



DIPLOMARBEIT Master Thesis

Optimierung von Gussasphaltmischgütern zum Einsatz als Garagenbefestigung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs/ einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

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

Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Hofko

und als verantwortlich mitwirkender Betreuer

Dipl.-Ing. Mariyan Dimitrov

am

Institut für Verkehrswissenschaften

E230

Forschungsbereich Straßenwesen

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Murad Gyurel Tyurk

1429820

Bulgarien, Kardzhali 6600

Wien, am 26.05.2017

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst möchte ich mich bei Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab und Herrn Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Hofko bedanken, dass sie mir die Möglichkeit gegeben haben, diese Diplomarbeit im Straßenlabor des Instituts für Verkehrswissenschaften (IVWS) der Technischen Universität Wien zu erstellen.

Ein besonderer Dank geht an Dipl.-Ing. Mariyan Dimitrov, ohne den diese Arbeit nicht hätte entstehen können. Er hat dieses spannende Thema bereitgestellt. Außerdem hat er mit seinen Korrekturen zur Erhöhung der Qualität dieser Diplomarbeit beigetragen.

Ich möchte mich auch ganz herzlich bei Dipl.-Ing. Radostin Rankov und dem ganzen Team des Straßenlabors für die Hilfe mit den Laborgeräten bedanken.

Ebenfalls gebührt mein Dank Herrn Dipl.-Ing. Marin Donchev, der mir mit Interesse und Hilfsbereitschaft zur Seite stand.

Ich danke Ass. Prof. Mustafa Sinan Yardim für den Zugang zum uferlosen türkischen Material, das mit dem Thema „Dökme Asphalt / Gussasphalt“ verbunden ist.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinem Vater, der mir mein Studium ermöglicht und mich in all meinen Entscheidungen unterstützt hat.

Wien, Mai 2017

Murad Tyurk

KURZFASSUNG

In der Asphaltproduktion wird ein großer Teil der Energie wegen der hohen Temperaturen für die Mischgutherstellung verwendet. Das Problem gilt verstärkt für Gussasphalt, da die Temperaturen für die Verarbeitung bei 220 – 250 °C liegen. Die Erniedrigung dieser Temperaturen führt zu mehr Energieeffizienz und zur Herabsetzung der Treibhausgas-Emissionen in der Asphaltproduktion.

Ziel der Forschung ist die Optimierung von Gussasphaltemischgütern bei maximaler Temperaturabsenkung und bei gleichbleibend hoher Qualität zum Einsatz als Garagenbefestigung. Dafür wurde das Gussasphaltemischgut mit Rundkorn und Amidwachs optimiert und dessen Gebrauchsverhalten mittels Prüfmethode im Labor untersucht.

Die Prüfmethode innerhalb dieser Arbeit unterteilen sich in Verarbeitbarkeit und GVO-Prüfungen. Für die Bestimmung der Verarbeitbarkeit von Gussasphalt wird die Drehmomentmessung und der Ausbreitversuch verwendet. Die angewendeten GVO-Prüfungen sind die Abkühlprüfung (TSRST) und die einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung (UCCT).

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Optimierung gute Verarbeitbarkeit bei bis zu 50 K niedrigeren Temperaturen realisierbar ist. Weiterhin führt die Optimierung nicht zur Verringerung des Risswiderstands, jedoch wird die Verformungswiderstandsfähigkeit erhöht.

ABSTRACT

The production process of asphalt involves a considerable amount of energy consumption because of the high temperatures required for the mixture process. This issue gains importance, especially when considering mastic asphalt, for which production temperatures up to 220 – 250 °C. Decreasing these temperatures could lead to more energy efficiency and reduction of the greenhouse gases (GHG) in the asphalt mixing plant.

Aim of the research is the optimization of mastic asphalt mixes by maximum decrease of the temperature and by constantly high performance for the application of garage pavements. For that reason, the mastic asphalt mixture is optimized with rounded aggregates and amide wax and its performance is examined with the help of laboratory testing methods.

The applied testing methods within this thesis are divided into workability and performance based tests. The investigation of the workability is achieved by means of torque measurement and flow table test. The performance based tests, applied in the course of this work, are the tensile stress restrained specimen test (TSRST) and uniaxial cyclic compression test (UCCT).

The results show that through optimization a good workability at reduced temperatures (-50 K) can be accomplished. Furthermore, the optimization doesn't affect the low-temperature resistance and still satisfactory resistance at the high temperature range can be observed.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINFÜHRUNG	1
1.1	PROBLEM, BEDEUTUNG UND ZIEL DER BETRACHTUNG	1
2	LITERATURRECHERCHE	3
2.1	GUSSASPHALT	3
2.1.1	ALLGEMEINES	3
2.1.2	HISTORISCHER ÜBERBLICK	4
2.1.3	ERZEUGUNG VON GUSSASPHALT	4
2.1.4	NORMEN UND RICHTLINIEN	5
2.1.5	EIGENSCHAFTEN	10
2.1.6	VERARBEITUNG VON GUSSASPHALT	11
2.1.7	ANWENDUNGSGEBIETE	12
2.1.8	VERGLEICH GUSSASPHALT – WALZASPHALT	14
2.1.9	BEISPIELE AUS DER PRAXIS	14
2.2	TEMPERATURABGESENKTER ASPHALT	18
2.2.1	HISTORISCHER ÜBERBLICK	19
2.2.2	VORTEILE	20
2.2.3	BAUSTOFFE	22
3	PRÜFMETHODEN UND MATERIALIEN	26
3.1	PRÜFMETHODEN	26
3.1.1	DMM (DREHMOMENTMESSUNG)	26
3.1.2	AUSBREITVERSUCH	28
3.1.3	UCCT (EINAXIALE, ZYKLISCHE DRUCKSCHWELLPRÜFUNG) LAUT EN 12697-25:2005	30
3.1.4	TSRST (ABKÜHLPRÜFUNG) LAUT EN 12697-46:2012	34
3.2	MATERIALIEN	38
3.2.1	BITUMEN	38
3.2.2	GESTEIN	38
3.2.3	VERWENDETE ADDITIVE	40
4	PRÜFPROGRAMM	41
5	ERGEBNISSE	43
5.1	DREHMOMENTMESSUNG	43
5.2	AUSBREITVERSUCH	44
5.3	UCCT (EINAXIALE, ZYKLISCHE DRUCKSCHWELLPRÜFUNG)	46
5.4	TSRST (ABKÜHLPRÜFUNG)	47
6	SCHLUSSFOLGERUNG UND ZUSAMMENFASSUNG	49
7	LITERATURVERZEICHNIS	50

8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	53
9	TABELLENVERZEICHNIS	54
10	FORMELVERZEICHNIS	55
11	ANHANG I	56
12	ANHANG II	71
13	ANHANG III	75
14	ANHANG IV	78
15	ANHANG V	79
16	ANHANG VI.....	82

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AKTA	Arbeitskreis zur Temperaturabsenkung
BS	British Standards
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DMM	Drehmomentmessung
EN	Europäischen Normen
GVO-Prüfungen	Gebrauchsverhaltensorientierte Prüfungen
iMAS	Innovative Mastix Asphalt
KK	Kantkorn
M TA	Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt
MA	Mastic Asphalt
N ₂ O	Distickstoffoxid
ÖNORM	Österreichische Normen
PmB	Polymermodifiziertes Bitumen
RK	Rundkorn
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
THG-Emissionen	Treibhausgas-Emissionen
TL Asphalt-StB	Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen
TLA	Trinidad-Naturasphalt
TS	Turkish Standards
TSRST	Thermal Stress Retained Specimen Test (Abkühlprüfung)
UCCT	Einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung
W	Wachs
WMA	Warm Mix Asphalt
ZTV Asphalt-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt

1 EINFÜHRUNG

1.1 PROBLEM, BEDEUTUNG UND ZIEL DER BETRACHTUNG

Zur Erreichung der Ziele der Energiestrategie Österreich wird die Stabilisierung des Energieverbrauchs bis zum Jahr 2020 auf dem Niveau von 2005 mit 1.100 PJ vorgesehen und somit sind bis 2020 Einsparungen durch Effizienzsteigerung von ca. 200 PJ notwendig (Abbildung 1). Die Industrie ist auch gefordert, ihren Beitrag zu mehr Klimaschutz und Energieeffizienz zu leisten. Wegen der hohen Temperaturen für die Herstellung des Mischguts wird ein großer Teil an Energie in der Asphaltproduktion verbraucht. Dieses Problem gilt verstärkt für Gussasphalt, da die Verarbeitungstemperaturen bei 220 – 250 °C liegen. Die Absenkung dieser Temperaturen führt zu mehr Energieeffizienz und somit werden auch die Emissionen des Treibhausgases in der Asphaltproduktion gesenkt. [1]

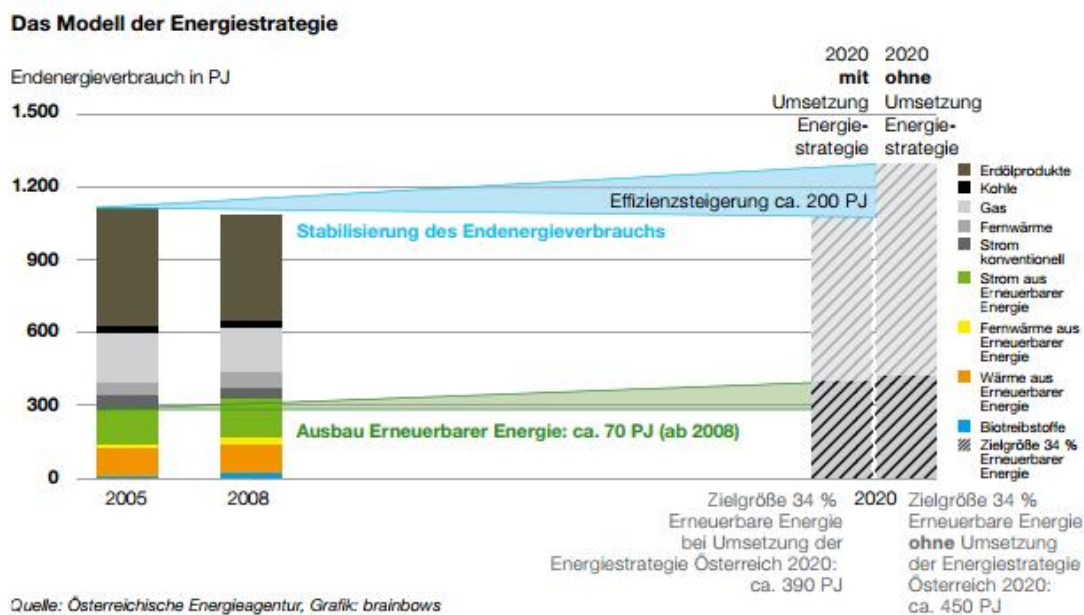


Abbildung 1: Stabilisierung des Endenergieverbrauchs auf dem Niveau von 2005 [2]

Österreich hat sich im Kyoto-Protokoll verpflichtet, die THG-Emissionen in den Jahren 2008 bis 2012 um 13 Prozent gegenüber dem Jahr 1990 zu senken (Abbildung 2). Laut dem Bericht der EU-Kommission sparen die anderen europäischen Länder mehr CO₂ im Rahmen der EU-Verpflichtungen zum Kyoto-Protokoll. Österreich bemüht sich auch im Kampf gegen Treibhausgase. Die im Kyoto-Protokoll reglementierten Treibhausgase sind in vier Gruppen unterteilt: Kohlenstoffdioxid CO₂, Methan CH₄, Distickstoffoxid N₂O und F-Gase. [2], [3]

Unter Berücksichtigung des Emissionshandels beträgt die Abweichung vom Zielwert im Jahr 2011 rund 4,7 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent. Die wichtigsten Verursacher von THG-Emissionen sind die Sektoren Industrie (29,6%) und Verkehr (26,3%). Die THG-Emissionen im Sektor Industrie sind im Jahr 2011 um 2,0 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent gestiegen. Deswegen versucht die Asphaltindustrie seit den letzten Jahren neue und innovative Produkte und Herstellungsmethoden zu entwickeln, um diese schädlichen Stoffe zu reduzieren. Dies kann durch Optimierung von Asphaltmischgütern erfolgen und dadurch werden die Herstellungs- und Einbautemperaturen gesenkt. [1], [3]

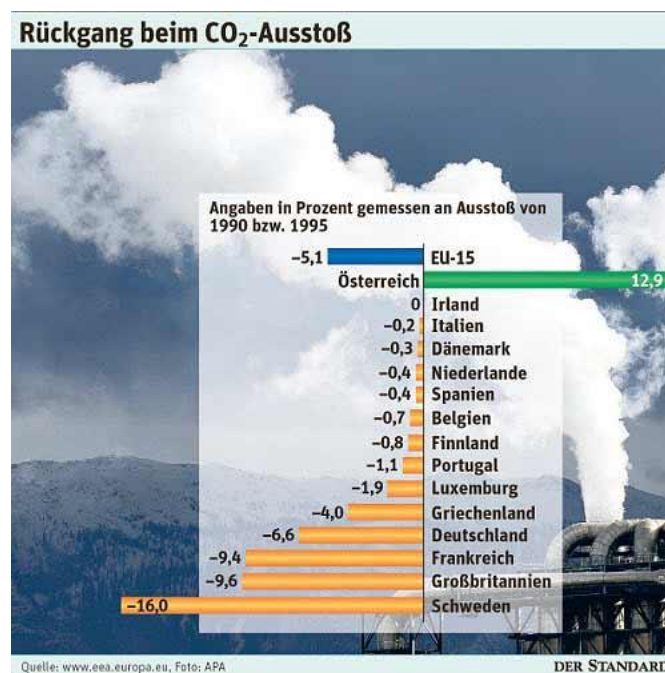


Abbildung 2: Angaben in Prozent gemessen am Ausstoß von 1990 bzw. 1995 [4]

Diese Diplomarbeit ist ein Teil des Forschungsvorhabens „iMAS“ (Innovative Mastix Asphalt) und innerhalb dieser Arbeit werden die neuen entwickelten Methoden für Temperaturabsenkung von Gussasphalt untersucht.

Ziel der Arbeit ist die Optimierung des Gebrauchsverhaltens dieses Baustoffes bei maximaler Temperaturabsenkung und bei gleichbleibend hoher Qualität, um ihn als Garagenbefestigung einsetzen zu können. Zu diesem Zweck werden Laborprüfungen durchgeführt und die ausgewerteten Ergebnisse diskutiert. Ziel ist es, einen innovativen Gussasphalt mit Optimierungsgrad „30+/20+/20+“ zu entwickeln, das heißt eine Temperaturabsenkung von 30 °C, 20% Energieeinsparung und 20% Reduzierung von Treibhausgas-Emissionen.

2 LITERATURRECHERCHE

2.1 GUSSASPHALT

2.1.1 ALLGEMEINES

Gussasphalt ist ein Baustoff aus der Gruppe der Asphalte. Er ist beim Einbau gieß- und streichbar, deshalb benötigt keine Verdichtungsarbeit. [5]

Die Bestandteile des Gussasphalts sind in Abbildung 3 dargestellt. Gussasphalt besteht aus Gestein (Splitt, Sand, Füller) und Bitumen ggf. Zusätze. [6]

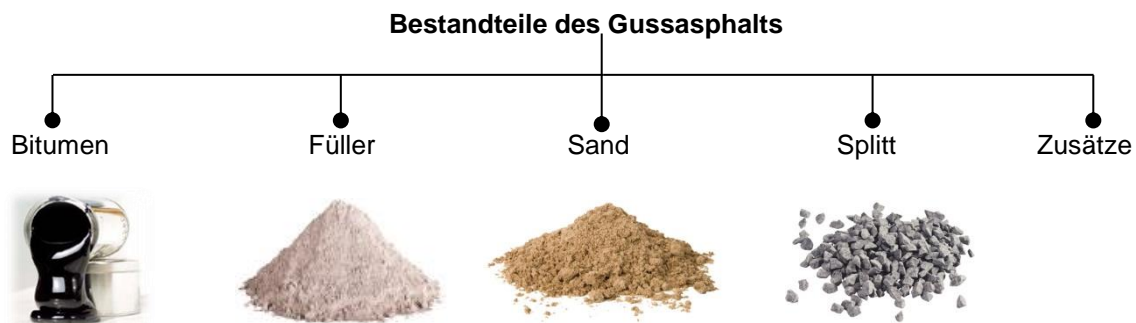
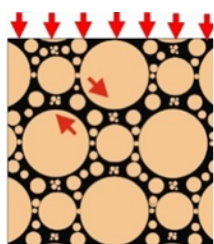


Abbildung 3: Zusammensetzung des Gussasphalts [6]

Das **Bitumen** ist ein schwerflüchtiges, dunkelfarbiges Gemisch verschiedener organischen Substanzen, das bei der Aufarbeitung geeigneter Erdöle gewonnen wird. Bitumen ist im Zusammenhang mit Füller eine wichtige Komponente, weil die Lastabtragung größtenteils über diesen Mörtel erfolgt, der deshalb steifer ist (Abbildung 4). Somit spielt er eine bedeutsame Rolle für die Standfestigkeit. [7], [6]



Mastix Konzept (Gussasphalt) „eingefrorene Flüssigkeit“

hoher Bindemittelgehalt & praktisch keine Hohlräume
Zuschlagstoffe „schwimmen“ in bit. Mörtel-Matrix
Bitumen hat sekundäre stabilisierende Aufgaben
Last wird hauptsächlich durch Bitumen abgetragen

Versagen: Deviat. Fließen, Schub.

B < 8,5 M%, H ~ 0 V

Abbildung 4: Mastix Konzept [7]

Als Bindemittel für Gussasphalt wird meist eine Mischung von Straßenbaubitumen 70/100 und Hartbitumen 90/10 angewendet. Die Verwendung von den Bitumensorten 20/30, 30/45, 35/50 und 50/70 ist auch möglich. Ebenso kommen zum Einsatz PmB Bitumen (PmB 45/80-65, PmB 45/80-50, PmB 25/55-65 und PmB 25/55-55). Die erwarteten

de Belastung, die klimatischen Verhältnisse und der Verwendungszweck sind eine Voraussetzung für die richtige Auswahl von Bindemitteln. Der Bindemittelanteil beträgt ca. 7 – 9%. [6]

Füller sind Gesteinskörnungen, deren überwiegender Teil durch das 0,063 mm Sieb hindurchgeht. Mit seinen geometrischen Eigenschaften beweist Füller einen bestimmenden Einfluss auf die Eigenschaften von Gussasphalt. Als Füller werden meist Kalksteinmehle verwendet. Der Füllergehalt liegt zwischen 25 und 30%. [6]

Sand (Korngröße 0 – 2 mm) ist der Hauptbestandteil des Gussasphalts und hat eine fundamentale Bedeutung für die Konsistenz. In der Praxis kommen Kalk- und Dolomitsande zur Anwendung. Der Sandanteil beträgt ca. 25 – 30%. [6]

Splitt ist gebrochenes Naturgestein und heutzutage werden für die Gussasphalt Herstellung Korngrößen mit 4 mm, 8 mm und 11 mm verwendet. Vor vielen Jahren wurde es auch ein Asphaltmischgut mit 16 mm Größtkorn verwendet. Die Aufgabe des Materials ist eine Standfestigkeit zu erreichen, die auch bei höheren Temperaturen ausreichend ist. Der Anteil von Splitt beträgt ca. 25 – 35%. [6]

Zusätze werden verwendet, wenn man bestimmte Eigenschaften des Gussasphalts erzielt. Dies können unter anderem sein: Aufhellungsmittel und Farbpigmente, Faserstoffe, Naturasphalt, Polymere oder Wachs. [6]

2.1.2 HISTORISCHER ÜBERBLICK

Die Verwendung von Gussasphalt hat eine lange Geschichte. Dessen Herstellung kam zum ersten Mal im 19. Jahrhundert auf und zur Jahrhundertwende bürgerte sich in Europa die Praxis ein, die Straßen mit Gussasphalt herzustellen. Bereits 1895 war in Wien Gussasphalt für Gehsteige zugelassen. Der Wiener Rathausplatz wurde im Jahre 1901 asphaltiert und sieben Jahre später erhielten die Kärntner Straße und der Kärntner Ring eine Gussasphaltschicht. Im nächsten Jahr wurden der Stubenring, die Prater Hauptallee und der Platz vor dem Schönbrunner Schloss asphaltiert. Gussasphalt fand auch eine Verwendung als Brückenbelag bei der Praterbrücke und der Praterhochstraße. [6]

2.1.3 ERZEUGUNG VON GUSSASPHALT

Für die Herstellung von Gussasphalt werden vollautomatische Mischwerke verwendet (Abbildung 5). Zuerst werden die Mineralstoffe in der sogenannten „Trockentrommel“ getrocknet, erhitzt und entstaubt. Dann wird das erhitzte Gestein in Kornfraktionen verteilt

und somit dosiert den Mischern zugegeben. Aus speziellen Silos werden Füller und Bitumen dosiert. Im Vergleich zu Walzasphalt braucht der Füller von Gussasphalt eine isolierte Erhitzung vor der Zugabe. Jener Vorgang erfolgt im Füllererhitzer. Das Gussasphaltnischgut wird für ca. 80 Sekunden im Mischer bei einer Temperatur von annähernd 235 °C gemischt und dann direkt in einen mit Rührwerk ausgestatteten fahrbaren Kocher gefüllt, um ihn zur Baustelle zu transportieren. [6]



Abbildung 5: Asphaltmischanlage (BENNINGHOVEN) [8]

2.1.4 NORMEN UND RICHTLINIEN

ÖNORM EN 13108-6 Asphaltmischgut – Mischgutanforderungen

Gussasphalt für den Straßenbau ist in der EN 13108-6 sowie ÖNORM B 3585 [9] geregelt. In dieser ÖNORM werden aufgrund der geografischen, topografischen und klimatischen Verhältnisse, die in Österreich herrschen, die Anforderungen an Gussasphalt für die Verwendung beim Bau von Straßen, Flugplätzen und anderen Verkehrsflächen festgelegt. Zur Anwendung kommen gemäß [9] zehn Klassen von Gesteinskörnungen (G1 bis G9 und GS). Die Anforderungen an Gesteinskörnungen finden sich in [9]. Die zulässige Bindemittel bzw. Mischungen daraus gemäß [9] sind Oxidationsbitumen (90/10), Destillationsbitumen (20/30, 30/45, 35/50, 50/70, 70/100) und Polymermodifizierte Bitumen (PmB 45/80-65, PmB 45/80-50, PmB 25/55-65, PmB 25/55-55). Gemäß [9] kann Ausbauasphalt nicht verwendet werden.

Es wird zwischen zwei Typen (M1, M2) mit einem Größtkorn von 4 mm, 8 mm bzw. 11 mm unterschieden. Die Grenzsieblinien sind in Tabelle 1 gegeben. Im Anhang sind die Diagramme der Grenzsieblinien zu sehen.

Tabelle 1: Grenzsieblinien [9]

Siebgröße	MA 4	MA 8	MA 11
mm	Siebdurchgang M.-%	Siebdurchgang M.-%	Siebdurchgang M.-%
16	-	-	100
11,2	-	100	90 bis 100
8 ^a	-	90 bis 100	70 bis 90
5,6	100	-	-
4 ^b	90 bis 100	65 bis 90	-
2	65 bis 80	53 bis 68	45 bis 60
0,5 ^c	35 bis 50	30 bis 45	30 bis 45
0,063	24,0 bis 32,0	22,0 bis 30,0	20,0 bis 28,0
^a charakteristisches Grobsieb für MA 11 ^b charakteristisches Grobsieb für MA 8 ^c charakteristisches Feinsieb			

Die Wahl von Mischgutrezeptur hängt von der Verkehrsbelastung ab. Normalerweise kommen weichere Rezepte (MA 4 und MA 8) bei Gehwegen und Gehsteigen zur Anwendung. MA 11 wird bei sehr belastenden Fahrbahndecken verwendet.

In der ÖNORM B 3585 werden die zu erfüllenden Mindestwerte fixiert wie Mindest-Bindemittelgehalt B_{\min} , Mindestwert der Eindringtiefe nach 30 min I_{\min} , Höchstwert der Eindringtiefe nach 30 min I_{\max} , maximale Zunahme nach weiteren 30 min I_{nc} und maximale dynamische Eindringtiefe I_{dyn} . Die zu erfüllenden Parameter für Gussasphalt (Typen M1 und M2) werden in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Eindringtiefe (Widerstand gegen bleibende Verformung) [9]

Parameter	M1	M2
Mindestwert der Eindringtiefe, in mm, nach 30 min	$I_{\min 1,0}$	
Höchstwert der Eindringtiefe, in mm, nach 30 min	$I_{\max 3,5}$	$I_{\max 5,0}$
Maximale Zunahme, in mm, nach weiteren 30 min	$I_{nc 0,5}$	$I_{nc 0,8}$
Maximale dynamische Eindringtiefe in mm	I_{dynNR}	

In [9] werden auch die Mindestwerte der Treibstoffbeständigkeit, verbleibende Festigkeit β , maximale Bruchtemperatur $TSRST_{\max}$ und Höchsttemperatur des Gussasphaltemischguts festgelegt. Ebenso wird die Kennzeichnung des Gussasphalts definiert.

RVS 08.97.05 – Anforderungen an Asphaltmischgut

Diese RVS [10] wird für Asphaltmischgüter verwendet, die auf Verkehrsflächen mit öffentlichem Verkehr eingebaut werden. In [10] wird die Kennzeichnung von Gussasphaltmischgut und Hinweise zum Mischgutkonzept dargestellt. Die Anforderungen an die Gesteinskörnungen sind in [10] zu sehen. Diese RVS [10] enthält die zulässigen Bindemittel für Gussasphalt. Laut [10] kann Ausbauasphalt bei Gussasphalt nicht verwendet werden. In [10] werden die zulässigen Herstellungstemperaturen von Gussasphaltmischgut in Abhängigkeit der Bindemittelsorte und des Bindemitteltyps festgelegt. Die Temperaturgrenze bei der Verwendung von allen Arten von Bitumen und deren Mischungen für den konventionellen Gussasphalt ist ≤ 250 °C und diese Grenze für den temperaturabgesenkten Gussasphalt ist ≤ 220 °C. Die Empfehlungen für die Auswahl von Gussasphaltmischgut und Gesteinsklasse in Abhängigkeit von Schichtfunktion und Verkehrsbelastung sind in [10] gegeben.

RVS 08.16.01 – Anforderungen an Asphaltsschichten

Diese RVS [11] wird für Asphaltsschichten verwendet, die auf Verkehrsflächen mit öffentlichem Verkehr eingebaut werden. In [11] wird der Einbau von Gussasphaltmischgut zusammengestellt wie z.B. dessen Transport, Einbaubedingungen und Oberflächenbehandlung. Die Schichteigenschaften für Deckschichten aus Gussasphalt sind in [11] dargestellt. Ebenso werden die Anforderungen an die Schichten, den Schichtverbund, die Oberflächeneigenschaften nach Fertigstellung, die Oberflächeneigenschaften von Bundesstraßen A und S nach Fertigstellung, die Oberflächeneigenschaften vor Ablauf der Gewährleistungsfrist für Deckschichten aus Gussasphalt dargestellt.

TL Asphalt-StB 07 – Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen

Die „Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen“ enthalten die Anforderungen an Asphaltmischgut, das für die Herstellung von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt angewendet wird. Die Gesteinskörnungen für Gussasphaltmischgut müssen die Anforderungen der TL Asphalt-StB [12] erfüllen. In [12] werden die zu erfüllende Mindestwerte für Gesteinskörnungen festgelegt wie Anteil gebrochener Kornoberflächen, Widerstand gegen Zertrümmerung und Widerstand gegen Polieren. Nach [12] wird als Bindemittel für Gussasphalt Straßenbaubitumen 20/30, 30/45 und Polymermodifiziertes Bitumen 10/40-65, 25/55-55 verwendet. Diese müssen die Anforderungen der TL Bitumen-StB erfüllen. Mindest-Bindemittelgehalt B_{\min}

wird in [12] je nach Gussasphaltpategorie festgelegt. Hinsichtlich der Anforderungen an Gussasphaltnischgut soll das Bindemittel nicht überhitzt werden, deshalb wird die Höchsttemperatur des Bindemittels im Lagertank nach [12] festgelegt. Das Bindemittel und die Zusammensetzung des Asphaltmischguts bestimmen die Temperatur des Asphaltmischguts, somit sind die Grenzwerte für die niedrigste und höchste Temperatur des Gussasphalts in [12] angegeben. Bei der Verwendung des Bindemittels 20/30 und 10/40-65 ist die Grenztemperatur 210 bis 230 °C, während bei der Verwendung des Bindemittels 30/45 und 25/55-55 diese Temperatur 200 bis 230 °C ist. Die Höchsttemperatur des Gussasphaltnischguts darf nicht überschritten werden. Die Grenzsieblinien für Gussasphalt sowie die Diagramme der Grenzsieblinien befinden sich in [12]. Die Anforderungen an die bleibende Verformung sind auch in [12] dargestellt.

ZTV Asphalt-StB 07 – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt

Die „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt“ behandeln die Herstellung von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt. In ZTV Asphalt-StB 07 [13] werden die zweckmäßige Zuordnung von Asphaltmischgutarten und- sorten zu den Belastungsklassen in Abhängigkeit von den zu erwartenden Beanspruchungen angegeben. Z.B. zu einer Belastungsklasse *Rad- und Gehwege* ist nach [13] MA 5 N geeignet, wenn die Asphaltdeckschicht aus Gussasphalt eingebaut wird. Die zweckmäßigen Bindemittelarten und- sorten in Abhängigkeit von der zu erwartenden Beanspruchung werden in [13] festgelegt. Dabei kann es bei örtlichen Besonderheiten sinnvoll sein, für eine Schicht innerhalb eines Bauabschnitts unterschiedliche Bindemittelarten und- sorten zu wählen. Die Grenzsieblinien für Gussasphalt nach [12], [13] werden in Tabelle 3 dargestellt. Die Diagramme der Grenzsieblinien sind im Anhang zu sehen.

Tabelle 3: Grenzsieblinien [12], [13]

Siebgröße	MA 5	MA 8	MA 11
mm	Siebdurchgang M.-%	Siebdurchgang M.-%	Siebdurchgang M.-%
16	-	-	100
11,2	-	100	90 bis 100
8	100	90 bis 100	70 bis 85
5,6	90 bis 100	75 bis 90	-
2	55 bis 65	50 bis 60	45 bis 55
0,063	24 bis 32	22 bis 30	20 bis 28

Die Anforderungen an die bleibende Verformung nach [12], [13] sind in Tabelle 4 gegeben.

Tabelle 4: Eindringtiefe [12], [13]

Parameter	MA 5		MA 8		MA 11	
	S	N	S	N	S	N
minimale statische Eindringtiefe	$l_{min1,0}$	$l_{min1,0}$	$l_{min1,0}$	$l_{min1,0}$	$l_{min1,0}$	$l_{min1,0}$
maximale statische Eindringtiefe	$l_{max3,0}$	$l_{max4,0}$	$l_{max3,0}$	$l_{max4,0}$	$l_{max3,0}$	$l_{max4,0}$
Zunahme Eindringtiefe	$l_{nc0,4}$	$l_{nc0,6}$	$l_{nc0,4}$	$l_{nc0,6}$	$l_{nc0,4}$	$l_{nc0,6}$
dynamische Stempeleindringtiefe	ist anzugeben		ist anzugeben		ist anzugeben	

Die Anforderungen an die Ausführung von Gussasphalt werden in [13] zusammengestellt. Gussasphalt darf bei Regen nicht eingebaut werden. Wenn eine Deckschicht aus Gussasphalt mit einer Einbaudicke unter 3 cm ist und nicht gewalzt wird, darf auf feuchter Unterlage nicht hergestellt werden. Die Mindest-Lufttemperaturen, bei der eine Gussasphaltdeckschicht mit der Dicke < 3 cm oder ≥ 3 cm eingebaut werden kann, sind in [13] dargestellt. Ebenso werden die Anforderungen an die Unterlage, den Schichtverbund, die Nähte, die Anschlüsse und Fugen, die Randausbildung definiert. Die Schichteigenschaften für Deckschichten aus Gussasphalt sind in [13] dargestellt.

M TA – Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt

Dieses „Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt“ behandelt die Herstellung und Verarbeitung von temperaturabgesenkten Walz- und Gussasphalten unter Verwendung viskositätsveränderter Bindemittel und viskositätsverändernder Zusätze. In [14] werden die viskositätsveränderten Bindemittel, viskositätsverändernden organischen Zusätze und viskositätsverändernden mineralischen Zusätze beschrieben. Nach [14] kann die Temperaturabsenkung zur Emissionsreduzierung auf alle Asphaltmischgutarten und-sorten in dem Heißeinbau verwendet werden. In [14] sind die Anwendungsgebiete der Temperaturabsenkung erläutert. Die Richtwerte für Asphaltmischguttemperaturen bei abgesenkten Gussasphalten sind in [14] dargestellt. Die Vorbereitung und das Ansprühen der Unterlage erfolgen entsprechend den ZTV Asphalt-StB 07. Die technischen Kenndaten von verschiedenen organischen Zusätze und deren Wirkung in einem Straßenbaubitumen 50/70 sind in [14] gegeben.

Nach M TA wird eine ergänzende Prüfung zur Beurteilung des Verarbeitungsverhaltens durchgeführt. Diese Prüfung wird mittels eines Laborrührgeräts mit Erfassung des Rührwiderstandes realisiert. Das Prüfgerät ist in Abbildung 6 dargestellt.

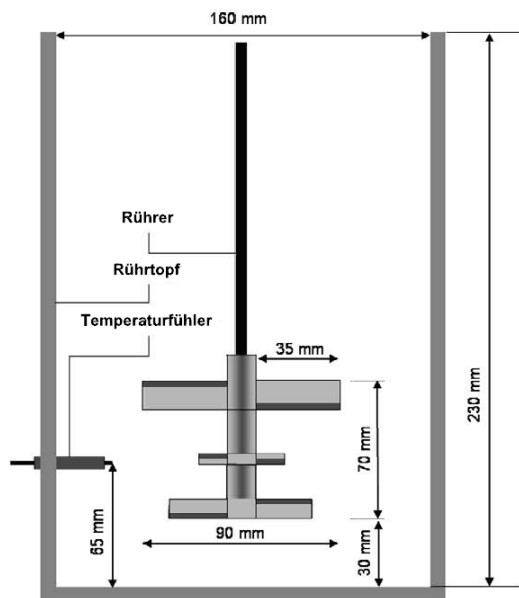


Abbildung 6: Prüfeinrichtung [14]

- Rührtopf (Innendurchmesser: 160 ± 2 mm; Innenhöhe: 230 mm)
- Rührgerät mit Drehzahlregelung und Rührwiderstandserfassung
- Heizmantel zur Erwärmung des Rührtopfes
- Rührer (Durchmesser: 90 mm, Flügelbreite: 20 mm mit unterschiedlichem Anstellwinkel; Flügelblechdicke: 4 mm; Gesamthöhe: ≥ 250 mm; Rührwerkshöhe: 70 mm)
- Temperaturfühler (Messbereich 150 bis 300 °C; Empfindlichkeit: $\leq 0,1$ °C)

Das im Labor oder im Asphaltmischwerk hergestellte Gussasphaltmischgut wird in den auf 240 °C vorgeheizten Rührtopf gefüllt. Der Gussasphalt wird mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 25 Umdrehungen pro Minute gerührt. Der erste Wert wird erfasst, wenn das Gussasphaltmischgut auf 240 °C aufgeheizt wird und der Rührwiderstand mindestens 5 Minuten konstant bleibt. Danach wird bei ausgeschaltetem Heizmantel der Rührwiderstand ständig erfasst, bis das Gussasphaltmischgut auf eine Temperatur von 190 °C abkühlt. [14]

2.1.5 EIGENSCHAFTEN

“Das Wort Asphalt leitet sich vom griechischen Begriff asphaltos = sicher, zuverlässig, dauerhaft ab, womit auch Eigenschaften des Gussasphalts beschrieben sind.“ [15]

In Tabelle 5 sind die Eigenschaften von Gussasphalt aufgezählt.

Tabelle 5: Vor- und Nachteile des Gussasphalts [6]

Vorteile	Nachteile
alterungsbeständig	hochpreisig
bauzeitsparend	hohe Einbringtemperaturen
belegbar	nicht pumpfähig
brandsicher	geringere Wärmeleitzahl als Zementestrich
dampfdruckdicht-fugenlos	
dicht-hohlraumfrei	
elektrisch isolierend	
geräuschkämpfend	
gleitsicher	
korrosionsbeständig	
nutzungsbeständig	
säure- und laugenbeständig	
schalldämmend	
staubfrei-pflegeleicht	
trocken-wasserfest	
verschleißfest	
wärmedämmend	
wasserdicht	

2.1.6 VERARBEITUNG VON GUSSASPHALT

Zum Transport von Gussasphalt wird ein mobiler Gussasphaltkocher verwendet (Abbildung 7 links). Diese Arbeitsmaschine umfasst einen Behälter zum Transportieren des Gussasphalts, ein Rührwerk zum Mischen und einen elektrischen Rührwerksantrieb. Während des Transports soll der erwärmte Gussasphalt nicht auskühlen, deshalb ist ein Beheizen des Behälters erforderlich. Für Bereiche, die mit dem Gussasphaltkocher nicht direkt erreichbar sind, z.B. Tiefgaragen, werden spezielle Dumper verwendet (Abbildung 7 rechts). Dies sind kleine, wendige und auch auf engstem Raum mobile Gussasphaltkocher mit kurzem Radstand. [6]



Abbildung 7: Gussasphalt-Kocher (links), Gussasphalt-Dumper (rechts) [16]

In Tabelle 6 sind die Temperaturgrenzen der Mischguttemperaturen gemäß ÖNORM B 3585 im Transportbehälter zwischen Kocher und Einbaustelle gegeben.

Tabelle 6: Temperaturgrenzen des Mischgutes [9]

Bindemittel	Temperaturgrenzen für das Mischgut
	°C
Alle Arten von Bitumen bzw. deren Mischungen	≤ 250

Der Einbau erfolgt von Hand oder mit speziellen Einbaubohlen. Bei kleinen Baustellen wird der Gussasphalt händisch eingebaut. Der Gussasphalt wird direkt aus dem Kocher in Holzkübel oder Schubkarren verladen und gelangt so zum Einbauort (Abbildung 8 links). Dort wird der Kübel bzw. Schubkarren entleert, mit Streichgeräten aus Holz verteilt und in die richtige Lage und Dicke gestrichen. Für den maschinellen Einbau bei größeren Straßenbaustellen sind Gussasphalt-Einbaubohlen geeignet. Der Gussasphalt wird vom Fahrzeug direkt vor der Bohle ausgeleert, dann nur kurz verteilt (Abbildung 8 rechts). Durch Fertiger wird Gussasphalt lagegerecht und in die richtige Dicke eingebracht. Danach wird der heiße Gussasphalt mit einem bituminisierten Splitt gleichmäßig abgesplittet. Das kann durch einen Splitter, der hinter dem Fertiger sich befindet, erfolgt werden. Der Splitt wird mit Walzen in den Gussasphalt eingewalzt. Meist werden Gummiradwalzen oder Glattwalzen verwendet. Schließlich, wenn Gussasphalt kalt ist, wird der überschüssige Splitt entfernt. Dazu wird ein Kehrwagen benutzt. [6]



Abbildung 8: händischer (links) und maschineller (rechts) Einbau von Gussasphalt [17]

2.1.7 ANWENDUNGSGEBIETE

Straßenbelag

Der Gussasphalt als Straßenbelag zeichnet sich neben der hohen Griffigkeit gerade auch hohe Beanspruchbarkeit und lange Lebensdauer aus. Die Deckschichten aus Gussas-

phalt besitzen eine lange Nutzungsdauer und sie können lärmtechnisch optimiert werden. Gussasphaltdeckschichten sind umweltfreundlich wieder benutzbar. [5]

Garagenbefestigung

Gussasphalt in Tiefgaragen ist flüssigkeitsundurchlässig und dient dem Schutz der Betonbauteile vor Tausalzbeanspruchung. Der Gussasphalt als Belag in Tiefgaragen wird durch geringe Einwirkung von Kraftstoffen und Ölen in der Nutzung nicht beeinträchtigt. Er entspricht der erforderlichen Brandklasse und wenn die Reparaturmaßnahmen erforderlich sind, können die Flächen nach kürzester Zeit wieder benutzt werden. [18]

Gehsteigbefestigung

Gussasphalt eignet sich auch im Bereich von gering belasteten Verkehrsflächen wie z.B. Gehsteigen und Gehwegen. Meist werden weichere Gussasphaltrezepte angewendet. Diese Asphaltart ist besonders geeignet für Gehwege, weil beim Einbau von schmalen Gehwegen keine Fertiger nötig sind. Durch Verwendung von diesem Baustoff kann ein hoher Laufkomfort für die Sportler erreicht werden, weil keine Auswaschung möglich ist, wie bei wassergebundenen Wegedecken. Der Gehkomfort wird auch durch ebene Oberfläche erhöht. Es ist keine Unkrautbekämpfung nötig wie bei Pflasterflächen wegen Fugenlosigkeit und somit sind die Unterhaltungskosten niedrig. Der Winterdienst wird durch Ebenheit und Fugenlosigkeit erleichtert. [18]

Radwege

Gussasphalt ist der ideale Baustoff für Radwege, da er den Fahrkomfort wegen Fugenlosigkeit erhöht. Radwege aus Gussasphalt lassen sich farblich gestalten und somit können optisch von anderen Verkehrsräumen getrennt werden. [19]

Bahnsteige

Gussasphalt auf Bahnsteigen ist robust und dauerhaft. Er kann leicht gereinigt werden und kann auf einfache Art und Weise an unterschiedliche Erfordernisse angepasst werden. [19]

Brückenbau

Beim Brückenbau übernimmt der Gussasphalt die Funktion der Schutzschicht und der Deckschicht. Wenn Gussasphalt als Schutzschicht zur Anwendung kommt, kann kein Wasser in die Fahrbahnkonstruktion der Brücke eindringen. Gussasphalt als Deckschicht kann die Schwingungen der Brücke besser aufnehmen. [6], [19]

Sondergebiete

Aufgrund seiner zahlreichen positiven Eigenschaften kann Gussasphalt in vielen Bereichen unserer Umwelt (z.B. Sportplätze, Wasserbau, Deponiebau, Tunnels usw.) eingesetzt werden. [19]

2.1.8 VERGLEICH GUSSASPHALT – WALZASPHALT

In Abbildung 9 wird ein Vergleich zwischen Gussasphalt-Probekörper und Walzasphalt-Probekörper gezeigt. Erst wird sich Walzasphalt durch die Zusammensetzung der Gesteinskörnungen, Bitumengehalt und Bitumensorte von Gussasphalt unterschieden. Im Vergleich zu Gussasphalt bekommt Walzasphalt seine Festigkeit durch die Abstützung des Korngerüsts der Mineralstoffe untereinander in Verbindung mit dem Bindemittel. Ein sichtbarer Unterschied ist beim Einbau von Walzasphalt, der mit Fertiger eingebaut und mit Walzen verdichtet wird. Gussasphalt wird flüssig verarbeitet und muss nicht verdichtet werden. Gussasphalt ist hohlraumfrei und bei diesem Mischgut werden die Hohlräume im Mineralstoffgemisch mit Mastix (Bitumen + Füller) voll ausgefüllt. Die Herstellungstemperatur von Walzasphalt beträgt $160 \pm 20 \text{ °C}$ und ist somit niedriger als die des Gussasphalts $220 - 250 \text{ °C}$. [6]



Abbildung 9: Gussasphalt (links), Walzasphalt (rechts)

2.1.9 BEISPIELE AUS DER PRAXIS

Bosporusbrücken in Istanbul – „Gussasphalt verbindet Europa mit Asien“

Gussasphalt ist seit langem ein bewährter Baustoff in der Türkei. Beim Bau der großen Bosporusbrücken in Istanbul wurde nämlich Gussasphalt als Belag verwendet.

Die Erste Bosphorus Brücke wurde 1973 eröffnet und ihre Fahrbahn mit einer 40 mm dicken Gussasphaltschicht belegt. Die Fahrbahn der Brücke wurde im Jahr 1991 ebenfalls mit einer 40 mm dicken Gussasphaltschicht erneuert. [20]

Die Fatih-Sultan-Mehmet-Brücke oder Zweite Bosphorus Brücke wurde im Jahr 1988 fertiggestellt. Ihre Fahrbahn wurde auch mit einer 40 mm dicken Gussasphaltschicht eingebaut. [20]

Nach den guten Erfahrungen entschied man sich beim Einbau der dritten Bosphorus Brücke „Yavuz-Sultan-Selim-Brücke“ auch für einen Belag aus Gussasphalt. Die dritte Brücke wurde am März 2016 fertiggestellt. [20]

Als Bestandteile des Gussasphalts für diese drei Bosphorusbrücken wurden Kalkstein 5 – 12 mm (50%), Kalkstein 0 – 3 mm (23,77%), Füller (15,83%) und Bitumen (10,40%) verwendet. [21]

Als Bindemittel für Gussasphalt wurde ein Straßenbaubitumen 50/70 und Naturasphalt bzw. Mischung daraus verwendet (Tabelle 7). [21]

Tabelle 7: Merkmale des Bindemittels [21]

Materialien	Penetration	Löslichkeit %	Erweichungspunkt RuK °C
B 50/70	50,4	99,99	49,9
TLA (Naturasphalt)	2,3	54	113,3
%50 B 50/70 + %50 TLA	13,8	76,95	63,7
Spezifikation	10 – 25	–	58 – 80

Anmerkung: Der Trinidad-Naturasphalt besteht aus Wasser, Bitumen und Mineralstoffen und verbessert die Eigenschaften (Benetzung, Haftfestigkeit, Verformungswiderstand, Alterungsbeständigkeit) des Straßenbaubitumens. Durch die Naturasphaltbeigabe auf Brücken wird eine herabgesetzte Rissgefahr erwartet. [22], [6]

Gussasphalt für die Bosphorusbrücken wurde in zwei verschiedenen Asphaltmischanlagen „ISFALT“ Habibler (65 t/h) und Aydinli (35 t/h) bei einer Temperatur von 220 ± 10 °C hergestellt. Zur Kontrolle der Qualität des Baustoffs wurde das Prüfverfahren „Mastik Indentation“ (Eindringtiefe) gemäß BS 5284 und TS EN 12697-20 durchgeführt (Tabelle 8). [21]

Tabelle 8: Eindringtiefe [21]

Eindringtiefe (BS 5284) (Prüftemperatur 35 °C) (mm)		Eindringtiefe (TS EN 12697-20) (Prüftemperatur 40 °C) (mm)	
1 min	Härteklasse	30 min	maximale Zunahme nach weiteren 30 Minuten
1,63	16	3,02	0,38

2 LITERATURRECHERCHE

Anmerkung: Die Prüfungen wurden sofort nach der Herstellung des Gussasphalts auf der Asphaltmischanlage und während des Einbaues auf der Baustelle durchgeführt. [21]

Die Soll-Sieblinie ist in Tabelle 9 ersichtlich. Im Anhang ist das Diagramm der Soll-Sieblinie dargestellt.

Tabelle 9: Sieblinie [21]

Siebgröße mm	Siebdurchgang M.-%
12,7	100,0
9,52	94,5
6,30	70,6
4,76	52,2
2,36	48,1
0,600	39,0
0,212	28,7
0,075	21,1

Zum Transport von Gussasphalt wurden horizontale und vertikale Gussasphaltkocher verwendet (Abbildung 10). [21]

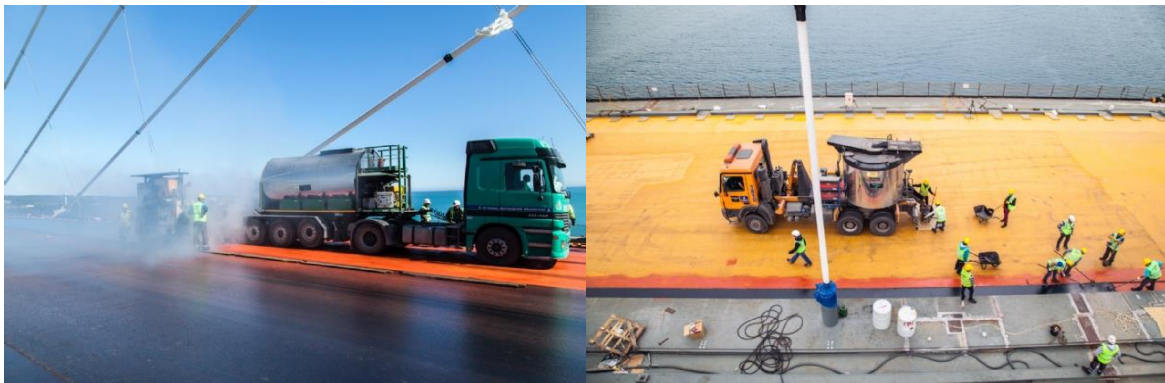


Abbildung 10: horizontale (links) und vertikale (rechts) Gussasphalt-Kocher [23]

Gussasphalt wurde mittels speziellen Fertiger mit integriertem Splittstreuer eingebaut (Abbildung 11). [21]

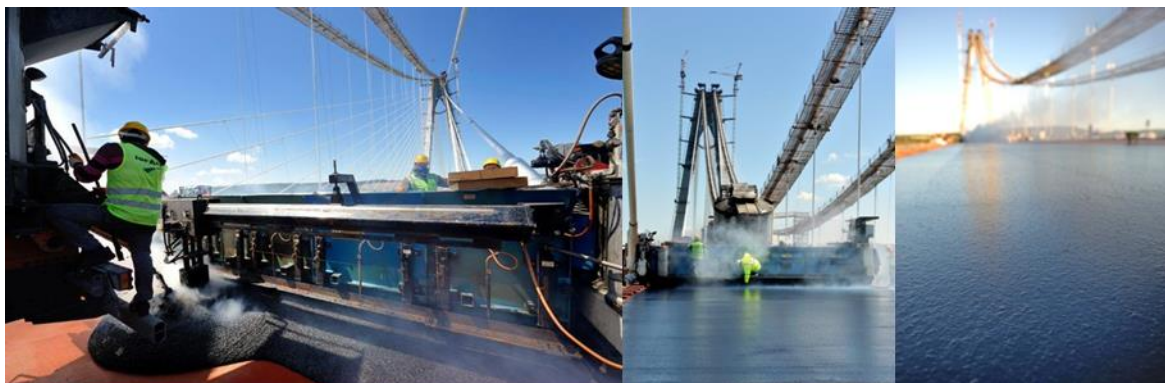


Abbildung 11: maschineller Einbau von Gussasphalt [23]

Die Bereiche, die mit dem Fertiger nicht direkt erreichbar waren, wurden händisch eingebaut (Abbildung 12). [21]



Abbildung 12: händischer Einbau von Gussasphalt [23]

Anmerkung: Die oben gezeigten Fotos sind von der Baustelle der dritten Bosporus Brücke.

Die mit Gussasphalt belegten Fahrbahnen wurden abgesplittet (15 kg/m^2). Nach 24 Stunden wurde der überschüssige Splitt entfernt. [21]

Elisabethenparking in Basel

Das Parkhaus Elisabethen in der Schweiz wurde mit einer 30 mm dicken Gussasphaltdeckschicht MA 8 S belegt. Die Parkfläche wurde mit Quarzsand abgestreut und mit Webasil Color gestrichen. Dieser Anstrich Webasil Color schützt den Gussasphalt vor den schädlichen Einflüssen von Diesel und Benzin. Der Fahrbereich wurde mit 2/4 bituminösem Splitt leicht abgesplittet. [24]

Zuerst wurde die bestehende Gussasphaltschicht ausgebrochen, dann wurden die bestehenden Dilatationsfugen und Rinnen reprofiliert und isoliert. Schließlich wurde Gussasphalt schwimmend eingebaut. [24]

Die Ausführung dauerte vom Mai bis zum Oktober 2012. [24]

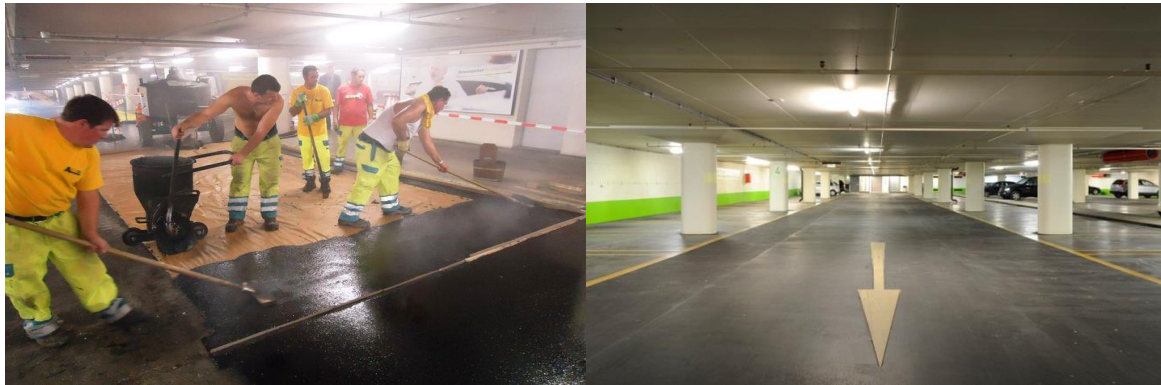


Abbildung 13: Einbau des Gussasphalts (links), Ansicht des Parkhauses (rechts) [24]

2.2 TEMPERATURABGESENKTER ASPHALT

Beim Einbau von Asphalt mit hohen Temperaturen werden gesundheitsschädliche und umweltschädliche Dämpfe und Aerosole aus Bitumen freigesetzt. Je höher die Temperatur steigt, desto höher sind die Schäden für Umwelt und Gesundheit. Ein weiterer negativer Aspekt der Herstellung und des Einbaus von Asphalt ist, dass eine hohe Menge an Energie wegen der hohen Temperaturen für die Produktion des Mischguts verbraucht wird. Daher werden seit einigen Jahren Untersuchungen und Versuche durchgeführt, um die Herstellungs- und Einbautemperatur von Asphalt zu verringern. [25]

Auf Anraten von dem Gesprächskreis BITUMEN wurde der Grenzwert für gesundheitsschädliche und umweltschädliche Dämpfe und Aerosole aus Bitumen auf 10 mg/m^3 abgesenkt und dieser somit für Gussasphaltarbeiten festgelegt. Tabelle 10 zeigt die freigesetzten Emissionen beim Einbau von Guss- und Walzasphalt. [25]

Tabelle 10: Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen bei der Heißverarbeitung [25]

Arbeitsverfahren	Anzahl	95 % - Wert
Walzasphalt		
Fertigerfahrer	225	$8,9 \text{ mg/m}^3$
Bohlenführer	161	$12,4 \text{ mg/m}^3$
Walzenfahrer	56	$2,5 \text{ mg/m}^3$
Fertigerfahrer, im Tunnel	34	$18,6 \text{ mg/m}^3$
Bohlenführer, im Tunnel	72	$18,5 \text{ mg/m}^3$
Walzenfahrer, im Tunnel	18	$8,8 \text{ mg/m}^3$
Gussasphalt, temperaturabgesenkter händischer Einbau, < 230 °C		
es liegen zu wenige Messungen vor, um sichere Aussagen treffen zu können		die Expositionen liegen unter 12 mg/m^3
Gussasphalt, temperaturabgesenkter maschineller Einbau, < 230 °C		
Zapfer	43	$7,7 \text{ mg/m}^3$
Bohlenführer	57	$9,0 \text{ mg/m}^3$
Nacharbeiten	43	$2,9 \text{ mg/m}^3$

2.2.1 HISTORISCHER ÜBERBLICK

Die Treibhausgasemissionen sind die hauptsächliche Ursache für die globale Erwärmung. Deswegen haben die Industrieländer sich am 11. Dezember 1997 aus Klimaschutzgründen das Kyoto-Protokoll beschlossen. Darin verpflichteten sich die Industrieländer selbst dazu, Grenzwerte von Treibhausgasemissionen einzuhalten. Ein Jahr früher wurden in Deutschland Grenzwerte für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung festgelegt. [25]

Der Gesprächskreis BITUMEN wurde 1997 in Deutschland gegründet. Anhand Untersuchungen über Expositionen wird versucht, einer Gefährdung durch Dämpfe und Aerosole aus Bitumen mit Schutzmaßnahmen entgegenzuwirken. Nach einem Jahr wurde ein weiterer Arbeitskreis zur Temperaturabsenkung „AKTA“ in Bonn gegründet. [25]

Im Jahr 1997 wurde temperaturabgesenkter Asphalt auf einem Containerumschlagsplatz im Industriepark Hoechst verwendet. [25]

Im Mai 2000 wurde der Grenzwert für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung vom Ausschuss für Gefahrstoffe auf 10 mg/m^3 umdefiniert. Ein Jahr später erhielt die Autobahn A4 auf der Rodenkirchener Brücke bei Köln eine temperaturabgesenkte Gussasphaltschicht. [25]

Amerikanische Delegationen haben im August 2002 Deutschland besucht, um sich über die Herstellung und den Einbau von temperaturabgesenkten Asphalt zu informieren. [25]

Erst im Jahr 2003 wurde auch in Tirol/Österreich eine Sanierung von Teilstrecken bei Temperatur von $128 - 135 \text{ °C}$ durchgeführt. [25]

2004 wurde die Landebahn Nord vom Flughafen Frankfurt mit temperaturabgesenktem Asphalt erneuert. Im gleichen Jahr wurden auf der A7 und der B106 Versuchsstrecken mit Walzasphalt bei niedrigen Temperaturen eingebaut. [25]

Temperaturabgesenkter Walzasphalt wurde auch während Erneuerungsarbeiten der Europatrasse E49 im Jahr 2005 verwendet. Noch in 2005 wurde Walzasphalt in Slowenien sowohl bei normalen (168 °C) als auch bei abgesenkten (143 °C) Temperaturen hergestellt. [25]

In 2007 wurde die Autobahn A3 bei Obertshausen – Hanau mit temperaturabgesenktem Gussasphalt eingebaut. [25]

Nach dem Besuch der amerikanischen Delegationen in Deutschland 2002, wird das Thema „Warm Mix Asphalt“ (WMA) in den USA viel besprochen. Somit gab es in 2008 eine Konferenz zum Thema „WMA“ in Nashville/USA. [25]

Im Juli 2009 beim Einbau des Schlüchternner Tunnels wurde temperaturabgesenkter Walzasphalt als Deckschicht und Tragschicht verwendet. [25]

Zusammenfassend kann man sagen, dass temperaturabgesenkter Asphalt sehr häufig im Zusammenhang mit Umweltschutz und Gesundheit erwähnt wird und daher viel darüber geforscht wird.

2.2.2 VORTEILE

Weniger Dämpfe und Aerosole beim Einbau

Die niedrigen Einbautemperaturen wirken positiv auf die Gesundheit der Beschäftigten. Somit eine Absenkung der Temperatur um 10 Grad halbiert die schädlichen Emissionen. Die Einbautemperatur von Walzasphalt kann von 160 °C auf 130 °C reduziert werden und Gussasphalt kann anstatt 250 °C bei 210 – 220 °C verarbeitet werden. [25]

Die Resultate von den Emissionsmessungen beim Einbau von Walzasphalt sind in Abbildung 14 dargestellt. Die Abbildung zeigt deutlich, dass bei der Verwendung von temperaturabgesenktem Walzasphalt die Werte der Expositionen unter 10 mg/m³ liegen. [25]

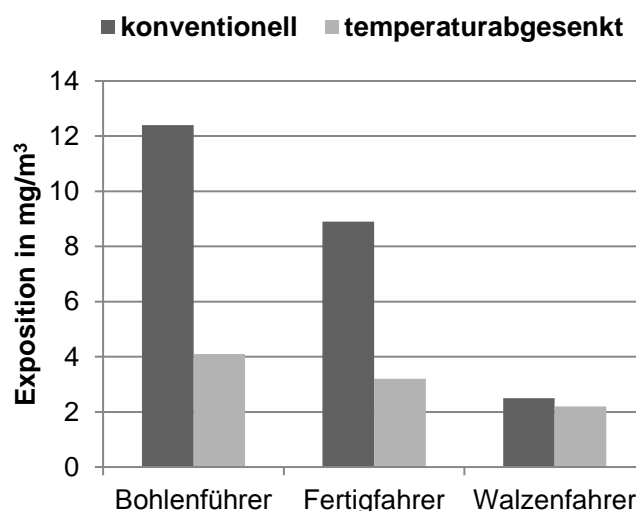


Abbildung 14: Expositionen beim konventionellen und temperaturabgesenkten Einbau von Walzasphalt [25]

Wie in den folgenden Abbildungen (15,16) zu sehen ist, ist die Emissionsreduzierung bei Gussasphalt deutlicher.

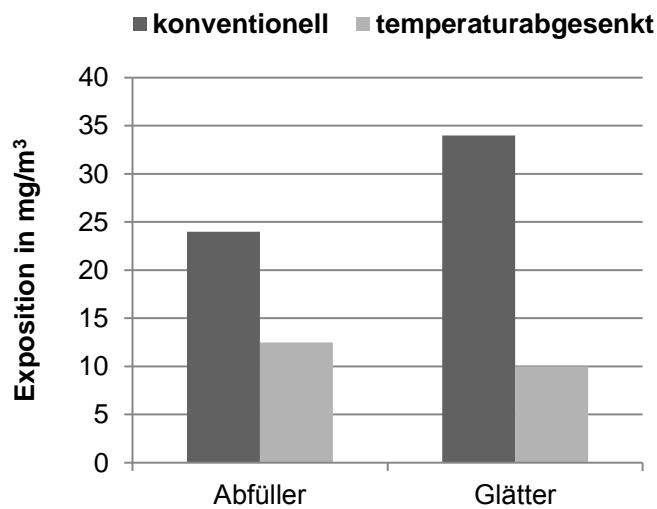


Abbildung 15: Expositionen beim konventionellen und temperaturabgesenkten Einbau von Gussasphalt von Hand [25]

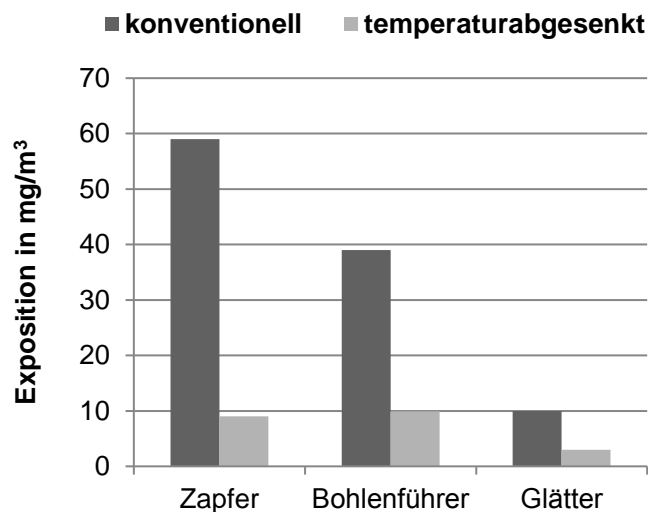


Abbildung 16: Expositionen beim konventionellen und temperaturabgesenkten maschinellen Einbau von Gussasphalt [25]

Geringeren Energieverbrauch und Reduzierung von CO₂-Emissionen

Die Reduzierung des Energiebedarfs kann durch Absenken der Mischtemperatur erreicht werden. Für die Herstellung von konventionellem Walzasphalt werden 7,1 l Heizöl pro Tonne verbraucht und bei konventionellem Gussasphalt ist dieser Wert 10 l/t. [25]

Seit 2008 ist in Deutschland die Einbautemperatur von Gussasphalt maximal 230 °C. [25]

1 l Heizöl setzt 2,62 kg CO₂ frei und neben Kohlendioxid z.B. auch Methan, Lachgas, Fluorchlorkohlenwasserstoffe oder SF₆ ergeben 1 l Heizöl 3,12 kg CO₂-Äquivalente. Der

maschinelle Einbau von Gussasphalt wird meist unter 230 °C durchgeführt, deshalb kann man noch weitere Verringerung des CO₂ erreichen. [25]

In 2007 wurde in Deutschland bei der Produktion von 50 Mio t Walzasphalt durch eine Absenkung der Einbautemperatur um ca. 20 °C eine Einsparung von 41,9 Mio l Heizöl und eine Verringerung der CO₂ Emissionen um etwa 130.700 t erreicht. [25]

Erhöhung der Verformungsbeständigkeit

Durch Benutzung von viskositätsverändernden organischen Zusätzen wird nicht nur die Temperatur reduziert, sondern auch der Verformungswiderstand des Asphalts bei Wärme wird verbessert. [26]

Vorzeitige Verkehrsfreigabe

Die mit viskositätsverändernden organischen Zusätzen und mit abgesenkten Temperaturen hergestellten und eingebauten Asphalte können vorzeitiger benutzt werden. [26]

Verdichtungshilfe

Beim Einsatz dieser Asphalte wird eine bessere Verdichtbarkeit erreicht. Dieser Vorteil ist bedeutsam beim Einbau von Hand oder wenn bei schlechtem Wetter eingebaut wird. [26]

Weniger Alterung des Bindemittels

Beim Erhitzen von Bitumen auf hohe Temperaturen bei der Asphaltherstellung verliert es seine Eigenschaften und altert. Dies wird sich bei der niedrigen Herstellungs- und Einbautemperatur von Asphalt beschränkt. [26]

2.2.3 BAUSTOFFE

2.2.3.1 ORGANISCHE ZUSÄTZE

Viskositätsverändernde organische Zusätze können nicht nur zur Herstellung von viskositätsveränderten Bindemittel verwendet werden, sondern auch direkt bei der Herstellung des Asphaltmischgutes. [26]

Die meisten der heute verwendeten Zusätze können in drei Gruppen eingeteilt werden: Fischer-Tropsch-Wachs, Amidwachs, Montanwachs (Tabelle 11). [26]

Tabelle 11: viskositätsverändernde organische Zusätze und deren Wirkung am Beispiel eines Straßenbaubitumens 50/70 [26]

Beschreibung		Stoffe			
		Fischer-Tropsch-Wachs	Amidwachs	Montanwachs	
Aussehen		weißes Pulver oder Granulat	weißes Pulver oder Granulat	braunes Pulver oder Pastillen	
Struktur		langkettige aliphatische Kohlenwasserstoffe	Fettsäurediamid	Montansäureester	
Eigenschaften	Tropfpunkt [°C]	114 bis 120	140 bis 145	110 bis 140	
	Erstarrungspunkt [°C]	100 bis 105	135 bis 142	100 bis 130	
	Dynamische Viskosität in mPas bei	130 °C	11 bis 15	nicht messbar	20 bis 200
		140 °C	9 bis 13	13 bis 17	nicht bestimmt
150 °C		8 bis 12	9 bis 13	5 bis 15	
Wirkungsweise in einem Straßenbaubitumen 50/70	Zugabemenge [M.-%]	3,0*	3,0*	2,5 bis 3,0*	
	Erhöhung des EP RuK [°C]	25 bis 35	40 bis 55	nach Angaben des Herstellers	
	Verringerung der Nadelpenetration [1/10 mm]	15 bis 25	10 bis 15	nach Angaben des Herstellers	

*) Massenanteil bezogen auf das Bindemittel

Fischer-Tropsch-Wachs

In 1925 wurde Fischer-Tropsch-Wachs von Franz Fischer und Hans Tropsch entwickelt. Das Wachs ist ein Gemisch aus festen, meist unverzweigten, gesättigten Kohlenwasserstoffen und wird mit der Fischer-Tropsch-Synthese gewonnen. [26]

Es gibt einen Unterschied zwischen die Kettenlänge der FT-Moleküle und der Kettenlänge erdöleigener Paraffine. Deswegen weisen die FT-Paraffine andere physikalische Eigenschaften auf, daher ist den Vergleich mit paraffinischen Anteilen im Bitumen nicht möglich. [26]

Ab einer Temperatur von mindestens 115 °C sind diese Paraffine vollständig löslich in Bitumen. Beim Mischen mit dem Basisbitumen bildet sich eine homogene Lösung und somit senkt sich die Viskosität im flüssigen Zustand. [26]

Das Abkühlen bewirkt Kristallisation von FT-Paraffinen und im Bitumen werden Kristallite gebildet, durch die die Erhöhung der Stabilität und Verformungsbeständigkeit von Asphalt erreicht wird. [26]

Amidwachs

Amidwachs ist langkettiger aliphatischer Kohlenwasserstoff und wird synthetisch hergestellt. Die Verwendung von Amidwachs erhöht den Widerstand gegen bleibende Verformungen bei höheren Temperaturen. Im Vergleich mit anderen Wachsadditiven ergibt es nur geringe negative Veränderungen im Tieftemperaturverhalten. [26]

Amidwachs wird als weißes Pulver oder Granulat verkauft. Der Tropfpunkt von Amidwachs liegt zwischen 140 – 145 °C und der Erstarrungspunkt zwischen 135 – 142 °C. [26]

Montanwachs

Montanwachs wird aus bituminöser Braunkohle gewonnen. Es besteht aus höher molekularen Kohlenwasserstoffen. Die Verarbeitbarkeit wird durch Umwandlung mit Montanwachs deutlich verbessert. [26]

Der Schmelzbereich liegt zwischen 110 – 140 °C und der Erstarrungspunkt zwischen 100 – 130 °C. Montanwachs kann als braunes Pulver oder Pastillen gekauft werden. [26]

Montanwachs kann direkt in den Mischer mit entsprechender Nachmischzeit hinzugefügt werden. Bei Gussasphalt erfolgt die Zugabe von Wachs in den mobilen Rührwerkskessel. [26]

2.2.3.2 MINERALISCHE ZUSÄTZE

Als mineralische Zusätze werden meist natürliche und synthetisch hergestellte Zeolithe verwendet. Der Wassergehalt von natürlichen Zeolithen beträgt 6 – 10 M.-% und von synthetisch hergestellten Zeolithen 25 M.-%. [26]

Beim Mischprozess werden Zeolithe gemeinsam mit dem Füller zugegeben. Das im Zeolith gebundene Wasser wird beim Erhitzen als Wasserdampf freigesetzt und somit wird die Verarbeitungviskosität des Bitumens abgesenkt. Deswegen ist der Einbau vom Asphaltmischgut bei niedrigen Temperaturen möglich. [26]

Die mikrofeinen Dampfbläschen werden beim Abkühlen des Asphalts und Bindemittels kondensiert, dadurch wird wieder Erhöhung der Viskosität vom Bindemittel erreicht und das Asphaltmischgut erhält seine anfänglichen Eigenschaften. [26]

Tabelle 12: viskositätsverändernde mineralische Zusätze [26]

Beschreibung	Zeolithe
Aussehen	<ul style="list-style-type: none">▪ Zeolithe des A-Typs kommen als weißes oder gelblich gefärbtes Pulver in den Handel.▪ Kenngrößen sind Korngrößenverteilung und Dichte.▪ Die Korngrößenverteilung gibt Aufschluss über Handling und einzusetzende Verfahren.▪ Die Dichte weist auf die Lockerheit der Struktur hin.
Struktur	<ul style="list-style-type: none">▪ Dreidimensionale Gerüstsilikate mit weitmaschig angelegten Strukturen, großen Hohlräumen oder Kanälen.▪ Die Poren sind zwischen 2 und 5 Å<ul style="list-style-type: none">○ (1 Å = 10⁻¹⁰ m) groß.▪ Zeolithe sind form- und größenstabil.

2.2.3.3 VERFAHRENSTECHNISCHE METHODEN

Schaumbitumen

Zur Erzeugung von Asphalt wird in der Asphaltmischanlage ein Gemisch aus Bitumen (ca.98%) und Wasser (ca.2%) benutzt. Die Mischung von Bitumen und Wasser erfolgt in einer Expansionskammer unter Druck und somit entsteht durch die Bildung von Wasserdampf ein Bitumenschaum. Schaumbitumen und Zeolithe haben eine ganz ähnliche Wirkungsweise. [26]

Zugabe feuchter Materialien

Für die Asphaltproduktion wird meist nicht völlig getrockneter Sand verwendet und deshalb kann das Asphaltmischgut feucht zugesetzt werden. Wie bei der Verwendung von Zeolithen oder Schaumbitumen entsteht Wasserdampf. [26]

2-Phasen Mischsystem

Das resultierende Bitumen wird in der Mischanlage aus 2 unterschiedlichen Basisarten erzeugt. Um eine Umhüllung des Gesteins zu erzielen, wird zuerst weiches Bitumen (1/3 der Bindemittelmenge) gegeben. Dann wird 2/3 des härteren Bitumens zugegeben. Somit wird ein geringerer Verdichtungswiderstand erreicht. [26]

KGO-Verfahren

Die Methode wird von Karl-Gunnar Ohlsen erfunden. Zuerst wird eine Mischung von groben Gesteinskörnungen mit Bitumen in einer Mischanlage durchgeführt und dann wird der Sand (0 – 2 mm) zugegeben. Daher kann der Asphalt bei niedrigen Temperaturen hergestellt werden. [26]

3 PRÜFMETHODEN UND MATERIALIEN

3.1 PRÜFMETHODEN

Die Prüfmethode innerhalb dieser Diplomarbeit lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- 1) Verarbeitbarkeit
- 2) Gebrauchsverhaltensorientierte Prüfverfahren

Ein wesentliches Kriterium beim Einbau von Asphalt ist die Verarbeitbarkeit. Einerseits wird die Verarbeitbarkeit von Gussasphalt unter Verwendung von der Drehmomentmessung während des Mischens gemessen, andererseits kann die Verarbeitungskontrolle von Gussasphalt mittels Ausbreitversuchs erfolgt werden.

Das Gebrauchsverhalten wird durch Abkühlprüfungen (TSRST) nach EN 12697-46 und einaxiale, zyklische Druckschwellprüfungen (UCCT) nach EN 12697-25 ermittelt. Die Bruchtemperatur wird als Maß für die Beständigkeit gegen Kälterisse herangezogen und die bleibende Axialverformung als Maß für die Beständigkeit gegen bleibende Verformungen.

3.1.1 DMM (DREHMOMENTMESSUNG)

Kurzbeschreibung

Um das Drehmoment zu messen, wird ein der EN 12697-35 entsprechender Labormischer (Gegenlaufzwangsmischer) verwendet. Abbildung 17 zeigt den Mischer und den Wärmeschrank. Bei der Drehmomentmessung wird ein Rührer durch das Asphaltmischgut gedreht und somit wird das notwendige Drehmoment gemessen. Die Mischgutkomponenten Gestein und Bitumen müssen vor dem Mischprozess in einem Wärmeschrank getrocknet und aufgeheizt werden, danach kann die Messung durchgeführt werden.



Abbildung 17: InfraTest Labormischer (links), Wärmeschrank (rechts)

Prüfungsverlauf

1. Temperieren der Mischgutkomponenten

Zuerst werden die Materialien vorbereitet. Die Gesteinskomponenten werden in Stahlwannen gestellt, dann werden sie in einem vortemperierten Wärmeschrank getrennt und versetzt gestapelt. Außerdem wird das Bindemittel in einem Kübel zum Temperieren in den Schrank gestellt. [27]

Das Aufheizen von Mischgutkomponenten vor dem Mischprozess ist unbedingt nötig. Gestein und Bitumen werden auf 170 °C temperiert. [27]

Die Gesteinskomponenten müssen in dem Wärmeschrank mindestens 5 Stunden und Bitumen maximal 3 Stunden bleiben. [27]

2. Temperieren des Mixers

Die Temperatur des Zwangsmischers muss der Temperatur von Mischgutkomponenten entsprechen. Folglich wird der Mischer eine Stunde vor Beginn der Prüfung eingeschaltet. [27]

3. Einfüllen der Mischkomponenten in den Mischer

Wenn der Mischer die gewünschte Temperatur erreicht, kann man mit der Prüfung beginnen. Die abgewogenen Gesteinsfraktionen werden aus dem Wärmeschrank entnom-

men und in die Mischtrommel eingefüllt. Zuerst werden die Gesteinskomponenten für 40 Sekunden gemischt. Dann wird der Kübel mit dem Bindemittel aus dem Wärmeschrank entnommen und der notwendige Gehalt in die Mischtrommel eingefüllt. Dieser Mischvorgang dauert 300 Sekunden und somit werden die Komponenten homogenisiert. [27]

4. Durchführung des Versuchs

Das Asphaltmischgut wird aufeinanderfolgend bei verschiedenen Zieltemperaturen geprüft. Die Drehmomentmessung erfolgt in den Intervallen von 20 °C. Zunächst wird die Mischung von Asphaltmischgut bei einer Temperatur von 180 °C durchgeführt. Anschließend ist die Prüftemperatur 200 °C, danach bei 220 °C und abschließend wird die Messung bei einer Temperatur von 240 °C erfolgt. Die Drehmomentmessungen dauern 300 Sekunden bei einer Drehzahl von 40 U/min. [27]

3.1.2 AUSBREITVERSUCH

Kurzbeschreibung

Der Ausbreitversuch erfolgt durch Verwendung von einer Ausbreitplatte (Abbildung 18a) und einem Ausbreittrichter (Abbildung 18b). Die Ausbreitplatte kommt als statische Unterlage zur Anwendung. Sie hat eine Grundfläche von 700 mm x 700 mm. Die Form des Ausbreittrichters ist ein Kegelstumpf mit folgenden Maßen: oberer Durchmesser 130 mm, unterer Durchmesser 200 mm, Höhe 200 mm. Der Kegelstumpf ist aus Metall.

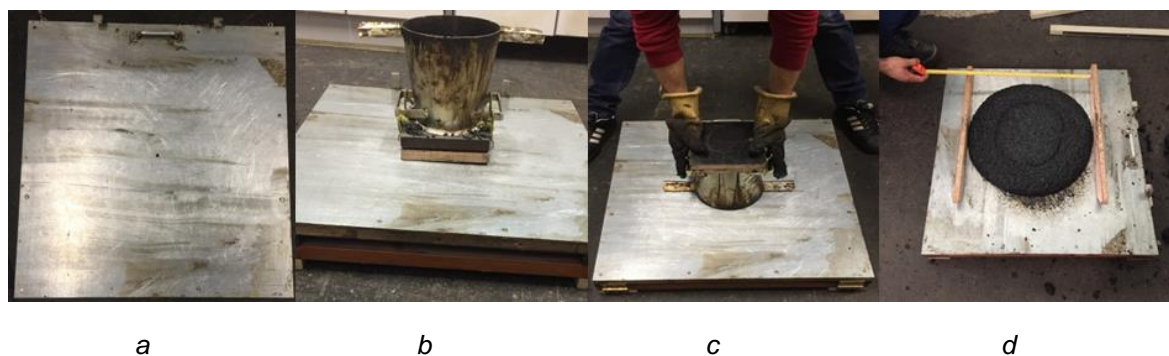


Abbildung 18: Ausbreitplatte *a*, Ausbreittrichter *b*, umgedrehter Trichter *c*, Bestimmen des Höchstausbreitmaßes *d*

Vor dem Mischen vom Gussasphaltmischgut werden die Mischgutkomponenten in einem Wärmeschrank aufgeheizt. Wenn der Mischer auf die Prüftemperatur temperiert worden ist, werden die Mischgutkomponenten gemischt. Danach wird der Gussasphalt rasch in den Trichter eingefüllt. Der Trichter wird umgedreht (Abbildung 18c) und die Befestigung des Deckels gelöst, weiterhin wird die Aluminiumfolie entfernt und anschließend wird mit

Asphalt gefüllte Trichter hochgezogen. Zur Bestimmung von Höchstausbreitmaßen (d_1 und d_2) werden zwei Holzplatten verwendet. Sie werden in zwei Richtungen parallel zu den Kanten angelegt (Abbildung 18d). Der mittlere Durchmesser in Zentimeter ist das Ausbreitmaß (Formel 1). [28]

$$f = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Formel 1: Ausbreitmaß f für Gussasphalt in cm [28]

Wobei:

d_1 – größte Ausbreitung des Gussasphalts in cm parallel zu einer Kante des Ausbreittisches;

d_2 – größte Ausbreitung des Gussasphalts in cm parallel zu anderer Kante des Ausbreittisches;

Prüfungsverlauf

1. Temperieren der Mischgutkomponenten

Die in Stahlwannen gestellten Gesteinskomponenten werden für 5 Stunden und das Bindemittel in einem Kübel für 3 Stunden in einer Wärmekammer (Abbildung 17 rechts) erwärmt. [28]

2. Temperieren des Mixchers

Der Gegenlaufzwangsmischer (Abbildung 17 links) muss auch auf die Versuchstemperatur temperiert werden, deshalb wird der Mischer eine Stunde vor der Prüfung eingeschaltet. [28]

3. Vorbereitung des Trichters

Die Innenseite des Ausbreittrichters und der Oberseite der Aluminiumfolie müssen vor der Prüfung mit einem hochtemperaturgeeignetem Trennmittel (Wachs, hell, weich, mit Silicon) des Unternehmens Technotrenn GmbH gewachsen werden. Mittels dieses Trennmittels können die Versuche bei einer Temperatur von 250 °C durchgeführt werden. [28]

4. Einfüllen der Mischkomponenten in den Mischer

Die Gesteinsfraktionen werden in der Mischtrommel für 40 Sekunden homogenisiert. Dann wird das Bindemittel in die Mischtrommel eingefüllt und die Komponenten werden homogenisiert. [28]

5. Durchführung des Versuchs

Der Trichter wird mit Gussasphalt zur Hälfte gefüllt und Gussasphalt mittels einer Holzlatte verdichtet. Dann wird der Trichter bis zum Rand gefüllt und überstehender Asphalt wird glatt abgestrichen. Der Ausbreittrichter wird umgedreht und in die Mitte auf der Ausbreitplatte positioniert. Der Deckel wird gelöst, die Folie entfernt und der gefüllte Trichter hochgezogen. Nach dem Ausfließen des Gussasphaltes aus dem Trichter muss 90 Sekunden gewartet werden, um die Höchstausbreitmaße in zwei Richtungen parallel zu den Kanten der Ausbreitplatte zu bestimmen. [28]

Der Ausbreitversuch wird aufeinanderfolgend bei verschiedenen Prüftemperaturen durchgeführt. Der Versuch erfolgt in den Intervallen von 20 °C (190 °C, 210 °C, 230 °C und 250 °C). [28]

3.1.3 UCCT (EINAXIALE, ZYKLISCHE DRUCKSCHWELLPRÜFUNG) LAUT EN 12697-25:2005

Anwendungsbereich

Die Beständigkeit von Asphalt gegen bleibende Verformung wird durch die einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung bestimmt. [29]

Bei dieser Prüfmethode wird ein zylindrischer Probekörper einer zyklischen Axialbelastung ausgesetzt. Um eine bestimmte Behinderung der Querdehnung zu erzielen, wird für die Lastplatte ein Durchmesser gewählt, der kleiner ist als der des Probekörpers. [29]

Kurzbeschreibung

Mittels dieser Prüfmethode wird die Verformungsbeständigkeit der zylindrischen Probekörper bei hohen Temperaturen durch die zyklische Belastung bestimmt. Die zylindrischen Probekörper können entweder im Labor hergestellt oder aus der Straße gewonnen werden. [29]

Wenn der Probekörper auf die Prüftemperatur temperiert worden ist, kann der Probekörper zwischen zwei parallelen Lastplatten angeordnet werden. Der Durchmesser der oberen Platte beträgt 100 mm. Die Fassung auf der Unterseite der Platte ist 4 mm, deshalb ist der wirkliche Durchmesser, mit dem die Platte den Asphaltprobekörper presst, 96 mm. Abbildung 19 zeigt die Prüfeinrichtung. Die Belastung erfolgt mittels Blockimpuls. [29]

Im Verlauf der Prüfung wird die Veränderung der Höhen des Probekörpers nach 3600 von Belastungszyklen bestimmt. Hiermit wird die bleibende Verformung des Probekörpers (in %) als Funktion der Anzahl der einaxialen Druckstößen gerechnet. Die Prüfergebnisse werden als Kriechkurve dargestellt. [29]

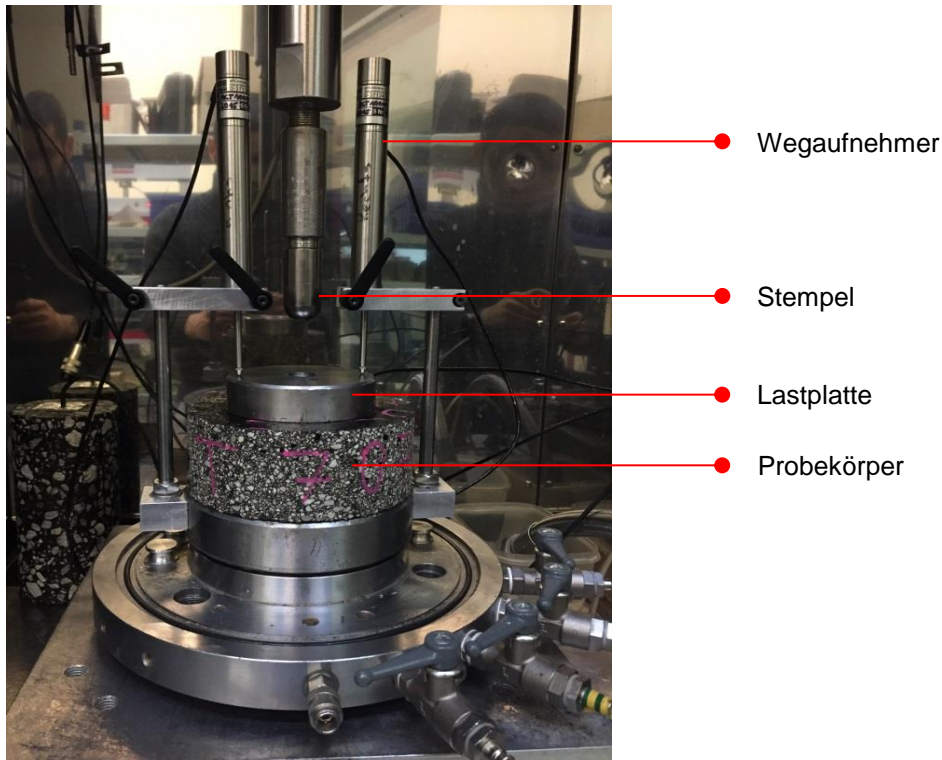


Abbildung 19: Prüfeinrichtung

Prüfeinrichtung

1. Belastungseinrichtung

Die Prüfmaschine muss eine zyklische Belastung mit einer Prüffrequenz 0,5 Hz und eine Größe von (100 ± 2) kPa realisieren. Die Kraftmessdose soll einen Messbereich von 2000 N haben und alle Stahlteile müssen korrosionsbeständig sein. [29]

2. Wegaufnehmer

Die Änderung in der Höhe des Probekörpers wird mittels zwei Verformungsmesswertgeber (Wegaufnehmer) gemessen. Durch Verwendung dieser Wegaufnehmer wird im Verlauf der gesamten Prüfung die Gesamtaxialverformung des Probekörpers skizziert. Diese Wegaufnehmer müssen einen Messbereich von 5 mm und eine Genauigkeit von 0,2 besitzen. [29]

3. Wärmeschrank

Im Wärmeschrank werden die Asphaltprobekörper auf die Prüftemperatur temperiert. Die Temperatur wird bei der Durchführung der Prüfung gehalten. Die Genauigkeit der Temperaturregelung muss $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ sein. [29]

Probekörpervorbereitung

Die Probekörper müssen eine zylindrische Form haben und die Oberflächen der Probekörper müssen glatt und eben sein. Es ist obligatorisch, die beiden Probekörperenden parallel zueinander und senkrecht zu der Zylinderachse zu sein. [29]

Die Probekörper müssen $60 \pm 2 \text{ mm}$ hoch sein und einen Durchmesser von $148 \pm 5 \text{ mm}$ haben. [29]

Die in dieser Diplomarbeit geprüften Probekörper wurden aus im Labor hergestellten Asphaltplatten herausgebohrt.

Konditionierung

Die Lagerungstemperatur für die Probekörper muss im Bereich zwischen $5 \text{ }^\circ\text{C}$ und $25 \text{ }^\circ\text{C}$ liegen. Man muss die Probekörper während der Lagerung nicht aufeinander stellen, sonst kann deren Oberfläche beschädigt werden. [29]

Nach der Verdichtung der Probekörper können sie frühestens nach 2 Tagen geprüft werden. Die Oberflächen der Probekörperenden müssen glatt und eben sein, um die Reibung zwischen den Lastplatten und dem Probekörper herabzusetzen. Vor der Prüfung werden die Probekörper auf die Prüftemperatur (mit einer Abweichung von $\pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$) für mindestens 4 Stunden und nicht länger als 7 Stunden temperiert. Es ist ein Vorteil, wenn die Probekörper in demselben Schrank, wo die Prüfung durchgeführt wird, temperiert werden. Die gewählte Prüftemperatur ist $50 \text{ }^\circ\text{C}$. [29]

Anmerkung: gemäß DIN EN 12697-25, Ausgabe 2016 (die Prüftemperatur liegt zwischen $30 \text{ }^\circ\text{C}$ und $50 \text{ }^\circ\text{C}$); gemäß DIN EN 13108-20, Ausgabe 2016 (Prüftemperatur: $50 \text{ }^\circ\text{C}$)

Durchführung

Mindestens 3 Asphaltprobekörper müssen geprüft werden, um eine detaillierte Kriechuntersuchung zu erzielen. Die Prüftemperatur muss konstant mit einer Abweichung von $\pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ bleiben. [29]

Der Probekörper wird in die Prüfmaschine mittig und coaxial zwischen den beiden Lastplatten gestellt. Die Lastplattenflächen werden mit Silikonfett geschmiert und somit wird die Reibung zwischen der Lastplatten und des Probekörpers gesenkt. Zwei Wegaufnehmer werden auf die beiden Seiten des Probekörpers und auf die obere Lastplatte montiert. Diese Wegaufnehmer dienen zur Bestimmung der Verformung. [29]

Dann wird der Probekörper mit einem Wert von 10 kPa für 10 Minuten vorbelastet. Die Größe der Vorbelastung stimmt mit einem Durchmesser der Belastungsfläche von 96 mm überein. [29]

Nach der Vorbelastungsphase tritt die zyklische Belastung an. Die Belastungsdauer für jeden Impuls beträgt $(1 \pm 0,05 \text{ s})$. Abbildung 20 zeigt die Belastung im Laufe der Zeit. Die Pausen zwischen den einzelnen Lastwechseln betragen auch $(1 \pm 0,05 \text{ s})$ und das heißt eine Prüffrequenz von 0,5 Hz. Die Prüfung beendet, wenn insgesamt 3600 Impulse mit einer Axialbelastung von $(100 \pm 2) \text{ kPa}$ realisiert werden. Die gesamte Prüfung dauert 2 Stunden. [29]

Wie in Abbildung 20 zu sehen ist, wird die bleibende Verformung nach einer bestimmten Zahl von Lastzyklen gemessen.

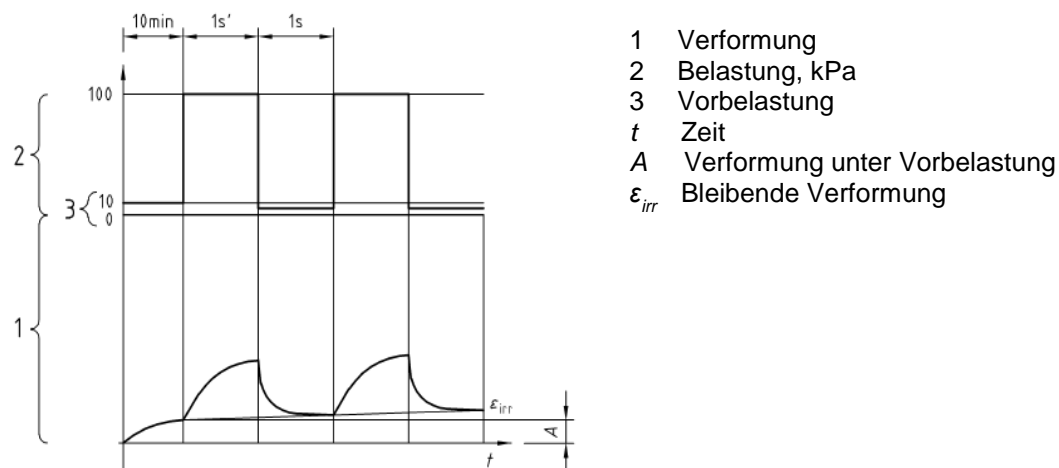


Abbildung 20: Belastungs- und Verformungskurve [29]

Darstellung der Ergebnisse

Bei der UCCT-Prüfung werden die Gesamtaxialverformung nach einer bestimmten Anzahl von Lastwechseln und die Steigung der Kriechrate ermittelt. Die Axialverformung wird laut EN 12697-25 nach 3600 Lastzyklen bestimmt. Mittels der Steigung kann eine langfristige Prognose für die Verformung bekommen werden. Je flacher die Steigung ist, desto kleiner ist die zukünftige Verformung. In Abbildung 21 ist beispielsweise die Ver-

formung in Abhängigkeit von den Belastungszyklen dargestellt. Die Gesamtaxialverformung wird in Prozent (%) mittels der unten genannten Formel berechnet. [29]

$$\varepsilon_N = 100 \left(\frac{h_0 - h_n}{h_0} \right)$$

Formel 2: Bestimmung der Gesamtaxialverformung in % [29]

Wobei:

ε_N – die Gesamtaxialverformung der Probekörper nach n Belastungszyklen, in Prozent (%);

h_0 – die Durchschnittshöhe, gemessen durch die beiden Wegaufnehmern nach der Vorbelastung der Probekörper, in Millimeter (mm);

h_n – die Durchschnittshöhe, gemessen durch die beiden Wegaufnehmern nach n Belastungszyklen, in Millimeter (mm).

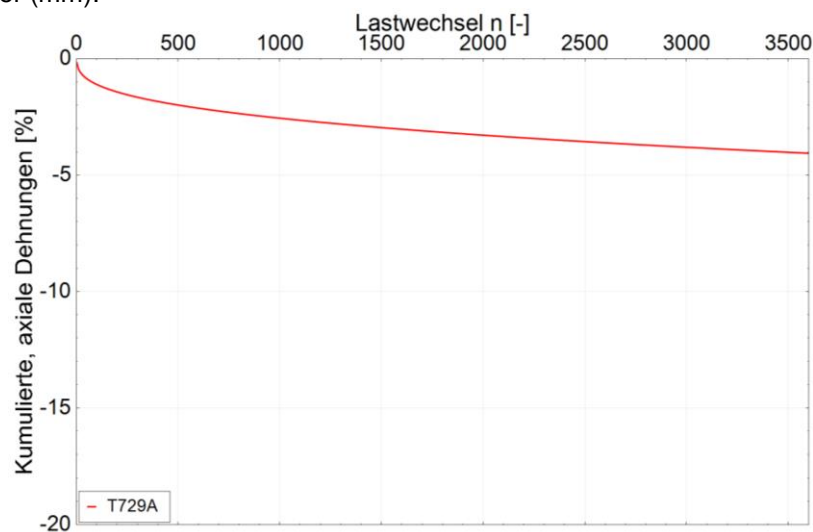


Abbildung 21: Beispiel von einem Verformung-Lastwechsel-Diagramm

3.1.4 TSRST (ABKÜHLPRÜFUNG) LAUT EN 12697-46:2012

Anwendungsbereich

Der Widerstand von Asphalt gegen Kälterisse wird durch die Abkühlprüfung (Thermal Stress Retained Specimen Test, TSRST) bestimmt. [30]

Kurzbeschreibung

Mit der Abkühlprüfung wird diese Temperatur bestimmt, bis zu der der Probekörper kryogene Zugspannungen aufnehmen kann, bevor er versagt. Bei der TSRST-Prüfung wird der Probekörper mit einer konstanten Geschwindigkeit abgekühlt, während seine Länge konstant bleibt. Hiermit wird ein verhindertes thermisches Schrumpfen erzielt, durch das kryogene Zugspannungen im Probekörper gebildet werden. Als Prüfergebnis werden der Verlauf der kryogenen Zugspannungen über der Temperatur $\sigma_{kry}(T)$ und die Ausfallspan-

nung $\sigma_{\text{kry,Ausfall}}$ bei der Ausfalltemperatur T_{Ausfall} erhält. Bei dieser Spannung und Temperatur reißt der Asphaltprobekörper. [30]

Abbildung 22 zeigt der Verlauf von den einzelnen Prüfkomponenten in Abhängigkeit von der Zeit.

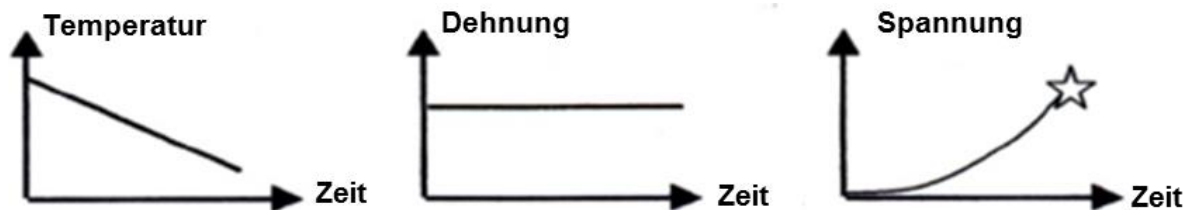


Abbildung 22: Versuchsschema der Abkühlprüfung [30]

Prüfeinrichtung

Die Abbildung 23 zeigt die geeignete Prüfmaschine zur Durchführung von der Abkühlprüfung bei niedrigen Temperaturen.

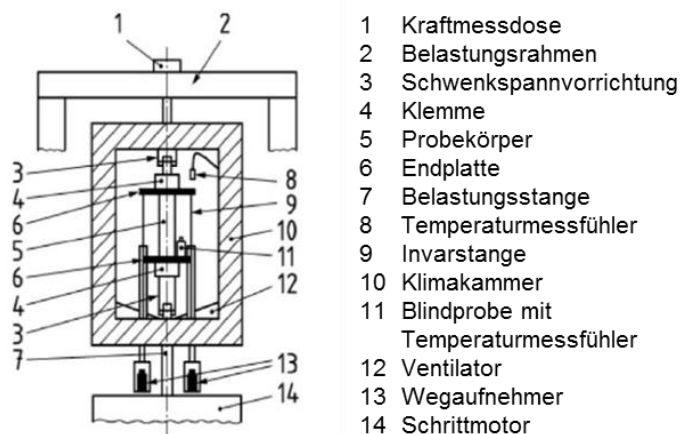
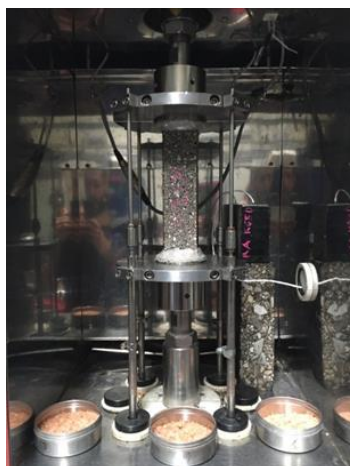


Abbildung 23: Prüfeinrichtung

1. Verformungsmesssystem

Die Verformung des Probekörpers muss in einem Bereich von $\pm 2,5$ mm bis $\pm 0,5$ μm bestimmt werden. Bei der Durchführung der Prüfung unterliegt die Ausrüstung der Prüfmaschine auch denselben Temperaturbedingungen wie den geprüften Probekörper. Für eine genaue Messung der Dehnung im Probekörper ist erforderlich eine Basis aus Invarstahl, weil sie eine gleich bleibende Länge bei verschiedenen Temperaturen hat. [30]

2. Lastmesssystem

Die Axiallast muss durch das Lastmesssystem in dem Bereich von -20 kN bis +20 kN beobachtet werden. [30]

3. Aufzeichnungseinrichtung

Die Aufzeichnungseinrichtung ist an einen Rechner angeschlossene Schnittstelleneinheit. Sie speichert, beobachtet und aufzeichnet die elektronischen Signale der Last- und Wegaufnehmer. Die bestimmte Verformung muss in 0,5 µm aufgelöst und geregelt werden. [30]

4. Thermostatisch geregelte Kammer

Die Asphaltprobekörper werden in einer thermostatisch geregelten Kammer auf die Prüftemperatur temperiert und dann werden die Probekörper in derselben Kammer geprüft. Die Temperatur in der Prüfkammer muss im Bereich von -40 °C bis +30 °C mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5$ K konstant sein. [30]

Probekörpervorbereitung

1. Anzahl der Stichproben

Für jedes Asphaltmischgut sind mindestens drei Probekörper zu prüfen. [30]

2. Maße

Die Probekörper haben die Form von einem prismatischen Balken und ihre Größe ist abhängig von dem Größtkorn des Mischgutes. Bei dem Größtkorn $D \leq 11,2$ mm sind die Breite und die Höhe der Probekörper 40 ± 2 mm. Bei einem Größtkorn $11,2 \text{ mm} < D < 22,4$ mm sind die Abmessungen der Probekörper 50 ± 2 mm und beim Größtkorn $\geq 22,4$ mm sind sie 60 ± 2 mm. Die Länge der Probekörper beträgt 160 mm bei dem Größtkorn $D \leq 11,2$ mm, beim Größtkorn $11,2 \text{ mm} < D < 22,4$ mm und beim Größtkorn $\geq 22,4$ mm. [30]

3. Einspannen

Der Asphaltprobekörper muss an zwei Adapter geklebt werden, wobei der Asphaltprobekörper mittels einer Einspannbank mittig zwischen den Adaptern positioniert wird. Abbildung 24 zeigt das Einspannen und die Bestandteilen der Einspannbank. [30]

Mit Hilfe der Einspannbank wird eine mittige Verbindung zwischen dem Asphaltprobekörper und den beiden Adaptern erzielt. Diese Adapter ermöglichen das Einbauen des Asphaltprobekörpers in das Prüfgerät. [30]

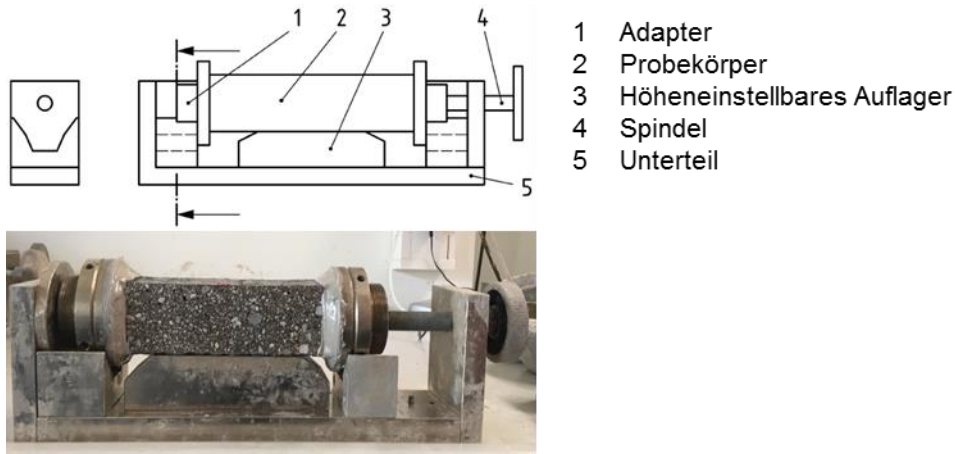


Abbildung 24: Beispiel einer Einspannbank zur Probenvorbereitung

Konditionierung

Die Zeitdauer der Vortemperierungsphase hängt von den Maßen des Probekörpers und den verwendeten Materialien. Wenn der Probekörper die Prüftemperatur erreicht, muss der Probekörper auf dieser Temperatur für eine Dauer von mindestens 10 Minuten gehalten werden. [30]

Durchführung

Bei der TSRST-Prüfung muss die Länge des Asphaltprobekörpers konstant bleiben, während seine Temperatur mit der Zeit reduziert wird. Auf Basis von verhindertem thermischem Schrumpfen wird der Asphaltprobekörper mittels einer kryogenen Zugspannung belastet. [30]

Darstellung der Ergebnisse

Bei der TSRST-Prüfung werden die temperaturabhängige kryogene Spannung $\sigma_{\text{kry}}(T)$, die Ausfallspannung $\sigma_{\text{kry,Ausfall}}$ und die Ausfalltemperatur T_{Ausfall} werden aufgezeichnet. In Abbildung 25 ist beispielsweise ein Diagramm für den Spannungsverlauf dargestellt. [30]

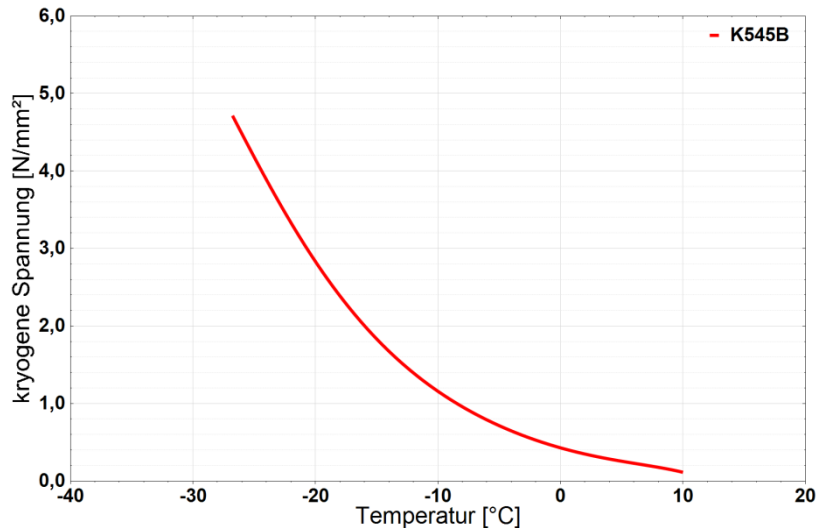


Abbildung 25: Beispiel von einem Kryogener-Spannungsverlauf-Diagramm

3.2 MATERIALIEN

„Ein guter Konstrukteur muss mit den Eigenschaften des Werkstoffes so vertraut sein, dass er unmittelbar ein Gefühl dafür hat, wie es dem Werkstoff unter den betriebsmäßigen Beanspruchungen zumute ist.“ [31]

Im Fokus dieses Kapitels steht die Erläuterung von den innerhalb dieser Diplomarbeit verwendeten Materialien. Sie sind Bitumen, Gestein und Additive.

3.2.1 BITUMEN

Bei allen in dieser Diplomarbeit geprüften Mischgütern wurde Bitumen, das zu 90% aus dem Oxidationsbitumen 90/10 und zu 10% aus dem Straßenbaubitumen 70/100 besteht, verwendet. Die Bindemittelkennwerte sind in Tabelle 13 dargestellt. Sie unterteilen sich in Erweichungspunkt RuK [EN 1427] und Penetration [EN 1426].

Tabelle 13: Merkmale des Bindemittels (90% 90/10 + 10% 70/100)

Prüfnormen	Parameter	Wert
EN 1427:2007	Erweichungspunkt RuK [°C]	86
EN 1426:2007	Penetration [1/10mm]	15

3.2.2 GESTEIN

Die in dieser Diplomarbeit verwendeten Gesteinskörnungen unterteilen sich in Kantkorn (vollständig gebrochenes Korn) und Rundkorn (vollständig gerundetes Korn). Bei den Mischgütern kam als Füller zum Einsatz Kalksteinmehl. Kantkorn ist mit mehr als 90%

gebrochener Oberfläche, Rundkorn ist mit mehr als 90% gerundeter Oberfläche. Als Kantkorn wurde für die Korngruppen 0 – 2 mm, 2 – 4 mm Dolomitstein aus dem Steinbruch Gaaden eingesetzt. Als Rundkorn wurde für die Korngruppen 0 – 2 mm sowie 2 – 4 mm karbonatischer Kies aus einer Kiesgrube Badenerstraße eingesetzt.

Das **Kalksteinmehl** ist ein natürlicher, mineralischer Zusatzstoff und es besteht aus ausgesuchtem Kalkstein. Dieser wird physikalisch aufbereitet, getrocknet, gemahlen und gesichtet. [32]

Als **Dolomitstein** werden Sedimentgesteine bezeichnet und bestehen aus dem Mineral Dolomit. Dolomitgesteine entstehen im Meer sekundär durch die Umwandlung von dem Kalkstein, indem das Magnesium mit Kalk in Bindung geht. Dolomit kommt oftmals vermisch mit dem Kalkspat als dolomitischer Kalkstein vor. Dolomitstein ist weiß, meist elfenbeinfarben, hellgrau, graugelb oder grüngrau. Dolomitstein ist gegenüber Kalkstein etwas härter und sehr viel spröder. [31], [33]

Als karbonatischer Kies wurde **Kalkstein** verwendet. Kalkstein gehört zur Gruppe der Sedimentgesteine und bestehen überwiegend aus dem chemischen Stoff Calciumcarbonat in Form der Mineralien Calcit und Aragonit. Kalksteine entstehen unter Mitwirkung von Organismen im Meer; die physikalisch-chemische Prozesse unterstützen und begleiten die organogenen Bildungen. Kalksteine besitzen eine helle, graue bis graugelbe Farbe. Kalksteine sind chemisch wenig beständig, polierbar und verbessern die Bitumenhaftung mit Gestein. [31], [33]

In Abbildung 26 wird ein Vergleich zwischen verwendeten Kantkorn und Rundkorn mit der gleichen Korngruppe 2/4 gezeigt.



Abbildung 26: Kantkorn 2/4 (links), Rundkorn 2/4 (rechts)

3.2.3 VERWENDETE ADDITIVE

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein Amidwachs-Produkt (Licomont BS 100) des Unternehmens Clariant AG verwendet. Dieses Produkt ist eine auf Fettsäurederivaten basierende und niedermolekulare Wachsmodifikation für Bitumen und Asphalt. Die Einbautemperaturen werden durch Licomont BS 100 gesenkt. In der folgenden Tabelle sind die Kennwerte dieses Produkts gegeben.

Tabelle 14: Merkmale des Produkts (Licomont BS 100) [26]

Parameter	Wert
Erstarrungspunkt [°C]	135 – 142
Tropfpunkt [°C]	140 – 145

Die Auswahl von Licomont BS 100 wurde mittels der Erfahrungen des Forschungsvorhabens „High Efficiency Low Emission Mastic Asphalt“ getroffen. Im Rahmen des Vorhabens wurde der Einfluss von Fischer-Tropsch-Wachs, Polyethylenwachs, Amidwachs (Licomont BS 100) und Schaumverfahren untersucht. Es wurde gezeigt, dass die Amidwachsbeigabe die größte Temperaturabsenkung im Vergleich zu anderen Wachsen bereitet. Das verwendete Additiv ist in Abbildung 27 dargestellt.



Abbildung 27: Licomont BS 100

4 PRÜFPROGRAMM

In der vorliegenden Diplomarbeit kamen folgenden Gussasphaltrezepturen zur Anwendung:

- 1) MA4-KK (Referenzmischgut)
Bezeichnung: MA 4 90/10, M2, G3, KE33 (gemäß ÖNORM B 3585, Ausgabe 2012)
Anmerkung: Die Rezeptur MA 4 für Garagenbefestigung wurde in Abstimmung mit dem Industriepartner herangezogen.
Herstellungstemperatur: 230 °C
- 2) MA4-RK
Optimierung durch Substitution von Kantkorn (0 – 2 mm, 2 – 4 mm) durch Rundkorn
Herstellungstemperatur: 200 °C (-30 °C)
- 3) MA4-KK RK
Optimierung durch Substitution von Kantkorn (2 – 4 mm) durch Rundkorn
Herstellungstemperatur: 230 °C
- 4) MA4-KK+3%W
Optimierung durch Wachsmodifikation
Herstellungstemperatur: 200 °C (-30 °C)
- 5) MA4-RK+3%W
Optimierung durch kombinierte Anwendung von Rundkorn und Wachsmodifikation
Herstellungstemperatur: 200 °C (-30 °C)

Anmerkung: MA – Mastic Asphalt, 4 – Größtkorn der Gesteinskörnung in (mm), 90/10 – Bindemitteltyp, M2 – Standfestigkeitsklasse, G3 – Gesteinskörnungsklasse, KE33 - Kugeleindruckdurchmesser

Die hier aufgezählten Mischgüter zeigen eine Modifikation der Referenz durch vollständige Substitution von Kantkorn durch Rundkorn, teilweise Substitution von Kantkorn durch Rundkorn, die Beigabe von 3 M.-% Amidwachs und 100% Rundkorn mit 3 M.-% Amidwachs. Bei Substitution von Kantkorn durch Rundkorn wurde nur die feine und grobe Gesteinskörnung ausgetauscht. Die Füllerart, der Fülleranteil, das Bitumen und der Bitumenanteil wurden nicht verändert. Mittels der Substitution von Kantkorn durch Rundkorn wurden die Asphaltplatten im Labor bei einer Temperatur von 200 °C hergestellt. Durch die Beigabe von 3 M.-% Amidwachs wurden die Platten bei derselben Temperatur (200 °C) hergestellt. Es wird durch die Verwendung von Amidwachs eine bessere Verformungsstabilität bei hohen Temperaturen und einen geringeren Widerstand gegen Kälterisse erwartet.

Alle in dieser Diplomarbeit durchgeführten Versuche sind in Tabelle 15 dargestellt. Basis für die Untersuchungen war ein Gussasphalt MA 4.

Tabelle 15: Prüfprogramm

Mischgut	0/2	2/4	Zusatz	Verarbeitbarkeit		GVO-Prüfungen	
				DMM	Ausbreitmaß	UCCT	TSRST
MA 4 90/10	Kantkorn	Kantkorn		x	x	x	x
MA 4 90/10	Rundkorn	Rundkorn		x	x	x	x
MA 4 90/10	Kantkorn	Rundkorn		x	x	x	x
MA 4 90/10	Kantkorn	Kantkorn	3%Wachs	x	x	x	x
MA 4 90/10	Rundkorn	Rundkorn	3%Wachs	x	x	x	x

5 ERGEBNISSE

5.1 DREHMOMENTMESSUNG

In Abbildung 28 sind die Drehmomentverläufe von MA4-KK (Referenzmischgut), MA4-KKRK, MA4-RK, MA4-KK+3%W und MA4-RK+3%W dargestellt. Die einzelnen Punkte stellen die Temperaturen dar, bei denen mindestens 20-mal das Drehmoment gemessen wird. Die farbigen Linien sind die linearen Regressionen. Um die möglichen Temperaturabsenkung zu ermitteln, wurde das notwendige Mischmoment von MA4-KK (Referenzmischgut) bei 245 °C festgestellt und dann für alle untersuchten Mischgüter die Temperatur bestimmt, bei der dasselbe Mischmoment auftritt. Die Differenz der Temperaturen bei gleichem Mischmoment ergibt die Temperaturabsenkung.

Wie aus Abbildung 28 ersichtlich, wird zum Mischen von MA4-KK (Referenzmischgut) bei einer Temperatur von 245 °C ein Drehmoment von 16,7 Nm benötigt. MA4-KKRK benötigt dasselbe Drehmoment bei einer Temperatur von 222 °C, MA4-RK benötigt dies bei 211 °C, MA4-KK+3%W und MA4-RK+3%W besitzen dies bei einer Temperatur von 204 °C.

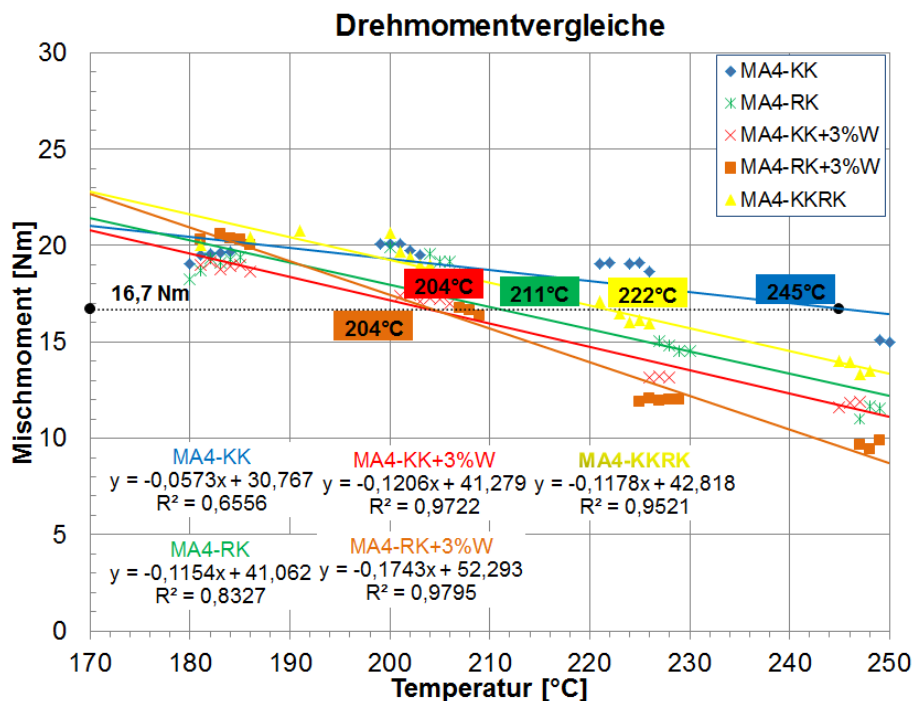


Abbildung 28: Drehmomentvergleiche der Gussasphaltmischgüter

Die mögliche Temperaturabsenkung ist in Tabelle 16 gezeigt. Im Anhang sind auch alle Prüfergebnisse zu finden.

Tabelle 16: Mögliche Temperaturabsenkung ermittelt durch Drehmomentmessungen

Mögliche Temperaturabsenkung bezogen auf das KK-Mischgut bei 245 °C				
Mischgut	Drehmomentmessung			
	KKRK	RK	KK+3%W	RK+3%W
Absenkung um °C	23	34	41	41
Einbautemperatur in °C	222	211	204	204

5.2 AUSBREITVERSUCH

Die Abbildung 29 stellt die Ergebnisse von den einzelnen Ausbreitversuchen als Punkte (blau, gelb, grün, rot, orange) dar. Die farbigen Linien sind die linearen Regressionen. Um die möglichen Temperaturabsenkung zu ermitteln, wurde das notwendige Ausbreitmaß von MA4-KK (Referenzmischgut) bei 245 °C festgestellt und dann für alle untersuchten Mischgüter die Temperatur bestimmt, bei der dasselbe Ausbreitmaß auftritt. Die Differenz der Temperaturen bei gleichem Ausbreitmaß ergibt die Temperaturabsenkung.

MA4-KK (Referenzmischgut) erreicht bei einer Prüftemperatur von 245 °C ein Ausbreitmaß von 39,8 cm. Dieses Ausbreitmaß tritt bei MA4-KKRK bei 229 °C, bei MA4-RK bei 224 °C, bei MA4-KK+3%W bei 207 °C und bei MA4-RK+3%W bei 191 °C auf.

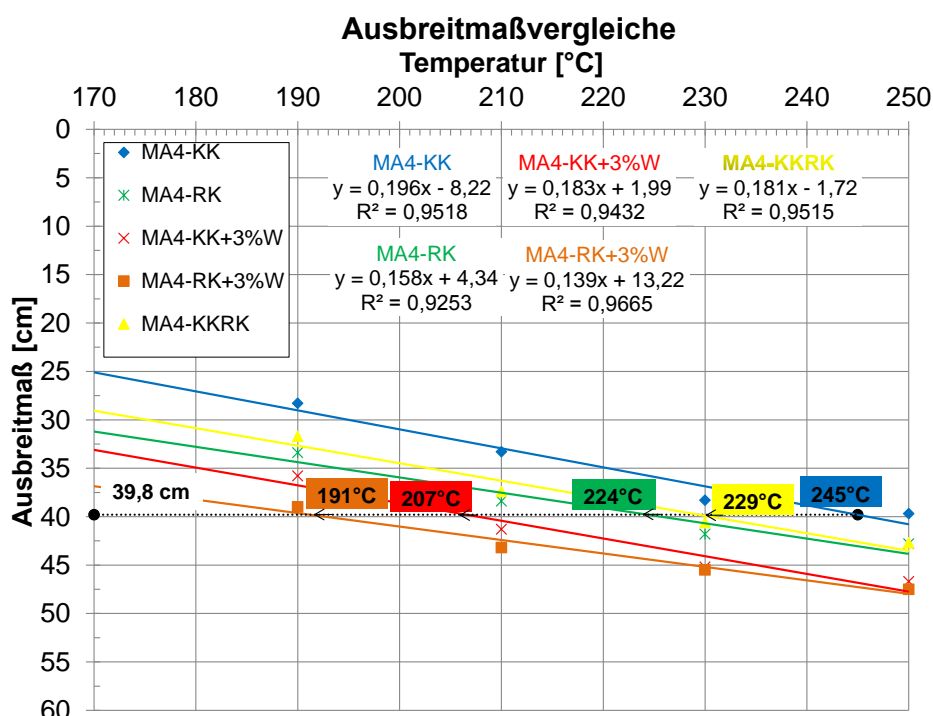


Abbildung 29: Ausbreitmaßvergleiche der Gussasphaltmischgüter

Die mögliche Temperaturabsenkung ist in Tabelle 17 gezeigt. Alle Prüfergebnisse sind auch im Anhang zu finden.

Tabelle 17: Mögliche Temperaturabsenkung ermittelt durch Ausbreitversuchen

Mögliche Temperaturabsenkung bezogen auf das KK-Mischgut bei 245 °C				
Mischgut	Ausbreitversuch			
	KKRK	RK	KK+3%W	RK+3%W
Absenkung um °C	16	21	38	54
Einbautemperatur in °C	229	224	207	191

Abbildung 30 zeigt den Vergleich der Ausbreitversuche mit den Drehmomentmessungen bei Temperaturen von 190 °C, 210 °C, 230 °C und 250 °C. Für den Vergleich wurden auf der horizontalen Achse die Mittelwerte der Mischmomente mit einer Abweichung annähernd 5 °C von den Herstellungstemperaturen angewendet. Auf der vertikalen Achse wurden die Mittelwerte von den einzelnen Ausbreitversuchen verwendet. Im Anhang sind die verwendeten Daten für die Vergleichsdarstellung zu sehen.

Wie in Abbildung 30 zu erkennen ist, zeigen Ausbreitmaß und Drehmoment bei MA4-RK, MA4-KK+3%W, MA4-RK+3%W und MA4-KKRK nahezu lineare Regression, aber bei MA4-KK ist das Bestimmtheitsmaß R^2 sehr niedriger ($R^2=0,4998$) im Vergleich zu den anderen Varianten. Bei MA4-KK sieht man einen starken Anstieg der Ausbreitmaße im Temperaturbereich von 190 bis 230 °C, aber die Drehmomente verringern sich fast nicht. Schon im Bereich von 230 bis 250 °C sieht man bei MA4-KK leichten Anstieg vom Ausbreitmaß, während das Drehmoment sich stark verringert.

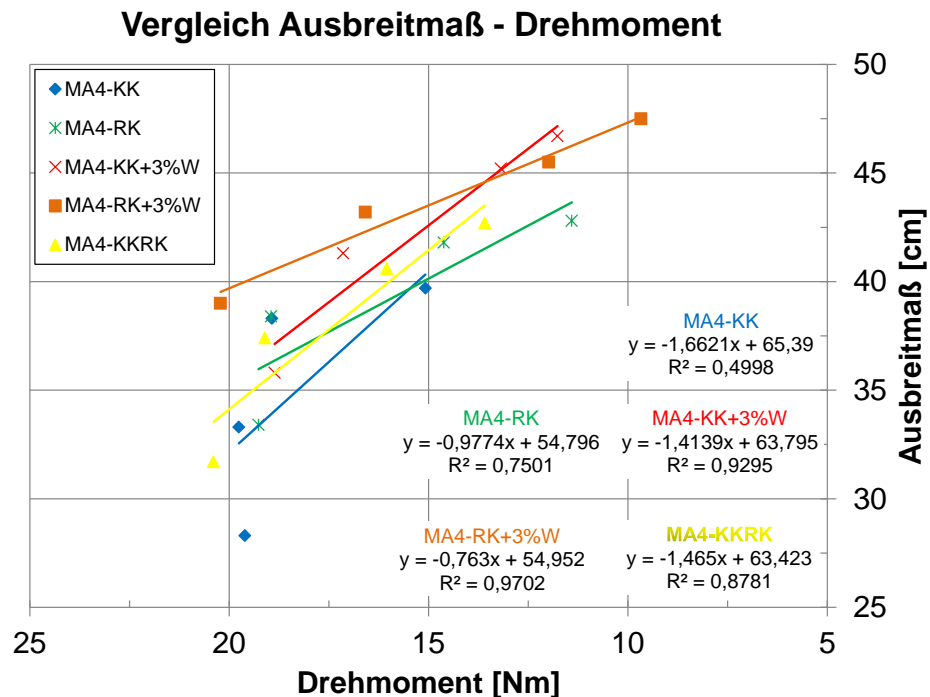


Abbildung 30: Vergleich zwischen Ausbreitmaß und Drehmoment

5.3 UCCT (EINAXIALE, ZYKLISCHE DRUCKSCHWELLPRÜFUNG)

Der UCCT-Versuch ergibt die maximale Deformation der Probekörper in % nach 3600 Lastwechseln bei einer Temperatur von 50 °C als Ergebnis. In Abbildung 31 sind die Ergebnisse zum Widerstand gegen bleibende Verformungen bei hohen Temperaturen dargestellt. Die Mittelwerte, die man von drei einzelnen Mischgutprüfungen bekommt, werden verglichen. Im Anhang sind die Prüfergebnisse der einzelnen Mischgüter ersichtlich.

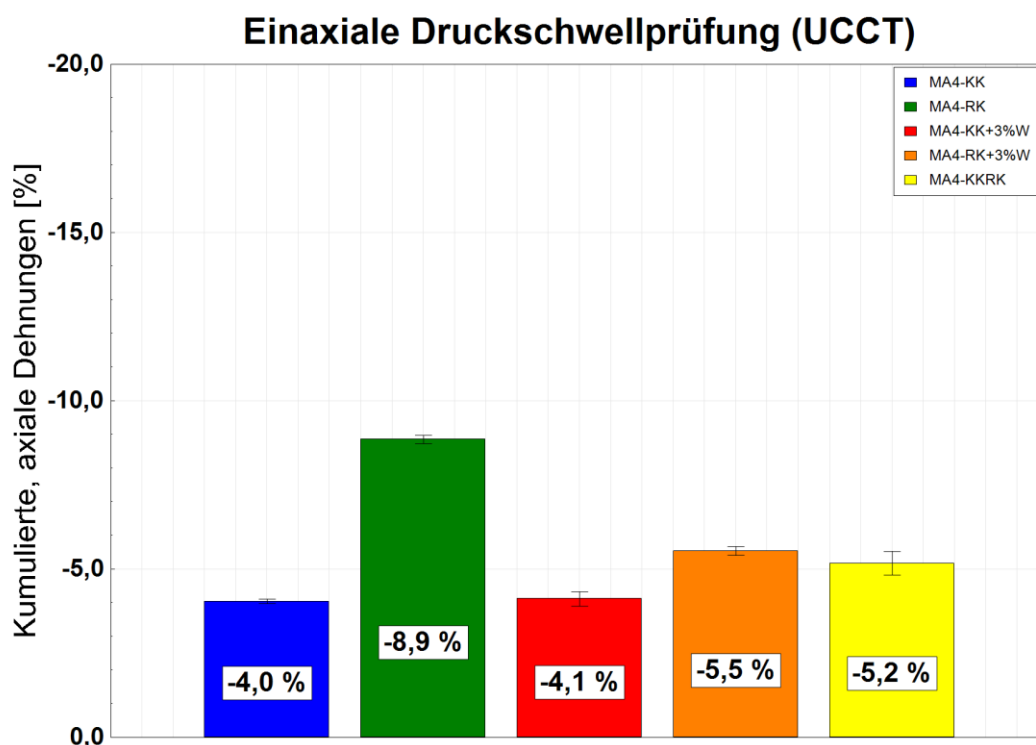


Abbildung 31: Beständigkeit gegen Verformung bei hohen Temperaturen (UCCT)

MA4-KK (Referenzmischgut) zeigt eine Axialdehnung von -4%. MA4-KK+3%W zeigt ähnliches Verhalten (-4,1%) wie MA4-KK (Referenzmischgut). Wegen der Form der Gesteine erleidet MA4-RK im Vergleich zum Referenzmischgut 2-mal größere bleibenden Verformungen (-8,9%). Die Kombination aus Wachs und Rundkorn (MA4-RK+3%W) erleidet im Vergleich zu MA4-RK fast die Hälfte der bleibenden Verformungen (-5,5%). Daraus wird erkennbar, dass durch die Zugabe von 3% Wachs der Verformungswiderstand ansteigt. MA4-KKRK zeigt eine Axialdehnung von -5,2%.

5.4 TSRST (ABKÜHLPRÜFUNG)

Die gemittelten kryogenen Spannungsverläufe mit Schwankungsbreiten für alle Mischgüter sind in Abbildung 32 dargestellt. Die Bruchspannungen und die Bruchtemperaturen sind für alle Mischgüter in Abbildung 33 dargestellt. Im Anhang befinden sich alle Spannungsverläufe von den einzelnen Mischgütern und die Prüfergebnisse.

MA4-KK (Referenzmischgut) versagte im Durchschnitt bei einer Ausfalltemperatur von $-26,3\text{ °C}$ mit einer kryogenen Spannung von 5 N/mm^2 , während MA4-KK+3%W bei einer Ausfalltemperatur von $-24,6\text{ °C}$ mit einer kryogenen Spannung von $4,9\text{ N/mm}^2$ versagt. MA4-RK versagte im Durchschnitt bei einer Ausfalltemperatur von $-26,6\text{ °C}$ mit einer kryogenen Spannung von 5 N/mm^2 , während MA4-RK+3%W bei einer Ausfalltemperatur von $-23,7\text{ °C}$ mit einer kryogenen Spannung von $4,4\text{ N/mm}^2$ versagt. MA4-KK+3%W versagte im Durchschnitt bei einer Ausfalltemperatur von $-24,8\text{ °C}$ mit einer kryogenen Spannung von $4,6\text{ N/mm}^2$. Festzustellen ist, dass die Ausfalltemperatur bei allen Mischgütern zwischen $-23,7$ und $-26,6\text{ °C}$ liegt. Die Methoden für die Temperaturabsenkung und die Optimierung durch Wachsmodifikation zeigen geringen Einfluss auf das Tieftemperaturverhalten.

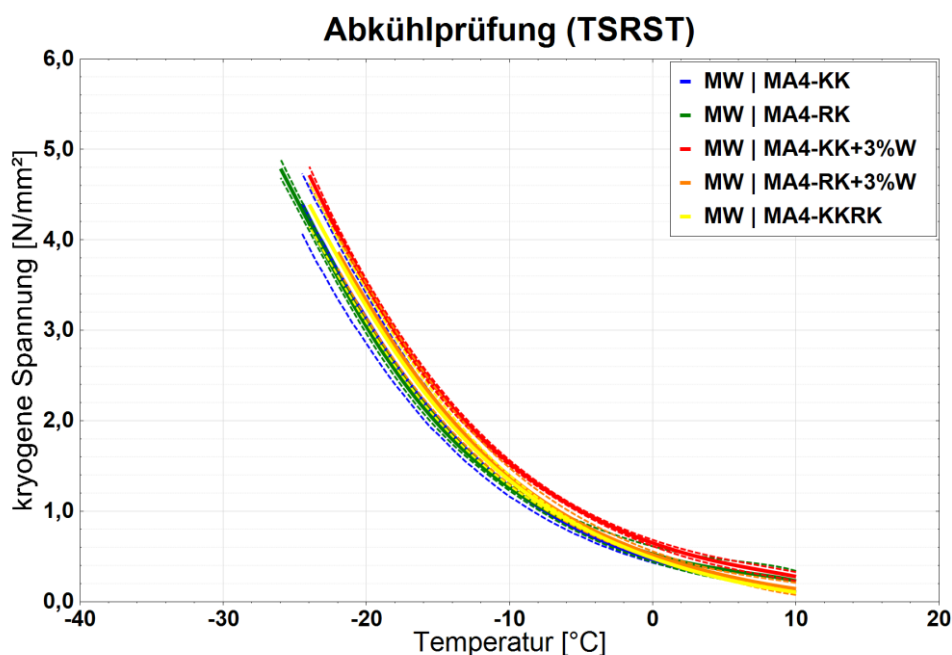


Abbildung 32: Gemittelte Spannungsverläufe von allen Mischgütern

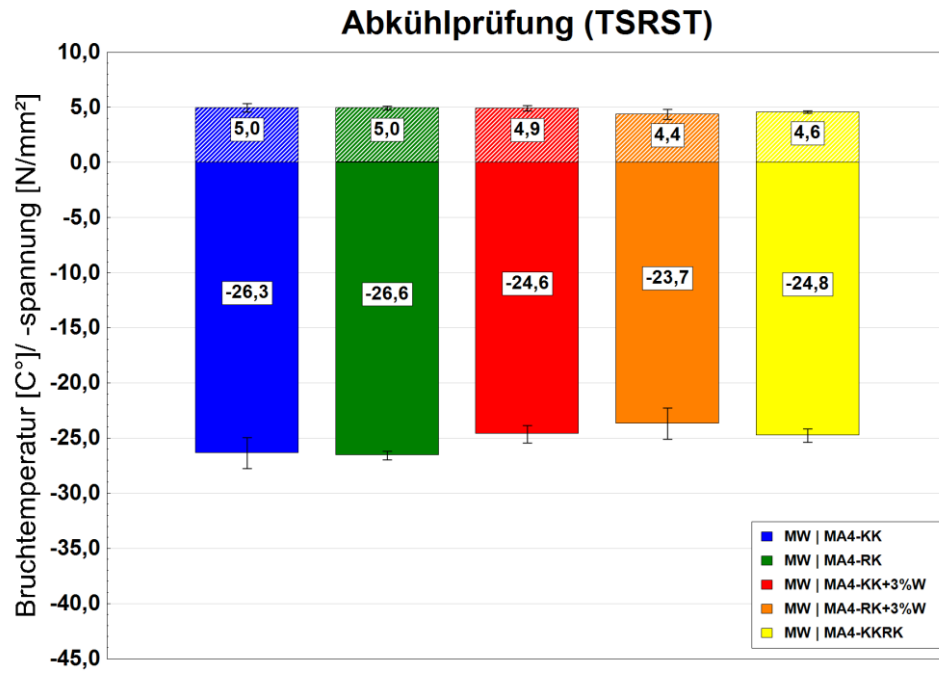


Abbildung 33: Beständigkeit gegen Rissbildung bei tiefen Temperaturen (TSRST)

6 SCHLUSSFOLGERUNG UND ZUSAMMENFASSUNG

Diese Diplomarbeit ist im Rahmen des Forschungsvorhabens „iMAS“ entstanden. Zielsetzung der vorliegenden Diplomarbeit war die Optimierung von Gussasphaltmischgütern bei maximaler Temperaturreduktion und bei gleichbleibender Qualität (Widerstand gegen bleibende Verformungen bei hohen Temperaturen und Beständigkeit gegen Rissbildung bei tiefen Temperaturen) zum Einsatz als Garagenbefestigung. Das Ziel war es, innovativen Gussasphalt mit Optimierungsgrad „30+/20+/20+“ zu entwickeln, das heißt eine Temperaturreduktion von 30 °C, 20% Energieeinsparung und 20% Reduzierung von THG-Emissionen. Aus diesem Grund wurde das Gussasphaltmischgut mit Rundkorn und Amidwachs optimiert. Das Gebrauchsverhalten von Gussasphaltmischgütern wurde mittels Laborprüfungen untersucht. Die Prüfmethode unterteilen sich in Verarbeitbarkeit und GVO-Prüfungen.

Die Verarbeitbarkeit des Gussasphalts wurde mittels der Drehmomentmessung und des Ausbreitversuches bestimmt. Aus den Ergebnissen der Drehmomentmessung und des Ausbreitversuches wurde nachgewiesen, dass die Optimierung durch Substitution von Kantkorn durch Rundkorn eine Temperaturabsenkung um 30 °C erlaubt. Eine Optimierung durch kombinierte Verwendung von Rundkorn und Amidwachs ermöglicht eine Absenkung der Einbautemperatur um 40 bis 50 °C.

Das Verhalten des Gussasphalts im Hochtemperaturbereich wurde durch die UCCT-Prüfung bei 50 °C untersucht. Der Widerstand gegen bleibende Verformung bei hohen Temperaturen für das Gussasphaltmischgut mit Rundkorn ist halb so groß im Vergleich zu MA4-KK (Referenzmischgut). Hieraus folgt, dass Rundkorn auf das Verhalten bei hohen Temperaturen beeinflusst. Aber bei der kombinierten Verwendung von Rundkorn und Amidwachs verdoppelt sich der Widerstand gegen bleibende Verformung im Hochtemperaturbereich (+50 °C). Hieraus ergibt sich, dass die Amidwachsbeigabe die Verformungswiderstandsfähigkeit erhöht.

Das Tieftemperaturverhalten des Gussasphalts wurde anhand der TSRST-Prüfung untersucht. Der Widerstand gegen Risse bei tiefen Temperaturen ist für alle untersuchten Gussasphaltmischgüter fast auf gleichem Niveau. Die Bruchtemperaturen für alle Mischgüter liegen zwischen -23,7 und -26,6 °C. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Optimierung durch Rundkornsubstitution und Amidwachsbeigabe in diesem Fall nicht zu der Verringerung des Risswiderstands führt.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH, „Innovativer Gussasphalt zur Energie- und Emissionseinsparung,“ 2014.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, EnergieStrategie Österreich, Wien, März 2010.
- [3] Umweltbundesamt, KLIMASCHUTZBERICHT 2013, Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2013.
- [4] Univ. Prof. Thomas Macoun, „Klima, Treibhauseffekt,“ in Umwelthygiene, 2012, p. 83.
- [5] „Wikipedia,“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gussasphalt>.
- [6] Prok. Ing. Walter Schiller, Prok. Dipl.-Ing. Günter Piringer, „Gussasphalt in der Praxis - Eigenschaft und Einsatzgebiete“.Gestrata.
- [7] Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab, Strassenbau, 2014.
- [8] „Benninghoven,“ [Online]. Available: <http://www.benninghoven.com/de/produkte/gussasphalttechnik/gussasphaltkocher.php>.
- [9] ÖNORM B 3585: Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Gussasphalt - Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 13108-6, Wien: Austrian Standards, 2012.
- [10] Arbeitsgruppe "Asphaltstraßen": Dipl.-Ing. Michael Anthofer, RVS 08.97.05: Anforderungen an Asphaltmischgut, Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2015.
- [11] Arbeitsgruppe "Asphaltstraßen": Dipl.-Ing. Michael Anthofer, RVS 08.16.01: Anforderung an Asphaltsschichten, Wien: Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, 2015.
- [12] TL Asphalt-StB 07/13: Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigung, Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe "Asphaltbauweisen", 2013.

- [13] ZTV Asphalt-StB 07/13: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe "Asphaltbauweisen", 2013.
- [14] A. ". Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt, Köln: FGSV Verlag, 2011.
- [15] „Material Archiv,“ [Online]. Available: <http://www.materialarchiv.ch/detail/1581/Gussasphalt#/detail/1581/gussasphalt>.
- [16] „R. KOLBERG GMBH,“ [Online]. Available: <https://www.kolberg-gmbh.com/>.
- [17] „Rausch Straßen- und Tiefbau GmbH,“ [Online]. Available: <http://www.rausch-strassenbau.de/gussasphaltarbeiten.html>.
- [18] bga Beratungsstelle für Gussasphaltanwendung e.V., Dipl.-Ing. Peter Rode, „vsvi-hessen.de,“ [Online]. Available: <http://www.vsvi-hessen.de/download/20160113/vsvi20160113rode.pdf>.
- [19] „EUROPASPHALT,“ [Online]. Available: <http://www.europasphalt.com/de/gussasphalt/anwendungsgebiete/verkehrswegebau.html>.
- [20] Dipl.-Ing. Hendrik Marossow, „gussasphalt.de,“ [Online]. Available: http://download.gussasphalt.de/magazin/gussasphaltMAGAZIN_2015.pdf.
- [21] GENERAL DIRECTORATE OF HIGHWAYS, „6. National Asphalt Symposium,“ Ankara, 2013.
- [22] „Wikipedia,“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Trinidad-Naturasphalt>.
- [23] DHA, „SonDakika.com,“ 4 Juni 2016. [Online]. Available: <http://www.sondakika.com/haber/haber-3-koprunun-asfalti-tamam-8498688/>.
- [24] „Aeschlimann,“ [Online]. Available: <https://www.aeschlimann.ch/de/aktuell/baustellen-vergangener-jahre/elisabethenparking-basel>.
- [25] G. BITUMEN, Temperaturabgesenkte Asphalte, Flörsheim am Main: LAUCK – Druckprodukte & mehr, September 2009.
- [26] Dipl.-Ing. Rudolf Barth, Dipl.-Ing. Richard Mansfeld (Leiter), Temperaturabgesenkte Asphalte, Bonn: Deutscher Asphaltverband e.V., April 2009.

- [27] IVWS Labor, „Bestimmung der Drehmoment für Heißasphalt,“ 2014.
- [28] Benjamin Lucas Peternell, Diplomarbeit: Einfluss der Produktionstemperatur auf die Verarbeitbarkeit und das Alterungsverhalten von Gussasphalt, Wien, 2016.
- [29] Deutsches Institut für Normung, DIN EN 12697-25: Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt - Teil 25: Druckschwellversuch, Berlin, 2016.
- [30] Deutsches Institut für Normung, DIN EN 12697-46: Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt - Teil 46: Widerstand gegen Kälterisse und Tieftemperaturverhalten bei einachsigen Zugversuchen, Berlin, 2012.
- [31] Dieter Vollenschaar, Günter Neroth, Wendehorst Baustoffkunde, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2011.
- [32] „Opterra,“ [Online]. Available: http://www.opterra-crh.com/fileadmin/user_upload/data/content/downloads/documents/OPT_Kalksteinmehl.pdf.
- [33] GESTRATA - Gesellschaft zur Pflege der Straßenbautechnik mit Asphalt, Asphalt Handbuch, Wien: bcom Advertising GmbH, 2010.
- [34] „Wikipedia,“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Carbonate>.
- [35] FSV-aktuell, „Mitteilungen der Österreichischen Forschungsgesellschaft,“ Mai 2011.
- [36] A. GUSSASPHALT, „gussasphalt-tirol.at,“ [Online]. Available: <http://www.gussasphalt-tirol.at/informationen.php>.
- [37] Dr. Florian Aigner, „tuwien.ac.at,“ 28 Juli 2014. [Online]. Available: https://www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/8920/.
- [38] „Bitumeninnovationen, Klares Bekenntnis zum Recycling, Forschungsprojekt "Oekophalt", Die VÖGELE "Strich 3",“ Gestrata, p. 27, November 2014.
- [39] Fatma Orhan, Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları, Ankara: Republic of Turkey: General Directorate of Highways, 2012.
- [40] Ahmet Saglik, A. Gürkan Güngör, Türkiye Bitümlerinin Performans Sınıflarının Belirlenmesi, Republic of Turkey: General Directorate of Highways, 2008.
- [41] Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Bernhard Hofko, Skriptum: Baustoffe im Verkehrswegebau, Wien, 2015.

8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Stabilisierung des Endenergieverbrauchs auf dem Niveau von 2005 [2]	1
Abbildung 2: Angaben in Prozent gemessen am Ausstoß von 1990 bzw. 1995 [4]	2
Abbildung 3: Zusammensetzung des Gussasphalts [6].....	3
Abbildung 4: Mastix Konzept [7].....	3
Abbildung 5: Asphaltmischanlage (BENNINGHOVEN) [8]	5
Abbildung 6: Prüfeinrichtung [14].....	10
Abbildung 7: Gussasphalt-Kocher (links), Gussasphalt-Dumper (rechts) [16]	11
Abbildung 8: händischer (links) und maschineller (rechts) Einbau von Gussasphalt [17] ...	12
Abbildung 9: Gussasphalt (links), Walzasphalt (rechts)	14
Abbildung 10: horizontale (links) und vertikale (rechts) Gussasphalt-Kocher [23]	16
Abbildung 11: maschineller Einbau von Gussasphalt [23].....	16
Abbildung 12: händischer Einbau von Gussasphalt [23]	17
Abbildung 13: Einbau des Gussasphalts (links), Ansicht des Parkhauses (rechts) [24].	18
Abbildung 14: Expositionen beim konventionellen und temperaturabgesenkten Einbau von Walzasphalt [25]	20
Abbildung 15: Expositionen beim konventionellen und temperaturabgesenkten Einbau von Gussasphalt von Hand [25].....	21
Abbildung 16: Expositionen beim konventionellen und temperaturabgesenkten maschinellen Einbau von Gussasphalt [25]	21
Abbildung 17: InfraTest Labormischer (links), Wärmeschrank (rechts)	27
Abbildung 18: Ausbreitplatte <i>a</i> , Ausbreittrichter <i>b</i> , umgedrehter Trichter <i>c</i> , Bestimmen des Höchstausbreitmaßes <i>d</i>	28
Abbildung 19: Prüfeinrichtung	31
Abbildung 20: Belastungs- und Verformungskurve [29]	33
Abbildung 21: Beispiel von einem Verformung-Lastwechsel-Diagramm.....	34
Abbildung 22: Versuchsschema der Abkühlprüfung [30].....	35
Abbildung 23: Prüfeinrichtung	35
Abbildung 24: Beispiel einer Spannbank zur Probenvorbereitung	37
Abbildung 25: Beispiel von einem Kryogener-Spannungsverlauf-Diagramm.....	38
Abbildung 26: Kantkorn 2/4 (links), Rundkorn 2/4 (rechts)	39
Abbildung 27: Licomont BS 100.....	40
Abbildung 28: Drehmomentvergleiche der Gussasphaltnischgüter	43
Abbildung 29: Ausbreitmaßvergleiche der Gussasphaltnischgüter.....	44
Abbildung 30: Vergleich zwischen Ausbreitmaß und Drehmoment	45
Abbildung 31: Beständigkeit gegen Verformung bei hohen Temperaturen (UCCT).....	46
Abbildung 32: Gemittelte Spannungsverläufe von allen Mischgütern.....	47
Abbildung 33: Beständigkeit gegen Rissbildung bei tiefen Temperaturen (TSRST)	48

9 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Grenzsieblinien [9].....	6
Tabelle 2: Eindringtiefe (Widerstand gegen bleibende Verformung) [9].....	6
Tabelle 3: Grenzsieblinien [12], [13].....	8
Tabelle 4: Eindringtiefe [12], [13].....	9
Tabelle 5: Vor- und Nachteile des Gussasphalts [6].....	11
Tabelle 6: Temperaturgrenzen des Mischgutes [9]	12
Tabelle 7: Merkmale des Bindemittels [21].....	15
Tabelle 8: Eindringtiefe [21]	15
Tabelle 9: Sieblinie [21].....	16
Tabelle 10: Expositionen gegenüber Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen bei der Heißverarbeitung [25]	18
Tabelle 11: viskositätsverändernde organische Zusätze und deren Wirkung am Beispiel eines Straßenbaubitumens 50/70 [26]	23
Tabelle 12: viskositätsverändernde mineralische Zusätze [26].....	24
Tabelle 13: Merkmale des Bindemittels (90% 90/10 + 10% 70/100).....	38
Tabelle 14: Merkmale des Produkts (Licomont BS 100) [26].....	40
Tabelle 15: Prüfprogramm	42
Tabelle 16: Mögliche Temperaturabsenkung ermittelt durch Drehmomentmessungen ..	44
Tabelle 17: Mögliche Temperaturabsenkung ermittelt durch Ausbreitversuchen.....	45


10 FORMELVERZEICHNIS


Formel 1: Ausbreitmaß f für Gussasphalt in cm [28]	29
Formel 2: Bestimmung der Gesamtaxialverformung in % [29]	34


11 ANHANG I

Einwaage zur Asphalterzeugung


MA 4 90/10, M2, G3, KE33


 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	09.01.2017				
Projekt	15422				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS956	Asphaltsorte	MA 4 90/10, M2, G3, KE33 Garagenmischgut		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
T729	Freundl	6,0	18.572	18.572	
				erforderliche Masse [g]	18.572
				aufgerundete Masse [g]	21.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	1932,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			1974,5	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G774, G775		90,93	19095,3	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B530A	90% 90/10 B525A + 10% 70/100 B136A	9,20	1932,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	24,93	5235,30	
[0 - 2]	G774	Gaaden 0/2	50,00	10500,00	
[2 - 4]	G775	Gaaden 2/4	16,00	3360,00	
Summe			100,13	21.027,3	
Anmerkungen: Wiederholung von T695					

 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 Datum Projekt ProjektleiterIn PrüferIn Norm	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen 23.09.2015 15422 Mariyan Dimitrov Mariyan Dimitrov EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS681	Asphaltsorte	MA 4 90/10, M2, G3, KE33		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K545	Freundl	5,0	15.477	15.477	
T599	Freundl	6,0	18.572	18.572	
				erforderliche Masse [g]	34.049
				aufgerundete Masse [g]	37.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	3404,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			3478,9	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G745, G746		90,93	33644,1	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B526A	PmB 25/55-65	9,20	3404,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	16,93	6264,10	
[0 - 2]	G745	Gaaden 0/2	59,00	21830,00	
[2 - 4]	G746	Gaaden 2/4	15,00	5550,00	
Summe			100,13	37.048,1	
Anmerkungen: 230°C					


 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 Datum Projekt ProjektleiterIn PrüferIn Norm	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen 27.10.2016 15422 Mariyan Dimitrov Mariyan Dimitrov EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS894	Asphaltsorte	MA 4 90/10, M2, G3, KE33		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
Z179	Freundl	6,3	19.500	19.500	
			erforderliche Masse [g]	19.500	
			aufgerundete Masse [g]	22.000	
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	2024,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			2068,5	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G774, G775		90,93	20004,6	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B530A	90% 90/10 B525A + 10% 70/100 B136A	9,20	2024,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	24,93	5484,60	
[0 - 2]	G774	Gaaden 0/2	50,00	11000,00	
[2 - 4]	G775	Gaaden 2/4	16,00	3520,00	
		Summe	100,13	22.028,6	
Anmerkungen: DMM					


MA4-RK


 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	24.01.2017				
Projekt	15422				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS961	Asphaltsorte	MA 4 90/10 Rundkorn		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K641	Freundl	4,0	12.381	12.381	
T733	Freundl	6,0	18.572	18.572	
				erforderliche Masse [g]	30.953
				aufgerundete Masse [g]	33.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	3036,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			3102,8	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G750, G768		90,80	29964,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B530A	90% 90/10 B525A + 10% 70/100 B136A	9,20	3036,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	26,00	8580,00	
[0 - 2]	G750	Rundkorn Badenerstraße 0/2	42,00	13860,00	
[2 - 4]	G768	Rundkorn Badenerstraße 2/4	22,80	7524,00	
Summe			100,00	33.000,0	


	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 Datum Projekt ProjektleiterIn PrüferIn Norm	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen 24.01.2017 15422 Mariyan Dimitrov Mariyan Dimitrov EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS964	Asphaltsorte	MA 4 90/10 Rundkorn		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
Z193	Freundl	6,3	19.500	19.500	
				erforderliche Masse [g]	19.500
				aufgerundete Masse [g]	22.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	2024,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			2068,5	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G750, G768		90,80	19976,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B654A	90% B652A 90/10 + 10% B636A 70/100	9,20	2024,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	26,00	5720,00	
[0 - 2]	G750	Rundkorn Badenerstraße 0/2	42,00	9240,00	
[2 - 4]	G768	Rundkorn Badenerstraße 2/4	22,80	5016,00	
Summe			100,00	22.000,0	
Anmerkungen: DMM + Ausbreitmass					

MA4-KKRK


 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	09.01.2017				
Projekt	15422				
ProjektleiterIn	Mariyan Dimitrov				
PrüferIn	Mariyan Dimitrov				
Norm	EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS957	Asphaltsorte	MA 4 90/10 Gaaden, Rundkorn Garagenmischgut		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
T730	Freundl	6,0	18.572	18.572	
				erforderliche Masse [g]	18.572
				aufgerundete Masse [g]	21.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	1932,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			1974,5	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G768, G774		90,93	19095,3	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B530A	90% 90/10 B525A + 10% 70/100 B136A	9,20	1932,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	24,93	5235,30	
[0 - 2]	G774	Gaaden 0/2	50,00	10500,00	
[2 - 4]	G768	Rundkorn Badenerstraße 2/4	16,00	3360,00	
Summe			100,13	21.027,3	
Anmerkungen: Wiederholung von T707					


 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 Datum Projekt ProjektleiterIn PrüferIn Norm	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen 02.02.2017 15422 Mariyan Dimitrov Mariyan Dimitrov EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS966	Asphaltsorte	MA 4 90/10 Gaaden, Rundkorn Garagenmischgut		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K642	Freundl	4,5	13.929	13.929	
				erforderliche Masse [g]	13.929
				aufgerundete Masse [g]	16.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	1472,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			1504,4	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G768, G774		90,93	14548,8	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B654A	90% B652A 90/10 + 10% B636A 70/100	9,20	1472,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	24,93	3988,80	
[0 - 2]	G774	Gaaden 0/2	50,00	8000,00	
[2 - 4]	G768	Rundkorn Badenerstraße 2/4	16,00	2560,00	
Summe			100,13	16.020,8	
Anmerkungen: Wiederholung von K					


 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:0005886				
	Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung		P404 Seite 1 von 1		
AuftraggeberIn Datum Projekt ProjektleiterIn PrüferIn Norm	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen 27.10.2016 15422 Mariyan Dimitrov Mariyan Dimitrov EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS903	Asphaltsorte	MA 4 90/10 Gaaden, Rundkorn/A.		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
Z184	Freundl	5,0	15.477	15.477	
				erforderliche Masse [g]	15.477
				aufgerundete Masse [g]	18.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	1656,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			1692,4	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G768, G774		90,93	16367,4	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B530A	90% 90/10 B525A + 10% 70/100 B136A	9,20	1656,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	24,93	4487,40	
[0 - 2]	G774	Gaaden 0/2	50,00	9000,00	
[2 - 4]	G768	Rundkorn Badenerstraße 2/4	16,00	2880,00	
Summe			100,13	18.023,4	
Anmerkungen: Ausbreitmaß					

 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 Datum Projekt ProjektleiterIn PrüferIn Norm	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen 27.10.2016 15422 Mariyan Dimitrov Mariyan Dimitrov EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS902	Asphaltsorte	MA 4 90/10 Gaaden, Rundkorn		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
Z183	Freundl	6,3	19.500	19.500	
				erforderliche Masse [g]	19.500
				aufgerundete Masse [g]	22.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	2024,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			2068,5	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G768, G774		90,93	20004,6	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B530A	90% 90/10 B525A + 10% 70/100 B136A	9,20	2024,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	24,93	5484,60	
[0 - 2]	G774	Gaaden 0/2	50,00	11000,00	
[2 - 4]	G768	Rundkorn Badenerstraße 2/4	16,00	3520,00	
Summe			100,13	22.028,6	
Anmerkungen: DMM					


MA4-KK+3%W


 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 Datum Projekt ProjektleiterIn PrüferIn Norm	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen 24.01.2017 15422 Mariyan Dimitrov Mariyan Dimitrov EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS959	Asphaltsorte	MA 4 90/10, M2, G3, KE33 + 3%Wachs		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K639	Freundl	4,0	12.381	12.381	
T731	Freundl	6,0	18.572	18.572	
			erforderliche Masse [g]	30.953	
			aufgerundete Masse [g]	33.000	
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	3036,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			3102,8	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G774, G775		90,93	30006,9	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B654A	90% B652A 90/10 + 10% B636A 70/100	9,20	3036,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	24,93	8226,90	
[0 - 2]	G774	Gaaden 0/2	50,00	16500,00	
[2 - 4]	G775	Gaaden 2/4	16,00	5280,00	
		Summe	100,13	33.042,9	
Anmerkungen: Wiederholung					


 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 Datum Projekt ProjektleiterIn PrüferIn Norm	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen 28.10.2016 15422 Mariyan Dimitrov Mariyan Dimitrov EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS910	Asphaltsorte	MA 4 90/10, M2, G3, KE33 + 3%Wachs/A.		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
Z186	Freundl	5,0	15.477	15.477	
				erforderliche Masse [g]	15.477
				aufgerundete Masse [g]	18.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	1656,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			1692,4	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G774, G775		90,93	16367,4	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B530A	90% 90/10 B525A + 10% 70/100 B136A	9,20	1656,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	24,93	4487,40	
[0 - 2]	G774	Gaaden 0/2	50,00	9000,00	
[2 - 4]	G775	Gaaden 2/4	16,00	2880,00	
Summe			100,13	18.023,4	
Anmerkungen: Ausbreitmaß					

 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:0005886				
	Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung		P404 Seite 1 von 1		
AuftraggeberIn Datum Projekt ProjektleiterIn PrüferIn Norm	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen 27.10.2016 15422 Mariyan Dimitrov Mariyan Dimitrov EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS906	Asphaltsorte	MA 4 90/10, M2, G3, KE33 + 3%Wachs		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
Z185	Freundl	6,3	19.500	19.500	
				erforderliche Masse [g]	19.500
				aufgerundete Masse [g]	22.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	2024,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			2068,5	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G774, G775		90,93	20004,6	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B530A	90% 90/10 B525A + 10% 70/100 B136A	9,20	2024,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	24,93	5484,60	
[0 - 2]	G774	Gaaden 0/2	50,00	11000,00	
[2 - 4]	G775	Gaaden 2/4	16,00	3520,00	
Summe			100,13	22.028,6	
Anmerkungen: DMM					

MA4-RK+3%W

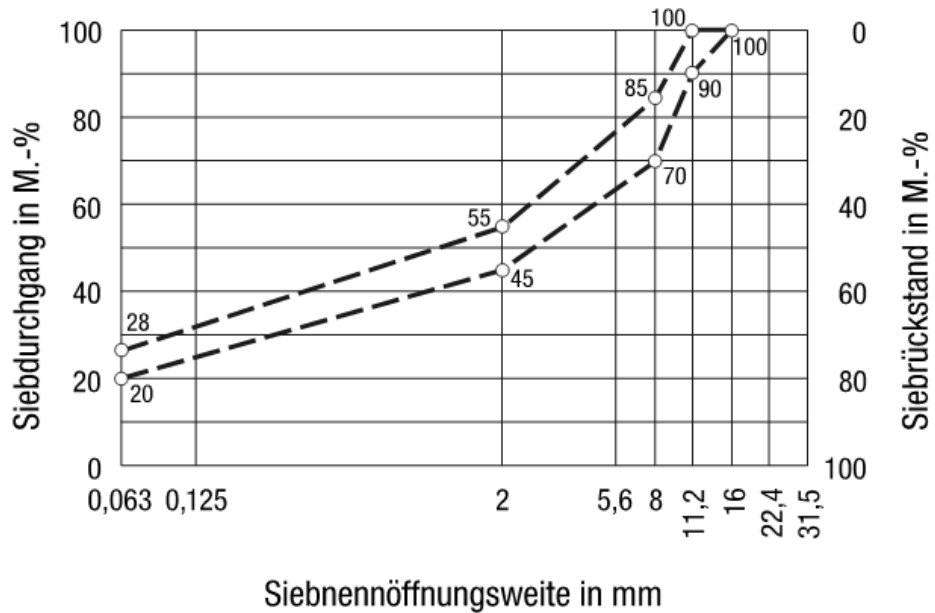
 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology	Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23399 DVR:0005886				
	Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung			P404 Seite 1 von 1	
AuftraggeberIn Datum Projekt ProjektleiterIn PrüferIn Norm	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen 24.01.2017 15422 Mariyan Dimitrov Mariyan Dimitrov EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS960	Asphaltsorte	MA 4 90/10 Rundkorn + 3%Wachs		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K640	Freundl	4,0	12.381	12.381	
T732	Freundl	6,0	18.572	18.572	
			erforderliche Masse [g]	30.953	
			aufgerundete Masse [g]	33.000	
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	3036,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			3102,8	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G750, G768		90,80	29964,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B654A	90% B652A 90/10 + 10% B636A 70/100	9,20	3036,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	26,00	8580,00	
[0 - 2]	G750	Rundkorn Badenerstraße 0/2	42,00	13860,00	
[2 - 4]	G768	Rundkorn Badenerstraße 2/4	22,80	7524,00	
		Summe	100,00	33.000,0	
Anmerkungen: Wiederholung					

	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 Datum Projekt ProjektleiterIn PrüferIn Norm	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen 27.10.2016 15422 Mariyan Dimitrov Mariyan Dimitrov EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS899	Asphaltsorte	MA 4 90/10 Rundkorn + 3%Wachs/A.		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
Z182	Freundl	5,0	15.477	15.477	
			erforderliche Masse [g]	15.477	
			aufgerundete Masse [g]	18.000	
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	1656,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			1692,4	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G750, G768		90,80	16344,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B530A	90% 90/10 B525A + 10% 70/100 B136A	9,20	1656,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	26,00	4680,00	
[0 - 2]	G750	Rundkorn Badenerstraße 0/2	42,00	7560,00	
[2 - 4]	G768	Rundkorn Badenerstraße 2/4	22,80	4104,00	
		Summe	100,00	18.000,0	
Anmerkungen: Ausbreitmaß					

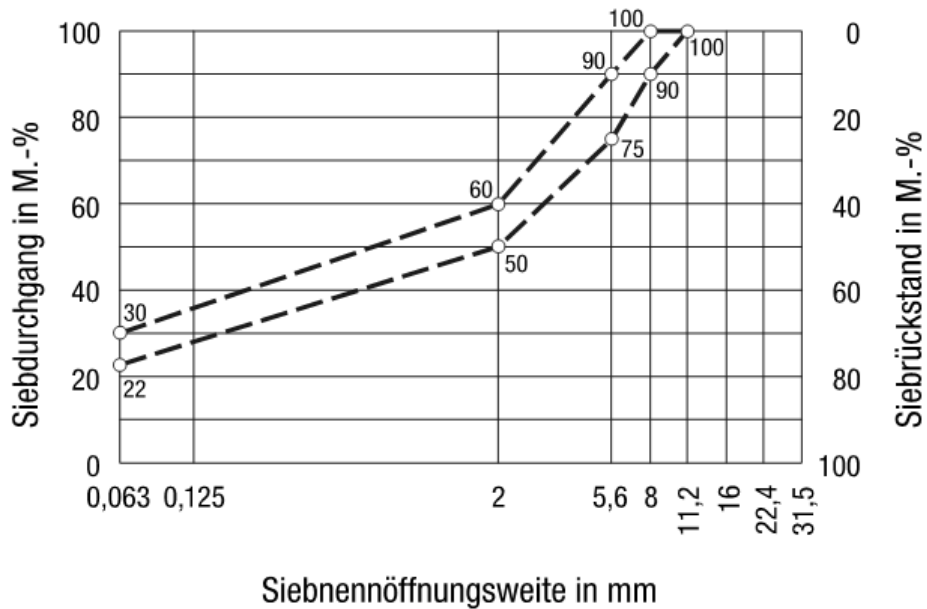
 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology	Institut für Verkehrswissenschaften Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen Gußhausstraße 28 / E230-3 1040 Wien Tel.: +43-1-58801-23301 Fax.: +43-1-58801-23399 DVR:0005886				
	Prüfbericht: Einwaage zur Asphalterzeugung				
P404 Seite 1 von 1					
AuftraggeberIn Datum Projekt ProjektleiterIn PrüferIn Norm	TU Wien - Institut für Verkehrswissenschaften - Straßenwesen 27.10.2016 15422 Mariyan Dimitrov Mariyan Dimitrov EN 12697-35, Ausgabe 2016				
Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS898	Asphaltsorte	MA 4 90/10 Rundkorn + 3%Wachs		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,381	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	0,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,381		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
Z181	Freundl	6,3	19.500	19.500	
				erforderliche Masse [g]	19.500
				aufgerundete Masse [g]	22.000
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		9,20	2024,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			2068,5	
Zusatz	-		-	-	
Gestein	F037, G750, G768		90,80	19976,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B530A	90% 90/10 B525A + 10% 70/100 B136A	9,20	2024,0	
Füller	F037	Kalksteinmehl	26,00	5720,00	
[0 - 2]	G750	Rundkorn Badenerstraße 0/2	42,00	9240,00	
[2 - 4]	G768	Rundkorn Badenerstraße 2/4	22,80	5016,00	
Summe			100,00	22.000,0	
Anmerkungen: DMM					

12 ANHANG II

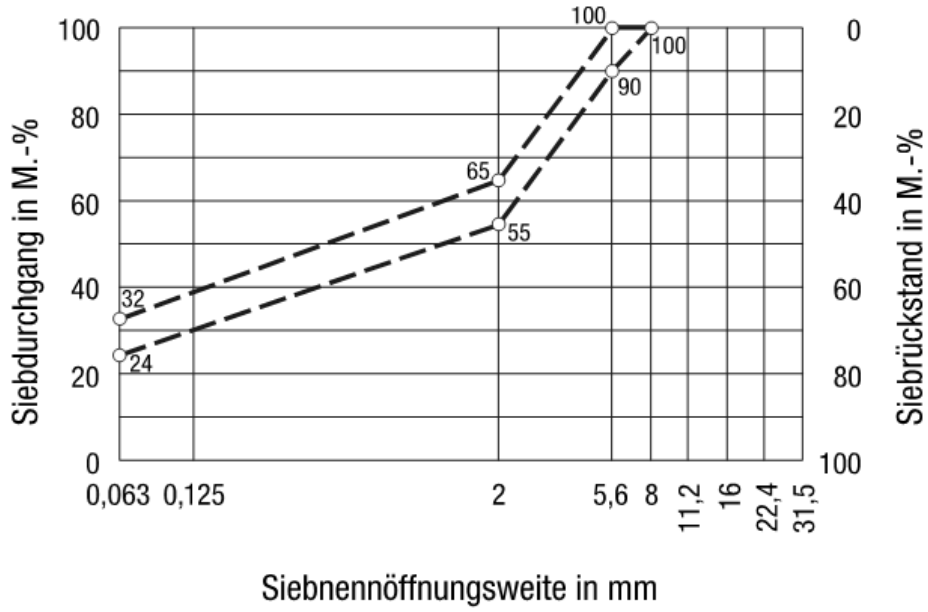
Sieblinien laut TL Asphalt-StB 07 und ZTV Asphalt-StB 07



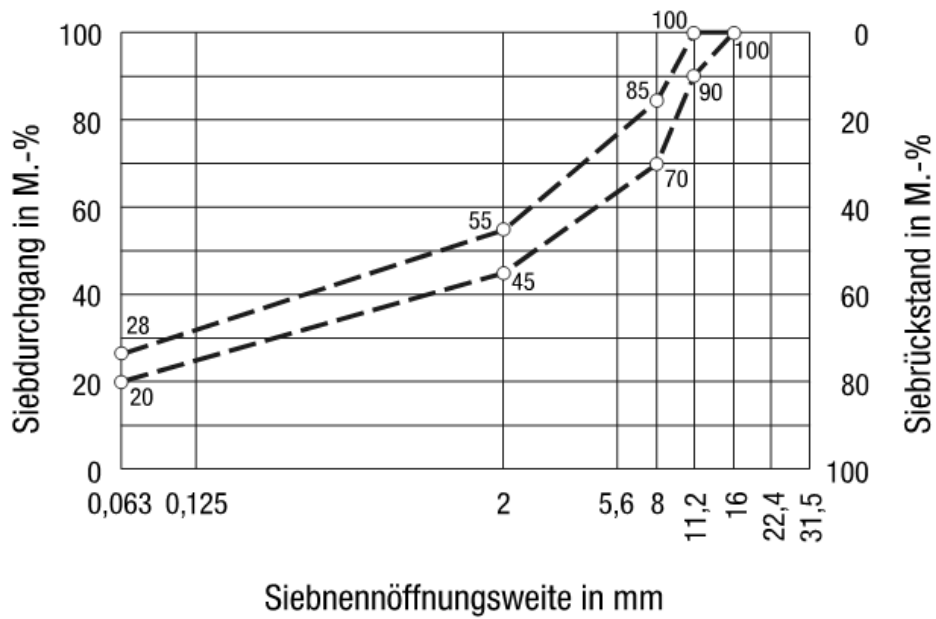
MA 11 S



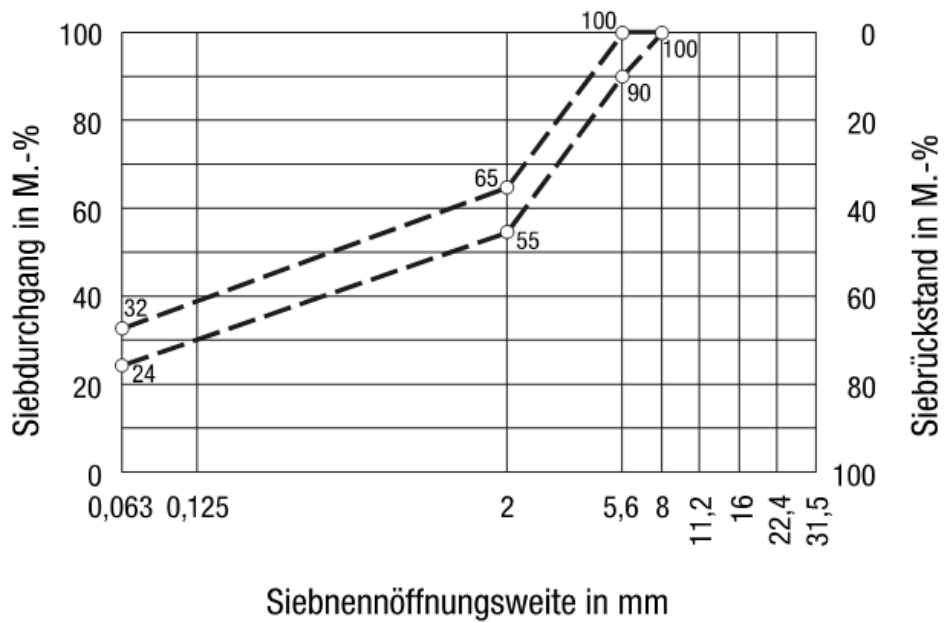
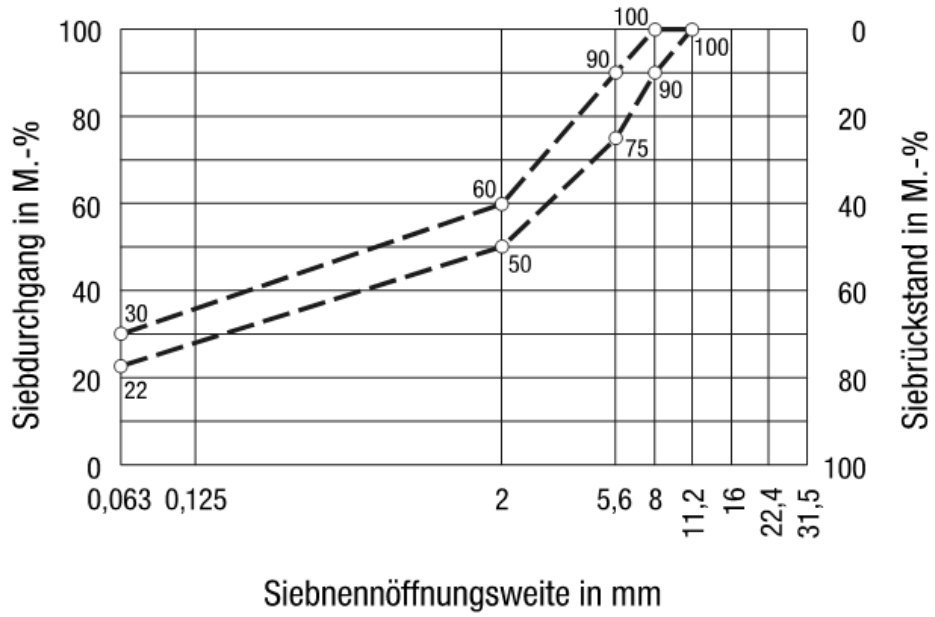
MA 8 S



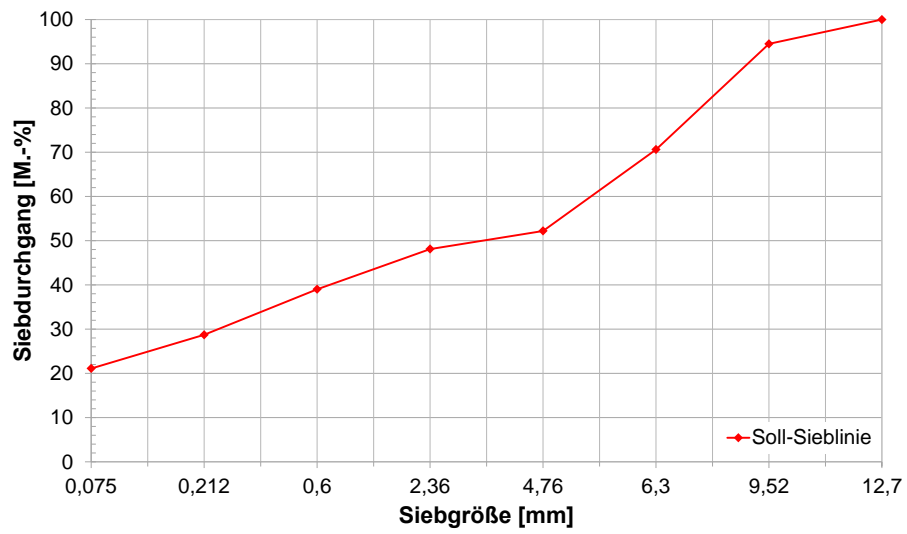
MA 5 S



MA 11 N



Soll-Sieblinie für Gussasphalt der Bosphorusbrücken in Istanbul



13 ANHANG III

Ausbreitmaße bei 190 °C

MA4-KK	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm $= (L1 + L2) / 2$
Versuch	27,5	29,1	28,3

MA4-RK	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm $= (L1 + L2) / 2$
Versuch	33,4	33,4	33,4

MA4-KKRK	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm $= (L1 + L2) / 2$
Versuch	31,6	31,7	31,7

MA4-KK+3%W	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm $= (L1 + L2) / 2$
Versuch	35,5	36	35,8

MA4-RK+3%W	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm $= (L1 + L2) / 2$
Versuch	38,5	39,5	39

Ausbreitmaße bei 210 °C

MA4-KK	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm $= (L1 + L2) / 2$
Versuch	32,5	34,2	33,3

MA4-RK	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm $= (L1 + L2) / 2$
Versuch	38,6	38,2	38,4

MA4-KKRK	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	37,3	37,4	37,4

MA4-KK+3%W	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	41,1	41,5	41,3

MA4-RK+3%W	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	42,4	44	43,2

Ausbreitmaße bei 230 °C

MA4-KK	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	37,5	39,1	38,3

MA4-RK	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	42	41,6	41,8

MA4-KKRK	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	40,6	40,5	40,6

MA4-KK+3%W	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	44,2	46,1	45,2

MA4-RK+3%W	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	45,1	45,8	45,5

Ausbreitmaße bei 250 °C

MA4-KK	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	39,4	40	39,7

MA4-RK	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	43	42,7	42,8

MA4-KKRK	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	42,4	42,9	42,7

MA4-KK+3%W	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	46,3	47	46,7

MA4-RK+3%W	L1 cm	L2 cm	Ausbreitmaß cm = (L1 + L2) / 2
Versuch	47,6	47,4	47,5

14 ANHANG IV

Drehmomentmessungen

MA4-KK		MA4-RK		MA4-KKRK		MA4-KK+3%W		MA4-RK+3%W	
Temp. °C	DMM Nm	Temp. °C	DMM Nm	Temp. °C	DMM Nm	Temp. °C	DMM Nm	Temp. °C	DMM Nm
180	19,047	180	18,25	181	20,034	181	19	181	20,308
181	19,529	181	18,733	186	20,409	182	19,174	183	20,571
182	19,543	182	19,333	191	20,75	183	18,76	184	20,345
183	19,6	183	19,121	200	20,632	184	18,943	185	20,286
184	19,679	184	19,281	201	19,68	185	18,974	186	20,025
199	20,067	185	19,396	202	19,367	186	18,667	207	16,75
200	20,088	200	19,935	203	18,971	201	17,381	208	16,65
201	20,057	204	19,571	204	18,98	202	17,474	209	16,366
202	19,721	205	19,143	221	17,08	203	17,087	225	11,9
203	19,5	206	19,146	223	16,476	204	17,25	226	12,043
221	19,045	207	18,563	224	16,034	205	17,194	227	11,938
222	19,136	227	15,05	225	16,13	206	16,979	228	12
224	19,043	228	14,8	226	15,983	226	13,182	229	12,028
225	19,103	229	14,545	245	14	227	13,235	247	9,68
226	18,652	230	14,509	246	13,968	228	13,133	248	9,442
249	15,077	247	11	247	13,327	245	11,593	249	9,892
250	15	248	11,664	248	13,479	246	11,841		
251	15,162	249	11,555			247	11,867		

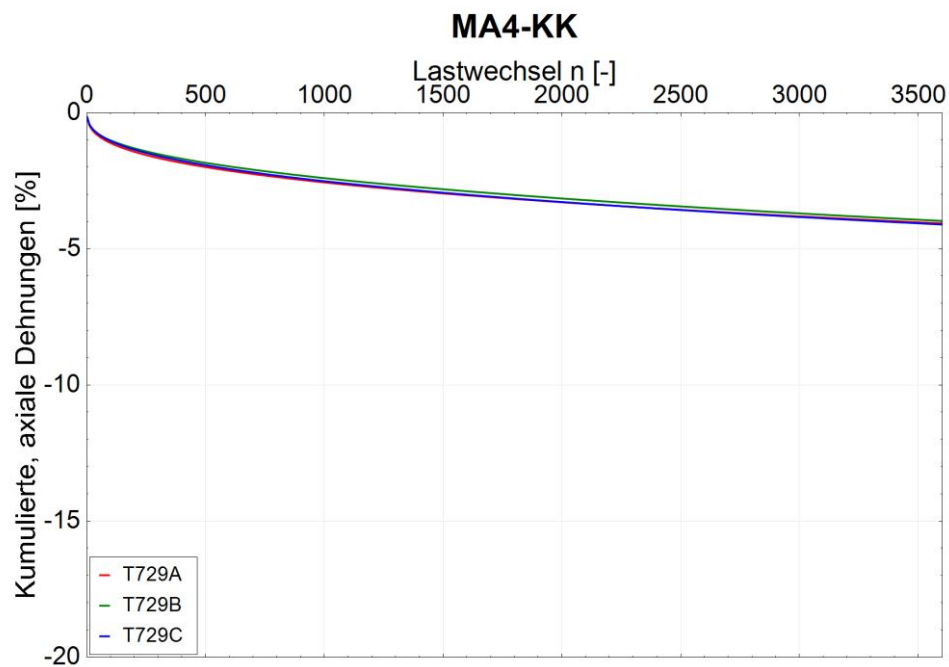
Daten für die Vergleichsdarstellung

Temp. °C	MA4-KK		MA4-RK		MA4-KKRK		MA4-KK+3%W		MA4-RK+3%W	
	MW DMM	MW f	MW DMM	MW f	MW DMM	MW f	MW DMM	MW f	MW DMM	MW f
190 °C	19,607	28,3	19,266	33,4	20,397	31,7	18,861	35,8	20,218	39
210 °C	19,759	33,3	18,95	38,4	19,106	37,4	17,141	41,3	16,588	43,2
230 °C	18,932	38,3	14,618	41,8	16,049	40,6	13,183	45,2	11,988	45,5
250 °C	15,079	39,7	11,406	42,8	13,591	42,7	11,767	46,7	9,671	47,5

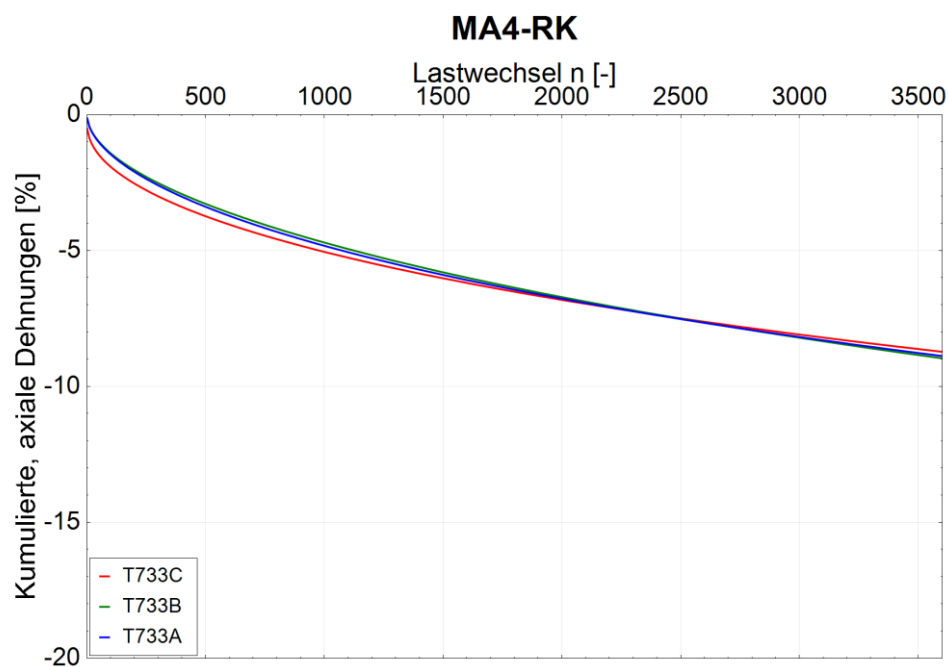
Anmerkung: MW – Mittelwert, f – Ausbreitmaß

15 ANHANG V

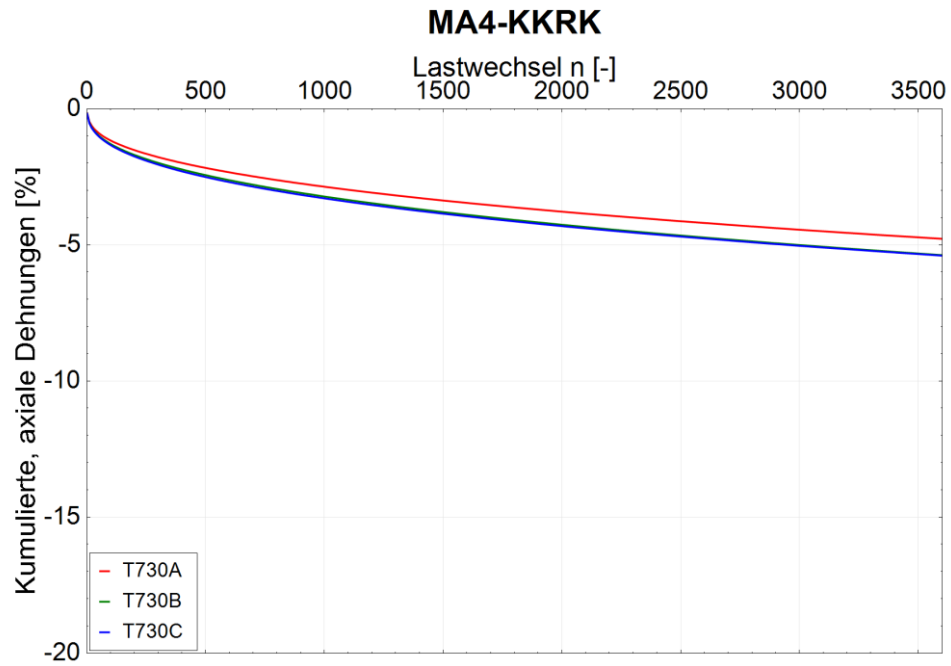
UCCT (Einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung)



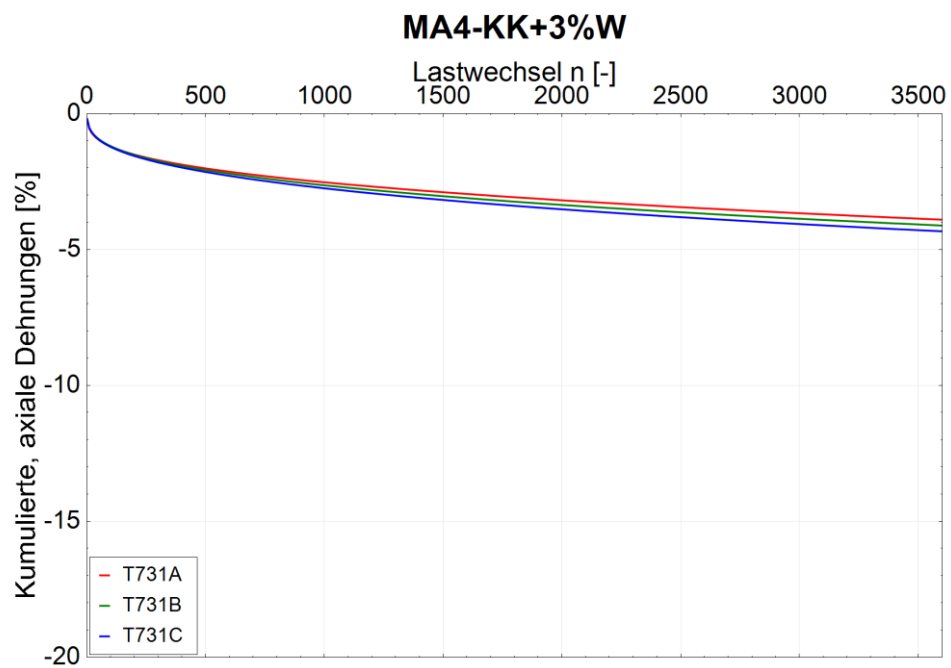
Verformung-Lastwechsel-Diagramm beim Mischgut MA4-KK



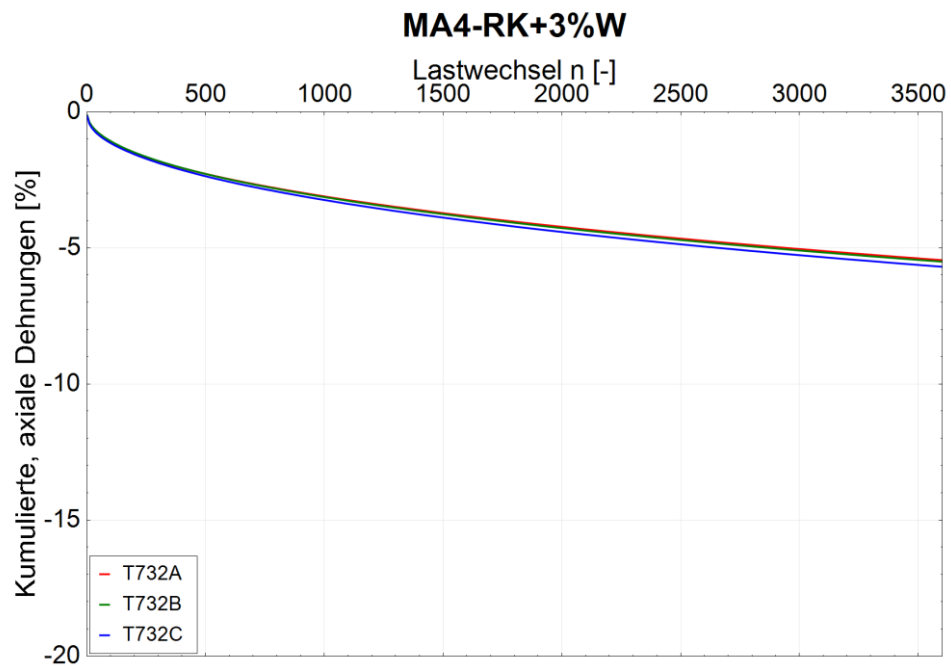
Verformung-Lastwechsel-Diagramm beim Mischgut MA4-RK



Verformung-Lastwechsel-Diagramm beim Mischgut MA4-KKRK



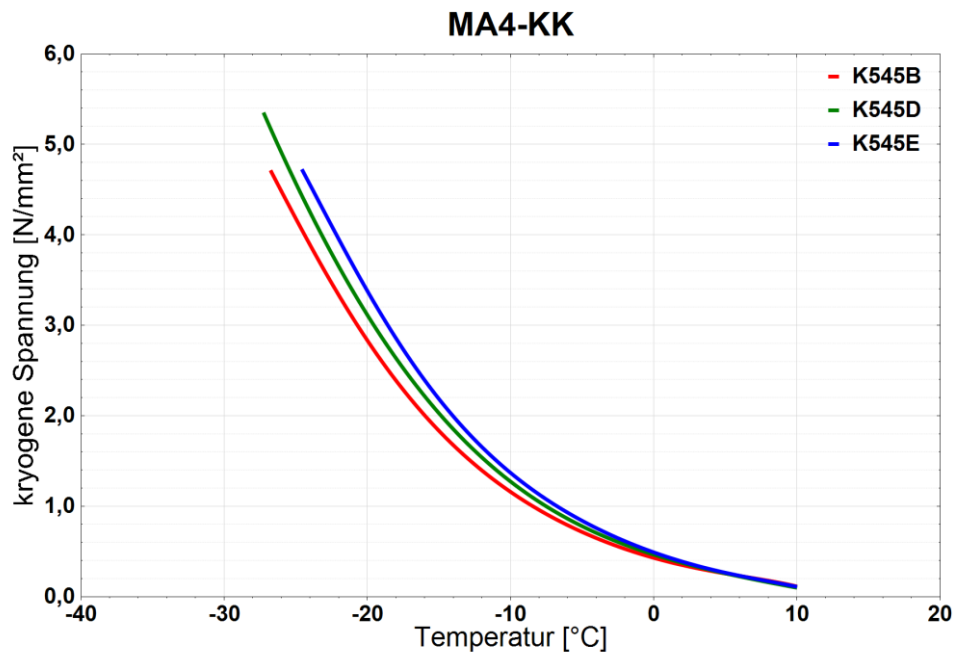
Verformung-Lastwechsel-Diagramm beim Mischgut MA4-KK+3%W



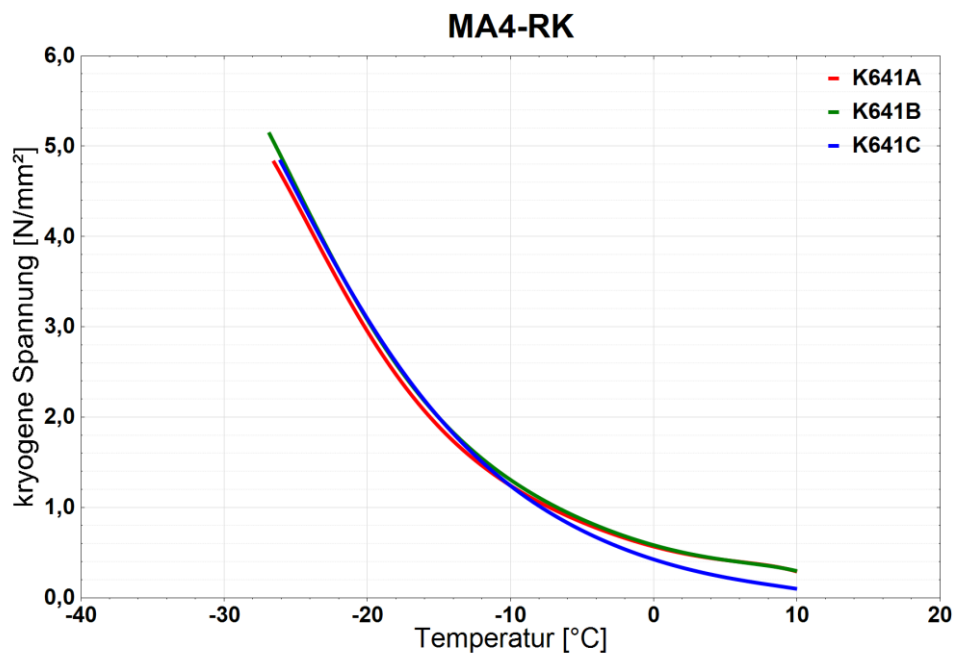
Verformung-Lastwechsel-Diagramm beim Mischgut MA4-RK+3%W

16 ANHANG VI

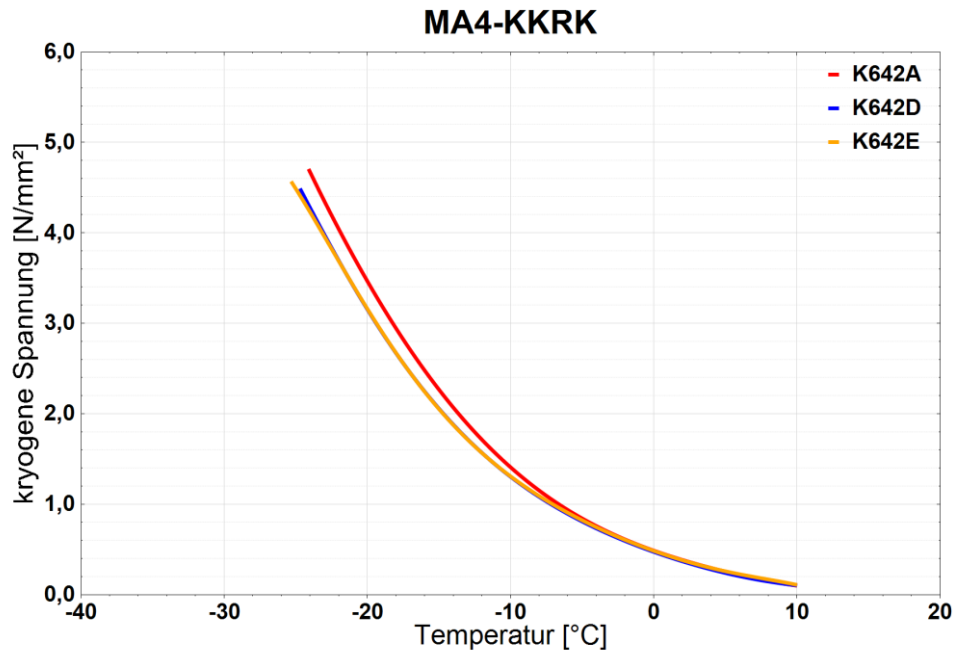
TSRST (Abkühlprüfung)



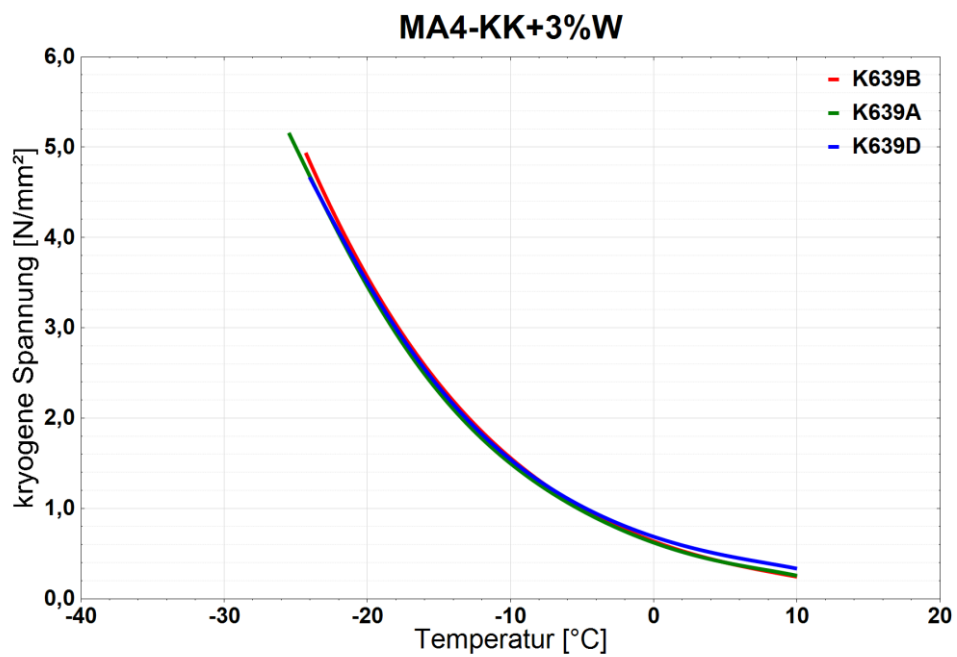
Kryogene-Spannungsverlauf-Diagramm beim Mischgut MA4-KK



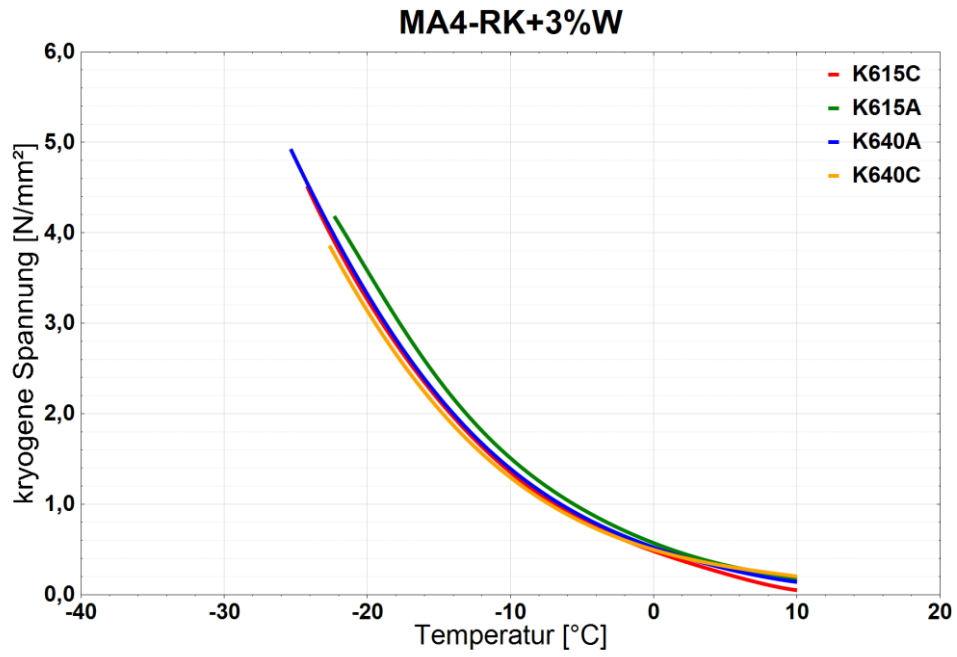
Kryogene-Spannungsverlauf-Diagramm beim Mischgut MA4-RK



Kryogene-Spannungsverlauf-Diagramm beim Mischgut MA4-KKRK



Kryogene-Spannungsverlauf-Diagramm beim Mischgut MA4-KK+3%W



Kryogene-Spannungsverlauf-Diagramm beim Mischgut MA4-RK+3%W