

**Sächsische
Technische Richtlinien
für
Gummimodifizierte Asphalte
SN TR GmA**

März 2024

Bearbeitergruppe

Dipl.-Ing. Steffen B a t z k e, Dresden

Dipl.-Ing. Lars B a u m a n n, Dresden

Dr.-Ing. Anita B l a s l, Dresden

Dr. Martina B r e m e r, Tharandt

Herr Ralf H e r t r a m p f, Mülsen

Dr.-Ing. Sabine L e i s c h n e r, Dresden

Dr.-Ing. Tobias L e r c h, Hainichen

Dipl.-Ing. Richard M a n s f e l d, Auerbach †

Dipl.-Ing. Ralph M ü h l e, Dresden

André R a h n M. Sc., Plauen

Dipl.-Ing. (FH) Eric R e i m, Untersiemau

Dipl.-Ing. Julia S c h m i d t, Chemnitz

Dipl.-Wirtsch.Ing. (FH) Danny S c h w a l b e, Mülsen

Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Z e i ß l e r, Dresden

Inhaltsübersicht

1	Allgemeines	4
2	Anwendungsbereich	5
3	Begriffsdefinitionen, Abkürzungen und Formeln	5
4	Baugrundsätze	8
5	Baustoffe	8
5.1	Gesteinskörnungen	8
5.2	Asphaltgranulat	8
5.3	Bitumen	8
5.4	Additiviertes Gummimehl	9
5.5	Weitere Zusätze	9
6	Anforderungen an die Baustoffe	9
6.1	Anforderungen an das Gummimehl (GM) als Ausgangsstoff	9
6.2	Anforderungen an das additivierte Gummimehl (aGM)	9
6.3	Anforderungen an das gummimodifizierte Bitumen (GmB)	10
6.4	Anforderungen an das gummimodifizierte Asphaltmischgut (GmA)	10
7	Herstellung, Lagerung, Transport und Einbau von GmA	11
7.1	Grundsätzliches	11
7.2	Herstellung von gummimodifiziertem Asphalt	11
7.2.1	Herstellung im Trockenverfahren (Direktmodifizierung)	11
7.2.2	Herstellung im Nassverfahren	12
7.3	Lagerung und Transport von gummimodifiziertem Asphalt	12
7.4	Einbau von gummimodifiziertem Asphalt	12
8	Erstprüfung und Eignungsnachweis	13
8.1	Allgemeines	13
8.2	Herstellung von GmB im Labor	13
8.3	Erstprüfung	14
8.4	Eignungsnachweis	15
9	Probenahmen und Rückstellproben	16
9.1	Proben für Kontrollprüfungen	16
9.2	Rückstellproben	16
10	Kontrollprüfungen	17
10.1	Prüfungen am Asphaltmischgut	17
10.2	Prüfungen am rückgewonnenen GmB	17
10.3	Prüfungen an der eingebauten Schicht	18
10.4	Bewertung der Kontrollprüfergebnisse	18
	Anhang A – Visualisierung der Bindemittelzusammensetzung im GmA	19
	Anhang B – Produktdatenblatt	20
	Anhang C – Übersicht zusätzlicher Anforderungen und Nachweise	21
	Anhang D – Bestimmung der Korngrößenverteilung von Gummimehl	23
	Anhang E – Thermogravimetrie	24
	Anhang F – Regelwerke	28

1 Allgemeines

Diese Technischen Richtlinien geben Verfahrens- und Anwendungshinweise für den Einsatz von gummimodifizierten Asphalten im Freistaat Sachsen. Ziel soll sein, die Akzeptanz gummimodifizierter Asphalte und deren Einsatzhäufigkeit zu erhöhen. Eine hohe Prozesssicherheit ist dafür von maßgeblicher Bedeutung. Dafür werden Informationen zu Baustoffen, Baugrundsätzen, Herstellung und Verarbeitung gegeben und Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen definiert.

Diesen Technischen Richtlinien sind langjährige und umfangreiche wissenschaftliche Forschungen vorausgegangen. Neben Laboruntersuchungen zu Gummimehlen, Bitumen-Gummigemischen, zugehörigen physikalischen und chemischen Eigenschaften wurden auch mehrere Untersuchungsstrecken mit unterschiedlichen Anwendungsfeldern und Mischgutkonzeptionen realisiert, welche über die Anwendung gummimodifizierter Asphalte nach dem seinerzeit vorliegenden technischen Regelwerk hinausgingen. Die Forschungsergebnisse sind online verfügbar.

Durch die Modifizierung von Asphalten mit Gummimehlen kann ein Beitrag zur Sächsischen Rohstoffstrategie ebenso geleistet werden wie zur umweltgerechteren und nachhaltigeren Gestaltung von Verkehrsinfrastruktur. Mit gezieltem Einsatz lassen sich für einzelne Asphalt-schichten signifikant verlängerte Nutzungsdauern erzielen oder aber bedarfsgerecht Schichtdicken für eine angestrebte Nutzungsdauer optimieren. Es können sowohl die Möglichkeiten der konventionellen empirischen als auch der rechnerischen Dimensionierung genutzt werden.

Im Sinne eines nachhaltigen Straßenbaus und zur Erreichung von Klimazielen im Straßenbau sind dauerhafte Befestigungen mit verlängerten Lebenszyklen und hohen Nutzungsdauern wesentlich. Dies schont natürliche, technische und administrative Ressourcen und unterstützt die Vorbildrolle der öffentlichen Hand.

Geltungsbereich

Die im Text mit **R a n d s t r i c h** gekennzeichneten Absätze sind „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen“ im Sinne von § 1, Absatz 2 Nummer 4 VOB Teil B - DIN 1961 -, wenn die SN TR GmA Bestandteil des Bauvertrages sind.

Die im Text k u r s i v g e d r u c k t e n und nicht mit Randstrich gekennzeichneten Absätze sind „Richtlinien“; sie sind vom Auftraggeber bei der Aufstellung der Leistungsbeschreibung sowie bei der Überwachung und Abnahme der Bauleistungen zu beachten.

Die SN TR GmA sind darauf abgestellt, dass sie Bestandteil des Bauvertrages sind. Wenn in den SN TR GmA keine abweichenden Regelungen getroffen werden, gelten das Regelwerk der FGSV und insbesondere die ZTV Asphalt-StB und die TL Asphalt-StB.

Die im Text angegebenen Regelwerke sind im Anhang E zusammengestellt.

2 Anwendungsbereich

Die Technischen Richtlinien sind für die Herstellung von Mischgut bzw. Asphalten mit gummi-modifizierten Bindemitteln im Freistaat Sachsen anwendbar für:

- Asphalttrag- und Tragdeckschichten,
- Asphaltbinder- und Asphaltdeckschichten.

Darüber hinaus sind weitere Anwendungen denkbar, z. B. in bitumenhaltigen Zwischenschichten und Asphaltfundationsschichten.

3 Begriffsdefinitionen, Abkürzungen und Formeln

Gummimehl (GM)

Aus Altreifen hergestellte Gummipartikel mit einer maximalen Korngröße von 1 mm. Gummimehl wird durch mechanische Zerkleinerung, z. B. Vermahlung bei tiefen Temperaturen (kryogenes Mahlverfahren) von LKW- und/oder PKW-Reifen gewonnen.

Das Gummimehl besteht aus synthetischem Kautschuk, Naturkautschuk, Ruß und weiteren Bestandteilen wie Füllstoffen. Fasern und Stahlanteile werden im Herstellungsprozess nahezu vollständig entfernt.

Gummigranulat

Aus Altreifen und/oder anderen Produkten hergestellte Gummipartikel mit einer Korngröße über 1 mm. Diese Variante der Gummiprodukte ist nicht Bestandteil der SN TR GmA.

Additiviertes Gummimehl (aGM)

Im Sinne dieser Technischen Richtlinien speziell für die Verwendung im Asphalt hergestelltes Gummimehl mit Additiven. Additiviertes Gummimehl stellt einen Zusatz im Sinne der TL Asphalt-StB dar.

Gummimodifiziertes Bitumen (GmB)

Ein mit additiviertem Gummimehl modifiziertes Bitumen.

Gummimodifiziertes Bitumen entsteht großtechnisch erst im Mischprozess bei der Asphaltherstellung. Für Prüfungen wird GmB im Labor hergestellt.

Nassverfahren

Zugabe von additiviertem Gummimehl zum Bitumen („nasses Medium“) zur Modifikation im Vorfeld des Mischprozesses. Dieses Gemisch wird dann im Mischprozess zugegeben.

Trockenverfahren (Direktmodifizierung)

Verfahren, bei dem das additivierte Gummimehl (aGM) direkt beim Mischprozess in der Asphaltmischanlage zugegeben wird.

Reifezeit

Zeit, die das additivierte Gummimehl (aGM) mit dem Bitumen im Asphaltmischgut nach dem Mischprozess bis zum Einbau benötigt, um die Wirksamkeit der Modifizierung zu erreichen. Die Reifezeit ist abhängig vom Herstellungsprozess. Sie muss vor Einbau des Mischgutes am Einbauort abgeschlossen sein. Transportzeiten von der Mischanlage zum Einbauort können auf die Reifezeit angerechnet werden.

Die Reifezeit ist außerdem abhängig von der Temperatur, der Art der Additivierung und einer ggf. durchgeführten Vorbituminierung. Entsprechende Angaben sind vom Hersteller des aGM im Produktdatenblatt aufzuführen.

Gummimodifizierter Asphalt (GmA)

Ein im Nassverfahren oder Trockenverfahren modifizierter Asphalt.

Naturkautschuk (NR)

Nachwachsender Rohstoff, der z. B. aus dem Milchsafte (Latex) von Kautschukpflanzen gewonnen wird.

Synthetischer Kautschuk (Synthesekautschuk)

Jeder künstlich, hauptsächlich durch Polymerisation hergestellte Kautschuk.

A_{GK} – Gesamtkautschukanteil

Anteil an Gesamtkautschuk in M.-% (absolut) im Gummimehl GM, dieser wird mit thermogravimetrischen Untersuchungen nach Anhang E ermittelt.

A_{NR} – Naturkautschukanteil

Anteil an Naturkautschuk in M.-% (absolut) im Gummimehl GM als Ergebnis nach Anhang E.

$$A_{NR} = C_{NR} \cdot A_{GK}$$

C_{NR} – Naturkautschukgehalt

Gehalt an Naturkautschuk in M.-% (relativ) im Gesamtkautschukanteil A_{NR} als Ergebnis nach Anhang E.

$$C_{NR} = A_{NR} / A_{GK}$$

G_{GM} – Anteil Gummimehl im aGM

Anteil an Gummimehl im aGM. Diese Angabe ist durch den Hersteller im Produktdatenblatt aufzuführen.

B_{min} – Mindestbindemittelgehalt nach TL Asphalt-StB

Der in den TL Asphalt-StB angegebene Mindestbindemittelgehalt für die jeweilige Asphaltmischgutsorte.

B_{rech} – rechnerischer Mindestbindemittelgehalt nach TL Asphalt-StB

Rechnerischer Mindestbindemittelgehalt unter Berücksichtigung der Rohdichte des verwendeten Gesteinskörnungsgemisches durch den Faktor α entsprechend den TL Asphalt-StB.

$$B_{rech} = B_{min} \cdot \alpha$$

B_F – Frischbindemittelanteil

Anteil an Frischbindemittel im GmA.

B_{RC} – Bindemittelanteil aus Asphaltgranulat

Anteil an Bindemittel aus dem zugegebenen Asphaltgranulat im GmA.

B_{aGM} – Anteil aGM

Anteil an aGM im GmA.

B_{ges} – Gesamtbindemittelgehalt

Summe aus den Bindemittelanteilen Frischbindemittel (B_F), Bindemittel aus Asphaltgranulat (B_{RC}) und zugegebenen aGM (B_{aGM}) im GmA.

$$B_{\text{ges}} = B_F + B_{RC} + B_{aGM}$$

$$B_{\text{ges}} \geq B_{\text{rech}}$$

M – Modifizierungsgrad

Anteil des Gummimehls GM am Gesamtbindemittelgehalt B_{ges} unter Berücksichtigung des Gummimehlanteils G_{GM} im aGM.

$$M = B_{aGM} / B_{\text{ges}} * G_{GM}$$

E_{lös} – löslicher Bindemittelanteil nach Extraktion

Löslicher Bindemittelanteil bestimmt durch Extraktion nach TP Asphalt-StB.

E_{un} – unlöslicher Bindemittelanteil nach Extraktion

Anteil an Bindemittel, der durch die Extraktion nicht gelöst werden kann und sich aus unlöslichen Bindemittelanteilen und unlöslichen Gummiantteilen (anteilig im Füller und im Dekanter) zusammensetzt. E_{un} ist durch die Extraktion nicht bestimmbar.

E_{dek} – dekantierter Anteil aGM nach Extraktion

Anteil an unlöslichem Gummimehl, der durch Dekantieren in dafür vorgesehenen Extraktionsanlagen abgeschieden werden kann.

E_{ges} – Gesamtbindemittelgehalt nach Extraktion (nicht bestimmbar)

Theoretischer Gesamtbindemittelgehalt, dieser kann durch Extraktion oder Rückrechnung nicht bestimmt werden.

$$E_{\text{ges}} = E_{\text{lös}} + E_{\text{un}}$$

Hinweis: In Anhang A sind die Bestandteile und Zusammensetzungen des GmB in den Schritten von der Herstellung des aGM bis zur Extraktion im Rahmen der Erst- und der Kontrollprüfung sowie die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Definitionen im Sinne dieser Technischen Richtlinien veranschaulicht.

4 Baugrundsätze

Die Gummimodifizierung ist in allen Asphaltsschichten und für alle Belastungsklassen anwendbar. Ziel ist die Verlängerung der Nutzungsdauer der jeweiligen Schicht.

Die Aufbauvariante und die Schichtdicken werden nach den RStO festgelegt. Eine Asphaltsschicht auf GmA-Unterlage sollte ebenfalls in GmA ausgeführt werden.

Der Einsatz von Asphaltgranulat ist entsprechend den Grundsätzen der nachhaltigen Kreislaufwirtschaft möglichst in allen Asphaltmischgutarten und -sorten vorzusehen.

Eine Verwendung von Asphaltgranulat aus GmA ist grundsätzlich unproblematisch (positive Erfahrungen zur Wiederverwendung liegen z. B. in Baden-Württemberg vor). Durch den Auftraggeber ist im Rahmen von Erhaltungsmaßnahmen auf die Gummimodifizierung auszubauender Asphaltsschichten hinzuweisen. Eine sortenreine Gewinnung des Ausbauasphaltes ist anzustreben. Bei der Verwendung von Asphaltgranulat aus GmA muss eine Schädigung des GmB durch Überhitzung vermieden werden.

5 Baustoffe

5.1 Gesteinskörnungen

Es gelten die Regelungen der TL Gestein-StB, TL Asphalt-StB und ZTV Asphalt-StB.

5.2 Asphaltgranulat

Bei der Verwendung von Asphaltgranulat aus Ausbauasphalt der Verwertungsklasse A nach den RuVA-StB gelten die Regelungen der TL AG-StB.

5.3 Bitumen

Als Grundbitumen sollen Straßenbaubitumen nach den TL Bitumen-StB verwendet werden.

Der Einsatz von Bitumen mit viskositätsverändernden Zusätzen oder Viskositätsveränderten Bitumen nach den TL VBit-StB ist grundsätzlich möglich.

Eventuelle Wechselwirkungen zwischen Additiven sind zu prüfen und Unverträglichkeiten sind auszuschließen.

Mit Mehrfachmodifizierungen z. B. unter Verwendung von Polymermodifizierten Bitumen liegen noch keine Erfahrungen vor.

5.4 Additiviertes Gummimehl

Für den Einsatz im Asphalt ist eine Additivierung des Gummimehls erforderlich. Die Art der Additivierung obliegt dem Hersteller des aGM und ist im Produktdatenblatt anzugeben.

Bekannt sind z. B. folgende Wirkungen von Additiven:

- *Öle erleichtern das Anlösen und Quellen des Gummimehls im Reifeprozess.*
- *Polymere verbessern die Verarbeitbarkeit und verhindern das Anhaften am Arbeitsgerät.*
- *Viskositätsverändernde Zusätze helfen, die Temperatur abzusenken und/oder die Verarbeitungsfähigkeit zu verbessern.*

5.5 Weitere Zusätze

Weitere Zusätze können dem Bindemittel oder dem Asphaltmischgut hinzugefügt werden, müssen jedoch in jedem Fall vorab auf mögliche Wechselwirkungen mit dem additivierten Gummimehl und untereinander untersucht werden (Mehrfachmodifikation). Unverträglichkeiten sind auszuschließen.

Für den Einsatz dieser Zusätze sind die betreffenden Herstellerangaben zu beachten.

Wenn das aGM mit Hilfe einer Trägersubstanz eingebracht wird, stellt die Trägersubstanz einen weiteren Zusatz dar.

6 Anforderungen an die Baustoffe

6.1 Anforderungen an das Gummimehl (GM) als Ausgangsstoff

Es ist ein Gummimehl mit einem Gesamtkautschukanteil A_{GK} von mindestens 50 M.-% zu verwenden. Der Anteil an Naturkautschuk A_{NR} im Gummimehl muss mindestens 35 M.-% betragen. Die Ermittlung der Kautschukanteile erfolgt durch den Hersteller des aGM im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle mittels Thermogravimetrie entsprechend Anhang E.

Anforderungen an die Sieblinie des Gummimehls vor der Additivierung (Herstellerangabe im Produktdatenblatt, Ermittlung durch Trockensiebung gemäß Anhang D)

Siebdurchgang 0,4 mm: $\geq 95,0$ M.-%

6.2 Anforderungen an das additivierte Gummimehl (aGM)

Das aGM ist ausschließlich als fertig additiviertes Produkt zu verwenden. Eine Additivierung von GM während der Asphaltherstellung ist nicht zulässig. Alle Bestandteile müssen im aGM homogen vermischt sein.

Das aGM darf einen Wassergehalt von höchstens 2,0 M.-% aufweisen.

Das aGM darf nicht mehr als 0,1 M.-% Stahlpartikel sowie nicht mehr 0,1 M.-% Faseranteile enthalten. Weiterhin dürfen nicht mehr als 0,1 M.-% sichtbare Mengen an sonstigen Verunreinigungen vorhanden sein.

Anforderungen an die Sieblinie des additivierten Gummimehls im fertig additivierten Produkt, Ermittlung durch Trockensiebung gemäß Anhang D (Quellung ist dabei berücksichtigt)

Siebdurchgang 0,63 mm: $\geq 95,0$ M.-%

Die Hersteller/Lieferanten haben diese Angaben in ihren Produktdatenblättern gem. Anhang B aufzuführen.

6.3 Anforderungen an das gummimodifizierte Bitumen (GmB)

Die Zugabemenge des aGM ist darauf auszurichten, dass das Gummimodifizierte Bitumen die in Tabelle 1 aufgeführten Anforderungen erfüllt und die Zielwerte¹⁾ erreicht.

Merkmal/Eigenschaft	Einheit	Anforderungswert	Prüfmethode
Modifizierungsgrad M	M.-%	$\geq 10,0$	rechnerisch
Nadelpenetration bei 25 °C	0,1mm	25 – 55	DIN EN 1426
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	≥ 50	DIN EN 1427
Elastische Rückstellung bei 25 °C	%	≥ 50	DIN EN 13398
Verformungsverhalten DSR			DIN EN 14770
Schermodul G^* bei 30 °C	kPa	$\geq 500^{1)}$	AL DSR-Prüfung
Phasenwinkel bei 30 °C	°	$\leq 60^{1)}$	(T-Sweep)
Rückverformung R	%	$\geq 30^{1)}$	AL DSR-Prüfung
Nachgiebigkeit J_{NR}	1/kPa	$\leq 0,8^{1)}$	(MSCRT)

Tabelle 1: Anforderungen an das gummimodifizierte Bitumen (GmB)

Anmerkung 1: Die in der Tabelle 1 beschriebenen Anforderungen gelten nur für gummimodifiziertes Bitumen, das im Labor hergestellt wurde (siehe Abschnitt 10).

Anmerkung 2: Die in Tabelle 1 mit ¹⁾ gekennzeichneten Anforderungswerte sind Zielwerte. Diese im Rahmen der Erstprüfungen ermittelten Werte dienen zur Erfahrungssammlung und der späteren Ableitung von Anforderungen.

6.4 Anforderungen an das gummimodifizierte Asphaltmischgut (GmA)

Grundsätzlich richten sich die Mischgutzusammensetzung und die Herstellung von GmA nach den TL Asphalt-StB.

7 Herstellung, Lagerung, Transport und Einbau von GmA

7.1 Grundsätzliches

Herstellung, Lagerung, Transport und Einbau von gummimodifizierten Asphalten sind technologisch anspruchsvolle Prozesse, die frühzeitige und enge Abstimmung zwischen dem Hersteller des aGM, dem Asphaltmischwerk mit seiner Prüfstelle für die Erstprüfung, dem ausführenden Bauunternehmen und dem Auftraggeber erfordern.

Die Regelungen der TL Asphalt-StB und der ZTV Asphalt-StB sind zu beachten.

Zusätzlich gilt:

Die maximale Mischguttemperatur von Gummimodifiziertem Asphaltmischgut darf 170 °C nicht überschreiten. Höhere Temperaturen können das Gummimehl schädigen und zu Geruchsbelästigungen führen.

Die Einhaltung der Reifezeit ist ein entscheidendes Kriterium für die Wirksamkeit der Gummimodifizierung, alle technologischen Abläufe sind darauf abzustellen.

Die Kombination der Herstellung von Gummimodifiziertem Asphaltmischgut mit Maßnahmen zur Temperaturabsenkung ist grundsätzlich möglich. Zu beachten ist dabei, dass das Gummimehl bei der Mischgutherstellung definierte Temperaturen zur Aktivierung benötigt.

Angaben zu Reifezeit, Herstellungstemperaturen und möglichen Maßnahmen zur Temperaturabsenkung sind produktspezifisch und dem Produktdatenblatt des Herstellers zu entnehmen.

7.2 Herstellung von gummimodifiziertem Asphalt

7.2.1 Herstellung im Trockenverfahren (Direktmodifizierung)

Beim Verfahren der Direktmodifizierung hat die Dosierung des aGM zum Zeitpunkt der Bitumenzugabe zu erfolgen. Dabei darf das aGM nicht mit Komponenten (z. B. Mischgutbestandteile, Maschinenteile der Mischanlage) in Berührung kommen, die heißer als 170 °C sind. Partielle Überhitzung des aGM muss vermieden werden.

Die notwendige Mischzeit ist produktabhängig und entsprechend den Herstellerangaben im Produktdatenblatt zu wählen.

Die Zugabe sollte möglichst über eine automatische Dosierungseinrichtung erfolgen. Bei volumetrischer Zugabe muss die Dosierungstechnologie für das jeweilige Produkt kalibriert werden. Bei manueller Zugabe müssen Gebindegröße und Chargengröße aufeinander abgestimmt werden. Es ist zu beachten, dass die notwendige Mischzeit nach Herstellerangabe erst ab der vollständigen Zugabe beginnt.

Die Vorteile des Trockenverfahrens (Direktmodifizierung) liegen in der Flexibilität der Zugabemengen. Dabei kann insbesondere auf die Wiederverwendung von Asphaltgranulat optimal reagiert werden. Weiterhin ist die Produktion von Klein- oder Teilmengen unproblematisch möglich.

7.2.2 Herstellung im Nassverfahren

Bei der Verwendung von gebrauchsfertigen GmB ist die erhöhte Viskosität und deren Einfluss auf die Leistung der Bitumenpumpen zu beachten. Außerdem neigt das Gummimehl zum Absetzen, es lässt sich nicht wieder aufrühren. Deshalb ist das gebrauchsfertige GmB erfahrungsgemäß nicht lagerstabil.

Sollte eine Zwischenlagerung an der Asphaltmischanlage technisch nicht zu vermeiden sein, hat diese ausschließlich in Bitumenlagertanks mit Rührwerk zu erfolgen.

Aufgrund der beschriebenen Probleme ist die Anwendung des Nassverfahrens derzeit nicht zu empfehlen.

Bei der Herstellung von GmA im Nassverfahren darf das GmB nicht mit Komponenten (z. B. Mischgutbestandteile, Maschinenteile der Mischanlage) in Berührung kommen, die heißer als 170 °C sind. Partielle Überhitzung des GmB muss vermieden werden.

7.3 Lagerung und Transport von gummimodifiziertem Asphalt

GmA kann in Asphaltmischgutsilos gelagert werden.

Der Transport hat grundsätzlich mit thermoisolierten Fahrzeugen zu erfolgen.

Die Lagerungszeit und die Transportzeit ergeben die vom Hersteller des aGM vorgegebene Reifezeit, sie sind aufeinander abzustimmen.

7.4 Einbau von gummimodifiziertem Asphalt

Die Einbautechnologie entspricht dem Einbau von Standardwalzasphalten. Zusätzliche Hinweise zum Einbau sind den Angaben des aGM-Herstellers im Produktdatenblatt zu entnehmen und zu beachten.

8 Erstprüfung und Eignungsnachweis

8.1 Allgemeines

Auf Grund der besonderen Eigenschaften von gummimodifizierten Bitumen und gummimodifizierten Asphalten und unter Beachtung, dass nicht alle Bestandteile des additivierten Gummimehls im Bitumen löslich sind, können die bekannten Prüfverfahren und Untersuchungsmethoden der TP Asphalt-StB nicht uneingeschränkt angewendet werden.

Besonderheiten bestehen in der Bewertung des Bindemittelgehaltes nach Extraktion.

Der lösliche Bindemittelgehalt wird mit dem Differenzverfahren nach den TP Asphalt, Teil 1 mit folgenden Ergänzungen bestimmt:

- Für die Extraktion von Gummimodifizierten Asphalten sind speziell dafür geeignete Extraktionsanlagen zu verwenden.
- Es muss sichergestellt werden, dass die Trocknung der Probe einschließlich der ungelösten Gummipartikel bis zur Massekonstanz in der Extraktionsanlage erfolgt.
- Die Anzahl der Wasch- und Trocknungsgänge und die Wasch- und Trockenzeiten sind bei Bedarf mischgut- und anlagenabhängig anzupassen.

Ein Teil des eingesetzten aGM ist nach der Extraktion im Labor im Bereich des Gesteinskörnungsgemisches wiederzufinden, deshalb

- lässt sich nicht das gesamte gummimodifizierte Bitumen rückgewinnen,
- ist der durch Extraktion festgestellte Bindemittelgehalt stets niedriger als der Gesamtbindemittelgehalt im Asphalt,
- sind die Eigenschaften des rückgewonnenen Bitumens nicht mehr identisch mit den Eigenschaften des hergestellten gummimodifizierten Bitumens,
- ist der lösliche Bindemittelanteil bereits in der Erstprüfung anzugeben.

Die Marshall-Probekörper werden bei Temperaturen von 145 °C hergestellt.

Die nach den SN TR GmA zu erstellende Erstprüfung hat die Mindestangaben nach Abschnitt 8.2 zu enthalten. Wenn die SN TR GmA Bestandteil des Bauvertrages sind, handelt es sich bei den Erstprüfungen um Nebenleistungen nach VOB/C. Im Einzelfall geforderte, über die Inhalte der SN TR GmA hinausgehende Prüfungen sind besondere Leistungen und gesondert in die Leistungsbeschreibung aufzunehmen.

8.2 Herstellung von GmB im Labor

Es ist erforderlich, das für die Erstprüfung zu untersuchende gummimodifizierte Bitumen (GmB) im Labor herzustellen. Dafür werden das rückgewonnene Bindemittel aus dem Asphaltgranulat mit dem Frischbitumen und dem aGM bzw. mit dem gebrauchsfertig angelieferten Bindemittel in den im Asphaltmischgut vorgesehenen Anteilen gemischt. Die Menge des hergestellten GmB muss so groß sein, dass alle erforderlichen Prüfungen für den Eignungsnachweis aus einer Mischung durchgeführt werden können.

Bei der Herstellung des gummimodifizierten Bitumens im Labor ist wie folgt vorzugehen:

Das additivierte Gummimehl muss mit dem Frischbitumen und ggf. Bitumen aus Asphaltgranulat bei Temperaturen von maximal 170 °C mit einem Korb- oder Flügelrührer bei 200 Umdrehungen/Minute gemischt werden. Die Zugabe des aGM sollte dabei nicht auf einmal, sondern vorsichtig und gleichmäßig zeitlich verteilt erfolgen. Die anschließende Mischzeit richtet sich nach den Angaben des aGM-Herstellers gemäß Produktdatenblatt. Das Volumen des Rührgefäßes sollte ca. 1.000 bis 2.000 cm³ betragen. Zusätzlich ist eine Heißlagerung bei maximal 170 °C von einer Stunde anzuschließen (Reifeprozess).

Gegebenenfalls sind für die Herstellung im Labor weitergehende Angaben der Hersteller zu berücksichtigen.

Das entstehende Gummimodifizierte Bitumen ist nicht lagerstabil. Daher muss es nach Abschluss des Reifeprozesses und nochmaligem ca. 30 s langen Homogenisieren mit dem Rührwerk bei Temperaturen von maximal 170 °C direkt verarbeitet werden.

Wenn gebrauchsfertig angelieferte Laborproben des Herstellers verwendet werden, müssen diese nach Herstellerangaben im Labor aufgemischt werden, um die Lagerstabilität zu berücksichtigen. Erst dann können sie mit den vorgesehenen Bindemittelmengen aus dem Asphaltgranulat gemischt werden.

8.3 Erstprüfung

Die Einhaltung der Anforderungen an die Bindemittleigenschaften im Rahmen der Erstprüfung sind am im Labor hergestellten oder am gebrauchsfertig angelieferten GmB nachzuweisen.

Die Erstprüfung erfolgt gemäß den TL Asphalt-StB. Das additivierte Gummimehl aGM ist als Zusatz nach den TL Asphalt-StB zu deklarieren.

Im Erstprüfungsbericht sind alle Angaben aus den TL Asphalt-StB und die nachfolgenden ergänzenden Angaben erforderlich:

- Frischbindemittelgehalt B_F
- Bindemittelgehalt aus Asphaltgranulat B_{RC}

Hinweis: Die Summe $B_F + B_{RC}$ kann kleiner sein als der Wert für den rechnerischen Mindestbindemittelgehalt B_{rech} entsprechend TL Asphalt-StB.

- Anteil aGM: B_{aGM}
- Gesamtbindemittelgehalt B_{ges} , muss mindestens dem Wert für den rechnerischen Mindestbindemittelgehalt B_{rech} entsprechen.
- Anteil an Gummimehl im aGM: G_{GM} aus Produktdatenblatt
- Modifizierungsgrad einschließlich Nachweis $M \geq 10,0$ M.-%
- Siebdurchgang des aGM $< 0,63$ mm aus Wareneingangsprüfung (wenn technisch möglich)

- Angaben zu Untersuchungen am im Labor hergestellten resultierenden GmB (Mischung aus zuzusetzendem Bindemittel, aGM und Bindemittel aus Asphaltgranulat)
 - Erweichungspunkt Ring und Kugel
 - Äqui-Schermodultemperatur T ($G^* = 15 \text{ kPa}$) in $^{\circ}\text{C}$ und zugehöriger Phasenwinkel in $^{\circ}$ nach den AL DSR-Prüfung (T-Sweep) und AL DSR-Prüfung (BTSV)
 - Nadelpenetration
 - Elastische Rückstellung
 - Schermodul und Phasenwinkel bei 30°C (AL DSR-Prüfung (T-Sweep)) einschließlich der Diagrammdarstellung
 - Rückverformung und Nachgiebigkeit (AL DSR-Prüfung (MSCRT))
- Angaben zu Untersuchungen nach Extraktion:
 - löslicher Bindemittelanteil $E_{\text{lös}}$
 - dekantierter Anteil aGM: E_{dek}
 - Beschreibung der Farbe des rückgewonnenen Füllers (visuelle Einschätzung)
 - Erweichungspunkt Ring und Kugel
 - Äqui-Schermodultemperatur T ($G^* = 15 \text{ kPa}$) in $^{\circ}\text{C}$ und zugehöriger Phasenwinkel in $^{\circ}$ nach den AL DSR-Prüfung (T-Sweep) und AL DSR-Prüfung (BTSV)
 - Elastische Rückstellung als Basis für die Erfahrungssammlung im Vergleich zu in der Kontrollprüfung ermittelten Werten
 - Schermodul und Phasenwinkel bei 30°C (AL DSR-Prüfung (T-Sweep)) einschließlich der Diagrammdarstellung als Basis für die Erfahrungssammlung im Vergleich zu in der Kontrollprüfung ermittelten Werten
 - Rückverformung und Nachgiebigkeit (AL DSR-Prüfung (MSCRT)) als Basis für die Erfahrungssammlung im Vergleich zu in der Kontrollprüfung ermittelten Werten
- Produktdatenblatt des aGM als Anlage gemäß Anhang B

8.4 Eignungsnachweis

Der Eignungsnachweis ist entsprechend den Anforderungen der ZTV Asphalt-StB zu erstellen. Dabei wird die Erstprüfung einschließlich aller Anlagen und des Produktdatenblatts des aGM-Herstellers Bestandteil des Eignungsnachweises.

9 Probenahmen und Rückstellproben

9.1 Proben für Kontrollprüfungen

Die Proben für Kontrollprüfungen werden entsprechend den ZTV Asphalt-StB entnommen.

9.2 Rückstellproben

Zusätzlich zu den Regelungen nach ZTV Asphalt-StB sind in Abhängigkeit vom angewandten Modifizierungsverfahren die in Tabelle 2 dargestellten Mindestmengen an Rückstellproben zu entnehmen und für weitere Untersuchungen vorzuhalten. Die Mindestmengen sind ggf. in Abhängigkeit von der gewählten Zusammensetzung des GmA laut Erstprüfung so zu erhöhen, dass mindestens 2000 g GmB im Labor hergestellt werden könnten.

Die Rückstellproben sind in geeignete, dicht schließende, lichtundurchlässige, wiederverschließbare Gefäße abzufüllen. Die Rückverfolgbarkeit ist durch eindeutigen Bezug auf den Lieferschein und Beschriftung der Probe zu gewährleisten.

Der Auftragnehmer (AN) ist verantwortlich für die Bereitstellung der Rückstellproben für den Auftraggeber (AG).

Die Rückstellproben sind bis zum Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche aufzubewahren.

	Trockenverfahren	Nassverfahren	Vorhalten der Rückstellprobe
Gummimehl GM	500 g*/100 g	500 g*/100 g	Asphaltnischwerk/AG
Additiviertes Gummimehl aGM	1000 g	-	AG
Bitumen	2000 g	-	AG
Gummimodifiziertes Bitumen GmB	-	2000 g	AG
weitere Zusätze	produktabhängig	produktabhängig	AG
Füller	2000 g	2000 g	AG

Tabelle 2: Rückstellproben

- * Für den Lieferkettennachweis hat der Hersteller/Lieferant dem Kunden (Asphaltnischwerk) bei jeder Lieferung von aGM eine Rückstellprobe des dafür verwendeten GM zu übergeben. Dem AG ist über den AN eine Teilprobe von 100 g zur Verfügung zu stellen.

10 Kontrollprüfungen

10.1 Prüfungen am Asphaltmischgut

Die Kontrollprüfungen am Asphaltmischgut erfolgen analog zu den Regelungen der ZTV Asphalt-StB. Die Marshall-Probekörper werden bei Temperaturen von 145 °C hergestellt.

Besonderheiten bestehen in der Bewertung des Bindemittelgehaltes nach Extraktion. Der lösliche Bindemittelgehalt wird mit dem Differenzverfahren nach den TP Asphalt-StB mit folgenden Ergänzungen bestimmt:

- Für die Extraktion von Gummimodifizierten Asphalten sind speziell dafür geeignete Extraktionsanlagen zu verwenden.
- Es muss sichergestellt werden, dass die Trocknung der Probe einschließlich der ungelösten Gummipartikel bis zur Massekonstanz in der Extraktionsanlage erfolgt.
- Die Anzahl der Wasch- und Trocknungsgänge und die Wasch- und Trockenzeiten sind bei Bedarf mischgut- und anlagenabhängig anzupassen.

Im Kontrollprüfbericht sind zusätzlich anzugeben:

- Angaben zu Untersuchungen nach Extraktion:
 - löslicher Bindemittelanteil $E_{\text{lös}}$
 - dekantierter Anteil aGM: E_{dek}
 - Beschreibung der Farbe des rückgewonnenen Füllers (visuelle Einschätzung)

10.2 Prüfungen am rückgewonnenen GmB

Die Ergebnisse der unten genannten Kontrollprüfungen sind anzugeben und den Ergebnissen der Erstprüfung gegenüberzustellen:

- Erweichungspunkt Ring und Kugel
- Äqui-Schermodultemperatur T ($G^* = 15 \text{ kPa}$) in °C und zugehöriger Phasenwinkel in ° nach den AL DSR-Prüfung (T-Sweep) und AL DSR-Prüfung (BTSV)
- Elastische Rückstellung
- Schermodul und Phasenwinkel bei 30 °C (AL DSR-Prüfung (T-Sweep)) einschließlich der Diagrammdarstellung
- Rückverformung und Nachgiebigkeit (AL DSR-Prüfung (MSCRT)).

10.3 Prüfungen an der eingebauten Schicht

Die Prüfungen an der eingebauten Schicht erfolgen analog zu den Regelungen der ZTV Asphalt-StB.

Wenn zur Erfahrungssammlung Nutzungszeiten von gummimodifizierten Asphaltschichten ermittelt werden sollen, sind Ermüdungs- und Steifigkeitsuntersuchungen gemäß TP Asphalt-StB Teil 24 und Teil 26 vorzusehen. Dabei ist die Entnahme der erforderlichen Bohrkerne sinnvoll in den Bauablauf einzuordnen.

10.4 Bewertung der Kontrollprüfergebnisse

Für die Bewertung der Kontrollprüfungen gelten die Regelungen der ZTV Asphalt-StB, wenn nicht im Folgenden abweichende Festlegungen getroffen werden:

- Der Erweichungspunkt Ring und Kugel des rückgewonnenen GmB soll den im Eignungsnachweis angegebenen und im Rahmen der Erstprüfung am rückgewonnenen GmB ermittelten Erweichungspunkt um nicht mehr als 8 °C über- oder unterschreiten. Die Angaben dienen der Erfahrungssammlung.
- Zum Nachweis des Bindemittelgehaltes nach ZTV Asphalt-StB wird der im Eignungsnachweis ausgewiesene lösliche Bindemittelgehalt $E_{\text{lös}}$ aus der Erstprüfung als maßgebender Bezugswert für die Kontrollprüfung Bestandteil des Bauvertrages. Es gelten die Grenzwerte und Toleranzen der ZTV Asphalt-StB.

Hinweis 1: Der lösliche Bindemittelgehalt $E_{\text{lös}}$ kann kleiner sein als der Wert für den rechnerischen Mindestbindemittelgehalt B_{rech} aus der Erstprüfung.

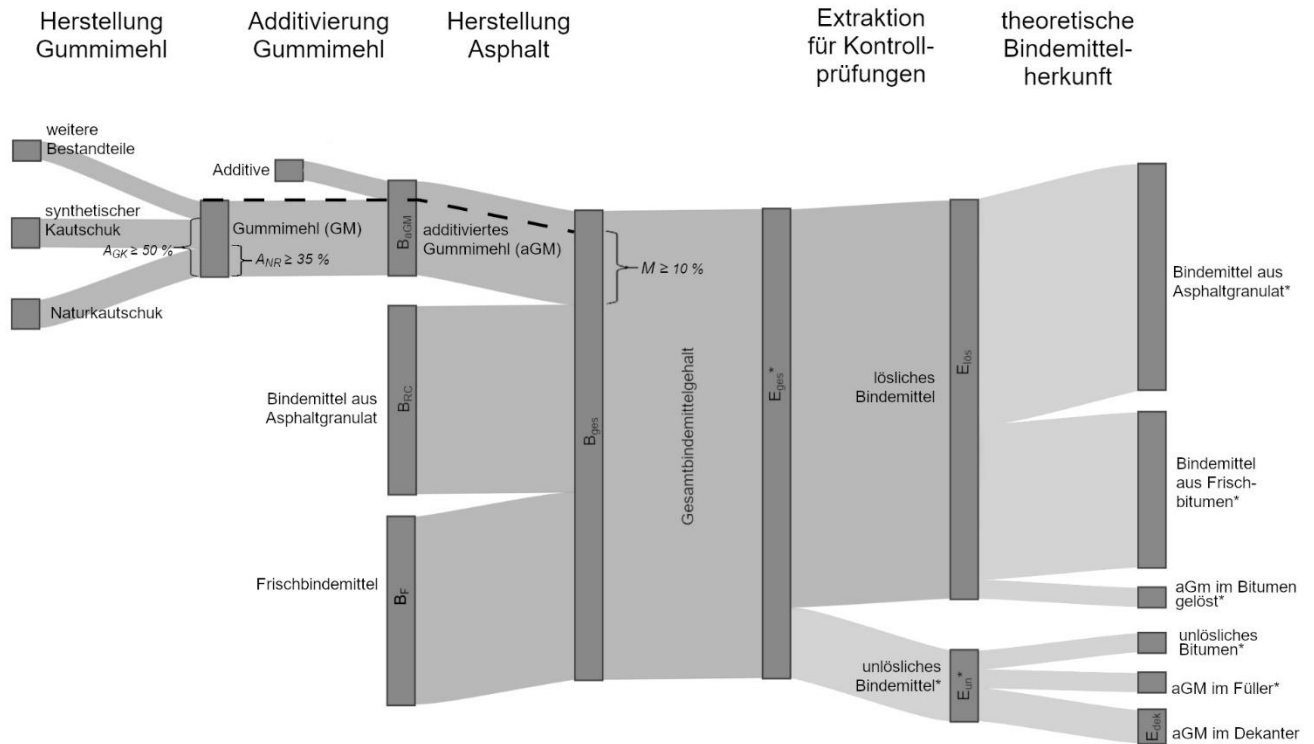
Hinweis 2: Es ist nicht möglich, aus der Summe aus löslichem Bindemittelgehalt $E_{\text{lös}}$ und unlöslichem Bindemittelgehalt E_{un} einen Gesamtbindemittelgehalt E_{ges} zu berechnen, weil die Anteile an unlöslichem Bitumen und an aGM im Füller in der Kontrollprüfung nicht quantifiziert werden können.

- Folgende Kontrollprüfergebnisse sind derzeit nicht vertragsrelevant, sondern dienen der Erfahrungssammlung:
 - Äqui-Schermodultemperatur T ($G^* = 15 \text{ kPa}$) in °C und zugehöriger Phasenwinkel in ° nach den AL DSR-Prüfung (T-Sweep) und AL DSR-Prüfung (BTSV),
 - Elastische Rückstellung,
 - Schermodul und Phasenwinkel bei 30 °C (AL DSR-Prüfung (T-Sweep)) einschließlich der Diagrammdarstellung,
 - Rückverformung und Nachgiebigkeit (AL DSR-Prüfung (MSCRT)).

Anhang A – Visualisierung der Bindemittelzusammensetzung im GmA

In der Abbildung sind die Bestandteile und Zusammensetzungen des GmB in den Schritten von der Herstellung des aGM bis zur Extraktion im Rahmen der Erst- und der Kontrollprüfung sowie die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Definitionen im Sinne dieser Technischen Richtlinien veranschaulicht. Die Darstellung ist nicht maßstabsgerecht.

Bindemittel in gummimodifiziertem Asphalt



* dieser Wert ist quantitativ nicht bestimmbar

$$B_{\text{ges}} = B_F + B_{RC} + B_{aGM}$$

$$M = B_{aGM} / B_{\text{ges}} \cdot G_{GM} \geq 10,0 \text{ M.-%}$$

$$E_{\text{ges}} = E_{\text{lös}} + E_{\text{un}}^*$$

Anhang B – Produktdatenblatt

Die Hersteller der additivierten Gummimehle müssen nachfolgende Angaben in einem Produktdatenblatt aufführen. Dieses Produktdatenblatt wird zusammen mit dem Eignungsnachweis abgefordert und in Verbindung mit diesem zum Vertragsbestandteil.

Angaben zum Hersteller		
Produktbezeichnung		
Materialzusammensetzung	Herkunft des Gummis	Art der Reifen
	Anteil an Gummimehl G_{GM}	M.-%
	Art der Additive	
	Anteil an Additiven	M.-%
	Anteil an weiteren Zusätzen	M.-%
	Anteil an Naturkautschuk A_{NR}	M.-%
	Anteil an Gesamtkautschuk A_{GK}	M.-%
	Wasseranteil	M.-%
	Anteil Stahlpartikel	M.-%
	Anteil Faserreste	M.-%
	Anteil an sonstigen Verunreinigungen	M.-%
Materialeigenschaften	Dichte	g/cm ³
	Schüttdichte	g/cm ³
	Flammpunkt	°C
	Korngrößenverteilung	
	<ul style="list-style-type: none"> Gummimehl vor Additivierung Siebdurchgang bei 0,4 mm Additiviertes Gummimehl Siebdurchgang bei 0,63 mm 	M.-% M.-%
Angaben zur Herstellung	Nachmischzeit in der Anlage	s
	Reifezeit	Minuten
	Mischtemperaturbereich	°C
	Einbautemperaturbereich	°C
Angaben zu Transport und Lieferung		
Angaben zur Lagerung		
Angaben des maximalen Verarbeitungszeitraums ab Herstellungsdatum		
Angaben zum Einsatzbereich		
Angaben zur Asphaltherstellung		
Angaben zum Asphalteinbau		
Besonderheiten		

Anhang C – Übersicht zusätzlicher Anforderungen und Nachweise

Anforderungen und Bezugswerte, welche über die Anforderungen der TL und ZTV Asphalt-StB hinausgehen und zusätzlich zu erfüllen, zu erbringen oder anzugeben sind:

	Einheit	Anforderung/ Bezugswert	Herstellerangabe	Erstprüfung	Kontrollprüfung
GM					
Gesamtkautschukanteil (A_{GK})	M.-%	$\geq 50,0$	x	Produktdatenblatt als Anlage	
Naturkautschukanteil (A_{NR})	M.-%	$\geq 35,0$	x		
Siebdurchgang 0,4 mm	M.-%	$\geq 95,0$	x		
aGM					
Wassergehalt	M.-%	$\leq 2,0$	x		
Anteil Stahlpartikel	M.-%	$\leq 0,1$	x		
Anteil Faserreste	M.-%	$\leq 0,1$	x		
Anteil an sonstigen Verunreinigungen	M.-%	$\leq 0,1$	x		
Siebdurchgang 0,63 mm	M.-%	$\geq 95,0$	x		
GmB					
Frischbindemittelgehalt (B_F)	M.-%			i. a.	
Bindemittelgehalt aus Asphaltgranulat (B_{RC})	M.-%			i. a.	
Anteil aGM (B_{aGM})	M.-%			i. a.	
Gesamtbindemittelgehalt (B_{ges})	M.-%	$\geq B_{rech}$		x	
Modifizierungsgrad M	M.-%	$\geq 10,0$		x	
Nadelpenetration bei 25 °C	0,1 mm	25-55		x	
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	$\geq 50,0$		x	
Elastische Rückstellung bei 25 °C	%	$\geq 50,0$		x	
Verformungsverhalten DSR ⁴⁾ Schermodul G^* bei 30 °C Phasenwinkel bei 30 °C Rückverformung R Nachgiebigkeit JNR	kPa ° % 1/kPa	$\geq 500^{1)}$ $\leq 60^{1)}$ $\geq 30^{1)}$ $\leq 0,8^{1)}$		i. a. i. a. i. a. i. a.	
Äqui-Schermodultemperatur	°C	EP		i. a.	
zugehöriger Phasenwinkel	°	EP		i. a.	
GmA nach Extraktion					
löslicher Bindemittelanteil ($E_{lös}^{2)}$)	M.-%	EP		i. a. ²⁾	x ²⁾
dekantierter Anteil aGM (E_{dek})	M.-%	EP		i. a.	i. a.
Farbe des rückgewonnenen Füllers (visuelle Einschätzung)		EP		i. a.	i. a.

	Einheit	Anforderung/ Bezugswert	Herstellerrangabe	Erstprüfung	Kontrollprüfung
Rückgewonnenes Bindemittel nach Extraktion					
Erweichungspunkt Ring und Kugel	°C	EP		i. a.	i. a. ³⁾ (± 8) ¹⁾
Elastische Rückstellung bei 25 °C	%	EP		i. a.	i. a.
Verformungsverhalten DSR ⁴⁾					
Scherm modul G* bei 30 °C	kPa	EP		i. a.	i. a.
Phasenwinkel bei 30 °C	°	EP		i. a.	i. a.
Rückverformung R	%	EP		i. a.	i. a.
Nachgiebigkeit JNR	1/kPa	EP		i. a.	i. a.
Äqui-Scherm odultemperatur	°C	EP		i. a.	i. a.
zugehöriger Phasenwinkel	°	EP		i. a.	i. a.

- 1) Zielwerte. Ermittelte Werte sind anzugeben und dienen zur Erfahrungssammlung und der späteren Ableitung von Anforderungen.
- 2) Zum Nachweis des Bindemittelgehaltes nach ZTV Asphalt-StB wird der im Eignungsnachweis ausgewiesene lösliche Bindemittelgehalt $E_{\text{lös}}$ aus der Erstprüfung als maßgebender Bezugswert für die Kontrollprüfung Bestandteil des Bauvertrages. Es gelten die Grenzwerte und Toleranzen der ZTV Asphalt-StB.
- 3) Zielwert ist der im Eignungsnachweis ausgewiesene Wert aus der Erstprüfung mit Anlehnung an die Grenzwerte und Toleranzen der ZTV Asphalt-StB (dient der Erfahrungssammlung und der späteren Ableitung von Anforderungen).
- 4) Die DSR-Untersuchungen in der Platte-Platte-Konfiguration sind mit einer Spaltbreite von 2 mm durchzuführen

x: Anforderungswert

i. a.: ist anzugeben

EP: Bezugswert ist der angegebene Wert aus der Erstprüfung

Anhang D – Bestimmung der Korngrößenverteilung von Gummimehl

Die Korngrößenverteilung von Gummimehl wird in Anlehnung an DIN EN 933-1 mit folgenden Änderungen ermittelt:

Siebung

Die Siebung ist ausschließlich als Trockensiebung durchzuführen. Das GM oder aGM ist in den Siebturm zu schütten. Der Turm besteht aus einer bestimmten Anzahl von Analysensieben mit Auffangschale und Deckel, die zusammengesteckt und von oben nach unten so angeordnet sind, dass die Öffnungsweiten abnehmen.

Die Analysesiebung ist unter Zuhilfenahme von mechanischen Siebhilfen - Kugeln aus Gummi Ø 20 mm - durchzuführen. Eventuelle statische Anhaftungen, die als Rückstand nach der Siebung im Analysesieb verbleiben und augenscheinlich kleiner sind als die Maschenweite, sind mit einem feinen Pinsel zu lösen und vorsichtig durch die Maschenweite zu streichen.

Das gesamte Material, das durch jedes Sieb hindurchging, ist auf das nächste Sieb im Turm zu überführen, bevor der Arbeitsgang mit diesem Sieb fortgesetzt wird. Die Überlastung des Siebes muss vermieden werden.

HINWEIS: Die Wirksamkeit der mechanischen Siebung wird beeinflusst von der Siebdauer, der Beladung des Siebes und den Parametern der Siebbewegung, wie z. B. Amplitude und Frequenz. Die Dauer der mechanischen Siebung sollte deshalb sorgfältig gewählt werden und nicht kleiner als 10 Minuten sein.

Anhang E – Thermogravimetrie

Allgemeines

Mit der thermogravimetrischen Analyse werden Gummimehle in erster Linie bezüglich ihrer quantitativen Zusammensetzung untersucht. Der Kurvenverlauf des Thermogramms sowie die Zersetzungstemperaturen ermöglichen begrenzte qualitative Aussagen. Das Probenmaterial wird bei definierter Einwaage einem kontrollierten Temperaturprogramm unterworfen. In dem Thermogramm wird ein Gewichtsverlust der Probe in Abhängigkeit von der Temperatur registriert, wobei die Analyse bis 550 °C unter einem Stickstoffstrom und oberhalb von 550 °C in Gegenwart von synthetischer Luft oder Sauerstoff durchgeführt wird.

Im unteren Temperaturbereich bis ca. 300 °C wird der Anteil flüchtiger und niedermolekularer Bestandteile und zwischen 300 °C und 550 °C der Anteil der Polymere erfasst. Ab einer Temperatur von 550 °C können der Rußgehalt und die Anteile anorganischer Füllstoffe unter oxidierender Atmosphäre ermittelt werden.

Thermogravimetrische Analyse von Gummimehl

Die Prüfung erfolgt in Anlehnung an ISO 9924-1.

Die Ermittlung von Gesamtkautschukanteil A_{GK} , Naturkautschukgehalt C_{NR} und Naturkautschukanteil A_{NR} mit Thermogravimetrischer Analyse erfolgt am Gummimehl (GM). Wenn das Verfahren an additiviertem Gummimehl (aGM) durchgeführt wird, verfälschen Einflüsse aus der Additivierung die Ergebnisse und die hier zugrundeliegende Kalibrierung (Abbildung 1) ist nicht zutreffend.

Um repräsentative Werte zu erhalten, werden mindestens 5 Stichproben des selben Gummimehls untersucht. Dabei werden pro Stichprobe 20 mg bis 40 mg Gummimehl eingewogen. Das Temperaturprogramm ist der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Stufe	Verlauf	Zieltemperatur	Aufheizrate	Haltezeit	Atmosphäre	Gasfluss
1	dynamisch	300 °C	10 K/min		N ₂	75 ml/min
2	isotherm	300 °C	-	15 min	N ₂	75 ml/min
3	dynamisch	550 °C	10 K/min		N ₂	75 ml/min
4	dynamisch	800 °C *	10 K/min		Luft oder O ₂	25 ml/min

Tabelle E1: Temperaturprogramm

* Mit Stufe 4 wird die Prüfung informativ und zur Gerätereinigung in Gegenwart von synthetischer Luft oder Sauerstoff abgeschlossen.

Sowohl die Bestimmung des Gesamtkautschukanteils A_{GK} als auch die der Kautschukzusammensetzung (Naturkautschuk und synthetischer Kautschuk) erfolgt im Bereich der Polymerzersetzung von 300 °C bis 550 °C (Stufe 3). Der Gesamtkautschukanteil A_{GK} entspricht dem Masseverlust aus der Thermogravimetrie-Kurve (TG-Kurve) und wird in M.-% (absolut) angegeben, bezogen auf die untersuchten Proben.

Bei der Zersetzung treten verschiedene Prozesse mit Peak-Minima in der 1. Ableitung der TG-Kurve (DTG-Kurve) auf. Das Peak-Minimum bei 380 °C kann hierbei dem Naturkautschuk und das bei 450 °C dem synthetischen Kautschuk (Butadien-Kautschuk) zugeordnet werden. Setzt man diese beiden Minima ins Verhältnis, kann man über eine Kalibrierkurve die Ermittlung des Naturkautschukgehalts vornehmen. Die Kalibrierkurve nach Abbildung 1 ist für die beschriebene Versuchsdurchführung (Temperaturprogramm und Einwaage) allgemeingültig.

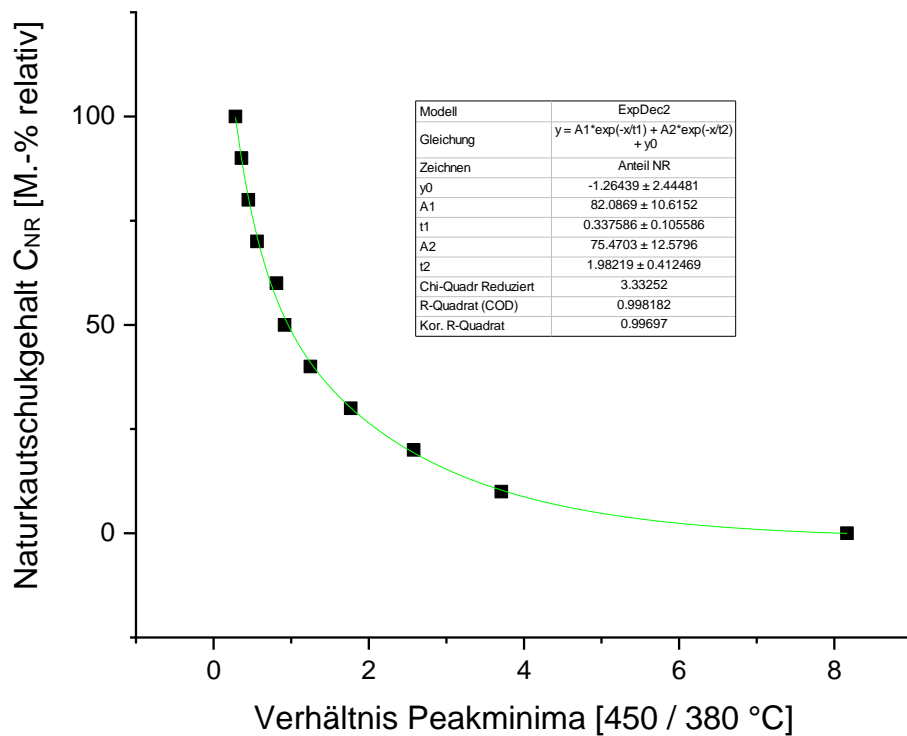


Abbildung E1: Kalibrierkurve für die Bestimmung des Naturkautschukgehaltes C_{NR} (Gehalt NR) in den Gummimehlen

Für die Berechnung wird aus der TG-Kurve der Stufe 3 die 1. Ableitung (DTG-Kurve) gebildet. Aus den Werten der DTG-Kurve bei 450 °C und 380 °C wird das Verhältnis $x = \text{Minimum}_{450\text{ °C}} / \text{Minimum}_{380\text{ °C}}$ errechnet. Dieser Wert wird dann in Gleichung (1) eingesetzt, um den Gehalt an Naturkautschuk C_{NR} in M.-% (relativ) zu berechnen, bezogen auf A_{GK} .

$$C_{NR} = 82,067 * EXP\left(-\frac{x}{0,3376}\right) + 75,74 * EXP\left(-\frac{x}{1,9822}\right) - 1,2644 \quad (1)$$

$$A_{NR} = C_{NR} * A_{GK} \quad (2)$$

Mit Gleichung (1) wird der Naturkautschukgehalt C_{NR} bezogen auf den Gesamtkautschukanteil A_{GK} in M.-% (relativ) bestimmt. Daraus wird nach Gleichung (2) der Naturkautschukanteil A_{NR} in M.-% (absolut) berechnet, bezogen auf die untersuchten Proben.

Im Prüfbericht sind anzugeben:

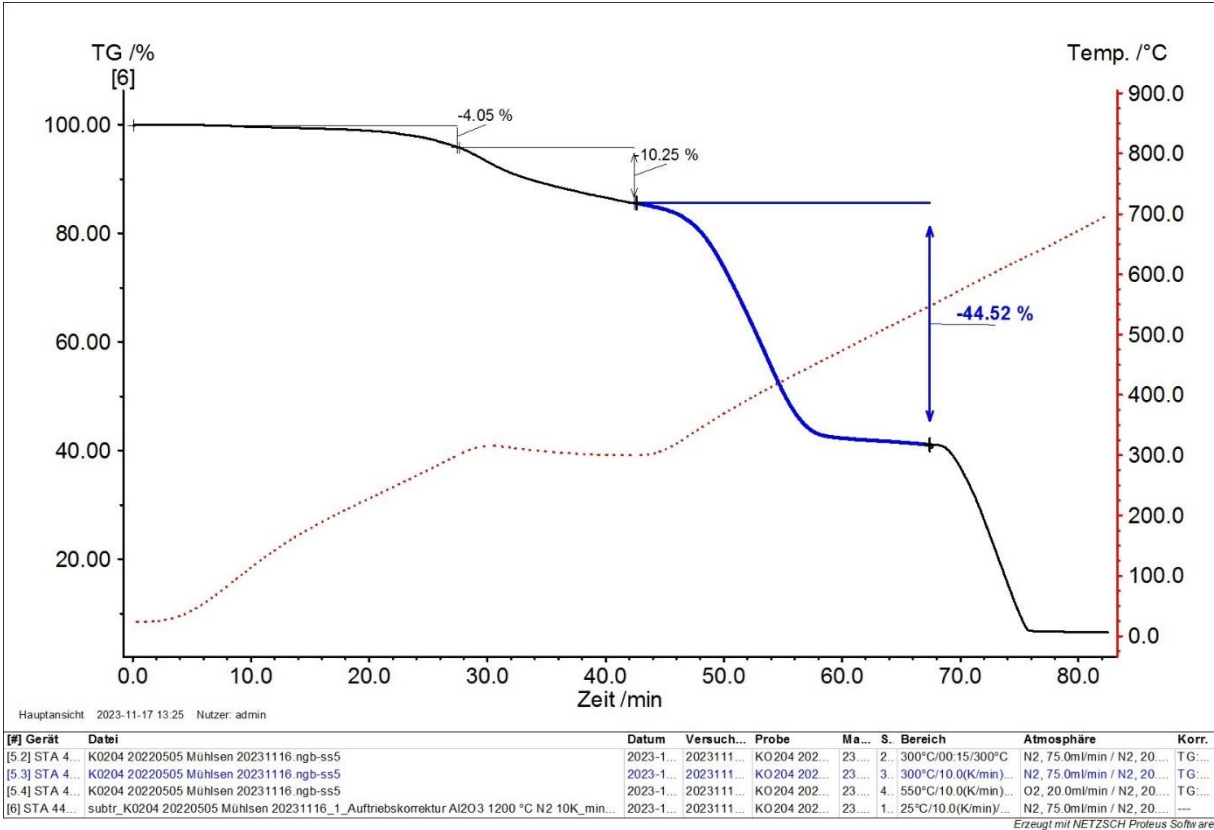
- Bezug auf ISO 9924-1 und die SN TR GmA,
- Verwendetes Gerät (Hersteller und Typ),
- Datum der letzten Kalibrierung bzw. Prüfmittelüberwachung,
- Angaben zum untersuchten Gummimehl,
- Stichprobenanzahl,
- Einwaage jeder Einzelprobe,
- Thermogramme der Einzelproben,
- Angabe der verwendeten Kalibrierkurve und –gleichung,
- Gesamtkautschukanteil A_{GK} , Naturkautschukgehalt C_{NR} und Naturkautschukanteil A_{NR} jeder Einzelprobe,
- Mittelwerte für Gesamtkautschukanteil A_{GK} , Naturkautschukgehalt C_{NR} und Naturkautschukanteil A_{NR} .

Ermittlung der Kalibrierkurve

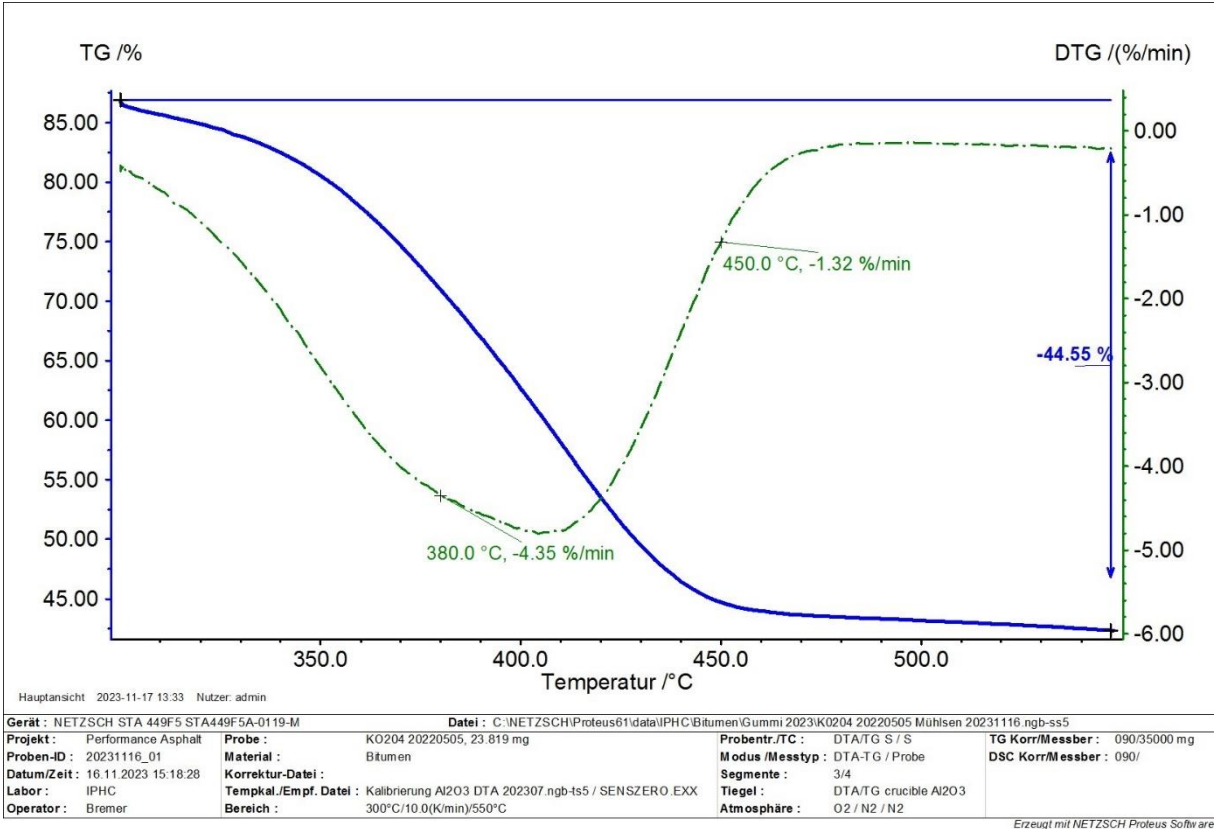
Für die Thermogravimetrische Analyse von Gummimehl nach den SN TR GmA ist i. d. R. die Kalibrierkurve nach Abbildung 1 zu verwenden. Sollte eine eigene Kalibrierkurve erforderlich werden, werden dafür die beiden Komponenten Naturkautschuk und synthetischer Butadien-Kautschuk in verschiedenen Verhältnissen gemischt und entsprechend dem oben genannten Temperaturprogramm analysiert. Analog zu Abbildung 1 wird die Kalibrierkurve dargestellt und die zugehörige exponentielle Gleichung bestimmt. Entscheidend sind die Peak-Minima bei 380 °C für Naturkautschuk und bei 450 °C für synthetischen Kautschuk (Butadien-Kautschuk).

Wenn eine von Abbildung 1 abweichende Kalibrierkurve zugrunde gelegt wird, ist darauf im Prüfbericht besonders hinzuweisen und die Herkunft der Komponenten anzugeben.

Thermogramm und DTG-Kurve (Beispiel)



Der Gesamtkautschukanteil A_{GK} ergibt sich bei dieser Probe zu 44,52 %.



Der Naturkautschukgehalt C_{NR} ist 97,13 % bezogen auf den Gesamtkautschukanteil A_{GK} . Bezogen auf die Probe ergibt sich ein Naturkautschukanteil A_{NR} von 43,24 %.

Anhang F – Regelwerke

FGSV ¹⁾	RStO	Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (FGSV 499)
	RuVA-StB	Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau (FGSV 795)
	TL Gestein-StB	Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (FGSV 613)
	TL Asphalt-StB	Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen (FGSV 797)
	ZTV Asphalt-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (FGSV 799)
	TP Asphalt-StB Teil 1	Technische Prüfvorschriften für Asphalt Teil 1: Bindemittelgehalt (FGSV 756/1)
	TP Asphalt-StB Teil 24	Technische Prüfvorschriften für Asphalt Teil 24: Spaltzug-Schwellversuch – Beständigkeit gegen Ermüdung (FGSV 756/24)
	TP Asphalt-StB Teil 26	Technische Prüfvorschriften für Asphalt Teil 26: Spaltzug-Schwellversuch – Bestimmung der Steifigkeit (FGSV 756/26)
	TL AG-StB	Technische Lieferbedingungen für Asphaltgranulat (FGSV 749)
	TL Bitumen-StB	Technischen Lieferbedingungen für Straßenbaubitumen und gebrauchsfertige Polymermodifizierte Bitumen (FGSV 794)
	TL VBit-StB	Technischen Lieferbedingungen für gebrauchsfertige Viskositätsveränderte Bitumen (FGSV 727)
	AL DSR-Prüfung (T-Sweep)	Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Verformungsverhaltens von Bitumen und bitumenhaltigen Bindemitteln im Dynamischen Scherrheometer (DSR) – Durchführung im Temperatursweep (FGSV 722)
	AL DSR-Prüfung (MSCRT)	Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Verformungsverhaltens von Bitumen und bitumenhaltigen Bindemitteln im Dynamischen Scherrheometer (DSR) – Teil 2: Durchführung der MSCR-Prüfung (Multiple Stress Creep and Recovery Test) (FGSV 723)
	AL DSR-Prüfung (BTSV)	Arbeitsanleitung zur Bestimmung des Verformungsverhaltens von Bitumen und bitumenhaltigen Bindemitteln im Dynamischen Scherrheometer (DSR) – Teil 4: Durchführung des Bitumen-Typisierungs-Schnell-Verfahrens (FGSV 720)
	E LA D	Empfehlungen für die Planung und Ausführung von lärmtechnisch optimierten Asphaltdeckschichten aus AC D LOA und SMA LA (FGSV 739)

	H AL Abi	Hinweise für die Planung und Ausführung von Alternativen Asphaltbinderschichten (FGSV 737)
DIN ²⁾	DIN EN 1426	Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Nadelpenetration
	DIN EN 1427	Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung des Erweichungspunktes - Ring- und Kugel-Verfahren
	DIN EN 13398	Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der elastischen Rückstellung von modifiziertem Bitumen
	DIN EN 14770	Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung des komplexen Schermoduls und des Phasenwinkels - Dynamisches Scherrheometer (DSR)
VOB ²⁾	VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen (VOB/B) Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (VOB/C)
LIST GmbH ³⁾	GmAI-Bericht Stand 04/2018	Entwicklung von gummimodifizierten Bindemitteln und deren Einsatz in Asphaltstraßenbefestigungen im Freistaat Sachsen (Stand 04/2018)
	GmAI-Bericht Stand 08/2022	Einfluss der Gummimodifizierung auf das Alterungsverhalten und die Wiederverwendung von Asphaltgemischen im Freistaat Sachsen (Stand 08/2022)
ISO ²⁾	ISO 9924-1:2023-03	Rubber and rubber products: Determination of the composition of vulcanizates and uncured compounds by thermogravimetry, Part 1: Butadiene, ethylene-propylene copolymer and terpolymer, isobutene-isoprene, isoprene and styrene-butadiene rubbers
VSVI BW ⁴⁾	VSVI aktuell 09-2023	Dr. Thomas Chakar, Vera Schmidt und Thomas Weick (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg): Recycling von Gummimodifiziertem Asphalt (GmBA). In: VSVI aktuell, Ausgabe 09-2023, Seite 17 – 19, Vereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieure in Baden-Württemberg e. V., Fellbach 2023.

Bezugsquellen

- 1) **FGSV Verlag GmbH**
Anschrift: Wesselingener Straße 17, 50999 Köln
Tel: 0 22 36/38 46 30, Fax: 0 22 36/38 46 40
E-Mail: info@fgsv-verlag.de, Internet: www.fgsv-verlag.de
- 2) **Beuth Verlag GmbH**
Anschrift: Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin
Tel: 980/26 01-22 60, Fax: 980/26 01-12 60
E-Mail: info@beuth.de, Internet: www.beuth.de
- 3) **LIST Gesellschaft für Verkehrswesen und ingenieurtechnische Dienstleistungen mbH**
Anschrift: Ernst-Thälmann-Straße 5, 09661 Hainichen
Tel.: 037207/832-0
E-Mail: poststelle@list.smwa.sachsen.de, Internet: www.list.sachsen.de
- 4) **Vereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieure in Baden-Württemberg e. V. (VSVI BW)**
Erich-Herion-Straße 1, 70736 Fellbach
Tel.: 0711/62 54 04
E-Mail: info@vsvi-bw.de, Internet: www.vsvi-bw.de