

Diplomarbeit

Verwertungsmöglichkeiten von Ausbauasphalt für Asphaltschichten im Straßenbau

Vorgelegt am: 22.08.2016

Von: Kahnt, Moritz
Zeitzer Straße 5
06712 Zeitz, OT Geußnitz

Studiengang: Bauingenieurwesen
Studienrichtung: Straßen-, Ingenieur- und Tiefbau

Seminargruppe: 4TB13-1

Matrikelnummer: 4001518

Praxispartner: STREICHER Tief- und Ingenieurbau
Jena GmbH & Co. KG
In den Teichen 2
07751 Jena- Maua

Gutachter: Dipl.- Ing. (FH) Frank Lehmann
(STREICHER Tief- und Ingenieurbau Jena
GmbH & Co. KG)

Dr.- Ing. Peter Rott
(Staatliche Studienakademie Glauchau)

SR Straßen-, Ingenieur- und Tiefbau

Themenblatt Diplomarbeit

Studiengang Bauingenieurwesen
SR Straßen-, Ingenieur- und Tiefbau

Student: **Moritz Kahnt**
Matrikelnummer: **4001518**
Seminargruppe: **4TB13-1**

Thema der Diplomarbeit

Verwertungsmöglichkeiten von Ausbausphaltp für Asphalt-schichten im Straßenbau

Gutachter/ Betreuer: **Dipl.-Ing. (FH) Frank Lehmann**
Gutachter (Studienakademie): **Prof. Dr. Peter Rott**

Ausgabe des Themas: **30.05.2016**
Abgabe der Arbeit an den SG am: **22.08.2016, 14:00:00**



Prof. Dagmar Menzel
Vorsitzende des Prüfungsausschusses
Technik



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Formelverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	X
1. Einleitung	1
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung	2
2. Asphalt als Baustoff im Straßenbau	3
2.1 Asphaltzusammensetzung.....	3
2.1.1 Gesteinskörnungen.....	4
2.1.2 Bindemittel	6
2.1.2.1 Technisch hergestelltes Bitumen	6
2.1.2.2 Natürliches Bitumen im Naturasphalt.....	14
2.1.2.3 Teer- und pechhaltige Bindemittel	16
2.1.3 Additive	18
2.2 Asphaltherstellung	19
2.2.1 Aufbau einer Asphaltmischanlage	19
2.2.2 Herstellungsprozess	21
3. Verwertung von Ausbauasphalt	26
3.1 Ausbauasphalt und Asphaltgranulat	26
3.2 Gesetzliche Grundlagen zur Verwertung	28

3.2.1	Kreislaufwirtschaftsgesetz	29
3.2.2	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall Mitteilung 20	31
3.2.3	Richtlinie für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau.....	33
3.3	Wiederverwendung an der Mischanlage.....	35
3.3.1	Verwertung im Heißmischverfahren.....	35
3.3.1.1	Vorbereitende Maßnahmen	36
3.3.1.2	Ermittlung der maximalen Zugabemengen von Asphaltgranulat.....	38
3.3.1.3	Verfahrensweisen	41
3.3.2	Verwertung im Kaltmischverfahren	48
3.4	Wiederverwendung vor Ort	49
3.4.1	Rückformverfahren	49
3.4.1.1	Reshape – ohne Veränderung der Asphaltzusammensetzung.....	50
3.4.1.2	Remix – mit Veränderung der Asphaltzusammensetzung	51
3.4.1.3	Remix Compact – mit Veränderung der Asphaltzusammensetzung in Verbindung mit dem Einbau einer neuen Deckschicht.....	52
3.4.2	Kaltrecycling vor Ort	54
3.5	Weitere Verwertungsmöglichkeiten von Ausbauasphalt im Straßenbau..	55
4.	Herstellung einer Asphaltdeckschicht mit erhöhtem Anteil an Asphaltgranulat	57
4.1	Vorbetrachtungen	57
4.2	Klassifizierung des Asphaltgranulats	58
4.3	Rezepterstellung für die Asphaltdeckschichten	62
4.3.1	Probe mit 15 M.- % Anteil an Asphaltgranulat	64
4.3.2	Probe mit 25 M.- % Anteil an Asphaltgranulat	67

4.3.3	Probe mit 40 M.- % Anteil an Asphaltgranulat	68
4.3.4	Zusammenfassung der Rezepterstellung	69
4.4	Versuchsdurchführung – Herstellung und Beprobung der Mischungen mit 15 M.-% Anteil an Asphaltgranulat.....	69
4.5	Ergebnisse der Versuchsdurchführungen.....	75
4.5.1	Mischgüter mit 15 M.-% Asphaltgranulat	76
4.5.2	Mischgüter mit 25 M.-% Asphaltgranulat	77
4.5.3	Mischgüter mit 40 M.-% Asphaltgranulat	78
4.6	Auswertung der Versuchsergebnisse	79
4.7	Ausblick	81
5.	Fazit	83
	Quellenverzeichnis	85
	Anhangverzeichnis.....	91

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	prozentuale Zusammensetzung des Asphalttes	4
Abbildung 2	Vorgang der Vakuumdestillation in einer Vakuumkolonne	7
Abbildung 3	Nadelpenetration „Eindringtiefe“	12
Abbildung 4	Erweichungspunkt Ring und Kugel	13
Abbildung 5	Erweichungspunkt Ring und Kugel	14
Abbildung 6	Chemische Struktur der PAK nach EPA	17
Abbildung 7	Technische Ausstattung einer Asphaltmischanlage	20
Abbildung 8	Mischturm einer Asphaltmischanlage.....	23
Abbildung 9	Fräs- und Aufbruchasphalt.....	26
Abbildung 10	Erforderliche Temperatur bei Zugabe von trockenem RA.....	42
Abbildung 11	Erwärmung durch die heißen Mineralstoffe, Chargenmischer	43
Abbildung 12	Erwärmung durch die heißen Mineralstoffe, Durchlaufmischer ...	44
Abbildung 13	Erwärmung mit den Mineralstoffen, Chargenmischanlage.....	45
Abbildung 14	Erwärmung mit den Mineralstoffen, Durchlaufmischanlage	46
Abbildung 15	Erwärmung in gesonderter Vorrichtung, Chargenmischanlage...	47
Abbildung 16	Erwärmung in gesonderter Vorrichtung, Chargenmischanlage ...	47
Abbildung 17	Reshape – schematische Darstellung.....	51
Abbildung 18	Remix – schematische Darstellung	52
Abbildung 19	Remix compact – schematische Darstellung	53
Abbildung 20	Mixpaver der Firma Wirtgen.....	55
Abbildung 21	Automatische Extraktion in einer geschlossenen Anlage.....	59
Abbildung 22	Rückgewinnung des Bindemittels - Rotationverdampfer.....	60
Abbildung 23	Grafische Ermittlung der maximalen Zugabemenge	62
Abbildung 24	Sieblinienbereich AC 8 D S.....	63

Abbildung 25	Sieblinie der AC 8 D S mit 15 M.-% RA	64
Abbildung 26	Sieblinie der AC 8 D S mit 25 M.-% RA	67
Abbildung 27	Sieblinie der AC 8 D S mit 40 M.-% RA	68
Abbildung 28	Universal- Labormischer	71
Abbildung 29	MVG und Marshallprobekörper in Formzylindern.....	73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Prozentuale Verteilung der Hauptbestandteile im Bitumen	8
Tabelle 2	Eigenschaften der Bitumen	9
Tabelle 3	Bekannte Naturasphalte.....	15
Tabelle 4	Verwertungsklassen für Ausbaustoffe.....	27
Tabelle 5	Grenzwerte für die Elution von Probekörpern	34
Tabelle 6	Voraussetzungen für den Einbau der Straßenausbaustoffe.....	35
Tabelle 7	Zugabemöglichkeiten von Asphaltgranulat	36
Tabelle 8	Gesamttoleranz $T_{zul,i}$	39
Tabelle 9	Korrektur der Mineralstofftemperatur	42
Tabelle 10	Ergebnisse des beprobten Asphaltgranulats.....	61
Tabelle 11	Ermittlung der Spannweiten	61
Tabelle 12	Übersicht der Rezepterstellung	69
Tabelle 13	Einwaagen der Mischungen mit 15 M.-% RA.....	71
Tabelle 14	Prüfungsergebnisse – 15 M.-% RA	76
Tabelle 15	Prüfungsergebnisse – 25 M.-% RA	77
Tabelle 16	Prüfungsergebnisse – 40 M.-% RA	78

Formelverzeichnis

Formel 1	Spannweite für Trag- und Tragdeckschichten.....	39
Formel 2	Spannweite für Deck- und Binderschichten	39
Formel 3	Berechnung EP des resultierenden Asphaltmischgut	40
Formel 4	Korrekturfaktor des Bindemittelgehalts	65
Formel 5	Ermittlung Rohdichte des Pyknometers	65
Formel 6	Ermittlung Rohdichte.....	66
Formel 7	Ermittlung Raumdichte.....	74
Formel 8	Ermittlung Hohlraumgehalt.....	74

Abkürzungsverzeichnis

AC	Asphaltbeton
AG	Asphaltgranulat
AS	Anschlussstelle
B	Binderschicht
BAB	Bundesautobahn
Bk	Belastungsklasse
BM	Bindemittel
BP	Brechpunkt
BW	Baden- Württemberg
chem.	chemischen
D	Deckschicht oder auch Durchmesser
DepV	Deponieverordnung
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
EP	Erweichungspunkt
EPA	Environmental Protection Agency
ETV	Ergänzungen der Technischen Vertragsbedingungen
EU	Europäische Union
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
GK	Gesteinskörnung
H FA	Hinweise für das Fräsen von Asphaltbefestigungen mit teer- /pechtypische Bestandteilen
ISO	Internationale Organisation für Normung
KRC	Kaltrecycling
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz

LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LKW	Lastkraftwagen
MA	Gussasphalt
Mio.	Millionen
M KRC	Merkblatt für Kaltrecycling in situ
M RF	Merkblatt für das Rückformen von Asphalt-schichten
MVG	Marshallverdichtungsgerät
M VB-K	Merkblatt für die Verwertung von pechhaltigen Straßen-ausbaustoffen und von Asphaltgranulat in bitumengebundenen Tragschichten durch Kaltaufbereitung in Mischanlagen
M WA	Merkblatt für die Wiederverwertung von Asphalt
M VAG	Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat
PA	offenporiger Asphalt
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PmB	Polymermodifiziertes Bitumen
RA	reclaimed asphalt
RLK	Regionalleistungskatalog
RStO	Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen
RuK	Ring und Kugel
RuVA	Richtlinie für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau
SSD	saturated surface dry condition
SMA	Splittmastixasphalt
SoB	Schichten ohne Bindemittel

StB	Straßenbau
T	Tragschicht
TD	Tragdeckschicht
TL	Technische Lieferbedingung
TP	Technische Prüfvorschrift
UV	ultraviolett
Z	Zuordnungswert
ZTV	Zusätzliche Technische Vertragsvorschrift

Einheiten

°C	Grad Celsius
cm	Zentimeter
cm ³	Kubikzentimeter
g	Gramm
h	Stunde
M.-%	Masseprozent
mg	Milligramm
mm	Millimeter
K	Kelvin
kg	Kilogramm
t	Tonne
Vol.-%	Volumenprozent

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Nach den Prinzipien des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist der Asphalt als Teil der mineralischen Bauabfälle möglichst hochwertig und umweltverträglich wiederzuverwenden. Die Verwertung von Asphalt gewann im 20. Jahrhundert zunehmend an Bedeutung, auch unter dem gesellschaftlichen Aspekt einer nachhaltigen Lebensweise. Die Wiederverwendungsmenge von Ausbauasphalt ist von anfänglichen 0,3 Mio. t im Jahr 1982 bis auf ca. 12 Mio. t in den letzten Jahren angestiegen. Dies entspricht einer Verwertungsrate von knapp 90 %.¹ Um die bei der Herstellung des Asphalts benötigten Ressourcen zu schonen, wird das Ziel auch in der Zukunft sein, diese Rate weiter zu steigern.

Durch die mittlerweile gut ausgebaute Infrastruktur verlagerte sich in Deutschland das Hauptaugenmerk der Straßenbauaktivitäten vom Neubau immer weiter zu den Erhaltungsmaßnahmen. Da bei solchen Erhaltungsmaßnahmen weniger Tragschichten, sondern mehr Deck- und Binderschichten erneuert werden, gewinnt die Wiederverwendung von Asphaltmischgut für diese zwei oberen Schichten weiter an Bedeutung.² Problematisch dabei ist, dass bei diesen Sanierungen immer ein erheblicher Anteil an ausgebautem Asphalt übrig bleibt, welcher nicht vollständig für neue Asphaltdecken oder –binderschichten verwendet werden kann. Die heutigen Regeln der Technik beschränken die Zugabemengen bei Asphaltdeck- und Binderschichten mehr als bei Asphalttragschichten. Dennoch werden oft die maximal möglichen Zugabemengen von Asphaltgranulat, besonders bei Deckschichten, nicht vollkommen ausgenutzt. Es wird mit der hohen Beanspruchung der Asphaltdecken und den begrenzenden Vorgaben der Vorschriften begründet. Durch diese Umstände wachsen die Lager mit Ausbauasphalt weiter an, für die es ansonsten kaum Verwertungsmöglichkeiten gibt.

¹ vgl. Deutscher Asphaltverband e.V., 2014, S.4

² vgl. Deutscher Asphaltverband e.V., 2014, S.4

1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Diplomarbeit hat das Ziel darzustellen, wie ausgebauter Asphalt im Straßenbau verwertet wird. Dabei wird untersucht wie der höchstmögliche Anteil von Asphaltgranulat in einer Asphaltdeckschicht wiederverwendet werden kann und wie sich dieser auf die Deckschicht auswirkt. Der erste Teil beschäftigt sich mit den theoretischen Grundlagen, welche zum Verständnis der Arbeit erforderlich sind. Es wird der Asphalt als Baustoff im Straßenbau erläutert, bevor die gesetzlichen Grundlagen der Asphaltverwertung aufgearbeitet werden. Anschließend werden die unterschiedlichen Verwertungsverfahren nach aktuellem Stand der Technik beschrieben.

In den letzten Kapiteln der Diplomarbeit werden Laborversuche zur Asphaltdeckschicht durchgeführt. Diese sollen aufzeigen, bis zu welchem Punkt man die Zugabewerte im Rahmen der heutigen Gesetze steigern kann und wo in Zukunft Probleme entstehen könnten und wie man diese löst.

2. Asphalt als Baustoff im Straßenbau

2.1 Asphaltzusammensetzung

Asphalt ist ein Gemisch aus Gesteinskörnungen, Bitumen oder bitumenhaltigen Bindemitteln, und gegebenenfalls Zusätzen, auch Additive genannt. Er wird hauptsächlich als Asphaltmischgut in Asphaltmischanlagen zur Befestigung von Straßen und Verkehrsflächen hergestellt. Allerdings kann er auch aus natürlichen Vorkommen gewonnen werden, wobei dieser dann nur als Zuschlagsstoff für maschinell hergestellte Asphalte verwendet wird. Von den technischen Asphalten gibt es unterschiedlich zusammengesetzte Arten, an die verschiedene Anforderungen gestellt werden. Diese Arten sind:

- Asphaltbeton → AC
- Splittmastixasphalt → SMA
- Gussasphalt → MA
- offenporiger Asphalt → PA

Die Mischgutart Asphaltbeton – AC, auf die in dieser Arbeit das Hauptaugenmerk gelegt wird, kann darüber hinaus in Schichten untergliedert und diese haben gemäß TL Asphalt- StB 07/13 folgende Bezeichnungen:

- Asphalttragschichtmischgut → T
- Asphaltbinder → B
- Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten → D
- Asphalttragdeckschichtmischgut → TD

Während eine Tragschicht die Verkehrskräfte abträgt und als gleichmäßige Unterlage für Binder- und Deckschichten dient, soll die Binderschicht die Schubspannung aufnehmen und die vorhandenen Unebenheiten der Tragschicht verringern. Die Asphaltdeckschicht unterliegt den unmittelbaren Einwirkungen des Verkehrs, der Taumittel und der Witterung. Sie soll verschleißfest sowie verformungsbeständig sein und muss dem Verkehr als eine dauerhaft verkehrssichere und gut befahrbare Oberfläche dienen.

Asphalttragdeckschichten sind eine Kombination aus Trag- und Deckschichten. Sie wurden für vergleichsweise gering mächtige Asphaltbefestigungen im ländlichen Wegebau entwickelt und kommen auch im Bau von Rad- und Gehwegen zur Anwendung.

Die Abbildung 1 zeigt die mögliche prozentuale Zusammensetzung von technisch hergestelltem Asphalt und die folgenden Kapitel behandeln dessen Bestandteile.

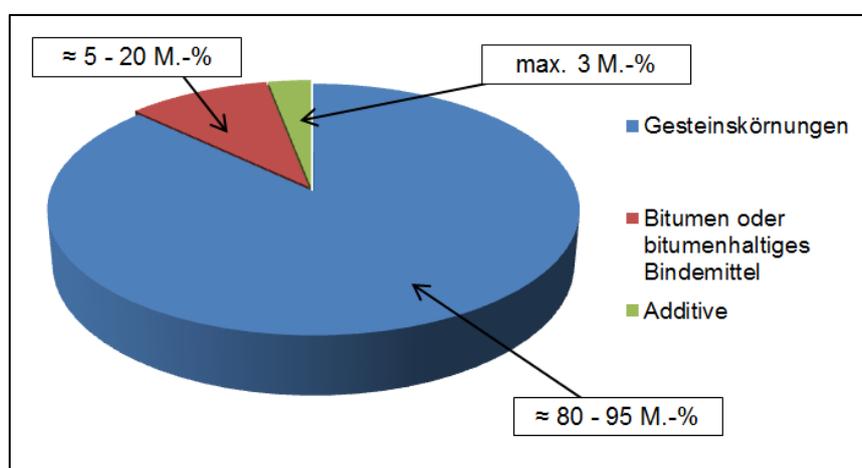


Abbildung 1 prozentuale Zusammensetzung des Asphaltes

Durch unterschiedliche Zusammensetzungen verändern sich die Eigenschaften des Asphalts. Dieser Aspekt wird auch außerhalb des Straßen- und Verkehrswegebbaus ausgenutzt, zum Beispiel um Abdichtungsarbeiten im Wasser- und Deponiebau auszuführen.

2.1.1 Gesteinskörnungen

Asphalte, die für den Straßenbau hergestellt werden, bestehen je nach Art, zu etwa 80 bis 95 M.-% aus Gesteinskörnungen. Deren Aufgabe ist es, die aufkommenden Druck- und Schubkräfte aufzunehmen und über die ausgebildete Kornstruktur im Mischgut auf die unteren Schichten abzuleiten.

Im Allgemeinen sind die Qualitätsanforderungen an die Gesteinskörnungen sehr hoch, das gilt vor allem für:

- Wetter-, Tausalz- und Frostbeständigkeit, mit besonderen Anforderungen beim Einsatz in Deckschichten
- Druck- und Schlagfestigkeit
- Widerstand gegen Hitzebeanspruchung, falls sie zur Herstellung von Heißmischgut eingesetzt werden
- Widerstandsfähigkeit gegen Polieren sowie ausreichende Lichtreflexion, bei Verwendung in oberflächennahen Schichten, um ausreichende Verkehrssicherheit (Griffigkeit und Helligkeit) zu gewährleisten
- Affinität zum Bindemittel³

Die Affinität beschreibt in diesem Fall das Bestreben der chemischen Strukturen von Bitumen und Gesteinskörnungen in Wechselwirkungen zu treten. Außerdem ist sie ein Maß für das Benetzungs- und Haftungsvermögen von Bitumen an Gesteinskörnungen.

Für Gesteinskörnungen gelten die TL Gestein- StB 04/07 und die darin aufgeführten Prüfverfahren. Nach dieser TL unterscheidet man die Mineralien im Straßenbau nach der Korngröße, dem Über- und Unterkorn, der Reinheit der Korngemische, sowie der Kornformen. Die Unterscheidung nach der Korngröße erfolgt folgendermaßen:

- grobe Gesteinskörnungen → > 2 mm
- feine Gesteinskörnungen → ≤ 2 - 0,063 mm
- Füller → < 0,063 mm

Beim Füller, auch Gesteismehl genannt, unterscheidet man zusätzlich zwischen Fremd-, Eigen- und Mischfüller. Der Eigenfüller besteht aus den feinen und groben Anteilen der Gesteinskörnungen, während der Fremdfüller ebenfalls mineralischen Ursprungs ist, aber aus einer anderen Gesteinskörnung hergestellt wurde. Der Teil des Eigenfüllers, welcher bei der Asphaltproduktion abgezogen wird, wird als Rückgewinnungsfüller bezeichnet.

³ vgl. WENDEHORST BAUSTOFFKUNDE, 2011, S. 778

Der Mischfüller ist mineralischen Ursprungs, jedoch mit Calciumhydroxid gemischt. Er besteht aus kalkhaltigen Bestandteilen, welche die Eigenschaften hinsichtlich der Feuchtigkeitsbeständigkeit, der Zugfestigkeit und der Verformungsstabilität verbessern sollen. Die Füller beeinflussen, wie auch die feinen Gesteinskörnungen, die Verdichtbarkeit und die Verarbeitbarkeit des Asphalts.

Die Gesteinskörnungen, die für Asphaltmischgut verwendet werden, müssen ebenfalls die Anforderungen der TL Asphalt- StB 07/13 für den jeweiligen Verwendungszweck erfüllen. Falls es zum Widerspruch der Technischen Lieferbedingungen Gestein und Asphalt kommt, haben für den Asphaltbau die Regelungen der TL Asphalt- StB 07/13 Vorrang. Diese Vorschriften gelten sowohl für natürliche als auch für industriell hergestellte und rezyklierte Gesteinskörnungen. Zu den industriell hergestellten Gesteinskörnungen zählen in Deutschland beispielsweise Hochofenschlacke, Hüttensand und Hausmüllverbrennungssasche.⁴ Rezyklierte Gesteinskörnungen wurden vorher bereits als Baustoff eingesetzt und werden dann wiederverwendet. Asphaltgranulat, welches im Punkt 3.1 näher beschrieben wird, stellt ebenfalls ein rezykliertes Produkt dar.

2.1.2 Bindemittel

2.1.2.1 Technisch hergestelltes Bitumen

Die Gewinnung des technisch hergestellten Bitumens erfolgt über eine fraktionierte Destillation des Erdöls. Dies geschieht in einer Vakuumkolonne, die in der Abbildung 2 auf der Seite 7 zu sehen ist. Bei diesem Verfahren werden dem Erdöl zunächst hochwertigere Bestandteile wie Treibstoff oder Leicht- und Schweröle entnommen. In der darauffolgenden Vakuumdestillation werden dem Rückstand weitere Produkte wie Schmier- oder Gasöle entzogen.⁵

⁴ vgl. WENDEHORST BAUSTOFFKUNDE, 2011, S. 778

⁵ vgl. WENDEHORST BAUSTOFFKUNDE, 2011, S. 752

Der übrig gebliebene Rückstand kann direkt als Bitumen verwendet werden. Bitumen, die durch ein solches Verfahren hergestellt werden, bezeichnet man als Destillationsbitumen.



Abbildung 2 Vorgang der Vakuumdestillation in einer Vakuumkolonne
(online: wikipedia.de, 2016)

Bitumen ist ein nahezu nicht flüchtiges, klebriges Produkt mit thermoviskosem Verhalten. Stoffe mit thermoviskosem Verhalten werden auch als Thermoplaste oder Plastomere bezeichnet. Die Verformungsfähigkeit solcher Stoffe steigt, je mehr Wärme zugeführt wird. Das ist besonders für die verschiedenen Verarbeitungsformen von Bedeutung. Verschiedene Bitumensorten haben somit unterschiedliche Einbautemperaturen. So müssen härtere Sorten generell heißer verarbeitet werden als weiche. Sie erreichen die erforderliche Konsistenz für die nötige Belastbarkeit, wenn sie nach der Verarbeitung auf normale Tagestemperaturen abkühlen.⁶

⁶ vgl. WENDEHORST BAUSTOFFKUNDE, 2011, S. 756

Dieses thermoviskose Verhalten spielt auch für die Wiederverwendung von Ausbauphase eine entscheidende Rolle. Das aus dem Ausbauphase gewonnene Asphaltgranulat enthält verhärtetes Bitumen. Dies kann durch das Heißmischverfahren verflüssigt und dadurch für den Mischprozess wieder brauchbar gemacht werden.

Bitumen ist ein Gemisch aus hochmolekularen Kohlenwasserstoffen und enthält außerdem chemisch gebundenen Schwefel, Sauerstoff, Stickstoff und einige Spuren von Metallen. Die Tabelle 1 enthält eine Übersicht der Hauptbestandteile.

chemisches Element	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Schwefel	Sonstiges
Abkürzung des chem. Elements	C	H	O	N	S	-
Masseanteil [%]	80 - 85	7 - 10	2 - 9	0,1 - 1	0,5 - 7	< 0,1

Tabelle 1 Prozentuale Verteilung der Hauptbestandteile im Bitumen
(eigene Darstellung in Anlehnung an WENDEHORST, BAUSTOFFKUNDE, 2011, S. 752)

Die physikalischen Eigenschaften der Bitumen machen sie für das Bauwesen so interessant, insbesondere der hydrophobe Charakter. Dadurch wird es häufig als Abdichtungsmaterial im Hochbau gegen Regenwasser und im Tiefbau bei Bodenfeuchte oder drückendem Wasser eingesetzt.

Einzig in Verbindung mit Kohlenwasserstoffen gleicher Herkunft, wie zum Beispiel Kraftstoffen, reagiert das Bitumen empfindlich. Es ist ihnen gegenüber nicht beständig und wird durch sie zersetzt. Diese Eigenschaft wird mittlerweile bewusst genutzt, unter anderem bei der Herstellung von Bitumenlösungen oder bei Mischgutuntersuchungen im Labor. Des Weiteren lassen Sauerstoff und UV-Strahlungen, von denen Deckschichten besonders beansprucht sind, das Bitumen erhärten und verspröden, man spricht von der sogenannten Bitumenalterung. Diese wird in drei Arten unterteilt, die destillative Alterung, die oxidative Alterung und die Strukturalterung.

Die chemischen Prozesse, die bei diesen Alterungsmechanismen ablaufen, werden im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht weiter behandelt. Von Bedeutung ist, dass es bei jeder Art zu einer Verschlechterung der Gebrauchseigenschaften des Bitumens kommt.

Die nachfolgende Tabelle 2 fasst die wesentlichen Eigenschaften der Bitumen zusammen.

Eigenschaft	Beschreibung
Farbe	schwarz
Aggregatzustand	im Gebrauchstemperaturbereich praktisch fest
Viskosität	temperaturabhängig
Dichte	1,01 bis 1,07 g/cm ³ (bei 25 °C)
Alterung	empfindlich gegenüber: - Sauerstoff - UV- Strahlung - thermischer Beanspruchung
Empfindlichkeit gegenüber Chemikalien	praktisch resistent
Empfindlichkeit gegenüber organischen Lösungsmitteln (z. B. Kraftstoffe)	empfindlich
Entflammbarkeit	schwer entflammbar
Verformungsverhalten	visko- elastisch, thermo- viskos
Wasserdurchlässigkeit	praktisch wasserundurchlässig

Tabelle 2 Eigenschaften der Bitumen
 (eigene Darstellung in Anlehnung an WENDEHORST, 2011, S. 761)

Die üblichen Bindemittel im Asphaltstraßenbau sind die Straßenbaubitumen und die Polymermodifizierten Bitumen gemäß den TL Bitumen- StB 07/13. Straßenbaubitumen sind Sorten, die zur Herstellung von Asphaltflächen verwendet werden.

Sie werden mit der für die jeweilige Sorte geltenden Anforderungsspanne für die Nadelpenetration nach DIN EN 1426, der so genannten Eindringtiefe, bezeichnet. Diese Prüfverfahren werden nach der Vorstellung der Straßenbaubitumen und der Polymermodifizierten Bitumen erläutert. Es folgen gängige Sorten von Straßenbaubitumen mit deren Einsatzmöglichkeiten. Die aufgeführte Abkürzung „Bk“ stellt die Belastungsklasse nach RStO12 dar. Straßen werden durch Berechnung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchungen in diese Klassen eingeordnet.

- **70/100:** (weich) Asphalttragdeckschichten, Rad- und Gehwege; als Zugabe-Bindemittel für Asphalttragschichten → Bk0,3 bis Bk1,0
- **50/70:** (härter) Asphaltdeckschichten → Bk0,3 bis Bk1,8; als Zugabe-Bindemittel für Asphalttragschichten → Bk1,8 bis Bk100
- **30/45:** (hart) Asphaltdeckschichten aus Gussasphalt, sowie Tragschichten aus Asphaltbeton → Bk0,3 bis Bk100; in Verbindung mit viskositätsverändernden Zusätzen oder als entsprechend viskositätsverändertes Bindemittel
- **20/30:** (sehr hart) Asphaltdeckschichten aus Gussasphalt → Bk3,2 bis Bk100; in Verbindung mit viskositätsverändernden Zusätzen oder als entsprechend viskositätsverändertes Bindemittel

In der TL Bitumen- StB 07/13 wird außerdem das Bitumen 160/220 aufgeführt, dass allerdings nur für den Bau von Verkehrsflächen im ländlichen Wegebau eingesetzt werden darf.

Mittlerweile werden Bitumen verschiedenster Härten nach den unterschiedlichen Wünschen der Kunden hergestellt.

Bitumen, die durch den Einsatz chemischer Zusätze modifiziert werden, beispielsweise durch die Zugabe von Naturasphalt, bezeichnet man als modifizierte Bitumen. Eine Sonderform von ihnen sind die Polymermodifizierten Bitumen, kurz PmB. Diese werden durch die Zugabe polymerer Werkstoffe beeinflusst, vorwiegend Thermoplaste von bis zu 5 M.-%. Dadurch wird das Temperatur- Viskositäts- Verhalten beeinflusst und dies hat unter anderem einen Anstieg des Erweichungspunktes, also eine Konsistenzverhärtung, zur Folge.⁷

Des Weiteren wird durch die Modifikationen eine Haftungsverbesserung des Bitumens am Gestein, eine Verringerung der Versprödung, ein besseres Tieftemperaturverhalten und eine bessere Beständigkeit gegen Verformung herbeigeführt. Gebrauchsfertige Polymermodifizierte Bitumen werden auch wie Straßenbaubitumen mit der für die jeweilige Sorte geltende Anforderungsspanne für die Penetration bezeichnet. Zusätzlich werden sie mit dem Mindestanforderungswert für den Erweichungspunkt Ring und Kugel nach DIN EN 1427 sowie mit einem „A“ für elastomermodifizierte Bitumen oder einen „C“ für plastomermodifizierte Bitumen angegeben. Der Unterschied der Elastomere gegenüber den Plastomeren liegt in der Art der Verformung. Thermoplaste lassen sich infolge Erwärmungen elastisch verformen, während Elastomere sich infolge Druck- und Zugbelastungen verformen und bei Entlastung wieder ihren Ursprungszustand annehmen.⁸

Gängige Sorten von Polymermodifiziertem Bitumen sind:

- **45/80-50 A:** (relativ weich) dünne Asphaltdeckschichten → Bk3,2 bis Bk100 (Heißbauweise)
- **25/55-55 A:** (hart) Asphaltdeckschichten → Bk3,2 bis Bk100; Asphaltbinderschichten → Bk3,2 bis Bk32
- **10/40-65 A:** (sehr hart) sehr hoch verformungsbeständige Verkehrsflächen mit Schwerverkehr → Bk100, teilweise auch in Verbindung mit viskositätsverändernden Zusätzen

⁷ vgl. WENDEHORST BAUSTOFFKUNDE, 2011, S. 763

⁸ vgl. RICHTER, HEINDEL, 2011, S. 396

- **40/100-65 A:** (hoch elastomermodifiziert) Offenporige Asphaltdeckschichten zur Lärminderung → Bk3,2 bis Bk100

Um das Verhalten der verschiedenen Bitumensorten mit unterschiedlichen Verwendungszwecken zu beurteilen und einzuordnen gibt es eine Vielzahl an Prüfverfahren. Sie werden durch europäische Normen und Regelwerke bestimmt. Die drei wichtigsten Prüfungen werden im nachfolgenden Abschnitt erläutert.

Weitere Prüfverfahren für Bitumen, die aber in dieser Arbeit nicht behandelt werden sind:

- Elastische Rückstellung nach DIN EN 13398
- Kraftduktilität nach DIN EN 13589
- Biegebalkenrheometer nach DIN EN 14771
- Dynamisches Scherrheometer nach DIN EN 14770

Die Nadelpenetration – Pen – nach DIN EN 1426 ist ein Maß für die Härte des Bindemittels. Eine Nadel dringt bei einer Temperatur des Bitumens von $T = +25^{\circ}\text{C}$ fünf Sekunden lang in die Bitumenprobe ein und die Eindringtiefe wird gemessen. Die Angabe der Penetration erfolgt in 1/10 mm. Ein Bitumen, das die Bezeichnung 50/70 trägt, hat somit eine Eindringtiefe infolge der Nadelpenetration von 5 mm bis 7 mm.

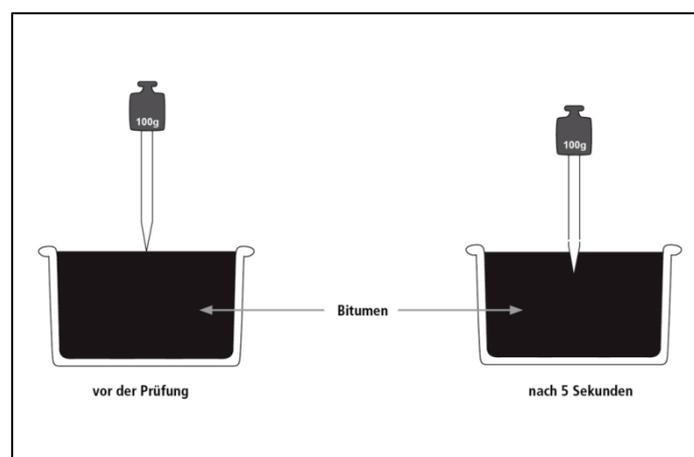


Abbildung 3 Nadelpenetration „Eindringtiefe“
(online: arbit.de, 2016)

Mit dem Prüfverfahren Erweichungspunkt Ring und Kugel – EP RuK – nach DIN EN 1427 erhält man Auskunft über das Wärmeverhalten des Bitumens.

Eine Stahlkugel wird auf eine Bitumenschicht aufgelegt. Anschließend wird diese Schicht in einem Flüssigkeitsbad unter festgelegten Bedingungen gleichmäßig erwärmt und die resultierende Verformung beobachtet. Die Temperatur, bei der die Verformung 25,4 mm beträgt ist der Erweichungspunkt Ring und Kugel.

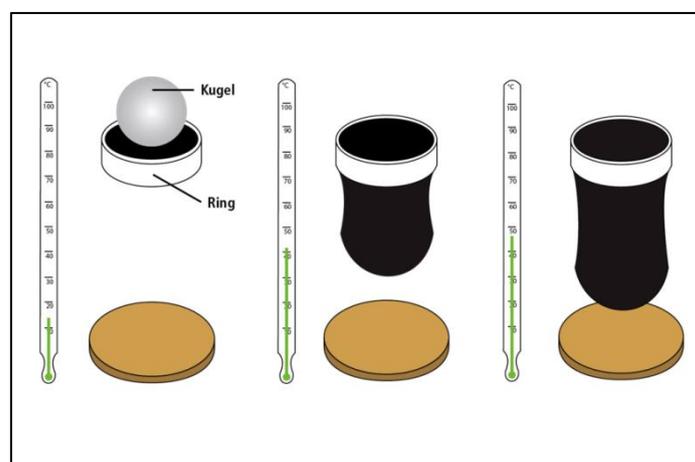


Abbildung 4 Erweichungspunkt Ring und Kugel
(online: arbit.de, 2016)

Während das Prüfverfahren EP RuK Auskunft über das Verhalten bei Wärme gibt, gibt die Lage des Brechpunktes nach Fraaß – BP – nach DIN EN 12593 einen Anhalt über das Verhalten des Bitumens bei niedrigen Temperaturen. Es wird eine definierte dicke Bitumenschicht auf ein Prüfblech aufgetragen. Vor Beginn der Prüfung muss die Probe eine Temperatur besitzen, die mindestens 15 °C über dem zu erwartenden Brechpunkt liegt. Anschließend wird die Temperatur konstant abgekühlt, das heißt 1 Kelvin je 60 +/- 5 Sekunden.

Dabei werden kontinuierliche Biegungen durchgeführt bis ein Riss entsteht. Die zum Zeitpunkt des Risses gemessene Temperatur ist auf 0,5 °C genau abzulesen und wird als Brechpunkt angesehen. Die Maßeinheit ist °C. Dieser Versuch gibt die Grenze an, bei der das plastische Verhalten des Bitumens in ein starr-elastisches Verhalten übergeht.

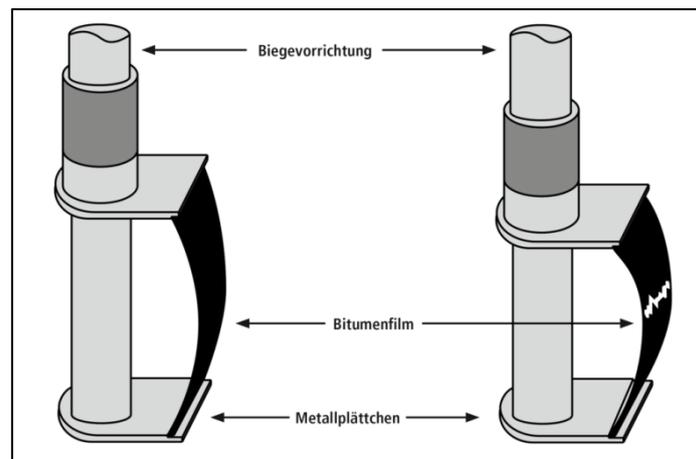


Abbildung 5 Erweichungspunkt Ring und Kugel
(online: arbit.de, 2016)

2.1.2.2 Natürliches Bitumen im Naturasphalt

Neben den technisch hergestellten Bitumen gibt es auch das in natürlichen Lagerstätten vorkommende Bitumen. Durch verschiedene chemische Prozesse, wie zum Beispiel Langzeitdestillation, -polymerisation und -kondensation bildet sich aus dem in der oberen Erdkruste eingelagertem Erdöl dieses schwerflüchtige Gemisch. In Verbindung mit feinen oder sehr feinen Mineralstoffen ergibt es den Naturasphalt. Die bekanntesten Vorkommen auf der Erde befinden sich in Trinidad, Albanien und in den USA.

Die Tabelle 3 listet diese drei Naturasphalte auf und beschreibt wesentliche Eigenschaften.

Name (Herkunft)	Kurzbeschreibung	Bitumen			Anteil Mineralstoffe [M.-%]
		Anteil [M.-%]	EP RuK [°C]	Pen [1/10 mm]	
Trinidad Epuré (Trinidad)	Bitumenanteil ausgeglichen, Bitumen mittelhart mit hoher Klebekraft, sehr feine Mineralstoffe mit besonderer Zellstruktur	54	68 - 78	3 - 12	46
Selenizza (Albanien)	Bitumenanteil hoch, Bitumen hart und spröde, Mineralstoffe teilw. Quellfähig	79	121	0	21
Gilsonite (USA)	Bitumenanteil sehr hoch, Bitumen sehr hart und spröde	98	132 - 185	0	2

Tabelle 3 Bekannte Naturasphalte

(eigene Darstellung in Anlehnung an UNGEWITTER, 2009, S. 5)

Das natürliche Bitumen und der Naturasphalt spielen im heutigen Straßenbau eine untergeordnete Rolle, da man die destillierten Bitumen als Basisbindemittel verwendet. Sie werden jedoch herangezogen, um Destillationsbitumen hinsichtlich ihrer Temperatur- Viskositäts- Kurve, ihrer Kohäsion und Adhäsion zu verbessern und gleichzeitig Asphaltmischgüter mit passenden Füllern zu stabilisieren. Der Naturasphalt wird in Kombination mit Straßenbaubitumen benötigt, wenn bestimmte Eigenschaften des Mischgutes angestrebt werden, beispielsweise das Erreichen einer hohen Nutzungsdauer einer Deckschicht.

Bekannt und geeignet ist dafür das Trinidad Epuré. Es entsteht aus einem Aufschmelzprozess des in Trinidad vorkommenden Naturasphaltes. Dadurch ist es eher als eine Emulsion zu betrachten.⁹ Um die Verwendung in Asphaltmischwerken zu ermöglichen, wird der Trinidad Naturasphalt zu einfach dosierbaren Produkten nach DIN EN ISO 9001:2000 zum Beispiel als Granulat oder in gemahlener Form weiterverarbeitet. Diese Produkte können in einem Dosierschritt als Zusätze dem Mischprozess zugegeben werden. Typische Produkte sind Trinidad Epuré Z 0/8, Trinidad NAF 501 oder Trinidad Pulver 50/50.¹⁰

⁹ vgl. UNGEWITTER, 2009, S. 5

¹⁰ vgl. UNGEWITTER, 2009, S. 9

2.1.2.3 Teer- und pechhaltige Bindemittel

Bis 1984 kam in Westdeutschland noch Straßenpech, beziehungsweise Straßenteer als Bindemittel im öffentlichen Straßen- und Wegebau zum Einsatz. In Ostdeutschland war dies sogar bis 1990 der Fall. Der Grund für das Verwendungsverbot im öffentlichen Bereich ist das Risiko für die Umwelt und die Gesundheit, besonders bei der Verarbeitung.

Eine große Bedeutung bei der Herstellung von Teer spielt der Kokereiteer, welcher bei der Verkokung von Steinkohle entsteht. Die Verkokung ist der Prozess, bei dem Kohle durch einen Destillationsvorgang, auch Pyrolyse genannt, in Koks umgewandelt wird. Ein Nebenprodukt dieses Vorgangs ist der Teer. Wird dieser Teer nun durch eine erneute Destillation veredelt, entsteht als Destillationsrückstand das Teerpech. Durch eine Aufbereitung dieses Stoffes entsteht das Straßenteerspezialpech, welches früher als Bindemittel eingesetzt wurde. Die Erzeugnisse aus diesen Vorgängen enthalten oft einen Großteil an Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen – PAK –, welche der Grund für ein Verwendungsverbot von Teer und Pech im späten 20. Jahrhundert waren. PAK entstehen allerdings bei jedem unvollständigen Verbrennungsprozess und sind beispielsweise nachweisbar in Hausbrand- und Autogasen, Tabakrauch oder bei Waldbränden.¹¹

Diese organischen Verbindungen der PAK sind für den Menschen und die Umweltorganismen eine besorgniserregende Stoffgruppe. Sie haben teilweise karzinogene, erbgutverändernde oder fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften. Darüber hinaus sind viele der über 10.000 Verbindungen persistent, bioakkumulierend und toxisch.¹² Bioakkumulierend ist die Eigenschaft von Stoffen sich in Organismen anzureichern. Zur Stoffgruppe der PAK gehören alle Verbindungen, die aus zwei bis sieben Ringen von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen aufgebaut sind.

¹¹ vgl. METZ, 2009, S.5-6

¹² online: PAK, 2016 (06.07.2016)

Die amerikanische Umweltschutzbehörde EPA – Environmental Protection Agency – hat in den 1980er Jahren aus mehreren hundert PAK- Verbindungen 16 in die Liste der wichtigsten Schadstoffe aufgenommen. Der chemische Aufbau der 16 PAK nach EPA ist Abbildung 6 dargestellt.

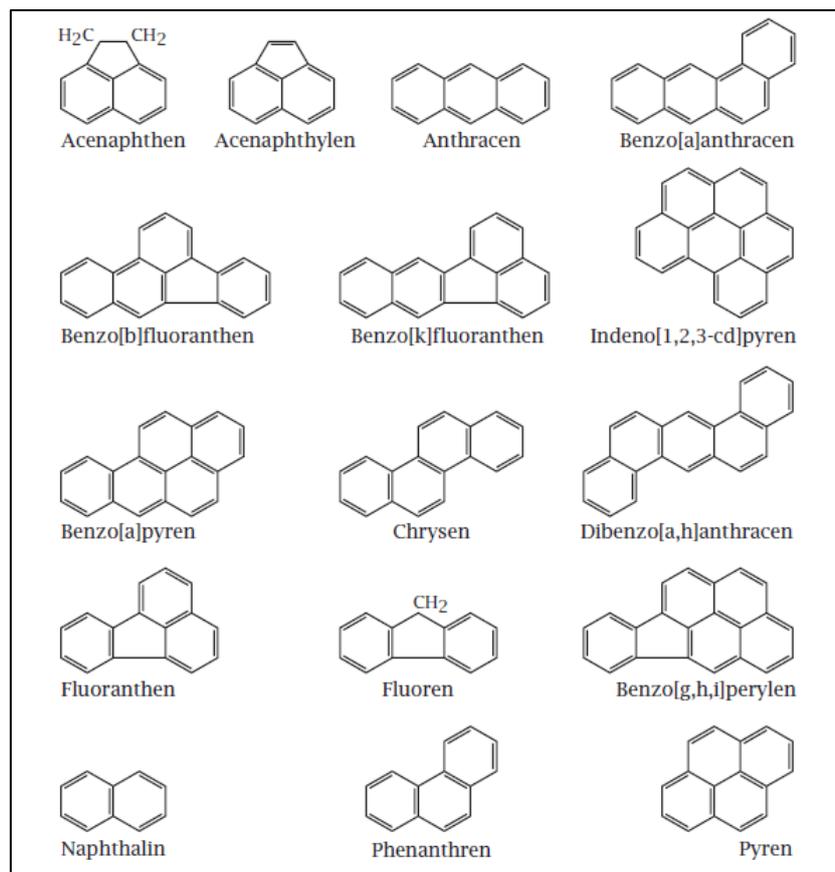


Abbildung 6 Chemische Struktur der PAK nach EPA
(METZ, 2009, S.7)

PAK besitzen eine sehr geringe Wasserlöslichkeit, sind bei Raumtemperatur fest und binden sich sehr gut an Boden-, Ruß-, oder Staubpartikel.

Die Gefahr bei der bautechnischen Verarbeitung von teerstämmigen Ausbaustoffen besteht, wenn der Teer mit Wasser in Verbindung kommt und die Aromate durch Elution ins Grundwasser gelangen.

Eine Elution beschreibt das Ab- und Herauslösen von Stoffen durch Lösungsmittel aus festen oder flüssigen Materialien. Das ausgetragene Gemisch aus gelösten Substanzen und Lösungsmitteln ergibt das Eluat.

Aus diesem Grund wurden ab dem Verwendungsverbot von Teer und Pech im öffentlichen Bereich nur noch Bitumen eingesetzt. Ihr Anteil an PAK ist bedeutend niedriger.

2.1.3 Additive

Zusätze, oder auch Additive genannt, sind nach TL Asphalt- StB 07/13 Bestandteile, die dem Bindemittel oder dem Asphaltmischgut zugegeben werden können, um die Eigenschaften des Asphaltmischgutes zu verbessern. Sie dürfen nur zugegeben werden, wenn darüber nachweislich ausreichend positive Erfahrungen vorliegen. Außerdem müssen die Art und die Eigenschaften der Zusätze deklariert werden.¹³

Mit diesen Zusätzen werden zum Beispiel die Reduzierung der Herstelltemperatur, eine Veränderung des Viskositätsverhaltens oder eine Verbesserung der Haftung zwischen Gesteinskörnung und Bindemittel erreicht.

Sie werden in geringen Mengen, oft nicht mehr als 3 M.-%, dem Mischprozess überwiegend in drei Formen zugeben:

- Zusätze werden lose, beispielsweise in Granulatform, über eine Granulatwaage in den Mischer zugegeben. Sie können auch chargenweise in die Füllerverwiegung geleitet werden und gelangen von dort in den Mischer.
- Zusätze, zum Beispiel in Cellulosefasern, werden in Form von Big Bags, welche circa 350 kg wiegen, in einen Differenzverwiegebehälter entleert. Nach der Verwiegung gelangen die losen Zusätze in den Mischer.
- Zusätze in Paketform, wie das Trinidad NAF 501, gelangen über ein Ba oder eine Rutsche in den Mischer.¹⁴

¹³ vgl. FGSV, TL Asphalt- StB 07/13, 2007/13, S. 11 (Straßenbau A – Z)

¹⁴ vgl. HUTSCHENREUTHER, 2010, S. 214- 215

2.2 Asphaltherstellung

In Asphaltmischanlagen wird das Asphaltmischgut über einen thermischen Vermischungsprozess hergestellt. Es gibt dabei Unterschiede bei den Anlagentypen als auch bei den Produktionsverfahren.

2.2.1 Aufbau einer Asphaltmischanlage

Bei Asphaltmischanlagen wird zwischen drei Anlagentypen unterschieden. Die am häufigsten vorkommenden sind die stationären Anlagen, welche auf Betonfundamenten errichtet werden müssen. Diese werden meist an verkehrsgünstigen Orten, beispielsweise an Autobahnabfahrten oder in Industriegebieten platziert. Damit soll ein großer Lieferbereich abgedeckt werden und der Lieferweg zu den Baustellen wird kurz gehalten. In manchen Gebieten werden diese stationären Asphaltmischanlagen direkt in Mineralstofflagerstätten wie Steinbrüchen gebaut, um die Lieferungen der Gesteinskörnungen und weiteren Mineralien kostengünstig zu halten.

Für Baustellen mit einem sehr begrenzten Zeitrahmen und mehreren Bauabschnitten eignen sich leicht versetzbare Typen. Diese Anlagen ziehen mit dem jeweiligen Bauabschnitt um und sind auf einem eigenen Stahlfundament gebaut.

Eher unüblich, aber für kleine Losgrößen in abgelegenen Gegenden gut geeignet, sind die radmobilen Anlagentypen. Diese benötigen als Fundament lediglich einen von LKW befahrbaren Platz.¹⁵

Im Folgenden wird die technische Ausstattung einer Asphaltmischanlage dargestellt. Dabei wird das Recycling von Ausbauasphalt durch die Zugabe von Asphaltgranulat nicht berücksichtigt. Diese Besonderheiten bei der Produktion werden im Abschnitt 3.3 genauer erläutert.

¹⁵ online: Asphaltmischanlagen, 2016 (08.07.2016)

Die Abbildung 7 zeigt das Beispiel eines Mischwerkes. Seit mehreren Jahren werden unabhängig vom Mischwerkshersteller bestimmte Anlagenbausteine in einer gleichen Reihenfolge zusammengefügt.

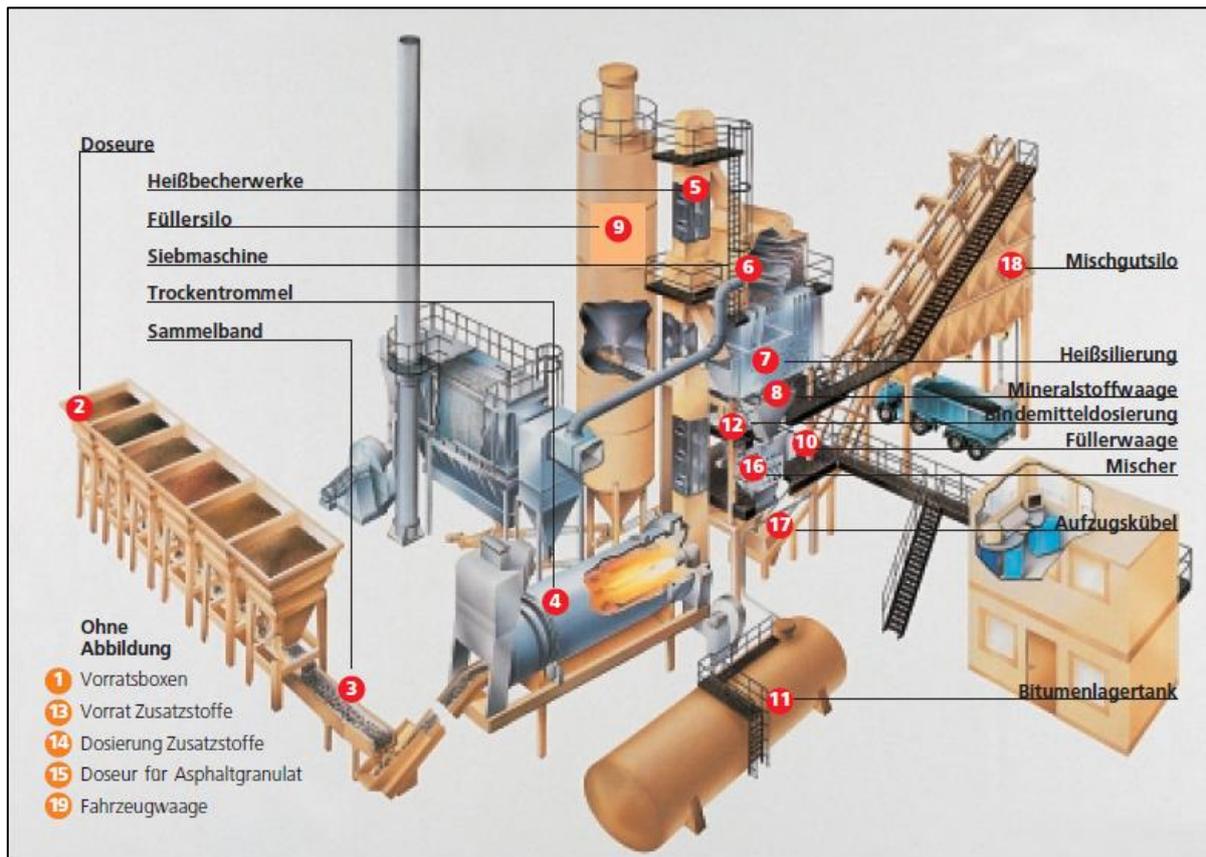


Abbildung 7 Technische Ausstattung einer Asphaltmischanlage
(Deutscher Asphaltverband e.V., 1999, S. 32)

Um einen bestimmten Kornaufbau im Asphalt zu erzielen, werden die Mineralstoffe anteilig gemischt. Für das Mischgutverhältnis und den Bindemittelgehalt bestehen Vorschriften und Richtlinien. Die heutigen Asphaltmischanlagen sind meist so konzipiert, dass sich alle vorkommenden Rezepturen herstellen lassen.

2.2.2 Herstellungsprozess

Zur Herstellung von Asphaltmischgut werden folgende wesentliche Verfahrensschritte durchgeführt:

- Vordosieren der Mineralstoffe
- Trocknen und Erwärmen der Mineralstoffe
- Klassieren der Mineralstoffe durch Absieben
- Abwiegen der Komponenten
- Vermischen der abgewogenen Komponenten
- Lagerung im Mischgutverladesilo

Die Anlieferung der Ausgangsstoffe an die Asphaltmischanlage erfolgt je nach logistischen Gesichtspunkten mit dem LKW, der Bahn oder dem Schiff. In Deutschland überwiegt der Transport mit dem LKW. Sind die mineralischen Einsatzstoffe an der Mischanlage angekommen, werden diese nach Gesteinsart und Kornklassen getrennt und auf sauberen, befestigten Flächen gelagert. Diese Lagerung kann offen oder mit Überdachung erfolgen. Häufig werden Boxen aus Holz oder Beton hergestellt, um die Körnungen gut voneinander abzugrenzen. Die teuerste und aufwendigste Lagerungsmöglichkeit ist die Box mit Dachkonstruktion. Sie hat den Vorteil, dass die Gesteinskörnungen vor Niederschlägen und Wind geschützt sind und somit wird Energie bei der Trocknung eingespart.

Die Zuführung der Körnungen zum Mischprozess erfolgt meist über einen Radlader, der die verschiedenen Fraktionen in separate Doseure aufgibt und diese von dort, je nach verwendeter Rezeptur, anteilig auf ein Sammelband gegeben werden. Der Abzug aus den Doseuren erfolgt durch Dosiergeräte, wie zum Beispiel Stoßaufgeber, Abzugsbänder oder Bandwaagen. Vor der Zuführung zur Trocknung wird das Mineralstoffgemisch vom Sammelband über eine Vorabsiebung geführt, um Überkornbestandteile auszusieben. Durch ein Beschickerband wird das Mineralstoffgemisch der Trockentrommel zugeführt und dort durch einen leistungsfähigen Brenner auf die erforderliche Temperatur aufgeheizt.

Dieser Brenner wird mit Heizöl, Erd-, beziehungsweise Flüssiggas oder Festbrennstoffen betrieben. Der Brennstoffverbrauch, der nötig ist um 1 t Asphaltmischgut herzustellen liegt zwischen 4 und 10 kg/t.¹⁶ Bei speziell ausgerüsteten Trockentrommeln, die nach dem Gegenstromprinzip arbeiten, gibt es Unterschiede bei den maximalen Zugabemengen von Asphaltgranulat. Aus der Trockentrommel gelangt das Mineralgut über gekapselte Becherwerke zur Heißabsiebung, wo eine Trennung in Kornfraktionen mit anschließender Zwischenspeicherung erfolgt. Es ist allerdings auch möglich, für spezielle Rezepte die Heißabsiebung über einen Bypasskanal zu umgehen und das Mineralstoffgemisch direkt zur Heißsilierung zu transportieren. Die Heißabsiebung dient als Kontrolle, der mit dem Heißelevator tatsächlich geförderten Gesteinskörnung, im Vergleich zu der in der Erstprüfung vorgesehenen Zusammensetzung des Gemisches. Durch diese Siebmaschine werden folgenden Ungenauigkeiten bis zu einem gewissen Grad korrigiert:

- *„Über- und Unterkornanteile im Gesteinskörnungsgemisch,*
- *Vermischung verschiedener Kornfraktionen bei Lagerung,*
- *ungenau Anzeige der Doseure,*
- *gemeinsame Aufgabe mehrerer Kornfraktionen auf Doseure.“¹⁷*

Der Bypass kann verwendet werden, falls die Toleranzen des Mischgutes sehr hoch sind. Bei der Herstellung von Tragschichten ist das der Fall, jedoch nicht bei Deck- und Binderschichten, weshalb hier vom Einsatz abgeraten wird. Asphaltgranulat hingegen wird nicht über den Bypass transportiert.

¹⁶ vgl. HUTSCHENREUTHER, 2010, S. 204

¹⁷ HUTSCHENREUTHER, 2010, S. 206

In Abbildung 8 wird der Mischturm einer Asphaltmischanlage mit Siebmaschine dargestellt.

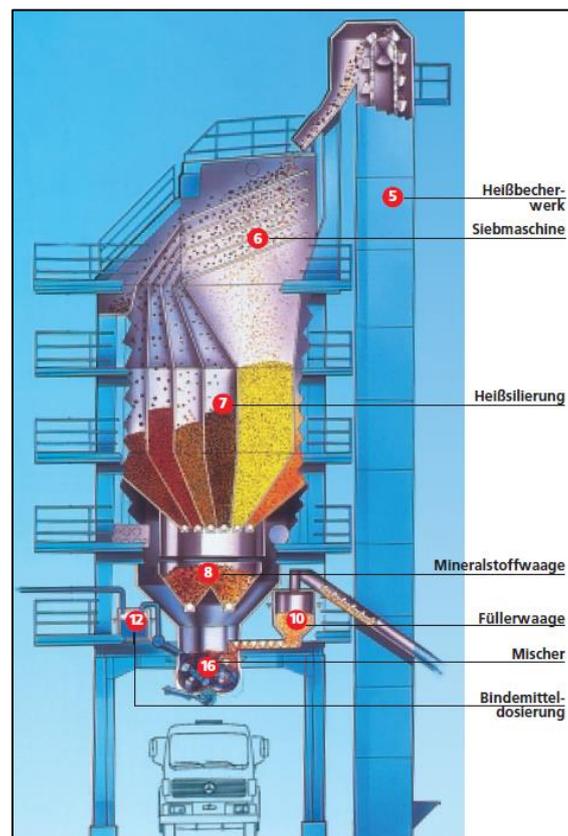


Abbildung 8 Mischturm einer Asphaltmischanlage
(Deutscher Asphaltverband e.V., 1999, S. 33)

Die Heißsillierung beim Mischvorgang kann man als Form der Zwischenlagerung ansehen. Die Körnungen werden in verschiedene Taschen des Mischturms geleitet. Dies ermöglicht ein unabhängiges Trocknen und Lagern der Gesteinskörnungen. Aus diesen Vorratssilos können nun Körnungen, mittels einer Mineralstoffwaage, abgezogen werden. Wenn alle benötigten Mineralstoffkörnungen im Wiegebehälter sind, wird das Mineralgemisch dem Mischer übergeben. Parallel zur Verwiegung des Gesteinsmaterials findet die Verwiegung des Füllers und des Bitumens statt. Das Bitumen, was abhängig von der Art ca. 5 – 20 M.-% des Asphaltmischguts ausmacht, ist in beheizbaren und wärmeisolierten Bitumentanks gelagert.

Über ebenfalls beheizte und wärmeisolierte Rohrleitungen wird das Bitumen in den Mischer gepumpt. Auch in Silos gelagert wird der Fremd- und Eigenfüller über Förderschnecken zur Füllerwaage geleitet und gelangt von dort aus in den Mischer. Im Mischer angekommen beginnt der eigentliche Mischvorgang. Falls Zusätze in der Asphaltherstellung benötigt werden, werden sie in diesem Schritt zugegeben. Für die Entstaubung der Abgase aus der Trockentrommel, der Heißgutabsiebung und dem Mischer ist ein Filter mit vorgeschaltetem Vorabscheider vorgesehen. In diesem werden die Grobpartikel des Staubes abgeschieden und somit der Filter entlastet. Der zurückgewonnene Grobstaub wird über eine Förderschnecke dem Heißelevator zugeführt. Von dort aus kommt er wieder über Schnecken und Schleusen in die Eigenfüllersilos und kann später im Mischprozess wiederverwendet werden. Das fertige bituminöse Mischgut wird über eine Schrägaufzugsbahn durch einen Aufzugskübel in die Mischgutverladesilos mit mehreren Lagerkammern befördert. Aus dem Mischgut-silo wird letztlich der LKW beladen, der das Mischgut nach der Verwiegung zur Baustelle transportiert.

Es bestehen Unterschiede zwischen den Mischerarten in einem Asphaltmischwerk. Den größten Teil bilden die Chargenmischer. Dort werden die Gesteinskörnungen, Füller und gegebenenfalls Additive dem Mischer chargenweise zugegeben. Anschließend wird das für das jeweilige Mischgut geforderte Bitumen eingebracht. Die Mischzeiten können individuell an die Asphaltarten angepasst werden. Diese Art von Mischer sind oft Zweiwellenzwangsmischer. Eine Charge kann circa eine bis fünf Tonnen betragen. Die Chargenzahl schwankt je nach Ausführung zwischen 60 und 100 Chargen/h.

Kontinuierlich arbeitende Mischer, auch Durchlaufmischer genannt, benötigen eine kontinuierliche Zugabe an Mischkomponenten. Zur Anwendung kommen hier Trommel-, Ein- oder Zweiwellenmischer. Diese Art ist gut für sehr große Baulose geeignet, da ein durchgehender Mischfluss entsteht.¹⁸

¹⁸ vgl. HUTSCHENREUTHER, 2010, S. 219

Ein Wechsel des Verarbeitungsrezeptes kann bei Bedienung verschiedener Baustellen täglich mehrmals notwendig sein. Dort sind die Chargenmischer klar im Vorteil. Durchlaufmischer stoßen an ihre Grenzen, wenn in kurz wechselnden Abständen spezielle Mischgutsorten hergestellt werden sollen. Aus diesem Grund sind ca. 97 % der heute bestehenden Mischanlagen Chargenmischer.¹⁹ Spezialmischanlagen wie Doppeltrommelmischer können bei der Herstellung von Sondermischgutarten, wie Splittmastixasphalt, zum Einsatz kommen. Diese kostspieligen Anlagen besitzen einen guten Wirkungsgrad und arbeiten insgesamt sehr sauber. Auf die Funktionsweise solcher Mischanlagen wird hier nicht weiter eingegangen.

¹⁹ vgl. HUTSCHENREUTHER, 2010, S. 218

3. Verwertung von Ausbauasphalt

3.1 Ausbauasphalt und Asphaltgranulat

Das Ziel dieser Arbeit ist die unterschiedlichen Verwertungsmöglichkeiten von Ausbauasphalt darzustellen. Dazu wird als nächstes der Ausbauasphalt und das daraus gewonnene Asphaltgranulat nach den TL AG- StB 09 erläutert und klassifiziert.

Ausbauasphalt wird je nach Ausbauphase in Fräs- oder Aufbruchasphalt aufgeteilt. Fräsasphalt ist der durch Fräsen kleinstückig gewonnene Ausbauasphalt. Idealerweise soll der Fräsasphalt lagen- oder schichtenweise gefräst und abgefahren werden, um eine Durchmischung der verschiedenen Asphaltsschichten zu verhindern. Dieses selektive Fräsen hat die qualitativ höchstwertige Wiederverwendung zur Folge. Als Aufbruchasphalt bezeichnet man die Schichtenpakete, die durch das Aufbrechen und dem Aufnehmen von Asphaltsschollen gewonnen werden. In Abbildung 9 sieht man Fotos von gefrästem (links) und aufgebrochenem Asphalt (rechts).



Abbildung 9 Fräs- und Aufbruchasphalt

(eigene Darstellung in Anlehnung an Deutscher Asphaltverband e.V., 2012, S. 13)

Asphaltgranulat, auch bezeichnet als Reclaimed Asphalt – RA –, ist das Resultat der Zerkleinerung von Fräs- und Aufbruchasphalt. Die maximale Stückgröße U wird dem Asphaltgranulat vorangestellt und die Bezeichnung der Kornklasse der Gesteinskörnung im Asphaltgranulat d/D wird angehängt. → Allgemein: U RA d/D

So bezeichnet die Sorte 11 RA 0/8 ein Asphaltgranulat mit einer unteren Siebgröße von 0 mm, einer oberen Siebgröße von 8 mm und einer maximalen Stückgröße von 11 mm, welche der Nennweite der Prüfsieböffnungen entspricht, durch die die größten Stücke gerade noch hindurchgehen. „Der Größtkorndurchmesser D des aus dem Asphaltgranulat extrahierten Gesteinskörnungsgemisches ist der größere der folgenden beiden Werte:

- Siebweite $M/1,4$ (M ist die kleinste Siebweite mit einem Siebdurchgang von 100 M.-%) und
- Kleinste Siebweite mit mindestens 85 M.-% Siebdurchgang.“²⁰

Ausbaustoffe lassen sich nach der RuVA- StB 01/05 in die drei Verwertungsklassen A, B und C aufteilen. Die RuVA- StB 01/05 ist eine Richtlinie, die die Verwertung von teer- und pechtypischen Bestandteilen, sowie die Verwertung von Ausbauasphalt regelt. Darauf wird im Abschnitt 3.2.3 näher eingegangen.

Asphaltgranulat muss nach TL AG- StB 09 der Verwertungsklasse A entsprechen und die dementsprechenden Anforderungen nach Tabelle 3 erfüllen. Ansonsten darf es nicht als solches wiederverwertet, sondern muss durch andere Verfahren verwertet oder entsorgt werden.

Verwertungs- klasse	Art der Ausbaustoffe		Gesamtgehalt im Feststoff PAK nach EPA [mg/kg]	Phenolindex im Eluat [mg/l]
A	Ausbauasphalt		≤ 25	≤ 0,1
B	Ausbaustoffe mit teer- /pechtypischen Bestandteilen	vorwiegend steinkohleteertypisch	< 25	≤ 0,1
C		vorwiegend braunkohleteertypisch	Wert ist anzugeben	< 0,1

Tabelle 4 Verwertungsklassen für Ausbaustoffe
(eigene Darstellung in Anlehnung an FGSV, RuVA 01/05, S. 9)

²⁰ FGSV, TL AG- StB 09, 2009, S. 6 (Straßenbau A – Z)

Der Gesamtgehalt an PAK im Feststoff, sowie der Phenolindex im Eluat sind nach TP Gestein- StB, Teil 7.3 in Verbindung mit dem Arbeitspapier Nr. 27/3 zu bestimmen. Der Begriff der Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe wurde im Punkt 2.1.2.2 erläutert. Der Phenolindex ist neben dem Gehalt an PAK nach EPA maßgebend für die Beurteilung der Ausbaustoffe. Dieser stellt die Summenkonzentration der in Wasser gelösten phenolartigen Substanzen dar. Phenole sind aromatische Hydroxylverbindungen, von denen besonders die durch Wasser eluierbaren Phenole umwelt- und gesundheitsrelevant sind. Im Gegensatz zu den PAK enthalten sie neben Kohlen- und Wasserstoffen auch Sauerstoff. Auf den Menschen können Phenole erbgut-, gefäßverändernd und toxisch wirken. Außerdem werden einigen von ihnen karzinogene Wirkungen zugeschrieben.²¹

Unabhängig vom Einsatzbereich oder von den Zugabeverfahren an den Asphaltmischanlagen ist die maximale Stückgröße des Asphaltgranulats aus verarbeitungstechnischen Gründen auf 45 mm zu begrenzen.²²

3.2 Gesetzliche Grundlagen zur Verwertung

Straßenaufbruch besteht aus Baustoffen der Oberbauschichten und aus Bodenverfestigungen des Unterbaus. Er fällt beim Rück-, Um- und Ausbau sowie bei Instandsetzungen von Straßen, Wegen und sonstigen Verkehrsflächen an. Zu ihm zählen unter anderem ungebundener Straßenaufbruch, Natur- und Betonwerksteine, hydraulisch gebundener Straßenaufbruch, Ausbauasphalt und pechhaltiger Straßenaufbruch. Alle genannten Stoffe fallen nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG12 – unter die Kategorie Abfall. Dieser muss, wie in der Einleitung bereits erwähnt, möglichst hochwertig verwertet werden. Dafür bestehen verschiedene Rechtsvorschriften und Verordnungen. In den folgenden Abschnitten werden diese für den Ausbauasphalt erläutert.

²¹ vgl. METZ, 2009, S. 11

²² vgl. FGSV, M VAG, 2000, S. 3 (Straßenbau A – Z)

3.2.1 Kreislaufwirtschaftsgesetz

Das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen, kurz Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG –, löste 2012 das bisherige Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz ab, welches im Jahr 1994 ausgefertigt wurde. Damit wurde das deutsche Abfallrecht an die EU- Abfallrahmenrichtlinie angepasst. Dieses Gesetz soll mit den darin enthaltenen Regeln die natürlichen Ressourcen schonen und den Schutz von Mensch und Tier bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherstellen.²³

Abfälle sind nach diesem Gesetz jene Stoffe, deren Besitzer sich ihrer entledigen. Wie genau man mit diesen Abfällen zu verfahren hat, wird jedoch nicht aufgeführt. Dafür existieren Einzelregelungen zur Verwertung, die in verschiedenen Verordnungen formuliert sind, deren Grundlage dieses Gesetz ist. Erzeuger oder Besitzer von Abfällen, sind für deren Verwertung verantwortlich, welche nach § 7, Absatz 2, sowie der Abfallhierarchie nach § 6, Absatz 1, Vorrang vor der Beseitigung hat. Falls Stoffe nicht verwertbar sind, sind sie automatisch Abfälle zur Beseitigung.

Die Verwertung muss ordnungsgemäß und schadlos erfolgen. Sie erfolgt ordnungsgemäß, wenn sie im Einklang mit den Vorschriften des KrWG12 und anderen öffentlich- rechtlichen Vorschriften steht. Schadlos bezieht sich auf die Beschaffenheit der Abfälle. Wenn keine Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit durch das Ausmaß der Verunreinigung und der Art der Verwertung zu erwarten sind, erfolgt sie schadlos. Auch von Bedeutung ist der Absatz 4 des Paragraphen 7 und die darin beschriebene Pflicht zur Verwertung. Diese Pflicht besteht, sofern dies technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist. Weiter wird beschrieben, dass die Verwertung auch dann technisch möglich ist, wenn eine Vorbehandlung des Stoffs erforderlich ist. Die wirtschaftliche Zumutbarkeit ist erfüllt, wenn die mit der Verwertung verbundenen Kosten nicht außer Verhältnis zu den Kosten stehen, die für eine Abfallbeseitigung zu tragen wäre.²⁴

²³ vgl. KrWG, 2012, S. 5 (Straßenbau A – Z)

²⁴ vgl. KrWG, 2012, S. 10 (Straßenbau A – Z)

Durch Vorbehandlungen technisch möglich verwertbar trifft beim Stoff Ausbauasphalt zu. Dieser wird als Aufbruchasphalt oder gegebenenfalls als Fräsasphalt zerkleinert, um das Produkt Asphaltgranulat herzustellen. Wirtschaftlich zumutbar trifft ebenfalls zu, da eine Wiederverwendung des Asphaltgranulats für alle Parteien günstiger ist, als beispielsweise eine Beseitigung des Asphalts auf einer Deponie.

Eine andere Rechtsfrage, die für die Verwertung eine Rolle spielt und im KrWG12 geklärt wird, ist, wann die Abfalleigenschaft des Ausbauasphaltes endet. Der Paragraph 5, Absatz 1 enthält die Antwort darauf. Es heißt, dass die Abfalleigenschaft eines Stoffes endet, wenn dieser ein Verwertungsverfahren durchlaufen hat und so beschaffen ist, dass

1. *„er üblicherweise für bestimmte Zwecke verwendet wird,*
2. *ein Markt für ihn oder eine Nachfrage nach ihm entsteht,*
3. *er alle für seine jeweilige Zweckbestimmung geltenden technischen Anforderungen sowie alle Rechtsvorschriften und anwendbaren Normen für Erzeugnisse erfüllt sowie*
4. *seine Verwendung insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt führt.“²⁵*

Durch diesen Paragraphen steht fest, dass die Abfalleigenschaft von Ausbauasphalt spätestens dann endet, wenn durch die Zugabe des Asphaltgranulats ins Mischgut, ein neues Produkt entsteht.

Wenn man den § 3, Absatz 24 zugrunde legt, kann man die Auffassung vertreten, dass Asphaltgranulat seine Abfalleigenschaft schon eher verliert. Dieser behandelt die Vorbereitung zur Wiederverwendung von Abfällen. Laut diesem Absatz reicht eine Prüfung oder Reinigung eines Abfalls für das Vorliegen einer Verwertung aus, wenn der Abfall ohne weitere Vorbehandlungen für denselben Zweck verwendet werden kann, für den er ursprünglich bestimmt war.

²⁵ KrWG, 2012, S. 9 (Straßenbau A – Z)

Nach dieser Rechtsauffassung bedeutet es, dass Ausbausphal, der zu Asphaltgranulat zerkleinert wurde, mit der Anlagerung auf dem Lagerplatz an der Asphaltmischanlage seine Abfalleigenschaft verliert.²⁶

3.2.2 Länderarbeitsgemeinschaft Abfall Mitteilung 20

Die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall – LAGA – ist ein Gremium der deutschen Umweltministerkonferenz. Die LAGA hat in ihrer Mitteilung 20, welche am 06.11.1997 veröffentlicht wurde, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen gestellt. Diese Mitteilung wurde im November 2003 überarbeitet und im Jahr 2004 für den Bereich „Boden“ aktualisiert. Sie umfasst drei Teile:

„Der Teil I (Allgemeiner Teil) beschreibt die übergreifenden Grundsätze und die allgemein gültigen Rahmenrichtlinien für die schadlose Verwertung, die unabhängig vom jeweiligen Abfall zu beachten sind.

Der Teil II (Abfallspezifische Anforderungen – Technische Regeln) enthält konkrete Festlegungen für die Untersuchung und Bewertung der jeweiligen Abfälle sowie ergänzende Vorgaben für den Einbau, insbesondere Zuordnungswerte und Einbaubedingungen.

Im Teil III (Probenahme und Analytik) werden die allgemein gültigen und anerkannten Verfahren für die Probeentnahme, die Probenaufbereitung und die Analytik sowie spezifische Vorgaben für die in den jeweiligen Technischen Regeln behandelten Abfallarten festgelegt.“²⁷

In dieser Mitteilung der LAGA sind für jeden mineralischen Abfall Grenzwerte, der im Abfall enthaltenen Schadstoffe, aufgeführt. Durch diese Grenzwerte werden die Stoffe den Zuordnungswerten Z 0 bis Z 5 zugeteilt. Bis Z 2 ist eine Verwertung der Abfälle Einbau durch Wiedereinbau möglich, ab Z 3 hat eine Beseitigung durch Deponierung nach Deponieverordnung – DepV – zu erfolgen. Die Zuordnungswerte ziehen verschiedene Einbaubedingungen mit sich. Ausschlaggebend für eine Einordnung sind die zulässigen Schadstoffkonzentrationen im Eluat und die zulässigen Schadstoffgehalte im Feststoff.

²⁶ vgl. Deutscher Asphaltverband e.V., 2014, S.8

²⁷ LAGA M20, 2003, S. 6

Bezogen auf diese Arbeit ist der im Teil II enthaltene Abschnitt Straßenaufbruch relevant. Wie im Punkt 3.2 erwähnt, besteht Straßenaufbruch aus den Oberbauschichten, sowie den Verfestigungen des Unterbaus. Für diese Schichten des Oberbaus werden normalerweise, in Abhängigkeit von den zu erfüllenden Erwartungen, unterschiedliche Baustoffe eingesetzt. Um eine möglichst hochwertige Verwertung zu gewährleisten, sollten die einzelnen Schichten – soweit technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar – voneinander getrennt erfasst und im Rahmen von Straßenbaumaßnahmen wiederverwendet oder verwertet werden.²⁸

Ausbauasphalt ist nach LAGA M 20 grundsätzlich getrennt auszubauen, um ein möglichst hochwertiges Zugabematerial für das Heißmischgut zu erhalten. Falls Ausbauasphalt für diesen Zweck verwendet wird, unterliegt der Einbau keinen Beschränkungen. Stattdessen soll der Einsatz in ungebundenen Schichten nach Möglichkeit vermieden werden. Falls es doch vorgesehen ist, muss aus Vorsorgegründen ein Nachweis geführt werden, dass keine schädlichen Verunreinigungen vorliegen.

Dies beinhaltet eine Untersuchung des PAK- Gehalts und bei Verdacht gegebenenfalls weiterer Parameter. Dann ist der Ausbauasphalt nach den Kriterien und Zuordnungswerten für den eingeschränkten offenen Einbau von Boden – Abschnitt II 1.2.3 in der LAGA M20 – zu bewerten. Abweichend davon wird für PAK nach EPA ein Zuordnungswert Z 1.1 von 10 mg/kg festgelegt.²⁹

Des Weiteren ist die Verwertung von ungebundenem Ausbauasphalt nicht zulässig in festgesetzten oder geplanten Trinkwasserschutzgebieten, Zone I und II, und Heilquellenschutzgebieten, ebenfalls Zone I und II.

²⁸ vgl. LAGA M20, 2003, S. 61

²⁹ LAGA M20, 2003, S. 64

3.2.3 Richtlinie für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau

In den Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau – RuVA –, wird die Vorgehensweise bei der Verwertung von teer- und pechtypischen Ausbaustoffen erläutert. Außerdem wird die Verwertung von Ausbauasphalt behandelt. *„Ausbauasphalt kann aus Sicht des Arbeits-, Boden- und Gewässerschutzes in der Regel problemlos verwendet werden. Bei Ausbaustoffen mit teer- und pechtypischen Bestandteilen müssen jedoch eine Reihe von gesetzlichen Regelungen u.Ä. beachtet werden.“*³⁰

Laut RuVA- StB 01/05 ist bereits im Stadium der Entwurfsbearbeitung für Baumaßnahmen durch die Straßenbauverwaltung zu klären, ob Schichten mit teer- oder pechtypischen Bestandteilen vorliegen. Dies kann beispielsweise über Bauakten, Bautagebücher oder Prüfzeugnisse von Eignungs- und Kontrollprüfungen geschehen. Falls dennoch Unklarheiten über die verwendeten Bindemittel bestehen, sind Untersuchungen an Bohrkernen, Ausbaustücken oder losem Aufbruchmaterial durchzuführen. Falls die Recherchen oder die Untersuchungen ergeben, dass teer- oder pechhaltige Schichten vorliegen, ist anzustreben, dass diese Schichten überbaut werden.

Es ist anzunehmen, dass diese Schichten innerhalb der Straßenbefestigung keine Gefahr für die Umwelt ausstrahlen. Falls es unumgänglich ist, die Schichten zu überbauen, sollten diese möglichst getrennt von Schichten aus Asphalt ausgebaut werden.³¹

Da bei der Verarbeitung von teer- und pechhaltigen Stoffen die größte Gefahr besteht, sind für den Arbeitsschutz die darin enthaltenen Mengen an PAK und Phenole zu betrachten. Für den Gewässer- und Bodenschutz ist es wichtig, in welchen Mengen die PAK nach EPA und Phenole durch Wasser eluiert werden. In Abhängigkeit dieser zwei Kriterien erfolgt eine Einordnung in die entsprechenden Verwertungsklassen, die in der Tabelle 4 abgebildet sind.

³⁰ FGSV, RuVA- StB 01/05, 2001, S. 5 (Straßenbau A – Z)

³¹ FGSV, RuVA- StB 01/05, 2001, S. 6 (Straßenbau A – Z)

Die in dieser Richtlinie aufgeführten Verwertungsverfahren sind abhängig von der Verwertungsklasse des Ausbaustoffes. Die Durchführung der verschiedenen Verfahren werden genau in den Abschnitten 3.3 und 3.4 dargestellt.

Beim Heißmischverfahren darf nur Ausbauasphalt in Form von Asphaltgranulat verwendet werden, dies entspricht der Verwertungsklasse A. Es ist gleichzeitig die hochwertigste Art der Verwertung. Das Kaltmischverfahren mit Bindemitteln kann bei allen Klassen der Tabelle 4 angewendet werden. Jedoch ist dies bei den Verwertungsklassen B und C nur dann möglich, wenn durch Eignungsprüfungen nachgewiesen wird, dass die eluierbaren Anteile im Probekörper die Grenzwerte der Tabelle 5 einhalten.³²

Verwertungsklasse	PAK nach EPA [mg/l]	Phenolindex im Eluat [mg/l]
B	≤ 0,03	kein Nachweis erforderlich
C	≤ 0,03	≤ 0,1

Tabelle 5 Grenzwerte für die Elution von Probekörpern
(eigene Darstellung in Anlehnung an FGSV, RuVA- StB 01/05, S. 10)

Für Tragschichten unter wasserdurchlässigen Deckschichten kann in Ausnahmefällen eine Kaltverarbeitung ohne Bindemittel erfolgen. Dafür kommen allerdings nur Ausbaustoffe der Verwertungsklasse A in Frage.

Aus Sicht des Gewässer- und Bodenschutzes ist der Einbau der in dieser Richtlinie aufgeführten Straßenausbaustoffe nur möglich, wenn die in der Tabelle 6 aufgeführten Voraussetzungen, gemäß den Technischen Regeln der LAGA M 20 bezüglich der Lage der Baumaßnahme und der Bauweise, eingehalten werden.³³

³² FGSV, RuVA- StB 01/05, 2001, S. 10 (Straßenbau A – Z)

³³ vgl. FGSV, RuVA- StB 01/05, 2001, S. 12 (Straßenbau A – Z)

Verwertungs- klasse	Verwertungs- verfahren	Lage der Baumaßnahme	Anforderungen an die Bauweise
A	Heißmischverfahren	Keine Beschränkung	Keine
A	Kaltmischverfahren mit Bindemittel	Keine Beschränkung	Keine
B, C		Ausgeschlossen in Wasserschutzzonen von Wasser- und Heilquellen-schutzgebieten, Wasservorranggebieten, Gebieten mit häufigen Überschwemmungen, Karstgebieten ohne ausreichende Deckschicht u. Ä.	unter wasserundurch- lässigen Schichten
A	Kaltverarbeitung ohne Bindemittel		

Tabelle 6 Voraussetzungen für den Einbau der Straßenausbaustoffe
 (eigene Darstellung in Anlehnung an FGSV, RuVA- StB 01/05, S. 12)

3.3 Wiederverwendung an der Mischanlage

3.3.1 Verwertung im Heißmischverfahren

Dank der thermoplastischen Eigenschaften des Bindemittels Bitumen ist Asphalt in der Lage durch schonende Erwärmung replastifiziert zu werden. In verschiedenen Aufbereitungsverfahren wird der in Form von Asphaltgranulat zerstückelte Ausbauasphalt der Verwertungsklasse A im Heißmischverfahren zu einem neuen Mischgut verarbeitet. Bei den folgenden Verfahren nach dem Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat – M VAG – gibt es nicht nur Unterschiede bei der Ausführung, sie unterscheiden sich auch in den maximalen Zugabemengen von Asphaltgranulat. Alle Verfahren werden in stationären Asphaltmischanlagen durchgeführt.

3.3.1.1 Vorbereitende Maßnahmen

Der Ausbau von Asphaltbefestigungen ist durch die Hinweise für das Fräsen von Asphaltbefestigungen mit teer-/pechtypische Bestandteilen – H FA – geregelt. Durch Kaltfräsen werden Asphaltsschichten abgetragen. Falls sich in der Straßenbefestigung teer- oder pechtypische Bestandteile befinden, sind diese vom übrigen Asphalt zu trennen. Der anfallende Fräsasphalt sollte durch geeignete Verwertungsverfahren auf möglichst höchstem Niveau verwertet werden, das bedeutet, durch eine Wiederverwendung im Asphaltmischgut.

Schichtenweises Fräsen, sowie eine getrennte Lagerung des Asphaltgranulats ist anzustreben, um den höchstmöglichen Verwertungsgrad im Mischgut zu erzielen. Außerdem ist vorher zu beachten, dass nur das für die jeweilige Asphaltsschicht oder –sorte zugelassene Asphaltgranulat verwendet wird. Dieses ist abhängig von den Anforderungen an den Größtkorndurchmesser und die Art und Eigenschaften der Gesteinskörnungen. In der Tabelle 7, welche aus dem Merkblatt für die Wiederverwendung von Asphalt stammt, wird dieser Aspekt übersichtlich dargestellt. Es werden Granulatsorten aus verschiedenen Schichten und Sorten abgebildet und abhängig von der Ausführbarkeit und Wirtschaftlichkeit aufgezeigt, zu welchen Mischgütern sie zugegeben werden können.

Asphaltgranulat aus:	Zugabemöglichkeiten zur Herstellung von Asphaltmischgut für				
	Gussasphalt	Walzasphalt-deckschicht	Asphaltbinder-schicht	Asphalttrag-schicht	Asphalttrag-deckschicht
Gussasphalt	++	0	0	+	0
Walzasphaltdeckschicht	-	++	++	+	+
Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht	-	0	++	+	+
Asphaltbinderschicht	-	0	++	+	+
Asphalttrag- oder Asphalttragdeckschicht	-	-	-	++	0

++	vorrangig (höchste Wertschöpfungstufe)
+	möglich, aber ohne volle Ausnutzung der technischen Eigenschaften und der Wirtschaftlichkeit
0	bedingt möglich, nach besonderer Prüfung
-	nicht möglich
	nach den TL Asphalt- StB
	in der Regel nicht aus Gussasphalt
	nach gesonderter Aufbereitung

Tabelle 7 Zugabemöglichkeiten von Asphaltgranulat
(eigene Darstellung in Anlehnung an FGSV, M WA, 2013, S. 5)

Das Merkblatt für die Verwendung von Asphaltgranulat definiert die zu berücksichtigenden Lagerbedingungen wie folgt. *„In Abhängigkeit vom vorgesehenen Verwendungszweck ist bei der Lagerung von Asphaltgranulat folgendes zu berücksichtigen:*

- *Schutz vor Feuchtigkeitsaufnahme,*
- *Trennung von Aufbruch- und Fräsasphalt,*
- *Trennung des Fräsasphaltes nach Material aus Asphaltdeck- und Asphaltbinderschichten sowie Asphalttrag- und Asphalttragdeckschichten bzw. Asphaltfundationsschichten,*
- *getrennte Lagerung von Gussasphalt und/oder Sondermischgutarten,*
- *eventuell Trennung von Fräsasphalt aus verschiedenen Gewinnungsorten,*
- *eventuell Trennung nach der maximalen Stückgröße,*
- *eventuell Ergreifen von Maßnahmen gegen Verkleben der Einzelstücke*

Die verschiedenen Lagerhaltungen sind entsprechend zu kennzeichnen.“³⁴

Die in der Aufzählung genannten Asphaltfundationsschichten sind bitumengebundene Schichten, an die geringere Anforderungen als an Asphalttragschichten gemäß ZTV T- StB 95/02 gestellt werden.

Ebenso wie im Kapitel 2.2.1 erwähnt sind Boxen mit Dachkonstruktionen für die Lagerung zu bevorzugen, da in diesem Fall große Energieeinsparungen bei der Trocknung erzielt werden und der im Mischer freigesetzte Wasserdampf in Grenzen gehalten wird.

³⁴ FGSV, M WA, 2013, S. 4 (Straßenbau A – Z)

3.3.1.2 Ermittlung der maximalen Zugabemengen von Asphaltgranulat

Die höchstmögliche Zugabemenge von Asphaltgranulat bei der Herstellung von Mischgut richtet sich nach drei Kriterien. Diese sind die Gleichmäßigkeit des Asphaltgranulats, die Eignung des Asphaltgranulats für das vorgesehene Asphaltmischgut und die maschinentechnischen Voraussetzungen, abhängig von der Asphaltmischanlage. Maßgebend für die Zugabe und damit auch die maximal erlaubte Zugabemenge ist das ungünstigste Kriterium.

Die Gleichmäßigkeit des Asphaltgranulats und die Eignung des Asphaltgranulats für das vorgesehene Asphaltmischgut werden im folgenden Abschnitt beschrieben, während die maschinentechnischen Voraussetzungen im Kapitel 3.3.1.3 erläutert werden.

Der erste wichtige Punkt für eine qualitativ hochwertige Verwertung von Asphaltgranulat ist die Gleichmäßigkeit des Stoffes. Aus diesem Grund schreibt die TL Asphalt-StB 07/13 vor, dass eine Granulatprobe je angefangene 500 t zu entnehmen und zu untersuchen ist. Dies muss an mindestens fünf Proben je Halde durchgeführt werden. „*Folgende Merkmale sind zu bestimmen:*

- *Erweichungspunkt Ring und Kugel [°C]*
- *Bindemittelgehalt [M.-%]*
- *Füllergehalt < 0,063 mm [M.-%]*
- *Kornanteil 0,063 – 2 mm [M.-%]*
- *Kornanteil > 2 mm [M.-%]*³⁵

Die höchstmögliche Zugabemenge von Asphaltgranulat wird durch die Spannweite der aufgelisteten Merkmale beeinflusst. Die Spannweite ist die Differenz zwischen dem größten und dem kleinsten Wert der Messreihe, wobei die ungünstigste Spannweite die maximale Zugabemenge für dieses Kriterium festlegt.

Außerdem wird das Asphaltgranulat auf Zusätze, Gesteinsarten und das Natursand-Brechsand-Verhältnis untersucht. Diese Faktoren spielen für die folgenden Berechnungen der Zugabemengen allerdings keine Rolle.

³⁵ FGSV, TL Asphalt- StB 07/13, 2007/13, S. 24 (Straßenbau A – Z)

Die Berechnungen der Zugabemengen erfolgen nach festgelegten Formeln der TL Asphalt- StB 07/13. Für die Wiederverwendung in Asphaltmischgut für Asphalttrag- und Asphalttragdeckschichten wird die Formel 1 verwendet. Bei der Wiederverwendung in Asphaltmischgut für Asphaltdeck- und Asphaltbinderschichten kommt Formel 2 zum Einsatz.

$$Z_i = \frac{0,50 * T_{zul,i}}{a_i} * 100$$

Formel 1 Spannweite für Trag- und Tragdeckschichten

- a_i → Spannweite des jeweiligen Merkmals [-]
 $T_{zul,i}$ → Gesamttoleranz der Merkmals gemäß TL Asphalt-StB [M.-%]
 Z_i → mögliche Asphaltgranulat- Zugabemenge [M.-%]

$$Z_i = \frac{0,33 * T_{zul,i}}{a_i} * 100$$

Formel 2 Spannweite für Deck- und Binderschichten

- a_i → Spannweite des jeweiligen Merkmals [-]
 $T_{zul,i}$ → Gesamttoleranz der Merkmals gemäß TL Asphalt-StB [M.-%]
 Z_i → mögliche Asphaltgranulat- Zugabemenge [M.-%]

Die Gesamttoleranzen $T_{zul,i}$ nach TL Asphalt- StB 07/13 werden in Tabelle 8 aufgeführt.

Merkmal	Einheit	$T_{zul,i}$	
		Asphaltmischgut für Asphaltdeck-, Asphaltbinder- und Asphalttragdeckschichten	Asphaltmischgut für Asphalttragschichten
Erweichungspunkt RuK $T_{R\&B}$	°C	8	8
Bindemittelgehalt	M.-%	0,8	1,0
Kornanteil < 0,063	M.-%	6,0	10,0
Kornanteil 0,063 - 2 mm	M.-%	16,0	16,0
Kornanteil > 2 mm	M.-%	16,0	18,0

Tabelle 8 Gesamttoleranz $T_{zul,i}$

(eigene Darstellung in Anlehnung an FGSV, TL Asphalt- StB 07/13, 2007, S. 24)

Für die Berechnung der maximal zugelassenen Spannweite des Merkmals Erweichungspunkt Ring und Kugel gilt die Formel 1.³⁶ Um die Granulatmengen zu ermitteln müssen Formel 1 und Formel 2 nach

Im Anhang 1 befinden sich die in dem Merkblatt für die Wiederverwendung von Asphalt – M WA – aufgeführten Nomogramme, mit deren Hilfe sich die maximalen Zugabemengen grafisch ermitteln lassen. Im Nomogramm zu sehen, sind die verschiedenen Merkmalsgrößen des Asphaltgranulats. Der kleinste Wert wird maßgebend. Am Graph liest man letztlich die Zugabemenge des Asphaltgranulats ab.

Des Weiteren gleicht man nun ab, ob das aus dem Granulat rückgewonnene Bindemittel für das neu zuzugebende Straßenbaubitumen, bzw. Polymermodifizierte Bitumen geeignet ist. Dazu ermittelt man den Erweichungspunkt Ring und Kugel der fünf Proben. Der Durchschnitt darf 70 °C und Einzelwerte dürfen 77 °C nicht überschreiten. Falls dem doch so ist, sollte man anhand ausgewählter technologischer Eigenschaften, beispielsweise das Verhalten bei Kälte, die Wirksamkeit des Bindemittels untersuchen. Anschließend wägt man ab, ob das Granulat für den Herstellungsprozess geeignet ist.³⁷

Der resultierende EP RuK aus Granulat und frischem Bindemittel wird gemäß der TL Asphalt- StB 07/13 mit der Formel 3 errechnet.

$$T_{R\&Bmix} = a * T_{R\&B1} + b * T_{R\&B2}$$

Formel 3 Berechnung EP des resultierenden Asphaltmischgut

- | | | |
|---------------|---|--|
| $T_{R\&Bmix}$ | → | Berechneter Erweichungspunkt Ring und Kugel im resultierenden Asphaltmischgut [°C] |
| $T_{R\&B1}$ | → | Erweichungspunkt Ring und Kugel des aus dem Asphaltgranulat rückgewonnenen Bindemittels in [°C] |
| $T_{R\&B2}$ | → | mittlerer Wert des EP RuK der Sortenspanne des vorgesehenen Straßenbaubitumens bzw. PmB in [°C] |
| a und b | → | Masseanteile des Bindemittels aus dem RA (a) und des vorgesehenen Bindemittels (b) mit $a + b = 1$ [-] |

³⁶ vgl. FGSV, TL Asphalt- StB 07/13, 2007/13, S. 24 (Straßenbau A – Z)

³⁷ vgl. HUTSCHENREUTHER, 2010, S. 166

Nach der Zugabe von Granulat muss $T_{R\&Bmix}$ in der Sortenspanne des geforderten Bitumens nach TL Bitumen- StB 07/13 liegen. Dazu kann ein Bitumen mit derselben Spezifikation oder ein Bitumen, das höchstens eine Sorte weicher ist als das geforderte, verwendet werden. Generell dürfen keine weicheren Sorten als 70/100 benutzt werden.³⁸

3.3.1.3 Verfahrensweisen

Dieser Abschnitt beinhaltet neben den maschinentechnischen Ausstattungsmöglichkeiten und den damit verbundenen maximalen Zugabemengen von Asphaltgranulat an das Asphaltmischgut auch die unterschiedlichen Verfahrens- und Vorgehensweisen an der Asphaltmischanlage. Dabei werden sowohl Chargen- als auch Durchlaufmischanlagen bei der jeweiligen Verfahrensweise behandelt.

3.3.1.3.1 Erwärmung des Asphaltgranulats durch die Mineralstoffe

Dieses Verfahren kann nur in Chargenmischanlagen, jedoch mit chargenweiser und kontinuierlicher Zugabe, durchgeführt werden. Dabei wird kaltes Asphaltgranulat durch die Kontaktzeit mit den heißen Gesteinskörnungen erwärmt. Dementsprechend benötigen die Mineralstoffe höhere Temperaturen als bei der konventionellen Mischgutherstellung. Abhängig vom Wassergehalt im Granulat, sowie von der Temperatur der Mineralstoffe wird die Zugabe von Asphaltgranulat bestimmt. Die Wasseraufnahme des Granulats kann bis zu 9 % betragen. Dadurch werden höhere Temperaturen benötigt und der durch den Wärmeübergang entstehende Wasserdampf muss schadlos abgeführt werden. Das Maximum dieser Verfahrensweise liegt bei 30 M.-%.

³⁸ vgl. FGSV, TL Asphalt- StB, 2007/13, S. 7 (Straßenbau A – Z)

Für die Ermittlung der Zugabemenge an RA hat das M VAG die Abbildung 10 und die Tabelle 9 aufgeführt. Sie wird mithilfe der Mischguttemperatur und der Temperatur der Mineralstoffe festgestellt, während die Temperatur der Mineralstoffe zusätzlich um den jeweiligen Wert der Tabelle 9 erhöht werden muss, falls das Granulat Wasser enthält. Dabei bilden die blau hinterlegten Felder den kritischen Bereich, welcher möglichst vermieden werden soll.

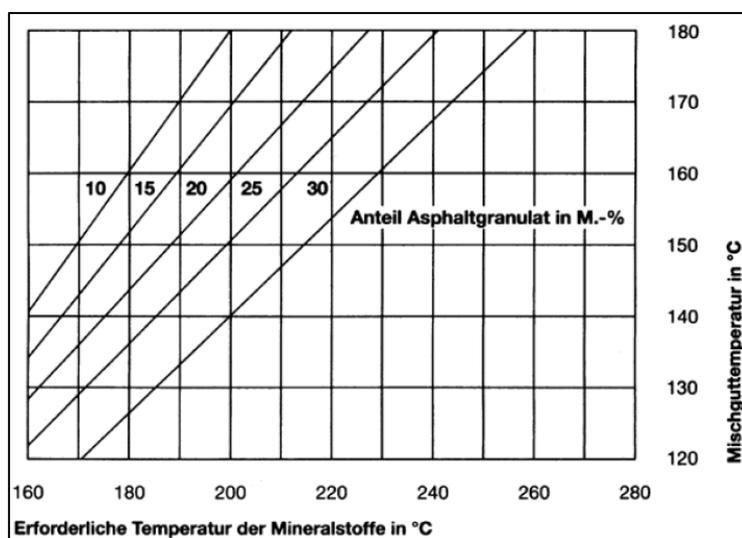


Abbildung 10 Erforderliche Temperatur bei Zugabe von trockenem RA (FGSV, M VAG, 2000, S. 6)

Anteil an RA in M.-%	Wassergehalt des RA in M.-%					
	1	2	3	4	5	6
	Temperaturkorrekturen in °C					
10	4	8	12	16	20	24
15	6	12	18	24	30	36
20	8	16	24	32	40	48
25	10	20	30	40	50	60
30	12	24	-	-	-	-

Tabelle 9 Korrektur der Mineralstofftemperatur (eigene Darstellung in Anlehnung an FGSV, M VAG, 2000, S. 6)

Die chargenweise Zugabe in einer Chargenmischanlage, wie sie in der Abbildung 11 zu sehen ist, erfolgt während oder nach der Verwiegung der heißen Mineralstoffe zu Chargen. Die Verwiegung des RA kann ebenfalls über eine Mineralstoffwaage oder über eine separate Chargenwaage erfolgen.³⁹

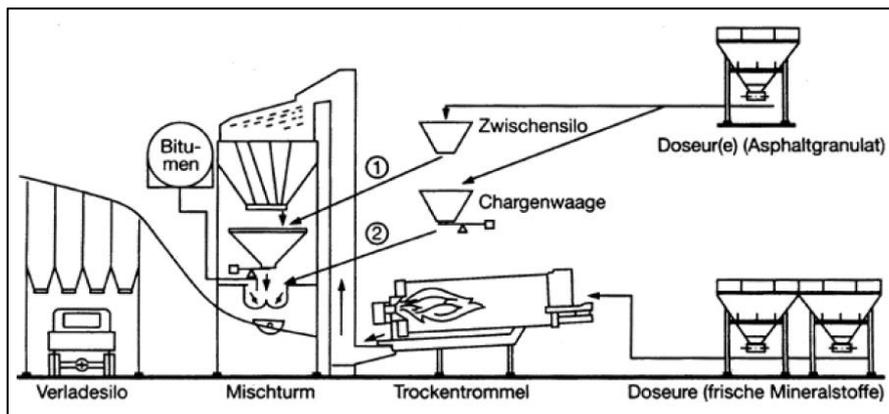


Abbildung 11 Erwärmung durch die heißen Mineralstoffe, Chargenmischer (FGSV, M VAG, 2000, S. 7)

Die (1) stellt die Zugabemöglichkeit über die Mineralstoffwaage dar. Die andere Möglichkeit (2) erfolgt über eine zusätzliche Chargenwaage in den Mischer. Die Absiebung der heißen Gesteinskörnungen und ihre genaue Dosierung aus der Heißsilota-sche ist uneingeschränkt möglich. Der Wärmeübergang erfolgt innerhalb eines kurzen Zeitraums und es entsteht sofort Wasserdampf. Das M WA, sowie das M VAG empfehlen die heißen Mineralstoffe mit dem Granulat vorzumischen und anschließend erst das Bindemittel zuzugeben, um dessen Verhärtung zu vermeiden.

³⁹ vgl. FGSV, M VAG, 2000, S. 7 (Straßenbau A – Z)

Bei der Erwärmung durch die heißen Mineralstoffe mittels der kontinuierlichen Zugabe ist die Zugabe über eine Wiegevorrichtung, beispielsweise eine Bandwaage, zu steuern. Die Übertragung der Wärme der Mineralstoffe auf das Asphaltgranulat und demzufolge auch die Entstehung des Wasserdampfes erfolgt über einen längeren Zeitraum.

Eine Heißabsiebung, sowie eine nachträgliche Korrektur der Korngrößenverteilung ist bei dieser Variante nicht möglich.⁴⁰ Die Abbildung 12 zeigt das Verfahren. Dabei erfolgt die Zugabe entweder über den Trommelauslauf (1), die Heißbecherwerke (2), oder in die Siebumgehungsstasche (3).

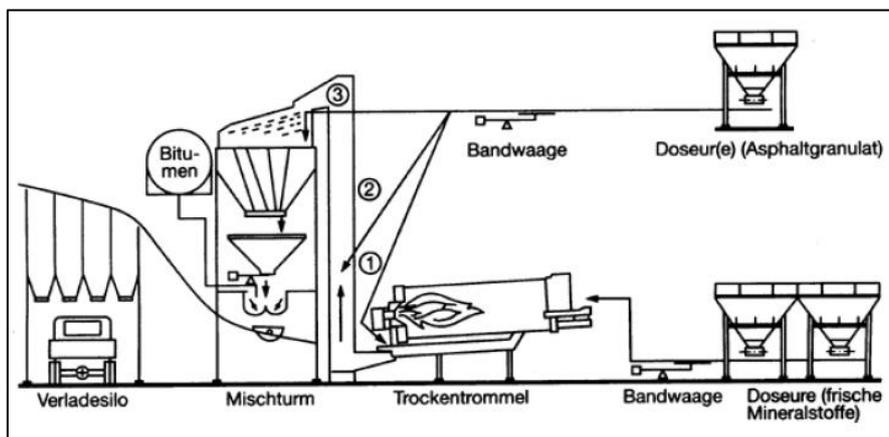


Abbildung 12 Erwärmung durch die heißen Mineralstoffe, Durchlaufmischer (FGSV, M VAG, 2000, S. 8)

3.3.1.3.2 Erwärmung des Asphaltgranulats gemeinsam mit den Mineralstoffen

Dieses Verfahren kann sowohl in einer Chargenmischanlage, als auch in einer kontinuierlichen Durchlaufmischanlage durchgeführt werden.

In Chargenmischanlagen wird das kalte Granulat gemeinsam mit den Gesteinskörnungen in einer, nach dem Gegenstromprinzip arbeitenden, Trockentrommel erwärmt.

⁴⁰ vgl. FGSV, M VAG, 2000, S. 8 (Straßenbau A – Z)

Dadurch sind Zugabemengen von bis zu 40 M.-% möglich. Das Granulat und die Mineralstoffe werden kontinuierlich, über Bandwaagen gesteuert, dosiert. Dadurch treten keine Probleme mit entstehendem Wasserdampf auf. Jedoch sind eine Heißabsiebung, sowie eine nachträgliche Korrektur der Korngrößenverteilung nicht möglich, weil sich bei diesem Verfahren die Siebe zusetzen.⁴¹

Die Granulatzugabe erfolgt, wie in der Abbildung 13 zu sehen ist, entweder mittig in die speziell ausgerüstete Trockentrommel (1), oder durch ein Wurfband (2).

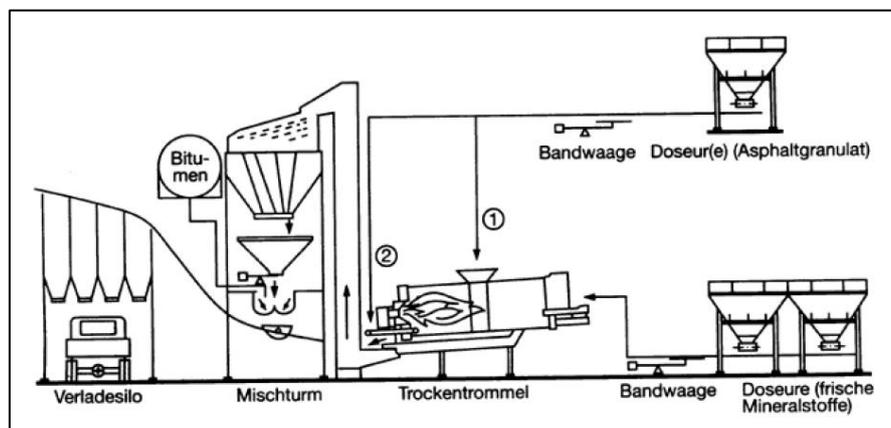


Abbildung 13 Erwärmung mit den Mineralstoffen, Chargenmischanlage
(FGSV, M VAG, 2000, S. 9)

Bei der Erwärmung mit den Mineralstoffen in einer Durchlaufmischanlage sind 50 M.-% Zugabe von Asphaltgranulat möglich. Das Granulat wird gemeinsam mit den Gesteinskörnungen in einem Trommelmischer getrocknet und mit Bindemittel gemischt. Sie werden allerdings getrennt verwogen.

Diese Variante in einer Durchlaufmischanlage wird in Abbildung 14 auf der nachfolgenden Seite dargestellt. Die Zugabe erfolgt gemeinsam mit den Mineralstoffen (1) oder mittig in den Trommelmischer (2).

⁴¹ vgl. FGSV, M VAG, 2000, S. 8 (Straßenbau A – Z)

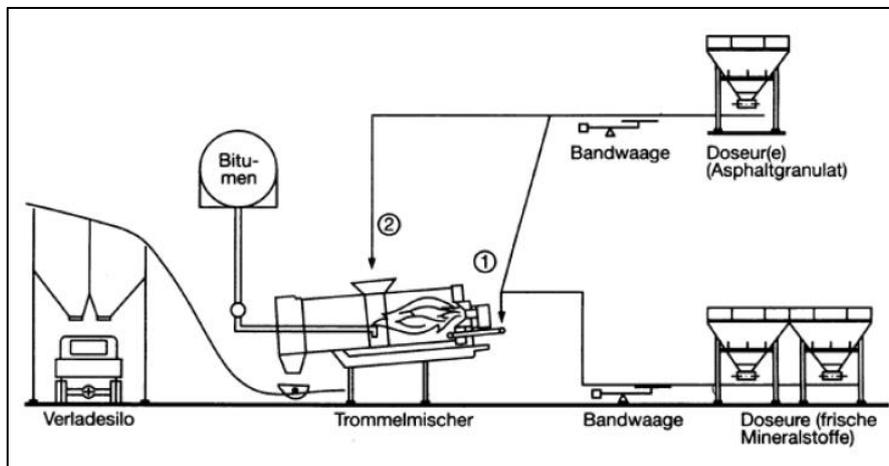


Abbildung 14 Erwärmung mit den Mineralstoffen, Durchlaufmischanlage
(FGSV, M VAG, 2000, S. 10)

3.3.1.3.3 Erwärmung des Asphaltgranulats in einer gesonderten Vorrichtung

Dieses Verfahren kann genau wie das Verfahren „*Erwärmung gemeinsam mit den Mineralstoffen*“ in Chargen-, als auch in Durchlaufmischanlagen durchgeführt werden. In beiden Fällen können durch die separate Erwärmung des Asphaltgranulats sehr hohe Zugabemengen von bis zu 80 M.-% bei Asphalttragschichten und bis 100 M.-% bei Asphaltfundationsschichten erzielt werden.

In Chargenmischanlagen wird das Granulat in einer gesonderten Vorrichtung langsam erwärmt und den heißen Gesteinskörnungen in der Mineralstoffwaage oder dem Mischer zugegeben. Für die Erwärmung des Granulats werden im Gleichstrom arbeitende Trockentrommeln, die sogenannten Paralleltrommeln, verwendet.

Das Granulat wird auf eine Temperatur von ca. 130 °C erwärmt, um das Bindemittel zu schonen und die Emissionen zu begrenzen.⁴²

Die Zugabe erfolgt entweder über ein Zwischensilo in die Mineralstoffwaage (1) oder über ein Zwischensilo mit chargenweiser Dosierung in dem Mischer (2). Dies ist in der Abbildung 15 auf Seite 46 zu erkennen.

⁴² vgl. FGSV, M VAG, 2000, S. 9 (Straßenbau A – Z)

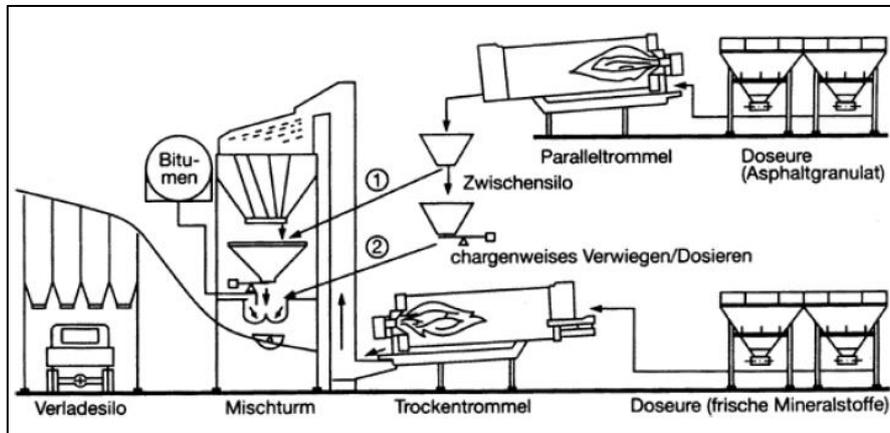


Abbildung 15 Erwärmung in gesonderter Vorrichtung, Chargenmischanlage (FGSV, M VAG, 2000, S. 9)

Bei sehr hohen Zugabemengen muss das Asphaltgranulat in seinen Merkmalen besonders dem angestrebten Verwendungszweck entsprechen, da eine Beeinflussung durch Gesteinskörnung und Bindemittel begrenzt oder gar nicht mehr stattfindet.⁴³

In Durchlaufmischanlagen läuft das Verfahren ähnlich ab. Das Granulat wird ebenso in einer Paralleltrommel auf ca. 130 °C erwärmt. Anschließend wird es über einen Durchlaufmischer (1) mit Bindemittel und Gesteinskörnungen gemischt. Dieses Prozedere ist in Abbildung 16 zu betrachten.

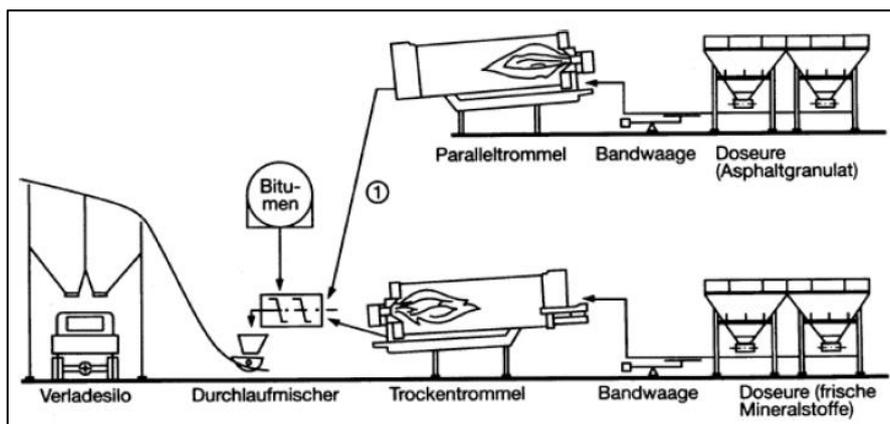


Abbildung 16 Erwärmung in gesonderter Vorrichtung, Chargenmischanlage (FGSV, M VAG, 2000, S. 11)

⁴³ vgl. FGSV, M VAG, 2000, S. 10 (Straßenbau A – Z)

3.3.2 Verwertung im Kaltmischverfahren

Die nach der RuVA-StB 01/05 eingestuften Ausbaustoffe der Verwertungsklassen B und C dürfen nicht im Heißmischverfahren verwertet werden. Die Tabelle 6, die dieser Vorschrift entstammt, schreibt vor, dass solche Stoffe durch das Kaltmischverfahren mit Bindemitteln verwertet werden. Im folgenden Abschnitt wird dieses Verfahren näher erläutert. Es ist definiert im Merkblatt für die Verwertung von pechhaltigen Straßenausbaustoffen und von Asphaltgranulat in bitumengebundenen Tragschichten durch Kaltaufbereitung in Mischanlagen – M VB-K.

Das, durch dieses Verfahren hergestellte Baustoffgemisch, kann zu Herstellung von Tragschichten mit Dicken von 8 bis 18 cm unterhalb von Asphalt- oder Betondecken eingebaut werden. Es besteht aus Mischgranulat, Bindemitteln, gegebenenfalls Additiven und Wasser.

Mischgranulat ist durch Fräsen oder Zerkleinerung gewonnenes Granulat aus ungebundenen und gebundenen Schichten des Oberbaus. Es kann Asphaltgranulat und gegebenenfalls pechhaltige Ausbaustoffe in Form von Pechgranulat beinhalten. Dabei darf die Zugabe von Gesteinskörnungen zu Pechgranulat 15 M.-% nicht überschreiten, um die Masse des pechhaltigen Baustoffgemisches so gering wie möglich zu halten. *„In der Stückgrößenverteilung des Mischgranulats sollte der Anteil kleiner 0,063 mm 4 bis 9 M.-% und der Anteil 0,063 mm bis 2 mm 20 bis 30 M.-% betragen. Der Anteil der Stückgrößen größer 32 mm bis 45 mm sollte auf 10 M.-% begrenzt sein.“*⁴⁴

Als Bindemittel für dieses Baustoffgemisch kommen Bitumenemulsionen der Sorte C60B1-BEM nach den TL BE- StB 07, Schaumbitumen oder hydraulische Bindemittel in Frage. Schaumbitumen werden aus Straßenbaubitumen der Sorten 50/70 oder 70/100 und Wasser sowie Additiven zur Verbesserung der Benetzungsfähigkeit hergestellt. Als hydraulisches Bindemittel kann hydraulischer Boden- und Tragschichtbinder gemäß der DIN 18506 oder Zement nach der DIN EN 197-1 verwendet werden. Baustoffgemische mit 2,5 bis 5 M.-% Schaumbitumen und 1 bis 2 M.-% hydraulischem Bindemittel oder 3 bis 5 M.-% Bitumenemulsion erfüllen in der Regel die Anforderungen des M VB-K an das Baustoffgemisch.⁴⁵

⁴⁴ FGSV, M VB-K, 2007, S. 3 (Straßenbau A – Z)

⁴⁵ FGSV, M VB-K, 2007, S. 4 (Straßenbau A – Z)

Die Herstellung erfolgt mittels eines Zwangsmischers in einer Kaltmischanlage. Vorzugsweise werden Doppelwellen- Zwangsmischer eingesetzt. Die einzelnen Bestandteile des Gemischs werden in einer bestimmten Reihenfolge dem Mischer zugegeben. Zuerst erfolgt die Zugabe von Mischgranulat. Falls Schaumbitumen zur Herstellung benötigt wird, folgt dieses dem Mischgranulat. Wenn das nicht der Fall ist, wird hydraulisches Bindemittel gefolgt von Zugabewasser und Bitumenemulsion in den Mischer gegeben. Zu beachten ist, dass die Verarbeitungstemperatur 30 °C nicht überschreiten darf.

An die Ausführung von Schichten dieses Baustoffgemisches sind in dem M VB-K verschiedene Anforderungen gestellt, auf die im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen wird.

3.4 Wiederverwendung vor Ort

3.4.1 Rückformverfahren

Die Rückformverfahren beschreiben die mechanischen und thermischen Bearbeitungen von Asphaltsschichten. Vertragsgrundlage bilden dafür die Zusätzliche Technischen Vertragsbedingungen und die Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen – Asphaltbauweisen – ZTV BEA- StB. Die Schichten werden durch Aufheizen, Auflockern, Aufnehmen, Mischen und Wiedereinbauen des behandelten Materials in einem Prozess bearbeitet. Es dürfen ausschließlich Asphaltsschichten der Verwertungsklasse A behandelt werden. Außerdem wird von dem Rückformen von Gussasphaltsschichten und von Schichten mit Einlagen, beispielsweise Gittern oder Geweben, abgeraten.

Die Behandlung kann je nach Erfordernis mit oder ohne Einmischen von Ergänzungsmaterialien wie Asphaltmischgut, Bindemittel oder auch Mineralstoffen erfolgen. Es entsteht je nach Ziel eine Asphaltsschicht zur späteren Überbauung, zur direkten Befahrung oder zur unmittelbaren Überbauung mit Asphalt im Heiß- auf- Heiß Verfahren. Diese Verfahren werden eingesetzt, um Straßenmerkmale wie Ebenheit, Rauheit und Substanz zu verbessern.

Vor Anwendung einer Rückformung ist zu ermitteln, ob die Asphaltdeckungs- schicht dafür geeignet ist. Dies kann gegebenenfalls über die Entnahme von Bohrkernen erfolgen. Insgesamt müssen Aussagen zu diesen Punkten gemacht werden.

- Anteile von teer-/pechtypischen Bestandteilen
- Vorhandensein von Einlagen, beispielsweise Gittern oder Gewebe usw.
- Art und Sorte des Asphaltmischgutes und des Bindemittels
- Korngrößenverteilung und Bindemittelgehalt des Asphaltmischgutes
- Erweichungspunkt Ring und Kugel des Bindemittels
- Einbauten, Markierungen, Flickstellen⁴⁶

Der Stellenwert dieser Wiederverwendungsmöglichkeiten hat in den vergangenen Jahren, aufgrund der schnellen maschinentechnischen Entwicklung von Asphaltmischanlagen und der dort erzielten Qualität deutlich verloren. Das liegt auch daran, dass die an Ort und Stelle zu verarbeitenden Massen deutlich geringer sind als die, die in stationären Anlagen verwertet werden können.

3.4.1.1 Reshape – ohne Veränderung der Asphaltzusammensetzung

Die Variante wird verwendet, um Asphaltdeckschichten zu bearbeiten. Die Schicht wird mit Hilfe von Infrarotstrahlern oder anderen Heizgeräten bis zur vorgesehenen Bearbeitungstiefe schonend aufgeheizt. Anschließend wird das Asphaltmaterial durch geeignete Geräte ohne Kornzertrümmerung aufgenommen und dem Mischer zugegeben. Sobald das Material erneut gemischt wurde, wird es durch Verteilerschnecken auf der Fahrbahn aufgebracht, mittels Einbaubohlen eingebaut und durch Walzen verdichtet.⁴⁷

⁴⁶ vgl. FGSV, M RF, 2002, S. 8 (Straßenbau A – Z)

⁴⁷ vgl. FGSV, M RF, 2002, S. 2 (Straßenbau A – Z)

Durch diese Aufbereitungsart wird die Zusammensetzung der Asphaltdeckschicht nicht verändert. Sie wird lediglich mit verbesserter Ebenheit neu eingebaut. Die Abbildung 17 zeigt die schematische Darstellung des Verfahrens.

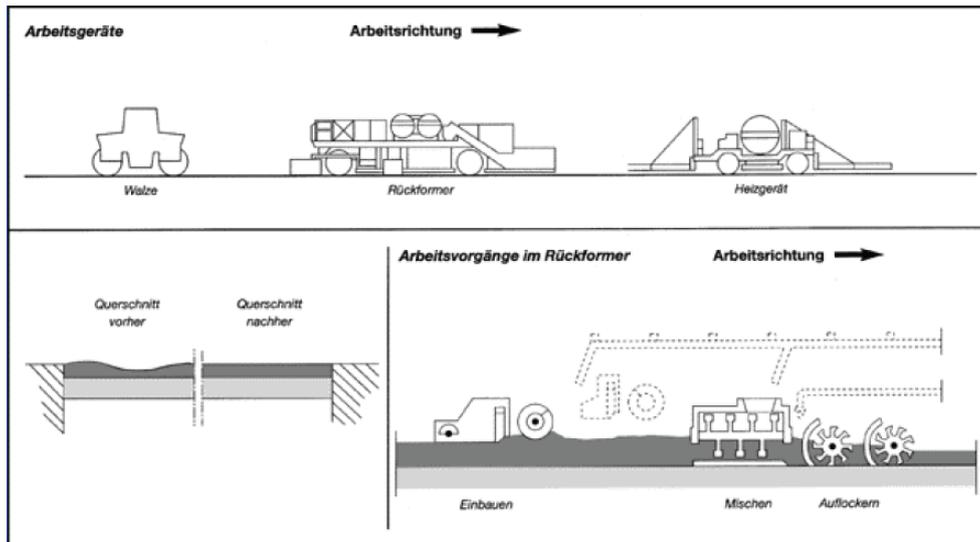


Abbildung 17 Reshape – schematische Darstellung
 (FGSV, M RF, 2002, S. 3)

3.4.1.2 Remix – mit Veränderung der Asphaltzusammensetzung

Im Vorfeld dieser Ausführung sind oft umfassende Laborprüfungen durchzuführen, um ein qualitativ hochwertiges Produkt zu erzielen.

Wie bei dem Verfahren Reshape wird die zu bearbeitende Schicht zuerst bis zur vorgesehenen Bearbeitungstiefe erwärmt, ohne Kornzertrümmerung aufgenommen und dem Mischer zugeführt. Es kann eine Veränderung der Mischgutzusammensetzung vorgenommen werden, indem je nach Bedarf Ergänzungsmaterialien wie Ergänzungsmischgut oder Bindemittel zugegeben werden.

Das resultierende Asphaltmischgut wird anschließend über Verteilerschnecken auf der Fahrbahn verteilt und durch Einbaubohlen eingebaut. Anschließend wird die neue Schicht verdichtet.⁴⁸ Die Abbildung 18 zeigt die schematische Darstellung.

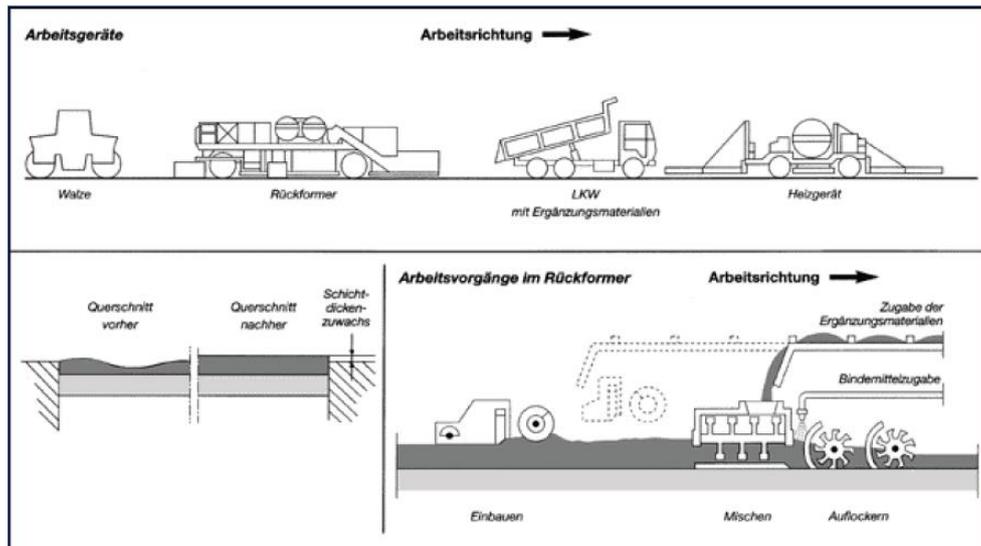


Abbildung 18 Remix – schematische Darstellung
(FGSV, M RF, 2002, S. 3)

3.4.1.3 Remix Compact – mit Veränderung der Asphaltzusammensetzung in Verbindung mit dem Einbau einer neuen Deckschicht

Diese Variante ist mit dem Remix zu vergleichen. Die zu bearbeitende Schicht wird vorgeheizt, bevor das Asphaltmaterial ohne Kornzertrümmerung aufgenommen und dem Mischer zugegeben wird. Dort wird es mit Ergänzungsmischgut und Bindemittel versetzt und neu aufbereitet. Nach dem Einbau des Mischguts durch den Rückformer wird eine zusätzliche Deckschicht durch einen separaten Fertiger eingebaut, der in der Regel seitlich mit Asphaltmischgut beschickt wird. Nachdem dieser Heiß-auf-Heiß Einbau erfolgt ist, werden beide Schichten zusammen verdichtet.

⁴⁸ vgl. FGSV, M RF, 2002, S. 3 (Straßenbau A – Z)

Mit diesem Verfahren, welches in Abbildung 19 dargestellt ist, werden Asphaltdeck- und Binderschichten hergestellt.

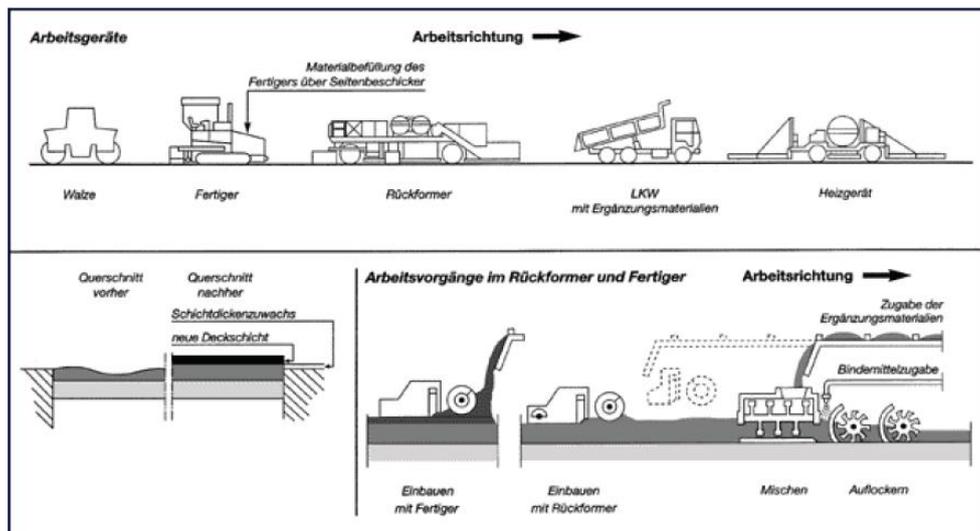


Abbildung 19 Remix compact – schematische Darstellung
(FGSV, M RF, 2002, S. 4)

In manchen Fällen kann das Rückformen mit Veränderung der Asphaltzusammensetzung in Verbindung mit dem Einbau einer neuen Deckschicht mit dem gleichen Gerät durchgeführt werden. Dieses Verfahren wird als „Remix plus“ bezeichnet. Ergänzungsmaterial wie Mineralstoffe oder Bindemittel können hinzugegeben werden, Asphaltmischgut jedoch nicht.⁴⁹

Es ist ebenfalls möglich eine Deckschicht mit demselben Gerät einzubauen, ohne die Asphaltzusammensetzung zu ändern. Der Vorgang ist unter dem Namen Repave im „Merkblatt für das Rückformen von Asphaltsschichten“ aufgeführt.

⁴⁹ vgl. FGSV, M RF, 2002, S. 4 (Straßenbau A – Z)

3.4.2 Kaltrecycling vor Ort

Kaltrecycling vor Ort, auch „in situ“ genannt, ist die Verwertung gebundener und ungebundener Straßenausbaustoffe im Kalteinbau. Das „Merkblatt für Kaltrecycling in situ“ beschreibt die Anwendung und Ausführung dieses Verfahrens. Es wird eingesetzt, um Materialtransporte zu sparen, Verwertungsmengen von Straßenausbaustoffen zu erhöhen und die Ressourcen natürlicher Mineralstoffe sowie Deponieräume zu schonen. Vor Ort werden Ausbaustoffe durch unterschiedliche Arbeitsvorgänge zu einem Kaltrecycling- Gemisch verarbeitet und wieder eingebaut.

Das Kaltrecycling- Gemisch, kurz KRC- Gemisch besteht aus Mischgranulat, Bindemitteln, Wasser und gegebenenfalls weiteren Ergänzungstoffen. Mischgranulat kann, wie im Abschnitt 3.3.2 erwähnt, Pechgranulat enthalten. Dieses Verfahren eignet sich ausgezeichnet um teer- und pechhaltige Ausbaustoffe ordnungsgemäß zu verwerten. Es kommen bitumenhaltige und hydraulische Bindemittel zum Einsatz. Wie auch bei der Verarbeitung in der Kaltmischanlage sind die bitumenhaltigen Bindemittel in der Regel Bitumenemulsionen oder Schaumbitumen. Hydraulische Bindemittel können Zemente nach der DIN EN 197-1 oder hydraulische Boden- und Tragschichtbinder gemäß der DIN 18506 sein.

Beim Kaltrecycling fährt das Arbeitsgerät auf der zu bearbeitenden oder bereits vorgelegten Schicht und wickelt folgende Prozessphasen ab:

- *„Fräsen und Granulieren der Straßenausbaustoffe*
- *Zugabe von Ergänzungstoffen, falls benötigt*
- *Zugabe von Wasser und Bindemittel*
- *Mischen*
- *Verteilen, Einbauen und Verdichten*⁵⁰

Es gibt mehrere Arbeitsgeräte, die für das Kaltrecyclingverfahren in Frage kommen. Sie sind im Anhang 2 mit den jeweils wichtigen Eigenschaften aufgeführt. Am häufigsten kommen Mixpaver, wie in der Abbildung 20 dargestellt, zum Einsatz. Diese Geräte haben verschiedene Vorrichtungen zum Abwickeln mehrerer Arbeitsvorgänge.

⁵⁰ FGSV, M KRC, 2005, S. 2-3 (Straßenbau A – Z)

Die Vorrichtungen dienen dem Aufnehmen von Mischgranulat, der dosierten Zugabe von Bindemitteln, dem homogenen Mischen mit dem Zwangsmischer und dem Verteilen sowie Einbauen des KRC- Gemisches. Die Endverdichtung wird wie bei allen anderen Varianten durch Glattmantelwalzen aus dem Straßenbau ausgeführt.



Abbildung 20 Mixpaver der Firma Wirtgen

3.5 Weitere Verwertungsmöglichkeiten von Ausbausphal im Straßenbau

Ausbauasphalt kann neben den bisher genannten Möglichkeiten auch in Tragschichten ohne Bindemitteln und Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln verwertet werden.

Die zuerst genannten Schichten werden nach den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau“ – ZTV SoB- StB – errichtet, sofern die darin enthaltenen Anforderungen an das Baustoffgemisch eingehalten werden.

Es dürfen nur Straßenausbaustoffe der Verwertungsklasse A nach Tabelle 4 verarbeitet werden, weil diese Schichten mit Wasser in Berührung kommen. Dadurch werden Bestandteile eluiert, weshalb die für das Grundwasser gefährlichen Stoffe der Verwertungsklasse B und C nicht eingebaut werden dürfen. Des Weiteren beschränkt sich der Einbau des Asphaltgranulats in Recyclingbaustoffen nach TL Gestein- StB 04/07 auf maximal 30 M.-%.

Eine weitere Möglichkeit Ausbauasphalt im Straßenbau zu verwerten, ist die Verfestigung mit hydraulischen Bindemitteln, besonders dann, wenn der Ausbauasphalt nicht sortenrein gewonnen wurde oder das Bindemittel im Ausbauasphalt sehr verhärtet ist.⁵¹ Diese RC- Schichten sollen unter Beachtung der „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau“ angefertigt werden. Falls man einen höheren Anteil an Asphaltgranulat als die zugelassenen 30 M.-% anstrebt, muss man das „Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat von pechhaltigen Straßenausbaustoffen in Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln“ zu Grunde ziehen. Dieses Merkblatt schreibt eine Mindestmenge von 30 M.-% Granulat im Baustoffgemisch vor. Natürliche Gesteinskörnungen, Stoffe zur Verbesserung der Eigenschaften und Beimengungen aus aufbereitetem Betonabbruch, dürfen währenddessen den Anteil von 70 M.-% nicht überschreiten. Das einzubauende Asphaltgranulat ist vor Verarbeitung auf pech- und teerhaltige Bestandteile zu überprüfen. Falls es bestätigt wird, sollen diese Bestandteile, dem Merkblatt nach, weitestgehend ohne Beimengungen anderer Stoffgruppen verwertet werden.

Verfestigungen mit hydraulischen Bindemitteln werden mit geeigneten Baustoffgemischen mit einer maximalen Stückgröße von 45 mm ausgeführt. Das maximale Überkorn beträgt 56 mm und darf den von Anteil 10 M.-% im Baustoffgemisch nicht überschreiten.

Da von pechhaltigen Baustoffgemischen die Gefahr ausgeht, den Boden und das Grundwasser durch Elution zu gefährden, müssen diese mit einer dichten Struktur hergestellt werden. Daher sollte das Baustoffgemisch einen Siebdurchgang bei 2 mm von mindestens 25 M.-% aufweisen.⁵²

⁵¹ vgl. Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat und pechhaltigen Ausbaustoffen in Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln, 2002, S. 1 (Straßenbau A – Z)

⁵² vgl. Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat und pechhaltigen Ausbaustoffen in Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln, 2002, S. 4 (Straßenbau A – Z)

4. Herstellung einer Asphaltdeckschicht mit erhöhtem Anteil an Asphaltgranulat

4.1 Vorbetrachtungen

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, wird in diesem Kapitel beschrieben, wie das Mischgut für eine Asphaltdeckschicht mit erhöhten Anteilen an Asphaltgranulat hergestellt wird. Diese Asphaltdeckschicht soll für die Verwendung beim Bau von Straßen, Flugplätzen und sonstigen Asphaltverkehrsflächen genutzt werden. Die Herstellung erfolgt im Baustofflabor der Firma STREICHER Tief- und Ingenieurbau Jena GmbH & Co. KG in Jena- Maua.

Als Mischgut wurde eine Deckschicht mit hohen Anforderungen gewählt. Die Bezeichnung lautet AC 8 D S, 50/70, das bedeutet:

- AC → Asphaltbeton
- 8 → obere Siebgröße (in mm)
- D → Deckschicht
- S → besondere Beanspruchung
- 50/70 → Bezeichnung des resultierenden Straßenbaubitumens

Neben dem S werden in der TL Asphalt- StB 07/13 noch das N für normale und das L für leichte Beanspruchung aufgeführt.

Für diese Versuche werden drei unterschiedliche Zusammensetzungen dieses Mischgutes festgelegt. Die Unterschiede beziehen sich dabei auf die Anteile an Asphaltgranulat. Die Deckschicht wird einmal mit 15, 25 und 40 M.-% RA hergestellt und beprobt. Die dafür geltenden Grundlagen und Vorschriften sind folgende:

- TL Gestein- StB 2004
- TL Asphalt- StB 07/13
- TL Bitumen- StB 07/13
- TL AG- StB 09

- TP Asphalt- StB 2007
- ZTV Asphalt- StB 07/13
- DIN EN 13108, Teil 1

Es folgt die Klassifizierung des verwendeten Asphaltgranulats, sowie die Ermittlung der maximalen Zugabemengen. Anschließend werden die verschiedenen Rezepte der Deckschichten erstellt. Die Versuchsdurchführung wird mit den notwendigen Prüfverfahren für die Deckschicht mit 15 M.-% RA beschrieben. Die Ergebnisse aller Proben werden am Ende aufgeführt und ausgewertet.

4.2 Klassifizierung des Asphaltgranulats

Das verwendete Asphaltgranulat ist Deckenfräsgut und stammt aus dem Straßen- aufbruch der BAB 4 AS Stadtroda. Die Bezeichnung dieser Sorte lautet 11 RA 0/8. Das bedeutet, dass es in der Kornklasse 0/8 liegt und einen Größtkorndurchmesser von 8 mm hat. Die maximale Stückgröße beträgt 11 mm. Es wird auf einer Granu- lathalde mit ca. 2500 t Gewicht an der Asphaltmischanlage in Jena- Maua gelagert und ist in die Verwertungsklasse A eingeordnet. Um die maximale Zugabemenge des Asphaltgranulats in Abhängigkeit von dessen Gleichmäßigkeit zu beurteilen, müssen die unterschiedlichen Merkmalsgrößen aus dem Kapitel 3.3.1.2 bestimmt werden. Der Granulathalde wurden fünf Proben entnommen und anschließend untersucht.

Um den Bindemittelgehalt zu bestimmen, muss das Bindemittel mittels eines Extrak- tionsverfahrens vom Granulat gelöst werden. Das geschah in diesem Fall durch die automatische Extraktion in einer geschlossenen Anlage im Labor. Die Verfahren zur Ermittlung des Bindemittelgehalts im Asphalt werden in der TP Asphalt- StB 13: Teil 1 – Bindemittelgehalt aufgeführt und beschrieben. Bei dieser Extraktion wird die vor- bereitete Messprobe in eine Waschtrommel eingewogen.

Diese Trommel ist mit einem Siebgewebe mit der Maschenweite von 0,063 mm gespannt. Anschließend wird die mit einem Deckel verschlossene Waschtrommel in ein Extraktionsgerät mit Trichlorethen eingebracht. Dieses dient als Lösungsmittel. Das Bindemittel wird während des Extraktionsvorganges vom Granulat gelöst und als Bindemittellösungsgemisch aufgefangen.

Der Füller wird separat aufgefangen und gewogen und die Gesteinskörnungsanteile $> 0,063$ mm werden für einen Siebvorgang vorbereitet.⁵³

Der Bindemittelgehalt wird aus der Differenz der eingewogenen Granulatprobe und der Auswaage der Gesteinskörnungen ermittelt. Das Extraktionsgerät wird in der Abbildung 21 dargestellt.



Abbildung 21 Automatische Extraktion in einer geschlossenen Anlage

Die aus diesem Prozess erhaltenen Gesteinskörnungen werden in einem Siebturm gesiebt, um die Korngrößenverteilung des Asphaltgranulats zu bestimmen. Zusätzlich werden die Arten der Gesteine und Bestandteile anhand der Eigenschaften und des Aussehens bestimmt. In diesen Granulatproben waren Diabas, Brechsand Natursand, Füller und Zellulosefasern enthalten.

⁵³ FGSV, TP Asphalt- StB 13: Teil 1, 2013, S. 6 (Straßenbau A – Z)

Um die letzte Merkmalsgröße, den Erweichungspunkt Ring und Kugel, zu bestimmen, muss das Bindemittel aus dem Bindemittellösungsgemisch zurückgewonnen werden. Dies erfolgt gemäß TP Asphalt- StB: Teil 3 mit einem Rotationsverdampfer. Bei diesem Verfahren ist das Gemisch in einen Destillierkolben einzusetzen und dieser hat sich mit 75 +/- 15 Umdrehungen pro Minute in einem Ölbad zu drehen. Durch verschiedene Druckstufen werden die Siedetemperaturen der Stoffe beeinflusst. Das im Gemisch enthaltene Lösungsmittel Trichlorethen hat dadurch seinen Siedepunkt bei 87 °C. Aus diesem Grund wird das Gemisch durch das Ölbad zunächst auf 90 °C erwärmt. Dadurch destilliert das Trichlorethen und gelangt in einen Kühlkreislauf.⁵⁴ Dieser Kühlkreislauf lässt das Lösungsmittel wieder in den flüssigen Aggregatzustand übergehen und wird anschließend in einem Leerkolben aufgefangen. Der Rotationsverdampfer ist in Abbildung 22 zu sehen.



Abbildung 22 Rückgewinnung des Bindemittels - Rotationverdampfer

Das im Destillierkolben zurückgebliebene Bitumen wird anschließend auf 160 °C erwärmt, um es für die folgenden Versuche fließfähig zu machen. Sobald das Bitumen extrahiert und vom Lösungsmittel getrennt wurde, kann der im Kapitel 2.1.2.1 dargestellte Versuch EP RuK durchgeführt werden.

⁵⁴ FGSV, TP Asphalt- StB 07: Teil 3, 2007, S. 3 (Straßenbau A – Z)

Für die fünf Proben des Asphaltgranulats ergaben sich somit folgende Werte:

Probe	Bindemittelgehalt [M.-%]	< 0,063 [mm]	0,063 - 2,0 [mm]	> 2,0 [mm]	Siebdurchgang [M.-%]								EP RuK [°C]
					0,063	0,125	0,25	1	2	5,6	8	11,2	
1	6,8	15,1	29,6	55,3	15,1	18,6	34,8	41,4	44,7	82,8	95,6	100,0	63,0
2	6,7	15,4	40,0	44,6	15,4	18,0	28,6	36,2	55,4	86,3	97,7	100,0	68,2
3	6,4	15,6	32,7	51,7	15,6	18,9	27,9	44,1	48,3	76,9	94,6	100,0	67,8
4	6,7	15,1	39,7	45,2	15,1	17,9	31,5	32,7	54,8	85,0	96,8	100,0	65,8
5	6,2	15,4	39,9	44,7	15,4	17,5	27,1	45,4	55,3	81,8	94,6	100,0	67,8
Mittelwert	6,6	15,3	36,4	48,3	15,3	18,2	30,0	40,0	51,7	82,6	95,9	100,0	66,5

Tabelle 10 Ergebnisse des beprobten Asphaltgranulats

Um nun die maximal mögliche Zugabemenge infolge der Gleichmäßigkeit zu ermitteln, müssen die Spannweiten der Merkmalsgrößen, welche die Differenzen zwischen den kleinsten und den größten Werten sind, berechnet werden. Sie sind in Tabelle 11 dargestellt.

Merkmalsgröße	Einheit	Größter Wert	Kleinster Wert	Mittelwert	Spannweite a
Bindemittelgehalt	M.-%	6,8	6,2	6,6	0,6
Erweichungspunkt RuK	°C	68,2	63	66,5	5,2
Kornanteil < 0,063 mm	M.-%	15,6	15,1	15,4	0,5
Kornanteil 0,063 - 2,0 mm	M.-%	40	29,6	34,8	10,4
Kornanteil > 2 mm	M.-%	55,3	44,6	50,0	10,7

Tabelle 11 Ermittlung der Spannweiten

Die Ermittlung kann, wie im Kapitel 3.3.1.2 aufgeführt, entweder rechnerisch oder grafisch erfolgen. In diesem Fall wurde die maximale Zugabemenge grafisch bestimmt.

In der Abbildung 23 sieht man die maßgebenden Spannweiten der Merkmalsgrößen und die daraus resultierende Zugabemenge an Asphaltgranulat.

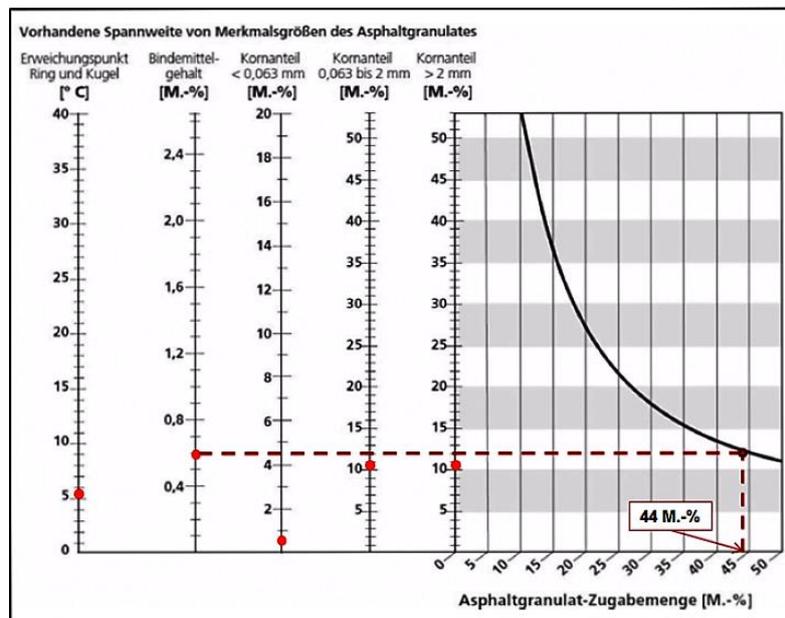


Abbildung 23 Grafische Ermittlung der maximalen Zugabemenge
(eigene Darstellung in Anlehnung an FGSV, M WA, 2013, S. 14)

Die resultierende maximale Zugabemenge des Asphaltgranulats in Abhängigkeit von seiner Gleichmäßigkeit beträgt 44 M.-%.

4.3 Rezepterstellung für die Asphaltdeckschichten

Die unterschiedlichen Zugabemengen Asphaltgranulat an die Asphaltdeckschicht wurden aufgrund labortechnischer Erfahrungen gewählt. Man kann davon ausgehen, dass die Probe mit 15 M.-% Asphaltgranulat zulässig sein wird und die Anforderungen einhält, da bereits Deckschichten mit solchen Rezepturen erstellt und eingebaut werden. 25 M.-% Asphaltgranulat übersteigen die üblichen Mengen des enthaltenen RA in Deckschichten. Es wird somit eine Deckschicht mit hohen Anforderungen erstellt, die zu einem Viertel aus recyceltem Fräsasphalt besteht. Bei der letzten Probe mit 40 M.-% enthaltenem RA wird die maximale Zugabemenge fast komplett ausgelastet.

Wie im Kapitel 4.2 ermittelt, beträgt die maximale Zugabemenge in Abhängigkeit von der Gleichmäßigkeit des RA 44 M.-%. Um praxisnah zu bleiben, wird der Zugabewert auf 5er Schritte gerundet. Da 45 M.-% nicht möglich sind, wird somit auf 40 M.-% abgerundet.

Die Rezepte der verschiedenen Asphaltzusammensetzungen wurden gemäß der TL Asphalt- StB 07/13 erstellt. Diese Technische Lieferbedingung schreibt für jede Asphaltart und –schicht die Sieblinienbereiche vor. Für eine AC 8 D S, 50/70 bedeutet das, dass die Sieblinie, wie in der Abbildung 24 zu sehen ist, im roten Bereich zu liegen hat. Die resultierende Bitumensorte ist ein Straßenbaubitumen 50/70.

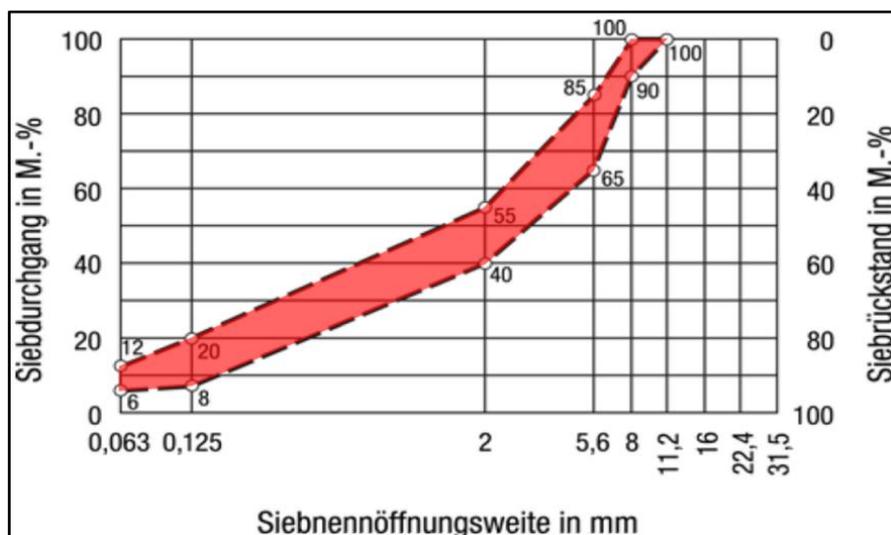


Abbildung 24 Sieblinienbereich AC 8 D S

(eigene Darstellung in Anlehnung an FGSV, TL Asphalt- Stb 07/13, 2013, S. 32)

Für das Gesteinskörnungsgemisch wurden folgende Gesteinssorten gewählt:

- Kalksteinmehl
- Diabas- Edelbrechsand 0/2
- Natursand 0/2
- Diabas- Edelsplitt 2/5
- Diabas- Edelsplitt 5/8

Es folgt die Erklärung zur Erstellung der Rezepte der Asphaltmischungen mit unterschiedlichen Anteilen an Asphaltgranulat. Während im Kapitel 4.3.1 die Ermittlung einzelner Werte genauer erfolgt, werden in den Abschnitten 4.3.2 und 4.3.3 hauptsächlich die wesentlichen Ergebnisse dargestellt.

4.3.1 Probe mit 15 M.- % Anteil an Asphaltgranulat

Die einzelnen Korngrößen und Mengen müssen so verteilt werden, dass die Sieblinie des Asphaltmischgutes mit 15 M.-% RA innerhalb des in Abbildung 24 dargestellten Sieblinienbereiches liegt. Für das Asphaltgranulat wurden die Mittelwerte der Tabelle 10 zu Grunde gelegt. Die Abbildung 25 zeigt den Siebdurchgang und die Sieblinie, die anhand eines Programms für diese Mischung entworfen wurden.

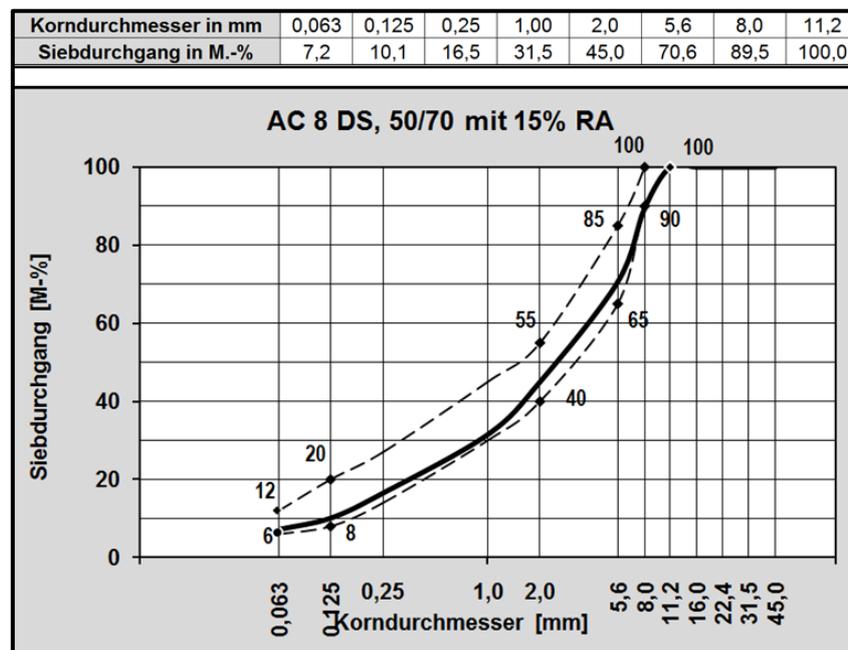


Abbildung 25 Sieblinie der AC 8 D S mit 15 M.-% RA

Die Sieblinie wurde nicht genau in die Mitte des Sieblinienbereiches gelegt, weil daraus ein hoher Fülleranteil resultiert. Dies könnte sich ungünstig auf den später zu bestimmenden Hohlraumgehalt auswirken.

Als Nächstes folgte die Ermittlung der Menge des Zugabebitumens. Ein Teil des erforderlichen Bindemittels ist bereits im Asphaltgranulat enthalten. Der Mindestbinde- mittelgehalt B_{\min} beträgt für eine AC 8 D S 6,2 M.-%.

Diese in der TL Asphalt- StB 07/13 aufgeführten Werte beziehen sich auf ein Ge- steinskörnungsgemisch mit einer Rohdichte von $2,650 \text{ g/cm}^3$. Daher muss der Bin- demittelgehalt für das Gemisch aus Gesteinskörnungen und Asphaltgranulat mit ei- nem Faktor α multipliziert werden. Anschließend erfolgt für ausgewählte Asphalt- mischgutarten, worunter die Deckschicht aus Asphaltbeton zählt, eine Erhöhung des Gehalts um 0,1 M.-%. Der Faktor α ergibt sich aus Formel 4.

$$\alpha = \frac{2,650 \text{ g/cm}^3}{\rho}$$

Formel 4 Korrekturfaktor des Binde- mittelgehalts

α → Korrekturfaktor zur Ermittlung des Bindemittelgehalts [-]
 ρ → Rohdichte des verwendeten Gesteinskörnungsgemisches [g/cm^3]

Die Rohdichte wurde gemäß TP Asphalt- StB 13: Teil 5 Rohdichte von Asphalt ermit- telt. Dabei wird die Probe in ein Pyknometer gefüllt und das Volumen der hohlraum- freien Probe durch Überschichten mit destilliertem Wasser als Prüfmedium ermittelt. Zusätzlich wird das Pyknometer mit einem Unterdruck beaufschlagt, damit das Wasser in die noch vorhandenen Hohlräume eindringen kann.

Für die Berechnung der Rohdichte wird zuerst das Volumen des Pyknometers durch die Formel 5 ermittelt.

$$V_{Pt} = \frac{m_2 - m_1}{\rho_w}$$

Formel 5 Ermittlung Rohdichte des Pyknometers

V_{Pt} → Volumen des Pyknometers [cm^3]
 m_1 → Masse des Pyknometers (inkl. Schliffaufsatz) [g]
 m_2 → Masse des Pyknometers (inkl. Schliffaufsatz) und des Wassers [g]
 ρ_w → Dichte des Wassers bei Kalibrierungstemperatur [g/cm^3]

Anschließend berechnet man die Rohdichte des Stoffes nach der Formel 6.

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V_{Pt} - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w}}$$

Formel 6 Ermittlung Rohdichte

ρ	→	Rohdichte des Stoffes [g/cm ³]
m_1	→	Masse des Pyknometers (inkl. Schliffaufsatz) [g]
m_2	→	Masse des Pyknometers (inkl. Schliffaufsatz) und des Wassers [g]
m_3	→	Masse des Pyknometers (inkl. Schliffaufsatz), der Messprobe und des Wassers [g]
V_{Pt}	→	Volumen des Pyknometers [cm ³]
ρ_w	→	Dichte des Wassers bei Kalibrierungstemperatur [g/cm ³]

Für die Berechnung des Faktors α aus Formel 4 wurde der Mittelwert zweier ermittelten Rohdichten, $\rho = 2,82 \text{ g/cm}^3$, bestimmt. Daraus ergibt sich ein Faktor $\alpha = 0,94$. Es folgt ein rechnerischer Mindestbindemittelgehalt von 5,8 M.-%. Nach der Erhöhung um 0,1 M.-% resultiert ein Gesamtmindestbindemittelgehalt von 5,9 M.-%.

Um herauszufinden, wieviel M.-% Bitumen durch das Granulat dem Mischgut zugegeben wird, muss der prozentuale Gesamtanteil an RA mit dem Bindemittelgehalt im RA multipliziert werden. Es ergibt sich ein Bindemittelgehalt von 1,0 M.-%. Dadurch muss 4,9 M.-% Zugabebindemittel hinzugeführt werden. Als Zugabebindemittel dürfen ausschließlich Bitumen mit denselben Spezifikationen, wie das geforderte Bitumen oder welche, die höchstens eine Sorte weicher sind, verwendet werden.

In diesen Versuchen wurde das Straßenbaubitumen 70/100 ausgewählt. Da das Asphaltgranulat einen hohen EP RuK hat, wird durch die Zugabe des weicheren Bitumens bezweckt, dass der resultierende EP RuK innerhalb der Sortenspanne des Bitumens 50/70 liegt.

Die Ermittlung des resultierenden EP RuK erfolgt nach Formel 3. Die Erweichungspunkte des Granulats und des Zugabebindemittels werden mit den jeweiligen Masseanteilen multipliziert und anschließend addiert.

Dabei wird für den EP RuK des Zugabebindemittels der mittlere EP der Sortenspanne gewählt. In dem Versuch mit der AC 8 D S mit 15 M.-% RA ergab sich ein resultierenden EP RuK von 49,9 °C. Dieser liegt in der Sortenspanne, 46 °C bis 54 °C, des Straßenbaubitumens 50/70 gemäß TL Asphalt und ist damit zulässig.

4.3.2 Probe mit 25 M.-% Anteil an Asphaltgranulat

Die Ermittlung der folgenden Werte erfolgte wie bereits im Kapitel 4.3.1 erwähnt. Es wurde eine Sieblinie für AC 8 D S mit 25 M.-% Anteil an RA entworfen. Die Abbildung 26 zeigt den Siebdurchgang und die Sieblinie für diese Mischung.

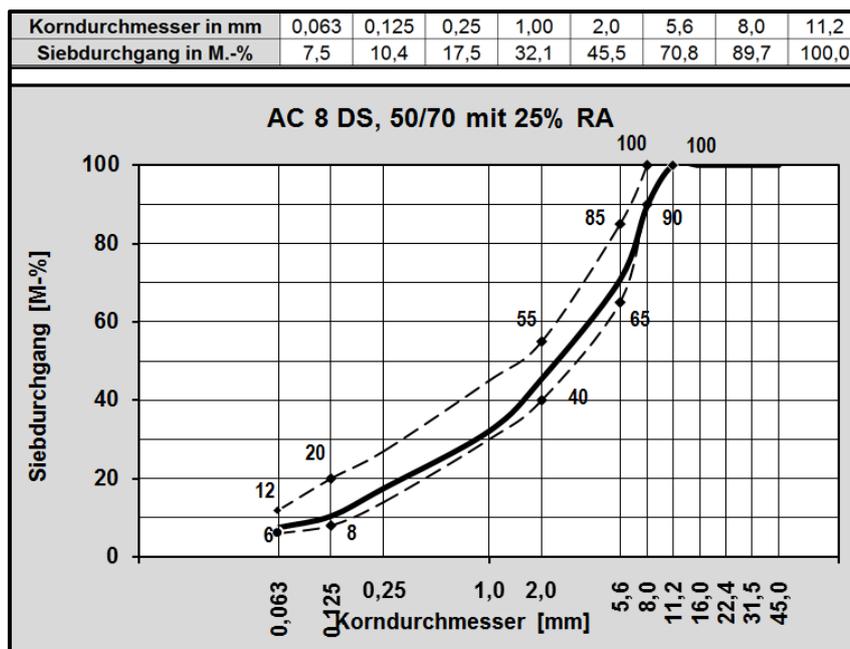


Abbildung 26 Sieblinie der AC 8 D S mit 25 M.-% RA

Die Rohdichte ρ des Mineralgemisches beträgt 2,77 g/cm³. Daraus resultiert ein geforderter Gesamtbindemittelgehalt im Mischgut von 6,0 M.-%. Das im Asphaltgranulat enthaltene Bitumen trägt 1,7 M.-% Bindemittel zum Mischgut bei. Dadurch müssen 4,3 M.-% an Zugabebitumen zugeführt werden.

Wie auch bei der Probe mit 15 M.-% RA wird auch hier als Zugabebitumen das Straßenbaubitumen 70/100 ausgewählt. Der rechnerisch ermittelte EP RuK beträgt 51,9 °C. Damit liegt dieser im Sollbereich für das geforderte Straßenbaubitumen 50/70 und ist zulässig.

4.3.3 Probe mit 40 M.- % Anteil an Asphaltgranulat

Die Ermittlung der folgenden Werte erfolgte wie bereits im Kapitel 4.3.1. erwähnt. Es wurde eine Sieblinie für AC 8 D S mit 40 M.-% Anteil an RA entworfen. Die Abbildung 27 zeigt den Siebdurchgang und die Sieblinie für diese Mischung.

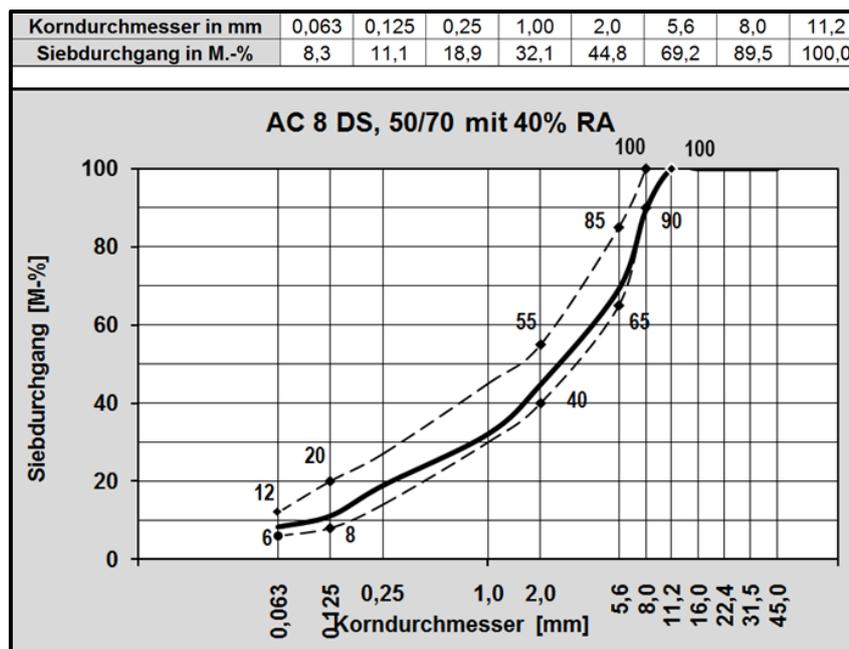


Abbildung 27 Sieblinie der AC 8 D S mit 40 M.-% RA

Bei dieser Mischung beträgt die Rohdichte ρ des Mineralgemisches 2,74 g/cm³. Es folgt ein geforderter Gesamtbindemittelgehalt im Mischgut von 6,1 M.-%. Das im Asphaltgranulat enthaltene Bitumen trägt 2,6 M.-% Bindemittel zum Mischgut bei. Dadurch müssen 3,5 M.-% an Zugabebitumen zugeführt werden.

Es wird wieder das Straßenbaubitumen 70/100 als Zugabe-bitumen gewählt. Der rechnerisch ermittelte EP RuK beträgt 54,8 °C. Dieser liegt damit außerhalb des Sollbereichs des geforderten Bitumens und ist nach der TL Bitumen 07/13 nicht zulässig.

4.3.4 Zusammenfassung der Rezepterstellung

Es folgt in der Tabelle 12 eine Übersicht der bisher ermittelten Werte. Die Auswertung wird dazu im Kapitel 4.5 durchgeführt.

RA [M.-%]	Siebdurchgang [M.-%]								B _{min} nach TL Asphalt	neu errechneter BM-Gehalt	Sorte Zugabe- bindemittel	Zugabe- bindemittel [M.-%]	Bindemittel aus RA [M.-%]	EP RuK RA [°C]	result. EP RuK [°C]	Sollbereich result. Bitumen: EP RuK [°C]
	0,063	0,125	0,25	1,00	2,0	5,6	8,0	11,2								
15	7,2	10,1	16,5	31,5	45,0	70,6	89,5	100,0	6,2	5,9	70/100	4,9	1,0	66,5	49,9	46 - 54
25	7,5	10,4	17,5	32,1	45,5	70,8	89,7	100,0	6,2	6,0	70/100	4,3	1,7	66,5	51,9	46 - 54
40	8,3	11,1	18,9	32,1	44,8	69,2	89,5	100,0	6,2	6,1	70/100	3,5	2,6	66,5	54,8	46 - 54

Tabelle 12 Übersicht der Rezepterstellung

4.4 Versuchsdurchführung – Herstellung und Beprobung der Mischungen mit 15 M.-% Anteil an Asphaltgranulat

In diesem Kapitel werden verschiedene Versuche durchgeführt, die zur Ermittlung der Zulässigkeit des Asphalts notwendig sind. Maßgebend für eine Entscheidung über die Zulässigkeit sind der im Asphalt vorhandene Hohlraumgehalt und das resultierende Bindemittel. Die für die Auswertung relevanten Ergebnisse werden im Abschnitt 4.5 dargestellt. Zusätzlich befindet sich im Anhang 3 eine Fotostrecke zu den Versuchsdurchführungen.

Es wurden insgesamt drei verschiedene Mischungen für den Asphalt mit 15 M.-% an Asphaltgranulat hergestellt. Dabei wurde der Bindemittelgehalt variiert. Ausgehend vom errechneten Bindemittelgehalt 5,9 M.-% wurde dieser einmal um 0,3 M.-% erhöht und einmal um 0,3 M.-% verringert.

Durch diesen Schritt erkennt man, wie sich der Bindemittelgehalt auf das Mischgut auswirkt und kann dadurch angepasst werden. Nach der Erstellung der Rezepte wurden die Inhaltsstoffe des geplanten Asphalt exakt abgewogen und für die Herstellung vorbereitet. Anschließend musste die Rohdichte des Gemisches aus Gesteinskörnungen und Asphaltgranulat mittels eines Pyknometers bestimmt werden. Die Ausführung erfolgte wie im Abschnitt 4.3.1 beschrieben. Die aus zwei Referenzproben gemittelte Rohdichte ρ ergab $2,82 \text{ g/cm}^3$.

Da das Asphaltgranulat, die Mineralstoffe und das Bitumen nicht bei Raumtemperatur verarbeitet werden können, musste eine Erwärmung ohne Zufuhr von Frischluft erfolgen. Die Stoffe wurden abgedeckt und separat voneinander erwärmt. Dabei wurden die Gesteinskörnungen und der Fülleranteil auf eine Temperatur von $110 \pm 5 \text{ °C}$ erwärmt und getrocknet. Das Asphaltgranulat wurde vor der Mischung flach ausgebreitet und 24 Stunden lang bei einer Temperatur von 70 °C und geringem Luftaustausch getrocknet. Vor der Mischung ist es drei bis fünf Stunden bei einer Temperatur von $110 \pm 5 \text{ °C}$ erwärmt worden. Das Zugabebindemittel Bitumen ist ebenfalls drei bis fünf Stunden jedoch auf die Mischtemperatur $\pm 5 \text{ °C}$ erwärmt worden. Die Mischtemperatur ist abhängig vom vorgesehenen Bitumen. In diesem Fall resultiert nach TP Asphalt- StB 07: Teil 8 eine Mischtemperatur von 150 °C .⁵⁵

Nachdem die gewünschte Zieltemperatur erreicht wurde, kam es zur Mischgutherstellung im Laboratorium. Als Gerät wurde ein Universal- Labormischer verwendet, welcher nach TP Asphalt- StB 07: Teil 35 folgende Anforderungen erfüllen muss:

- „geeignet für die Herstellung von Asphaltmischgut mit einer Nenngröße bis zu 32 mm,
- homogene Durchmischung der gesamten Charge,
- indirekte Beheizung mit Temperatursteuerung,
- regelbare Mischdauer,
- Möglichkeit zum vollständigen Entleeren des Mischgefäßes,
- gleichmäßige Verteilung von Gesteinskörnungen und Bindemittel,
- praktisch keine Zerstörung der Gesteinskörnungen,
- vollständige Umhüllung der Gesteinskörnungsoberflächen“⁵⁶

⁵⁵ vgl. FGSV, TP Asphalt- StB 2007: Teil 28, 2007, S. 2 (Straßenbau A – Z)

⁵⁶ FGSV, TP Asphalt- StB 07: Teil 35, 2007, S. 1-2 (Straßenbau A – Z)

Der verwendete Mischer ist in Abbildung 28 zu sehen.



Abbildung 28 Universal- Labormischer

Bei der Herstellung von Asphaltbetonen werden im Regelfall zunächst die Gesteinskörnungen gefolgt von dem Asphaltgranulat zugegeben, bevor das Bitumen dem Mischprozess zugeführt wird. Die Einwaagen der einzelnen Mischungen wogen ca. 5000 g. Davon wurden anschließend drei Marshallprobekörper je 1250 g hergestellt. Das verbliebene Mischgut verwendete man für die Rohdichtebestimmung des Asphalttes.

Daraus ergaben sich folgende Einwaagen:

Mischung	Gesamtbitumen [M.-%]	Einwaage der Gesamtmischung [g]						Summe
		Zugabe-bitumen 70/100	Kalksteinmehl	Diabas-Edelbrechsand 0/2	Diabas-Edelsplitt 2/5	Diabas-Edelsplitt 5/8	Asphaltgranulat 11 RA 0/8	
1	5,60	230,50	94,40	1793,60	755,20	1368,80	708,00	4950,50
2	5,90	245,50	94,10	1787,90	752,80	1364,50	705,80	4950,60
3	6,20	260,50	93,80	1782,20	750,40	1360,10	703,50	4950,50

Tabelle 13 Einwaagen der Mischungen mit 15 M.-% RA

Asphaltbetone sind nach der Zugabe des Bitumens solange zu mischen, bis die Gesteinskörnungen vollständig umhüllt sind und das Mischgut augenscheinlich homogen ist. Dabei darf die Mischzeit von drei Minuten bei einem Universal-Labormischer nicht überschritten werden.

Die Proben wurden nach dem Mischen verwogen und für die Bestimmung des Hohlraumgehaltes und der Rohdichte aufgeteilt.

Der Hohlraumgehalt im Asphaltmischgut wird über sogenannte Marshallprobekörper ermittelt. Diese werden gemäß TP Asphalt- StB 07: Teil 30 mittels eines Marshall-Verdichtungsgerät – MVG – hergestellt. Bei der Herstellung wird vorgewärmtes Asphaltmischgut in eine Verdichtungsform aus Stahl gegeben und im Marshall-Verdichtungsgerät mit einem herabfallenden Gewicht verdichtet. Der Probekörper wird anschließend ausgeformt und auf Raumtemperatur abgekühlt.

Für die Herstellung mussten die Asphaltproben temperiert werden. Dabei wurden die erforderlichen Asphaltmischgutmengen, die pro Probekörper zwischen 1050 g und 1350 g liegen müssen, auf verschiedene Mischschalen aufgeteilt und ohne Zufuhr von Frischluft in einer Wärmekammer zwischengelagert. Die Verdichtung im MVG konnte beginnen, sobald das Mischgut mit Straßenbaubitumen eine Temperatur von $135 \pm 5 \text{ °C}$ hatte. Die erwärmte Masse kam in einen genormten Formzylinder, der anschließend mit dem Sockel des Marshall-Verdichtungsgeräts verbunden wurde. Ein Fallhammer hat innerhalb von 55 bis 60 Sekunden mit im Regelfall 50 Verdichtungsschlägen die Probe bearbeitet. Die Fallhöhe betrug bei diesem Versuch $460 \pm 3 \text{ mm}$.

Nachdem man den Probekörper umgedreht und nochmals verdichtet hat, erfolgte eine Abkühlung an der Luft auf circa 40 °C .⁵⁷

⁵⁷ vgl. FGSV, TP Asphalt- StB 07: Teil 30, 2007, S. 5 (Straßenbau A – Z)

Die Abbildung 29 zeigt auf der linken Seite ein Marshall-Verdichtungsgerät und auf der rechten Seite zur Abkühlung abgestellte Formzylinder mit Asphaltmischgut.



Abbildung 29 MVG und Marshallprobekörper in Formzylindern

Währenddessen die Probekörper zur Kühlung abgestellt wurden, wurde die Rohdichte des Asphalt bestimmt, wie im Kapitel 4.3.1 beschrieben. Dies erfolgte gemäß TP Asphalt- StB 13: Teil 5 Rohdichte von Asphalt. Die in den Ergebnissen des Kapitels 4.5 dargestellten Werte sind die Mittelwerte zweier Referenzproben.

Nachdem die Abkühlung abgeschlossen war, konnte die Ermittlung der Raumdichte und des daraus resultierenden Hohlraumgehaltes erfolgen. Die Raumdichte der Asphaltprobe ist gemäß TP Asphalt- StB 12: Teil 6 der Quotient aus seiner Masse und seinem Volumen, inklusive Hohlräume. Dabei erfolgt die Bestimmung der Masse m_1 durch Wägen des trockenen Probekörpers an der Luft. Für die Bestimmung des Volumens sind in dieser Technischen Prüfvorschrift drei Verfahren aufgeführt, die abhängig von der Asphaltart eingesetzt werden. Bei Asphaltbeton für Asphaltdeckschichten kommt das Verfahren B: Raumdichte – SSD – saturated surface dry condition – zum Einsatz.⁵⁸

⁵⁸ vgl. FGSV, TP Asphalt- StB 12: Teil 6, 2012, S. 2-3 (Straßenbau A – Z)

Dabei wurde die Probe für 90 +/- 30 Minuten in einem Wasserbad auf 25,0 +/- 1,0 °C temperiert. Die Masse m_2 war durch Wägung im Wasser zu entnehmen. Anschließend wurde die Probe aus dem Wasserbad genommen und durch leichtes Abtupfen mit einem feuchtem Ledertuch von anhafteten Tropfen befreit. Unmittelbar danach war die Masse m_3 zu bestimmen. Durch die Ermittlung der verschiedenen Massen konnte mittels Formel 5 die Raumdichte bestimmt werden.

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} * \rho_w$$

Formel 7 Ermittlung Raumdichte

ρ_{bssd}	→	Raumdichte – SSD [g/cm ³]
m_1	→	Masse der trockenen Probe [g]
m_2	→	Masse der Probe in Wasser [g]
m_3	→	Masse der abgetupften Probe [g]
ρ_w	→	Raumdichte – SSD [g/cm ³]

Der für die Entscheidung über die Zulässigkeit wichtige Hohlraumgehalt wurde gemäß TP Asphalt- StB 12: Teil 8 mit der Formel 6 berechnet.

$$V = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100$$

Formel 8 Ermittlung Hohlraumgehalt

V	→	Hohlraumgehalt [Vol.-%]
ρ_m	→	Rohdichte des Asphaltmischgutes [g/cm ³]
ρ_b	→	Raumdichte des Probekörpers [g/cm ³]

Nachdem der Hohlraumgehalt der drei Proben ermittelt wurde, musste der Bindemittelgehalt und der Erweichungspunkt Ring und Kugel ermittelt werden. Dafür wurde ein Marshall- Probekörper zerteilt und zerkleinert.

Die Bindemittelgehaltbestimmung erfolgte wie im Kapitel 4.2 beschrieben. Die Erzeugnisse der Extraktion waren Gesteinskörnungen und das Bindemittellösungsgemisch. Die Sieblinie der Mineralstoffe wurde anschließend durch Sieben in einem Siebturm und Wiegen der Körnungen überprüft, während das Bitumen im Rotationsverdampfer aus dem Bindemittellösungsgemisch zurückgewonnen wurde. Auf diese Rückgewinnung folgte der Versuch Erweichungspunkt Ring und Kugel, welcher bereits im Kapitel 2.1.2.1 erläutert wurde.

4.5 Ergebnisse der Versuchsdurchführungen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der relevanten Prüfungen aller Mischgutzusammensetzungen aufgeführt. Die Darstellung erfolgt in Tabellenform. Die farblich hinterlegten Felder sind dabei maßgebend für die Zulässigkeit des Mischgutes. Dabei bedeutet grün, dass die Anforderungen erfüllt sind und rot, dass sie nicht erfüllt sind.

Aufgrund labortechnischer Erfahrungen wurden für die verschiedenen Mischungen der Proben mit 25 M.-% und 40 M.-% RA die gleichen Gesamtbindemittelgehalte wie bei den Mischungen mit 15 M.-% RA zugrunde gezogen. Außerdem wurde bei den jeweiligen Zugabemengen von RA der mittlere EP RuK als maßgebend für das Mischgut angenommen.

Die Einwaagen der Mischgüter mit 25 M.-% und 40 M.-% lassen sich im Anhang 4 nachlesen.

4.5.1 Mischgüter mit 15 M.-% Asphaltgranulat

In der Tabelle 14 sind die Prüfungsergebnisse der AC 8 D S, 50/70 mit 15 M.-% Anteil an RA enthalten.

Aspekt		Maß- einheit	Mischung		
			1	2	3
Gesamtbindemittelgehalt		M.-%	5,60	5,90	6,20
Rohdichte Asphalt	Pyknometer leer	g	695,45	686,40	695,45
	Pyknometer voll	g	1259,70	1238,50	1221,15
	Mineraleinwaage	g	564,25	552,10	525,70
	Pykn. voll + dest. W	g	2293,35	2231,85	2266,85
	destilliertes Wasser	g	1033,65	993,35	1045,70
	Dichte dest. Wasser (25 °C)	g/cm³	0,996	0,996	0,996
	Volumen Pyknometer	cm³	1254,750	1210,100	1245,750
	Rohdichte Asphalt	g/cm³	2,601	2,595	2,566
Marshall- Probekörper	Gewicht trocken an der Luft	g	1244,93	1241,73	1244,40
	Gewicht unter Wasser	g	746,63	743,50	746,67
	Gewicht nass an der Luft	g	1246,57	1243,20	1245,57
	Raumdichte	g/cm³	2,490	2,485	2,494
	Grenzwerte Hohlraumgehalt für AC 8 D S	Vol.-%	2,0 - 3,5		
	Hohlraumgehalt Asphalt	Vol.-%	4,3	4,2	2,8
EP RuK	Sortenspanne EP RuK 50/70	°C	46,0 - 54,0		
	errechnet	°C	49,9		
	geprüft	°C	52,6		

Tabelle 14 Prüfungsergebnisse – 15 M.-% RA

4.5.2 Mischgüter mit 25 M.-% Asphaltgranulat

In der Tabelle 15 sind die Prüfungsergebnisse der AC 8 D S, 50/70 mit 25 M.-% Anteil an RA enthalten.

Aspekt		Maß- einheit	Mischung		
			1	2	3
Gesamtbindemittelgehalt		M.-%	5,60	5,90	6,20
Rohdichte Asphalt	Pyknometer leer	g	686,60	695,90	686,80
	Pyknometer voll	g	1187,80	1202,30	1202,50
	Mineraleinwaage	g	501,20	506,40	515,70
	Pykn. voll + dest. W	g	2200,50	2256,2	2207,90
	destilliertes Wasser	g	1012,70	1053,90	1005,40
	Dichte dest. Wasser (25 °C)	g/cm³	0,996	0,996	0,996
	Volumen Pyknometer	cm³	1210,100	1254,800	1210,100
	Rohdichte Asphalt	g/cm³	2,593	2,576	2,570
Marshall- Probekörper	Gewicht trocken an der Luft	g	1243,60	1246,80	1243,80
	Gewicht unter Wasser	g	745,10	748,20	746,70
	Gewicht nass an der Luft	g	1245,80	1248,30	1245,60
	Raumdichte	g/cm³	2,484	2,493	2,493
	Grenzwerte Hohlraumgehalt für AC 8 D S	Vol.-%	2,0 - 3,5		
	Hohlraumgehalt Asphalt	Vol.-%	4,2	3,2	3
EP RuK	Sortenspanne EP RuK 50/70	°C	46,0 - 54,0		
	errechnet	°C	51,9		
	geprüft	°C	53,8		

Tabelle 15 Prüfungsergebnisse – 25 M.-% RA

4.5.3 Mischgüter mit 40 M.-% Asphaltgranulat

In der Tabelle 16 sind die Prüfungsergebnisse der AC 8 D S, 50/70 mit 40 M.-% Anteil an RA enthalten.

Aspekt		Maß- einheit	Mischung		
			1	2	3
Gesamtbindemittelgehalt		M.-%	5,60	5,90	6,20
Rohdichte Asphalt	Pyknometer leer	g	686,80	695,65	686,80
	Pyknometer voll	g	1180,45	1182,60	1206,40
	Mineraleinwaage	g	493,65	486,95	519,60
	Pykn. voll + dest. W	g	2197,10	2245,25	2208,85
	destilliertes Wasser	g	1016,65	1062,65	1002,45
	Dichte dest. Wasser (25 °C)	g/cm³	0,996	0,996	0,996
	Volumen Pyknometer	cm³	1210,100	1254,750	1210,100
	Rohdichte Asphalt	g/cm³	2,607	2,592	2,552
Marshall- Probekörper	Gewicht trocken an der Luft	g	1242,60	1243,60	1240,50
	Gewicht unter Wasser	g	742,70	748,10	747,40
	Gewicht nass an der Luft	g	1244,80	1245,00	1241,70
	Raumdichte	g/cm³	2,475	2,503	2,509
	Grenzwerte Hohlraumgehalt für AC 8 D S	Vol.-%	2,0 - 3,5		
	Hohlraumgehalt Asphalt	Vol.-%	5,1	3,5	1,7
EP RuK	Sortenspanne EP RuK 50/70	°C	46,0 - 54,0		
	errechnet	°C	54,8		
	geprüft	°C	59,2		

Tabelle 16 Prüfungsergebnisse – 40 M.-% RA

4.6 Auswertung der Versuchsergebnisse

Es wurden insgesamt neun verschieden zusammengesetzte Asphaltproben hergestellt und auf ihre Zulässigkeit gemäß heutigen Standards und Vorschriften untersucht. Die aus diesen Versuchen gewonnenen Erkenntnisse verdeutlichen, wie sich unterschiedlich hohe Zugabemengen von Asphaltgranulat auf die Eigenschaften von Asphaltsschichten auswirken. Es steht fest, je mehr Asphaltgranulat an die Deckschicht zugegeben wird, umso schwieriger wird es die Toleranzen der TL Asphalt-StB 07/13 für die geforderte AC 8 D S, 50/70 einzuhalten.

Die im Granulat enthaltenen Füller- und Bitumenanteile wirken sich auf den Hohlraumgehalt aus. Je mehr Füller und Bitumen, umso niedriger ist der resultierende Hohlraumgehalt im Asphalt. Das lässt sich sehr gut durch die unterschiedlichen Gesamtbindemittelgehalte in den jeweiligen Asphaltzusammensetzungen erkennen. Sowohl bei den Mischgütern mit 15 M.-% RA, als auch bei denen mit 25 M.-% und 40 M.-% werden die Hohlräume stetig kleiner, je höher der Gesamtbindemittelgehalt ist. Des Weiteren vergrößern sich die Spannweiten der Mischungen 1, 2, und 3 bezogen auf den Hohlraumgehalt, umso höher der Granulatanteil wird. Eine Ausnahme bildet hier das Mischgut mit 15 M.-% Anteil an RA. Bei den Mischungen 1 und 2 wurden entgegen der Erwartungen relativ gleichbleibende Hohlraumgehalte ermittelt. Ebenso reichte der für das Mischgut mit 15 M.-% RA errechnete Gesamtbindemittelgehalt nicht aus, um einen zulässigen Hohlraumgehalt zu erzielen. Diese Abweichungen werden mit der Beschaffenheit des Asphaltgranulats begründet. Es kann zu Unregelmäßigkeiten des Granulats innerhalb einer Asphaltgranulalthalke kommen. Das liegt vor allem an den unterschiedlich langen Lagerzeiten.

Durch zu niedrige Hohlraumgehalte sind die Eigenschaften der Deckschicht nicht mehr gegeben. Es kann zu Verdrückungen im Asphalt kommen, der sogenannten Spurrinnenbildung. Aus diesem Grund verringert sich die Menge des Zugabefüllers, je mehr Granulat eine Deckschicht enthalten soll. Den Vergleich bieten dazu die Tabelle 13, sowie die im Anhang 4 enthaltenen Tabellen der Einwaagen.

Gegenüber den Asphaltproben mit 15 M.-% RA halbierten sich die Zugabefüllermengen der Mischungen mit 25 M.-% von im Mittel 94,1 g auf durchschnittliche 47,06 g. Den Mischungen mit 40 M.-% RA wurden dagegen keine Zugabefüller beigegeben. Betrachtet man weiter die verschiedenen Einwaagen, so wird erkennbar, dass sich die Zugabemengen der unterschiedlichen Gesteinskörnungen ändern, je mehr Granulat beigegeben wird. Der 0/2 Sand und der 2/5 Splitt wird deutlich weniger, während der Betrag der Einwaage des 5/8 Splittes annähernd konstant bleibt. Das kommt zustande, weil das Asphaltgranulat einen großen Teil an 0/2 und 2/5 Gesteinskörnungen enthält. Um im Sieblinienbereich einer AC 8 D S zu bleiben, werden deswegen weniger solcher Bestandteile dem Mischgut zusätzlich beigegeführt.

Ebenso muss man auf zu hohe Bindemittelgehalte im Mischgut achten, da es bei einer Bitumenanreicherung in der Deckschicht zum Griffigkeitsverlust an der Oberfläche führen kann. Dem könnte bei der Mischgutherstellung entgegengewirkt werden, indem weniger Zugabebitumen beigegeben wird. Allerdings ist dabei der zweite entscheidende Faktor bei der Herstellung von Asphaltmischgut unter Zugabe von Asphaltgranulat zu beachten, der Erweichungspunkt Ring und Kugel. Der EP RuK des Bindemittels im Mischgut muss gemäß TL Bitumen- StB 07/13 innerhalb der Sortenspanne des geforderten Bitumens liegen. Das gewissen Alterungsprozessen ausgesetzte Bitumen im Asphaltgranulat ist oft härter und hat damit einen höheren EP RuK als das geforderte Bitumen. Je mehr Granulat im Mischgut enthalten ist, umso höher ist der aus Granulat und Zugabebitumen resultierende EP RuK. Dieser Umstand wird durch die errechneten und geprüften Erweichungspunkte in den Tabellen 14 bis 16 deutlich. Dabei ist der geprüfte EP RuK in jedem Fall höher, als der errechnete EP. Dieser Aspekt ist wieder auf die Beschaffenheit und das Alter des Asphaltgranulats zurückzuführen. Bei dem Mischgut mit 40 M.-% RA ist dieser sogar um 4,4 °C größer, was den größten Temperaturunterschied darstellt.

Um innerhalb des Sollbereichs des EP RuK zu liegen, ist daher eine vermehrte Zugabe des in der Regel weicheren Zugabebitumens erforderlich, was wiederum eine Verringerung des Hohlraumgehalts zur Folge hat. Aufgrund der Aspekte Hohlraumgehalt und EP RuK sind die Zugabemengen an Asphaltdeckschichten begrenzt. Um einen der Werte zu begünstigen, beeinträchtigt man zwangsläufig den anderen Aspekt.

Die Versuche zeigten, dass die hergestellten AC 8 D S, 50/70 sowohl mit 15 M.-%, als auch mit 25 M.-% RA den Anforderungen der Technischen Lieferbedingungen entsprechen. Lediglich die getesteten Mischgüter mit 40 M.-% RA erfüllen nicht die Sollwerte. Dabei lag der Erweichungspunkt Ring und Kugel 5,2 °C über dem Maximum der Sortenspanne eines Straßenbaubitumens 50/70. Jedoch wurde der Hohlraumgehalt bei der Mischung 2 eingehalten. Die Sortenspanne des Kriteriums Hohlraumgehalt erlaubt es diesen noch weiter zu senken. Das kann mit der erhöhten Zugabe von Bitumen der Sorte 70/100 erfolgen, was wiederum eine Verringerung des EP RuK zur Folge hätte. Jedoch beträgt der Hohlraumgehalt bei der Mischung 3 mit dem Gesamtbindemittelgehalt 6,2 M.-% bereits 1,7 Vol.-%, was unterhalb der Spannweite der Deckschicht liegt. Daher ist anzunehmen, dass unter diesen Voraussetzungen keine Deckschicht mit 40 M.-% RA möglich ist, die die Anforderungen der TL Asphalt- StB 07/13 und der TL Bitumen- StB 07/13 erfüllt.

Es ist jedoch durchaus möglich den Asphaltgranulatanteil über 25 M.-% hinaus zu steigern. Die Versuche ergaben, dass der Erweichungspunkt der Mischungen mit 25 M.-% RA leicht gesteigert werden kann, bevor er außerhalb der geforderten Spannweite liegt. Durch eine vermehrte Bitumenzugabe der weicheren Bitumensorte 70/100 ist es daher denkbar eine AC 8 D S, 50/70 mit bis zu 30 M.-% Asphaltgranulat herzustellen, die nach den heutigen Regeln der Technik eingebaut werden darf.

4.7 Ausblick

Die oft erwähnten Alterungsprozesse des Bitumens sind die Hauptursache für die Begrenzung der Zugabemengen von RA. Je älter das Asphaltgranulat ist, umso härter und versprödeter ist das darin enthaltene Bindemittel Bitumen. Daraus folgt, dass das neue Mischgut eher alterungsbedingte Merkmale aufweist und deswegen die Lebensdauer der geplanten Straße beeinträchtigt wird.

Aus diesem Grund wurden in den vergangenen Jahren vermehrt Forschungsprojekte begonnen, die sich mit einer Verbesserung der gealterten Bitumen befassen. Im Zuge dieser Projekte wurden den Asphaltmischgütern regenerierende Additive zugemischt, die sogenannten Verjüngungsmittel oder auch Rejuvenatoren.

Das sind Produkte auf Mineralöl-, Pflanzenöl-, Harz- und Bitumenbasis, welche die bei der Alterung verloren gegangenen Stoffe im Bitumen ersetzen sollen. Das hätte unter anderem eine Senkung des resultierenden Erweichungspunktes Ring und Kugel des Bindemittels zur Folge, was wiederum hilft die Anforderungen der TL Bitumen- StB 07/13 zu erfüllen. Die Forschungen dazu müssen in den nächsten Jahren weiterlaufen, um die Langzeitwirkungen der Rejuvenatoren zu beurteilen und die Stoffe zu optimieren. Denn bisher ist bekannt, dass sie die Alterung des Bindemittels nicht vollständig kompensieren können.⁵⁹

Ein fortschrittliches Beispiel bei der Wiederverwendung von Ausbauasphalt im Straßenbau ist das Bundesland Baden- Württemberg, welches in den Jahren 2011 bis 2015 sehr gute Erfahrungen mit einer Maximalrecyclingbauweise auf Landesstraßen sammelte. Aus diesem Grund hat das Innenministerium des Landes die Ergänzungen der Technischen Vertragsbedingungen im Straßenbau Baden- Württemberg – ETV- StB- BW – im Jahr 2015 überarbeitet. Seitdem ist das Verfahren Maximalrecycling in diesem Bundesland eine Regelbauweise und darf bei Ausschreibungen angeboten werden. Die Maximalrecyclingbauweise beschreibt eine Herstellung von Asphalttrag- und Asphaltbinderschichten mit sehr hohen Recyclinganteilen, ≥ 60 bis 75 M.-% unter Zugabe von Rejuvenatoren. Durch eine Vergrößerung der Toleranzen der Technischen Lieferbedingungen werden diese Masseanteile möglich.

In den Pilotprojekten aus den Jahren 2011 und 2012 wurden anfangs die Asphalt-schichten mit bis zu 90 M.-% Asphaltgranulat hergestellt, darunter auch Deckschichten. Einige der Asphaltdecken wiesen jedoch nach einer kurzen Zeit von ein bis zwei Jahren Risse auf und mussten teilweise erneuert werden. Aus diesem Grund entschied man sich das Maximalrecycling zukünftig nur noch für Trag- und Bindschichten einzusetzen.⁶⁰

Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen – FGSV – forscht indes weiter an der höchstwertigen Wiederverwendung von Ausbauasphalt in Asphalt-schichten. Dies beinhaltet neben der qualitativen Bewertung von Verjüngungsmitteln auch die Erstellung eines Wissenspapiers zur Anwendung von Rejuvenatoren zur hochwertigen Wiederverwendung von Asphaltgranulat mit stark gealtertem Bitumen.

⁵⁹ vgl. online: MILCH, 2014, S. 9 (05.08.2016)

⁶⁰ vgl. online: RUTHENBERG, 2014 (04.08.2016)

5. Fazit

Die im Rahmen dieser Diplomarbeit behandelte Vielzahl an Verwertungsverfahren zeigt, wie groß das Interesse an einer ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung von Ausbauasphalt ist. Dabei wird es auch in der Zukunft das Ziel sein, die prozentualen Anteile der Wiederverwendung weiter zu steigern. Dem sind aktuell besonders durch gesetzliche Vorschriften Grenzen gesetzt. Im Hinblick auf das Anwachsen der Ausbauasphalthalten wurden die Versuche zur Erhöhung des Granulatanteils in der Asphaltdeckschicht AC 8 D S, 50/70 durchgeführt. Die Ergebnisse machten deutlich, dass die Erhöhungen der Zugabemengen von Asphaltgranulat stark durch die Technischen Lieferbedingungen des Bitumens und des Asphaltgranulats beschränkt werden. Dabei werden hauptsächlich die konventionellen Asphalteeigenschaften betrachtet, wie volumetrische Kenngrößen, der Verdichtungsgrad, die Korngrößenverteilung oder der Bindemittelgehalt. Jedoch sollte in Bezug auf eine langfristige Steigerung der Verwertungszahlen vermehrt auf das Gebrauchsverhalten von Asphalt eingegangen werden. Das wären zum Beispiel die Steifigkeitseigenschaften, der Verformungswiderstand, der Widerstand gegen Kälterissbildung, sowie Griffigkeitseigenschaften und Dauerhaftigkeit.

Die durchgeführten Laborversuche zeigten, dass die Deckschicht mit 25 M.-% RA den heutigen Anforderungen entspricht und dieser Wert wohl auch auf 30 M.-% hätte gesteigert werden können. Von einer höheren Zugabe wird jedoch abgeraten, da die Eigenschaften und die Zusammensetzung von Asphaltgranulat auf einer Granulalthalde unterschiedlich stark variieren können. Das bedeutet, dass die in den Technischen Lieferbedingungen festgesetzten Grenzwerte möglicherweise schnell überschritten werden.

Um eine zukünftige Steigerung der Recyclinganteile in Asphaltsschichten zu erzielen, müssen andere Anforderungen in die derzeit geltenden Kriterien aufgenommen oder die Toleranzen der bestehenden Vorschriften vergrößert werden. Ein erster Schritt wäre die Zulassung des Straßenbaubitumens 160/220 als Zugabebindemittel. Bisher dürfen, mit Ausnahme von Asphalttragdeckschichtmischgut, keine weicheren Bitumen als 70/100 genommen werden. Diese Zulassung hätte eine sofortige Erhöhung des Recyclinganteils bei Asphaltsschichten mit gefordertem resultierendem Bitumen 70/100 zur Folge.

Aktuelle Forschungsprojekte wie der Einsatz von Rejuvenatoren in der Praxis in Baden- Württemberg zeigen außerdem bereits erste Erfolge. Wichtig ist, dass man mithilfe von Langzeitstudien die Auswirkungen von Verjüngungsmitteln untersucht und recycelte Asphaltsschichten im Hinblick auf ihre Dauerhaftigkeit verbessert.

In der Bauindustrie und besonders im Straßenbau bedeuten höhere Recyclinganteile im Asphalt nicht nur, dass Ausbauasphaltalden langsamer wachsen. Es bedeutet auch, dass Straßen ressourcenschonender und kostengünstiger gebaut werden, unter anderem durch den teilweisen Wegfall der Mineralstoffkosten und der Transportwege. Es wird somit getreu dem Kreislaufwirtschaftsgesetz gehandelt.

Quellenverzeichnis

Asphaltherstellung, 2016

In: <http://www.benninghoven.com/de/technologien/asphaltherstellung/>
(11.07.2016)

Asphaltmischanlagen, 2016

In: <https://de.wikipedia.org/wiki/Asphaltmischanlage>
(08.07.2016)

Bitumen, 2016

In: <http://www.chemie.de/lexikon/Bitumen.html>
(06.07.2016)

Brechpunkt nach Fraaß, 2016

In: <http://www.arbit.de/alles-ueber-bitumen/pruefverfahren/>
(15.07.2016)

Bundeministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU): Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG), Gesetz vom 24.02.2016, zuletzt geändert 20.11.2015 (online: Straßenbau A – Z)

Deutscher Asphaltverband (DAV) e.V.: Bautechnik 2011

http://www.asphalt.de/media/exe/322/ad4fddcbe2ed824143d7cbe8a1865d7a/baustoffe_und_baustoffgemische.pdf

Deutscher Asphaltverband (DAV) e.V.: Qualität organisieren, Bonn, 1999

Deutscher Asphaltverband (DAV) e.V., André TÄUBE: Wiederverwendung von Asphalt, 2012

In: http://asphaltberatung.com/fileadmin/pdf/Vortraege/2012-02_eSeMA-Seminar_Taeube_Wiederverwendung.pdf
(21.07.2016)

Deutscher Asphaltverband (DAV) e.V.: Wiederverwenden von Asphalt 2014
http://www.asphalt.de/media/exe/134/867e44dfcb2e06a89a88f9911e19d02d/wiederverwenden_2014.pdf
(05.07.2016)

Dietrich RICHTER (Hrsg.), Manfred HEINDEL: Straßen- und Tiefbau, 11. Auflage, Wiesbaden, 2011

DIN EN 13108-1: Asphaltmischgut – Mischgutanforderungen – Teil 1: Asphaltbeton

DIN EN 1426 – Bestimmung der Nadelpenetration

DIN EN 1427 – Bestimmung des Erweichungspunktes Ring- und Kugel- Verfahren

Erweichungspunkt Ring und Kugel, 2016

In: <http://www.arbit.de/alles-ueber-bitumen/pruefverfahren/>
(15.07.2016)

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)

In: <http://www.fgsv.de/204.98.html>
(05.08.2016)

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): H FA, Hinweise für das Fräsen von Asphaltbefestigungen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen, Ausgabe 2010 (online: Straßenbau A – Z)

FGSV- Nr. 769

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat und pechhaltigen Straßenausbaustoffen in Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln, Ausgabe 2002 (online: Straßenbau A – Z)

FGSV- Nr. 826

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): M KRC, Merkblatt für Kaltrecycling in situ, Ausgabe 2005 (online: Straßenbau A – Z)

FGSV- Nr. 636

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): M RF, Merkblatt für das Rückformen von Asphaltsschichten, Ausgabe 2002 (online: Straßenbau A – Z) FGSV- Nr. 786/1

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): M VAG – Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat, Ausgabe 2000 (online: Straßenbau A – Z) FGSV- Nr. 754

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): M VB-K, Merkblatt für die Verwertung von pechhaltigen Straßenausbaustoffen und von Asphaltgranulat in bitumengebundenen Tragschichten durch Kaltaufbereitung in Mischanlagen, Ausgabe 2007 (online: Straßenbau A – Z) FGSV- Nr. 755

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): M WA, Merkblatt für die Wiederverwertung von Asphalt, Ausgabe 2009/ Fassung 2013 (online: Straßenbau A – Z) FGSV- Nr. 754

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): TL Asphalt- StB 07/13 – Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsbefestigungen, Ausgabe 2007 (online: Straßenbau A – Z) FGSV- Nr. 797

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): TL AG- StB 09 – Technische Lieferbedingungen für Asphaltgranulat, Ausgabe 2009 (online: Straßenbau A – Z) FGSV- Nr. 749

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): TL Bitumen- StB 07/13 – Technische Lieferbedingung für Straßenbaubitumen und gebrauchsfertige Polymermodifizierte Bitumen, Ausgabe 2007/ Fassung 2013 (online: Straßenbau A – Z) FGSV- Nr. 794

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): TP Asphalt- StB: Teil 1, Technische Prüfvorschriften für Asphalt Teil 1: Bindemittelgehalt, Ausgabe 2013 (online: Straßenbau A – Z)
FGSV- Nr. 756/1

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): TP Asphalt- StB: Teil 3, Technische Prüfvorschriften für Asphalt Teil 3: Rückgewinnung des Bindemittels - Rotationsverdampfer, Ausgabe 2007 (online: Straßenbau A – Z)
FGSV- Nr. 756/3

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): TP Asphalt- StB: Teil 6, Technische Prüfvorschriften für Asphalt Teil 6: Raumdichte von Asphalt- Probekörpern, Ausgabe 2012 (online: Straßenbau A – Z)
FGSV- Nr. 756/6

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): TP Asphalt- StB: Teil 8, Technische Prüfvorschriften für Asphalt Teil 8: Volumetrische Kennwerte von Asphaltprobekörpern und Verdichtungsgrad, Ausgabe 2012 (online: Straßenbau A – Z)
FGSV- Nr. 756/8

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): TP Asphalt- StB: Teil 28, Technische Prüfvorschriften für Asphalt Teil 28: Vorbereitung von Proben, Ausgabe 2007 (online: Straßenbau A – Z)
FGSV- Nr. 756/28

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): TP Asphalt- StB: Teil 35, Technische Prüfvorschriften für Asphalt Teil 35: Asphaltmischgutherstellung im Laboratorium, Ausgabe 2007 (online: Straßenbau A – Z)
FGSV- Nr. 756/35

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): RStO12, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012 (online: Straßenbau A – Z)
FGSV- Nr. 499

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): RuVA- StB 01, Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt, Ausgabe 2001/Fassung 2005 (online: Straßenbau A – Z)

FGSV- Nr. 795

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): ZTV SoB- StB 04, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau, Ausgabe 2004/ Fassung 2007 (online: Straßenbau A – Z)

FGSV- Nr. 698

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): ZTV T- StB 95, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau, Ausgabe 1995/ Fassung 2002 (online: Straßenbau A – Z)

FGSV- Nr. 999

Günter NEROTH, Dieter VOLLENSCHAAR (Hrsg.): WENDEHORST Baustoffkunde, 27. Auflage, Wiesbaden, 2011

Jürgen HUTSCHENREUTHER, Thomas WÖRNER: Asphalt im Straßenbau, 2. Auflage, Bonn 2010

Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20 – Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln –, Mainz, 2003

METZ, Horst Georg: Wirksamkeit von Bitumenemulsion bei der Wiederverwertung pechhaltiger Materialien im Straßenbau, Dissertation, TU München, 2009

MILCH, Julian: Reaktivatoren für die Verwendung sehr hoher Anteile an Recycling-Asphalt, Karlsruher Institut für Technologie

In: https://www.ise.kit.edu/rd_download/SBT/Reaktivatoren_fuer_die_Verwendung_sehr_hoher_Anteile_an_Recycling-Asphalt.pdf

(05.08.2016)

Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden- Württemberg: Ergänzungen zu den Technischen Vertragsbedingungen im Straßenbau Baden- Württemberg, ETV- StB- BW 15, Ausgabe 2015

Nadelpenetration, 2016

In: <http://www.arbit.de/alles-ueber-bitumen/pruefverfahren/>

(15.07.2016)

RUTHENBERG, Robert: Ausbauasphalt optimal verwerten, 2014

In: <http://baunetzwerk.biz/ausbauasphalt-optimal-verwerten/150/4264/83806/>

(04.08.2016)

Trinidad- Naturasphalt

In: www.trinidadlakeasphalt.de/UserFiles/File/Laborhandbuch%20f%C3%BCr%20Trinidad%20Naturasphalt%20270313.pdf

(14.07.2016)

Vakuumkolonne, 2016

In: https://de.wikipedia.org/wiki/Vakuumdestillation#/media/File:Vacuum_Column.jpg

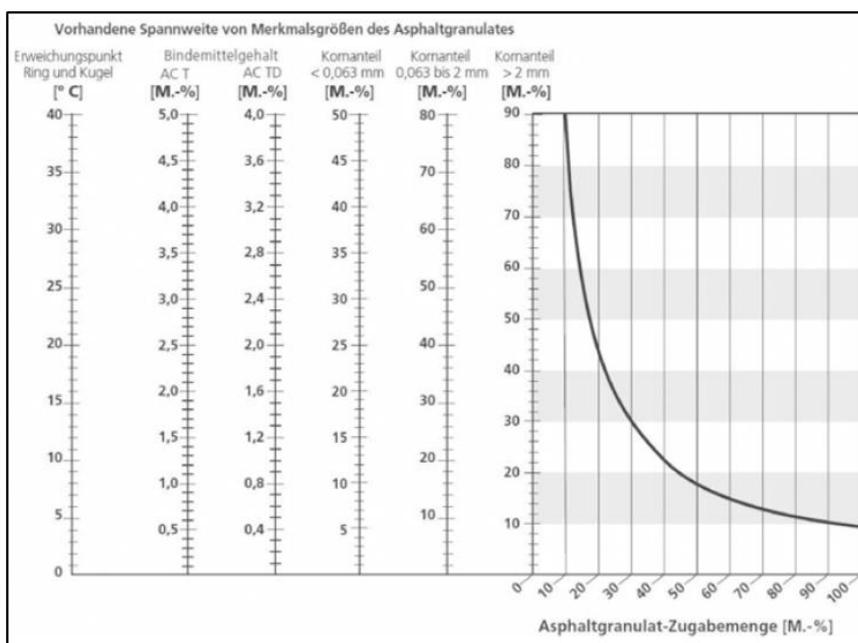
(06.07.2016)

Anhangverzeichnis

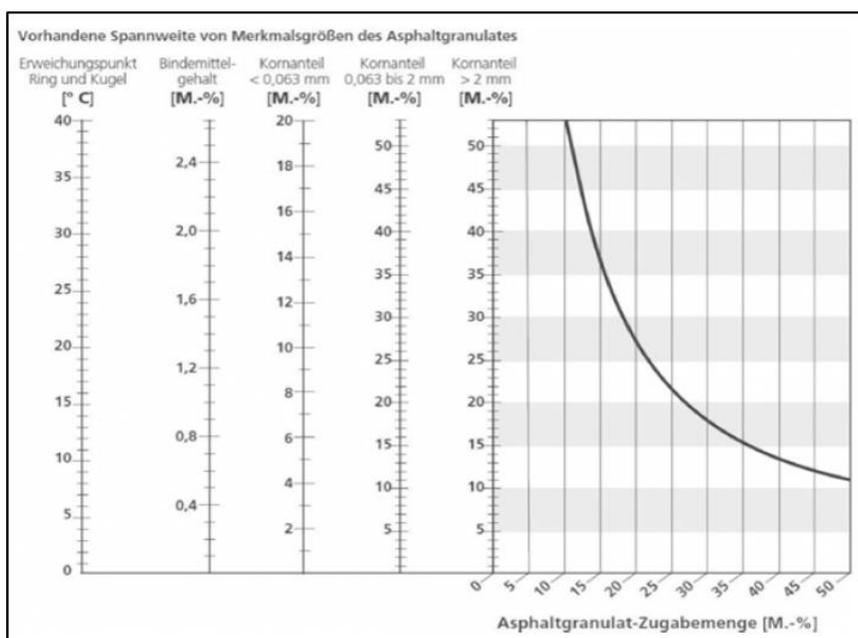
- Anhang 1** Nomogramme für grafische Ermittlung der Zugabemenge
- Anhang 2** Arbeitsgeräte für das Verfahren Kaltrecycling in situ
- Anhang 3** Laborversuche – Fotostrecke
- Anhang 4** Einwaagen der Mischungen mit 25 und 40 M.-% RA
- Anhang 5** Ehrenwörtliche Erklärung
- Anhang 6** Freigabeerklärung
- Anhang 7** Erklärung zur Prüfung wissenschaftlicher Arbeiten

Anhang 1 Nomogramme für grafische Ermittlung der Zugabemenge

Nomogramme zur Ermittlung der maximal möglichen Asphaltgranulat-Zugabemenge in Asphaltmischgut in Abhängigkeit von der Gleichmäßigkeit der Merkmale des Asphaltgranulats



Trag- und Tragdeckschichten



Deck- und Binderschichten

Anhang 2 Arbeitsgeräte für das Verfahren Kaltrecycling in situ

Systembezeichnung	Stabilisierer	Fräsrecycler	Kaltrecycler
Gerätekonfiguration	<ul style="list-style-type: none"> Stabilisierer auf Radfahrwerk Suspensionsmischer¹⁾ auf Radfahrwerk Grader Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> modifizierte Großfräse auf Raupenfahrwerk Suspensionsmischer¹⁾ auf Radfahrwerk Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> Kompaktgerät mit Raupenfahrwerk Suspensionsmischer¹⁾ auf Radfahrwerk Großfräse mit Niederhalter (vorlaufend) Walzen
Vorrichtung für Arbeitsschritte			
- Fräsen	<ul style="list-style-type: none"> Fräsrotor zwischen den Achsen Gleich- und Gegenlauf 	<ul style="list-style-type: none"> Fräsrotor zwischen den Raupenfahrwerken Gegenlauf 	<ul style="list-style-type: none"> vorlaufende Großfräse mit Niederhalter Gegenlauf
- Granulieren			
- Aufnahme Granulat			
- Zugabe Ergänzungsmittel	<ul style="list-style-type: none"> - 2) 	<ul style="list-style-type: none"> - 2) 	<ul style="list-style-type: none"> Fräsrotor Fräs- und Aufnahmeaggregat per LKW in Aufnahmekübel
- Zugabe hydraulisches Bindemittel	<ul style="list-style-type: none"> Düsen im Fräsrotorraum für Suspension 	<ul style="list-style-type: none"> Düsen im Fräsrotorraum für Suspension 	<ul style="list-style-type: none"> Auslauf im Zwangsmischer für Suspension
- Zugabe Bitumenemulsion	<ul style="list-style-type: none"> Düsen im Fräsrotorraum 	<ul style="list-style-type: none"> Düsen im Fräsrotorraum 	<ul style="list-style-type: none"> Auslauf im Zwangsmischer
- Zugabe Wasser	<ul style="list-style-type: none"> Düsen im Fräsrotorraum 	<ul style="list-style-type: none"> Düsen im Fräsrotorraum 	<ul style="list-style-type: none"> Auslauf im Zwangsmischer
- Mischen	<ul style="list-style-type: none"> Fräsrotor 	<ul style="list-style-type: none"> Fräsrotor 	<ul style="list-style-type: none"> Zweiwelvenzwangsmischer
- Einbau	<ul style="list-style-type: none"> Grader 	<ul style="list-style-type: none"> Verteilerschnecke und Einbaubohe 	<ul style="list-style-type: none"> Verteilerschnecke und Einbaubohe
- Vorverdichtung			
- Endverdichtung	<ul style="list-style-type: none"> Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> Einbaubohe Walzen
Dosiervorrichtungen			
- Ergänzungsmaterial	<ul style="list-style-type: none"> 4) 	<ul style="list-style-type: none"> 4) 	<ul style="list-style-type: none"> 4)
- Hydraulisches Bindemittel	<ul style="list-style-type: none"> Waage am Suspensionsmischer (wegabhängig) 	<ul style="list-style-type: none"> Waage am Suspensionsmischer (wegabhängig) 	<ul style="list-style-type: none"> Waage am Suspensionsmischer (wegabhängig)
- Emulsion	<ul style="list-style-type: none"> Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> Regelpumpe (volumetrisch)
- Wasser	<ul style="list-style-type: none"> Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> Regelpumpe (volumetrisch)
Geräteparameter			
- Arbeitsbreite	<ul style="list-style-type: none"> starr 2,5 m 		<ul style="list-style-type: none"> variabel 3,0 - 4,5 m
- Arbeitstiefe (max.)	<ul style="list-style-type: none"> 0,50 m 	<ul style="list-style-type: none"> starr 2,0 m 0,26 m 	<ul style="list-style-type: none"> 0,26 m
Größtkornbegrenzung	<ul style="list-style-type: none"> nein 	<ul style="list-style-type: none"> nein 	<ul style="list-style-type: none"> nein

Bauingenieurwesen – Straßen-, Ingenieur- und Tiefbau

Systembezeichnung	Mixpaver Variante A	Mixpaver Variante B
Gerätekonfiguration	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme mit Brecher auf Raupenfahrwerk • Mixpaver mit Puffersilo und integriertem Suspensionsmischer¹⁾ auf Raupenfahrwerk • Großfräse (vorlaufend) • Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Mixpaver mit Aufnahmevorrichtung für zu recycelndes Material auf Radfahrwerk • Suspensionsmischer¹⁾ auf Radfahrwerk • Großfräse mit Niederhalter (vorlaufend) • LKW zur Beschickung • Walzen
Vorrichtung für Arbeitsschritte		
- Fräsen	<ul style="list-style-type: none"> • vorlaufende Großfräse • Gegenlauf 	<ul style="list-style-type: none"> • vorlaufende Großfräse mit Niederhalter • Gegenlauf
- Granulieren	<ul style="list-style-type: none"> • integrierter Brecher 	<ul style="list-style-type: none"> • evtl. stationäre Brechanlage
- Aufnahme Granulat	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahmegerät mit Brecher 	<ul style="list-style-type: none"> • Ladeband der Großfräse
- Zugabe Ergänzungsmittel	<ul style="list-style-type: none"> • 2) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2)3)
- Zugabe hydraulisches Bindemittel	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer für Suspension • Zellenradtschleuse zur wahlweisen Trockenzugabe 	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer für Suspension • Zellenradtschleuse zur wahlweisen Trockenzugabe
- Zugabe Bitumenemulsion	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer 	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer
- Zugabe Wasser	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer 	<ul style="list-style-type: none"> • Auslauf im Zwangsmischer
- Mischen	<ul style="list-style-type: none"> • Zweiwelvenzwangsmischer 	<ul style="list-style-type: none"> • Zwangsmischer
- Einbau	<ul style="list-style-type: none"> • Verteilerschnecke und Einbaubohle 	<ul style="list-style-type: none"> • Verteilerschnecke und Einbaubohle
- Vorverdichtung	<ul style="list-style-type: none"> • Einbaubohle 	<ul style="list-style-type: none"> • Einbaubohle
- Endverdichtung	<ul style="list-style-type: none"> • Walzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Walzen
Dosiervorrichtungen		
- Ergänzungsmaterial	<ul style="list-style-type: none"> • 4) 	<ul style="list-style-type: none"> • 4)
- Hydraulisches Bindemittel	<ul style="list-style-type: none"> • Waage am Suspensionsmischer (wegabhängig) • Zellenradtschleuse bei Trockenzugabe 	<ul style="list-style-type: none"> • Waage am Suspensionsmischer (wegabhängig)
- Emulsion	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch)
- Wasser	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regelpumpe (volumetrisch)
Geräteparameter	<ul style="list-style-type: none"> • über Bandwaage 	<ul style="list-style-type: none"> • über Bandwaage
- Arbeitsbreite	<ul style="list-style-type: none"> • variabel 3,0 - 4,5 m 	<ul style="list-style-type: none"> • variabel 2,5 - 4,5 m
- Arbeitstiefe (max.)	<ul style="list-style-type: none"> • 0,26 m 	<ul style="list-style-type: none"> • 0,26 m
Größtkornbegrenzung	<ul style="list-style-type: none"> • ja, durch Brechen 	<ul style="list-style-type: none"> • nein (evtl. durch stationäre Brechanlage)

1) Zur Herstellung von Suspension aus hydraulischem Bindemittel und Wasser

2) durch vorheriges Aufbringen mittels Grader oder Fertiger

3) vor dem Fräsen

4) volumetrische Dosierung durch vorgängig aufgetragene Schicht

Anhang 3 Laborversuche - Fotostrecke

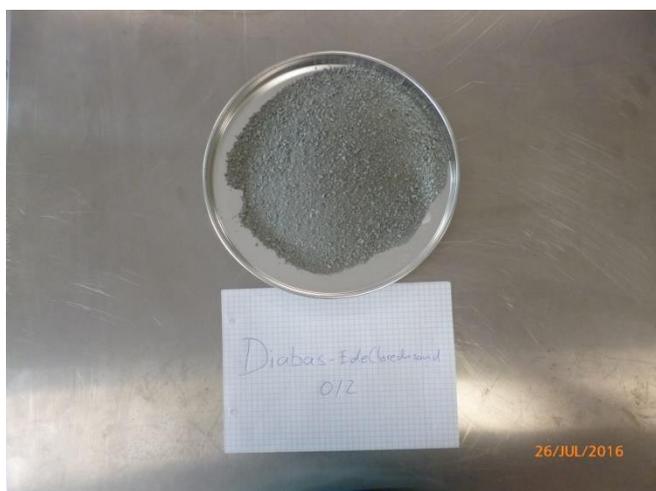


Zusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches:

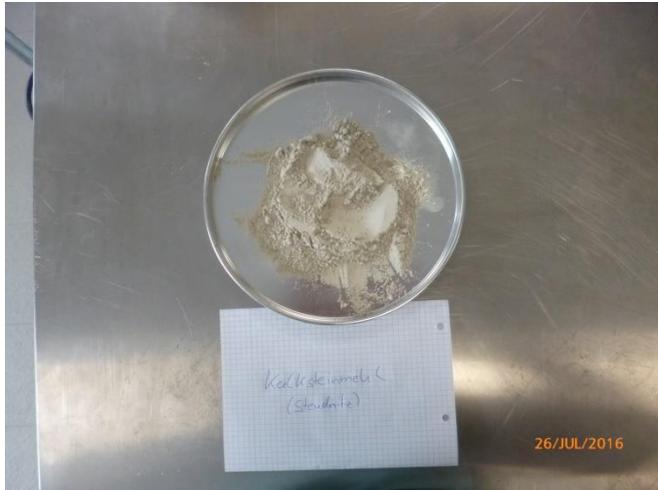
grobe Gesteinskörnung
Diabas- Edelsplitt 5/8



grobe Gesteinskörnung
Diabas- Edelsplitt 2/5



feine Gesteinskörnung
Diabas- Edelbrechsand 0/2



Kalksteinfüller



Fräsgut 11 RA 0/8

3 Proben für die Versuche an der Asphaltdeckschicht mit 15 M.-% RA mit jeweils unterschiedlichen Bindemittelgehalten



Rohdichtebestimmung des Gesteinskörnungsgemisches mit RA durch ein Pyknometer (Pyknometer befinden sich im Wärmebad, um Temperatur konstant zu halten)



Separate Trocknung und Erwärmung der Gesteinskörnung und des Asphaltgranulats

Anschließend Mischvorgang im Universal-Labormischer unter Zugabe des Bindemittels Bitumen (insgesamt 5000 g Mischgut)



Verwiegung des Asphaltgranulats:

3 x 1250 g für Herstellung der Marshallkörper
restliches Mischgut wird verwendet für die Rohdichtebestimmung des Asphaltes



Rohdichtebestimmung des Mischgutes mit Bindemittel durch ein Pyknometer



Asphaltmischgut wird im Trockenschrank temperiert, um es für die Herstellung der Marshall- Probekörper vorzubereiten

Herstellung von 3 Marshall- Probekörpern, pro Bindemittelgehalt, durch das Marshall- Verdichtungsgerät (MVG)
(links abgebildet)



Abkühlung und anschließende Ausformung der Marshallprobekörper



Ausgeformte und beschriftete Marshallprobekörper der ersten Versuchsreihe



Ermittlung der Raumdichte des Asphaltprobekörpers durch Bestimmung der Masse der trockenen, sowie der feuchten Probe

Anschließende Berechnung des Hohlraumgehalts des Probekörpers



Bindemittlextraktion nach Zerkleinerung eines Marshall- Probekörpers

Durchführung der automatischen Extraktion in einer geschlossenen Anlage mit Trichlorethen als Lösungsmittel



Siebung der separat gewonnenen Gesteinskörnung in einem Siebturm



Erzeugnis der Extraktion:

Bitumen und Trichlorethen als
Bindemittellösungsgemisch



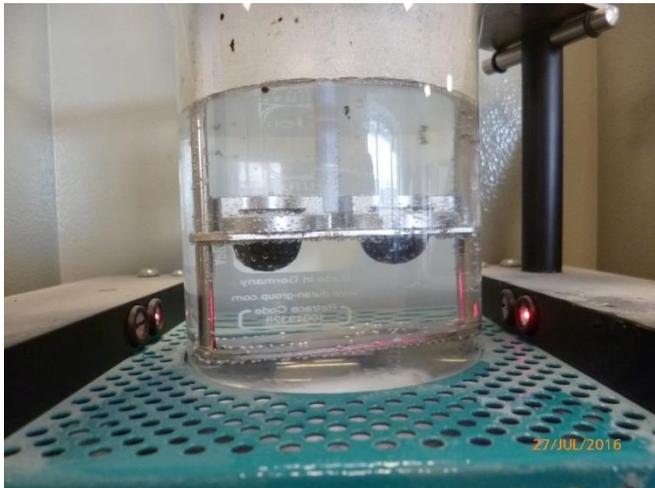
Destillation des Lösungsmittels Tri-
chlorethen in einem Rotationsver-
dampfer, dadurch Rückgewinnung
des Bindemittels Bitumen



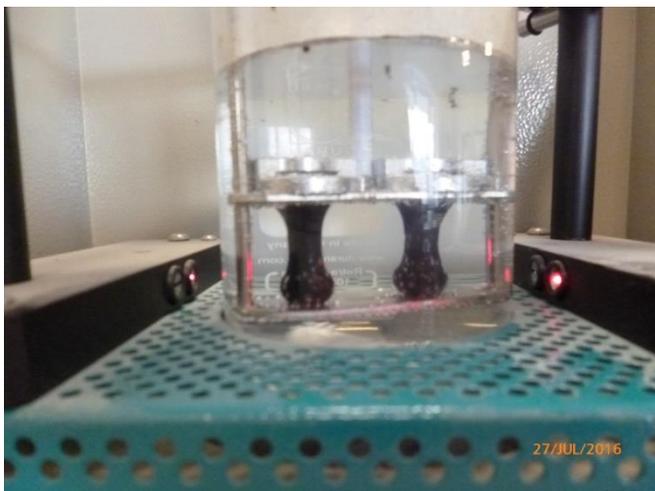
Vorbereitung des Prüfverfahrens
Erweichungspunkt Rind und Kugel



Ring und Kugel- Automat (Prüfgerät für EP RuK)



Durchführung Ring und Kugel Versuch



Versuchsende EP RuK

Anhang 4 Einwaagen der Mischungen mit 25 und 40 M.-& RA

25 M.-% RA

Mischung	Gesamtbitumen [M.-%]	Einwaage der Gesamtmischung [g]						Summe
		Zugabebitumen 70/100	Kalksteinmehl	Diabas-Edelbrechsand 0/2	Diabas-Edelsplitt 2/5	Diabas-Edelsplitt 5/8	Asphaltgranulat 11 RA 0/8	
1	5,60	197,50	47,20	1604,80	613,60	1274,40	1180,00	4917,50
2	5,90	212,50	47,10	1599,70	611,70	1270,40	1176,30	4917,70
3	6,20	227,50	46,90	1594,60	609,70	1266,30	1172,50	4917,50

40 M.-% RA

Mischung	Gesamtbitumen [M.-%]	Einwaage der Gesamtmischung [g]						Summe
		Zugabebitumen 70/100	Kalksteinmehl	Diabas-Edelbrechsand 0/2	Diabas-Edelsplitt 2/5	Diabas-Edelsplitt 5/8	Asphaltgranulat 11 RA 0/8	
1	5,60	148,00	0,00	1227,20	377,60	1227,20	1888,00	4868,00
2	5,90	163,00	0,00	1223,30	376,40	1223,30	1882,00	4868,00
3	6,20	178,00	0,00	1219,40	375,20	1219,40	1876,00	4868,00

Ehrenwörtliche Erklärung

„Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich“,

1. dass ich meine **Diplomarbeit** mit dem Thema **Verwertungsmöglichkeiten von Ausbauasphalt im Straßenbau**

ohne fremde Hilfe angefertigt habe,

2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe und
3. dass ich meine **Diplomarbeit** bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Ort, Datum

Unterschrift

Freigabeerklärung

Hiermit erklären wir uns einverstanden/nicht einverstanden *), dass die Diplomarbeit des Studenten

Name, Vorname: Kahnt, Moritz SG: TB 13

zur öffentlichen Einsichtnahme durch den Dokumentenserver der Bibliothek der Staatlichen Studienakademie Glauchau bereitgestellt wird.

Thema der Arbeit:

Verwertungsmöglichkeiten von Ausbausphal im Straßenbau

.....
.....

.....
Ort, Datum

.....
Stempel, Unterschrift des Praxispartners

Arbeit zur Veröffentlichung freigegeben: ja nein

.....
Ort, Datum

.....
Unterschrift Leiter/in des Studiengangs

*) Nichtzutreffendes bitte streichen

Erklärung zur Prüfung wissenschaftlicher Arbeiten

Die Bewertung wissenschaftlicher Arbeiten erfordert die Prüfung auf Plagiate. Die hierzu von der Staatlichen Studienakademie Glauchau eingesetzte Prüfungskommission nutzt sowohl eigene Software als auch diesbezüglich Leistungen von Drittanbietern. Dies erfolgt gemäß § 7 des Gesetzes zum Schutz der informationellen Selbstbestimmung im Freistaat Sachsen (Sächsisches Datenschutzgesetz - SächsDSG) vom 25. August 2003 (rechtsbereinigt mit Stand vom 31. Juli 2011) im Sinne einer Datenverarbeitung im Auftrag.

Der Studierende bevollmächtigt die Mitglieder der Prüfungskommission hiermit zur Inanspruchnahme o. g. Dienste. In begründeten Ausnahmefällen kann von der Datenschutzbeauftragte der Staatlichen Studienakademie Glauchau sowohl vom Verfasser der wissenschaftlichen Arbeiten als auch von der Prüfungskommission in den Entscheidungsprozess einbezogen werden.

Name:	Kahnt
Vorname:	Moritz
Matrikelnummer:	4001518
Studiengang:	Bauingenieurwesen Straßen-, Ingenieur- und Tiefbau
Titel der Arbeit:	Verwertungsmöglichkeiten von Ausbauasphalt im Straßenbau
Datum:	
Unterschrift:	