



DIPLOMARBEIT Master Thesis

Gebrauchsverhalten von temperaturabgesenkten Gussasphalten

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
einer Diplom-Ingenieure

unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab
und
Univ. Ass. Dipl. -Ing. Dr. techn. Bernhard Hofko

E 230/3
Institut für Verkehrswissenschaften-
Forschungsbereich Straßenwesen

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Radostin Manolov Rankov

1229344

Bulgarien, Burgas 8001, Lazur, bl. 40, vh. „B“

Wien, im März 2015

Unterschrift.....

[Radostin Rankov]

Kurzfassung

Gussasphalt charakterisiert sich mit seiner leichten Verarbeitbarkeit und hohen Beständigkeit im Tieftemperaturbereich. Dieser Baustoff wird bei Temperaturen von mehr als 230°C hergestellt und eingebaut. Dadurch werden eine höhere Umweltbelastung wegen des hohen Energiebedarfs in der Asphaltmischanlage und eine Belastung der Beschäftigten durch gefährliche Dämpfe und Aerosole beim Einbau erzeugt. Eine wichtige Aufgabe für die Asphaltindustrie ist diese negative Auswirkung von Gussasphalt zu beschränken.

Heutzutage bemüht man sich das Temperaturabsenkungspotential von verschiedenen Gussasphaltmischgütern zu untersuchen und eine Temperaturabsenkung von 30°C oder mehr zu erzielen. Durch diese Temperaturabsenkung kann eine deutliche Verringerung der schädlichen Emissionen erreicht werden. Ziel ist Energie- und THG-Einsparungen von zumindest 20%. Dabei ist aber anzumerken, dass die Art der Modifikationsmitteln und die Additivmenge die Gebrauchseigenschaften vom Gussasphalt beeinflussen. Der Schwerpunkt dieser Arbeit ist das Gebrauchsverhalten von mit Amidwachs und Rundkorn modifizierten Gussasphaltmischgütern zu evaluieren.

Im Laufe dieser Arbeit werden Gussasphaltmischgüter (MA11) mit verschiedenen Mengen Wachsmodifikationsmittel (Amidwachs), Kantkorn und Rundkorn entwickelt und in einem Asphaltmischer hergestellt. Diese Asphaltrezepturen basieren auf einer Studie der am Markt vorhandenen temperaturabsenkenden Methoden und auf schon durchgeführten Prüfungen an modifizierten Bindemitteln. Das Gebrauchsverhalten dieser Gussasphaltmischgüter wird durch ein breites Feld von gebrauchsverhaltensorientierten Prüfungen untersucht. Zum Zweck dieser Arbeit werden die Asphaltuntersuchungen in Prüfkriterien unterteilt, die sich mit Verarbeitbarkeit, Tieftemperaturverhalten und Verformungsverhalten befassen.

Die Prüfergebnisse zeigen, dass durch Modifikationen eine gute Verarbeitbarkeit von Gussasphalt noch bei bis zu 50°C niedrigeren Temperaturen möglich ist. Das beeinflusst die Tieftemperaturbeständigkeit nicht bei dennoch hoher Beständigkeit gegen bleibende Verformung im Hochtemperaturbereich.

Abstract

Mastic asphalt is characterized by its ease of processability and high resistance at low temperatures. This material is mixed and laid at temperatures of more than 230 ° C. This is resulting in a higher impact on the environment due to the high energy demand in the asphalt mixing plant and an exposure of employees to hazardous fumes and aerosols generated during production. Therefore an important task for the asphalt industry is to reduce these negative impact of mastic asphalt.

Today, efforts are made to investigate the temperature reduction potential of various mastic asphalt mixes and to achieve a temperature reduction of 30 ° C or more. With this temperature reduction a significant decrease of the harmful emissions can be achieved. The goal is energy and GHG savings of at least 20%. It should be noted, however, that modifiers, their nature and amount, can affect the performance features of mastic asphalt. The focus of this work is to evaluate the performance of modified mastic asphalt mixes with amide wax additive and rounded aggregates.

In the course of this work mastic asphalt mixes (MA11) with different amounts of wax modifier (amide wax), crushed and rounded aggregates are designed and manufactured in an asphalt mixer. Those mixture recipes are based on a study of the temperature reducing methods that are available on the market and on tests on modified binders that were carried out prior to this paper. The performance behavior of these mastic asphalt mixes is examined by a broad range of performance based tests. For the purposes of this work, these tests are divided into performance criteria that deal with the workability, low-temperature behavior and deformation behavior.

The test results show that through modifications a good workability of mastic asphalt at reduced temperatures (-50 °C) is still achievable. That does not affect the low-temperature resistance with still high rutting resistance in the high temperature range.

Vorwort

Die Erstellung einer Diplomarbeit ist ein Prozess, der mit der Hilfe von vielen Menschen, bei denen ich mich bedanken will, verbunden ist.

Zuerst will ich Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ronald Blab danken, dass er mir die Grundkenntnisse im Straßenwesen gegeben und mit seinem umfangreichen Wissen in dem Bereich geholfen hat.

Mein Interesse an den labortechnischen Asphaltprüfungen datierte seitdem ich das Straßenbautechnisches Laborpraktikum an der Technischen Universität Wien besucht habe. Für meine Diplomarbeit war mir ganz wichtig, dass ich im Labor arbeitete, weil das sehr bedeutend für meine weitere Entwicklung als Ingenieur ist. Deshalb will ich ganz herzlich Univ. Ass. Dipl. Ing. Dr. techn. Bernhard Hofko für seine Erlaubnis, dass ich Labor für die Bearbeitung meines Themas benutzen konnte und, dass er mir die nötigen Materialien und Ressourcen überlassen hat, danken.

An dieser Stelle möchte ich mich bei Proj. Ass. Dipl. Ing. Mariyan Dimitrov für seine Anmerkungen über meine Diplomarbeit bedanken und, dass er mir mit den gebrauchsvorhaltensorientierten Prüfungen, mit der Arbeit mit den Geräten und mit der Auswertung geholfen hat.

Schließlich will ich dem ganzen Team vom Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen für die ausgezeichnete Zusammenarbeit danken.

Wien, im März 2015

Radostin Rankov

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
1.1	Problemstellung	8
1.2	Ziel der Arbeit	10
2	Asphalt - Grundlagen	12
2.1	Gussasphalt	12
2.1.1	Technische Eigenschaften	12
2.1.2	Anwendungsbereiche	13
2.2	Temperaturabgesenkter Asphalt	14
2.2.1	Geschichtliche Entwicklung	15
2.2.2	Vorteile bei dem temperaturabgesenkten Einbau von Asphalt	18
2.3	Methoden für Temperaturabsenkung	21
2.3.1	Organische Additive (Wachse)	22
2.3.2	Mineralische Additive	24
2.3.3	Verfahrenstechnische Methoden	25
3	Prüfmethoden zur Ausprobe des Gebrauchsverhaltens von temperaturabgesenkten Gussasphalten	27
3.1	Übersicht	27
3.2	Prüfmethoden	28
3.2.1	DMM (Drehmomentmessung)	28
3.2.2	UTST (Direkter Zugversuch) laut EN 12697-46:2012	29
3.2.3	TSRST (Abkühlprüfung) laut EN 12697-46:2012	33
3.2.4	UCCT (Einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung) laut EN 12697-25:2005	33
4	Materialienübersicht und Untersuchungsprogramm	38
4.1	Materialienübersicht	38
4.1.1	Bitumen	38
4.1.2	Gesteinkörnung	38
4.1.3	Verwendete Additive	39
4.2	Prüfprogramm	40
5	Gebrauchsverhalten von temperaturabgesenkten Gussasphalten	42
5.1	Verarbeitbarkeit	42
5.1.1	Drehmomentmessung	42

5.2	Tieftemperaturverhalten.....	43
5.2.1	TSRST (Abkühlprüfung).....	43
5.2.2	UTST (Direkter Zugversuch).....	46
5.3	Verformungsverhalten	47
5.3.1	UCCT (Einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung).....	47
6	Schlussfolgerung und Zusammenfassung.....	49
I.	Abbildungsverzeichnis	53
II.	Tabellenverzeichnis	54
III.	Anhang A.....	55
IV.	Anhang B	66
V.	Anhang C	70
VI.	Anhang D (Spannungsreserve).....	75

Häufig verwendete Abkürzungen

- <E>EMA - High Efficiency Low Emission Mastic Asphalt
- NTA - Niedrigtemperaturasphalt
- UCCT - Einaxiale Druckschwellprüfung
- UTST - Direkter Zugversuch
- TSRST - Abkühlprüfung
- MTA - Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt
- DMM – Drehmomentmessung
- PmB – Polymermodifiziertes Bitumen
- NPD – No Performance Determined
- STABW – Standartabweichung
- WAM – Warm Asphalt Mix
- TRA - Transport Research Arena Europe
- ISAP - International Symposium of Asphalt Pavements and Environment
- NAPA – National Asphalt Paving Association
- FHWA - Federal Highway Administration
- AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials
- AW – Amidwachs
- RK – Rundkorn
- KK - Kantkorn

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Heutzutage nimmt der Klima- und Umweltschutz einen wesentlichen Teil bei der Produktion vieler Produkte ein. Es handelt sich um die Emissionsregelung und die Verringerung der Treibhausgase. Die anthropogenen Einflüsse in die Herkunft dieser Treibhausgasen haben den größten Beitrag für die globale Erwärmung. Zu den langlebigen anthropogenen Treibhausgasen werden das Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffmonoxid (N_2O) und Fluorchlorkohlenwasserstoffe gezählt [1].

Ein Teil vom Boden abgegebenen Infrarotstrahlung wird von den Treibhausgasen absorbiert und auf dieser Weise wird die habitatische Temperatur auf der Erde beschaffen. Dieses Gleichgewicht wird durch den menschlichen Ausstoß von Kohlenstoffdioxid gestört. Dadurch verstärkt man den Einfluss des Treibhauseffektes auf der Erde. Das bewirkt die globale Erwärmung, was die Hauptursache für die ansteigende Zahl an Naturkatastrophen ist [1].

Seit dem Jahr 2000 wurde die Konzentration der wichtigsten Treibhausgasen drastisch gestiegen (siehe Abbildung 1). Das führt zu sehr bedeutenden Klima- und Lebensweiseveränderungen und nachfolgend zu Klimakatastrophen.

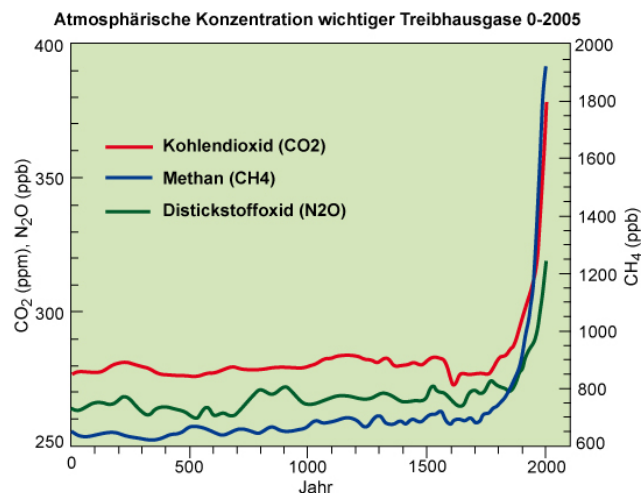


Abbildung 1: Graph für die Konzentration von Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (N_2O) seit dem Jahr Null [2]

Die Wissenschaftler arbeiten schon seit dem Jahr 1997 an der Begrenzung des Ausstoßes von Treibhausgasen. Das beschlossene Kyoto-Protokoll wurde am 16. Februar 2005 in Kraft gesetzt und laut dieser Klimarahmenkonvention werden Zielwerte für die Treibhausgasemissionen festgelegt. Seitdem geht der Treibgasausstoß in der europäischen Union zurück. Auch in Österreich sind die Treibhausgasemissionen gesunken (siehe Abbildung 2) [3].

Laut Umweltbundesamt betrug der Treibhausausstoß Österreichs im Jahr 2011 82,8 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente, was mit 14,1 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente höher als der jährliche Durchschnittswert des festgelegten Kyoto-Ziels und um 6% über dem Niveau von 1990 war. Wie in Abbildung 2 dargestellt ist, sind die Treibhausgasen seit 2005 mit Ausnahme des Jahres 2010 gesunken [4].

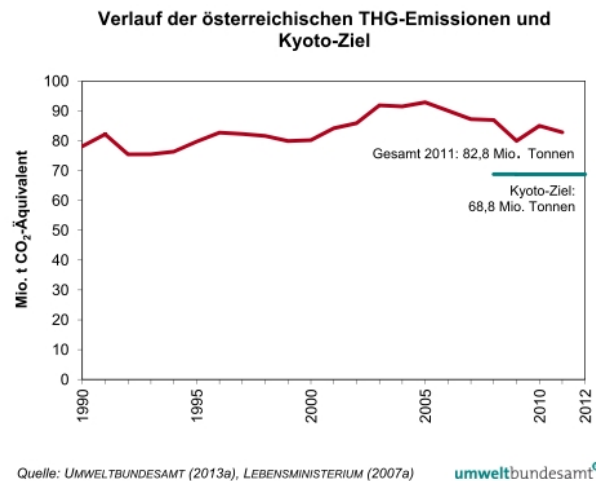


Abbildung 2: Verlauf der THG-Emissionen Österreichs im Vergleich zum Kyoto-Ziels [4]

Die größten Verursacher von Treibhausgasemissionen sind die produzierenden Gewerbe und der Verkehr. Nach den Daten des Umweltbundesamts ist ihr Anteil an den gesamten THG-Emissionen entsprechend 30% und 26%. Deshalb entsteht auch Bedarf an Entwicklung von neuen Methoden bei der Produktion von Asphalt, damit die Misch- und Einbautemperatur reduziert werden kann. Dadurch werden auch die davon verursachten Emissionen verringert.

Zurzeit gibt es am Markt eine Vielzahl von temperatursenkenden Modifikationsmitteln, die nicht nur den Energiebedarf und die CO₂-Emissionen reduzieren, sondern auch das Gebrauchsverhalten von Asphalt verändern. Das wird in dieser Arbeit später anhand detaillierter gebrauchungsverhaltenorientierten Prüfungen bewiesen und erklärt. Und was nämlich der Gegenstand dieser Arbeit ist, ist die Untersuchung des Tief- und Hochtemperaturverhaltens von temperaturgesenkten Gussasphalten. Ein wesentlicher Teil ist auch die Ergebnisse zwischen dem nicht modifiziertem Mischgut (Referenz) und den modifizierten Mischgütern zu evaluieren und zu vergleichen.

Bei dem heutigen Stand der Technik ist es nicht möglich Gussasphalt bei Temperaturen von unter 200°C zu verarbeiten. Das Bitumen muss auf Temperaturen zwischen 230-250°C aufgeheizt werden, was eigentlich eine schädliche Belastung erzeugt. Die Asphaltindustrie bemüht sich um die Entwicklung von neuen temperatursenkenden Methoden, welche die schädlichen Stoffe verringern können.

Eine der bekanntesten Methoden zur Temperaturabsenkung ist die Modifikation durch Wachsen. Die Wachsmodifikation kann durch erhöhte Verformungsstabilität und verbesserte Verarbeitbarkeit des Gussasphalts charakterisiert werden. Der Vorteil ist, dass das neue Gussasphaltprodukt bei hochbelasteten Straßen verwendet werden kann.

1.2 Ziel der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist ein Teil des Projektes für Entwicklung eines temperaturabgesenkten Gussasphalts mit dem Titel „High Efficiency Low Emission Mastic Asphalt“ (HELEMA). Wegen der Entwicklung neuer Methoden für Absenkung der Mischungs- und Einbautemperatur von Gussasphalt, entsteht den Bedarf an Untersuchung seines Gebrauchsverhaltens.

Ziel dieser Arbeit ist durch umfassende Laborprüfungen das Gebrauchsverhalten dieses Baustoffs bei maximaler Temperaturabsenkung und hoher Qualität zu optimieren. Diese Ergebnisse sollen evaluiert und bewertet werden. Das hat eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen zur Folge wegen der Beschränkung von gefährlichen Dämpfen und Aerosolen. Kosten, Energie und Emissionen lassen sich auch dadurch einsparen.

Zuerst konzentriert sich diese Arbeit auf die Erklärung des Begriffs „Gussasphalt“. Die schon bekannten Vorteile des Gussasphalts, wie leichte Verarbeitbarkeit und größerer Widerstand im Tieftemperaturbereich, werden kritisch beleuchtet.

Die ausgewählten Produkten/Methoden, auf die diese Arbeit sich konzentriert, basieren auf einer schon in der ersten Phase des Projektes realisierten Analyse der am Markt vorhandenen Modifikationsmittel und ihr Temperaturabsenkungspotential auf Bitumenebene und Asphalteebene. Anhand der Prüfungen am Mischgut und am Bitumen, werden die mineralischen und organischen Additive ausgewählt, die die besten temperaturabsenkenden Eigenschaften aufweisen. Infolge dieser Studie sind 2 Produkte/Methode ausgewählt – die Verwendung von verschiedenen Mengen Amidwachs (2,5M% und 4M%, bezogen auf dem Bitumenmenge) und der Einsatz von Rundkorn anstatt Kantkorn.

Die Untersuchung der Gebrauchseigenschaften verlangt eine umfangreiche Zusammenfassung und Erklärung der theoretischen Merkmale der gebrauchsverhaltenorientierten Prüfungen. Diese unterteilen sich in Prüfungen am Tieftemperaturverhalten und am Hochtemperaturverhalten.

Um die Wirkungen von Additiven auf den Gussasphalten zu bestimmen, werden bei den verschiedenen Prüfverfahren, die den Gebrauchseigenschaften ansprechen, ein Referenzgussasphalt und modifizierte Gussasphalte, die bei abgesenkter Temperatur hergestellt werden, miteinander verglichen. Die Prüfungen, die in dieser Arbeit durchgeführt werden, sind Abkühlprüfung (TSRST)[EN 12697-46:2012], direkter Zugversuch (UTST)

[EN 12697-46:2012] – für die Bestimmung des Tieftemperaturverhalten, die einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung (UCCT)[EN 12697-25:2005] – für die Bestimmung des Hochtemperaturverhaltens und Drehmomentmessung – für die Bestimmung der Verarbeitbarkeit.

Grundsätzlich soll das Verwendungspotential von temperaturabgesenkten Gussasphalten im Rahmen dieser Arbeit bewertet werden. Damit kann man den industriellen Nutzen erleichtern und zukünftige Probleme bei der Anwendung dieses Baustoffs lösen.

2 Asphalt - Grundlagen

In diesem Kapitel werden die grundsätzlichen Begriffe, die von einer großen Bedeutung für diese Arbeit sind, erläutert. Es werden sowohl die technischen Eigenschaften von Gussasphalt und Niedrigtemperaturasphalt als auch die Methoden für Temperaturabsenkung dargelegt.

2.1 Gussasphalt

Gussasphalt ist ein Baustoff, der zu der Gruppe der Asphalte gehört. Er besteht aus feinen und groben Gesteinskörnungen, die praktisch gänzlich mit Bitumen umhüllt sind. Gussasphalt charakterisiert sich mit seiner leichten Verarbeitbarkeit und nicht notwendiger Verdichtung. Man kann diesen Baustoff bei Straßenbeläge, Bodenbeläge und Abdichtungen verwenden [5].

2.1.1 Technische Eigenschaften

Die technischen Besonderheiten bei dem Gussasphalt bestehen darin, dass er einen großen Anteil vom Bindemittel und Gesteinskörnungen kleiner als 0,063mm (s.g. Füller) besitzt. Allerdings besteht das Gussasphaltemischgut aus feinen und groben Gesteinskörnern, die praktisch im Bitumen „schwimmen“, wie in Abbildung 3 dargestellt wird. Die Korngrößenverteilung und der hohe Bindemittelgehalt erlauben eine vollständige Ausfüllung der Hohlräume mit Bitumen, was zu einem Bitumenüberschuss führt. Das erlaubt eine leichtere Verarbeitbarkeit des Gussasphalts, bei der keine Verdichtung notwendig ist, im Gegensatz zu den anderen Asphaltarten [1].



Abbildung 3: Querschnitt einer Gussasphaltdeckschicht

Die Lastabtragung bei dem Gussasphalt erfolgt über die Mastix, deshalb ist keine Verzahnung der Gesteinskörner nötig. Der steifere Mastix verlangt ein härteres Bitumen und mehr Füller. Das härtere Bitumen soll bei höheren Temperaturen verarbeitet werden damit man die notwendige Viskosität erreicht. Diese hohen Misch- und Einbautemperaturen bemüht sich man abzusenken. Die temperaturabsenkenden Methoden werden später in der vorliegenden Arbeit erläutert [1].

Die Anforderungen am Gussasphalt sind in der ÖNORM B 3585 geregelt. Dort unterscheidet man verschiedene Regelungen für die Gesteinskörnung, Korngrößenverteilung, Art und Menge des Bindemittels und Eigenschaften des Mischgutes [6]. Je nach Anforderungen unterscheidet man verschiedene Typen von Gussasphalt. Welche Mischgutzusammensetzung verwendet wird, hängt von der Verkehrsbelastung und der Oberflächenstruktur ab.

2.1.2 Anwendungsbereiche

Ein wesentlicher Anwendungsbereich des Gussasphalts stellt die Verwendung im Straßenbau dar. Er wird sowohl beim Bau hochbeanspruchter Straßen, als auch wegen seiner leichteren Verarbeitbarkeit auch beim Brückenbau angewendet. Da der Gussasphalt glatte Oberfläche besitzt, wird er mit Brechkorn abgestreut. Dadurch wird die notwendige Griffigkeit erreicht und man bekommt eine hochwertige Deckschicht. Man kann den Gussasphalt auch im Parkdecks, Hofkellerdecken oder Tiefgaragen benutzen [5].

- **Straßenbelag**

Manchmal beim Straßenbau ist die Verdichtung sehr schwierig und mangelhaft, was die Hauptursache für das kurze Lebensdauer von Straßen ist. Deswegen wird die Verwendung vom Gussasphalt sehr oft angeboten. Gemäß der straßenbaulichen Normen kommen die Mineralstoffgemische 0/11, 0/8 und 0/5 zum Einsatz. Aus lärmtechnischen Gründen kann man 0/5 verwenden. Der Bindemittelgehalt beträgt 6,5 – 8,5 M% (bei anderen Asphaltarten: 5,5 - 7,7 M.%) [6]. In dieser Arbeit sind auch Additive erläutert, die die Herstellungstemperatur vom Gussasphalt mit bis zu 30°C absenken können.

- **Bodenbelag**

Gussasphalt kann auch als bitumengebundener Estrich aus Splitt, Bitumen, Sand und Gesteinsmehl für Bodenbeläge verwendet werden. Der Gussasphaltestrich ist sowohl als Unterschicht für Fußbodenbeläge als auch als Oberboden geeignet. Er ist praktisch wasserdicht, fugen- und hohlraumfrei [5].

Wegen der niedrigen Körperschall-Leitfähigkeit des Gussasphaltestrichs und seiner größeren inneren Dämpfung, weist er gute Verminderungseigenschaften für die Trittschallübertragung zu anderen Bauteilen. Der Gussasphaltestrich kann auch Spannungen aus Temperaturschwankungen und Bauwerksbewegungen übernehmen und sein Brandwiderstand macht ihn schwer entflammbar [5].

Weitere Vorteile des Gussasphaltestrichs sind seine Recyclingfähigkeit und Beständigkeit gegen Säuren und Laugen. Dieser Baustoff erreicht auch seine Endfestigkeit relativ schnell und deswegen ist die Einbauzeit sehr kurz. Danach kann der Estrich bearbeitet werden. Deswegen wird dieser Baustoff oft in Büros, öffentlichen Bauwerken und gewerblichen Objekten eingesetzt [5].

Etwas, was wie ein Nachteil bei der Benutzung vom Gussasphaltestrich bezeichnet werden kann, ist die Gefahr von Verformungen wegen der Einwirkung von Einzellasten [5].

- Brücken- und Tunnelbau

Wegen des hohen Anteils an Bitumen bei Gussasphalt, besitzt er eine gute Verstreichbarkeit. Da keine Walzen nötig sind, ist der Gussasphalt entweder beim Brücken- und Tunnelbau oder als Bestandteil von Abdichtungen geeignet [5].

2.2 Temperaturabgesenkter Asphalt

Bei dem temperaturabgesenkten Asphalt muss man zwischen Walz- und Gussasphalt unterscheiden. Sie werden auf verschiedener Weise und bei verschiedenen Temperaturen eingebaut. Seit 2008 erfolgt das Einbau von Gussasphalt in Deutschland auch temperaturabgesenkt mit viskositätsverändernden Zusätzen.

Bei der Heißverarbeitung von Bitumen entstehen Dämpfe und Aerosole, die schädlich nicht nur für die Umwelt, sondern auch für den menschlichen Körper sind. Die Höhe der Emissionen ist von der Verarbeitungstemperatur abhängig. Diese Temperatur beträgt beim Walzasphalt max. 180°C und beim Einbau von Gussasphalt wegen des härteren Bitumens bis zu 250°C. In Tabelle 1 kann man die gemessenen Emissionen beim Einbau von Walz- und Gussasphalt sehen. Bei dem händischen Einbau vom Gussasphalt liegen noch zu wenige Messungen vor, um man eine sichere Aussage treffen zu können, aber von Tabelle 1 wird es deutlich, dass die Werte für den Ausstoß bei dem maschinellen temperaturabgesenkten Einbau vom Gussasphalt unter diesem beim Walzasphalt liegen [7].

Tabelle 1: Ausstoß gegenüber Dämpfen und Aerosolen bei der Heißverarbeitung vom Bitumen [7]

Arbeitsverfahren	Anzahl	95 % - Wert
Walzasphalt		
Fertigfahrer	225	8,9 mg/m ³
Bohlenführer	161	12,4 mg/m ³
Walzenfahrer	56	2,5 mg/m ³
Fertigfahrer im Tunnel	34	18,6 mg/m ³
Bohlenführer im Tunnel	72	18,5 mg/m ³
Walzenfahrer im Tunnel	18	8,8 mg/m ³
Gussasphalt, temperaturabgesenkter maschineller Einbau		
Zapfer	43	7,7 mg/m ³
Bohlenführer	57	9,0 mg/m ³
Nacharbeiten	43	2,9 mg/m ³

Die Asphaltindustrie bemüht sich eine Energieeinsparung bei der Produktion und beim Einbau zu erreichen. Durch die Festlegung von Grenzwerten für Dämpfe und Aerosole kann man ihren Einfluss reduzieren. Somit werden die Arbeitsbedingungen für die Arbeitnehmer beim Einbau vom Walz- und Gussasphalt deutlich verbessert. Die Grenzwerte, die auf Vorschlag des Gesprächskreises BITUMEN festgelegt wurden, sind technisch begründet, d.h.

sind an dem Stand der Technik orientiert. Bei der Heißverarbeitung von Bitumen ist der Grenzwert 10 mg/m^3 [7].

In Deutschland ist das Einbau vom Gussasphalt nur noch zulässig in temperaturabgesenkter Bauweise bis 230°C bei den Expositionen, die in Tabelle 1 gegeben werden. Mit der Verwendung von temperaturabsenkenden Modifikationsmitteln für Gussasphalt kann man eine gute Verarbeitbarkeit bei niedrigen Temperaturen, hohen Widerstand gegen bleibende Verformungen und eine frühere Verkehrsfreigabe erzielen.

Es gibt verschiedene Verfahren, mit den die Verarbeitungs- und Einbautemperaturen vom Walz- und Gussasphalt um 20°C bis 40°C reduziert werden können. Beim Walzasphalt kann man eine Temperaturabsenkung durch die s.g. organischen Additive erzielen. Am meisten werden diverse Wachse wie Fischer-Tropsch Wachs, Amidwachs, Montanwachs oder Polyetylenwachs benutzt. Diese Modifikation ist die am meisten verwendete Methode und wird nicht nur beim Walz-, sondern auch beim Gussasphalt verwendet. Mit der Verwendung von organischen Modifikationsmitteln ist der Gussasphalt nur noch bei Temperaturen unter 210°C verarbeitbar. Andere Wege für die Reduzierung von Mischungs- und Einbautemperaturen sind die s.g. Zeolithe. Sie sind die s.g. mineralischen Additive oder auch Asphaltadditive genannt. Diese mineralischen Zusätze werden beim Asphaltmischprozess eingegeben [7].

Niedrigtemperaturasphalt ist ein junger Baustoff und ist noch auf die Bezeichnungsproblematik hinzuweisen. Weder in der neuen ÖNORM B 358X noch in den Bindemittelnormen gibt es für diesen Baustoff mit seinen Eigenschaften eine einheitliche Kennzeichnung oder technische Richtlinie. Trotzdem sind im MTA (Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt) Angaben für die Herstellung und Verarbeitung vom temperaturabgesenkten Guss- und Walzasphalt gegeben. Dieses Merkblatt wurde im Jahr 2006 erstellt [8].

2.2.1 Geschichtliche Entwicklung

Die ersten Versuche um Reduktion von der Einbautemperatur von Asphalt beginnt schon Anfang der 70er Jahre wegen der Erdölkrise. Der Bedarf damals im Gegensatz zu heute ist vor allem wirtschaftlich.

In den letzten Jahren findet eine umfangreiche Diskussion über Umweltschutz statt. Laut des im Jahr 1997 aufgenommenen Kyoto-Protokolls werden die Industrieländer verpflichtet, Zielwerte für die Treibhausgasemissionen zu erreichen, weil eigentlich diese die Hauptursache für die globale Erwärmung sind. Die Asphaltindustrie und die höheren Misch- und Einbautemperaturen von Asphalt haben auch einen großen Beitrag für die Klimaveränderungen, deshalb wurden im Jahr 1996 in Deutschland festlegt man Grenzwerte für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung von Asphalt festgelegt. In

demselben Jahr führte Shell Bitumen und das Bauunternehmen Kolo Veideke Versuche an temperatursenkenden Emulsionen durch [1].

Deutschland ist eines der ersten Länder, das die ersten Schritte nach Benutzung von temperaturabgesenkten Bindemitteln macht und nämlich in 1997 wird den Gesprächskreis BITUMEN gegründet. Sein Ziel ist die Belastung und die Gefährdung durch Dämpfe und Aerosole zu beschränken, sowie entsprechende Schutzmaßnahmen aufzustellen. In demselben Jahr werden die ersten Teststrecken mit FT-Paraffin modifizierten Asphalt in Hamburg gebaut [1].

In Deutschland wird nicht nur den Gesprächskreis BITUMEN, sondern auch durch den deutschen Asphaltverband im Jahr 1998 den Arbeitskreis „Temperaturabsenkung“ (AKTA), gegründet. Nach dem deutschen Muster beginnt in vielen anderen europäischen Ländern wie Österreich, Dänemark, Spanien, Großbritannien und Frankreich eine Diskussion über temperaturabgesenkten Asphalt. Das führt zu einer Vielfalt von Untersuchungen und wissenschaftlichen Veröffentlichungen und man beginnt viel mehr über Niedrigtemperaturasphalt zu sprechen. Im Jahr 1999 werden in Norwegen die ersten Versuchsstrecken mit WAM Foam (Warm Asphalt Mixture) gebaut. Parallel dazu werden die ersten öffentlichen Straßen mit Zeolith in Deutschland hergestellt [1].

Im Mai 2000 werden bei dem Gesprächskreis Grenzwerte für Expositionen und Gefährdungen durch Bitumen bzw. Dämpfe und Aerosole festgelegt. Im September macht man sich mit den ersten Veröffentlichungen über temperaturabgesenkten Asphalt bei dem zweiten Eurasphalt & Eurobitume Congress in Barcelona, Spain bekannt [1].

Im 2002 zeigt USA Interesse an dem neuen Niedrigtemperaturasphalt und sendet eine Delegation nach Deutschland, um sich bei dem Gesprächskreis BUTUMEN mit der Herstellung und Einbau von Asphalt bei abgesenkten Temperaturen kennenzulernen [1].

Der Trend zum temperaturabgesenkten Asphalt wird im Jahr 2003 auch in Österreich eingesetzt und das Straßenbauamt der Tiroler Landesregierung schreibt eine Sanierung einiger Teilstrecken mit der Anwendung von Niedrigtemperaturasphalt aus [1].

2004 findet nach einer 35-jährigen Pause eine Erneuerung der Landebahn Nord von Flughafen Frankfurt mittels Niedrigtemperaturasphalt statt. Die niedrigen Einbautemperaturen erlauben eine Durchführung der Bauarbeiten während der Nacht und damit wird den Betrieb des Flughafens nicht behindert. Noch im selben Jahr baut man neue Versuchsstrecken mit Walzasphalt bei abgesenkten Temperaturen ein. Auch im 2004 findet sich den dritten Eurasphalt & Eurobitume Congress statt, bei dem man sich mit neuen Veröffentlichungen über temperaturabgesenkten Asphalt auseinandergesetzt. In den folgenden Jahren entwickelt sich der temperaturabgesenkte Asphalt immer mehr in ganz Europa [1].

Wie früher in der vorliegenden Arbeit erwähnt wurde, gibt im 2006 die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen die bis heute einzige Richtlinie für Niedrigtemperaturasphalt mit MTA (Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt) heraus [1].

Im Oktober 2005 setzt man die neuen Technologien für die Temperaturabsenkung von Asphalt in Slowenien ein, wo Walzasphalt parallel bei normalen und abgesenkten Temperaturen eingebaut wird [1].

Seit dieser Zeit steigt das Interesse an Niedrigtemperaturasphalt und darüber wird immer mehr auf wissenschaftlichen Plattformen diskutiert. Im Mai 2008 diskutiert man bei dem vierten Eurasphalt & Eurobitume Congress in Kopenhagen über Schwerpunkte im Bereich der Energieverringerung. Andere wichtige Veranstaltungen, wo die Zukunft dieses neuen Baustoffs besprochen wird, sind zum Beispiel die Transport Research Arena Europe (TRA) in Laibach, Slowenien, das International Symposium of Asphalt Pavements and Environment (ISAP) in Zürich, die Schweiz [1].

Nachdem die Delegation der Asphalt Paving Association (NAPA) aus der USA Deutschland besucht und beim Gesprächskreis BITUMEN sich über die neuen Technologien für temperaturabgesenkten Asphalt informiert hat, berichtet man über „Warm Asphalt Mix“(WAM) auf der 48. Mitgliederversammlung im Januar 2003. Auch in diesem Jahr beginnen die ersten von NAPA und Federal Highway Administration (FHWA) finanzierten Forschungsstudien mit Zeolith und Sasobit [1].

Im 2004 macht die US World of Asphalt in Nashville Tennessee eine Demonstration von WMA und kurz danach baut man die ersten Versuchsstrecke in Florida und North Carolina [1].

2005 werden noch weitere Teststrecken in Florida, Ohio, Maryland, New Hampshire, Texas und Indiana erbaut und auch NAPA und FHWA bildet neue Arbeitsgruppe für WMA [1].

Im 2006 verbreitet sich immer mehr die Anwendung von Niedrigtemperaturasphalt in der USA und entstehen neue Teststrecken in New York, Kalifornien, Michigan, Missouri, Texas, Carolina, Virginia, Texas und Ohio. Parallel dazu setzt die American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) die Forschungen für WMA fort [1].

Kurz danach im 2007 wird durch AASHTO und FHWA eine „Europäische Scan Tour“ in Belgien, Deutschland, Norwegen und Frankreich durchgeführt, in Folge dessen in die USA neue Produkte Methoden für Temperaturabsenkung, wie zum Beispiel double barrel green (Astec), neuer Zeolith (Advera), Rediset (AkzoNobel) und REVIX (Mathy Technology/Paragon Technical Services), eingeführt werden [1].

In demselben Jahr verbreitet sich den Niedrigtemperaturasphalt auch in Kanada, wo man die erste Teststrecke in Vancouver erbaut [1].

Heutzutage, nicht nur in Europa, sondern auch in der USA werden zahlreiche Forschungen an diesem neuen Baustoff durchgeführt und auch viele Publikationen über dieses Thema gemacht. Seit dem Beginn der Entwicklung dem temperaturabgesenkten Asphalt in den letzten Jahren des vorigen Jahrhunderts, wurden zahlreiche Strecken gebaut und er gewinnt seinen wichtigen Platz in dem Asphaltstraßenbau.

2.2.2 Vorteile bei dem temperaturabgesenkten Einbau von Asphalt

Die Asphaltindustrie sieht es als eine wichtige Aufgabe an, Asphalt bei abgesenkten Temperaturen einzubauen. Bei der Entwicklung vom Niedrigtemperaturasphalt sind die folgenden Vorteile zu bemerken:

- Emissionsverringering und Energieeinsparung
- Frühere Verkehrsfreigabe ohne Qualitätsreduktion
- Verlängerte Einbausaison
- Deutlich geringe Belastung der Beschäftigten
- Verbesserte Gebrauchseigenschaften vom Asphalt

• Verlängerte Einbausaison

Ein Vorteil von dem temperaturabgesenkten Asphalt ist der, dass die Einbauzeit verlängert werden kann. Diese Asphaltart kann wegen ihrer niedrigen Viskosität bei tieferen Temperaturen eingebaut werden und hiermit wird die Zeitspanne für die Verarbeitung vergrößert. Die Abkühlrate spielt auch eine große Rolle dazu. Bei tieferen Temperaturen wird der Wärmeübergang zwischen Luft und Mischgutoberfläche reduziert. NAPA hat umfangreiche Studien der Abkühleffekte von Asphaltmischgütern gemacht, die weiter in ihrer Veröffentlichung „Warm-Mix Asphalt: Best Practices“ erklärt werden. Diese Studien ergeben als Resultat, dass das temperaturabgesenkte Asphaltmischgut ungefähr 12 Minuten braucht, um sich abzukühlen. Das hat eine Bedeutung für die Verlängerung des Verarbeitungszeitraums [1].

Die verlängerte Verarbeitungszeitspanne erlaubt auch weitere Transportwege für den Asphalt und damit eine Errichtung von längeren Strecken. Das wurde schon in Australien in die Praxis umgesetzt, wo ein modifiziertes Asphaltmischgut nach neun Stunden immer noch sich verarbeiten lassen konnte. Laut der Berichte von der Firma Kolo Veidekke ist der Einbau von WAM-foam modifiziertem Asphaltmischgut sogar nach 48 Stunden noch möglich. In der USA waren nach einer Lagerung des Evotherm modifizierten Mischguts über Nacht der Einbau und die Verdichtung ausführbar [1].

- Deutlich geringere Belastung der Beschäftigten

Die hohen Herstellungs- und Einbautemperaturen sind das, was die gefährlichen Belastungen für die Beschäftigten erzeugen. Anhand umfangreicher Untersuchungen hat den Gesprächskreis BITUMEN bewiesen, dass durch eine Temperaturabsenkung die Belastungen deutlich reduziert werden können. Die Einbautemperatur kann für Walzasphalte von 160°C auf 130°C und für Gussasphalte von 250°C auf 210°C gesenkt werden [7].

In Abbildung 4 ist die Emissionsverringerung durch Temperaturabsenkung bei Walzasphalt dargestellt und bei Gussasphalt in Abbildung 5. Die Belastung durch Dämpfe und Aerosole kann unter den Grenzwert von 10 mg/m³ abgesenkt werden und beim Gussasphalt ist die Emissionsverringerung deutlicher. Bei dem maschinellen Einbau von Gussasphalt kann eine Reduzierung der Belastung um 31 mg/m³ für die Bohlenfahrer und um 52 mg/m³ für die Zapfer erzeugt werden. Die Diagramme entsprechen der in Tabelle 1 gegebenen Daten.

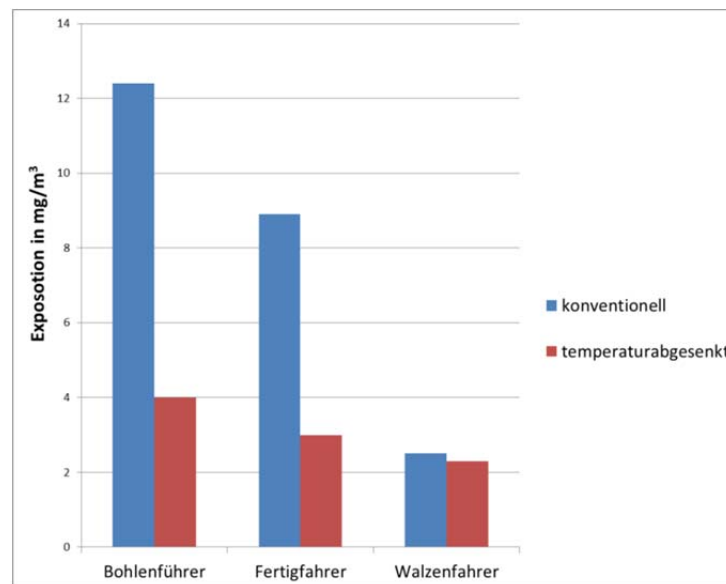


Abbildung 4: Exposition bei konventionellem und temperaturabgesenktem Walzasphalt [7]

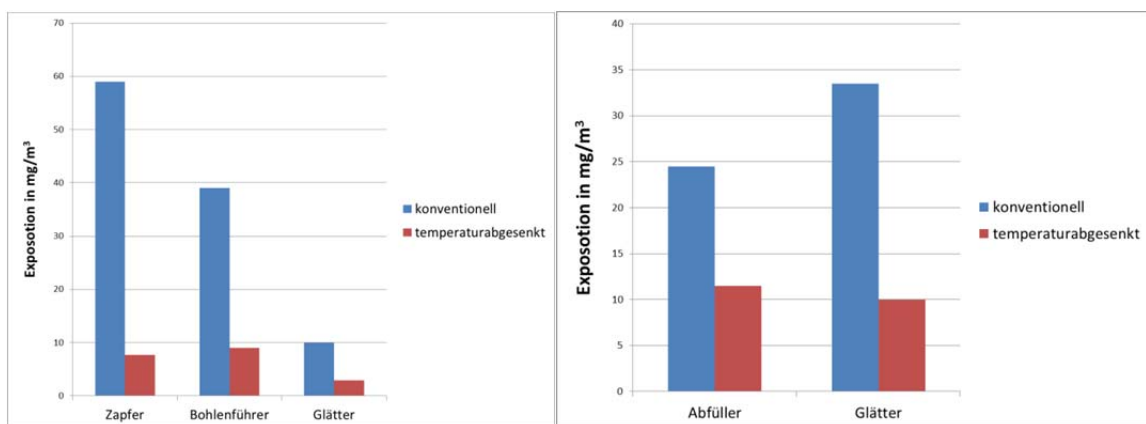


Abbildung 5: Exposition beim maschinellen (links) und händischen (rechts) Einbau vom Gussasphalt [7]

Wichtig zu erwähnen ist, dass man die verschiedenen Studien sehr schwierig vergleichen kann, weil es keine standardisierte Auswertung und Probennahme von Dämpfen und Aerosolen gibt.

- Emissionsverringern und Energieeinsparung

Wie schon erwähnt wurde, kann die Produktion von gefährlichen Emissionen bei dem Mischen und Einbau von Asphalt zu einer deutlichen Umweltbelastung und gesundheitlichen Erkrankungen führen. Deshalb haben die temperaturabsenkenden Modifikationsmittel das Potential den CO₂-Ausstoß zu reduzieren. Dadurch werden auch die Mengen der daneben emittierten giftigen Stoffe wie Schwefeloxid (SO₂), Stickoxide (NO_x) und Kohlenstoffmonooxid (CO) auch verringert [1].

Eine bedeutsame Reduzierung des Energiebedarfs (um ca. 30%) kann durch Absenken der Mischtemperatur um 30 bis 35°C erzielt werden. Für die Herstellung von Walzasphalt benötigt eine Asphaltmischanlage beim Normalbetrieb 8 Liter Heizöl/t Asphalt durch eine Temperaturabsenkung kann man 2,4 Liter/t einsparen [1].

Für die Herstellung von 290.000 t temperaturabgesenktem Gussasphalt (2007) wird durch eine Absenkung der Einbautemperaturen um ca. 20°C eine Einsparung von 342.000 l Heizöl erreicht. Für Warmwasser und Heizung verbraucht eine vierköpfige Familie 1.200 t Heizöl pro Jahr. [7].

Die Produktion von 1 l Heizöl erzeugt 2,62 kg CO₂ und unter der Berücksichtigung der daneben emittierten Treibhausgase, ergeben 1 l Heizöl 3,12 kg CO₂-Äquivalente. Deswegen bedeutet eine Einsparung von 342.200 l Heizöl 1,07 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente weniger. Da der Gussasphalt immer mehr bei Temperaturen unter 230°C maschinell eingebaut wird, ist die tatsächliche Verringerung des CO₂ noch höher [7].

Im 2007 wurden 50 Millionen Tonnen Walzasphalt produziert. Durch eine Temperaturabsenkung um ca. 20°C, kann man eine Einsparung von 41,9 Millionen Liter Heizöl erzielen. D.h. Einbautemperatur von 140°C (statt 160°C) kann ein großes Einbaupotential aufweisen [7].

Diese Auswertungen sind sehr schwierig zu ermitteln und hängen von vielen Faktoren ab. Die Kalkulation der Energieeinsparung wird nicht nur von der Temperaturabsenkung sondern auch von der verwendete Methode für Temperaturabsenkung, Feuchte der Gesteinskörnungen, Verwendung von Recycling-Asphalt und dem Betrieb der Mischanlage beeinflusst. Dabei soll auch den Aufwand für die Trocknung der Gesteine in Betracht genommen werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass je höher der Feuchtegehalt der Gesteinskörnung ist, desto größer ist der Energiebedarf. Wenn die Feuchte um nur einen Prozentpunkt sich erhöht, steigt der Energiebedarf um 10%.

Bei den Studien über diesen Bereich in den USA wurden die oben genannten Faktoren in Betracht genommen, deshalb erscheinen die Ergebnisse realistischer – eine Temperaturabsenkung um 28°C erzeugt eine Reduktion des Energiebedarfs um 11%.

- **Bessere Gebrauchseigenschaften**

Die Anwendung von organischen Additiven oder Wachsen verbessert deutlich die Asphalteeigenschaften. Wegen des hohen Schmelzpunktes der Modifikationsmittel (von 100°C bis 140°C) nehmen auch die Verformungsresistenz und die Verdichtungswilligkeit bei Walzasphalt und die Standfestigkeit bei Gussasphalt im Gebrauchstemperaturbereich von 40°C bis 60°C zu [7].

- **Frühere Verkehrsfreigabe**

Ein wichtiger Vorteil des temperaturabgesenkten Asphalts ist die frühere Verkehrsfreigabe. Der Einsatz von organischen Additiven oder Wachsen führt zur Absenkung der Einbautemperaturen von Asphalt, was eigentlich die Abkühlphase verkürzt und dadurch können Fahrbahnbeläge früher für den Verkehr freigegeben werden.

Die frühere Verkehrsfreigabe kann zur Kostenverringerung einerseits beim Aufbau und andererseits für die Verkehrsteilnehmer wegen der reduzierten Verkehrsbeeinträchtigungen führen [7].

In der Praxis braucht der Straßenbelag 24 Stunden um sich abzukühlen. Meistens wird diese Zeit nicht abgewartet, was die Hauptursache für Schäden ist. Durch Modifikation wird diese Gefahr deutlich niedriger und auf diese Weise werden Kosten für Reparatur eingespart [7].

Wie früher in der Arbeit erwähnt wurde, wird NTA auch für Start- und Landebahnen verwendet. Dadurch wird der Flugbetrieb nicht beeinträchtigt. Beispiele dafür sind nicht nur Flughafen Frankfurt, sondern auch Flughafen Zweibrücken, Belgrad und Linz-Hörsching [1].

Schließlich muss man erwähnen, dass die aufgewiesenen Vorteile verschieden bei verschiedenen Zusätzen sind. Die Modifikationsmittel verändern auch das Tieftemperaturverhalten von Asphalt, deshalb muss man die Art von Additiven sorgfältig auswählen und auf die klimatischen, belastungstechnischen und einbautechnischen Bedingungen achten.

2.3 Methoden für Temperaturabsenkung

Durch die Zugabe von verschiedenen Modifikationsmitteln weist der Niedrigtemperaturasphalt verschiedene Eigenschaften auf. Die Additive werden in organische Additive (Bitumenadditive oder die s.g. Wachsen), mineralische und chemische Additive unterteilt. Die mineralischen und organischen Additive werden zu der Gruppe der

Asphaltadditive gezählt. Die einzelnen Methoden als auch ein paar verfahrenstechnische Möglichkeiten für Temperaturabsenkung werden in dem vorliegenden Punkt erläutert.

2.3.1 Organische Additive (Wachse)

Eine der meist eingesetzten Methoden für Temperaturabsenkung ist durch organische Additive oder die s.g. Wachse. Die Modifikationsmittelmengen laut dem Hersteller variieren von 2 bis 3 M% von dem Bindemittelgehalt. In Tabelle 2 werden einige am Markt vorhandenen Modifikationsmitteln dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht von organischen Modifikationsmitteln [9]

WMA Verfahren	Unternehmen	Produkte für die Asphaltindustrie	Zugabemengen	Produkteigenschaften
Organische (Wachs) Additive				
Fischer-Tropsch Wachs	Sasol Wax GmbH (Süd Afrika)	Sasobit	2,5% von der Masse des Bindemittels (max. 3%)	Tropfpunkt (114°C - 120 °C)
			1 bis 1.5% in den USA	Unterhalb von 80 °C bis 90 °C kristallisiert das FT-Wachs.
				Oberhalb von 115 °C ist das FT-Wachs vollständig in Bitumen löslich. (Sasol)
Amidwachs	Clariant GmbH	Licomont BS 100	3%	Tropfpunkt (140°C - 145 °C)
				Erstarrungspunkt (135°C - 142°C)
	Promax Industries (Dänemark)	ProAmidas1	-	Pulver oder Granulatform
		ProAmidas2	-	kann direkt dem Bitumen beigemischt werden oder erst während des Asphaltmischvorgangs zugesetzt werden
GKG Mineralölhandel GmbH & CO KG (Deutschland)	SÜBIT	-	Granulat Form	
				Tropfpunkt (140°C - 145°C)
				Pulver
				Tropfpunkt (140°C - 145°C)
				Bitumen + Amidwachs

2.3.1.1 Fischer-Tropsch Wachs (FT-Paraffin)

Das Fischer-Tropsch Wachs wird mittels der Fischer-Tropsch-Synthese hergestellt, die im Jahre 1925 von Fischer-Tropsch entwickelt wurde. Dieses Modifikationsmittel besteht aus langkettigen aliphatischen Kohlenstoffverbindungen.

Während der FT-Synthese wird Kohlenmonoxid in einem katalytischen Hochdruckverfahren gefolgt von einem Destillationsprozess in langkettige Kohlenwasserstoffe umgewandelt. Die Ketten der FT-Paraffine bestehen aus zwischen 40 und mehr als 115 Kohlenstoffatomen. Das ist die Hauptunterschied zwischen den FT-Paraffinen und den erdöleigenen Paraffinen, deren Kette von 22 bis 45 Kohlenstoffatomen enthält.

Der Tropfpunkt des FT-Waxes liegt zwischen 114°C und 120°C (siehe Tabelle 2). Oberhalb von 115°C ist es vollständig in dem Bitumen löslich und weist viskositätssenkende Eigenschaften auf. Unterhalb von 80°C bis 90°C kristallisiert das FT-Wachs zu mikroskopisch kleinen Festkörpern aus. Im Bitumen wird eine Art Netzstruktur gebildet, die eine höhere Stabilität und Standfestigkeit garantiert.

Unternehmen, die FT-Paraffine herstellen sind Sasol Wax GmbH und PetroSA Ltd, die Sitz in Süd Afrika haben.

2.3.1.2 Amidwachs

Die aus Amidwachs hergestellten Produkte sind ProAmidas, SüBit und das am häufigsten verwendete – Licomont BS 100.

Amidwachs wird mittels des Konti-Verfahrens hergestellt. Dabei spaltet man bei 200°C und mehreren Stunden Verweildauer in einer endothermen Reaktion aus den Rohstoffen Ethylendiamin und Stearinsäure das Amidwachs ab.

Der Tropfpunkt des Amidwachs' liegt zwischen 135°C und 145°C und der Erstarrungspunkt zwischen 135°C und 142°C (siehe Tabelle 2). Das Amidwachs kann als Pulver oder Granulatform gekauft werden und kann direkt dem Bitumen beigemischt oder erst während Asphaltmischvorgangs zugesetzt werden.

2.3.1.3 Montanwachs

Das reine Montanwachs kann man mit der Hilfe einer Toluolextraktion aus Braunkohle und danach einer Trennung des Toluols vom Rohmontanwachs mittels Verdampfungsanlage gewinnen.

Montanwachs ist kein reines Additiv und ist ein Stoffgemisch aus Rohmontanwachs und höhermolekularen Kohlenwasserstoffen. Wegen dieses Verhältnis' sind die Tropfpunkt- und die Erstarrungsproduktspannen sehr breit. Der Tropfpunkt liegt zwischen 80°C und 150°C und das Erstarrungsprodukt liegt zwischen 75°C und 145°C (Siehe Tabelle 3).

Montanwachs wird in einer Granulatform verkauft und kann in der Asphaltmischanlage zugesetzt werden oder direkt als schon modifiziertes Bitumen gekauft werden.

In Tabelle 3 sind die Firmen und die Produkten für die Asphaltindustrie aus Montanwachs aufgelistet, von denen Asphaltan A bzw. B der Firma Romonta GbmH mit Sitz in Deutschland die am häufigsten verwendeten sind.

Tabelle 3: Übersicht von organischen Modifikationsmitteln [9]

WMA Verfahren	Unternehmen	Produkte für die Asphaltindustrie	Produkteigenschaften
Organische (Wachs) Additive			
Montanwachs	Romonta GmbH (Deutschland)	Asphaltan A (bevorzugt für Gussasphalt)	Tropfpunkt (80°C - 150 °C) Erstarrungspunkt (75°C - 145°C)
		Asphaltan B (bevorzugt für Walzasphalt und Bitumenmodifizierung)	
		Asphaltan Bit (bevorzugt für Bitumenmodifizierung)	
		Asphaltan 117 (bevorzugt für Bitumenmodifizierung/Bitumenbeschichtung)	
	Clariant International Ltd	-	Tropfpunkt (74°C und 99°C)
Süddeutsche Emulsions-Chemie GmbH	-	Erstarrungspunkt (70°C - 140°C)	
Polyethylenwachs	Clariant International Ltd	Licocene PE 4201	Tropfpunkt - 128°C
	BASF (Deutschland)	Luwax A	Tropfpunkt (107°C - 114°C)
Evotherm	MeadWestvaco Asphalt Innovations (Charleston, South Carolina, USA)	Evotherm DAT	nicht wasserfrei
		Evotherm 3G	wasserfrei

2.3.1.4 Polyethylenwachs

Das Polyethylenwachs wird bei der Firma Clariant International Ltd. entwickelt und sie bezeichnen ihr Produkt als Licocene PE 4201. Dieses Modifikationsmittel, dessen Tropfpunkt bei rund 128°C liegt, wird mittels Metallocene-Katalyse oder Ziegler-Katalyse hergestellt. Ein ähnliches Produkt (Luwax A) der Firma BASF (Deutschland) besitzt einen Tropfpunkt zwischen 107°C und 114°C (Tabelle 3).

Das Polyethylenwachs weist viskositätssenkende Eigenschaften, aber die Herstellungskosten sind sehr hoch und deswegen wird es in der Asphaltindustrie nicht bevorzugt.

2.3.2 Mineralische Additive

Eine andere Methode für Temperaturabsenkung sind die mineralischen Additiven oder die s.g. Asphaltadditive. Sie werden beim Asphaltmischvorgang zugefügt. In dem folgenden Punkt werden die am Markt vorhandenen Modifikationsmittel beschrieben und sie sind auch in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Übersicht von mineralischen und chemischen Additiven [9]

WMA Verfahren	Unternehmen	Produkte für die Asphaltindustrie	Zugabemengen	Produkteigenschaften
Mineralische Additive				
Synthetische Zeolithe	Aspha-min GmbH (Hanau, Deutschland)	Asphamin	Der Zeolith wird in Mengen von 0,2 bis 0,3 M.-% direkt zum Mischgut zugesetzt und aufgrund seiner Partikelgröße der Füllerfraktion zugeordnet.	durchschnittliche Partikelgröße - 350 µm
	PQ Corporation (Philadelphia, Pennsylvania, USA)	Advera WMA		durchschnittliche Partikelgröße (3 – 6 µm)

2.3.2.1 Synthetische Zeolithe



Abbildung 6: Zeolith Feingranulat (a), Zeolith Pulver (b)

Die Zeolithe werden in zwei Gruppen unterteilt – „Natur-Zeolithe“ und synthetisch hergestellte Zeolithe. Diese Modifikationsmittel bestehen aus Natrium-Aluminium-Silikatverbindungen, deren chemische Formel $\text{Na}_1(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12}x\text{H}_2\text{O}$ ist. Der chemisch gebundene Wasseranteil beträgt etwa 21 M.-% (Siehe Tabelle 4).

Die Herstellung von synthetischen Zeolithen erfolgt aus stark alkalischen wässrigen Lösungen von Aluminium- und Siliziumverbindungen und daraus entsteht ein Natrium-Aluminium-Silikat, das gelartig und amorph ist. Nach der hydrothermalen Kristallisation wird dieses Silikat gewaschen und sprühgetrocknet. Die Zusammensetzung der Reaktionsmischung, die verschiedene Rührgeschwindigkeit und Kristallisationstemperatur verursachen den Unterschied zwischen den verschiedenen Firmenprodukten. [1].

Im Asphaltmischprozess bei dem Verdampfen vom Kristallwasser bildet sich Wasserdampf, der in Bläschenform an die Oberfläche wandert und dabei entstehen feine Mikroporen, die Volumenvergrößerung des Mischguts verursachen. Dadurch kommt eine bessere Verarbeitungswilligkeit zur Folge [1].

Die synthetischen Zeolithe werden in zwei Formen verkauft – als weißes Feingranulat oder als feinteiliges Pulver (Siehe Abbildung 6 (a) und (b)). Wie in Tabelle 4 erwähnt wurde, wird der Zeolith in Mengen von 0,2 bis 0,3 M.-% direkt zum Mischgut zugesetzt und aufgrund seiner Partikelgröße der Füllerfraktion zugeordnet. Worauf bei Lagerung und Transport geachtet werden muss, ist die begrenzte viskositätssenkende Wirkung der Zeolithe.

2.3.3 Verfahrenstechnische Methoden

Direkt an der Mischanlage gibt es auch verfahrenstechnische Möglichkeiten für Temperaturabsenkung. Ein Überblick ist in Tabelle 5 gegeben und die einzelnen Methoden werden auch in diesem Punkt beschrieben.

Tabelle 5: Übersicht von verfahrenstechnischen Methoden [9]

WMA Verfahren	Produkte für die Asphaltindustrie	Produkteigenschaften
Zwei-Phasen-Mischverfahren	Zwei-Phasen-Mischverfahren	In der ersten Phase wird bei vergleichsweise niedriger Mischtemperatur ein weiches Bitumen (ca. 1/3 der Bindemittelmenge) zur Vorbenetzung bzw. Umhüllung der Mineralstoffe zugegeben. Anschließend wird in der zweiten Phase härteres Bitumen (ca. 2/3 der Bindemittelmenge) beigemischt.
KGO-Verfahren oder Zugabereihenfolge-Verfahren	KGO-Verfahren oder Zugabereihenfolge-Verfahren	Bei dieser verfahrenstechnischen Modifizierung werden zuerst die groben Mineralstoffanteile mit Bitumen umhüllt, bevor die feineren Anteile (Füller und Sand) zugegeben werden.

2.3.3.1 Zwei-Phasen-Mischverfahren

Bei dem Zwei-Phasen-Mischverfahren werden zwei unterschiedliche Bindemittel für die Herstellung des Asphaltmischguts verwendet. Das Mischen wird in zwei Phasen durchgeführt und in der ersten Phase, die bei niedrigeren Temperaturen durchgeführt wird, gibt man ein weiches Bitumen (1/3 der Bindemittelmenge) zur Umhüllung der Mineralstoffe zu. Wegen der vorläufigen Umhüllung, kann in der zweiten Phase ein härteres Bitumen (2/3 der Bindemittelmenge) zugegeben und auch bei abgesenkten Temperaturen eingemischt werden.

2.3.3.2 KGO-Verfahren (Zugabereihenfolge-Verfahren)

Diese verfahrenstechnische Methode wird nach dessen Erfinder Karl-Gunnar Ohlson benannt, aber in der Fachliteratur wird oft auch als Zugabereihenfolge-Verfahren (ZGR-Verfahren) bezeichnet. Dabei geht es um eine Umhüllung mit Bitumen zuerst der groben Gesteinskörnungen und erst danach werden die feinen Mineralstoffanteile wie Füller und Sand beigemischt. Dadurch wird ein verformungswilliges Asphaltmischgut erzeugt, das bei abgesenkten Temperaturen hergestellt und eingebaut werden kann.

3 Prüfmethoden zur Ausprobe des Gebrauchsverhaltens von temperaturabgesenkten Gussasphalten

3.1 Übersicht

In dem folgenden Kapitel wird die Methodik der gebrauchungsverhaltenorientierten Prüfungen an Asphalt, die in der vorliegenden Arbeit angewandt werden, und ihre theoretische Erklärung beschrieben.

Die GVO Asphaltprüfungen in Rahmen dieser Diplomarbeit werden in drei Großgruppen unterteilt. Prüfungen an dem Tieftemperaturverhalten vom Asphalt, Prüfungen an dem Hochtemperaturverhalten und an der Verarbeitbarkeit. Die Unterteilung der Versuche in Prüfkriterien kann man auf Abbildung 7 sehen.

Verarbeitbarkeit

- DMM (Drehmomentmessung)

Tieftemperaturverhalten

- UTST (Direkter Zugversuch)
- TSRST (Abkühlprüfung)

Hochtemperaturverhalten

- UCCT (Einaxiale Druckschwellprüfung)

Abbildung 7: Überblick – Prüfungen

Die Verarbeitbarkeit von Asphalt ist ein wichtiges Kriterium beim Einbau. Ihre Messung und, wie sie in Abhängigkeit von der Temperatur sich verändert, erfolgt mittels der Drehmomentmessung während des Mischens.

Tieftemperaturrisse und Längsrisse können wegen Abkühlung und Verkehrslast bei tiefen Temperaturen auf der Asphaltoberfläche entstehen. Deswegen wird das Mischgut auf Beständigkeit gegen Kälterisse durch die UTST- und die TSRST-Prüfungen nach EN 12697-46 untersucht.

Die Risse aufgrund tiefer Temperaturen sind nicht das einzige straßenbauliche Problem. Bei hohen Temperaturen und starken Belastungen können Spurrinnen gebildet werden. Das Bitumen ist ein thermoplastischer Baustoff und wegen der hohen Temperaturen kann es sehr anfällig für Verformungen sein. Die Asphaltmischgüter werden auf Widerstand gegen bleibende Verformungen mittels der einaxialen Druckschwellprüfung (UCCT) nach EN 12697-25 untersucht.

3.2 Prüfmethode

3.2.1 DMM (Drehmomentmessung)

3.2.1.1 Kurzbeschreibung

Die Drehmomentmessung beruht auf die Methode, bei der ein Rührer durch das Gussasphaltmischgut sich dreht und dabei das auftretende Drehmoment gemessen wird. Um die Messung durchzuführen, soll man das Gestein und das Bitumen in einer Wärmekammer aufheizen (Abbildung 8). Das Drehmoment wird mittels eines Gegenlaufzugangsmischers bei der entsprechenden Temperatur gemessen. In Abbildung 8 sind die Prüfgeräte dargestellt. Danach werden die Prüfergebnisse mit der entsprechenden Software ausgewertet.



Abbildung 8: Prüfgeräte bei der Drehmomentmessung

3.2.1.2 Prüfungsverlauf

- Temperieren der Mischgutkomponenten

Vor dem Mischprozess soll das Gestein getrocknet und das Bitumen auf der jeweiligen Temperatur aufgeheizt werden. Das wird in einer schon vorgeheizten Wärmekammer durchgeführt, wo die verschiedenen Korngrößen vom Gestein in Stahlwannen und das Bitumen in einem Kübel getrennt und versetzt gestellt werden [10].

Die Verweildauer der Gesteinskomponenten im Wärmeschrank beträgt min. 5 Stunden und des Bitumens max. 3 Stunden [10].

- Temperieren des Mixers

Der Zwangsmischer soll auch auf die Mischtemperatur vortemperiert werden, weil diese mit der Temperatur, bei der das Gestein und das Bitumen aufgeheizt werden, übereinstimmen soll. Mit den Mischertasten kann man alle Parameter einstellen, einschließlich das Programm, bei der die Drehmomentmessung durchgeführt wird [10].

- Einfüllen der Mischgutkomponenten in den Mischer

Nachdem der Mischer die gewünschte Mischtemperatur erreicht hat, sollen die schon abgewogenen und getrockneten Gesteine aus der Wärmekammer entnommen und in die Mischtrommel eingefüllt werden. Jetzt kann man mit der ersten Schritt des Mischens anfangen, bei der eine Homogenisierung der Gesteinskörnungen durchgeführt wird. Danach wird auch die erforderliche Menge Bindemittel zugegeben und der zweite Schritt des Mischens gestartet. Dieser Schritt läuft ungefähr 300 Sekunden und dient zur Homogenisierung aller Mischgutkomponenten [10].

Es werden einige aufeinanderfolgenden Prüfungen an dem Mischgut durchgeführt, bei denen nur die Zieltemperatur verändert wird. Die Zieltemperatur lässt sich in Intervallen von 20°C erhöhen. Zum Beispiel, erstens wird das Mischgut bei einer Zieltemperatur von 170°C gemischt, danach bei 190°C, 210°C etc [10].

3.2.2 UTST (Direkter Zugversuch) laut EN 12697-46:2012

3.2.2.1 Kurzbeschreibung

Bei dem direkten Zugversuch wird ein Probekörper spannungsfrei auf eine Prüftemperatur abgekühlt. Danach wird dieser Probekörper bei konstanter Temperatur und mit konstanter Geschwindigkeit so lange gedehnt, bis er reißt. Daraus ergibt man die maximale Spannung (Zugfestigkeit) $\beta_t(T)$ und die entsprechende Ausfallzugdehnung $\varepsilon_{\text{Ausfall}}(T)$ bei der Prüftemperatur T [11]. Auf Abbildung 9 sieht man die wichtigsten Komponente bei der Versuchsdurchführung und ihr Verlauf im Laufe der Zeit.

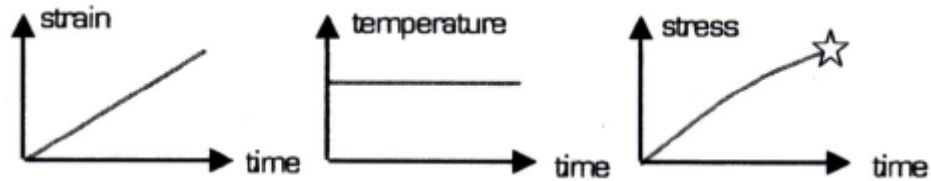
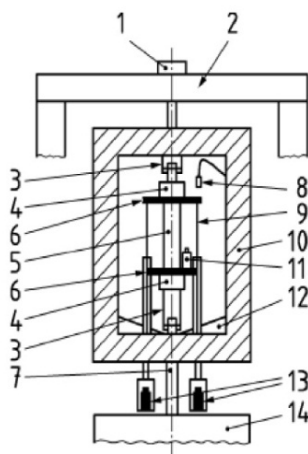


Abbildung 9: Versuchsbedingungen [12]

3.2.2.2 Prüfgerät zur Durchführung von UTST

Abbildung 10 zeigt das Gerät, mit dessen Hilfe die UTST-Prüfung durchgeführt wird. Es muss in der Lage sein, Bewegungen mit einer Genauigkeit von $0,1 \mu\text{m}$ zu erzeugen [11].



Legende:

- | | |
|----------------------------|------------------|
| 1. Kraftmessdose | 9. Invarstange |
| 2. Belastungsrahmen | 10. Klimakammer |
| 3. Schwenkspannvorrichtung | 11. Blindprobe |
| 4. Klemme | 12. Ventilator |
| 5. Probekörper | 13. Wegaufnehmer |
| 6. Endplatte | 14. Schrittmotor |
| 7. Belastungsstange | |
| 8. Temperaturmessfühler | |

Abbildung 10: Prüfgerät beim UTST

- **Verformungsmesssystem**

Die Verformung des Probekörpers soll in dem Bereich von $\pm 2,5\text{mm}$ bis $\pm 0,5\mu\text{m}$ gemessen werden. Bei der Versuchsdurchführung unterliegt die Ausrüstung des Prüfgeräts auch den selben Temperaturbedingungen wie den untersuchten Probekörper, deshalb ist für die genaue Messung der Dehnung im Probekörper eine Basis aus Invarstahl erforderlich, die eine gleich bleibende Länge bei verschiedenen Temperaturen hat [11].

- **Lastmesssystem**

Die Axiallast soll mittels eines Lastmesssystems im Bereich von -20kN bis $+20\text{kN}$ überwacht werden [11].

- **Aufzeichnungseinrichtung**

Unter Aufzeichnungseinrichtung versteht man an einen Rechner angeschlossene Schnittstelleneinheit, die die elektronischen Signale der Last- und Wegaufnehmer speichert, überwacht und aufzeichnet. Die gemessene Verformung soll in $0,5\mu\text{m}$ aufgelöst und geregelt werden [11].

- Thermostatisch geregelte Kammer

Die thermostatisch geregelte Kammer ist, wo der Probekörper auf die Versuchstemperatur temperiert wird und wo der Versuch durchgeführt wird. Die Temperatur innerhalb der Kammer soll in dem Bereich von -40°C bis $+30^{\circ}\text{C}$ mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5\text{K}$ konstant gehalten werden [11].

3.2.2.3 *Probenvorbereitung*

- Anzahl der Stichproben

Für jedes Asphaltmischgut und jede Prüftemperaturkombination sollen mindestens drei Probekörper geprüft werden [11].

- Maße

Die Probekörper sollen in der Form von einem Prisma hergestellt werden, dessen Größe in Abhängigkeit des Größtkorns im Asphaltmischgut steht. Wenn der Größtkorn kleiner als 11,2mm ist, sind die Breite und die Höhe der Probekörper $40 \pm 2\text{mm}$. Bei Größtkorn zwischen 11,2mm und 22,4mm sind die Probekörperabmessungen $50 \pm 2\text{mm}$ und bei Größtkorn größer als 22,4 mm – $60 \pm 2\text{mm}$. Die Mindestlänge der Probekörper beträgt 160mm. Falls die Kältemaschine Probekörper mit einer Länge größer als 160 mm prüfen kann, ist zu bemerken, dass die Länge das Vierfache der Breite bzw. der Höhe betragen muss [11].

Wenn die Probekörper aus Straßen entnommen wurden und ihre Abmessungen die geforderten nicht ausfüllen, sollen rechteckige Probekörper geprüft werden, deren Dimensionen in dem Prüfbericht vermerkt werden sollen [11].

- Herstellung

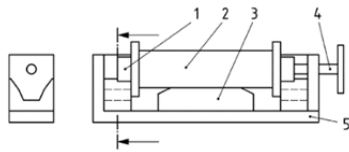
Die Probekörper sollen entweder aus einer Asphaltplatte in Laborbedingungen geschnitten oder aus Straßenbefestigungen entnommen werden. Man muss sie aus der Mitte der im Labor hergestellten Platte schneiden. Der Abstand zwischen dem Rand der Platte und dem Probekörper soll mindestens 20 mm betragen [11].

Die Belastungsachse während des Verdichtens soll senkrecht zu der Längsachse der Asphaltprobekörper stehen.

- Einspannen

Nach den deutschen Normen sollen die Asphaltprobekörper an zwei Adapter geklebt werden, in dem sie mittels einer Einspannbank zwischen den Adaptern positioniert wird. Das Einspannen und die Bestandteile der Einspannbank kann man auf Abbildung 11 sehen.

Die Einspannbank dient dazu, eine mittige Verbindung zwischen den beiden Adaptern (Anschlussstücken) zu sichern. Die Adapter sind wichtig, weil sie das Einbauen des Probekörpers in die Prüfmaschine ermöglichen.



Legende:

1. Adapter
2. Probekörper
3. Höhenaustellaufbares Auflager
4. Spindel
5. Unterteil



Abbildung 11: Einspannen eines Probekörpers

3.2.2.4 Probekörpereinbauen und -konditionierung

Wie in dem vorigen Punkt erwähnt wurde, muss der Asphaltprobekörper in die Prüfmaschine zusammen mit den Adaptern eingebaut werden. Vor der UTST Prüfung muss der Probekörper auf die Versuchstemperatur T ohne Lastaufbringung temperiert werden. Während der Vortemperierung soll man das Prüfgerät so regeln, dass dem Probekörper keine Belastungen unterliegen [11].

Die Dauer der Vortemperierungsphase hängt von den Abmessungen des Probekörpers und dem verwendeten Asphaltrezeptur. Nach dem Erreichen der Prüftemperatur, muss der Probekörper auf dieser Temperatur mindestens 10 min. gehalten werden, bevor der Zugversuch durchgeführt werden [11].

Die Temperaturveränderungen in dem geprüften Probekörper kann man mittels eines Referenzprobekörpers verfolgen. Diese s.g. Blindprobe soll nah am Probekörper und auf die gleiche Höhe aufgebracht werden.

3.2.2.5 Durchführung

Beim Konstanthalten der Prüftemperatur wird der Probekörper einer auf der Ausgangslänge bezogene Dehnung untergezogen. Die Dehngeschwindigkeit ist konstant und beträgt $d\varepsilon = (0,625 \pm 0,025) \%/min$ [11].

Durch die UTST-Prüfung bekommt man die Zugfestigkeit des Probekörpers und die Ausfalldehnung bei der Prüftemperatur. Die Zugfestigkeit β_t (N/mm^2) berechnet man, indem man die maximal gemessene Zugkraft in der Probe durch die Bruchfläche dividiert. Die Ausfalldehnung $\varepsilon_{Ausfall}$ wird durch Dividieren der zum Zeitpunkt des Ausfalls entsprechenden Dehnung und der Länge des Probekörpers berechnet.

3.2.3 TSRST (Abkühlprüfung) laut EN 12697-46:2012

3.2.3.1 Kurzbeschreibung

Durch die TSRST-Prüfung wird die Temperatur ermittelt, bis zu der der Probekörper kryogene Zugspannungen aufnehmen kann, bevor er versagt. Bei der Abkühlprüfung wird der Asphaltprobekörper einer Temperaturabsenkung (Abkühlung) mit einer konstanten Geschwindigkeit untergezogen, während seine Länge konstant gehalten wird. Dadurch erzielt man ein verhindertes thermisches Schrumpfen und das führt zur Bildung von kryogenen Zugspannungen im Probekörper. Als Ergebnis bekommt man den Verlauf der kryogenen Zugspannungen über der Temperatur $\sigma_{kry}(T)$ und die Ausfallspannung $\sigma_{kry, Ausfall}$ bei der Ausfalltemperatur $T_{Ausfall}$. Das sind die Spannung und die Temperatur, bei den der Probekörper reißt [11].

Der Verlauf der einzelnen Prüfkomponten in Abhängigkeit von der Zeit kann man in Abbildung 12 sehen.

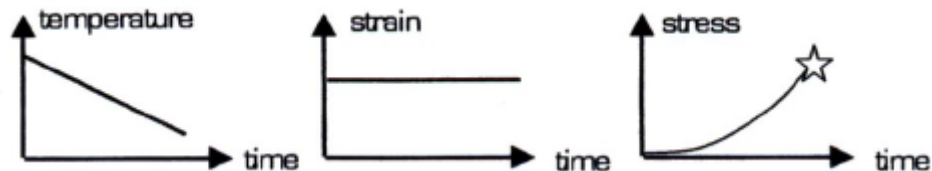


Abbildung 12: Prüfkomponten [12]

3.2.3.2 Prüfgerät zur Durchführung von TSRST und Probenvorbereitung

Das Gerät, in dem die TSRST-Prüfung durchgeführt wird, ist das gleiche wie bei dem direkten Zugversuch. Genaue Beschreibung kann man im Punkt 3.2.2.2 finden. Die Probekörpervorbereitung erfolgt auch auf derselben Art und Weise und wird im Punkt 3.2.2.3 beschrieben.

3.2.3.3 Probekörpereinbauen und -konditionierung

Nachdem der Probekörper in das Prüfgerät eingebaut wird, muss er auf eine Anfangstemperatur T_0 vortemperiert werden. Für genauere Beschreibung der Konditionierungsphase siehe Punkt 3.2.2.4

3.2.4 UCCT (Einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung) laut EN 12697-25:2005

3.2.4.1 Anwendungsbereich

Die einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung dient zur Bestimmung der Beständigkeit vom Asphalt gegen bleibende Verformung [13].

Bei diesem Versuch unterliegt ein zylindrischer Probekörper einer zyklischen Axialbelastung. Um man eine ausreichende Behinderung der Querdehnung bekommen zu können, wird eine

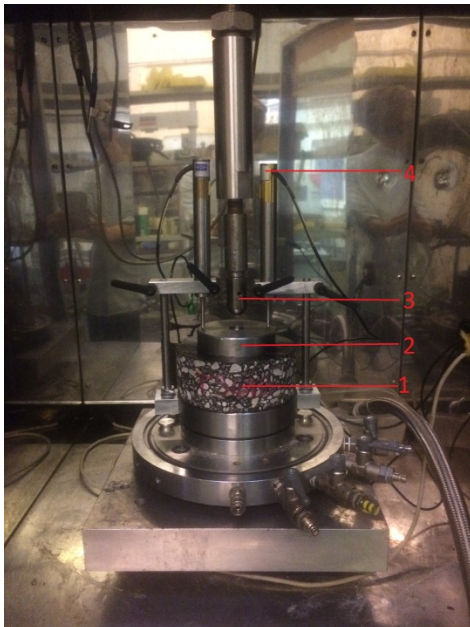
Lastplatte gewählt, deren Durchmesser kleiner als diesem des zu versuchenden Probekörpers ist [13].

3.2.4.2 Kurzbeschreibung

Anhand dieses Prüfverfahrens kann man die Beständigkeit von zylindrischen Probekörpern im Hochtemperaturbereich durch eine zyklische Belastung bestimmen. Die Asphaltprobekörper können entweder aus einer Straße gewonnen oder im Labor hergestellt werden [13].

Der Probekörper, dessen Durchmesser 150 mm beträgt, muss auf die Prüftemperatur vortemperiert und zwischen zwei parallelen Lastplatten eingesetzt werden. Die obere Platte hat einen Durchmesser von 100mm. Da es auf der unteren Seite der Platte eine Fassung von 4mm gibt, ist der tatsächliche Durchmesser, mit dem die Platte den Probekörper drückt, 96mm [13]. In Abbildung 13 wird eine Darstellung des Prüfgeräts gezeigt. Der Probekörper unterliegt zyklischen, einaxialen Blockimpulsen (Druckstößen).

Während des Versuchs wird die Höhenveränderung des Asphaltprobekörpers nach einer festgelegten Zahl von Belastungszyklen gemessen. Dadurch bekommt man die bleibende Verformung des Probekörpers (in %) als Funktion der Anzahl der einaxialen Druckstößen. Die Resultate stellt man in einer Kriechkurve dar [13].



Legende:

1. Probekörper
2. Lastplatte
3. Stempel
4. Wegaufnehmer

Abbildung 13: Prüfeinrichtung

3.2.4.3 Prüfeinrichtung zur Durchführung von UCCT

- Belastungseinrichtung

Das Prüfgerät, das in Abbildung 13 dargestellt wird, muss eine zyklische Belastung mit Frequenz von 0,5 Hz und eine Größe von (100 ± 2) kPa aufbringen. Die Kraftmessdose muss einen Messbereich von mindestens 2000 N haben und alle Teile müssen aus Stahl, der korrosionsbeständig ist, produziert werden [13].

- Wegaufnehmer

Die Prüfeinrichtung schließt auch zwei Wegaufnehmer ein, mit denen die Änderung in der Höhe des Probekörpers gemessen wird. Mit ihrer Hilfe wird während des gesamten Versuchs die Gesamtaxialverformung aufgezeichnet. Die Wegaufnehmer, deren Messbereich 5mm beträgt, müssen eine Genauigkeit von 0,2 haben [13].

- Wärmeschrank

Der Wärmeschrank dient zur Temperierung der Probekörper auf die Prüftemperatur, die während des Versuchs gehalten werden muss. Um eine schnellere Vorgehensweise bei der Prüfung zu erzielen, ist ein solcher Wärmeschrank auszuwählen, in den mehrere Probekörper für Vortemperierung während der Durchführung des Versuchs eingesteckt werden können [13].

3.2.4.4 Probenvorbereitung

Jeder Probekörper muss eine zylindrische Form haben. Die Probekörperoberfläche muss glatt und eben sein. Die beiden Probekörperenden müssen parallel zu einander und senkrecht zu der Zylinderachse sein. Die Trocknung der Proben ist bei einer Temperatur von nicht mehr als 25°C [13].

Die Höhe der Probekörper muss gemäß DIN EN 12697-25 einen Wert von (60 ± 2) mm haben und der Durchmesser muss (148 ± 5) mm betragen [13].

Die Probekörper sind entweder im Labor herzustellen oder aus einer Straße zu gewinnen. Falls die Proben aus einer Straße gewonnen wurden und ihre Höhe nicht genug ist, dürfen sie aufeinander aufgestapelt werden. Für die beiden Probekörper gelten dieselben Anforderungen für Glätte und Ebenheit. Die gesamte Höhe muss nicht mehr oder nicht weniger als (60 ± 2) mm betragen [13].

3.2.4.5 Einsetzen und Konditionierung

Die Lagerungstemperatur der Probekörper liegt in dem Bereich zwischen 5°C und 25°C. Sie müssen während der Lagerung nicht aufeinander gelegt werden um Beschädigungen an ihrer Oberfläche verhindert zu werden [13].

Nachdem die Probekörper verdichtet wurden, sind sie frühestens nach 2 Tagen zu prüfen und vor der Prüfung muss man die Probekörper auf die Prüftemperatur (mit einer Abweichung von $\pm 1,0$ °C) für mindestens 4h und nicht länger als 7h konditionieren. Es ist ein

Vorteil, wenn die Konditionierung bzw. die Vortemperierung in derselben Kammer, wo der Versuch durchgeführt wird, stattfindet [13].

3.2.4.6 Durchführung

Die Anzahl der Asphaltprobekörper, die geprüft werden müssen, um eine ausführliche Kriechuntersuchung zu erzielen, ist mindestens drei. Die Prüftemperatur muss konstant mit einer Abweichung von $\pm 1,0$ °C gehalten werden [13].

Der Probekörper ist mittig und coaxial zwischen den beiden Lastplatten in die Prüfmaschine einzubauen. Zur Beschichtung der Lastplattenflächen schmiert man sie mit Silikon. Zwei Wegaufnehmer, die die Verformung messen, werden auf die beiden Seiten der Probekörper und auf die obere Lastplatte eingebaut. Danach unterliegt der Probekörper einer Vorbelastung mit einer Größe von 10kPa für eine Dauer von 10min. Die erwähnte Vorbelastungsgröße entspricht einem Durchmesser der Belastungsfläche von 96 mm [13].

Nach der Vorbelastungsphase kommt die zyklische Belastung mit Belastungsdauer für jeden Impuls ($1 \pm 0,05$)s. Die Belastung im Laufe der Zeit wird in Abbildung 14 dargestellt. Die Pausen zwischen den einzelnen Lastwechseln sind auch ($1 \pm 0,05$)s. Das bedeutet eine Frequenz von 0,5 Hz. Die Prüfung gilt als abgeschlossen, wenn insgesamt 3600 Impulse mit einer Axialbelastung von (100 ± 2) kPa durchgeführt wurden. Das ergibt eine Gesamtprüfdauer von etwa 2h [13].

Nach einer bestimmten Zahl von Lastzyklen ist die bleibende Verformung zu messen (siehe Abbildung 14). Die Messungen führt man während der Lastpausen durch. Wenn die bleibende Verformung 4% überschreitet ist das Graph der Gesamtaxialverformung über die Anzahl von Belastungszyklen aufzuzeichnen. Das ist ein Anzeichen für die Zerstörung des Probekörpers [13].

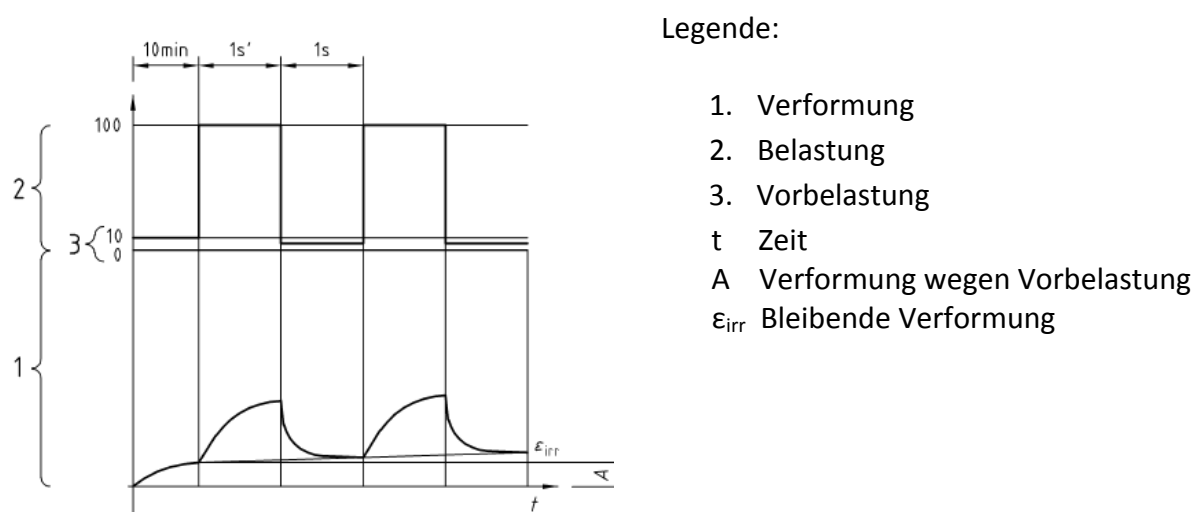


Abbildung 14: Die Belastungs- und Verformungsgraph im Laufe der Zeit [13]

3.2.4.7 Darstellung der Ergebnisse

Das Hauptziel bei der UCCT-Prüfung ist die Gesamtaxialverformung nach einer bestimmten Anzahl von Lastwechseln und die Steigung der Kriechrate zu bekommen. In der vorliegenden Arbeit ist die Axialverformung nach 3600 Lastzyklen gemessen. Mit der Hilfe der Steigung kann man eine langfristige Prognose für die Verformung kriegen. Je flacher die Steigung ist, desto kleiner die zukünftige Verformung sein wird. Auf Abbildung 15 werden die Verformung in Abhängigkeit von den Belastungszyklen und die Gleichung der Kurve gezeigt. Die Gesamtaxialverformung wird in Prozent (%) mittels Formel 1 berechnet [13].

$$\varepsilon_N = 100 \left(\frac{h_0 - h_N}{h_0} \right) \quad \text{Formel 1}$$

ε_N – die Gesamtaxialverformung, in Prozent (%);

h_0 – Die bei den beiden Wegaufnehmern gemessene Höhe des Probekörpers nach der Vorbelastung, in Millimeter (mm);

h_N – Der bei den beiden Wegaufnehmern gemessene Mittelwert für die Höhe des Probekörpers nach N Belastungszyklen in Millimeter (mm);

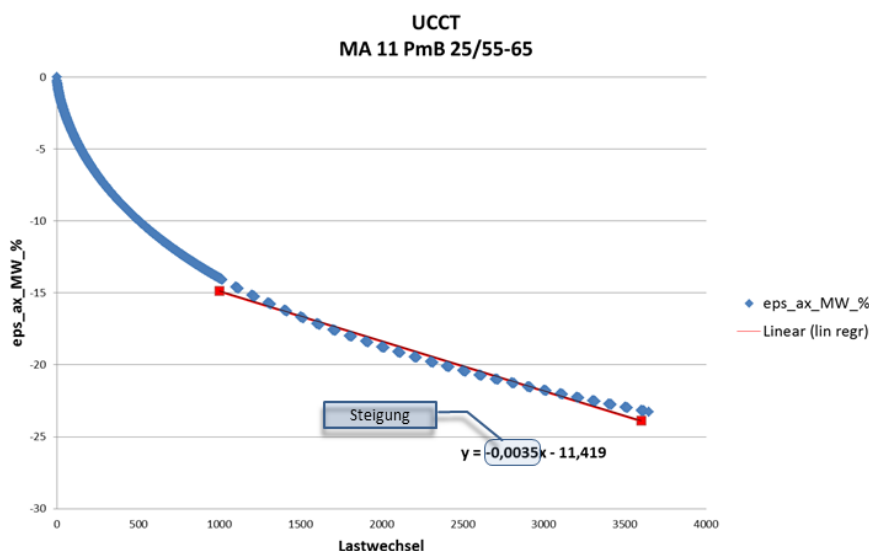


Abbildung 15: Verformung-Lastwechsel-Diagramm bei einem Asphaltmischgut [9]

Nachdem die Ergebnisse von dem einaxialen, zyklischen Druckschwellprüfung ausgewertet sind, kann man die prozentuale Verformung und die Steigung zwischen den einzelnen Versuchen von den verschiedenen Asphaltprobekörpern vergleichen. Sie sind die zwei Werte, die die Beständigkeit gegen bleibende Verformungen beschreiben.

4 Materialienübersicht und Untersuchungsprogramm

4.1 Materialienübersicht

In diesem Kapitel werden die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Materialien erläutert. Es wird auch beschrieben, wie und welche Additive zur Temperaturabsenkung ausgewählt sind.

4.1.1 Bitumen

Bitumen soll festgelegte Anforderungen ausfüllen, die in EN 12591 gegeben werden. Die Bitumeneigenschaften, die nach bestimmten Prüfverfahren festgelegt werden, sind die Penetration[EN 1426], Erweichungspunkt[EN 1427], Brechpunkt nach Fraaß[EN 12593], dynamische Viskosität[EN 12596] und Beständigkeit gegen Verhärtung[EN 12607-1] [14].

Wegen der immer steigenden Straßenbeanspruchungen heutzutage, und um die Verformungserscheinungen begrenzt zu werden, wird die Performance von Bitumen durch Zugabe von Polymeren verbessert. Die Rahmenspezifikationen von dem PmB Bitumen werden in EN 14023 definiert. Es besitzt eine größere Plastizitätsspanne (den Abstand zwischen Brechpunkt und Erweichungspunkt) und einen hohen Erweichungspunkt bei gleicher Penetration [15].

Für die Arbeitszwecke dieser Diplomarbeit wird ein polymermodifiziertes Bindemittel mit zwei verschiedenen Laborcodes wegen der verschiedenen Chargen benutzt und nämlich PmB 25/55-65 (B343A und B344A). Die Bindemittelkennwerte sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Bindemittelkennwerte [9]

Eigenschaften	Prüfnormen	PmB 25/55-65
Erweichungspunkt [°C]	EN 1427:2007	77,6
Eindringtiefe MW [1/10mm]	EN 1426:2007	50
Performance Grade [°C]	EN 14770:2012	>82-28
Viskosität MW bei 135°C [mPa.s]	EN 13302:2010	2242

4.1.2 Gesteinkörnung

Wie schon erwähnt wurde, werden in den geprüften Asphaltmischgütern Kantkorn und Rundkorn verwendet. In Abbildung 16 ist ein Vergleich zwischen den beiden Gesteinsarten dargestellt, um man eine bessere Vorstellung zu haben. Kantkorn ist porphyrischen, Rundkorn ist karbonatischen Ursprungs.



Abbildung 16: Vergleich zwischen Kantkorn $C_{100/0}$ und Rundkorn C_{NR} mit der gleichen Korngröße 8/11

Die Anforderungen, die an Kantkorn und Rundkorn gelten, sind in EN 13043 definiert. Sie unterteilen sich in Anforderungen an groben und feinen Gesteinskörnungen, physikalische Anforderungen und chemische Anforderungen und sie werden in verschiedene Kategorien zugeordnet [16]. Die Kategorie für den prozentualen Anteil gebrochener Flächen von Kantkorn gemäß vom Hersteller überlassener Leistungserklärung ist $C_{100/0}$ und bei Rundkorn gibt es keine Anforderung.

4.1.3 Verwendete Additive

Die Auswahl der Additive wird anhand gebrauchungsverhaltenorientierter Prüfungen an modifizierten Bitumen in den früheren Schritten des Projekts „High Efficiency Low Emission Mastic Asphalt“ durchgeführt. Sie sind Gegenstand der Diplomarbeit von Veselin Stoyanov „Beiträge zur Optimierung von temperaturabgesenkten Gussasphalten“ und sind Basis für die Ausarbeitung von den gegenwärtigen Projektschritten, mit denen die vorliegende Diplomarbeit sich beschäftigt.

Das Produkt, das die besten temperaturabsenkenden Eigenschaften bei den Laborprüfungen aufgewiesen hat, ist ein Amidwachs (AW) und heißt Licomont BS 100. Eine ausführliche Beschreibung aller am Markt vorhandenen Produkte kann man im Kapitel 2.3 finden. In der vorliegenden Arbeit wird 4M% Licomont (2,5M% für das kostenneutrale Mischgut) zu dem Grundbitumen zugegeben. In Tabelle 7 sind ganz kurz die Kennwerte von diesem Modifikationsmittel beschrieben.

Tabelle 7: Modifikationsmittelkennwerte

Eigenschaften	Amidwachs (Licomont B 100)
Erstarrungspunkt	135°C – 142°C
Tropfpunkt	140°C – 145°C
Zugabeform	Pulver oder Granulatform
Zusätzliche Information	Kann direkt dem Bitumen beigemischt oder erst während des Asphaltmischvorgangs zugesetzt werden. Das Produkt ist eine Mischung von Fettsäurederivaten und wird nicht zu den Amidwachsen, sondern zu den Spezialprodukten im Katalog von Clariant GmbH zugeteilt.

4.2 Prüfprogramm

Die festgelegten Gussasphaltrezepturen, deren Gebrauchseigenschaften untersucht werden sollen sind:

- MA 11 PmB 25/55-65 (Referenz)
- MA 11 PmB 25/55-65 Rundkorn 0/11
- MA 11 PmB 25/55-65 Rundkorn 4/11
- MA 11 PmB 25/55-65 Rundkorn 4/11 + 4%Amidwachs
- MA 11 PmB 25/55-65+4% Amidwachs
- MA 11 PmB 25/55-65 Rundkorn 0/11 + 4% Amidwachs
- MA 11 PmB 25/55-65 Rundkorn 0/11 + 2,5% Amidwachs

Die oben genannten Mischgüter zeigen eine Modifikation der Referenz durch den Ersatz von Kantkorn durch Rundkorn und die Verwendung von zwei verschiedenen Mengen (2,5[M]% und 4[M]%) Amidwachs. Die Bezeichnung 0/11 bedeutet, dass bei der Herstellung des Mischguts nur die entsprechende Gesteinsart verwendet wird. 4/11 ist ein Gemisch von Kantkorn und Rundkorn (die Kornklassen 0/4 sind Kantkorn und die Kornklassen 4/11 sind Rundkorn). Aus wirtschaftlichen Gründen entsteht der Bedarf ein neues kostenneutrales Mischgut mit 2,5% AW zu entwickeln. Ein kostenneutrales Mischgut heißt ein Mischgut, dessen Materialkosten gleich den Materialkosten des Referenzmischguts sind. Einerseits ist das Modifikationsmittel teuer, aber andererseits ist Rundkorn billiger als Kantkorn und dadurch kann man ein Preisausgleich erzielen.

Alle in dem gegenwärtigen Projektteil durchgeführten Prüfungen kann man in Tabelle 8 sehen. Obwohl in dem Rahmen Drehmomentmessung nur an dem kostenneutralen Mischgut durchgeführt wird, sind im Kapitel 5.1.1 alle Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 8: Prüfprogramm

Mischgut	0/4	4/11	Zusatz	Beständigkeit Hochtemperatur	Beständigkeit Tieftemperatur		Verarbeitbarkeit
				UCCT	TSRST	UTST	
MA 11 PmB	Kantkorn	Kantkorn		x	x	x	
MA 11 PmB	Kantkorn	Kantkorn	4% AW (Licomont)	x	x	x	
MA 11 PmB	RK	RK		x	x	x	
MA 11 PmB	Kantkorn	RK		x	x		
MA 11 PmB	Kantkorn	RK	4%AW (Licomont)	x	x		
MA 11 PmB	RK	RK	4% AW (Licomont)	x	x	x	
MA 11 PmB	RK	RK	2,5% AW (Licomont)	x	x	x	x

5 Gebrauchsverhalten von temperaturabgesenkten Gussasphalten

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse von allen Prüfungen, die für das Ziel der vorliegenden Arbeit durchgeführt werden, beschrieben.

5.1 Verarbeitbarkeit

5.1.1 Drehmomentmessung

Das nachfolgende Kapitel befasst sich mit der Bestimmung der Verarbeitbarkeit von temperaturabgesenkten Gussasphalten. Es wird das Drehmoment eines kostenneutralen Mischguts bestimmt. Eine genaue Beschreibung des theoretischen Prinzips dieser Prüfung kann man im Kapitel 3.2.1 finden.

In Abbildung 17 wird das Diagramm, das man unmittelbar aus der Drehmomentmessung bekommt, dargestellt. Sie zeigt die Abhängigkeit des Mischmoments von der Mischtemperatur. Mit der roten Linie wird die Erhöhung der Mischtemperatur bezeichnet. Man kann deutlich sehen, dass wegen der niedrigen Viskosität des Mischguts das Mischmoment mit der Steigerung der Temperatur kleiner wird.

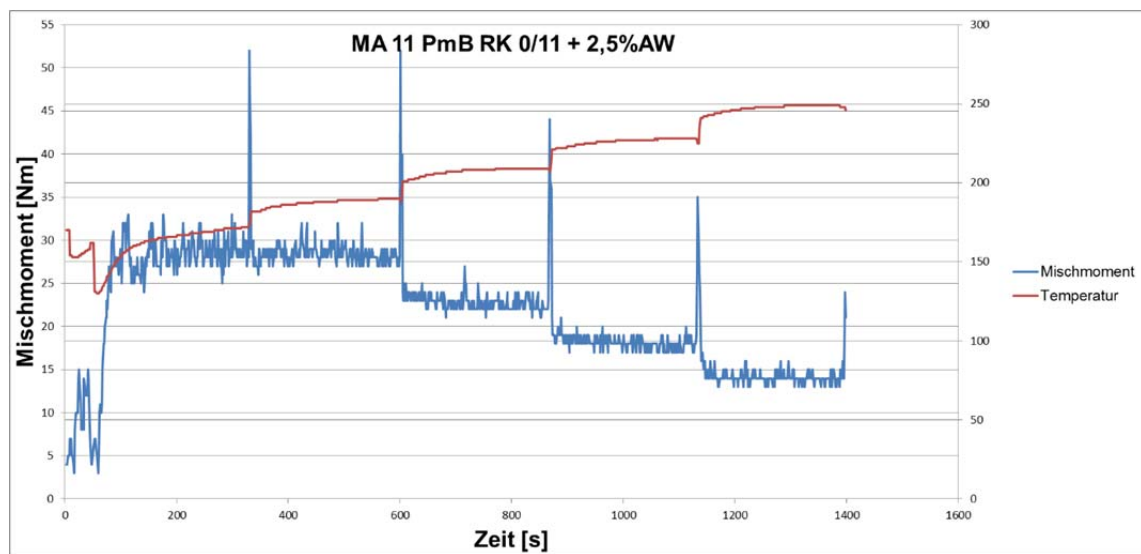


Abbildung 17: Mischmomentmessung des kostenneutralen Mischguts

Nachdem man das Mischmoment im Laufe der Zeit gemessen hat, erstellt man eine Grafik, wo die Veränderung des Mischmoments in Abhängigkeit der Zeit dargestellt wird. In dieser Grafik sind alle geprüften Mischgüter zugeordnet, damit sie verglichen werden können. Durch Untersuchungen wird festgelegt, dass das Referenzmischgut bei 230°C ein Mischmoment von 27,85 Nm besitzt. Ziel ist die Mischtemperaturen von allen untersuchten Mischgütern bei diesem Mischmoment zu bekommen. Dadurch kann man nicht nur einen Vergleich zwischen den Mischtemperaturen bei demselben Mischmoment machen, sondern auch die gewünschte Temperaturabsenkung in Bezug auf die Referenzmischtemperatur

bekommen. Für das kostenneutrale Mischgut ist die Temperatur, bei der das Mischmoment 27,85 Nm beträgt, 191°C.

Die erzielte Temperaturabsenkung wird auf Abbildung 18 gezeigt. Die Temperaturabsenkung mit dem Ansatz von 4% Amidwachs ist -27°C. Mit der Verwendung von Rundkorn und 4% Amidwachs ist sie -51°C. Entsprechend ist die Temperaturabsenkung bei dem kostenneutralen Mischgut mit dem kleineren Anteil an Amidwachs (2,5%) kleiner als -51°C aber auch befriedigend: -39°C

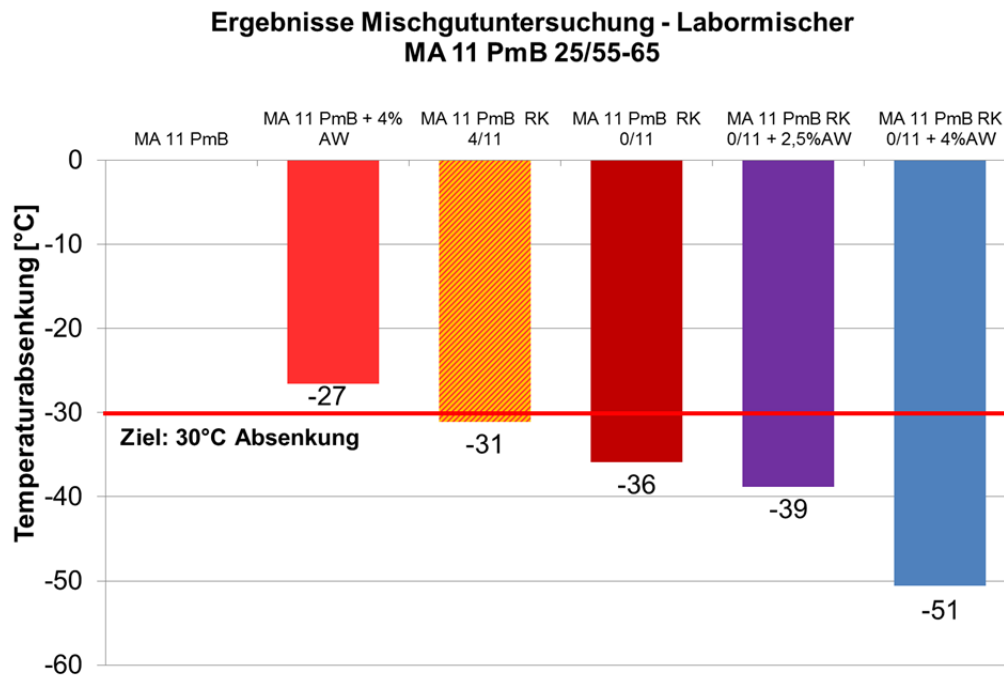


Abbildung 18: Temperaturabsenkung [°C]

Diese Ergebnisse folgen auch den Trend für die Viskositätsreduktion und die abgesenkten Mischtemperaturen. Im Gegensatz zu MA 11 PmB + 4%AW, weist das kostenneutrale Mischgut eine deutlichere Viskositätsreduktion und günstige Einbaubedingunge bei niedrigeren Temperaturen. Obwohl MA 11 PmB RK 0/11 + 4%AW die größte Temperaturabsenkung zeigt, kann man schlussfolgern, dass bei dem kostenneutralen Mischgut immer noch ein günstiges Einbauverhalten prognostiziert wird.

5.2 Tieftemperaturverhalten

5.2.1 TSRST (Abkühlprüfung)

Das Ergebnis bei der Abkühlprüfung ist der Verlauf der kryogenen Zugspannungen in Abhängigkeit zu der Temperatur, sowie die Bruchtemperatur T_{crack} und die Bruchspannung σ_{crack} .

In Abbildung 19 erkennt man den Verlauf der kryogenen Zugspannungen für die verschiedenen Gussasphaltrezepturen. Hierbei kommt es zu ähnlichem Tieftemperaturverhalten. Dabei ist es anzumerken, dass die TSRST-Ergebnisse von dem Referenzmischgut und dem Mischgut mit 4% Amidwachs nahezu übereinstimmen. Bei den beiden Mischgütern ist dieselbe Gesteinsart (Kantkorn) verwendet.

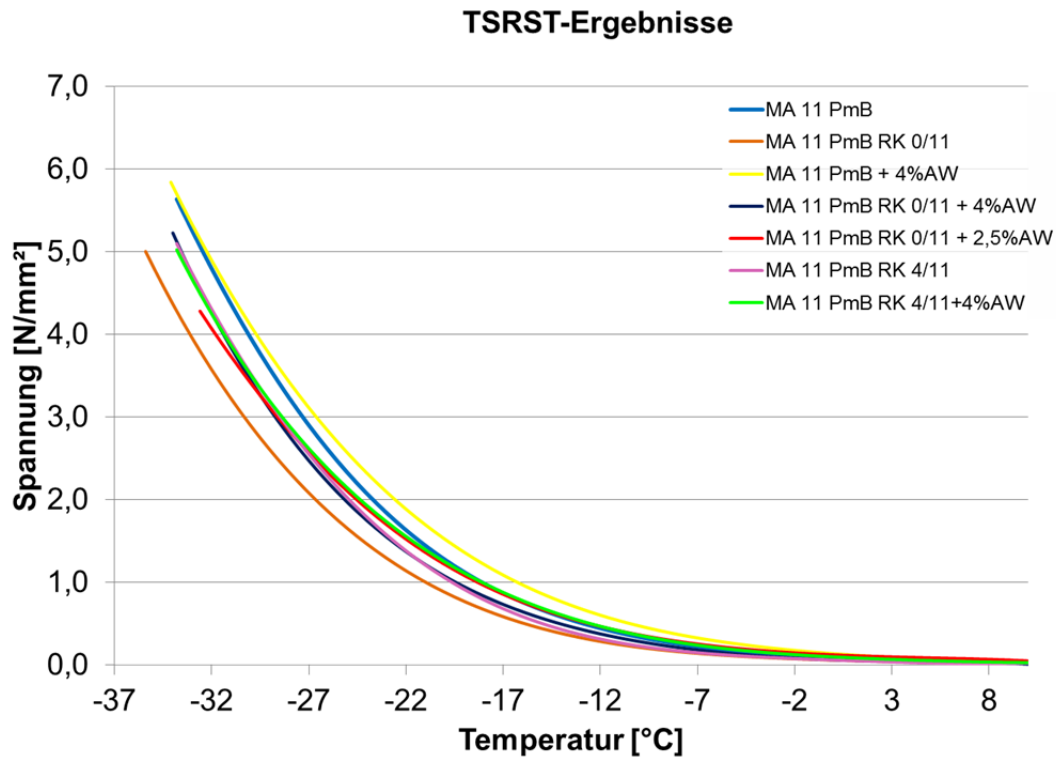


Abbildung 19: TSRST-Prüfergebnisse vom Gussasphalt

In Abbildung 20 ist der Vergleich zwischen den Bruchtemperaturen (T_{Ausfall}) von den einzelnen Gussasphaltmischgütern basierend auf den TSRST-Ergebnissen. In dieser Abbildung ist ebenfalls zu erkennen, dass die Änderung der Bruchtemperatur sehr klein ist und fast gleich dem Referenzwert ist. Die Veränderung der Bruchspannung im Vergleich der Referenz ist auch sehr gering und bestätigt die gute Beständigkeit dieser Asphaltart im Tieftemperaturbereich. Die temperaturabsenkenden Methoden und Modifikationsmitteln haben geringe Einflüsse auf T_{Ausfall} und damit die Tieftemperaturbeständigkeit von Gussasphalt.

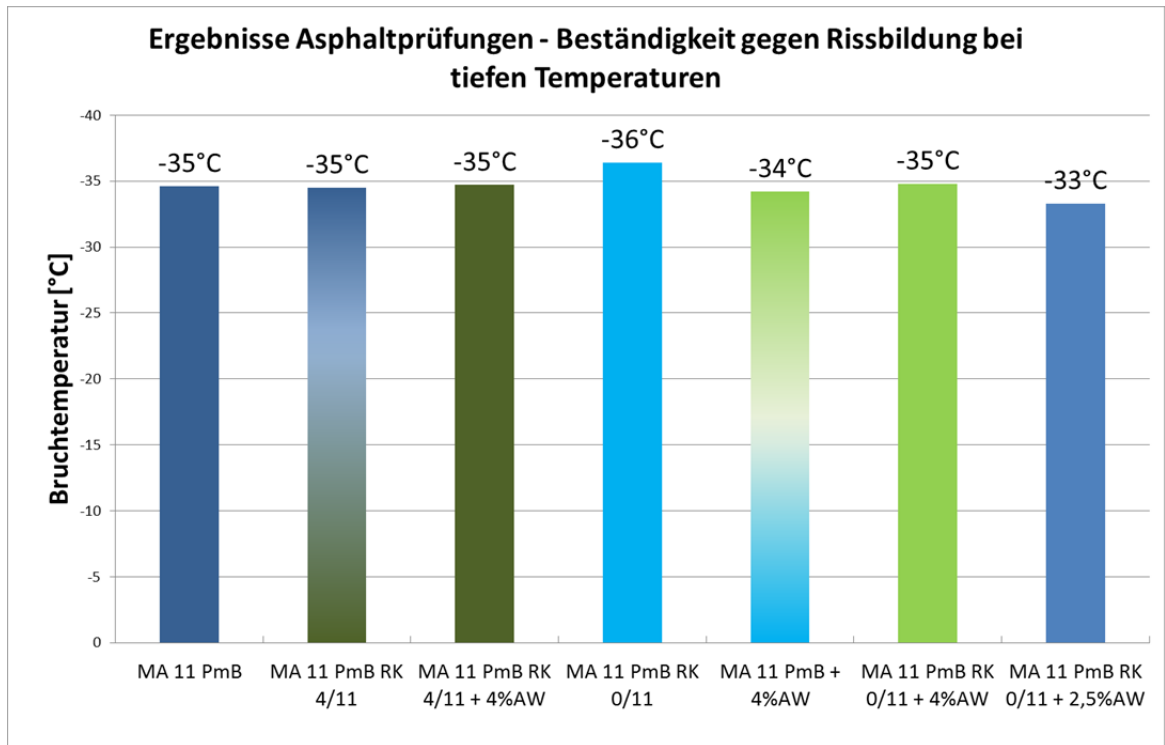


Abbildung 20: Vergleich zwischen den Bruchtemperaturen von den untersuchten Gussasphaltmischgütern

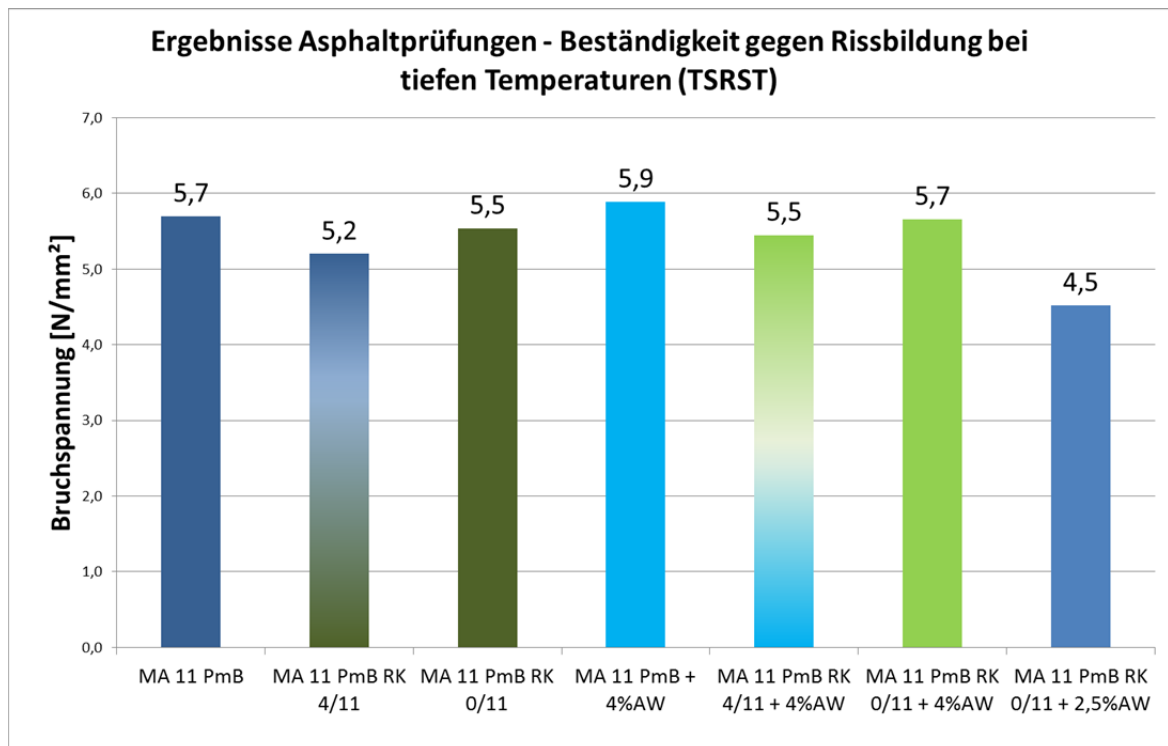


Abbildung 21: Vergleich zwischen den Bruchspannungen von den Untersuchten Gussasphaltmischgütern

Eine detaillierte Ausstellung der TSRST-Prüfergebnisse ist im Anhang B zu finden.

5.2.2 UTST (Direkter Zugversuch)

In dem folgenden Kapitel sind die Ergebnisse von den UTST-Prüfungen dargestellt. Die maximalen Zugspannungen bei vier verschiedenen Temperaturen für die untersuchten Mischgüter werden auf Abbildung 22 abgebildet. Dabei ist anzumerken, dass auf der Grafik die mittleren Zugfestigkeiten bei -35°C, -20°C, -5°C und +10°C von allen untersuchten Probekörpern gezeigt werden. In dieser Abbildung sind die fünf geprüften Gussasphaltemischgüter zu erkennen: MA 11 PmB, MA 11 PmB + 4%AW, MA 11 PmB RK 0/11, MA 11 PmB RK 0/11 + 4%AW und MA 11 PmB RK 0/11 + 2,5%AW.

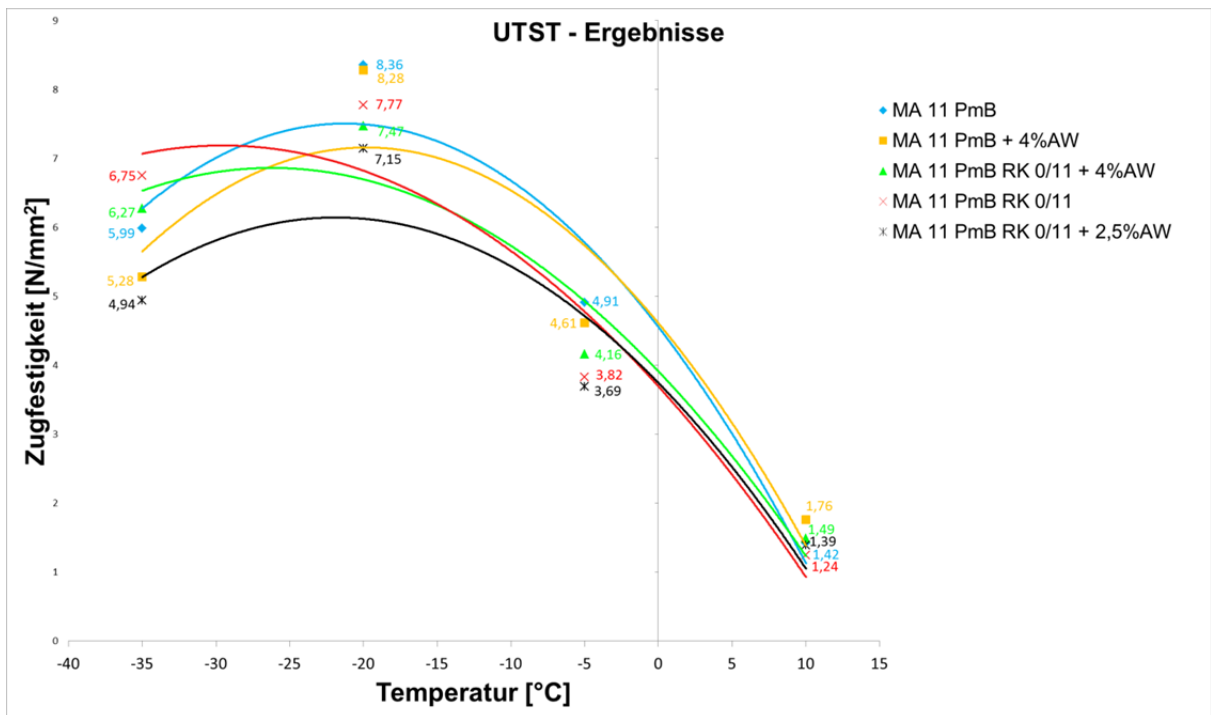


Abbildung 22: UTST-Prüfergebnisse

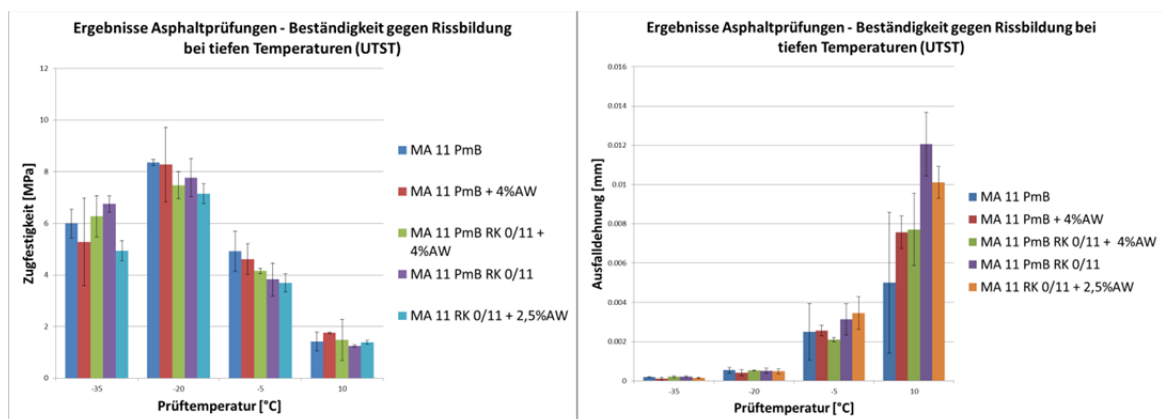


Abbildung 23: Vergleich von der Zugfestigkeit und der Ausfalldehnung zwischen den einzelnen Gussasphaltemischgütern

Wie es aus den Grafiken hervorgeht, hat Gussasphalt wegen des hohen Anteils an Bitumen eine gute Beständigkeit im Tieftemperaturbereich.

Eine detaillierte graphische und tabellarische Darstellung der UTST-Ergebnisse kann man im Anhang C finden.

5.3 Verformungsverhalten

5.3.1 UCCT (Einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung)

Wie im Kapitel 3.2.4.7 erklärt wurde, ergibt die UCCT-Prüfung die maximale Deformation des Probekörpers in Prozent nach 3600 Lastwechseln und die Steigung der linearen Regression von dem 1000ten bis zu dem 3600ten Lastwechsel in $[\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}]$ bei einer Prüftemperatur von 50°C als Resultat (siehe Abbildung 15). Es wird ein Vergleich zwischen den Werten, die man bei den einzelnen Mischgutprüfungen bekommt, gemacht. Da das Bitumen vom Charge B343A nicht genug war, um alle Prüfungen durchgeführt zu werden, ist eine Wiederholung der Prüfungen mit dem neuen Bitumencharge B344A nötig. Um den Einfluss der verschiedenen Bitumenchargen auf den Prüfergebnissen besser darzustellen, sind auch die Ergebnisse mit den verschiedenen Bitumenchargen B343A und B344A aufgezeichnet (siehe Abbildung 24, Abbildung 25).

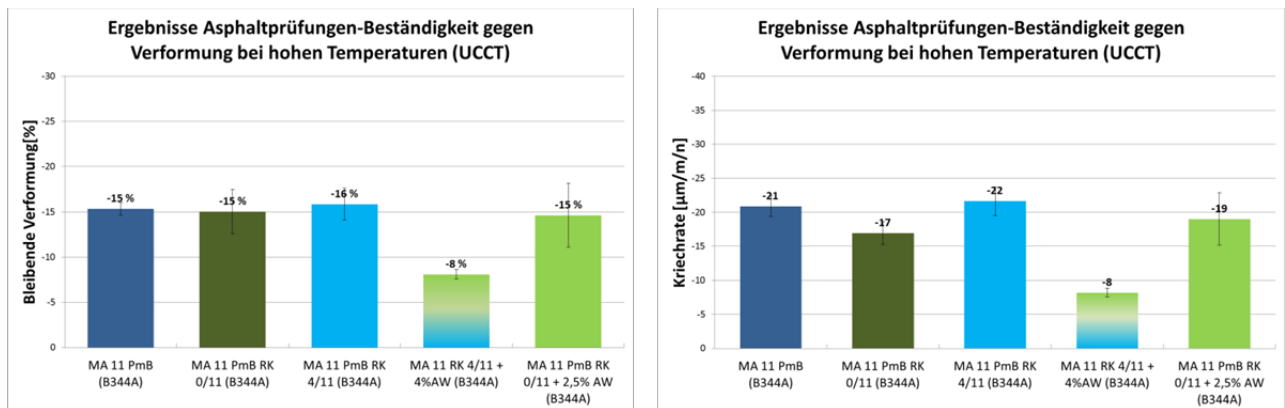


Abbildung 24: Bleibende Verformung und Kriechrate von Mischgütern mit Bitumenchargen B344A bei 50°C

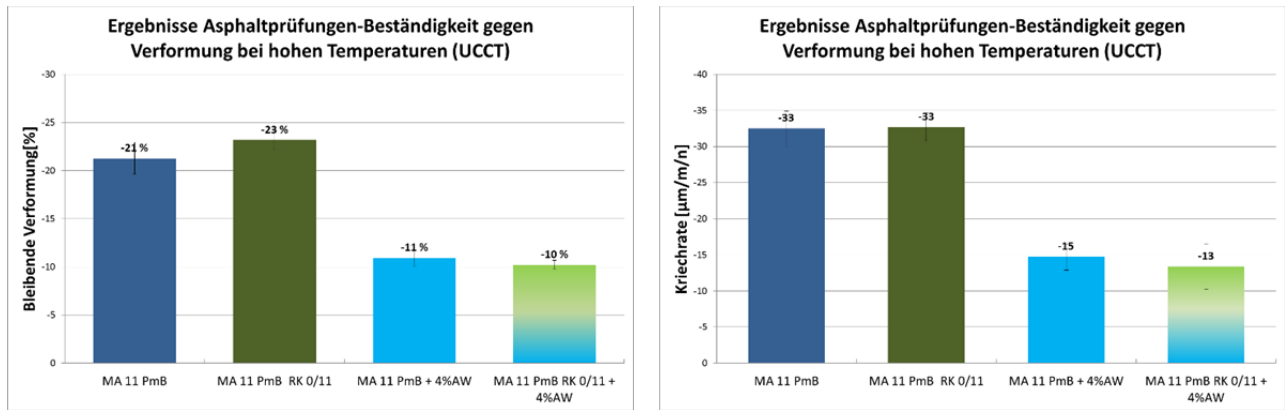


Abbildung 25: Bleibende Verformung und Kriechrate von Mischgütern mit Bitumenchargen B343A bei 50°C

In Abbildung 24 ist zu erkennen, dass die bleibende Verformung bei den Mischgütern MA 11 PmB, MA 11 PmB RK 0/11 und MA 11 PmB RK 4/11 fast die gleiche ist. Mit der Verwendung von Amidwachs wird sie mit etwa 50% kleiner. Bei dem kostenneutralen Mischgut (MA 11 PmB RK 0/11 + 2,5% AW) ist die bleibende Verformung -15%, weil die Amidwachsmenge reduziert wird. Die Kriechrate bei dem mit 4% Amidwachs modifizierten Gussasphaltmischgut ist auch kleiner im Vergleich zu den anderen Mischgütern. Die Ergebnisse bei den Mischgütern mit Bitumenchargen B343A bestätigen auch, dass die bleibende Verformung und die Kriechrate sich von dem Amidwachs beeinflussen lassen. Das Mischgut MA 11 PmB +4%AW besitzt eine fast zweimal niedrigere bleibende Verformung und Kriechrate als das Referenzmischgut (11% für die bleibende Verformung und 15[$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$] für die Kriechrate). Beim MA 11 PmB RK 0/11+4% AW sehen die Ergebnisse noch besser aus (siehe Abbildung 25). Dabei ist eine Verringerung der bleibenden Verformung und der Kriechrate mit der Verwendung von Rundkorn anzumerken. Man kann feststellen, dass das Modifikationsmittel einen positiven Einfluss auf das Hochtemperaturverhalten von Gussasphalt hat und seine Eigenschaften verbessert. Rundkorn beeinflusst das Mischgut nicht negativ. In diesen Abbildungen ist auch zu erkennen, dass dasselbe Bitumen, aber aus verschiedenen Bitumenchargen, einen Einfluss auf die Ergebnisse hat.

6 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Gussasphalt besitzt einen höheren Anteil an Bitumen als der konventionelle Walzasphalt. Aus diesem Grund weist er bessere Verdichtungseigenschaften und höheren Widerstand im Tieftemperaturbereich auf. Gussasphalt wird bei hohen Temperaturen verarbeitet und eingebaut, was eine höhere Umweltbelastung durch den erhöhten Energiebedarf und schädliche Emissionen verursacht.

Die Asphaltindustrie bemüht sich Misch- und Einbautemperaturen vom Gussasphalt abzusenken. Ein wichtiger Anreiz dazu ist das 2005 in Kraft gesetzte Kyoto-Protokoll, das Grenzwerte für Ausstoße und Emissionen beim Einbau vom Asphalt festlegt.

Die Temperaturabsenkung bei dem Misch- und Einbauprozess vom Gussasphalt bringt mit sich viele Vorteile. Durch in den letzten Jahren entwickelten Verfahren und Modifikationsmitteln für Temperaturabsenkung kann man eine Viskositätsreduktion des Asphaltmischguts erzielen, die zur Verringerung des Energiebedarfs in der Asphaltmischanlage und einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes führen. Neben den Vorteilen, die mit der geringeren Umweltbelastung verbunden sind, kommt es zu verbesserten Arbeitsbedingungen der Beschäftigten durch eine Verringerung der gefährlichen Dämpfe und Aerosole beim Einbauprozess.

Momentan die am meisten verwendete Methode für Temperaturabsenkung ist die Wachsmodifikation. Dadurch wird nicht nur die Misch- und Einbautemperatur vom Gussasphalt beeinflusst, sondern auch sein Gebrauchsverhalten, was Gegenstand dieser Arbeit ist. Nach einer umfangreichen Studie der am Markt vorhandenen Additiven und temperaturabsenkenden Methoden und aufbauend auf schon durchgeführten Versuchen an modifizierten Bindemitteln, wird der Schwerpunkt auf die Temperaturabsenkung durch Amidwachs und Rundkorn gesetzt. Für die Zwecke dieser Arbeit werden Gussasphaltmischgüter MA11 mit modifizierten Bindemitteln mit 0M%, 2,5M% und 4M% Additivmenge Amidwachs hergestellt. Die Gussasphaltuntersuchungen werden in Prüfkriterien unterteilt, die sich mit der Verarbeitbarkeit, Verformungsverhalten und Tieftemperaturverhalten befassen. Basierend auf den Ergebnissen von den gebrauchsverhaltenorientierten Prüfungen an modifizierten Gussasphaltmischgütern werden seine Gebrauchseigenschaften charakterisiert und evaluiert. Diese Evaluierung erfolgt durch Vergleich von den Prüfergebnissen zwischen einem nicht modifizierten Gussasphaltmischgut und den modifizierten mit Amidwachs und Rundkorn Gussasphalten.

Um die Verarbeitbarkeit vom Gussasphalt bewerten zu können, wird eine Drehmomentmessung durchgeführt. Die Ergebnisse bestätigen die Prognose, dass durch die Verwendung von Rundkorn zusammen mit Wachsmodifikation eine verbesserte Verarbeitbarkeit des Asphaltmischguts erzielt werden kann. Es wird nachgewiesen, dass bei gleichbleibendem Drehmoment Gussasphalt bei Temperaturen unter 200°C hergestellt und verarbeitet werden kann.

Das Tieftemperaturverhalten vom Gussasphalt wird durch die UTST- und die TSRST-Prüfungen untersucht. Wie zuvor erwähnt wurde, hat Gussasphalt wegen des hohen Anteils an Bitumen eine große Beständigkeit bei tiefen Temperaturen. Das Tieftemperaturverhalten wird durch Rundkornansatz und/oder Wachsmodifikation nicht beeinflusst und die Beständigkeit in tiefen Temperaturen bleibt unverändert. Die Qualität des Mischguts bleibt unverändert.

Bei den UCCT-Prüfungen untersucht man die Beständigkeit vom Gussasphalt gegen bleibende Verformungen im Hochtemperaturbereich. Die Ergebnisse zeigen, dass man durch Modifikation eine bessere Verformungsresistenz gewährleisten kann. Mit Amidwachs sind die Verformungen sogar zweimal niedriger als bei dem unmodifizierten Mischgut. Rundkorn beeinflusst die Hochtemperatureigenschaften von Gussasphalt nicht negativ. Dazu ist auch anzumerken, dass durch die Verringerung der Steigung der Verformung-Lastwechsel-Kurve eine langfristige Resistenz gegen Verformungen gesichert werden kann.

Abschließend ist zu bemerken, dass in dieser Arbeit besprochene Laborprüfergebnisse eine Basis für die weitere Entwicklung von temperaturabgesenkten Gussasphalten sind. Diese Diplomarbeit soll damit die Basis für weiterführende Studien über zu diesem Thema sein. Vor allem ist es zu empfehlen umfangreichere energetische Analysen bei der Herstellung vom Gussasphalt durchzuführen.

Literaturverzeichnis

- [1] M. Wagner, Temperaturabgesenkte Asphalte gebrauchungsverhaltenorientierte Untersuchungen an Bitumen und Asphalten, 2010.
- [2] „Klimawandel und Klimafolgen,“ [Online]. Available: <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Datei:Treibhausgase2005.jpg>. [Zugriff am 10 13 2014].
- [3] „Europäische Umweltagentur,“ [Online]. Available: <http://www.eea.europa.eu/de/pressroom/newsreleases/eu-treibhausgase-im-jahr-2011>. [Zugriff am 17 11 2014].
- [4] Umweltbundesamt, Klimaschutzbericht, 2013.
- [5] „Gussasphalt,“ [Online]. Available: <http://de.wikipedia.org/wiki/Gussasphalt>. [Zugriff am 21 10 2014].
- [6] ÖNORM B 3585: Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen Gussasphalt, Ausgabe: 08-2012.
- [7] Gesprächskreis Bitumen, Temperaturabgesenkte Asphalte, 2009.
- [8] Arbeitsgruppe Asphaltbauwesen, Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt, 2011.
- [9] IVWS Labor, Projektdaten, 2015.
- [10] IVWS Labor, Arbeitsanweisung - Bestimmung der Drehmoment für Heiasphalt, 2014.
- [11] ÖNORM EN 12697-46: Prüfverfahren für Heiasphalt – Widerstand gegen Kälterisse und Tieftemperaturverhalten bei einachsigen Zugversuchen, Ausgabe: 07-2012.
- [12] R. Blab, „Skriptum für konstruktiver Straßenbau,“ 2013.
- [13] ÖNORM EN 12697-25: Prüfverfahren für Heiasphalt - Druckschwellversuch, Ausgabe: 04-2005.
- [14] ÖNORM EN 12591: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Anforderungen an Straßenbaubitumen, Ausgabe: 08-2009.

- [15] ÖNORM EN 14023: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Rahmenwerk für die Spezifikation von polymermodifizierten Bitumen, Ausgabe: 04-2013.
- [16] ÖNORM EN 13043: Gesteinskörnungen für Asphalt und Oberflächenbehandlungen für Straßen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen, Ausgabe: 07-2002.
- [17] Gestrata, Asphalt Handbuch, 1996.
- [18] E. Springer; F. Thienann und R. Zutz, Messung der Verarbeitbarkeit von Gussasphalt, 1995.


I. Abbildungsverzeichnis


Abbildung 1: Graph für die Konzentration von Kohlendioxid (CO ₂), Methan (CH ₄) und Distickstoffoxid (N ₂ O) seit dem Jahr Null [2]	8
Abbildung 2: Verlauf der THG-Emissionen Österreichs im Vergleich zum Kyoto-Ziels [4]	9
Abbildung 3: Querschnitt einer Gussasphaltdeckschicht.....	12
Abbildung 4: Exposition bei konventionellem und temperaturabgesenktem Walzasphalt [7].....	19
Abbildung 5: Exposition beim maschinellen (links) und händischen (rechts) Einbau vom Gussasphalt [7]	19
Abbildung 6: Zeolith Feingranulat (a), Zeolith Pulver (b)	25
Abbildung 7: Überblick – Prüfungen	27
Abbildung 8: Prüfgeräte bei der Drehmomentmessung.....	28
Abbildung 9: Versuchsbegriffe [12].....	30
Abbildung 10: Prüfgerät beim UTST.....	30
Abbildung 11: Einspannen eines Probekörpers	32
Abbildung 12: Prüfkompone[n]te [12]	33
Abbildung 13: Prüfeinrichtung	34
Abbildung 14: Die Belastungs- und Verformungsgraph im Laufe der Zeit [13]	36
Abbildung 15: Verformung-Lastwechsel-Diagramm bei einem Asphaltmischgut [9].....	37
Abbildung 16: Vergleich zwischen Kantkorn C _{100/0} und Rundkorn C _{NR} mit der gleichen Korngröße 8/11	39
Abbildung 17: Mischmomentmessung des kostenneutralen Mischguts.....	42
Abbildung 18: Temperaturabsenkung [°C].....	43
Abbildung 19: TSRST-Prüfergebnisse vom Gussasphalt.....	44
Abbildung 20: Vergleich zwischen den Bruchtemperaturen von den untersuchten Gussasphaltmischgütern	45
Abbildung 21: Vergleich zwischen den Bruchspannungen von den untersuchten Gussasphaltmischgütern	45
Abbildung 22: UTST-Prüfergebnisse.....	46
Abbildung 23: Vergleich von der Zugfestigkeit und der Ausfalldehnung zwischen den einzelnen Gussasphaltmischgütern	46
Abbildung 24: Bleibende Verformung und Kriechrate von Mischgütern mit Bitumenchargen B344A bei 50°C	47
Abbildung 25: Bleibende Verformung und Kriechrate von Mischgütern mit Bitumenchargen B343A bei 50°C	48


II. Tabellenverzeichnis


Tabelle 1: Ausstoß gegenüber Dämpfen und Aerosolen bei der Heißverarbeitung vom Bitumen [7] .	14
Tabelle 2: Übersicht von organischen Modifikationsmitteln [9].....	22
Tabelle 3: Übersicht von organischen Modifikationsmitteln [9].....	24
Tabelle 4: Übersicht von mineralischen und chemischen Additiven [9].....	24
Tabelle 5: Übersicht von verfahrenstechnischen Methoden [9]	26
Tabelle 6: Bindemittelkennwerte [9]	38
Tabelle 7: Modifikationsmittelkennwerte.....	40
Tabelle 8: Prüfprogramm	41


III. Anhang A


 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology		Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23399 DVR:0005886			
		Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung		P404 Seite 1 von 1	
AuftraggeberIn	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen				
Datum	30.07.2014				
Projekt	14403				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2007				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS431	Asphaltsorte	MA 11 PmB 25/55-65		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,470	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,470		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K464	Freundl	5,0	16.055	16.055	
T522	Freundl	6,0	19.266	19.266	
				erforderliche Masse [g]	35.321
				aufgerundete Masse [g]	38.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		8,20	3116,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			3184,6	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G667, G669, G670, G672		91,95	34941,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B343A	PmB 25/55-65	8,20	3116,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	26,25	9975,00	
[0 - 2]	G667	Loja 0/2	19,50	7410,00	
[2 - 4]	G672	Loja 2/4	16,40	6232,00	
[4 - 8]	G669	Loja 4/8	11,80	4484,00	
[8 - 11]	G670	Loja 8/11	18,00	6840,00	
Summe			100,15	38.057,0	


 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology		Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23399 DVR:0005888			
Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung					P404 Seite 1 von 1
AuftraggeberIn	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen				
Datum	23.10.2014				
Projekt	14403				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2007				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS487	Asphaltsorte	MA 11 PmB 25/55-65		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,470	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,470		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K489	Freundl	5,0	16.055	16.055	
T542	Freundl	6,0	19.266	19.266	
			erforderliche Masse [g]	35.321	
			aufgerundete Masse [g]	38.000	
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		8,20	3116,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			3184,6	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G667, G669, G670, G672		91,95	34941,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B344A	PmB 25/55-65	8,20	3116,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	26,25	9975,00	
[0 - 2]	G667	Loja 0/2	19,50	7410,00	
[2 - 4]	G672	Loja 2/4	16,40	6232,00	
[4 - 8]	G669	Loja 4/8	11,80	4484,00	
[8 - 11]	G670	Loja 8/11	18,00	6840,00	
		Summe	100,15	38.057,0	


 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology		Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23309 DVR:0005888			
Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung			P404 Seite 1 von 1		
AuftraggeberIn	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen				
Datum	31.07.2014				
Projekt	14403				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2007				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS434	Asphaltsorte	MA 11 PmB 25/55-65 4%Licomont		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,470	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,470		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K466	Freundl	5,0	16.055	16.055	
T524	Freundl	6,0	19.266	19.266	
Z080	Freundl	2,0	6.422	6.422	
				erforderliche Masse [g]	41.743
				aufgerundete Masse [g]	44.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		8,20	3608,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			3687,4	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G667, G669, G670, G672		91,95	40458,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen B343	A_04.0_S18	PmB 25/55-65 + 4% Licomont	8,20	3608,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	26,25	11550,00	
[0 - 2]	G667	Loja 0/2	19,50	8580,00	
[2 - 4]	G672	Loja 2/4	16,40	7216,00	
[4 - 8]	G669	Loja 4/8	11,80	5192,00	
[8 - 11]	G670	Loja 8/11	18,00	7920,00	
Summe			100,15	44.066,0	


 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology		Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23399 DVR:0005888			
Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung				P404 Seite 1 von 1	
AuftraggeberIn	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen				
Datum	07.11.2014				
Projekt	14403				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2007				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS499	Asphaltsorte	MA 11 PmB 25/55-65 4%Licomont		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,470	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,470		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K499	Freundl	5,0	16.055	16.055	
				erforderliche Masse [g]	16.055
				aufgerundete Masse [g]	19.000
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			8,20	1558,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				1592,3
Zusatz	-			-	-
Gestein	F037, G667, G669, G670, G672			91,95	17470,5
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B344A_04.0_S1	PmB 25/55-55 + 4% Licomont	8,20	1558,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	26,25	4987,50	
[0 - 2]	G667	Loja 0/2	19,50	3705,00	
[2 - 4]	G672	Loja 2/4	16,40	3116,00	
[4 - 8]	G669	Loja 4/8	11,80	2242,00	
[8 - 11]	G670	Loja 8/11	18,00	3420,00	
Summe			100,15	19.028,5	


 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology		Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23399 DVR:0005888			
Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung				P404 Seite 1 von 1	
AuftraggeberIn	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen				
Datum	21.08.2014				
Projekt	14403				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2007				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS453	Asphaltsorte	MA 11 PmB 25/55-65 Rundkorn		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,470	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,470		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K478	Freundl	5,0	16.055	16.055	
				erforderliche Masse [g]	16.055
				aufgerundete Masse [g]	19.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		8,20	1558,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			1592,3	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G681, G687, G688, G689		91,90	17461,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B343A	PmB 25/55-65	8,20	1558,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	27,50	5225,00	
[0 - 2]	G687	Rundkorn Badenerstraße 0/2	21,50	4085,00	
[2 - 4]	G688	Rundkorn Badenerstraße 2/4	8,10	1539,00	
[4 - 8]	G681	Rundkorn Badenerstraße 4/8	17,80	3382,00	
[8 - 11]	G689	Rundkorn Badenerstraße 8/11	17,00	3230,00	
Summe			100,10	19.019,0	


 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology		Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23399 DVR:0005886			
Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung			P404 Seite 1 von 1		
AuftraggeberIn	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen				
Datum	03.11.2014				
Projekt	14403				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2007				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS494	Asphaltsorte	MA 11 PmB 25/55-65 Rundkorn		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,470	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,470		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K495	Freundl	5,0	16.055	16.055	
T543	Freundl	6,0	19.266	19.266	
				erforderliche Masse [g]	35.321
				aufgerundete Masse [g]	38.000
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			8,20	3116,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				3184,6
Zusatz	-			-	-
Gestein	F037, G681, G687, G688, G689			91,90	34922,0
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B344A	PmB 25/55-65	8,20	3116,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	27,50	10450,00	
[0 - 2]	G687	Rundkorn Badenerstraße 0/2	21,50	8170,00	
[2 - 4]	G688	Rundkorn Badenerstraße 2/4	8,10	3078,00	
[4 - 8]	G681	Rundkorn Badenerstraße 4/8	17,80	6764,00	
[8 - 11]	G689	Rundkorn Badenerstraße 8/11	17,00	6460,00	
Summe			100,10	38.038,0	

 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology		Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23399 DVR:0005888			
Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung					P404 Seite 1 von 1
AuftraggeberIn	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen				
Datum	19.08.2014				
Projekt	14403				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2007				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS451	Asphaltsorte	MA 11 PmB 25/55-65 + 4% Licomont Rundkorn		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,470	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,470		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K476	Freundl	5,0	16.055	16.055	
Z083	Freundl	2,0	6.422	6.422	
			erforderliche Masse [g]	22.477	
			aufgerundete Masse [g]	25.000	
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		8,20	2050,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			2095,1	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G681, G687, G688, G689		91,90	22975,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen B343A	04.0_S18	PmB 25/55-65 + 4% Licomont	8,20	2050,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	27,50	6875,00	
[0 - 2]	G687	Rundkorn Badenerstraße 0/2	21,50	5375,00	
[2 - 4]	G688	Rundkorn Badenerstraße 2/4	8,10	2025,00	
[4 - 8]	G681	Rundkorn Badenerstraße 4/8	17,80	4450,00	
[8 - 11]	G689	Rundkorn Badenerstraße 8/11	17,00	4250,00	
		Summe	100,10	25.025,0	

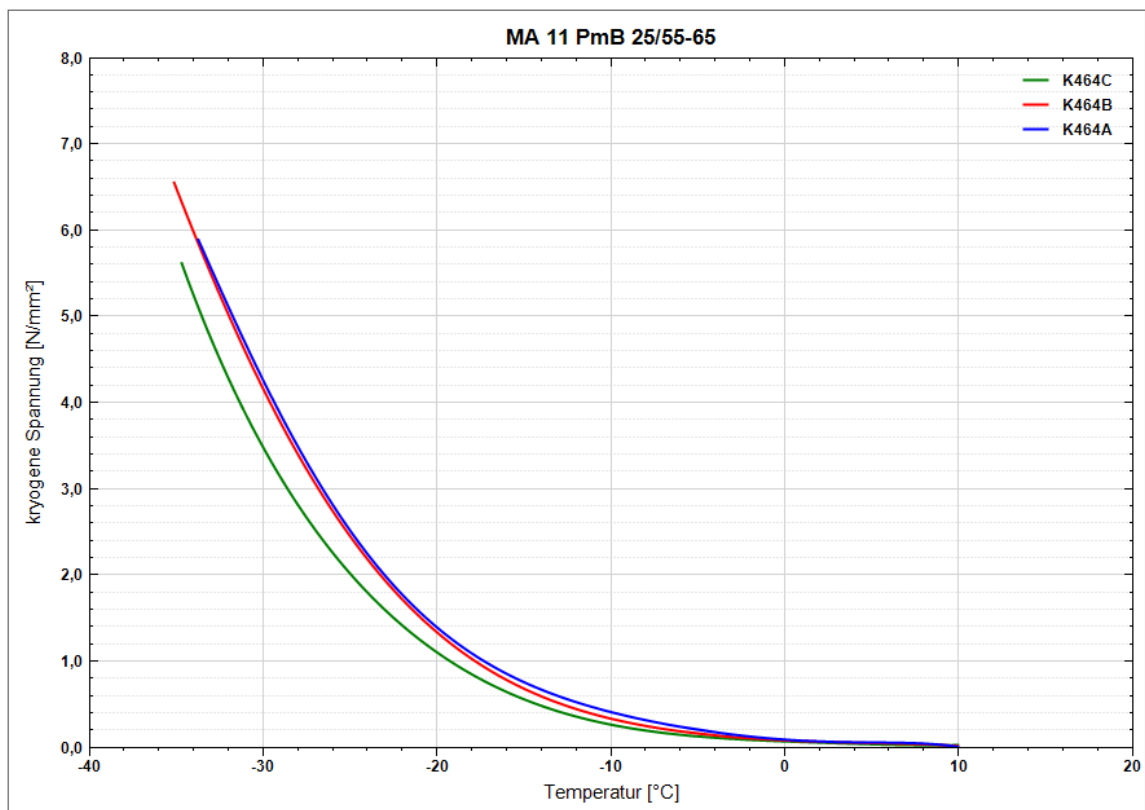
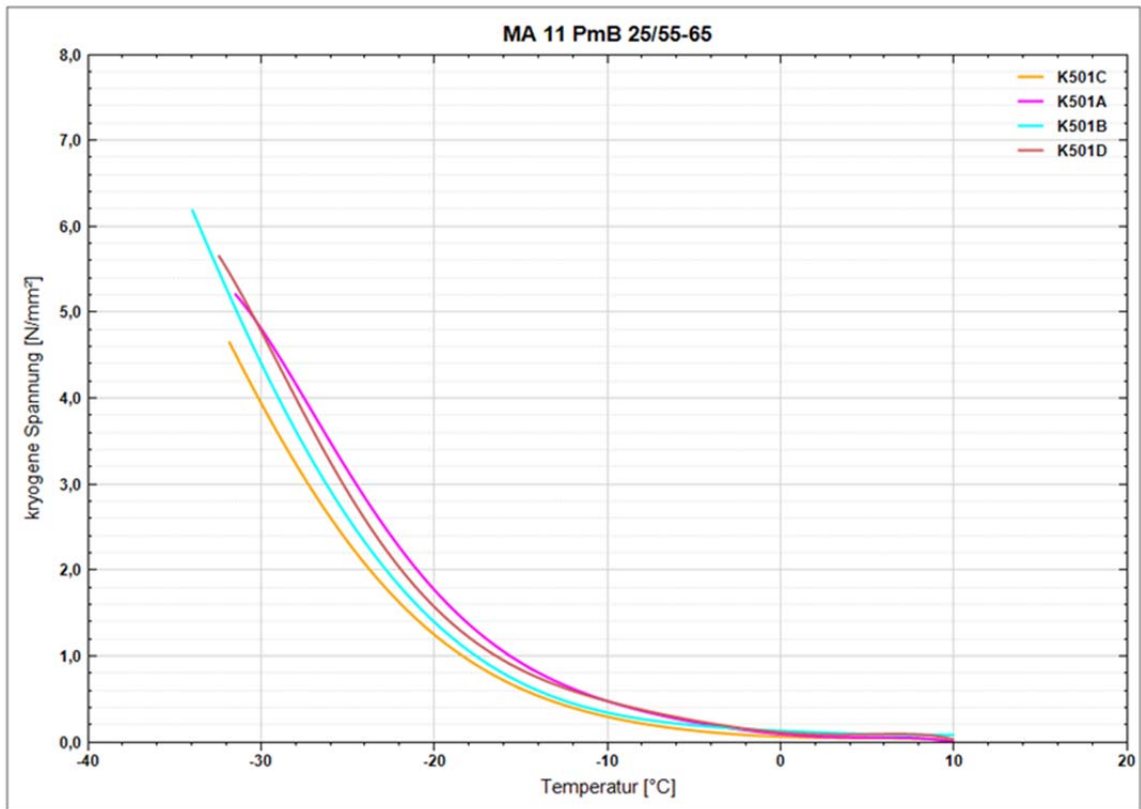
 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology		Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23399 DVR:0005886			
Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung			P404 Seite 1 von 1		
AuftraggeberIn	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen				
Datum	07.11.2014				
Projekt	14403				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2007				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS500	Asphaltsorte	MA 11 PmB 25/55-65 + 4% Licomont Rundkorn		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,470	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,470		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K500	Freundl	5,0	16.055	16.055	
			erforderliche Masse [g]	16.055	
			aufgerundete Masse [g]	19.000	
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			8,20	1558,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				1592,3
Zusatz	-			-	-
Gestein	F037, G681, G687, G688, G689			91,90	17461,0
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B344A_04.0_S1	PmB 25/55-55 + 4% Licomont	8,20	1558,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	27,50	5225,00	
[0 - 2]	G687	Rundkorn Badenerstraße 0/2	21,50	4085,00	
[2 - 4]	G688	Rundkorn Badenerstraße 2/4	8,10	1539,00	
[4 - 8]	G681	Rundkorn Badenerstraße 4/8	17,80	3382,00	
[8 - 11]	G689	Rundkorn Badenerstraße 8/11	17,00	3230,00	
		Summe	100,10	19.019,0	

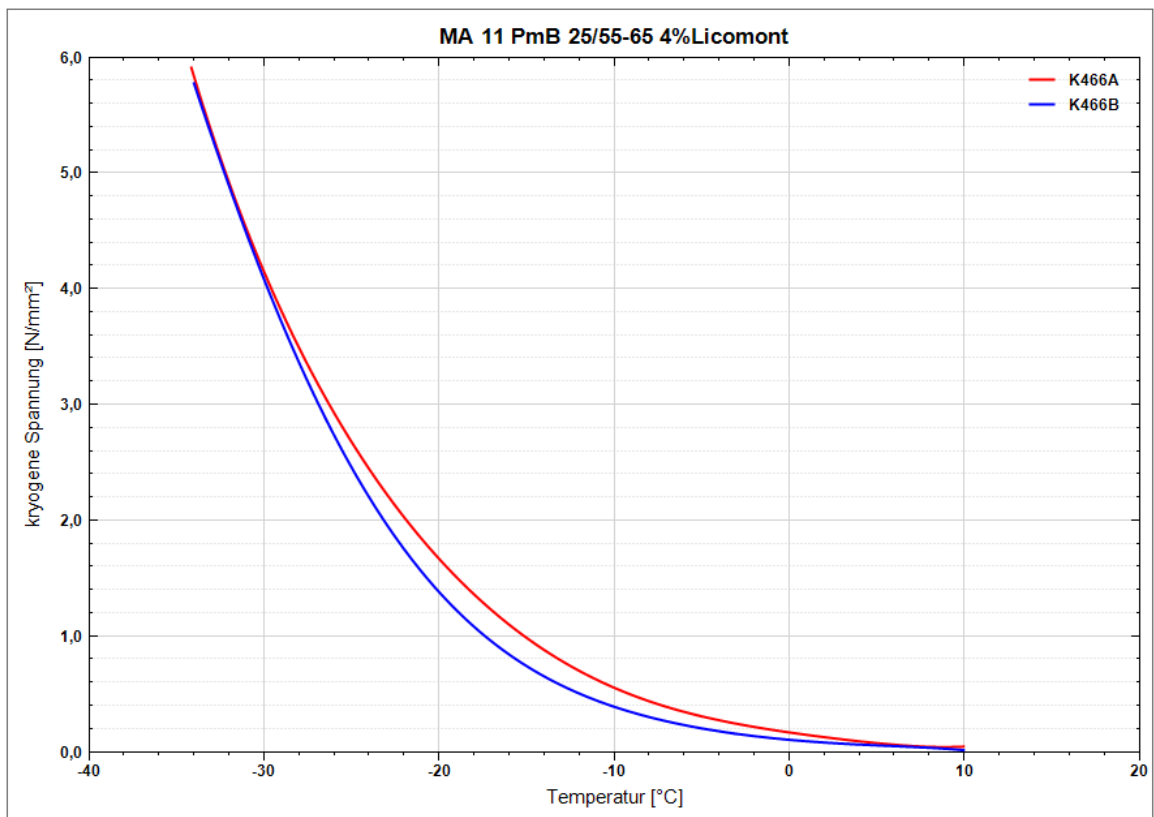
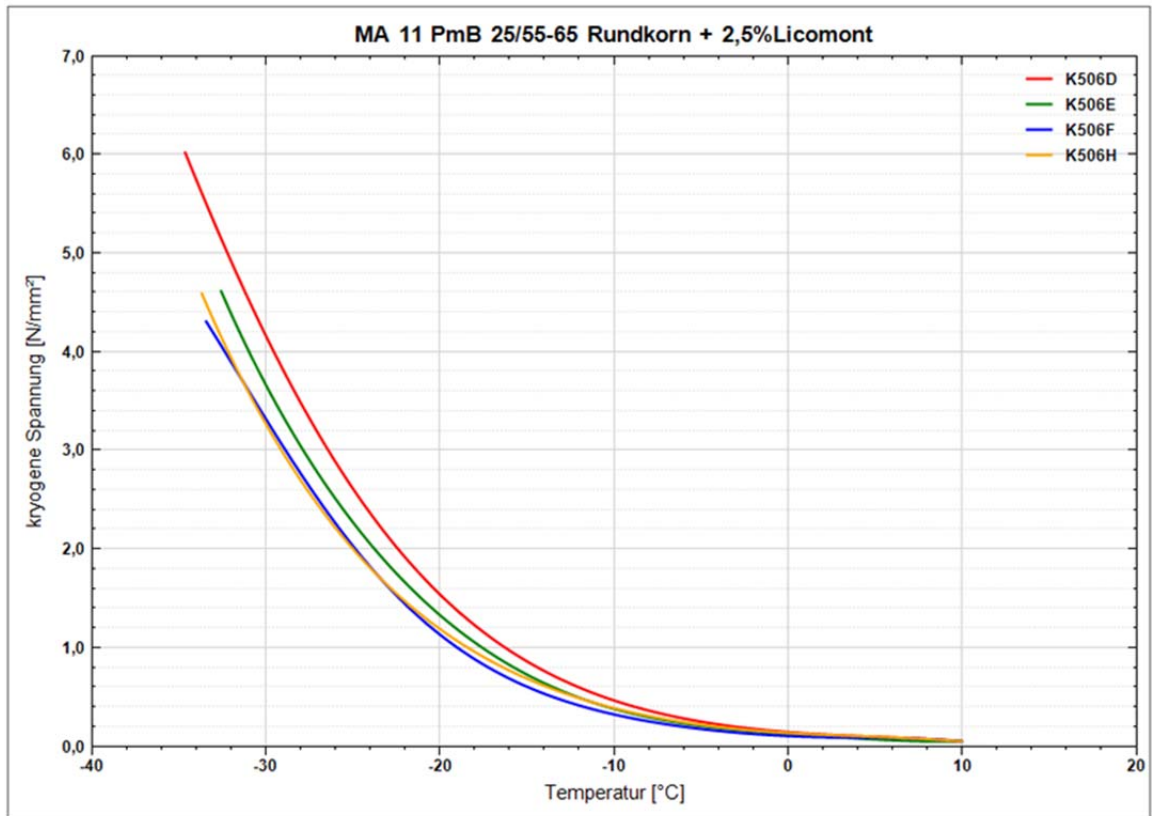
 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology		Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23399 DVR:0005886			
Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung			P404 Seite 1 von 1		
AuftraggeberIn	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen				
Datum	12.01.2015				
Projekt	14403				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2007				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS526	Asphaltsorte	MA 11 PmB 25/55-65 Rundkorn + 2,5%Licomont		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,470	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,470		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K506	Freundl	5,0	16.055	16.055	
			erforderliche Masse [g]		16.055
			aufgerundete Masse [g]		19.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		8,20	1558,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			1592,3	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G681, G687, G688, G689		91,90	17461,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B344A_02.5_S1	PmB 25/55-65 + 2,5% Licomont	8,20	1558,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	27,50	5225,00	
[0 - 2]	G687	Rundkorn Badenerstraße 0/2	21,50	4085,00	
[2 - 4]	G688	Rundkorn Badenerstraße 2/4	8,10	1539,00	
[4 - 8]	G681	Rundkorn Badenerstraße 4/8	17,80	3382,00	
[8 - 11]	G689	Rundkorn Badenerstraße 8/11	17,00	3230,00	
Summe			100,10	19.019,0	

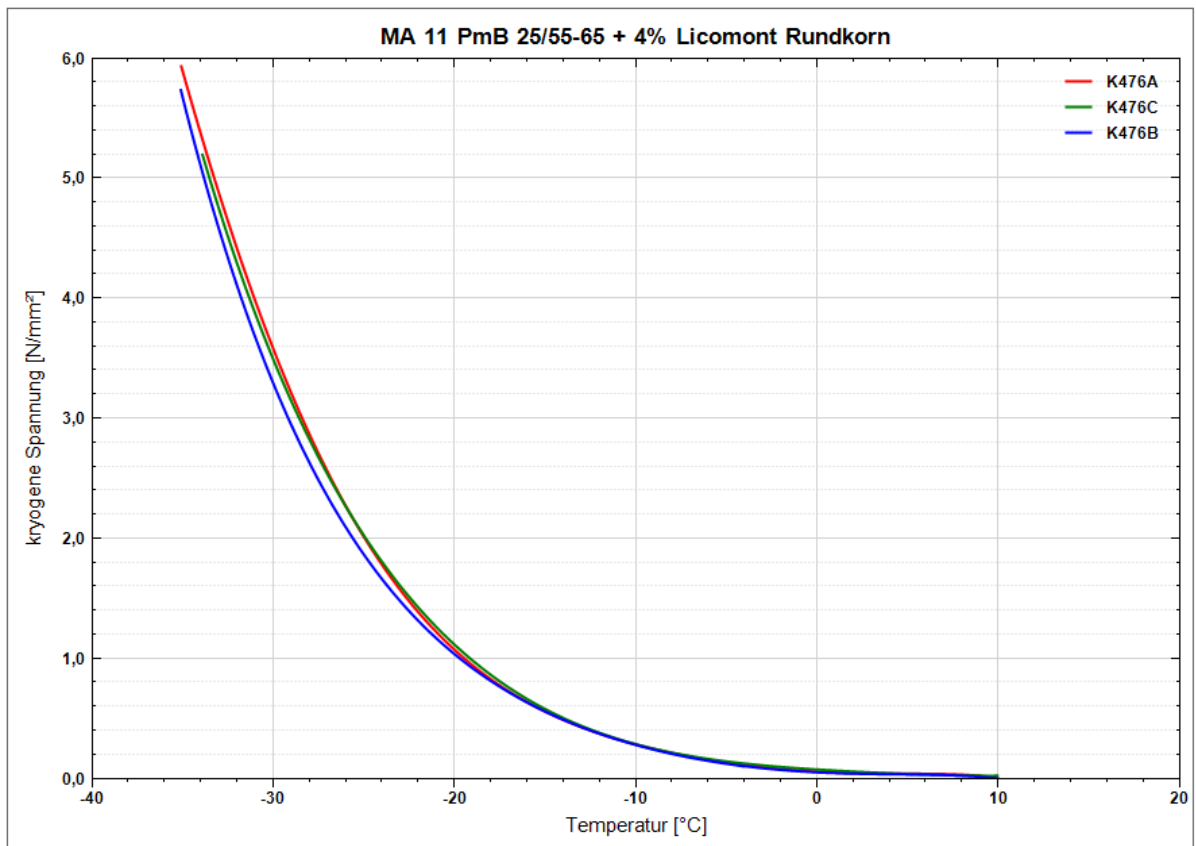
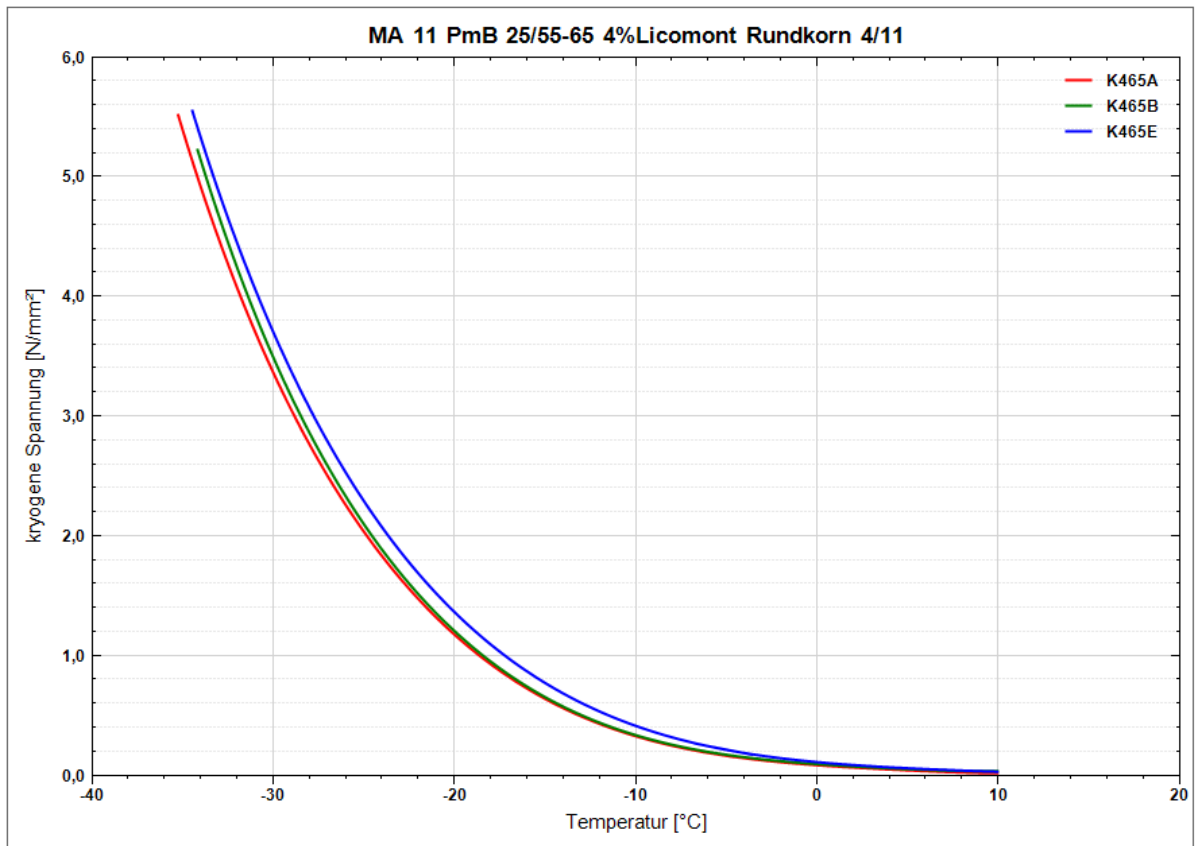
 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology		Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23399 DVR:0005886			
Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung			P404 Seite 1 von 1		
AuftraggeberIn	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen				
Datum	13.01.2015				
Projekt	14403				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2007				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS528	Asphaltsorte	MA 11 PmB 25/55-65 Rundkorn + 2,5%Licomont		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,470	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,470		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K507	Freundl	5,0	16.055	16.055	
			erforderliche Masse [g]		16.055
			aufgerundete Masse [g]		19.000
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			8,20	1558,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				1592,3
Zusatz	-			-	-
Gestein	F037, G681, G687, G688, G689			91,90	17461,0
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B344A_02.5_S1	PmB 25/55-65 + 2,5% Licomont	8,20	1558,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	27,50	5225,00	
[0 - 2]	G687	Rundkorn Badenerstraße 0/2	21,50	4085,00	
[2 - 4]	G688	Rundkorn Badenerstraße 2/4	8,10	1539,00	
[4 - 8]	G681	Rundkorn Badenerstraße 4/8	17,80	3382,00	
[8 - 11]	G689	Rundkorn Badenerstraße 8/11	17,00	3230,00	
	Summe		100,10	19.019,0	

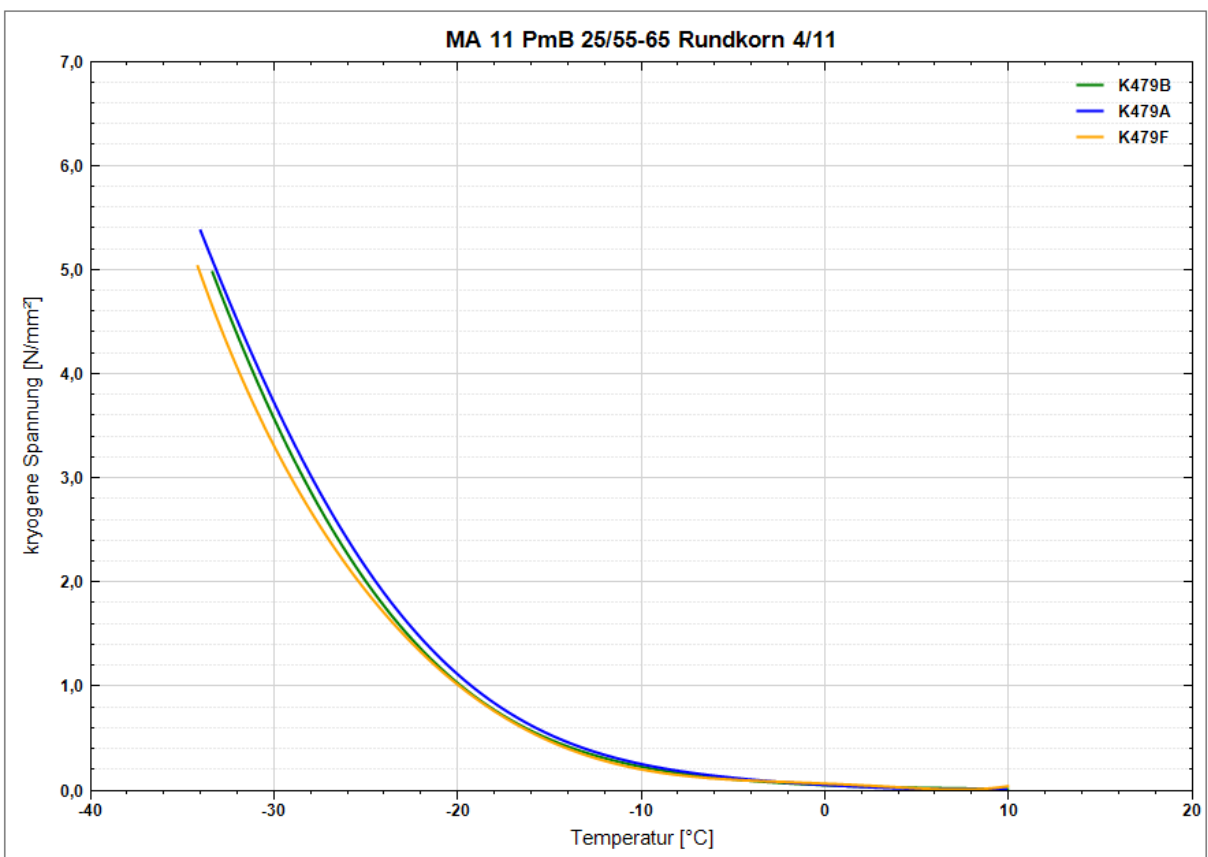
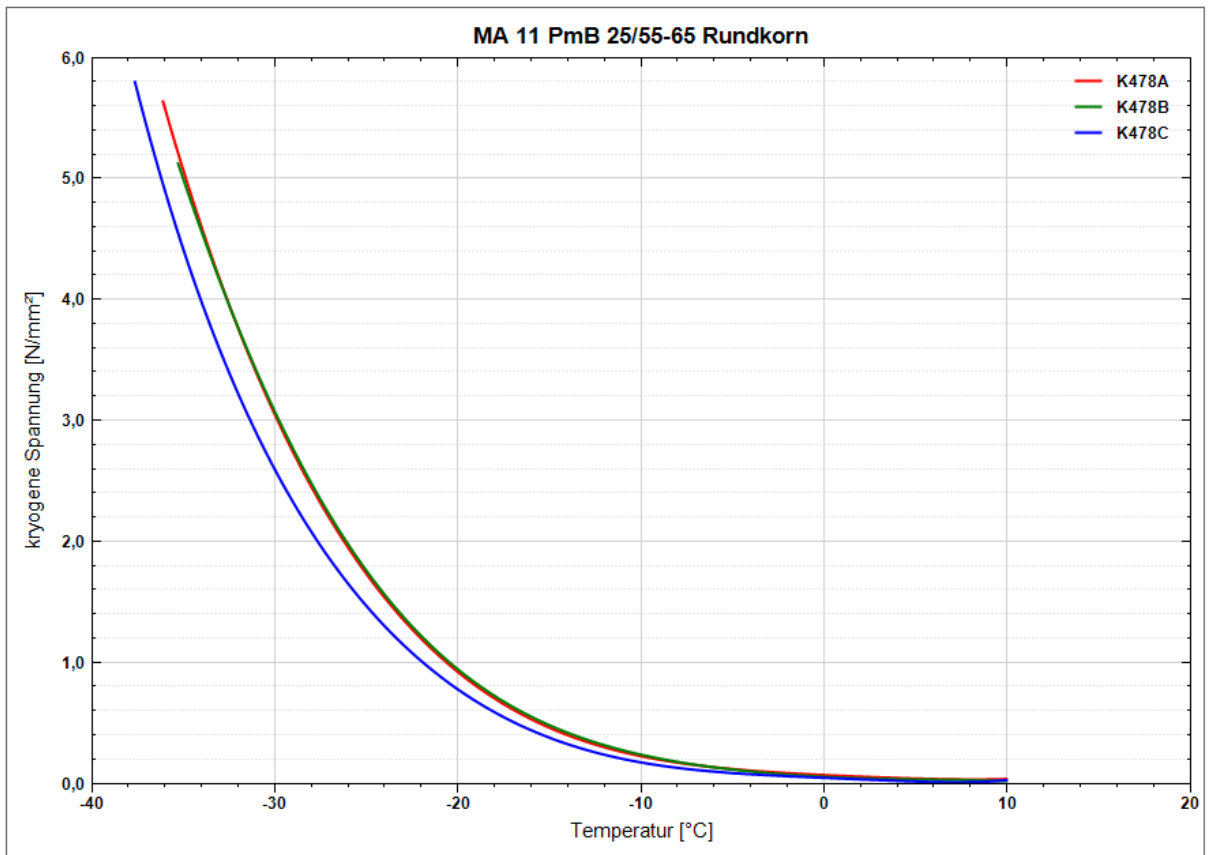
 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology		Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23399 DVR:0005886			
Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung			P404 Seite 1 von 1		
AuftraggeberIn	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen				
Datum	13.01.2015				
Projekt	14403				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2007				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS529	Asphaltsorte	MA 11 PmB 25/55-65 Rundkorn + 2,5%Licomont		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,470	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,470		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
T552	Freundl	6,0	19.266	19.266	
			erforderliche Masse [g]		19.266
			aufgerundete Masse [g]		22.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			8,20	1804,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				1843,7
Zusatz	-			-	-
Gestein	F037, G681, G687, G688, G689			91,90	20218,0
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B344A_02.5_S1	PmB 25/55-65 + 2,5% Licomont	8,20	1804,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	27,50	6050,00	
[0 - 2]	G687	Rundkorn Badenerstraße 0/2	21,50	4730,00	
[2 - 4]	G688	Rundkorn Badenerstraße 2/4	8,10	1782,00	
[4 - 8]	G681	Rundkorn Badenerstraße 4/8	17,80	3916,00	
[8 - 11]	G689	Rundkorn Badenerstraße 8/11	17,00	3740,00	
Summe			100,10	22.022,0	

IV. Anhang B



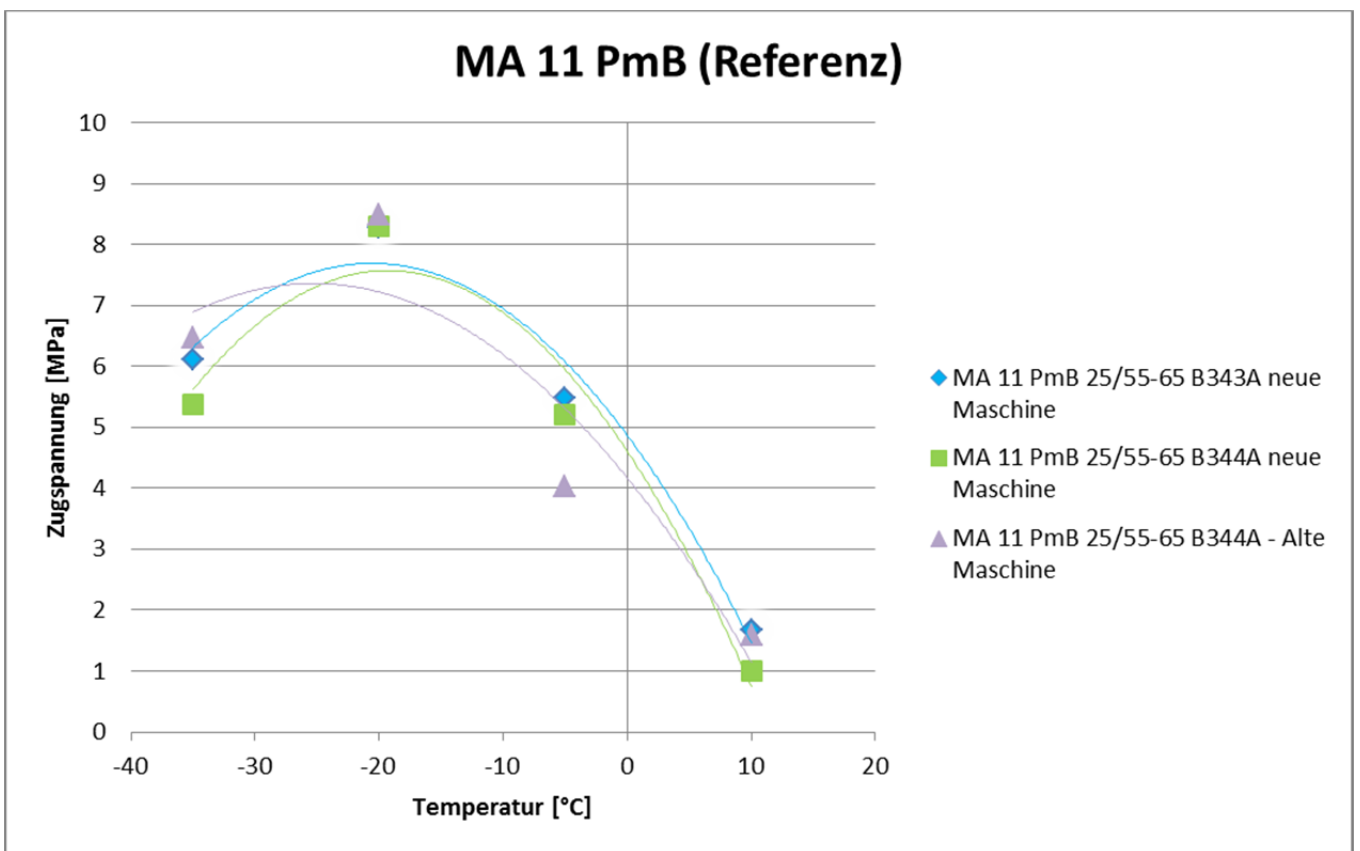






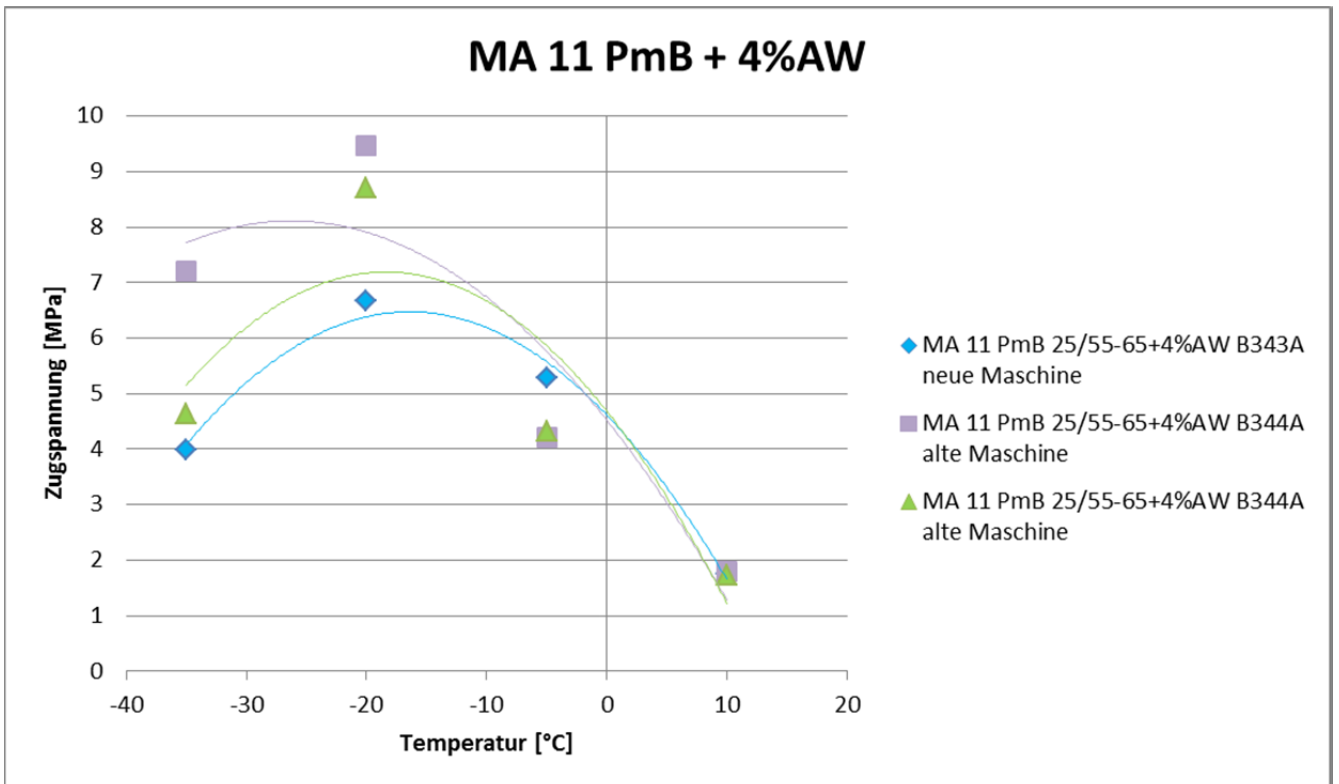
V. Anhang C

	Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung
	K464G		K464F		K464D		K464E
Max. Zugspannung [mPa]	6,113232158		8,274213985		5,488716852		1,664503597
	-35		-20		-5		10
	K489E		K489B		K489H		K489G
Max. Zugspannung [mPa]	5,375787313		8,300952113		5,211841305		0,997867434
	-35		-20		-5		10
	K489C		K489D		K489A		K489F
Max. Zugspannung [mPa]	6,46875397		8,492743569		4,034673001		1,580352143
	-35		-20		-5		10
Legende:							
Neue Maschine	Alte Maschine						



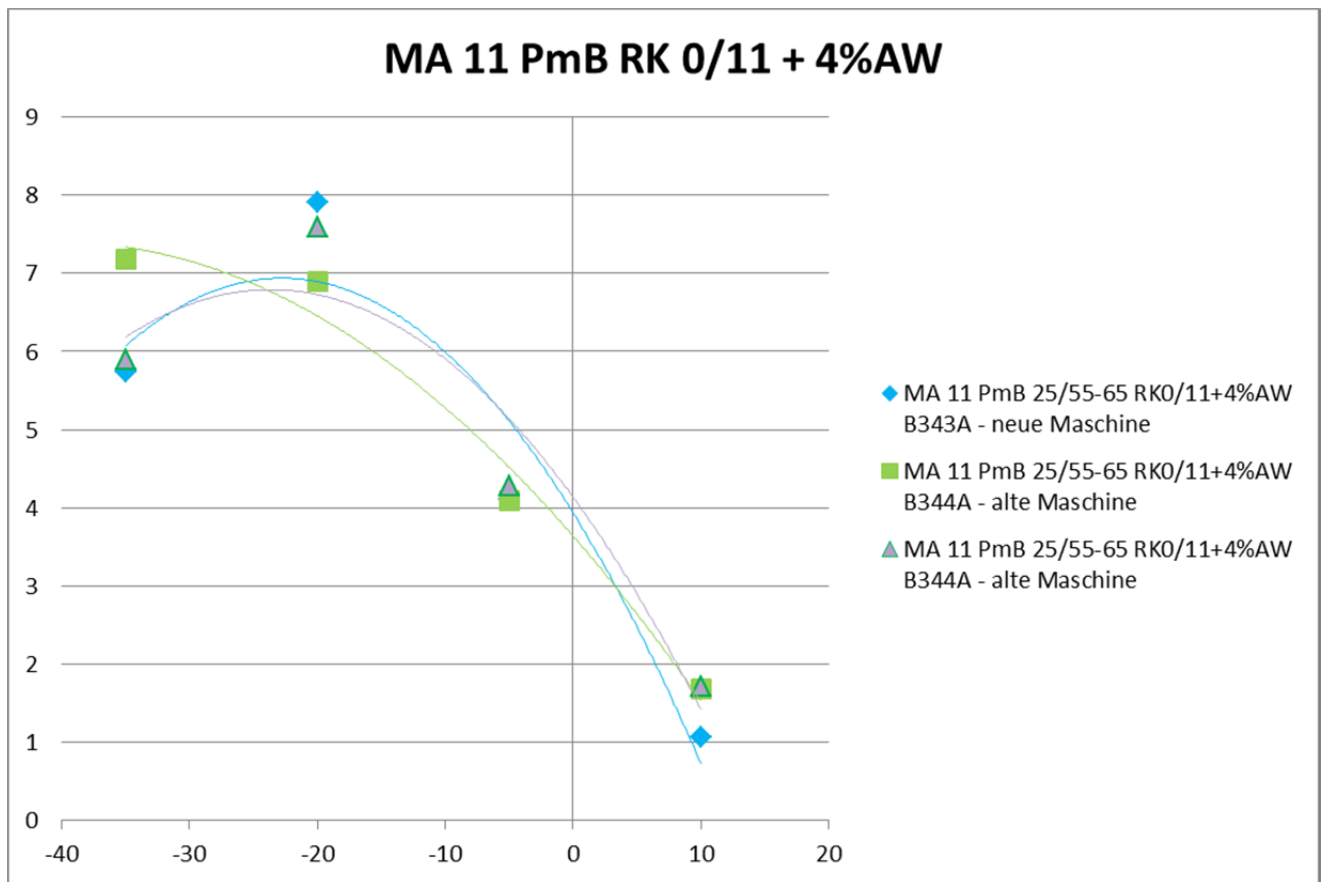
Gebrauchsverhalten von temperaturabgesenkten Gussasphalte

	Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung	
	K466G		K466H		K466E		K466F	
Max. Zugspannung [mPa]		3,989534368		6,667508015		5,290658723		1,74876571
		-35		-20		-5		10
	K499A		K499G		K499C		K499B	
Max. Zugspannung [mPa]		4,639827387		8,702290375		4,330535913		1,727778728
		-35		-20		-5		10
	K499H		K499D		K499F		K499E	
Max. Zugspannung [mPa]		7,198492561		9,458209283		4,21066827		1,788629579
		-35		-20		-5		10
Legende:								
Neue Maschine	Alte Maschine							



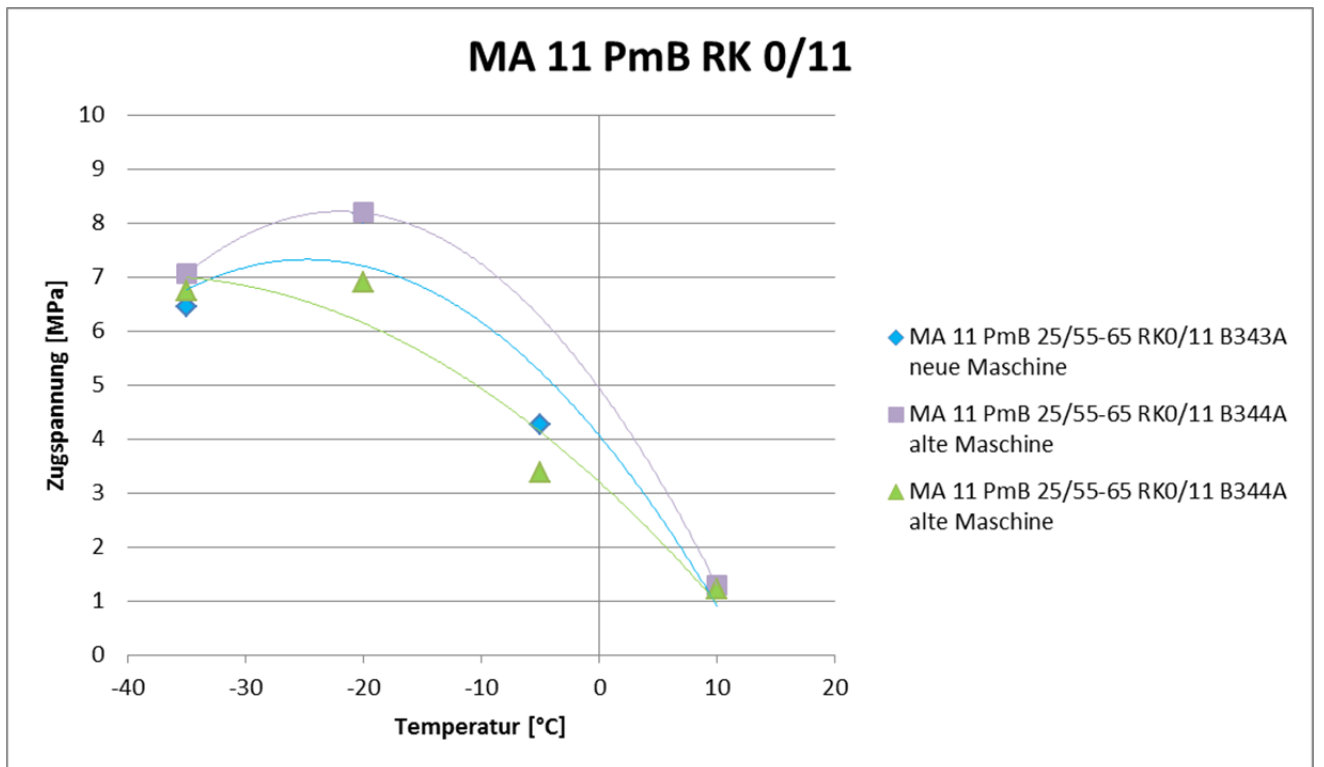
Gebrauchsverhalten von temperaturabgesenkten Gussasphalten

	Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung	
	K476F		K476G		K476H		K476D	
Max. Zugspannung [mPa]		5,732865668		7,907725072		4,101124151		1,070268361
		-35		-20		-5		10
	K500B		K500F		K500D		K500C	
Max. Zugspannung [mPa]		7,186839815		6,896012048		4,082372615		1,679352477
		-35		-20		-5		10
	K500G		K500H		K500A		K500E	
Max. Zugspannung [mPa]		5,895736955		7,589931329		4,280803707		1,715610044
		-35		-20		-5		10
Legende:								
Neue Maschine	Alte Maschine							



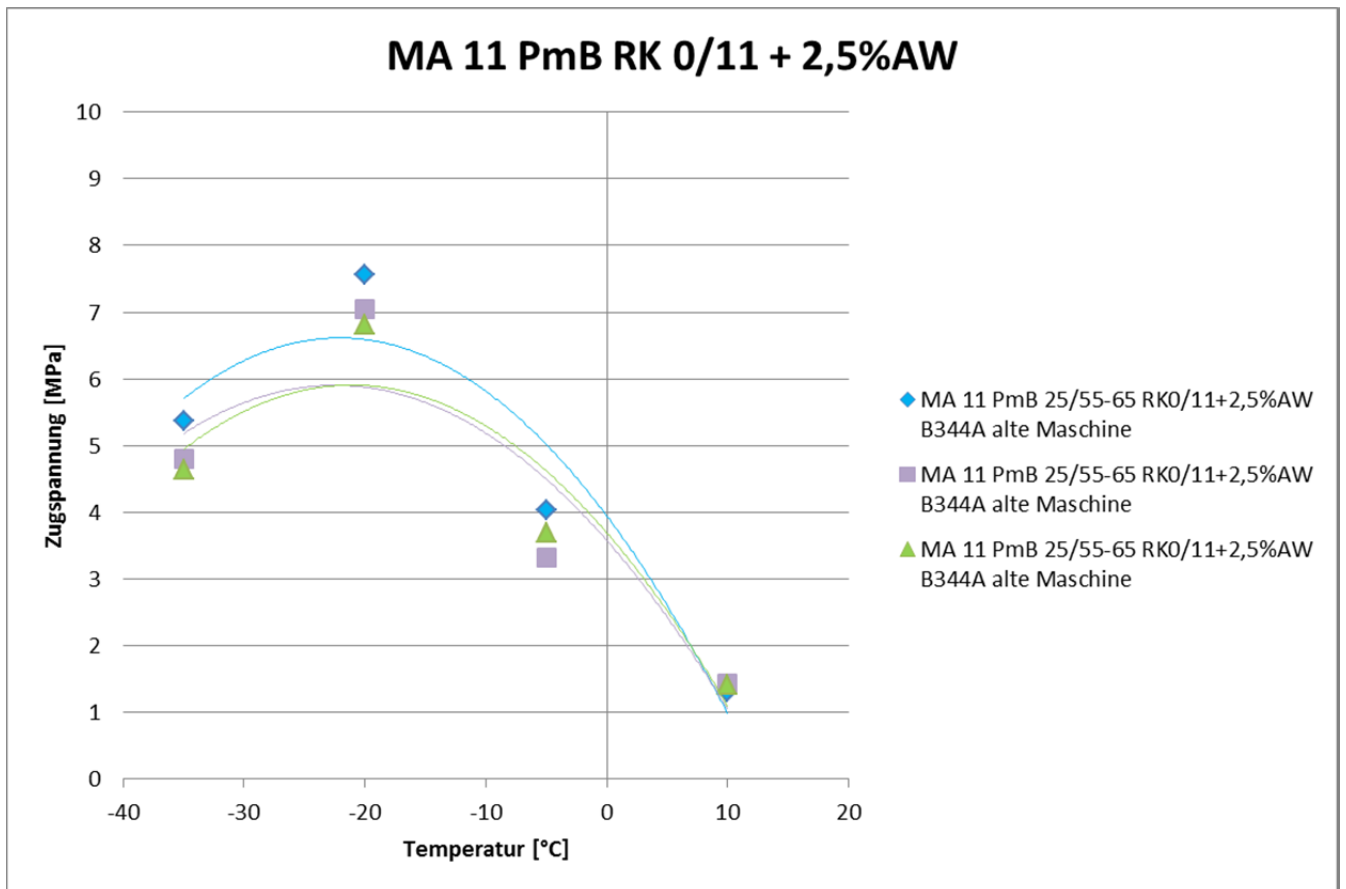
Gebrauchsverhalten von temperaturabgesenkten Gussasphalte

	Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung
	K478F		K478D		K478E		K478H
Max. Zugspannung [mPa]	6,442775109		8,191834249		4,272432545		1,228361349
	-35		-20		-5		10
	K495H		K495E		K495		K495A
Max. Zugspannung [mPa]	7,063070068		8,195591114				1,284402617
	-35		-20		-5		10
	K495C		K495D		K495G		K495F
Max. Zugspannung [mPa]	6,740955093		6,917360597		3,374587676		1,215132894
	-35		-20		-5		10
Legende:							
Neue Maschine	Alte Maschine						

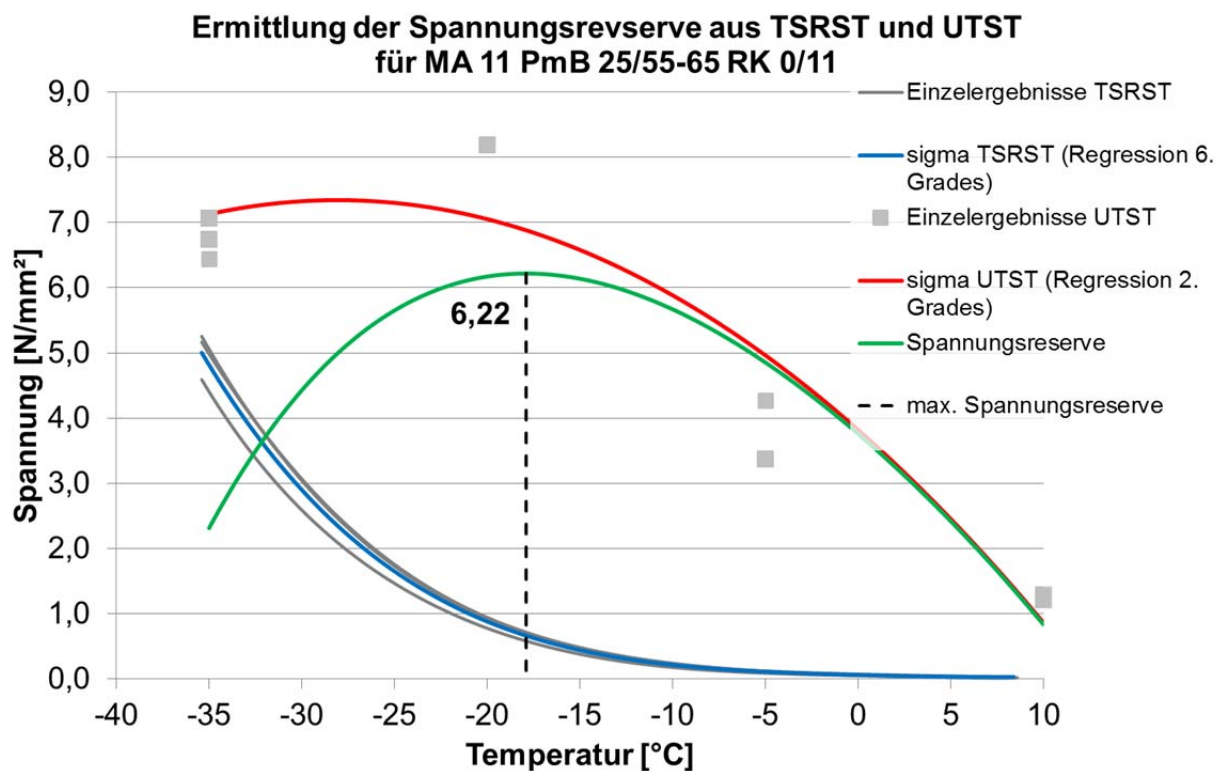
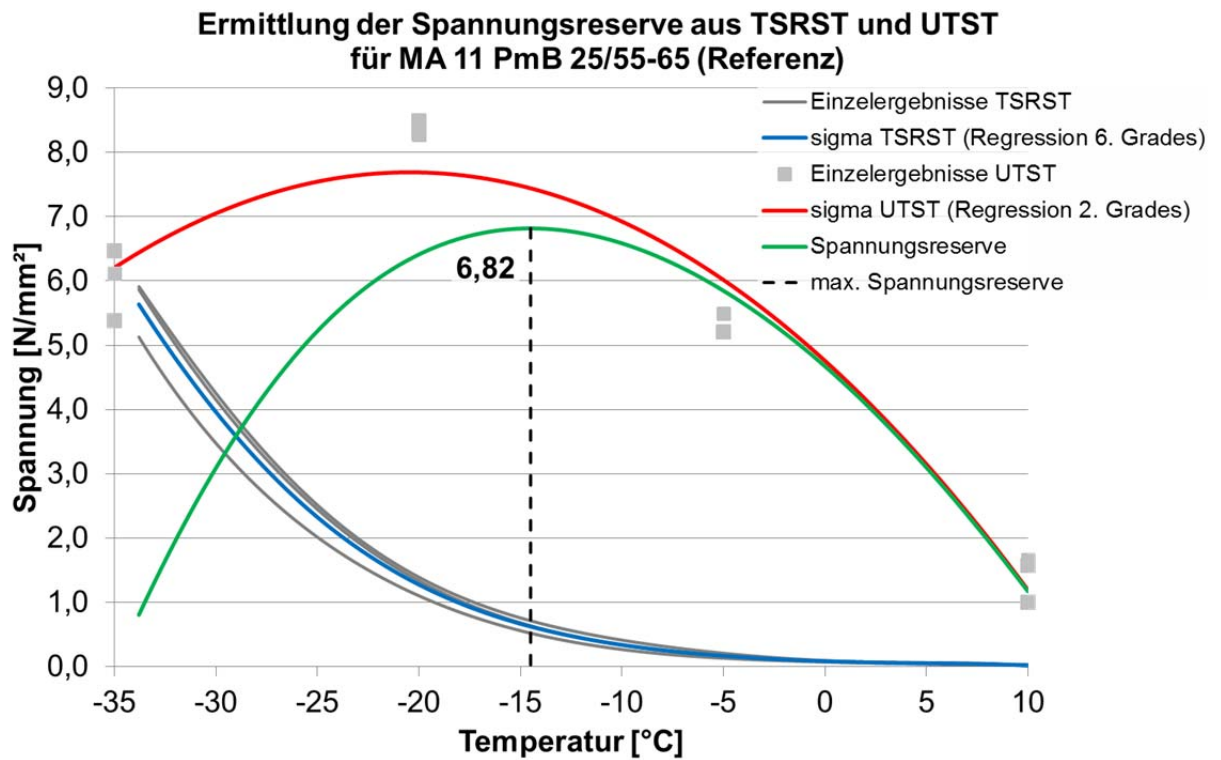


Gebrauchsverhalten von temperaturabgesenkten Gussasphalten

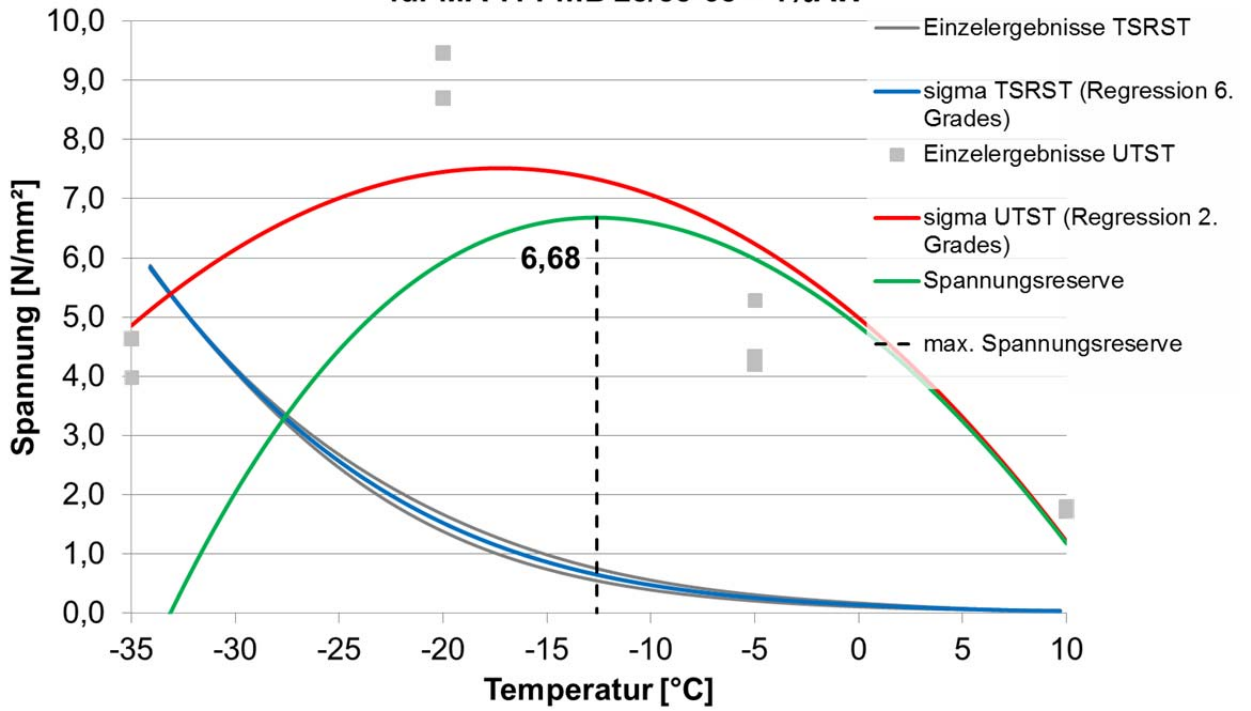
	Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung		Probekörper- kennzeichnung
	K507C		K506C		K506A		K506B
Max. Zugspannung [mPa]	5,378521642		7,566803898		4,042376907		1,314582874
	-35		-20		-5		10
	K507F		K507A		K507E		K506G
Max. Zugspannung [mPa]	4,637522216		6,822578906		3,697700643		1,409649624
	-35		-20		-5		10
	K507G		K507H		K507D		K507B
Max. Zugspannung [mPa]	4,79282105		7,044306001		3,329192833		1,44163156
	-35		-20		-5		10
Legende:							
Neue Maschine	Alte Maschine						



VI. Anhang D (Spannungsreserve)



**Ermittlung der Spannungsreserve aus TSRST und UTST
für MA 11 PmB 25/55-65 + 4%AW**



**Ermittlung der Spannungsreserve aus TSRST und UTST
für MA 11 PmB 25/55-65 RK 0/11 + 4%AW**

