance of recycled additions in new asphalt layers. The investigations are carried out in the laboratory for road engineering of the Technical University of Vienna, as well as in institutions of Spain, USA, Italy, Belgium, Sweden and Germany.

VORWORT

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Verkehrswissenschaften an der TU Wien im Rahmen eines Doppel-Diplom Studiums zwischen der Universität für Architektur, Bauwesen und Geodesie Sofia und der Technischen Universität Wien entwickelt. Diese Diplomarbeit habe ich zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs erfasst.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung und Aufgabenstellung	17
2. Literaturrecherche	19
2.1 Begriffsbestimmung	19
2.2 Historischer Überblick	26
2.3 Asphaltgranulatswirtschaft	27
2.4 Anlagentechnik	28
2.4.1 Erwärmung durch die heißen Gesteinskörnungen	29
2.4.2 Erwärmung in gesonderten Vorrichtungen	30
2.4.3 Erwärmung gemeinsam mit den Gesteinskörnungen	32
2.5 Umweltverträglichkeit	33
3. Grundlagen der Wiederverwendung	34
3.1 Arten von Recyclingsverfahren	34
3.1.1 Heißrecycling In-Place	34
3.1.2 Heißrecycling In-Plant	37
3.2 Phasen des Recyclings	31
3.2.1 Gewinnung, Sortierung und Aufbereitung	40
3.2.2 Wiederverwendung	41
4. Normen, Richtlinien und Vorschriften für Ausbauasphalt	47
4.1 Allgemeine Anforderungen	47
4.2 Verwendung von Ausbauasphalt	48
4.3 Materialtechnische Anforderungen	49
4.4 Anforderungen für die Bestandteile des Asphaltgranulates	52
4.4.1 Bindemittelgehalt	52

4.4.2 Gesteinskörnungen	53
4.4.3 Gehalt an Fremdstoffen	54
5. Recyclingpraxis im internationalen Umfeld	56
5.1 Das Projekt von PARAMIX	56
5.1.1 Versuchsprogramm	56
5.1.2 Rheologische Prüfungen.....	57
5.1.3 Verhaltensorientierte Prüfungen von heißen Gemischen mit großen RA- Mengen	58
5.1.4 Zugprüfungen.....	58
5.1.5 Bewertung des Mischgutverhaltens	60
5.1.6 Neue Prozesse für Wiederverwendung	61
5.2 Das Projekt von NCHRP (National Cooperative Highway Research Program)	62
5.2.1 Versuchsprogramm	62
5.2.2 Bewertung des Einflusses der Binderstufe und Binderquelle auf die Mischgutparameter	63
5.2.3 Bewertung der Effizienz von Binderstufen	64
5.2.4 Test zur Ermittlung des dynamischen Moduls	65
5.2.5 Einfluss der Mischungsfaktoren auf den dynamischen Modul.....	68
5.2.6 Prüfung der Anfälligkeit für Feuchtigkeitsschäden	68
5.2.7 Flow Number Test, bzw. Hochtemperaturprüfung	68
5.2.8 Bestimmung der Ermüdungsresistenz	69
5.2.9 Bestimmung von Tieftemperaturresistenz	70
6. Aktuelle Forschungsergebnisse zu Recyclingasphalt an der Technischen Universität Wien	71
6.1 Versuchsprogramm	72
6.2 Abkühlprüfung (TSRST), bzw. Tieftemperaturverhalten	73

6.2.1 Tragschichten	73
6.2.2 Binderschichten	74
6.2.3 Deckschichten	74
6.3 Bestimmung von Ermüdungsbeständigkeit - 4-Punkt-Biegebalken	75
6.3.1 Tragschichten	75
6.3.2 Binderschichten	76
6.4 Beständigkeit gegen bleibende Verformungen - zyklische triaxiale Druckschwellprüfung (TCCT), bzw. Hochtemperaturverhalten	76
6.4.1 Binderschichten	77
6.4.2 Deckschichten	77
7. Zusammenfassung und Ausblick	79
I. Literaturverzeichnis	81
II. Abbildungsverzeichnis	84
III. Tabellenverzeichnis	87

Häufig verwendete Abkürzungen

Abb.	Abbildung
abk.	abgekürzt
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d.h.	das heißt
EN	Europäische Norm
engl.	auf Englisch
Gew.-%	Gewichtsprozent
M.-%	Massenprozent
od.	oder
ON	Österreichische Norm
ÖNORM	Österreichische Norm
RVS	Richtlinien und Vorschriften für Straßenbau
s.	siehe
Tab.	Tabelle
u.a.	und andere
usw.	und so weiter
Vol.-%	Volumenprozent
z.B.	zum Beispiel
zfg.	Zusammenfassung

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Wiederverwendung von Baustoffen hat schon eine lange und reiche Geschichte. Seit der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurden besondere Technologien entwickelt und durch die Einhaltung der Vorschriften des *Abfallwirtschaftsgesetzes*, [1], wird eine höchstwertige Verwertung von Baustoffen realisiert. Sie nützt der Umwelt und Abfallwirtschaft. Der Zusammenhang zwischen Verwertung und Umweltschonung liegt dem Baustoffkreislauf zugrunde.

Das Recycling von Straßenbauschutt leistet einen Beitrag zur Rohstoffchonung und Energieeffizienz. Zusammengefasst von [1], ist eine ökologisch zweckmäßige und technisch mögliche Verwertung von Recycling-Baustoffen erforderlich, sofern diese die öffentlichen Interessen nicht beeinträchtigt und keine unverhältnismäßigen Kosten verursacht. Die wichtigsten Ziele der Wiederverwendung sind die nicht verwertbaren Abfälle ordnungsmäßig zu beseitigen, die verwertbaren einer Verwertung zuzuführen und die Umwelt nicht zu belasten.

Nach [1] legt das Abfallwirtschaftsgesetz 2002 klare Bedingungen und Anforderungen zur Vermeidung von schädlichen, nachteiligen und das allgemeine Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen auf Menschen, Tiere und Pflanzen, fest, sowie die Maßnahmen zur Minimierung des Deponievolumenverbrauchs. Abhängig von der Entwicklung vom Tief- und Hochbau ist das Volumen der Bauabfälle in Österreich für das Jahr 2009 ca. 6,9 Millionen Tonnen gewesen. Laut *Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG)*, [2], müssen bis 2020 nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle im Ausmaß von 70% wiederverwendet, bzw. recycelt werden, nach *Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011* [3].

Im Asphaltstraßenbau bestehen verschiedene Möglichkeiten zur Wiederverwendung von Materialien. Sie betreffen effiziente Technologien und entsprechende Einsatzgebiete. Nach Angabe hat die vorliegende Arbeit das Ziel eine erweiterte Literaturrecherche zusammenzufassen und die Prioritäten der Wiederverwendung von Ausbauasphalt zu setzen. Die Auswertung der wesentlichen Inhalte wird nach einer detaillierten Untersuchung der folgenden Aspekte durchgeführt:

- ❖ Grundlagen und Ziele der Wiederverwendung
- ❖ Recycling-Technologien
- ❖ Recycling-Prüfungen
- ❖ Wirtschaftlichkeit
- ❖ Umwelt- und Qualitätsmanagement

2 Literaturrecherche

2.1 Begriffsbestimmungen

- ❖ **Anlieferung** – „Eine erste Beurteilung und Vorsortierung im Hinblick auf die Verwendbarkeit ist schon bei der Anlieferung vorzunehmen, insbesondere ist sicherzustellen, dass nur geeignete, bzw. zulässige Baurestmassen übernommen werden“, *Richtlinie für Recycling-Baustoffe (Grüne Richtlinie)*, [4].
- ❖ **Asphalt** – zfg. von *Wiederverwenden von Asphalt*, Quelle [5], wird der Asphalt als Gemisch aus Straßenbaubitumen oder bitumenhaltigen Bindemitteln und Gesteinskörnungen hergestellt.
- ❖ **Asphaltbeton (AC)** – abk. von *Asphalt Handbuch*, [6], besteht er aus Gesteinstoffen mit einer stetigen Sieblinie und Straßenbaubitumen. Je nach ihrem Größtkorn werden die folgenden Typen unterschieden: AC 4, AC 8, AC 11, AC 16, AC 22. Die Korngrößenverteilung ist nach dem Füllungsprinzip stetig.
- ❖ **Asphaltgranulat** – nach [5] wird er „durch Fräsen (gegebenfalls mit anschließender zusätzlicher Zerkleinerung) oder durch Aufbrechen/Aufnehmen von Schollen mit anschließender Zerkleinerung in Stücke gewonnen“.
- ❖ **Ausbauasphalt** – Ist Fräsasphalt oder Aufbruchasphalt, nach [5].
- ❖ **Bitumengebundene Tragschichten** – abk. von [6] dienen sie zur Verteilung der Lasten und Kräfte von den direkt befahrenen Deckschichten und zur Aufnahme der Schubspannungen. Haben hohe Verformungsbeständigkeit, sowie lange Nutzungsdauer bei sicherer und komfortabler Befahrbarkeit.
- ❖ **Bindemittelgehalt [M.-%, Vol.-%]** – „die Menge des eingesetzten Bitumens gegenüber des Gesamtvolumen des Asphaltes wird als Bindemittel- oder Bitumengehalt bezeichnet“, nach [6].

- ❖ **Bitumen** – abk. von [6] werden die Bitumen aus geeigneten Rohölen, d.h. aus hochsiedenden Komponenten (über 500°C) hergestellt. Diese Bitumenrohöle sind schwere, naphthenbasierte bis gemischbasierte Rohöle, die bei der Destillation eine große Menge an Rückstand ergeben.
- ❖ **Bituminöse Tragschicht** – konstruktiver Bestandteil des Oberbaues, der unterhalb der Deckschicht liegt, abk. von [6].
- ❖ **Drainasphalt (PA)** – zfg. von [6] mit Hohlraumgehalt mehr als 17 Vol.-% wird der Drainasphalt als ein offenporiger Belagstyp bezeichnet. Der Grobsplittanteil ist im Vergleich zu SMA und LDDH erhöht, es entsteht eine Verringerung der Korn-zu-Korn Kontakte und an der Oberfläche auch eine reduzierte Kontaktfläche zu Fahrzeugreifen. Zur Sicherstellung der Haltbarkeit und der Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche, wird auf eine hohe Kantenfestigkeit und Polierresistenz geachtet. Drainasphalt dient zur Ableitung des Wassers (Fähigkeit der Drainage) durch den Belag und zur Abminderung der Rollgeräusche.
- ❖ **Dünnschichtdecke (DDH)** – abk. von [6] wird sie auf Asphaltsschichten oder Betondecken als Deckschicht mit maximal 2,5 cm Schichtdicke heiß eingebaut. Nur mit Hilfe der polymermodifizierten Bindemitteln wird das Gesteinsgerüst mit Größtkorn 4 und 8 mm zusammengesetzt. Dünnschichtdecken dienen der Erhöhung der Griffigkeit und der Verringerung des Rollgeräusches. Das Gestein muss hohe Kantenfestigkeit und das Bindemittel sehr hoher Klebekraft aufweisen, aufgrund der geringen Schichtdicke.
- ❖ **Ebenheit** – abk. von [6] ist sie für einen hohen Fahrkomfort, für eine sichere Wasserableitung ohne Pfützenbildung und damit für die Verkehrssicherheit wichtig. Abhängig ist sie nicht nur von guter Einbauqualität, sondern auch vom richtigen Schichtdicken und Größtkornverhältnis.
- ❖ **Festigkeit** – abk. von [6] hängt sie von der Festigkeit der Einzelkörner ab, besonders an den Kanten und Ecken. Je mehr das Verhältnis von Größtkorn und

Schichtdicke abnimmt, desto höher ist die Festigkeit. Am stärksten sind Monokornhaufwerke belastet, deren Einzelkörner untereinander nur wenige Berührungspunkte zur Ableitung der Kräfte zur Verfügung haben, z.B. die Korngerüste von lärmindernden Drainasphalten, Dünnschichtdecken oder Splittmastixasphalten. Für die Herstellung solcher Asphalte ist daher nur zähhartes Gestein geeignet.

- ❖ **Fräsasphalt** – „der durch lagen- oder schichtweises Fräsen kleinstückig gewonnene Asphalt“, nach *Asphalt im Straßenbau*, Literaturquelle [7].
- ❖ **Griffigkeit** – abk. von [6] ist sie der von der Fahrbahnoberfläche herrührende Beitrag zum Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn. Sie hängt vom geometrischen Feinprofil der Fahrbahnoberfläche ab und kann jedoch durch die polierende Wirkung der Fahrzeugbereifung vermindert werden. Bei alten, polierten Deckschichten kann entweder durch Oberflächenbehandlungen oder durch mechanisches Aufrauen der glatten Oberfläche eine ausreichende Griffigkeit wiederhergestellt werden.
- ❖ **Gußasphalt (MA)** – zfg. von [6] ist der Gußasphalt den oberen Abschluß darstellender Bestandteil des Oberbaues. Alle Hohlräume des Gesteinsgerüsts sind mit Bindemittel verfüllt. Die Gußasphaltmasse ist in heißem Zustand gieß- und streichbar und selbstverdichtend, d.h. sie muß beim Einbau nicht verdichtet werden. Gußasphalt wird nach dem Größtkorn in drei Typen unterteilt: MA 4, MA 8 (beide werden für Gehwege und in anderen Bereichen mit geringer Beanspruchung verwendet) und MA 11 (Verwendung für Fahrbahndecken mit hoher Beanspruchung, in Trag- und Deckschichten sowie auf Beton).
- ❖ **Hohlraum im Asphalt „ H_{bit} “ [Vol.-%]** – wenn alle Körner des Korngemisches mit Bitumen umhüllt sind, verkleinert sich der Hohlraum im Gesteinsgerüst ($H_{M,bit}$) und der eigentliche Hohlraum im Asphalt ist der verbleibende Hohlraum (H_M), zfg. von [6].

- ❖ **Hohlraumgehalt** – der Hohlraumgehalt einer Asphalttschicht bestimmt die Durchlässigkeit für Wasser und Luft und kann, je nach Aufgabe der Asphalttschicht im Rahmen der Straßenkonstruktion, in sehr unterschiedlicher Größe erwünscht sein. Niedriger Hohlraumgehalt verhindert das Eindringen von Wasser, Schmutz und Luftsauerstoff, deswegen weisen dichte Asphalttschichten eine längere Nutzungsdauer auf, abk. von [6].
- ❖ **Korngrößenverteilung** – abk. von [6] hängt sie von den Eigenschaften des daraus hergestellten Asphaltts. Die Korngrößenverteilung bestimmt über die Anzahl der Berührungspunkte von Korn-zu-Korn die Größe der inneren Reibung eines Korngerüsts und beeinflusst damit die Standfestigkeit der Asphalttschichten, also je mehr Reibungspunkte gibt es – desto mehr vergrößert sich die Reibung.
- ❖ **Lärmmindernde Dünnschichtdecken (LDDH)** – abk. von [6] wird durch Erhöhung des Hohlraumgehaltes auf 7-13 Vol.-% (im Mittel 10 Vol.-%) eine Reduzierung der Reifenrollgeräusche ermöglicht. Das wird nur durch eine Erhöhung des Grobsplittanteils auf etwa 60 M.-% und gleichzeitige Verringerung der Feinsplitt- und Sandanteile erfüllt, wobei das Korngerüst an Mörtel verarmt. Die Oberfläche zeigt eine gleichmäßig körnige Struktur ohne Feinteile.
- ❖ **Nutzungsdauer** – zfg. von [6] ist sie von den Eigenschaften der eingebauten Asphaltmischgutsorten, der Einbauqualität und der Bemessung der Oberbaukonstruktion abhängig.
- ❖ **Sortierung** – zfg. von [4] sind die anzuliefernden Baurestmassen zur Erzielung entsprechender Qualitäts- und Güteklassen vorzusortieren und getrennt zu lagern.
- ❖ **Splittmastixasphalt (SMA)** – zfg. von [6] wird er für hohe bis sehr hohe Belastungen als ein dichter Belagstyp für Decken verwendet, der sich durch hohe Standfestigkeit auszeichnet. SMA wird von Straßenbaubitumen wie

polymermodifizierten Bitumen hergestellt. Weist möglichst hohen Grobsplittanteil und weitgehende Verringerung des Feinsplitt- und Sandanteils auf.

- ❖ **Ungebundene Tragschicht** – zfg. von [6] dient sie zur Verteilung und Ausgleich der aus den gebundenen Schichten eingeleiteten Lasten, damit sie von dem Untergrund und dem Unterbau aufgenommen werden können.
- ❖ **Verkehrsbelastung** – abk. von [6] ist die maßgebende Größe für die Bemessung des Oberbaues von Asphaltstraßen, dient zur Ermittlung der notwendigen Dicke der Schichten des Straßenaufbaues.
- ❖ **Verwendung** – Die Verwendung des Ausbausphaltes erfolgt an der Asphaltmischanlage, wo er gelagert, behandelt und verarbeitet wird, zfg. von [5].
- ❖ **Verwertung** – Beschreibt die Forderung des *Abfallwirtschaftsgesetzes*, [1], ausgebauten Asphalt in den Stoffkreislauf zurückzuführen, d.h. ihn in der Regel an eine Asphaltmischanlage zu transportieren, [5]. Nach *Wiederverwendung von Asphaltgranulat*, Quelle [8], bedeutet Aufbereitung eines Stoffes oder Produktes zu einem neuen Stoff.
- ❖ **Viskosität** – abk. von [6] ist vom molekularen Aufbau (bei genormten Straßenbaubitumen durch die Sortenbezeichnung festgelegt) und von der Temperatur abhängig. Im praxisorientierten Sprachgebrauch werden die Bitumen mit niedriger Viskosität als „weich“ und mit hoher Viskosität als „hart“ bezeichnet.
- ❖ **Wiederverwendung** – der Prozess stellt die höchste Stufe des Recyclings dar, damit entspricht er den Forderungen des *Abfallwirtschaftsgesetzes*, [1], nach höchstwertiger Verwertung, und andererseits die technische und qualitative Gleichwertigkeit des so entstandenen Produktes, laut [5]. Nach [8] beschreibt die wiederholte Benutzung eines Stoffes für den gleichen Verwendungszweck.

- ❖ **Wirtschaftlichkeit** – nach *Wohin mit unseren verbrauchten Straßen?*, Literaturquelle [9], ist Motor der Wiederverwendung. Asphaltkonstruktionen im Straßenoberbau sind rasch, billig und dauerhaft, also wirtschaftlich herzustellen. Die Schäden können dauerhaft repariert werden, weil der aufbereitete Altasphalt wiederverwendbar ist und den meisten Mischgutsorten ergänzend zugesetzt werden können, [6].

2.2 Historischer Überblick

Asphalt, „der Baustoff zum Wiederverwenden“, wurde unter diesem Namen in Deutschland erst seit 1978 betrieben. In Zusammenfassung von [5] und [8] kann man anfangs als Schwerpunkt die Wiederverwendung von Asphaltgranulat in Asphaltfundations- und Asphalttragschichten bezeichnen. Es ist zu bemerken, dass sich in den darauffolgenden 20 Jahren die Wiederverwendung von Asphaltgranulat weiterentwickelt hat. Die Anwendung in höherwertigen Schichten, wie Asphaltbinderschichten und Asphaltdeckschichten, hat zugenommen. Auch die Anforderungen an das Ausbaumaterial werden immer höher. Vielmehr mussten nach [5] die Eigenschaften der Gesteinskörnungen und die einzuhaltenden Qualitätsparameter der verwendeten Bindemittel einzeln bewertet werden, damit die Ausbaumaterialien zielgerichtet auch bei der Herstellung von Mischgut für Asphaltbinder- und Asphaltdeckschichten eingesendet werden können. Abbildung 1 stellt eine Statistik der Aufkommen und Wiederverwendung von Asphaltgranulat in der Periode zwischen 1987 und 2010 dar. Die schnelle Steigerung der Wiederverwendung definiert eine Menge von ca. 2.5 Mio. Tonnen, als Δ bezeichnet, die in den letzten acht Jahren gleich geblieben ist.

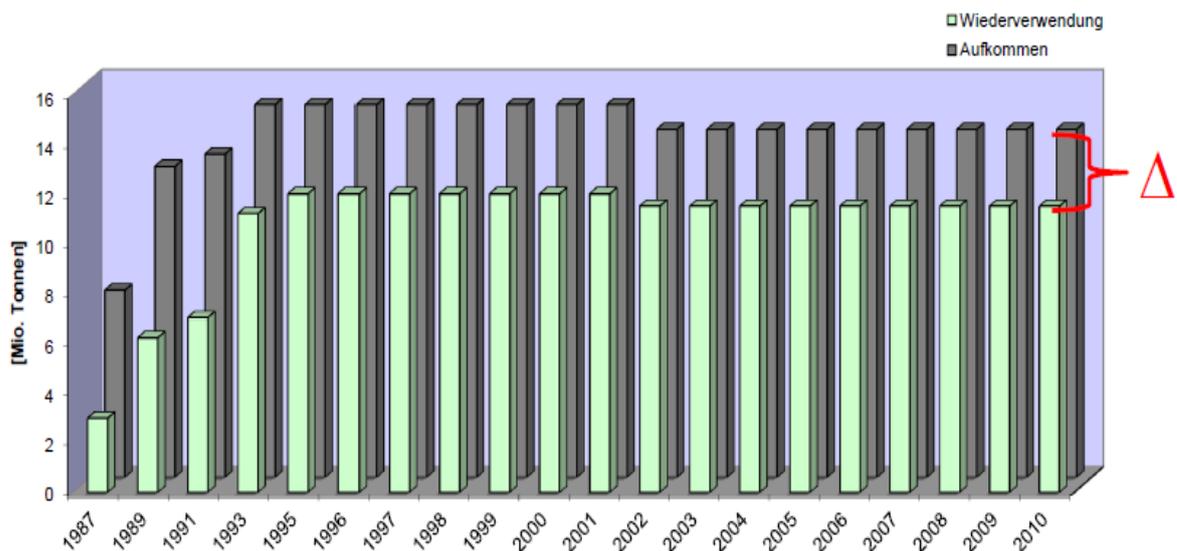


Abb.1 Aufkommen und Wiederverwendung von Asphaltgranulat (1987-2010) [8]

2.3 Asphaltgranulatswirtschaft

In Zusammenfassung von [4] können als wiederverwendbare Materialien beim Verkehrsbau nur Bauschutt und Straßenaufbruch verwendet werden. Im Wesentlichen müssen sie als umweltverträglich bezeichnet werden. Nach [8] wird das Asphaltgranulat als Ausbauasphalt beschrieben. Er wird durch Fräsen oder durch Aufnehmen von Schollen mit anschließender Zerkleinerung in Stücke gewonnen. Bei der Wiederverwendung des Asphaltgranulates ist seine wiederholte Benutzung für den gleichen Verwendungszweck zu verstehen. Beispiel dafür ist der Einsatz von Asphaltgranulat bei der Produktion von Asphaltmischgüter.

Nach [3] wird die alternative Kreislaufwirtschaft auch als Schwerpunkt der Wiederverwendung beschrieben. Drei wichtige Zielgruppen können als Alternativmaßnahmen bezeichnet werden (Abbildung 2). Der Fahrkomfort und die Umweltverträglichkeit (Lärm- und Abgasemissionen) sind für alle drei gleichwertig. Die Baustellbehinderungen durch unterschiedliche Bauzeiten können verschieden sein.

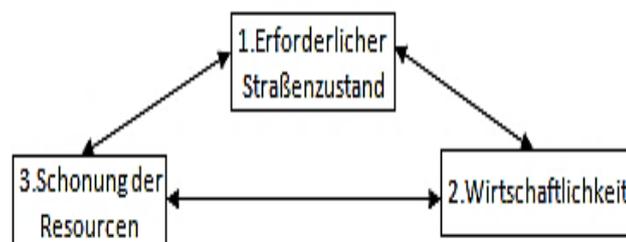


Abb.2 Alternative Baumassnahmen [10]

Als Zielkriterien einer Nutzwertanalyse der Instandsetzungsmaßnahmen können die Wirtschaftlichkeit, Finanzierung, Substanzerhaltung, Behinderung des Verkehrs und Schonung der Ressourcen angenommen werden. Nach *Bauschutt- und Asphaltrecycling*, Quelle [11], wird die Wirtschaftlichkeit auch von verschiedenen Faktoren beeinflusst: Anlagengröße, lokale Bedingungen wie Standort, Personalkosten, Deponiegebühren, Anzahl der Bauvorhaben und der Durchsatz an dem Recyclingmaterial.

In der Präsentation „Wiederverwendung von Asphaltgranulat“, [8], stellt Täube detaillierte Beschreibung des idealen Zyklus von Asphaltgranulat vor, (Abbildung 3). Die Kreislaufwirtschaft umfasst die Gewinnung, Sortierung, Aufbereitung, Lagerung, Untersuchung, Produktion und den Einbau von Asphaltstraßen. Mit Befolgung nationaler Richtlinien und Normen kann der Kreislauf vollendet werden. Beispiel dafür ist die separate Gewinnung, um gewünschte Homogenität der aufgebrochenen Baustoffen zu leisten. Ohne Forderung der geregelten Bedingungen kann ihre Lagerung nicht ausgeführt werden.

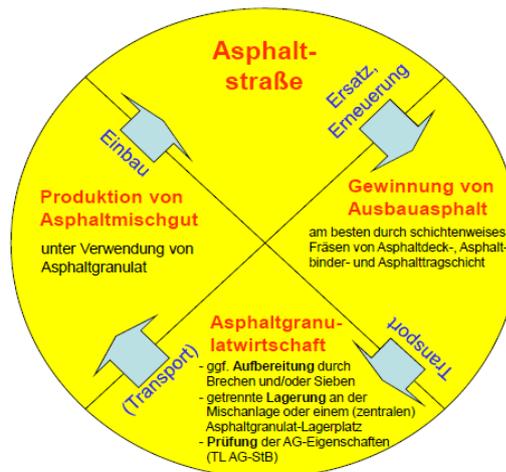


Abb.3 Idealer Zyklus von Asphaltgranulat [8]

2.4 Anlagentechnik

Im nächsten Kapitel wird Literaturquelle [5] betrachtet. Die Anlagentechniken für Wiederverwendung, die bestimmte Erwärmung des Asphaltgranulates bei verschiedenen Anforderungen erlauben, werden hier zusammengefasst. In der Regel wird Asphaltgranulat durch

- ❖ die heißen Gesteinskörnungen (chargenweise oder kontinuierlich),
- ❖ gemeinsam mit den Gesteinskörnungen oder
- ❖ in gesonderten Vorrichtungen erwärmt.

2.4.1 Erwärmung durch die heißen Gesteinskörnungen

Die Technik dient zur Gewinnung von Gesteinskörnungen, Bindemittel und gegebenenfalls Zusätze, entsprechend der Mischergröße. Bei der chargenweise Zugabe in den Mischer erfolgt die Erwärmung durch die heißen Gesteinskörnungen. Die Abbildung 4 bezeichnet wie mit Hilfe eines Zwischensilos und einer Gesteinskörnungswaage (bzw. separate Chargenwaage) das Asphaltgranulat dem Mischer zugeführt wird.

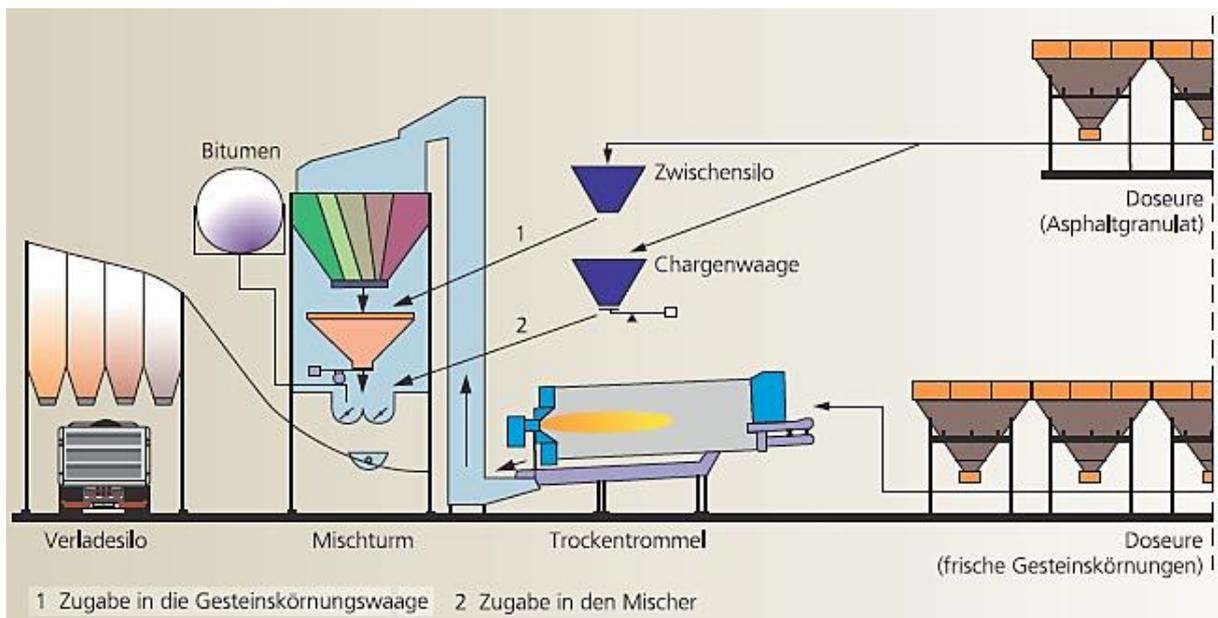


Abb.4 Chargenmischanlage – Erwärmung des Asphaltgranulates durch die heißen Gesteinskörnungen, chargenweise Zugabe [5]

Zugabe von Asphaltgranulat in Trockentrommelauslauf bzw. Heißelevator oder Siebumgehungstasche kann auch für Erwärmung durch heißen Gesteinskörnungen führen. Die nächsten Abbildungen stellen Beispiele für kontinuierliche Zugabe durch die heißen Gesteinskörnungen und gemeinsam mit ihnen dar.

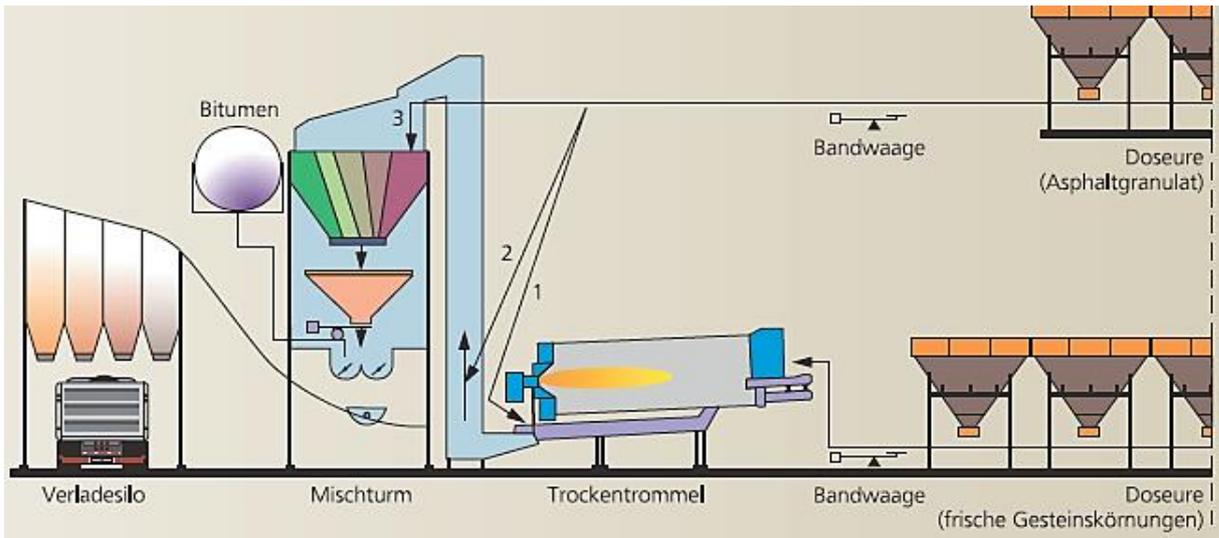


Abb.5 Chargenmischanlage – Erwärmung des Asphaltgranulates durch die heißen Gesteinskörnungen, kontinuierliche Zugabe [5]

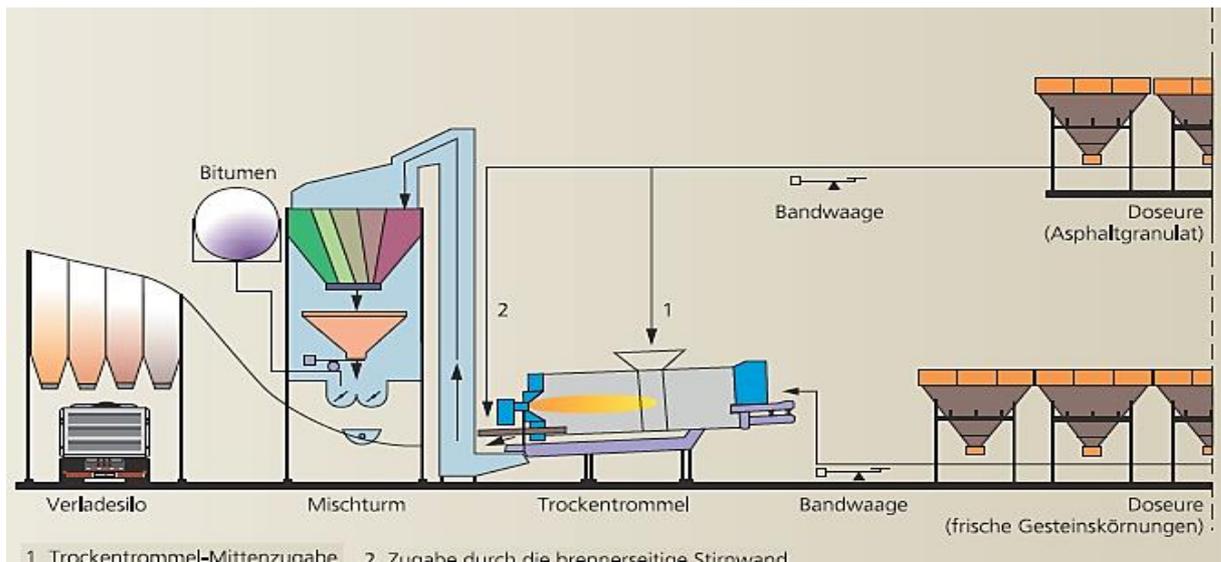


Abb.6 Chargenmischanlage – Erwärmung des Asphaltgranulates gemeinsam mit den Gesteinskörnungen, kontinuierliche Zugabe [5]

2.4.2 Erwärmung in gesonderten Vorrichtungen

Als gesonderte Vorrichtungen werden die Paralleltrommeln bezeichnet. Hier können Zugabemengen von 80 bis ca. 100 M.-% bei Asphaltfundationsschichtmischgüter erwärmt werden. Die maximale Erwärmungstemperatur ist 130°C. In den folgenden Abbildungen werden zwei Arten von Paralleltrommeln dargestellt: links - zur

schonenden Trocknung und Erwärmung des Asphaltgranulates – hoch gesetzt, damit das erwärmte (und klebrige) Asphaltgranulat an keinen weiteren Fördergeräten klebt oder ihnen zusetzen kann und rechts - hochgesetzt und mit anschließenden Asphaltgranulat-Heißsilos, die die Zugabe von erwärmten Asphaltgranulat kurzfristig und auch bei der Produktion von Kleinmengen ermöglichen. Schematisch wird in der Abbildung 8 eine Paralleltrommel gezeigt.



Abb.7 Paralleltrommel zur schonenden Trocknung und Erwärmung, links [5]

Abb. 8 Paralleltrommel – hochgesetzt und mit anschließenden Asphaltgranulat-Heißsilos (silbern), rechts [5]

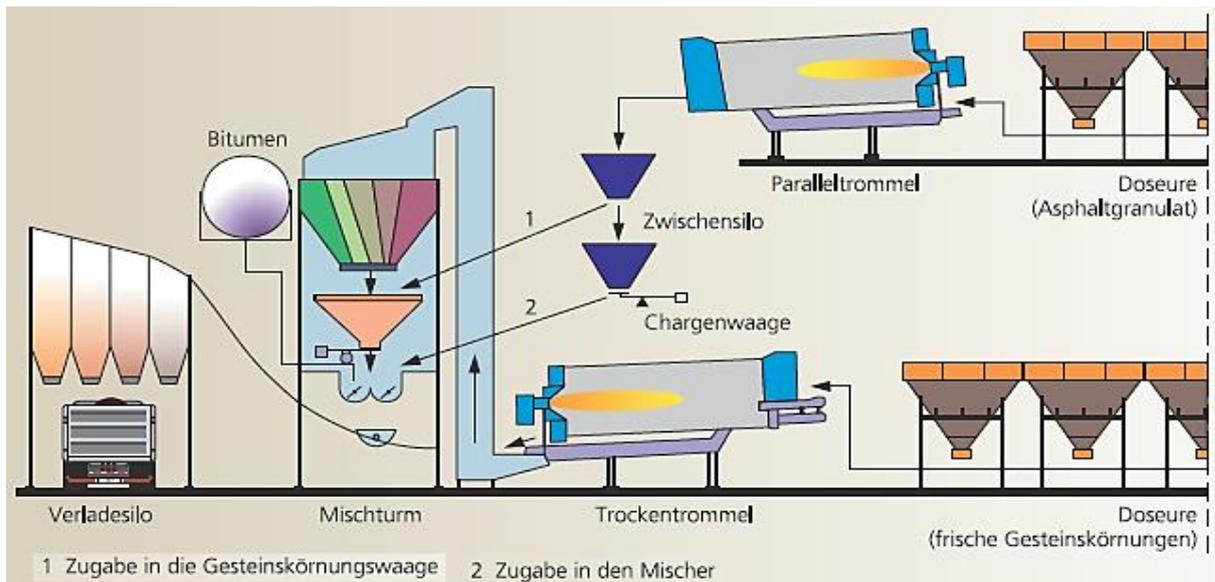


Abb. 9 Schema einer Paralleltrommel [5]

2.4.3 Erwärmung gemeinsam mit den Gesteinskörnungen

Die Zugabe erfolgt kontinuierlich entweder in einer Trommel, oder in einem nachgeschalteten Durchlaufmischer. Hier ist der Unterschied bei der Erwärmung, die in der Trommelmitte erfolgt. Eine Variante mit gesonderten Vorrichtung ist auch möglich. Als maximale Erwärmungstemperatur ist wieder 130°C bezeichnet. Die maximalen Zugabemengen können bis ca. 100 M.-% sein. Die folgenden Abbildungen stellen schematisch die zwei Möglichkeiten der Erwärmung bei der Durchlaufmischanlagen dar.

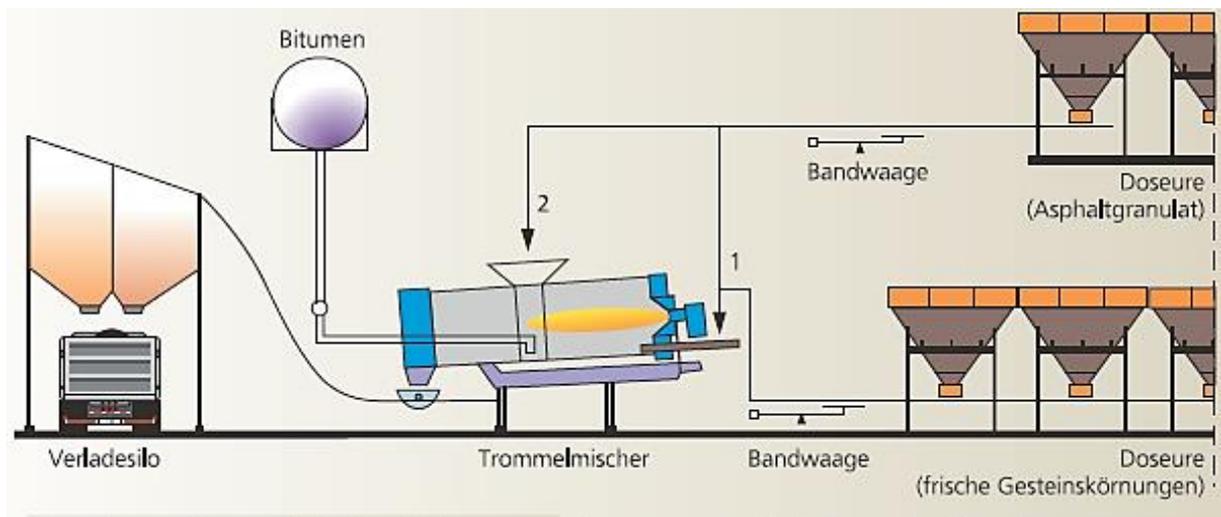


Abb. 10 Durchlaufmischanlage – Erwärmung des Asphaltgranulates gemeinsam mit den Gesteinskörnungen [5]

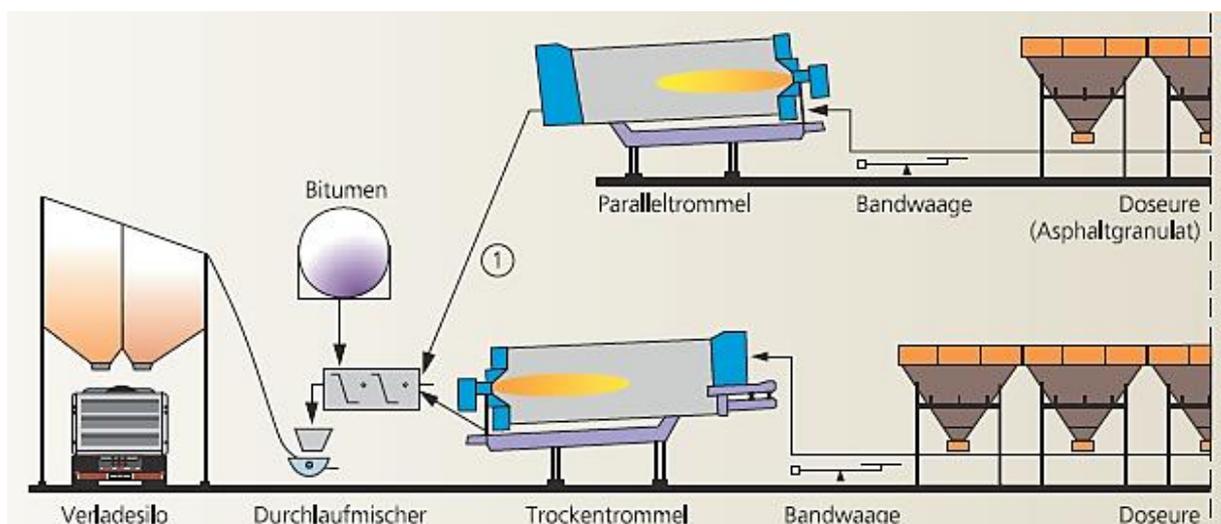


Abb. 11 Durchlaufmischanlage – Erwärmung des Asphaltgranulates in gesonderter Vorrichtung (Paralleltrommel) – Zugabe in einen nachgeschalteten Durchlaufmischer [5]

2.5 Umweltverträglichkeit

Aus abfall- und volkswirtschaftlicher Gründen spielt die Verwertung von Reststoffen und Abfällen als Instrument für Umweltschonung eine sehr große Rolle. Die Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen erklären die Ziele und stellen die Probleme bei der Verwertung. Zfg. von *Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen* [12] können daraus die wichtigsten Maßnahmen deutlich bezeichnet werden:

- ❖ Abfallmengen reduzieren
- ❖ Deponien entlasten
- ❖ Primärrohstoffen und Energie einsparen
- ❖ Natur und Landschaft schonen

Bei der Verwertung gibt es auf die Umwelt verschiedene Auswirkungen. Ihre Maßstäbe müssen beurteilt werden. Der Einfluss von Schadstoffen auf Wasser, Boden und Luft kann nur mit Hilfe der eingesetzten Anforderungen vermindert werden. Die Richtlinien legen in diesem Zusammenhang Anforderungen für

- ❖ Reststoff- und Abfallerzeuger
- ❖ Reststoff- und Abfallverwerter
- ❖ Zuständigen Behörden

fest.

Die wiederverwendbaren Stoffen sollen auf der höchstmöglichen Ebene eingesetzt werden. Die Verwertung von Reststoffen und Abfällen soll allseits sinnvoll sein, sonst gibt es keine „ökologische/ökonomische Gesamtbetrachtung/Risikobewertung“, des Problems, [12].

3 Grundlagen der Wiederverwendung

3.1 Arten von Recyclingsverfahren

Die Technologie der Wiederverwendung ist ein komplexer Prozess, der aus einander abhängigen Ereignissen zusammengesetzt ist. Es gibt zwei Verfahren von Asphaltrecycling: Heiß- und Kaltrecycling, sowie auch zwei Möglichkeiten für die Durchführung jeder Technologie: in-Place und in-Plant. Die vorliegende Diplomarbeit hat das Ziel die Prioritäten des Heißrecyclings darzustellen.

3.1.1 Heißrecycling In-Place

Das Verfahren bezieht sich auf Erwärmung der Asphaltdecke mittels Infrarotstrahlern. Als maximal erlaubte Temperatur wird 170°C gegeben, wobei die Bindemittel mit geringster Verhärtung sein müssen, d.h. dass ihr Erweichungspunkt nach dem „Ring und Kugel“-Verfahren darf 8°C nicht überschreiten. Vier Methoden werden durchgeführt:

- Regrip

Das Verfahren wird meist bei Griffmängeln und ausreichender Menge von Bitumen verwendet. Das Aufheizen wird in Grenzen von 120°C bis 170°C über die gesamte zu bearbeitende Fläche angewendet, zfg. von [7].

- Reshape

Das Verfahren wird bei Ebenheitsmängeln der Deckschicht (z.B. Spurrinnen) und ausreichender Menge von Bitumen verwendet. Das Aufheizen muss wieder bis 170°C in der geplanten Tiefe ohne Kornzertrümmerung durchgeführt werden. Für das Einebnen muss die Auflockerung bis 5 cm sein. Wenn das Material aufgelockert ist, wird es im Mischer gemischt und danach mit Verteilerschnecken verteilt und mit Einbaubohle profiliert. Die Verteilung wird in Querrichtung des Belags durchgeführt. Danach kommt

die entsprechende Verdichtung. Zu bemerken ist, dass die Zusammensetzung der Materialien aus der gefrästen Deckschicht unveränderlich bleibt, zfg. von [7].



Abb. 12 Heißmaschine zur Erwärmung der bestehenden Asphaltbefestigung [7]



Abb. 13 Geräteansicht, links [7]

Abb. 14 Indirekte Aufheizung, rechts [7]

- Repave

Das Verfahren wird oft für Verbesserung der Griffbarkeit und Ebenheit bevorzugt. Hier ist die Herstellung eines gewünschten Profils möglich. Die Menge von Bitumen entsprechender Qualität muss ausreichend sein, zfg. von *Konstruktiver Straßenbau*, Quelle [13].

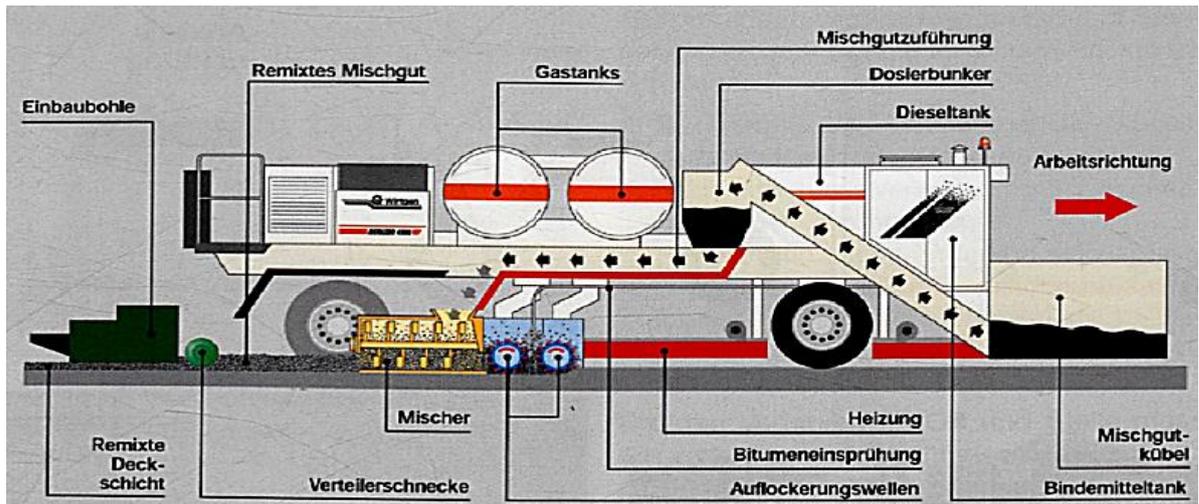


Abb. 15 Schematische Darstellung [7]

- Remix

Das Verfahren bringt die größte Leistung. Die Verwendung wird zur Verbesserung der Ebenheit und Griffigkeit, Beseitigung von Rissen oder Deformationen der Beläge, zur Veränderung der Zusammensetzung bevorzugt. Wenn die Materialien im Mischer zugeführt werden, beginnt die Veränderung ihrer Zusammensetzung und Eigenschaften. Danach wird die Verteilung und das Profilieren des neuen Belags wie bei dem Reshape Verfahren durchgeführt. Endlich folgt die Verdichtung mittels geeigneter Walze, zfg. von [13].

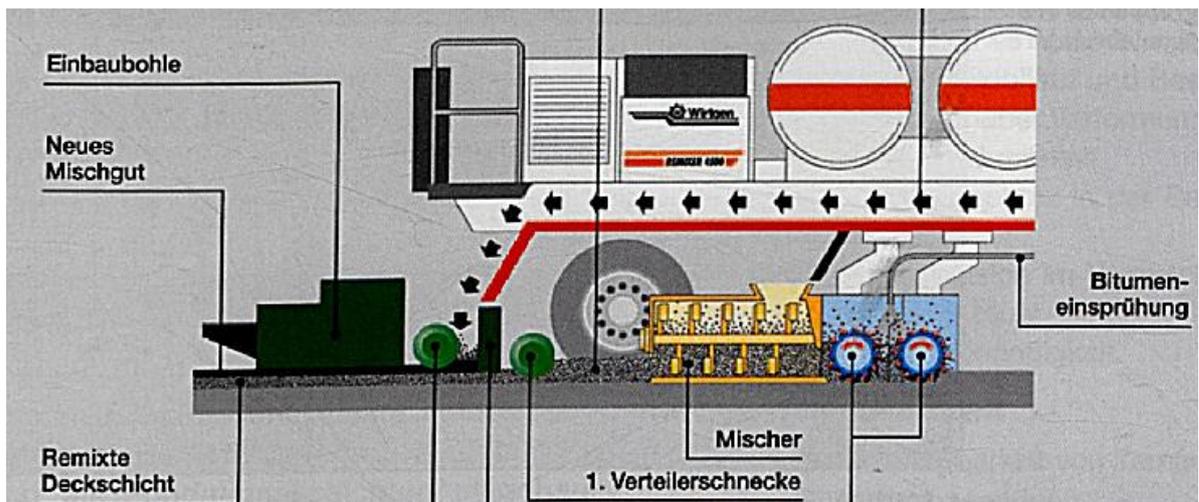


Abb. 16 Schematische Darstellung der Asphaltfräse [7]

In Abkürzung von Literaturquelle [5] werden die folgenden Anmerkungen dargestellt:

- Die neuen Schichten müssen eine gleichmäßige Zusammensetzung aufweisen.
- Die maximale Auflockerungstiefe ist in der Regel auf 5 cm begrenzt (beim Reshape-Verfahren).
- Die Schicht muss mindestens 1 cm unter dem tiefsten Punkt der Unebenheiten im Querprofil erfasst werden.
- Die Heißrecyclingsverfahren sollen nur bei warmem und trockenem Wetter ausgeführt werden. Nach der *Technische Spezifikation*, [14], darf die Lufttemperatur beim Einbau nicht niedriger als 5°C sein und das Wetter darf nicht regnerisch oder nebelig sein. Die Ursache dafür ist, dass die nassen Fahrbahnoberflächen das Aufheizen der zu bearbeitenden Schicht bedeutsam erschweren.
- Falls die Schichten teer- oder pechhaltige Stoffe enthalten, können sie nicht heiß bearbeitet werden.

3.1.2 Heißrecycling In-Plant

Hier wird die Bearbeitung der gefrästen Materialien mit Hilfe einer Chargenmischanlage oder einer Paralleltrommelanlage durchgeführt, s. Kapitel 2.4 *Anlagentechnik* für schematische Darstellung. Das Verfahren wird häufigst in Österreich verwendet. Die Erwärmung des Mischgutes wird bei sehr hohen Temperaturen realisiert – maximal erlaubte Temperatur ist 130°C. Ihre Ermittlung erfolgt mit Hilfe folgendes Diagramms, wo der Zusammenhang zwischen Zugabemengen des Asphaltgranulates und der Mischguttemperatur in °C dargestellt ist. Zfg. von [13] werden Schollenformate aus der gesamten Asphaltkonstruktion (mit Bindemittelgehalt von 3.0 bis 5.5 M-%) oder Fräsgut (mit Bindemittelgehalt von 4.5 bis 7.5 M-% und meist aus Deckschichten) verwendet.

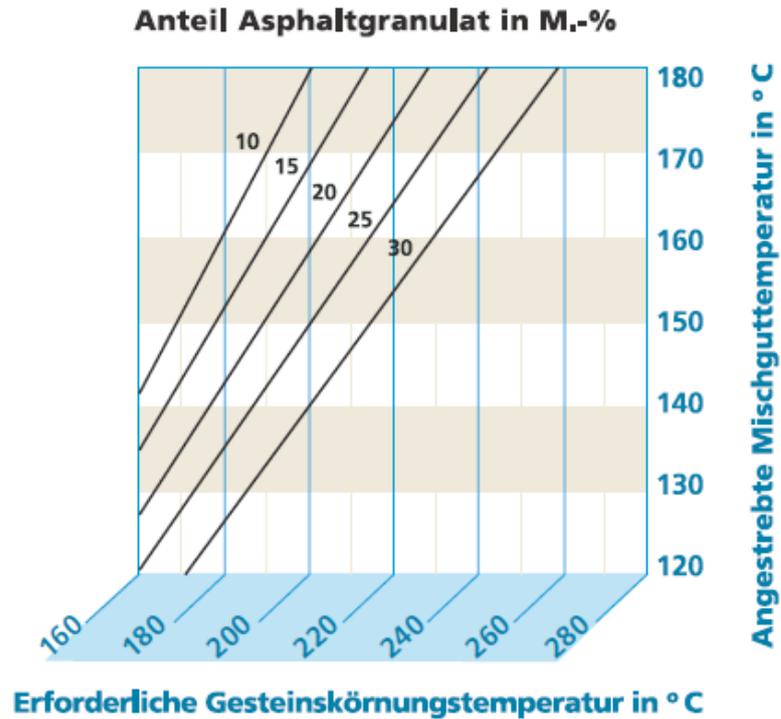


Abb. 17 Erforderliche Gesteinskörnungstemperatur bei vorgegebener Mischguttemperatur in Abhängigkeit von der Zugabemenge an Asphaltgranulat [5]

Abbildung 18 zeigt die prinzipieller Lauf der verarbeiteten Materialien in der Chargenmischanlage. Zuerst werden nur die Gesteine im Trockentrommel getrocknet und erhitzt. Die Besonderheit hier ist, dass der Granulat im Mischer zugegeben wird. Nachdem er mit den Gesteine gemischt wird, werden sie zusammen zum Silo geschickt.

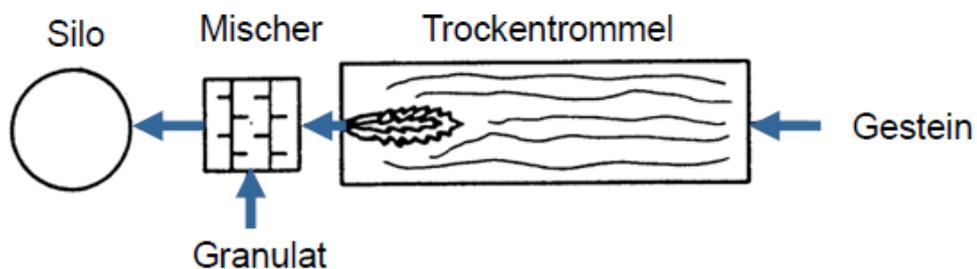


Abb. 18 Prinzipieller Lauf des zu verarbeitenden Baustoffs in Chargenmischanlage [13]

Verschieden ist die Technologie bei der Paralleltrommelanlage, Abbildung 19. Es ist hier zu bemerken, dass die Gesteine und die Asphaltgranulatzugabemenge parallel im Trockenrommeln bearbeitet werden. Zwei Variante sind bekannt – separierte und gebundene Erhitzung der Materialien.

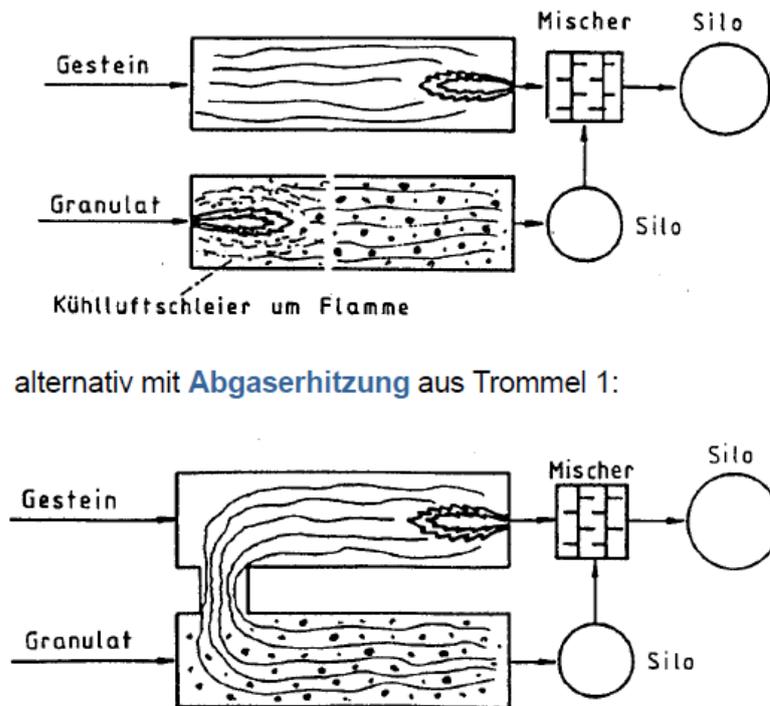


Abb. 19 Prinzipieller Lauf des zu verarbeitenden Baustoffs in Paralleltrommelanlage [13]

3.2 Phasen des Recyclings

Die Notwendigkeit dieses Verfahrens wird durch eine Analyse des bestehenden Zustands der Asphaltdeckschicht überprüft, [13]. Vorereignisse werden durchgeführt, um die Auflockerungstiefe, die Art und Menge der Zusatzmaterialien und die Mischgutcharakteristiken festzulegen. Die Untersuchungen umfassen sachverständige Begutachtung durch Augenschein und Gewinnung von Sondierungskernen, und darauffolgende Laborprüfungen und Mix Design (Rezepturenentwicklung), zfg. von [5]. Die Technologie hat bestimmte Verwendungszwecke: Verbesserung der physisch-mechanischen Eigenschaften der Materialien und der Tragfähigkeit der Straßenkonstruktion.

Nach [14] nach dem Erweichen und der Auflockerung des Straßenbelags wird das Heißrecycling-Verfahren in vier Schritten durchgeführt:

- ❖ Gewinnung, Sortierung und Aufbereitung
- ❖ Wiederverwendung
- ❖ Einmischen
- ❖ Einbau des hergestellten Mischguts als neuen Belag

3.2.1 Gewinnung, Sortierung und Aufbereitung

Zusammengefasst von *ZTV Asphalt-StB 07 und TL Asphalt-StB 07* [15] und [5] wird das Asphaltgranulat bei der Asphaltmischgutherstellung verwendet. Bezüglich der Qualitätssicherung ist die Verarbeitung unter Berücksichtigung aller Anforderungen durchzuführen. Die wichtigste Bedingung während der Verwertung ist die separate Aufbereitung und Lagerung der Baustoffe, wobei Veränderungen innerhalb des Gesteinskörnungsgemisches entstehen können. Sie sind nicht zu vermeiden. Bei der Lagerung ist von großer Bedeutung die Trocknung des Asphaltgranulates. In der Lagerhalle wird sie als ideal und wirtschaftlich bezeichnet. Die separatgelagerten Materialien sind aus Asphaltdeck- und Asphaltbinderschichten, aus Gussasphalt oder aus Sondermischgutarten gewonnen. Die folgenden Abbildungen zeigen die Lagerung von gefrästen Materialien.



Abb. 20 Getrennte Gewinnung, links [5]

Abb. 21 Überdachte Lagerung zur Minimierung des Feuchtigkeitsgehaltes, rechts [8]



Abb.22 Separate Lagerung, links [8]

Abb.23 Zugabe von selektiertem Asphaltgranulat über 3 Doseure, rechts [8]

3.2.2 Wiederverwendung

❖ Eignung

Für die Eignung des Asphaltgranulates sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen, nach [15]:

- der Verwertungsklasse A zu entsprechen
- Erweichungspunkt Ring und Kugel des Bindemittels nicht mehr als 70°C

❖ Ermittlung der maximal möglichen Zugabemengen

Bei dem sogenannten *Mix Design* der Gemische vor der Erstprüfung ist eine wichtige Anforderung zu erfüllen. Sie besteht darin die maximal mögliche Asphaltgranulat-Zugabemenge zu bestimmen und wird mittels folgender Formel bezeichnet.

$$T_{R\&Kmix} = a \cdot T_{R\&K1} + b \cdot T_{R\&K2} \quad [5]$$

$T_{R\&Kmix}$	Berechneter Erweichungspunkt des Bindemittels im resultierenden Mischgut
$T_{R\&K1}$	Erweichungspunkt des aus dem Asphaltgranulat rückgewonnenen Bindemittels
$T_{R\&K2}$	Mittlerer Wert des Erweichungspunktes der Sortenspanne des vorgesehenen Straßenbaubitumens
a und b	Massenanteile des Bindemittels aus dem Asphaltgranulat (a) und des vorgesehenen Bindemittels (b), wobei $a+b=1$

Die maximal mögliche Zugabemenge ist der kleinste ermittelte Wert. Er hängt von den fünf Merkmalen ab: Erweichungspunkt nach dem „Ring und Kugel“ Verfahren, Bindemittelgehalt und Kornanteil (separiert in drei Gruppen nach Korngröße). Das folgende Nomogramm stellt den Zusammenhang zwischen Merkmalgrößen und Zugabemengen dar.

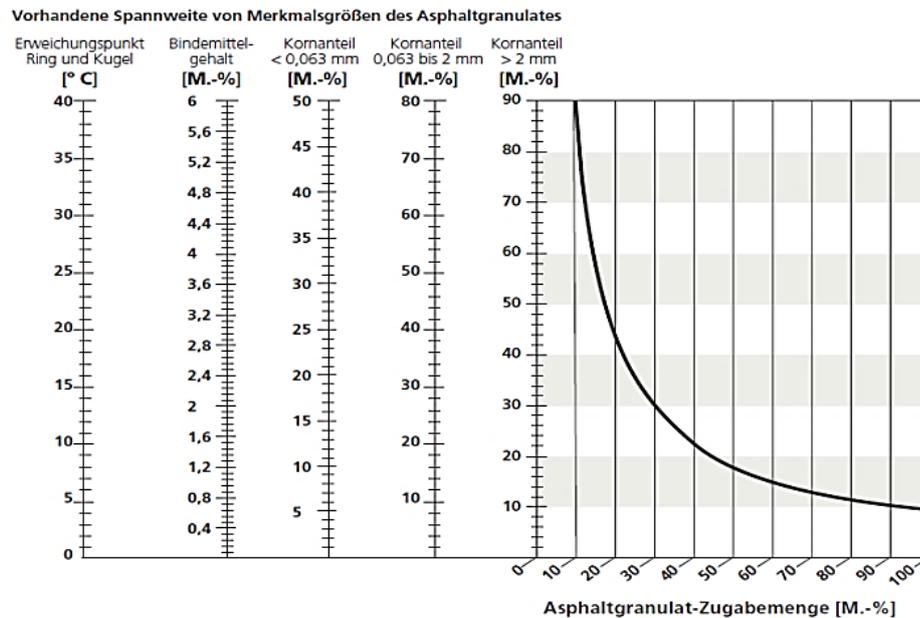


Abb. 24 Nomogramm zur Ermittlung der maximal möglichen Asphaltgranulat-Zugabemengen in Asphaltmischgut für Asphalttrag-, Asphalttragdeck- und Asphaltfundationsschichten in Abhängigkeit von den fünf Merkmalen des Asphaltgranulates (in Anlehnung an das M VAG) [5]

Literaturquelle [5] ergibt in Tabelle 1 geregelte Zugabemöglichkeiten des Asphaltgranulates für die Mischgutherstellung.

Tab. 1 Zugabemöglichkeiten von Asphaltgranulat zu den Asphaltmischgutarten [5]

Asphaltgranulat aus	Zugabemöglichkeiten zu Asphaltmischgut für					
	Gussasphalt	Walzasphalt-deckschicht	Asphaltbinder-schicht	Asphalttrag-schicht	Asphalttrag-deckschicht	Asphalt-tragschicht
Gussasphalt	++	o	o	+	o	o
Walzasphalt-deckschicht	-	++ ¹⁾	++	+	+	+
Asphaltdeck- und -binderschicht	-	o ²⁾	++	+	+	+
Asphaltbinder-schicht	-	o ³⁾	++	+	+	+
Asphalttrag- oder -deckschicht	-	-	-	++	o	+
Asphaltfunda-tionsschicht	-	-	-	o	-	++

++ = vorrangig (höchste Wertschöpfungsstufe)
 + = möglich, aber ohne volle Ausnutzung der technischen Eigenschaften und der Wirtschaftlichkeit
 o = bedingt möglich nach besonderer Prüfung
 - = nicht möglich; ¹⁾ nach TL Asphalt StB; ²⁾ in der Regel nicht aus Gussasphalt; ³⁾ nach gesonderter Aufbereitung

- Gleichmäßigkeit

In der Praxis sehr wichtig ist auch die Gleichmäßigkeit des hergestellten Mischguts zu untersuchen. Ihre Beurteilung erfolgt nach:

- Bindemittelgehalt
- Erweichungspunkt nach dem „Ring und Kugel“ Verfahren
- Kornanteile
 - 0 bis 0,063mm
 - 0,063 bis 2mm
 - > 2mm

Für die Ermittlung der Gleichmäßigkeit enthält die *TL Asphalt-StB 07*, [15], entsprechende Formeln, die die Beziehung zwischen Gesamttoleranzen und Spannweiten der Merkmale angeben. Je nach Art der Asphaltsschichten sind sie unterschiedlich zu ermitteln.

- Bei Asphalttrag-, Asphalttragdeck- und Asphaltfundationsschichten: die maximal erlaubte Spannweite ist **die Hälfte** der erlaubten Gesamttoleranz

$$a_{max} = \frac{0,5 \cdot T_{zul}}{Z_{mög}} \cdot 100 \quad [5]$$

a_{max}	Maximal erlaubte Spannweite des jeweiligen Merkmals
T_{zul}	Erlaubte Gesamttoleranz des Merkmals gemäß den ZTV Asphalt-StB 07, [14]
$Z_{mög}$	Maximal mögliche Asphaltgranulat-Zugabemenge in M.-%

Nach Umstellung:

$$Z_{mög} = \frac{0,5 \cdot T_{zul}}{a_{max}} \cdot 100 \quad [5]$$

In Abhängigkeit von der Art und dem Kornanteil des Mischgutes werden von [5] zusammengefasste Daten über die Gesamttoleranzen (T_{zul}) gegeben. Es ist zu bemerken, dass die Werte für Asphalttragschichten gesondert angegeben sind, Tab. 2.

Tab. 2 Gesamttoleranzen T_{zul} der relevanten Merkmale abhängig von der Asphaltmischgutart [5]

Merkmal	Tzul	
	Asphaltmischgut für Asphaltdeck-, Asphaltbinder- und Asphalttragdeckschichten	Asphaltmischgut für Asphalttragschichten
Erweichungspunkt Ring&Kugel [°C]	8	8
Bindemittelgehalt [M.-%]	1,0	1,2
Kornanteil <0,063mm [M.-%]	6,0	10,0
Kornanteil 0,063 bis 2mm [M.-%]	16,0	16,0
Kornanteil >2mm [M.-%]	16,0	18,0

- Bei Asphaltdeck- und Asphaltbinderschichten: die maximal erlaubte Spannweite ist **ein Drittel** der erlaubten Gesamttoleranz

$$a_{max} = \frac{0,33 \cdot T_{zul}}{Z_{mög}} \cdot 100 \quad [5]$$

Nach Umstellung:

$$Z_{mög} = \frac{0,33 \cdot T_{zul}}{a_{max}} \cdot 100 \quad [5]$$

- Maschinentechnische Voraussetzungen

Die Begrenzung der Zugabemengen hängt am meisten von der Anlagentechnik und Qualität des Asphaltgranulates ab. Zfg. von [8] werden die maximal möglichen Asphaltgranulat-Zugabemengen dargestellt:

- Bei Erwärmung durch die heißen Gesteinskörnungen und chargenweiser Zugabe (**Direktzugabe in den Mischer**): **30 M.-%**
- Bei Erwärmung durch die heißen Gesteinskörnungen und kontinuierlicher Zugabe (**Elevatorzugabe**): **40 M.-%**
- Bei Erwärmung gemeinsam mit den Gesteinskörnungen (**Wurfband- oder Mittenzugabe**): **40 M.-%**
- Bei Erwärmung in gesonderter Vorrichtung, bzw getrennte Erwärmung (**Paralleltrommel**): **60 bis 100 M.-%**

- Erstprüfung

Um nachzuweisen, dass die Anforderungen der Literaturquelle [15] erfüllt sind und die CE-Kennzeichnung zu dienen (s. Kap. 4.3), muss vor der ersten Verwendung entsprechende Erstprüfung durchgeführt werden. Nach [5] heißt das, dass bei der Wiederverwendung die Korngrößenverteilung, der Bindemittelgehalt und der Erweichungspunkt zu bestimmen sind. Darüber hinaus wird es nützlich auch die Asphaltgranulat-Rohdichte unter Berücksichtigung von [15] zu ermitteln.

4 Normen, Richtlinien und Vorschriften für Ausbauasphalt

4.1 Allgemeine Anforderungen

Nach *RVS 03.08.63*, Literaturquelle [16], sind die Eigenschaften von den in den Asphalt Schichten vorhandenen Gesteinen und Bitumen für den Einsatz des Asphaltgranulates als Recyclingbaustoff von großer Bedeutung. Deren Homogenität und Qualität müssen untersucht und bewiesen werden. Die Asphaltkonstruktionen bestehen aus Deckschicht, hochstandfester bituminöser Tragschicht und bituminöser Tragschicht. Durch Untersuchungen wird Bestandsdokumentation für die vorhandenen Schichten gesammelt, wo Information für die Qualität der vorhandenen Materialien zu finden ist. Die folgende Abbildung zeigt den prinzipiellen Straßenaufbau, geregelt nach [16].

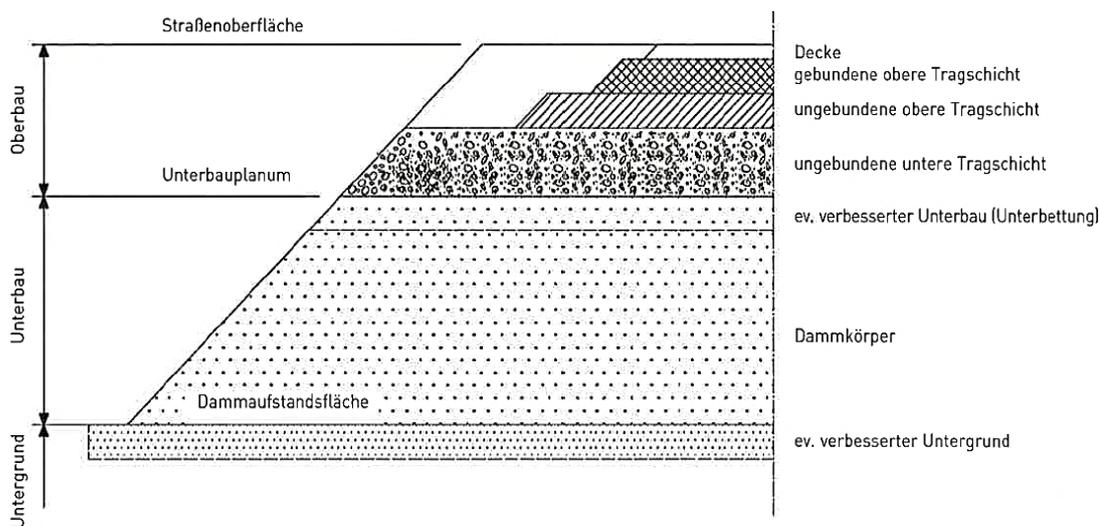


Abb. 25 Straßenaufbau (Systemskizze nach RVS 03.08.63) [16]

Die Verwertung von Ausbauasphalt als qualitätsgesicherter Recycling-Baustoff oder als Zuschlagstoff zur Herstellung von Asphaltmischgut führt zu einem Verlust der Abfalleigenschaften.

4.2 Verwendung von Ausbauasphalt

Nach [12] muss der Ausbauasphalt getrennt ausgebaut werden, um möglichst hochwertig als Zugabematerial für Heißmischgut eingesetzt zu werden. Hier unterliegt er keinen Beschränkungen. Es empfiehlt sich den Einsatz in ungebundenen Schichten zu vermeiden.

Ausbauasphalt kann mit Asphaltmischgut und mit Gesteinskörnungen verwendet werden.

Bei der Verwendung mit Asphaltmischgut ist die An- und Abwesenheit von Zugabemengen an Ausbauasphalt zu verstehen. Sie werden von der Homogenität des Zugabematerials und dem technologischen Stand der Mischanlage begrenzt.

ÖNORM B 3580-1, [17], und die darauf basierenden RVS 08.97.05, [18], begrenzen die Anwendung von recyceltem Ausbauasphalt. Danach ist die Verwendung für die folgenden Mischgutsorten nicht zulässig:

- ❖ Asphaltbeton AC deck Typ A2, A3 und A4
- ❖ Lärmindernde Dünnschichtdecken BBTM (Asphaltbeton für sehr dünne Schichten)
- ❖ Splittmastixasphalt SMA
- ❖ Gussasphalt MA
- ❖ Offenporiger Asphalt PA (bzw. Drainasphalt)

Wenn die Zugabemenge nicht mehr als 10 M-% beträgt, ist dieser Ratschlag bei der Verwendung von Ausbauasphalt in den Gesteinsklassen G1 und GS nicht zu befolgen.

Die Anforderungen an Ausbauasphalt für die Verwendung mit Asphaltmischgut werden in ÖNORM EN 13108-8, [19], ÖNORM 3580-1, [17], RVS 08.97.05, [18], ÖNORM EN 13043, und ÖNORM B 3130 festgelegt. Sie bezeichnen geometrische, physikalische und chemische Anforderungen für grobe und feine Gesteinskörnungen und geben Nachweise für den Einsatz der maximalen Menge von 10 M-%.

Nach [4] ist der zulässige Anteil von Asphaltgranulat für die Verwendung mit Gesteinkörnungen von den Güteklassen (S, I bis IV) bzw. den Qualitätsklassen (A+, A, B, C) abhängig (Grüne Richtlinie). Die folgenden Abbildungen stellen die verschiedenen Arten von Asphaltgranulat nach [4] und [16] dar.

Laut Anhang grün:

- RA Recycliertes gebrochenes Asphaltgranulat
- RAB Recycliertes gebrochenes Asphalt/Beton-Mischgranulat
- RB Recycliertes gebrochenes Betongranulat
- RG Recycliertes Granulat aus Gestein (natürliches und/oder recycliertes) mit einem Anteil von mindestens 50 % sowie Beton und/oder Asphalt
- RM Recycliertes gebrochenes Mischgranulat aus Beton und/oder Asphalt und mit einem Anteil von maximal 50 % Gestein (natürliches und/oder recycliertes)

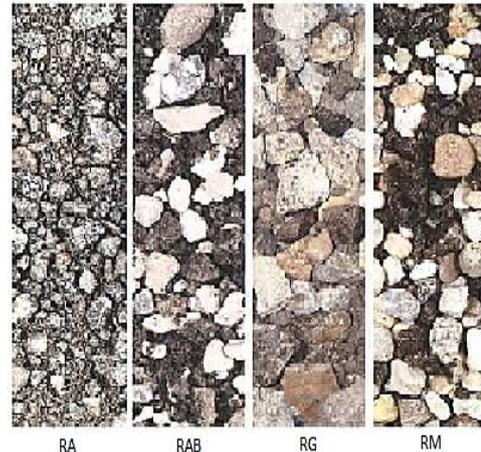


Abb. 26 Recycling-Baustoffe nach der Grünen Richtlinie, links [4]

Abb. 27 Verwertung von Ausbauasphalt, rechts [16]

Zfg. von [16] sind die Anteile des Asphaltgranulatsarten bei dem Recycling wie folgt:

- ❖ **RA** mind. 80 M-% bis mind. 95 M-%
- ❖ **RAB** mind. 30 M-% bis mind. 49 M-%
- ❖ **RG** theoretisch bis zu 50 M-%
- ❖ **RM** theoretisch bis zu 100 M-%

4.3 Materialtechnische Anforderungen

Gemäß ÖNORM S 2100, [20], ist der Ausbauasphalt Abfall dem „Straßenaufbruch“ und „Bitumen, Asphalt“ zugeordnet. Seine Ablagerung darf nur in den nach vgl. AWG 2002, §15 Abs. 3, Ziffer 2, [1], genehmigten Deponien erfolgen. Untersuchungen der Bauabfälle erfolgen nur für gefährlich verunreinigten Straßenaushub, um ihre Zulässigkeit zu beweisen. Die Umfang der Prüfungen entspricht im Wesentlichen den Anforderungen der RVS 08.15.01 bzw. der ÖNORM B 3132. Literaturquelle [4] stellt sie in der folgenden Tabelle dar.

Tab. 3 Prüfbestimmungen der Eigenüberwachung [4]

Güteklasse S, I, II	Prüfung nach	RA	RB	RAB	RM	RG
Gewinnung, Anlieferung	Augenschein unter Angabe: <ul style="list-style-type: none"> • Abfallbesitzer • Abfallort • Ort des Anfalls • Anlieferer 	Je Fuhre				
Aufbereitung	Augenschein	Täglich				
Lagerung	Augenschein	Täglich				
Korngrößenverteilung	ÖNORM EN 933-1	1 Mal x pro Woche				
Gehalt an Feinanteilen	ÖNORM EN 933-1	1 Mal x pro Woche				
Kornform	ÖNORM EN 933-4	1 Mal x pro Monat				
Anteil an gebrochenen Körnern	ÖNORM EN 933-5	1 Mal x pro Monat				
Widerstand gegen Zertrümmerung	ÖNORM EN 1097-2	2 Mal x pro Jahr				
Wasseraufnahme	ÖNORM EN 1097-6:2001	-	2 Mal pro Monat			
Klassifizierung der Bestandteile	ÖNORM EN 933-11	1 Mal x pro Monat				
Fremdanteil	Gemäß [4]	2 Mal x pro Woche				
Bindemittelgehalt	ÖNORM EN 12697-1	2 Mal x pro Monat				-
Umweltverträglichkeit	Gemäß [4]	Gemäß [4]				

Güteklasse III, IV	Prüfung nach	RA	RB	RAB	RM	RG
Gewinnung, Anlieferung	Augenschein unter Angabe: <ul style="list-style-type: none"> • Abfallbesitzer • Abfallort • Ort des Anfalls • Anlieferer 	Je Fuhre				
Aufbereitung	Augenschein	Täglich				
Lagerung	Augenschein	Täglich				
Korngrößenverteilung	ÖNORM EN 933-1	1 Mal x pro Woche				
Anteil an gebrochenen Körnern	ÖNORM EN 933-5	1 Mal x pro Monat				
Klassifizierung der Bestandteile	ÖNORM EN 933-11	1 Mal x pro Monat				
Fremdanteil	Gemäß [4]	1 Mal x pro Monat				
Umweltverträglichkeit	Gemäß [4]	Gemäß [4]				

In Zusammenfassung von [5] könnte eine kurze Beschreibung von der Erstprüfung betrachtet werden, die für jede Zusammensetzung eines Asphaltmischgutes notwendig ist. Sie ist vor der ersten Verwendung durchzuführen und umfasst die Prüfungen, die im *TL Asphalt-StB 07*, [15], angegeben sind.

Wenn ein Baurestoff die Anforderungen gemäß [4] nicht erfüllt, ist eine Wiederholungsprüfung der entsprechenden Untersuchung durchzuführen, und nicht die ganze Prüfung. Wenn die zweite nicht entsprechend ist, ist der Baustoff in einer anderen Güteklasse neu einzustufen. Die durchzuführenden Prüfungen werden in der folgenden Tabellen dargestellt.

Tab. 4 Prüfbestimmungen der Erstprüfung (Eignungsnachweis) und Fremdüberwachung (FÜ) [4]

Güteklasse S, I, II	Prüfung nach	1.FÜ	2.FÜ	RA	RB	RAB	RM	RG
Korngrößenverteilung	ÖNORM EN 933-1	x	x	x	x	x	x	x
Gehalt an Feinanteilen	ÖNORM EN 933-1	x	-	x	x	x	x	x
Kornform	ÖNORM EN 933-4	x	x	x	x	x	x	x
Anteil an gebrochenen Körnern	ÖNORM EN 933-5	x	x	x	x	x	x	x
Widerstand gegen Zertrümmerung	ÖNORM EN 1097-2	x	x	x	x	x	x	x
Wasseraufnahme	ÖNORM EN 1097-6:2001	x	x	-	x	x	x	x
Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel	ÖNORM EN 1397-1	x	x	x	x	x	x	x
Klassifizierung der Bestandteile	ÖNORM EN 933-11	x	x	x	x	x	x	x
Fremdanteil	ÖNORM EN 932-1	x	x	x	x	x	x	x
Bindemittelgehalt	ÖNORM EN 12697-1	x	x	x	-	-	-	-
Umweltverträglichkeit	ÖNORM EN 932-1	x	x	x	x	x	x	x
Güteklasse III, IV								
Korngrößenverteilung	ÖNORM EN 933-1	x	x	x	x	x	x	x
Anteil an gebrochenen Körnern	ÖNORM EN 933-5	x	x	x	x	x	x	x
Klassifizierung der Bestandteile	ÖNORM EN 933-11	x	x	x	x	x	x	x
Fremdanteil	ÖNORM EN 932-1	x	x	x	x	x	x	x
Umweltverträglichkeit	ÖNORM EN 932-1	x	x	x	x	x	x	x

Baustoffe, die den Anforderungen der *Richtlinie für Recycling-Baustoffen*, [4], entsprechen und die Prüfbestimmungen erfüllen, können mit dem „Gütezeichen für Recycling-

Baustoffen“ des „Österreichischen Güteschutzverbandes Recycling-Baustoffen“ (ÖGSV) ausgezeichnet werden.



Abb. 28 Das Gütezeichen Recycling-Baustoffen [4]

4.4 Anforderungen für die Bestandteile des Asphaltgranulates

4.4.1 Bindemittelgehalt

Bei der Herstellung der Asphaltgemische muss der berechnete Erweichungspunkt innerhalb der Sortenspanne des geforderten Bitumens liegen (weicher als 70/100 nicht erlaubt).

Das Bindemittel kann Straßenbaubitumen, modifiziertes Bitumen oder Hartbitumen sein. Seine Zusammenhang muss nachgewiesen werden. Die Einsatzgebiete von polymer-modifizierten Bitumen sind:

- ❖ hoch beanspruchte Verkehrsflächen
- ❖ Gesteinskörnungen mit ungünstigen Hafteigenschaften
- ❖ offenporige Asphaltsschichten
- ❖ Stahlbrücken

Bitumen gemäß ÖNORM 3610, ÖNORM EN 12607-1, ÖNORM EN 58, ÖNORM B 3611-1, ÖNORM EN 1427, ÖNORM B 3612 und ÖNORM B 3613 sind für die Herstellung von Asphaltmischgut zu verwenden. Sie stellen Anforderungen für Bindemittel im Anlieferungszustand.

Veränderung der Eigenschaften des rückgewonnen Bitumens können wegen verschiedenen Ursachen entstehen. Einige von ihnen sind: Temperaturbelastung während der Lagerung und der Mischgutherstellung, Hohlraumgehalt der Asphalttschicht, Lage der Schicht in der Konstruktion, Liegezeit der Schicht.

4.4.2 Gesteinskörnungen

Anforderungen an Gesteinskörnungen für Asphalte enthält die ÖNORM EN 13043, die ÖNORM B 3130 (Kategorien der Gesteinskörnungen) und die ÖNORM B 358x. Die folgende Tabelle ergibt die wichtigsten Charakteristiken für die Gesteinskörnungen, wie Kornform, Anteil gebrochener Körner, Widerstand gegen Polieren, Zertrümmerung usw.

Tab. 5 Anforderungen an Gesteinskörnungen (fortgesetzt) [17]

Bezug zur ÖNORM EN 13043:2004 und ÖNORM B 3130:2006		Anforderungen								
		Gesteinsklassen bzw. Sollwerte								
Abschnitt	Merkmal gemäß CE-Kennzeichnung	G1 ^a	G2 ^a	G3 ^a	G4	G5	G6	G7	G8	G9
4.1.3	Korngrößenverteilung gemäß ÖNORM EN 933-1	Im Allgemeinen die Korngruppen 0/1, 0/2, 2/4, 2/5, 4/8, 8/11, 11/16, 16/22 G _c 90/15, G _F 85			Korngruppen und Gesteinskörnungsgemische zulässig G _c 90/20, G _F 85, G _A 90					
4.1.3.2	Korngrößenverteilung gemäß ÖNORM EN 933-1 für feine Gesteinskörnungen	G _{Tc} 20			G _{Tc} NR					
4.1.4	Gehalt an Feinteile gemäß ÖNORM 933-1	grob: f_1 fein: f_{16}			grob: f_2 fein: f_{NR}					
4.1.5	Qualität der Feinteile gemäß ÖNORM EN 933-9	M _B FNR								
4.1.6	Kornform von groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-4 ^b	SI ₁₅			-					
	Massenanteil nicht-kubischer Körner im Anteil ≥4mm gemäß ÖNORM EN 933-4, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung ^b , in %	-			≤20	≤25	≤30	≤20	≤25	
4.1.7	Anteil gebrochener Körner in groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-5 ^b	C _{100/0}	C _{90/1}		-					
	Massenanteil gebrochener Körner im Anteil ≥4mm gemäß ÖNORM EN 933-5, bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung ^b	-			-					
	Anteil C _c , in % Anteil C _{tc} , in %	-			≥90 ≥30 ≤1	≥50 - -	- - -	100 ≥90 0	≥90 ≥30 ≤1	≥50 - -

	Anteil C _{tr} , in %							
4.1.8	Kantigkeit von feinen Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 933-6:2002, Abschnitt 8	E _{cs35}		-				
	Kantigkeit des Anteils < 2mm aus der gesamten Gesteinskörnung gemäß ÖNORM EN 933-6:2002, Abschnitt 8, Ausflusszeit in s	-	≥35	≥30	-	≥35	≥30	
4.2.2	Widerstand gegen Zertrümmerung für grobe Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 1097-2:1998, Abschnitt 5	LA ₂₀	LA ₂₅		LA ₃₀	LA ₄₀	LA ₂₅	LA ₃₀
4.2.3	Widerstand gegen Polieren an groben Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 1097-8	PSV ₅₀	PSV ₄₄	PSV _{angegeben}	PSV _{NR}		PSV _{angegeben}	
4.2.9.2	Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel an 8/16 gemäß ÖNORM EN 1367-1 ^c	F ₁			F ₂			
4.2.10	Widerstand gegen Hitzebeanspruchung gemäß ÖNORM EN 1367-5	Nicht gefordert						
4.2.11	Affinität von groben Gesteinskörnungen zu Bitumen gemäß ÖNORM EN 12697-11:2006, Verfahren B	Anzahl nicht bedeckter Körner ≤ 1						
4.2.12	Sonnenbrand von Basalt gemäß ÖNORM EN 1367-3	SB _{LA}						
4.3.4.3	Raumbeständigkeit von Stahlwerkschlacke gemäß ÖNORM EN 1744-1	V _{3,5}			V _{6,5}			
^a Die feine Gesteinskörnung ist aus einer Bezugsquelle zu beziehen, wo die groben Gesteinskörnungen einen LA-Wert LA ₂₀ für G1 und einen LA-Wert LA ₂₅ für G2 und G3 aufweisen. ^b Diese Anforderungen sind analog auf die Korngruppe bzw. Fraktion 2/4 anzuwenden. ^c Bei WA ₂₄₁ ist F ₁ erfüllt, bei WA ₂₄₂ F ₂ . Die Wasseraufnahme gemäß ÖNORM EN 1097-6 ist an Körnungen > 32mm zu prüfen. Steht keine Prüfkörnung > 32mm zur Verfügung, ist die Wasseraufnahme an der größten zur Verfügung stehenden Körnung durchzuführen.								

4.4.3 Gehalt an Fremdstoffen

Als Fremdanteile werden die folgenden Stoffe bezeichnet:

- ❖ bei **RA** – jene Anteile, die nicht bituminös gebunden sind
- ❖ bei **RB** – jene Anteile, die nicht aus Beton bestehen

- ❖ bei **RAB** – jene Anteile, die nicht bituminös gebunden sind und nicht aus Beton bestehen
- ❖ bei **RM** – alle mineralischen Anteile
- ❖ bei **RG** – alle sonstigen mineralischen Anteile

Nach EN 13108-8:2005, [19], gehören die Fremdstoffe zu den natürlichen Gesteinskörnungen und nicht zum Asphalt. Sie werden in zwei Gruppen klassifiziert:

- ❖ **Gruppe 1:** Zementbeton, einschließlich Zementbetonprodukte, Ziegel, Materialien der ungebundenen Tragschicht, Metall
- ❖ **Gruppe 2:** Synthetische Materialien, Holz, Kunststoffe

Der Ausbauasphalt ist in Abhängigkeit von den beinhalteten Fremdstoffen zu klassifizieren:

- ❖ **Kategorie FM1:** Gehalt an Materialien der Gruppe 1: <1%, Materialien der Gruppe 2: <0,1%
- ❖ **Kategorie F5:** Gehalt an Materialien der Gruppe 1: <5%, Gehalt an Materialien der Gruppe 2: >0,1%
- ❖ **Kategorie FM_{angegeben}:** Gehalt und Art aller Fremdstoffe angegeben

Nach [4] gefährliche Abfälle sind Asbest, Asbestzement, PCB-haltige Fugenmaterialien oder teerhaltige Baustoffe. Sie dürfen nicht enthalten sein.

5 Recyclingpraxis im internationalen Umfeld

5.1 Das Projekt PARAMIX

Das folgende Kapitel stellt eine Zusammenfassung des technischen Berichts *Road pavement rehabilitation techniques using enhanced asphalt mixtures*, Literaturquelle [21], dar. Das sogenannte Projekt PARAMIX wurde von europäischen Laboren, Universitäten und Zentren für Asphalttechnologien durchgeführt. Sie beweisen die Wichtigkeit der Wiederverwendung als die beste Wahl für Straßenunterhaltung. Mit minimiertem Ressourcenverbrauch und Berücksichtigung der Finanzen und neuen Wiederverwendungstechnologien wird das Recyclieren als bessere Möglichkeit im Vergleich zu Neubau bezeichnet.

Das Projekt beschäftigt sich mit der Bewertung des Fräsmaterials, des Bitumeninhalts, der Charakteristik des alten Bitumens und der Endmischung. Das Ziel ist durch Erlernen und Entwicklung der Gemische und der Technologien für Verwertung praktische Lösungen für Verlängerung des Belagslebens zu finden.

5.1.1 Versuchsprogramm

Folgende Prüfungen wurden durchgeführt:

- ❖ Rheologische Prüfungen:
 - Affinität zur Spurbildung

- ❖ Verhaltensorientierte Prüfungen von heißen bituminösen Gemischen mit großen RA-Mengen
 - Untersuchung der Dichte
 - Affinität zur Spurbildung

- ❖ Zugprüfungen
 - BTD (engl. Direct Tensile Barcelona)

- CTD (engl. Catalanian Direct Tension Test)

- ❖ Mischgutverhaltensorientierte Prüfungen
 - Bewertung des Mischgutverhaltens
 - NDT (engl. Non Destructive Test)
 - Rückrechnung Test
 - Analyse des Mischgutverhaltens

- ❖ Neue Methode für Entwicklung der Recyclingstechnologien
 - Kombiniertes „kaltes und heißes“ Recyclieren

Die folgende Tabelle bezeichnet die überprüften Mischgüter.

Tab.6 Liste mit den geprüften Gemischen [21]

SMA	S-20
10% RA A mit Pmb ohne Wiederherstellungszusätze	30% RA B mit B 80/100 Binder ohne Wiederherstellungszusätze
10% RA A mit Pmb mit 10% Wiederherstellungszusätze	30% RA B mit Pmb ohne Wiederherstellungszusätze
30% RA A mit Pmb ohne Wiederherstellungszusätze	50% RA B mit B 150/200 Binder ohne Wiederherstellungszusätze
30% RA A mit Pmb mit 10% Wiederherstellungszusätze	50% RA B mit Pmb ohne Wiederherstellungszusätze
	50% RA B mit Pmb mit 20% Wiederherstellungszusätze

5.1.2 Rheologische Prüfungen

Bestimmt werden die rheologischen Charakteristiken der Binderschichten. Es ist möglich bituminöse Gemische zu verwenden, die höhere Spurbildungsresistenz sichern. Bezüglich des Recyclierens besteht der Binder aus großen Mengen an alten und frischen Materialien, die bei der Mischgutherstellung kurzgemischt werden.

Die Untersuchung beginnt mit Wahl der neuen Binder. Verwendet sind SMA Gemische (Splittmastixasphalt) und S-20 Gemische, die Bitumen mit (10-20%) und ohne Wiederherstellungszusätze enthalten. Die RA-Mengen (Mengen des recycelten Asphaltes) werden zwei Mal pro Mischgut gegeben. Für die SMA Gemische sind die RA-Mengen 10% und 30% der Gesamtmenge und für die S-20 Gemische sind sie 30% und 50%. Für SMA wird bewiesen, dass sich alle verwendeten polymermodifizierten Bitumen sehr gut bei Alterung verhalten. Die Unterschiede in den rheologischen Eigenschaften zwischen Binder, die einige oder keine Wiederherstellungszusätze enthalten, sind klein. Für S-20 Gemische zeigen die Ergebnisse besseres Verhalten und Härte bei hohen Temperaturen des polymermodifizierten Bitumens im Vergleich zu ihren frischen Bitumen.

5.1.3 Verhaltensorientierte Prüfungen von heißen bituminösen Gemischen mit großen RA-Mengen

Für die Untersuchung werden zwei Prüfungen gewählt. Die erste ist für Bewertung der Dichte der Materialien und wird mittels zwei Methoden durchgeführt: mit Marschallpresse und mit rotierenden Bewegungen (engl. gyrations). Die Ergebnisse beweisen, dass keine von den Gemischen Probleme mit der Dichte hatte. Die zweite ist für Untersuchung der Neigung der Mischungen zur Spurbildung, sie werden mit Spurbildungsgerät geprüft. Alle untersuchten Materialien der SMA und S-20 Mischgüter haben ausgezeichnete Spurbildungsresistenz gezeigt.

5.1.4 Zugprüfungen

Für Bestimmung der Zugfestigkeit der Materialien werden im Projekt zwei Prüfungen verwendet: BTD (engl. Direct Tensile Test) und CTD (engl. Catalanian Direct Tension Test). Bei der BDT Test wird die Probekörper mittels Marshallkompaktor geprüft. Schema des Gerätes wird in folgender Abbildung dargestellt. Die Verdichtung besteht aus 50 Schlägen an einer Seite. So ist die im Labor erzielte Dichte der realen Straßendichte ähnlich.

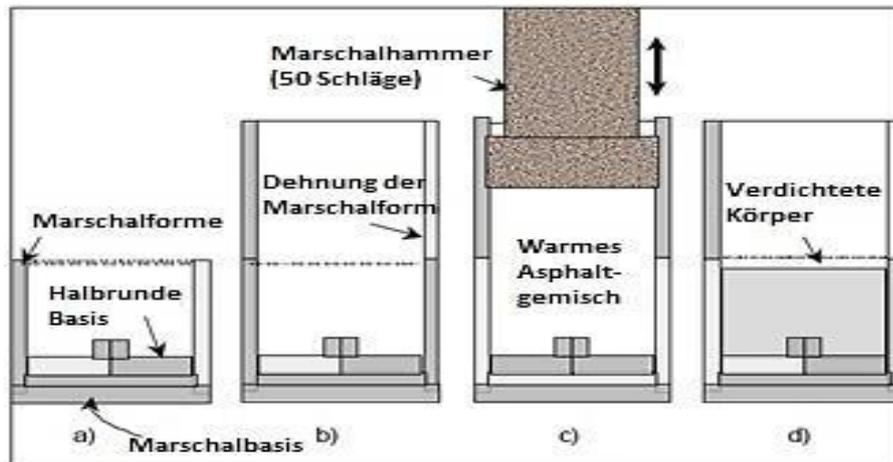


Abb.29 Schematische Darstellung des BDT Tests [21]

Die nächste Abbildung (links) stellt das Verfahren dar. Die Körperbasen sind mittels zwei Pressekiefer befestigt. Die Verformungskraft wird mit 1 mm/min bei Temperatur von 20°C angewendet. Im Laufe des Tests ist die Spannungskurve ähnlich wie diese in der Abbildung rechts. Es wird berechnet, dass der Zug die Last verteilt, die genau über das Bund zwischen den Basen beigefügt ist.

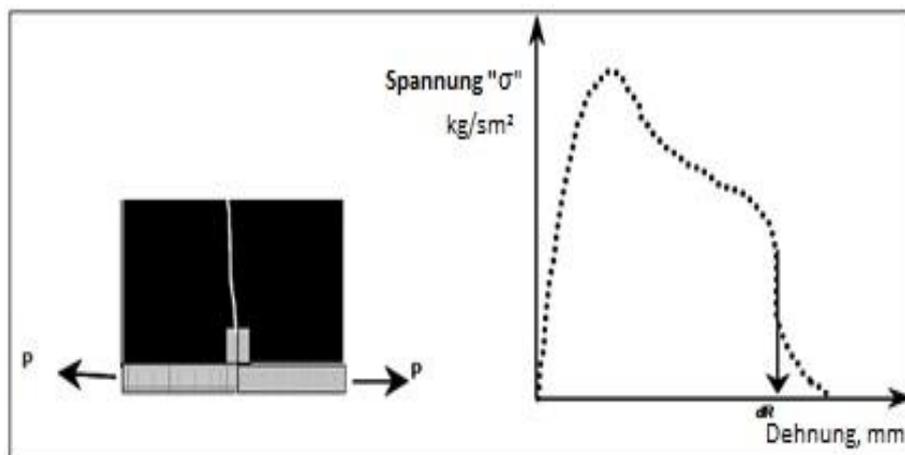


Abb.30 Ergebnisse des BDT Tests [21]

Bei dem CTD Test wird bewiesen, dass die Mischungen mit hohen RA-Mengen und niedrigen Bindermengen nur etwas deformiert sind.

5.1.5 Bewertung des Mischgutverhaltens

Die Schichten einer Asphaltstraße werden vor und nach seinem Recyclieren geprüft. Das Ziel ist die horizontalen Spannungen der niedrigeren Schichten zu bemessen. Sie werden mittels der Messgeräte auf kaltes und heißes Recyclieren gemessen. Die erhaltenen Daten werden für Kalibrieren des Schichtencharakters und für Gewinnung vom dynamischen Elastizitätsmodul verwendet. Die Teste sind mindestens zwei Mal durchzuführen, erst nach sechs und dann nach zwölf Monaten nach dem Recyclieren.

Die verwendete NDT (Non Destructive Test) Technologie wird als die beste für Ermittlung der Schichtenfestigkeit (Schichtenmodul und die Verdichtungsparameter) bezeichnet. Jede verdichtete Schicht wird bewertet. Die oberen Abweichungen werden in verschiedenen Abständen vom Punkt, wo die Last wirkt, gemessen. Es wird festgestellt, dass je kleiner der gemessene Abschnitt unter jeden gemessenen Punkt ist, desto kleiner die gemessene Abweichung ist. Sie kommt aus allen Schichten, die unter gleiche Tiefe liegen. Die folgende Abbildung stellt graphisch die Ergebnisse aus der verwendeten NDT Technologie dar.

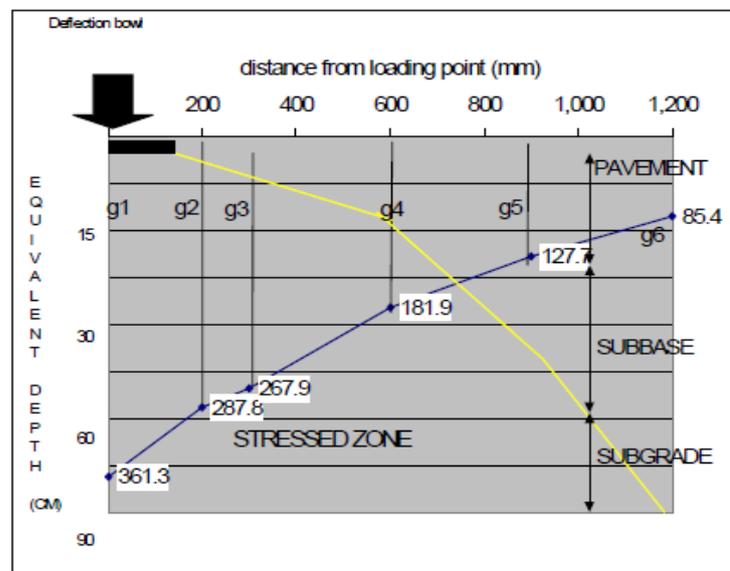


Abb. 31 Ermittlung der Abweichungen mittels NDT Technologie [21]

Verwendet werden Deflektometer mit fallender Last (bemesst je 10 m) und Deflektograph Lacroix-05 (bemesst je 5 m). Das Ziel des NDT Tests ist die Bewertung von Straßenverhalten nach dem Recyclieren. Wie schon erklärt, misst das entfernteste Gerät die von dynamischer Last verursachten Abweichungen, die aus dem gespannten Abschnitt kommen. Jede Vergrößerung der Abweichungen ist ein Ergebnis von Belagsdeformation. Die gewonnenen Daten werden für Durchführung der Rückrechnung verwendet, wobei es bewiesen wird, dass das heiße Recycling das Schichtenverhalten in allen Abschnitten, wo es angewandt wurde, verbessert hat. Das gilt am meisten für die Tragschichten. Wir können zusammenfassen, dass die Recyclingtechnologien das Straßenleben im gleichen Moment verbessern können.

Weiter wird der Test mit Berechnung der zentralen Abweichung fortgesetzt. Erst wird das Verhalten vor und nach dem Recyclieren verglichen. Deshalb muss die zentrale Abweichung korrigiert werden. Das Ziel ist mittels Bemessungen bei den schlechtesten Feuchtigkeitsbedingungen neue Methode für Korrektur zu finden. Sie wird mit Hilfe der folgenden Formel berechnet:

$$\text{Korrigierte Abweichung} = \text{Chi} * \text{Bemessene Abweichung} \quad [21]$$

Chi sind die korrigierten Abweichungen an trockenen Tagen

5.1.6 Neue Prozesse für Wiederverwendung

Mit dem neuen Prozess „Kombiniertes kaltes und heißes Recycling“ ist die verbesserte Qualität der gesamten Recycliermenge in der Asphaltmischanlage möglich. Der Prozess besteht aus einer Bewertung des Fräsmaterials mit Zerkleinerung an feine und grobe Fraktionen (Sand 0-5mm und Kies 5-20mm). Die Materialien werden zu heißem Asphaltmischgut nach folgender Rezeptur zugegeben: der Sand wird kalt in kleine Mengen (bis 20%) zu den Deckschichtengemischen gegeben, der Kies wird heiß und in Mengen bis 60% zu den Binderschichtengemischen gegeben.

5.2 Das Projekt von NCHRP (*National Cooperative Highway Research Program*)

Das nächste Kapitel fasst Prüfungen zusammen, die in den USA als Project von *National Cooperative Highway Research Program*, Literaturquelle [22], durchgeführt wurden. Das Ziel des Experimentes ist auf besondere Fragen zu antworten, die mit der Fortbildung der Projektierungstechnologien von heißen Asphaltgemischen mit hohen RA-Mengen verbunden sind. Wir müssen anmerken, dass unter dem Begriff „hohe Menge“ von Recyclingsasphalt eine Zugabe, die größer als 25% ist, zu verstehen ist. Die Aufmerksamkeit fokussiert sich vor allem auf die Vergrößerung dieser Menge in den Gemischen, um die Preiserhöhungen der Asphaltbinder zu kompensieren.

Im Projekt wird die Kompatibilität zwischen Asphalt und Binder betrachtet. Es ist wichtig zu untersuchen, ob der frische Binder auf die Volumeneigenschaften der Mischgüter und auf Ergebnisse ihrer Teste wirkt. Andere Fragen beschäftigen sich mit den niedrigen Temperaturen bei der Herstellung von heißen Gemischen. Zusätzlich werden alle Mischungen für Herstellung ihres dynamischen Moduls geprüft.

5.2.1 Versuchsprogramm

Folgenden Untersuchungen sind durchgeführt:

- ❖ Bewertung des Einflusses der Binderstufe und Binderquelle auf die Mischgutparameter
- ❖ Bewertung der Effizienz der Binderstufe
- ❖ Test für Ermittlung des dynamischen Moduls
- ❖ Einfluss der Mischungsfaktoren auf den dynamischen Modul
- ❖ Prüfung der Anfälligkeit von Feuchtigkeitsschäden
- ❖ Flow Number Test, bzw. Hochtemperaturprüfung
- ❖ Bestimmung der Ermüdungsresistenz
- ❖ Bestimmung der Tieftempereturrestistenz

Die für das Experiment verwendeten Materialien sind aus vier Staaten der USA gebracht: New Hampshire, Utah, Minnesota und Florida. Nach AASHTO R35 werden 30

Gemische geprüft. Tabelle 9 fasst die Daten aus dem Text über die geprüften Gemische zusammen.

Tab.7 Zusammenfassung der geprüften Gemischen

Quelle	RA-Definition	Binder	RA-Menge
New Hampshire	Ungefräst. Nach Fräsen: Grob PG 77.3-21.4 Fein PG 81.3-18.8	Nicht modifiziert PG 58-28 polimermodifiziert PG 70-28	0, 25, 55%
Utah	Grob PG 83.8-32.7 Fein PG 89.0-32.7	Nicht modifiziert PG 58-28 polymermodifiziert PG 64-34	0, 25 und 55%
Minnesota	Grob PG 72.8-22.7 Fein PG 89.2-9.3	-	33 и 42%
Florida	Grob PG 73.8-24.8 Fein PG 71.1-26.3	-	0 und 40%

5.2.2 Bewertung des Einflusses der Binderstufe und Binderquelle auf die Mischgutparameter

Bei dem Test wird bewiesen, dass drei wichtige Parameter beeinflusst werden. Das sind die optimalen und effektiven Asphaltmengen und die VMA-Mengen, d.h. die Hohlraumgehalte in den Mischgütern. Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der geprüften Mischgüter mit Materialien aus Utah und New Hampshire. Leicht zu verstehen ist, wie sich die drei Parameter bei Vergrößerung der RA-Mengen verändern.

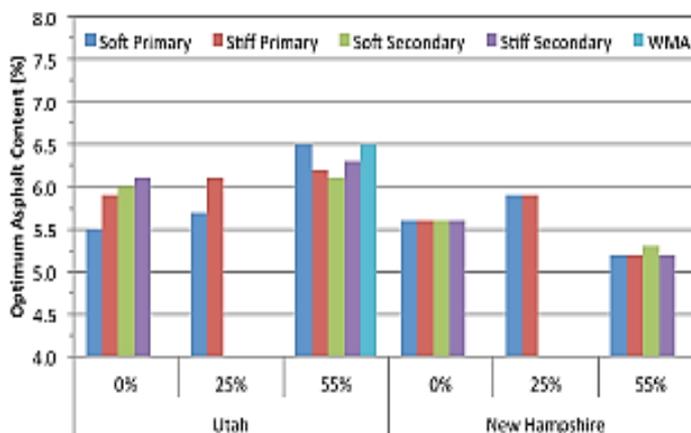


Abb. 32 Optimale gesamte Asphaltmenge für Utah und New Hampshire Mischungen [22]

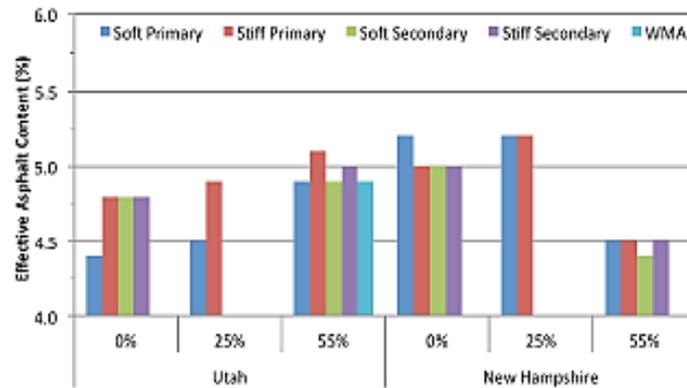


Abb. 33 Effektive Asphaltmenge für Utah und New Hampshire Mischungen [22]

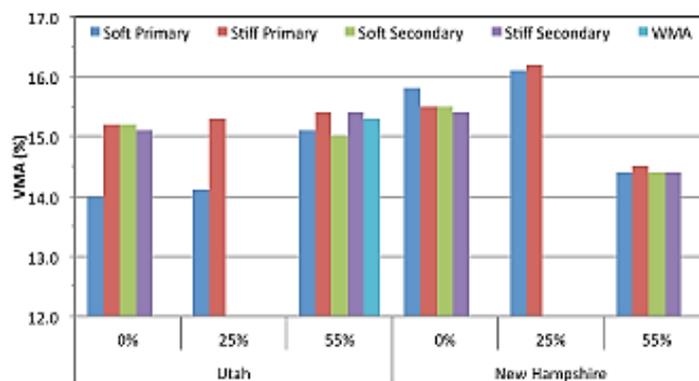


Abb. 34 VMA für Utah und New Hampshire Mischungen, oder Hohlraumgehalte in der Gemische [22]

5.2.3 Bewertung der Effizienz von Binderstufen

Alle kritischen Temperaturen sind von der RA-Menge beeinflusst. Die Ergebnisse begründen die Abhängigkeit zwischen der Steigerung der Prüftemperaturen und den verschiedenen Prozessen, die der Belag erfährt.

- ❖ Steigerung der hohen kritischen Temperaturen → Verstärkung der Spurbildungsresistenz.
- ❖ Steigerung der mittleren Temperaturen → Verminderung der Ermüdungsresistenz, weil der Binder nicht elastisch ist.
- ❖ Steigerung der niedrigen Temperaturen → Nachgiebigkeit der Mischungen für Wärmezzerstörung bei höheren Temperaturen.

5.2.4 Test zur Ermittlung des dynamischen Moduls

Der Test wird nach AASHTO TP 62-07 mit den folgenden Zielen durchgeführt:

- ❖ Die Auswirkung der Veränderung der Binderstufe, seine Quelle und RA-Menge auf die Festigkeit der Mischung in einem großen Temperaturbereich zu ermitteln.
- ❖ Eine Rückrechnung auf die effektiven Eigenschaften der Kompositbinder mit dem Hirsch Model durchzuführen zu versuchen.

Versuchsprogramm und Ergebnisse:

Gewählt sind vier Prüftemperaturen und sechs Prüffrequenzen für Bestimmung der Hauptkurven der geprüften Gemische. Die zugegebenen RA-Mengen sind 0, 25 und 55%. Zusammengefasst, sind die wichtigsten Ergebnisse kurz wiedergegeben.

Für New Hapshire:

- Einfluss der RA-Menge auf die Festigkeit der Mischung: alle Gemische mit recyceltem Asphalt haben verstärkte Festigkeit in der Mitte ihrer Hauptkurven im Vergleich zu den frischen Mischgütern gezeigt

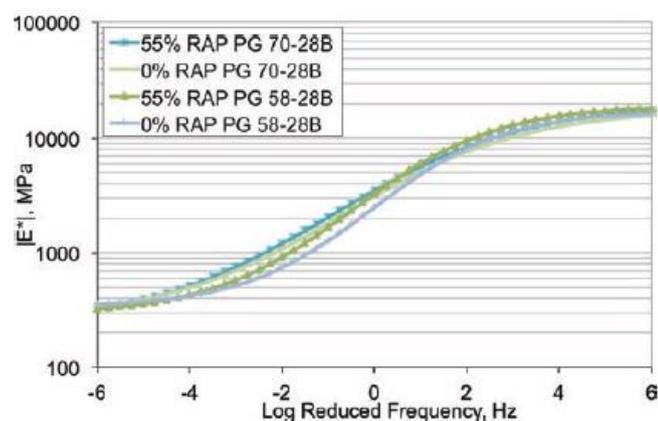


Abb. 35 Hauptkurven der Gemische mit den beiden verwendeten Binderstufen [22]

- Einfluss der frischen Binderstufe auf die Festigkeit der Mischung: mit Vergrößerung der Bindermenge verstärkt sich die Festigkeit mit fast 100%. Andererseits ist die Binderstufe von der Vergrößerung der RA-Menge weniger abhängig.

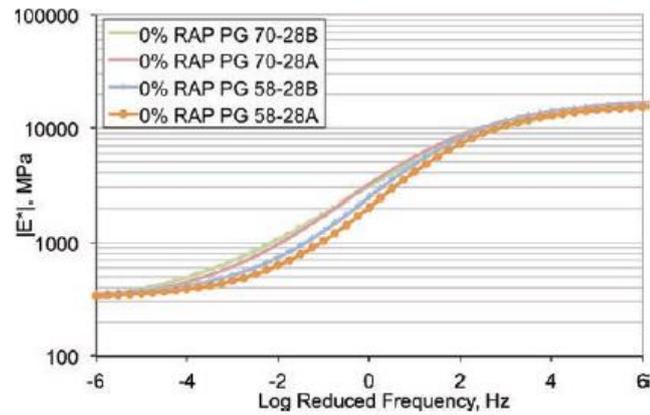


Abb. 36 Hauptkurven der frischen Mischgüter [22]

- Einfluss der Binderquelle auf die Festigkeit der Mischung: die Ergebnisse stellen dar, dass die Binderquellen keinen großen Einfluss auf die Gemischfestigkeit haben.

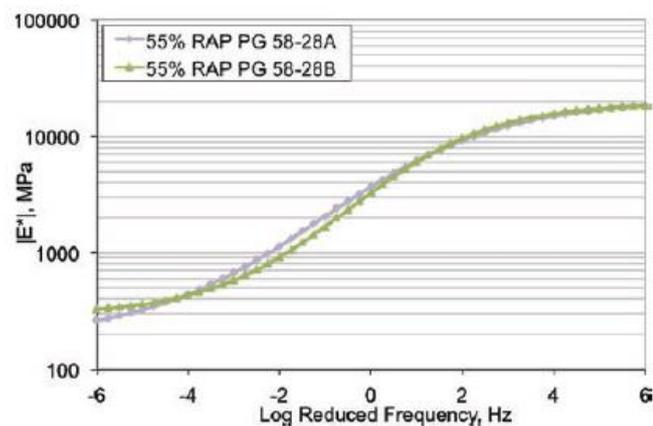


Abb. 37 Hauptkurven für die Mischung mit 55% RA [22]

Für Utah:

- Einfluss der RA-Menge auf die Festigkeit der Mischung: die Festigkeit vergrößert sich bei Gemischen mit größeren RA-Mengen, aber nicht immer proportionell.
- Einfluss der Binderstufe auf die Festigkeit der Mischung: bei den kritischen Temperaturen sind die Festigkeiten ähnlich. Bei den mittleren Prüftemperaturen ist der Unterschied zwischen den Festigkeiten bis 60%. Interessant ist hier die Mischung mit 25% RA. Bei ihr erscheinen die Hauptkurven mit über 60% Differenz in ihren Mitten.

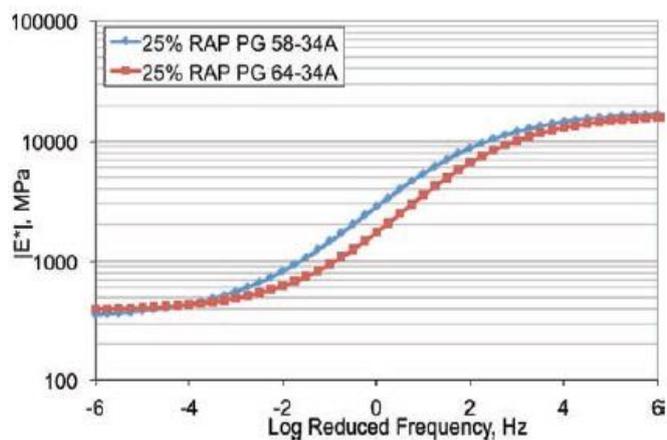


Abb. 38 Hauptkurven der Utah Gemische mit 25% RA [22]

- Einfluss der Binderquelle auf die Festigkeit der Mischung: mit Veränderung der Binderquelle bei den frischen Mischgütern reduziert sich die Härte bis 50%. Für die Gemische mit 55% ist die Verminderung der Festigkeit ca. 30%.
- Einfluss der WMA (engl. warm mix asphalt) auf die Festigkeit der Mischung: der Test wurde an dem Mischgut mit 55% RA durchgeführt. Im Vergleich zu den Ergebnissen des Gemisches mit heißem RA, sind die Hauptkurven ähnlich.

Bei dem Test für Rückrechnung wird bewiesen, dass das Model von Hirsch keine wichtigen Ergebnisse erbracht hat.

5.2.5 Einfluss der Mischungsfaktoren auf den dynamischen Modul

Die folgende Tabelle stellt eine Zusammenfassung der Daten aus dem Text dar. Sie umfasst die Ergebnisse aus der Prüfung, die an den Mischgütern der vier Staaten durchgeführt wurde.

Tab. 8 Einfluss der Mischungsfaktoren auf den dynamischen Modul

New Hampshire und Utah Gemische		Minnesota und Florida Gemische
25%	55%	
<p>Verstärkung der Festigkeit (mit 30 bis 43% im Vergleich zu frischen Gemischen) mit größten Differenzen in mittleren Temperaturen.</p> <p>Bei niedrigster Frequenz wird der dynamische Modul stark von dem frischen Binder beeinflusst.</p>	<p>Verstärkung der Festigkeit (25 bis 60% im Vergleich zu frischen Gemischen). Die Binderquelle ist bei 21.1°C bedeutend.</p> <p>Die Binderstufe hat den dynamischen Modul bei 37.8°C und bei niedriger Temperatur beeinflusst.</p>	<p>RA ist der wichtigste Faktor auch bei Minnesota und Florida Mischungen für alle Temperaturen. Mit seiner Steigerung verstärkt sich auch die Festigkeit der Mischung.</p>

5.2.6 Prüfung der Anfälligkeit für Feuchtigkeitsschäden

- ❖ Die Untersuchung wird nach AASHTO T 283-07 für HMA durchgeführt.
- ❖ **Ergebnis:** Alle Mischungen mit höheren RA-Mengen haben einen besseren elastischen Widerstand gezeigt.

5.2.7 Flow Number Test, bzw. Hochtemperaturprüfung

- ❖ Die Prüfung wird nach AASHTO R 30 durchgeführt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die statische Analyse der Ergebnisse durchgeführt wird, um zu bestimmen, ob die Mischungen mit RA-Mengen ähnlich den frischen Mischungen sind. Es wird bewiesen, dass sich die ersten gleich oder besser als die zweiten verhalten (meistens unter den Bedingungen permanenter Deformationen).

5.2.8 Bestimmung von Ermüdungsresistenz

Physisch ist die Energie der Ermüdung die Spannungsenergie und die verstreute Energie als Ergebnis von Strukturänderungen, die der Belag annehmen kann.

Die Körperdeformation tritt nicht bei der größten Last auf, sondern bei der ständigen, [22]. Hier kommen die Mikrozerstörungen an einer Seite des Körpers vor. Der Moment wird als Überprüfung der Differenz zwischen horizontale und vertikale Deformationen bezeichnet, die im Laufe des Widerstandes vorkommen. Die Ergebnisse zeigen ausgezeichnete Ermüdungsresistenz. Die Energie der Utah Mischungen wird von der RA-Menge und der Binderstufe nicht beeinflusst. Die folgende Tabelle ist Zusammenfassung der Daten aus dem Text.

Tab.9 Ergebnisse der Prüfung zur Bestimmung der Ermüdungsresistenz

Mischung	Frische, verglichen mit RA	25%, verglichen mit 55%	Nicht modifizierten, verglichen mit PmB
New Hampshire	Die Zerstörungsenergie der frischen ist höher.	Bei Gemische mit 55% RA ist die Energie höher.	Die Gemische mit nicht modifizierten frischen Binder haben höhere Werte.
Utah	Die Zerstörungsenergie der frischen ist höher.	Höher bei 25% der 64-34 PG Binder. Höher bei 55% der 58-34 PG Binder.	Viel höhere Energie gibt die Mischung mit frischen nicht modifizierten Binder.
Minnesota	Die Zerstörungsenergie der frischen ist höher.	-	-
Florida	Die Zerstörungsenergie der frischen ist höher.	-	-

5.2.9 Bestimmung von Tieftemperaturrestistenz

Die Untersuchung wird mittels zwei Methoden durchgeführt: SCB Test (low-temperature semi-circular bend test) und BBR Test (bending beam rheometer test). Jede Mischung wird auf drei verschiedene Temperaturen für den ersten Test und zwei für den zweiten geprüft. Drei Körper werden pro Mischgut und Temperatur verwendet.

SCB Test - durchgeführt, um die Festigkeit K_{IC} und die Zerstörungsenergie G_f zu bestimmen.

- ❖ **Ergebnisse:** Die Festigkeit wird mit der Erhöhung der RA-Menge und Verminderung der Temperatur verstärkt. Die Energie hat sich bei den niedrigen Temperaturen vermindert.

BBR Test - wird mit den Daten für K_{IC} und G_f vom SCB Test durchgeführt. Die Kriechfestigkeit $S(t)$ und m-Werte, $m(t)$, werden in der 60 Sekunde mit den Daten aus dem BBR Test berechnet.

Tab.10 Ergebnisse von der Prüfung für Bestimmung der Tieftemperaturrestistenz [22]

Frischer Binder	SCB K_{IC}	SCB G_f	BBR $S(60s)$	BBR $m(60s)$
New Hampshire				
PG 58-28	55% ↑	Nicht bedeutsam	25% ↑	25 und 55% ↓
PG 70-28	Nicht bedeutsam	Nicht bedeutsam	Nicht bedeutsam	25% ↓
Utah				
PG 58-34	55% ↑	25 und 55% ↓	25 und 55% ↑	25 und 55% ↓
PG 64-34	55% ↑	55% ↓	25 und 55% ↑	25 und 55% ↓
Minnesota				
PG 58-28	40% ↑	Nicht bedeutsam	40% ↑	40% ↓

Die interessanten Ergebnisse beider Projekten stellen gute Möglichkeiten für das Asphaltrecycling dar. Eine weitere Entwicklung entsprechender Prüfungen könnte die Verwendung des Prozesses festigen und neue Ideen für minimierten Ressourcenverbrauch mitbringen.

6 Aktuelle Forschungsergebnisse zu Recyclingsasphalt an der Technischen Universität Wien

Das folgende Kapitel betrachtet die Ergebnisse gebrauchtsverhaltensorientierter Prüfungen. Sie werden im Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen, Institut für Verkehrswissenschaften an der TU Wien durchgeführt. Ihr Ziel war die Eigenschaften von Asphaltmischgütern mit Zugabe von verschiedenen Mengen von Ausbauasphalt zu untersuchen. Geprüft wurden Materialien von Trag-, Binder- und Deckschichten, sowie die von dieser Schichten rückgewonnenen Bitumen (*werden in der Diplomarbeit nicht betrachtet*).

Die Ergebnisse sind aus den Literaturquellen [23], [24], [25] und [26] zusammengefasst.

Geprüfte Tragschichten:

- ❖ AC 32 trag PmB 45/80 RC, T2, G6, RA 20
- ❖ AC trag 70/100, T1, G4, RA 20
- ❖ AC trag 70/100, T1, G4, RA 30

Geprüfte Binderschichten:

- ❖ AC 22 binder PmB 45/80-65, H1, G4
- ❖ AC 22 binder PmB 45/80-65, H1, G4, RA 15
- ❖ AC 22 binder PmB 45/80-65, H1, G4, RA 20
- ❖ AC 32 binder, PmB 45/80 RC, H1, G4, NAF 501, RA 10
- ❖ AC 22 binder, PmB 45/80 RC, H1, G4, KA25, RA 20
- ❖ AC 22 binder, PmB 45/80 RC, H1, G4, RA 10

Geprüfte Deckschichten:

- ❖ AC 16 deck PmB 45/80 RC, A5, G9, RA 15
- ❖ AC 16 deck PmB 45/80 RC, A5, G9, RA 20

6.1 Versuchsprogramm

Herstellung der Probekörper und Ausführung der Prüfungen werden durch eine Reihe von EU-Normen geregelt. Für jede Prüfung wurden die angegebenen Asphaltmischgutproben nach ON EN 12697-33:2007 aufgeheizt und im Walzsegmentverdichter zu Platten verdichtet. Prismatische und zylindrische Probekörper mit Maße nach ON EN 12697-29:2003 wurden aus den Platten gewonnen. In Projektberichten [23] und Nummer [25] wurden zusätzlich die Raumdichte nach ON EN 12697-6:2007 und Rohdichte nach ON EN 12697-5:2010 ermittelt.

Tab. 11 Überblick über die Normen

Nummer	Prüfung	Norm
1	TSRST (Thermal stress restrained specimen test)	ON B 3580-2
		EN 12697-46:2009
		EN 12697-46:2012
2	4-PBB (4-Punkt-Biegebalken Prüfung)	
	Ermüdungsverhalten	ON EN 12697-24:2004
3	TCCT (zyklische triaxiale Druckschwellprüfung)	ON EN 12697-24:2006, Teil B
		ON EN 13108-1:2006
		ON EN 13108-20:2006

Tab. 12 Überblick über das Prüfprogramm, zfg. von [23], [24], [25] und [26]

Nummer	Mischguttyp	GVO-Asphalt		
		Tieftemperatur	Steifigkeit/ Ermüdung	Hochtemperatur
	1	2	3	4
1	AC 16 deck PmB 45-80 RC, A5, G9, RA 15	✓		✓
2	AC 16 deck PmB 45-80 RC, A5, G9, RA 20	✓		✓
3	AC 22 binder PmB 45/80-65, H1, G4	✓		✓
4	AC 22 binder PmB 45/80-65, H1, G4, RA 15	✓		✓
5	AC 22 binder PmB 45/80-65, H1, G4, RA 20	✓		✓
6	AC 22 binder, PmB 45/80 RC, H1, G4, KA25, RA 20	✓		✓
7	AC 22 binder, PmB 45/80 RC, H1, G4, RA 10	✓	✓	✓
8	AC 32 binder, PmB 45/80 RC, H1, G4, NAF 501, RA 10	✓	✓	✓
9	AC 32 trag PmB 45-80 RC, T2, G6, RA 20	✓	✓	
10	AC trag 70/100, T1, G4, RA 20		✓	
11	AC trag 70/100, T1, G4, RA 30		✓	

6.2 Abkühlprüfung (TSRST) bzw. Tieftemperaturverfahren

Bei der Abkühlprüfung ist die Beständigkeit der Materialien gegen Tieftemperaturrisse zu bestimmen. Die folgenden Abbildungen stellen die Mittelwerte der Ausfalltemperatur und kryogene Spannungen der überprüften Materialien dar.

6.2.1 Tragschichten

Die folgende Abbildung zeigt die erhaltene Bruchtemperatur $T = -29.6^\circ\text{C}$ und Bruchspannung $\sigma_c = 3.9 \text{ N/mm}^2$.

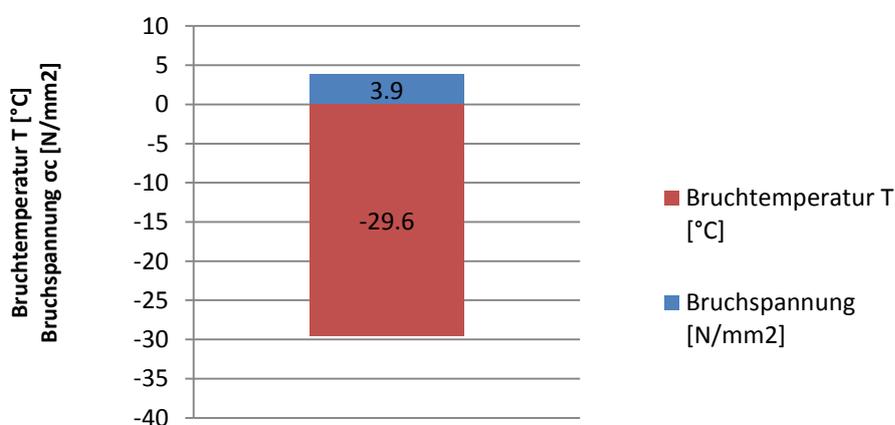


Abb.39 TSRST-Ergebnisse des AC 32 trag PmB 45/80 RC mit 20M% Ausbauasphalt [23]

Tab.13 Ergebnisse von der Tragschichtprüfungen

Mischgut		Bruchtemperatur T [°C]	Bruchspannung σ_c [N/mm ²]
Tragschichten	AC 32 trag PmB 45/80 RC , T2, G6, RA 20	-29.6	3.9

6.2.2 Binderschichten

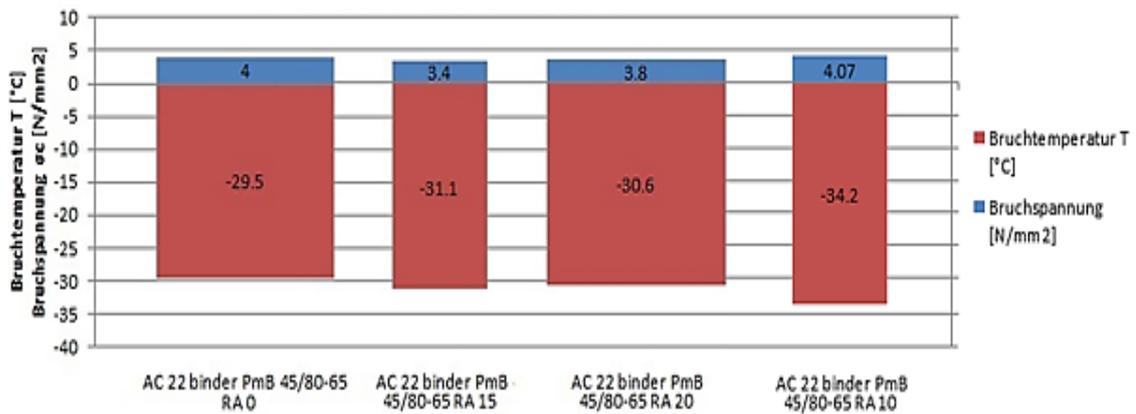


Abb.40 TSRST-Ergebnisse des AC 22 binder PmB 45/80-65 mit 0, 10, 15 und 20% Ausbausphalt, zfg. von [25] und [26]

Tab.14 Ergebnisse von der Binderschichtprüfungen

Mischgut		Bruchtemperatur T [°C]	Bruchspannung σ_c [N/mm ²]
Binderschichten	AC 22 binder PmB 45/80-65 RA 0	-29.5	4
	AC 22 binder PmB 45/80-65 RA 10	-34.2	4.07
	AC 22 binder PmB 45/80-65 RA 15	-31.1	3.4
	AC 22 binder PmB 45/80-65 RA 20	-30.6	3.8

Es ist zu bemerken, dass die Mischgut mit 10% RA die beste Resistenz beim Vergleich zwischen der Ergebnisse der vier Mischgüter gezeigt hat: $T=-34.2^{\circ}\text{C}$. Bei dieser Mischgut ist die Bruchspannung wieder die größte: $\sigma_c=4.07$ [N/mm²].

6.2.3 Deckschichten

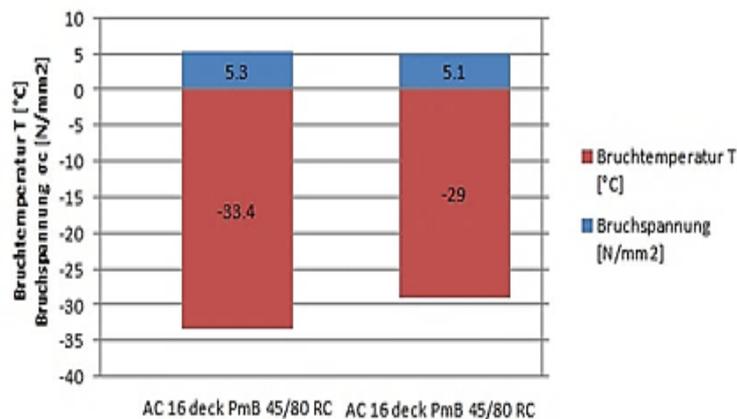


Abb.41 TSRST-Ergebnisse des AC 16 deck PmB 45/80 RC mit 15 und 20% Ausbausphalt [23]

Tab.15 Ergebnisse von der Deckschichtprüfungen

Mischgut		Bruchtemperatur T [°C]	Bruchspannung σ_c [N/mm ²]
Deckschichten	AC 16 deck PmB 45/80 RC RA 15	-33.4	5.3
	AC 16 deck PmB 45/80 RC RA 20	-29	5.1

Wieder als Schlussfolgerung kann man sagen, dass die niedrigere Temperatur mit der höheren Spannung bekommen wird.

6.3 Bestimmung von Ermüdungsbeständigkeit - 4-Punkt-Biegebalken

6.3.1 Tragschichten



Abb.42 Dehnungsamplitude ϵ_6 der geprüfte Tragschichten

Tab.16 Ergebnisse von der Tragschichtprüfungen

Mischgut		Dehnungsamplitude ϵ_6 [$\mu\text{m/m}$]
Tragschichten	AC 32 trag PmB 70/100 RA 20	107
	AC 32 trag PmB 70/100 RA 30	90
	AC 32 trag PmB 70/100 RA 20	195

Aus den Daten kann man einen sehr großen Unterschied zwischen den Werten der ϵ_6 -Parameter der Mischgüter mit 20% RA sehen, betrachtet in zwei verschiedenen Berichten.

6.3.2 Binderschichten

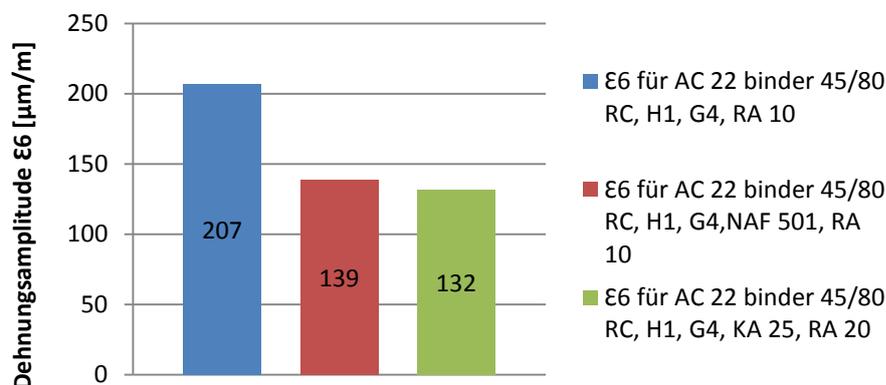


Abb. 43 Dehnungsamplitude ϵ_6 der überprüften Binderschichten

Tab.17 Ergebnisse von der Binderschichtprüfungen

Mischgut		Dehnungsamplitude ϵ_6 [$\mu\text{m}/\text{m}$]
Binderschichten	AC 22 binder PmB 45/80 RC, H1, G4, RA 10	207
	AC 22 binder PmB 45/80 RC, H1, G4, NAF 501, RA 10	139
	AC 22 binder PmB 45/80 RC, H1, G4, KA 25, RA 20	132

Der größte Wert der Dehnungsamplitude wird bei der Mischgut mit niedrigsten RA-Menge bekommen.

6.4 Beständigkeit gegen bleibende Verformungen – zyklische triaxiale Druckschwellprüfung (TCCT), bzw. Hochtemperaturverhalten

Geprüft werden Zylinder mit den folgenden Abmessungen: Durchmesser 100mm und Höhe 200mm. Jeder wird dreimal geprüft und die Ergebnisse werden als Mittelwert angegeben. Betrachtet werden Materialien aus Binder- und Deckschichten.

6.4.1 Binderschichten

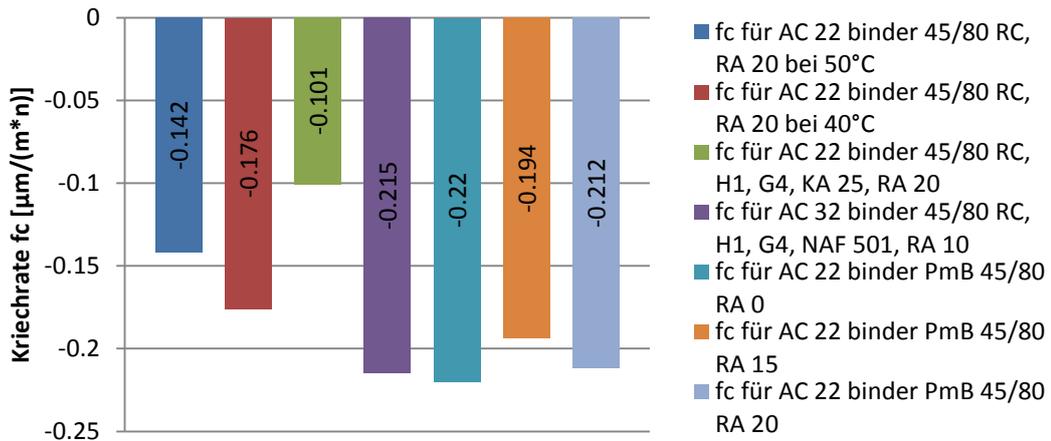


Abb. 44 Kriechrate der überprüften Binderschichten

Tab.18 Ergebnisse von der Binderschichtprüfungen

Beständigkeit gegen bleibende Verformungen		
Mischgut		Kriechrate f_c [$\mu\text{m}/(\text{m}^*\text{n})$]
Binderschichten	AC 22 binder PmB 45/80 RC, RA 20 bei 50°C	-0.142
	AC 22 binder PmB 45/80 RC, RA 20 bei 40°C	-0.176
	AC 22 binder PmB 45/80 RC, H1, G4, KA 25, RA 20	-0.101
	AC 32 binder 45/80 RC, H1, NAF 501, RA 10	-0.215
	AC 22 binder PmB 45/80 RA 0	-0.22
	AC 22 binder PmB 45/80 RA 15	-0.194
	AC 22 binder PmB 45/80 RA 20	-0.212

6.4.2 Deckschichten

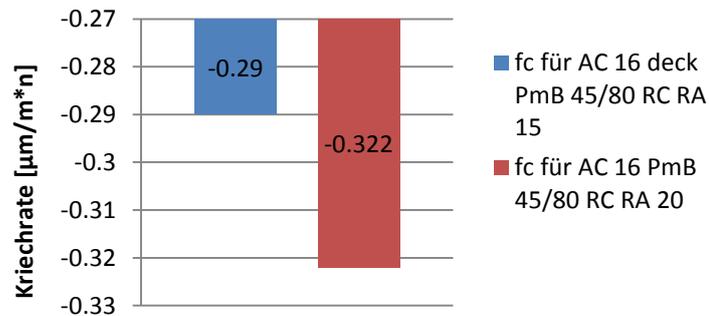


Abb. 45 Kriechrate der überprüften Deckschichten

Tab.19 Ergebnisse der Deckschichtprüfungen

Beständigkeit gegen bleibende Verformungen		
Mischgut		Kriechrate f_c [$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot \text{n})$]
Deckschichten	AC 16 deck PmB 45/80 RC, RA 15	-0.290
	AC 16 deck PmB 45/80 RC, RA 20	-0.322

In Zusammenfassung kann man sagen, dass die Daten aus dem Test für Ermittlung der Beständigkeit gegen bleibende Verformungen auf die Binder- und Deckschichten fast gleich sind.

Die Prüfungen wurden durchgeführt, um bedeutsame Parameter der Asphaltmischgüter zu ermitteln. Sie wurden bei verschiedenen Bedingungen bekommen und bezeichnen den Einfluss des zugegebenen Asphaltgranulates bei der Herstellung neuer Gemische. Bewiesen wird, dass sie sich bei der Untersuchungen interessant verhalten. Z. B. bei der Abkühlprüfung wird eine Bruchtemperatur von $-34,2^\circ\text{C}$ und bei Ermüdungsprüfung eine Dehnungsamplitude von $207 \mu\text{m}/\text{m}$ bekommen. Diese Werte sind für die Eigenschaften der Mischgüter bedeutsam und beschreiben ihr Verhalten bei kritischen Bedingungen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Nach dem, was bisher gesagt wurde ist es klar, dass die Diplomarbeit das Verfahren des heißen Recyclings betrachtet. Der technologische Prozess ist komplex und erfordert eine ständige strenge Organisation über alle Phasen: Erzeugung, Transport, Anwendung.

Die Methode ist weit in Ländern wie den Vereinigten Staaten von Amerika, Spanien, Deutschland und Österreich verbreitet. Für die Darstellung seiner Prioritäten wurden Tests mit Mischungen mit recycelten Asphalt von Instituten und Laboren in Europa und USA durchgeführt, die sich im Bereich des Straßenwesens mit hohen Technologien und Erfahrung bewährt haben.

In allen Fällen ist die betrachtete Menge des recycelten Asphalts verschieden. In der Praxis kann sie bis 70-100% der Gesamtmenge der Mischgüter sein. Entsprechend wurden sie unter Bedingungen untersucht, die ähnlich wie die Exploatationsbedingungen waren, um ihren Einsatz in hoch beanspruchten Asphaltstraßen zu begründen.

Die Ergebnisse sind eindeutig. Die Mischungen entsprechen den Erwartungen für hohe Qualität und schnelle Verbesserung der Lebensqualität und der Eigenschaften der Asphaltbeläge. Sie bieten:

- bessere Festigkeit
- bessere Beständigkeit gegen Spurbildung
- bessere Ermüdungsresistenz
- besseres Verhalten bei Tief- und Hochtemperaturen

Als Nachteil kann dargestellt werden, dass die für die Technologie bedingte hohe Temperatur (ca. 130°C) zu hohe Produktionskosten führen könnte. Diese Temperatur muss für die nächsten Phasen - Transport und Anwendung behaltet werden. Entsprechend bedeutet das, dass die Entfernungen für die Lieferung der Endmischung nicht groß sein dürfen. Andererseits wird in der Praxis bewiesen, dass der Einbau von Asphaltsschichten bei Temperatur der Mischung von 90-130°C durchzuführen ist. Das

bezeichnet das Verfahren im Vergleich zu anderen für Straßenerhaltung als konkurrenzfähig.

I. Literaturverzeichnis

- [1] <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002086>, Gesamte Rechtsvorschrift für Abfallwirtschaftsgesetz, 2002, Zugriff vom 2014

- [2] http://www.abfallratgeber.bayern.de/rechtsvorschriften/deutschland/doc/krwg_erlaeuterung.pdf, Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz –KrWG)-Erläuterungen

- [3] <http://www.lebensministerium.at/umwelt/abfall-ressourcen/bundes-abfallwirtschaftsplan/bawp2011.html>, Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011, Zugriff am 17.07.2013

- [4] Österreichischer Baustoff-Recycling Verband, Teilausgabe: Grüne Richtlinie, 8. Auflage: Die Richtlinie für Recycling-Baustoffe, Wien, Österreich, September 2009

- [5] Deutscher Asphaltverband e. V. DAV, Wiederverwenden von Asphalt, Elke Schlüter Werbeagentur, Alfter, Bonn, Deutschland, 2008

- [6] Buchta H., Austacchio E., Krzemien R. u. a., Asphalt Handbuch, Manz Crossmedia, Wien, Österreich, 2002

- [7] Hutschenreutner J. und Wörner Th., Asphalt im Straßenbau, Verlag Kirschbaum, Deutschland, 2010

- [8] Täube A., Wiederverwendung von Asphaltgranulat, Bonn, Deutschland, 2009

- [9] Mollenhauer K., Wohin mit unseren verbrauchten Straßen?, Braunschweig, Deutschland, 2010

- [10] Fenz G., Gregori H., Kirchknopf H., Krzemien R. und Waldhaus H., Die Wirtschaftlichkeit des Repave-Verfahrens, GISTELDRUCK, Wien, Österreich, 1988
- [11] Bilitewsky B., Hårdte G., Marek K., Schulz A., Bauschutt- und Asphaltrecycling, Erich Schmidt Verlag, Berlin, Deutschland, 1986
- [12] <http://www.geoklipsch.com/pdf/LAGA%2020%2098.pdf>, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen, November 1998
LAGA
- [13] Blab R., LVA 233.038 Konstruktiver Straßenbau, Professur für Straßen- und Flugbetriebsflächenbau, Wien, Österreich, 2012
- [14] http://www.api.bg/files/7313/9504/3959/TC_2014.pdf, Technische Spezifikation der Agentur für Verkehrsinfrastruktur bei dem Ministerium für regionale Entwicklung, Sofia, Bulgarien, 2014
- [15] http://www.vsvi-mv.de/fileadmin/Medienpool/Seminarunterlagen/V.Schaefer_ZTV-und_TL-Asphalt_VSVI-Asph.-Seminar_2008.pdf, Die neuen ZTV Asphalt-StB 07 und TL Asphalt-StB 07
- [16] Merkblatt, Verwertung von Ausbauasphalt, Österreichischer Baustoff-Recycling Verband, Wien, Österreich, Februar 2010
- [17] ÖNORM EN 3580-1 Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Teil 1: Asphaltbeton - Empirischer Satz - Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 13108-1, 2009-12-01
- [18] RVS 08.97.05: Anforderungen an Asphaltmischgut, Ausgabe 1. Februar 2010

- [19] DIN EN 13108-8:2005 Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Teil 8: Ausbauasphalt
- [20] ÖNORM S 2100 "Abfallkatalog"
- [21] PARAMIX, Road pavement rehabilitation techniques using enhanced asphalt mixtures, European Community, 1/04/2004
- [22] West R., Willis J.R., Marasteanu M., Improved Mix Design, Evaluation and Materials Management, Practices for Hot Mix Asphalt with High Reclaimed Asphalt Pavement Content, Report 752, Transportation Research Board, Washington, DC, USA, 2013
- [23] Hofko B., Zwischenbericht - Projektnummer: 10420, Prüfungen an Asphaltmischgut mit Ausbauasphaltanteil und an daraus rückgewonnenem Bitumen, Technische Universität Wien, Wien, Österreich, Oktober 2010
- [24] Hofko B. und Chankov G., Projektbericht - Projektnummer: 12418, Prüfungen des Gebrauchsverhaltens von Asphaltmischgut, AC 32 binder, PmB 45/80 RC, H1, G4, NAF 501, RA 10 und AC 22 binder, PmB 45/80 RC, H1, G4, KA25, RA 20, Technische Universität Wien, Wien, Österreich, Dezember 2012
- [25] Hofko B., Projektbericht - Projektnummer: 10405, GVO Prüfungen an Asphaltmischgut mit Ausbauasphaltanteil und an daraus rückgewonnenem Bitumen, Technische Universität Wien, Wien, Österreich, August 2010
- [26] Hofko B. und Chankov G., Projektbericht - Projektnummer: 12407, Prüfung des Gebrauchverhaltens von Asphaltmischgut, Technische Universität Wien, Wien, Österreich, Mai 2012

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufkommen und Wiederverwendung von Asphaltgranulat (1987-2010) [8]	26
Abbildung 2: Alternative Baumassnahmen [10].....	27
Abbildung 3: Idealer Zyklus von Asphaltgranulat [8].....	28
Abbildung 4: Chargenmischanlage - Erwärmung des Asphaltgranulates durch die heißen Gesteinskörnungen, chargenweise Zugabe [5].....	29
Abbildung 5: Chargenmischanlage - Erwärmung des Asphaltgranulates durch die heißen Gesteinskörnungen, kontinuierliche Zugabe [5].....	30
Abbildung 6: Chargenmischanlage - Erwärmung des Asphaltgranulates gemeinsam mit den Gesteinskörnungen, kontinuierliche Zugabe [5].....	30
Abbildung 7: Paralleltrommel zur schonenden Trocknung und Erwärmung, links [5]	31
Abbildung 8: Paralleltrommel, hochgesetzt und mit anschließenden Asphaltgranulat-Heißsilos (silbern), rechts [5].....	31
Abbildung 9: Schema einer Paralleltrommel [5].....	31
Abbildung 10: Durchlaufmischanlage - Erwärmung des Asphaltgranulates gemeinsam mit den Gesteinskörnungen [5].....	32
Abbildung 11: Durchlaufmischanlage - Erwärmung des Asphaltgranulates in gesonderten Vorrichtung (Paralleltrommel) - Zugabe in einen nachgeschalteten Durchlaufmischanlage [5].....	32
Abbildung 12: Getrennte Gewinnung, links [5].....	35
Abbildung 13: Lagerung des Asphaltgranulates, rechts [5]	35
Abbildung 14: Geräteansicht, links [7]	35
Abbildung 15: Indirekte Aufheizung, rechts [7].....	36
Abbildung 16: Schematische Darstellung der Asphaltfräse [7]	36
Abbildung 17: Erforderliche Gesteinskörnungstemperatur bei vorgegebener Mischguttemperatur in Abhängigkeit von der Zugabemenge an Asphaltgranulat [5]	38

Abbildung 18: Prinzipieller Lauf des zu verarbeitenden Baustoffs in Chargenmischanlage [13]	38
Abbildung 19: Prinzipieller Lauf des zu verarbeitenden Baustoffs in Paralleltrommelanlage [13]	39
Abbildung 20: Getrennte Gewinnung, links [5]	41
Abbildung 21: Überdachte Lagerung zur Minimierung des Feuchtigkeitgehaltes, rechts [8]	41
Abbildung 22: Separate Lagerung, links [8].....	41
Abbildung 23: Zugabe von selektiertem Asphaltgranulat über 3 Doseure, rechts [8]	41
Abbildung 24: Nomogramm zur Ermittlung der maximal möglichen Asphaltgranulat- Zugabemengen in Asphaltmischgut für Asphalttrag-, Asphalttragdeck- und Asphaltfundationsschichten in Abhängigkeit von den fünf Merkmalen des Asphaltgranulates (in Anlehnung an das M VAG) [5].....	43
Abbildung 25: Straßenaufbau (Systemskizze nach RVS 03.08.63) [16]	47
Abbildung 26: Recycling-Baustoffe nach der Grünen Richtlinie, links [4]	49
Abbildung 27: Verwertung von Ausbauasphalt, rechts [16]	49
Abbildung 28: Das Gütezeichen Recycling-Baustoffen [4]	52
Abbildung 29: Schematische Darstellung des BDT Tests [21]	59
Abbildung 30: Ergebnisse des BDT Tests [21]	59
Abbildung 31: Ermittlung der Abweichungen mittels NDT Technologie [21]	60
Abbildung 32: Optimale gesamte Asphaltmenge für Utah und New Hampshire Mischungen [22]	63
Abbildung 33: Effektive Asphaltmenge für Utah und New Hampshire Mischungen [22]	64
Abbildung 34: VMA für Utah und New Hampshire Mischungen, oder Hohlraumgehalte in der Gemische [22]	64
Abbildung 35: Hauptkurven der Gemische mit den beiden verwendeten Binderstufen	65
Abbildung 36: Hauptkurven der frischen Mischgüter	66
Abbildung 37: Hauptkurven für die Mischung mit 55% RA	66
Abbildung 38: Hauptkurven der Utah Gemische mit 25% RA	67

Abbildung 39: TSRST-Ergebnisse des AC 32 trag PmB 45/80 RC mit 20M% Ausbauasphalt [23].....	73
Abbildung 40: TSRST-Ergebnisse des AC 22 binder PmB 45/80-65 mit 0, 10, 15 und 20M% Ausbauasphalt, zfg. von [25] und [26]	74
Abbildung 41: TSRST-Ergebnisse des AC 16 deck PmB 45/80 RC mit 15 und 20M% Ausbauasphalt [23]	74
Abbildung 42: Dehnungsamplitude ϵ_6 der geprüfte Tragschichten	75
Abbildung 43: Dehnungsamplitude ϵ_6 der überprüften Binderschichten	76
Abbildung 44: Kriechrate der überprüften Binderschichten	77
Abbildung 45: Kriechrate der überprüften Deckschichten	77

III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zugabemöglichkeiten von Asphaltgranulat zu den Asphaltmischgutarten [5]	43
Tabelle 2: Gesamttoleranzen Tzul der relevanten Merkmale abhängig von der Asphaltmischgutart [5]	45
Tabelle 3: Prüfbestimmungen der Eigenüberwachung [4]	50
Tabelle 4: Prüfbestimmungen der Erstprüfung (Eignungsnachweis) und Fremdüberwachung (FÜ) [4]	51
Tabelle 5: Anforderungen an Gesteinskörnungen (fortgesetzt) [17]	53
Tabelle 6: Liste mit den geprüften Gemischen [21]	57
Tabelle 7: Zusammenfassung der geprüften Gemischen	63
Tabelle 8: Einfluss der Mischungsfaktoren auf den dynamischen Modul [22]	68
Tabelle 9: Ergebnisse der Prüfung zur Bestimmung der Ermüdungsresistenz [22]	69
Tabelle 10: Ergebnisse von der Prüfung für Bestimmung der Tieftemperaturresistenz [22]	70
Tabelle 11: Überblick über die Normen	72
Tabelle 12: Überblick über das Prüfprogramm, zfg. von [23], [24], [25] und [26]	72
Tabelle 13: Ergebnisse von der Tragschichtprüfungen	73
Tabelle 14: Ergebnisse von der Binderschichtprüfungen	74
Tabelle 15: Ergebnisse von der Deckschichtprüfungen	75
Tabelle 16: Ergebnisse von der Tragschichtprüfungen	75
Tabelle 17: Ergebnisse von der Binderschichtprüfungen	76
Tabelle 18: Ergebnisse von der Binderschichtprüfungen	77
Tabelle 19: Ergebnisse der Deckschichtprüfungen	78

