

Diplomarbeit

Tieftemperaturverhalten von Asphalt in Abhängigkeit der Rezeptur

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads
Diplom-Ingenieur
eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

Diploma Thesis

Low-temperature performance of asphalt as a function of the mix design

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

von

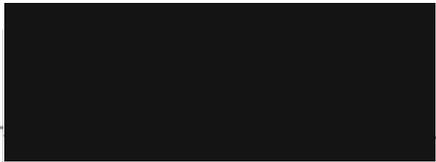
Raimund Brandmüller, BSc



Betreuung: Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Hofko
Bernhard Hadler, BSc

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich Straßenwesen
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/ E230-03, 1040 Wien, Österreich

Wien, im April 2023



Kurzfassung

Jede Person verwendet Asphalt im täglichen Leben. Die benötigten Lebensmittel, Kleidung und vieles mehr werden mittels Lastkraftwagen über Autobahnen in ganz Österreich verteilt. Da der herkömmliche Asphalt (Asphaltbeton AC) für untergeordnete Straßen (Gemeindestraßen) nur aus Gesteinskörnung, 3,5-5 Massen-Prozent Destillationsbitumen und Hohlraum (= Luft dazwischen) besteht, ist er für den Einsatz als Deckschicht auf hochrangigen Straßen (=Autobahnen) nicht geeignet, da er gegenüber von Splittmastixasphalt (SMA) mit mindestens 6,5 Massen-Prozent polymermodifizierte Bitumen geringere Lebensdauer, geringer Verschleißfestigkeit und geringer Verformungsbeständigkeit besitzt. Des Weiteren entsteht beim Überrollen des Reifens des Splittmastixasphalt (SMA) beziehungsweise des offenporigen Asphalts (PA) gegenüber des herkömmlichen Asphaltbeton (AC) weniger Lärm.

Daher ist es von Interesse, mit welchen Eingangsmaterialien und Mischungsverhältnissen der Asphalt höhere verkehrsinduzierte Lasten bewältigen kann. Durch den Bitumenanteil im Asphalt kann sich der Straßenkörper bei Wärme ausdehnen und bei Kälte zusammenziehen. Speziell der Einsatz von polymermodifizierten Bitumen bringt einen erheblichen Vorteil bei der Bewältigung dieser Belastung. Im Winter wird der Deckschichtasphalt sehr schnell durch Umwelteinflüsse abgekühlt, was zu Zugspannungen im Asphaltkörper führt, da der Einbau im Straßenkörper einer Einspannung entspricht. Je tiefer die Außentemperaturen sind, desto weniger Relaxationsvermögen besitzt das Bitumen, das diese Spannungen abbauen kann. Durch das Überrollen eines Lastkraftwagens kommen zu den kryogenen Belastungen, aufgrund des reinen Abkühlens, auch noch zu verkehrsinduzierte Belastungen. Dadurch entstehen Mikrorisse auf der Asphaltoberfläche, die immer mehr in den Untergrund eindringen, bis der gesamte Straßenquerschnitt reißt und getauscht werden muss.

Ziel dieser Diplomarbeit ist das Rezept eines offenporigen Asphaltmischguts (PA) und eines Splittmastixmischgutes (SMA) so zu verändern, sodass die Spannungsreserve maximal wird. Die Spannungsreserve, auch Zugfestigkeitsreserve genannt, gibt die zusätzliche verkehrsinduzierte Belastung in Abhängigkeit der Temperatur an, die ein Asphaltkörper zusätzlich zur kryogenen Belastung aufnehmen kann, ohne dass der Asphaltkörper reißt.

Abstract

Every person uses asphalt in daily life. Food, clothing and much more products for the daily life are distributed by trucks via highways all over Austria. Since the conventional asphalt (asphalt concrete AC) for subordinate roads (municipal roads) consists only of aggregate, 3.5-5 mass percent distillation bitumen and hollow space (= air in between), it is not suitable for use as a surface course on high-ranking roads (=highways), since it has a shorter service life, lower wear resistance and lower deformation resistance than Stone Mastic Asphalt (SMA) with at least 6.5 mass percent polymer-modified bitumen. Furthermore, less noise is generated when rolling over the tire of the Stone Mastic Asphalt (SMA) or the porous asphalt (PA) compared to the conventional asphalt concrete (AC).

Therefore, it is of interest with which materials and mix proportions the asphalt can handle higher traffic-induced loads. Due to the bitumen content in asphalt, the pavement can expand when hot and contract when cold. Specifically, the use of polymer-modified bitumen provides a significant advantage in handling this load. In winter, the asphalt surface layer is cooled very quickly by environmental influences, which leads to tensile stresses in the pavement, as the paving process in the road body is equivalent to restraint. The lower the outside temperatures, the less relaxation capacity the bitumen has to relieve these stresses. When a truck rolls over the asphalt, traffic-induced stresses are added to the cryogenic stresses due to the pure cooling process. This causes micro-cracks on the asphalt surface, which penetrate more and more into the subgrade until the entire road cracks and has to be replaced.

The aim of this diploma thesis is to adapt the mix design of a porous asphalt mix (PA) and a stone mastic mix (SMA) in such a way that the stress reserve is maximized. The stress reserve, also called tensile strength reserve, indicates the additional traffic-induced load as a function of temperature that an asphalt body can absorb in addition to the cryogenic load without the asphalt body cracking.

Danksagung

In diesem Kapitel möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während meines Studiums unterstützt haben.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Hofko für die Vergabe und Betreuung dieses interessanten Diplomthemas. Er hat sich für meine Fragen immer Zeit genommen, was bei seiner Position auf der Technischen Universität Wien nicht Usus ist.

Auch bei meinem technischen Betreuer Bernhard Hadler, BSc möchte ich mich noch einmal explizit bedanken. Ohne seine Unterstützung und Fachkenntnisse bei Problemen mit den Maschinen hätte ich heute noch nicht alle Versuche fertig geprüft.

Ich bedanke mich auch bei all meinen Studienkollegen, mit denen ich zusammen viele Lehrveranstaltungen gemeistert habe. Besondere Anerkennung möchte ich meinem Studienkollegen und sehr guten Freund Herrn Dipl.-Ing. Benjamin Peternell aussprechen, mit dem ich monatelang für sehr schwere Prüfungen, wie Stahlbau und Grundbau, zusammen gelernt habe. Er hat mich auch nach seinem Abschluss an der Universität weiterhin bei Fragen rund um das Studium unterstützt.

Mein größtes Dankeschön geht an meine Eltern Walter und Gertraud Brandmüller, die mich auf meiner sehr langen Reise durch dieses harte Studium immer begleitet haben. Ohne ihre finanzielle und psychische Unterstützung hätte ich das Bauingenieurwesen Studium schon öfter abgebrochen.

Ganz zuletzt möchte ich mich besonders bei meiner Frau Birgit Brandmüller bedanken, die mich, seit wir uns kennen, immer unterstützt hat und ihre Bedürfnisse, wegen meines Studiums immer zurückgestellt hat. Ich freue mich schon auf geregelte Zeiten in meinem zukünftigen Berufsleben, mit meiner Frau Birgit und meinem Sohn Heribert, ohne samstags und sonntags zu lernen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Aufgabenstellung.....	6
2	Literaturrecherche	7
2.1	Gestein.....	7
2.2	Bitumen.....	8
2.3	Asphalt	17
3	Verwendete Eingangsmaterialien.....	21
3.1	Gesteinskörnung.....	21
3.2	Füller.....	24
3.3	Bitumen.....	24
3.4	Bitumentummantelte Zellulosefasern.....	25
4	Herstellung der Probekörper	25
4.1	Rezepturen errechnen	25
4.2	Vorbereitungsarbeiten	27
5	Prüfmethoden.....	32
5.1	Prüfmaschine.....	32
5.2	Abkühlprüfung (TSRST) ÖNORM EN 12697-46:2020	34
5.3	Einaxiale Kältezugprüfung (UTST) ÖNORM EN 12697-46:2020	34
5.4	Gesamtergebnis von TSRST und UTST	35
5.5	Versuchsablauf.....	35
6	Prüfprogramm.....	37
6.1	TSRST.....	37
6.2	UTST	38
6.3	Auswerten der Ergebnisse.....	39
7	Zusammenfassung der Prüfergebnisse.....	40
7.1	Berechnete Hohlraumgehalte von den Prüfkörpern	40
7.2	TSRST-Ergebnisse	40
7.3	UTST-Ergebnisse	41
7.4	Spannungsreserve	44
7.5	Berechnung der effektiven Spannungsreserve ohne Hohlraumgehalt	49
8	Interpretation der Ergebnisse.....	50
8.1	Interpretation Einfluss Rezeptur auf Hohlraumgehalte.....	50
8.2	Interpretation der TSRST-Ergebnisse	51
8.3	Interpretation der UTST-Ergebnisse.....	53
8.4	Interpretation der Spannungsreserve	54
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	58
10	Literaturverzeichnis	60
11	Abbildungsverzeichnis.....	62
12	Tabellenverzeichnis	63
	Anhang.....	64

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die meisten Verkehrsflächen in Österreich sind aus Asphalt. Der größte Teil dieses Asphalts besteht aus Asphaltbeton, der aus den drei Komponenten Bitumen, Gesteinskörnung und Luft besteht. Für den Einsatz zur Asphalterzeugung unterliegt die Gesteinskörnung strengen Anforderungen und auch das Bitumen, das ein Rohöldestillat ist, muss gewisse Parameter einhalten.

Im 2. Kapitel dieser Diplomarbeit werden die Grundlagen mittels einer Literaturrecherche erklärt. Als erster Punkt wurde auf die Gesteinskörnung eingegangen: welche Gesteinsarten, welche Gesteinskörnungen und Gesteinsanforderungen überhaupt für den Einsatz für die Asphaltherstellung verwendbar sind. Als zweiten Punkt wurde Bitumen im Allgemeinen erklärt, und zwar die Gewinnung aus Rohöl, die Einteilung, die Eigenschaften, die Alterung, die Bezeichnung und im Speziellen auch die Prüfverfahren. Als dritter Punkt wurde Asphalt im Allgemeinen erklärt, und zwar die Arten, die Bezeichnung und ebenfalls die Prüfverfahren.

Anschließend wurden im 3. Kapitel, die verwendeten Eingangsmaterialien zur Erfüllung des Zieles dieser Diplomarbeit beschrieben.

Das Ziel ist, die Rezeptur so zu modifizieren, dass diese zu einer Maximierung der Spannungsreserve führt. Da die Spannungsreserve die zusätzliche verkehrsinduzierte Belastung in Abhängigkeit der Temperatur angibt, die ein Asphaltkörper zusätzlich zur kryogenen Belastung aufnehmen kann, ohne dass der Asphaltkörper reißt, wurde versucht die Zugfestigkeit $\beta_t(T)$ zu maximieren und den Verlauf der kryogenen Spannung $\sigma_{kry}(T)$ so flach wie möglich zu generieren. Die Zugfestigkeit $\beta_t(T)$ wird mittels einaxialer Kältezugsprüfung, auch UTST-Versuch genannt, ermittelt (siehe Kapitel 5.3) und die kryogene Spannung $\sigma_{kry}(T)$ wird mittels Abkühlprüfung, auch TSRST-Versuch genannt, ermittelt (siehe Kapitel 5.2).

Im 4. Kapitel wurde auf die Herstellung der Probekörper eingegangen, und zwar auf die Errechnung der Mischverhältnisse und die Vorbereitungsarbeiten (Mischen, Verdichten, Zuschneiden, Kleben), um den Probekörper überhaupt auf Zug zu belasten.

In den Kapitel 5 und 6 wurden die Prüfmethode und das Prüfprogramm erklärt.

In den nächsten zwei Kapiteln (7-8) sind die Prüfergebnisse dargestellt und interpretiert worden.

Zuletzt wurde im Kapitel 9 eine Zusammenfassung mit Ausblick erstellt.

2 Literaturrecherche

Im ersten Kapitel möchte ich auf die Grundlagen des Asphalts eingehen. Wie jeder weiß, besteht herkömmlicher Asphalt aus Gesteinskörnung, Bitumen und dazwischen Luft, aber die wenigsten wissen die genaue Zusammensetzung bzw. welche Gesteinsarten und Bitumensorten überhaupt auf der Straße, die sie jeden Tag benutzen, zum Einsatz kommen.

2.1 Gestein

Definition:

"Gestein, natürliches Gemisch von Mineralen und/oder Gesteinsbruchstücken und/oder organischen Bestandteilen. Gesteine treten als selbstständige Körper verschiedener Gestalt und unterschiedlicher Dimensionen auf." (Lexikon der Geographie: Gestein [4])

Für ein gutes Straßenendprodukt benötigt man eine gute Qualität der Gesteine. [1]

2.1.1 Gesteinsarten

In der Natur gibt es drei verschiedene Gesteinsarten, und zwar Sedimentgesteine (z.B. Kalkstein, Sandstein, ...), Magmatite (z.B. Basalt, Granit, Diabas, ...) und Metamorphite (z.B. Marmor, Gneise, Quarzit, ...). Des Weiteren kommen im Straßenbau auch Recyclingmaterialien (z.B. recycelter Asphalt) und künstliche Gesteinsstoffe (z.B. Hochofenschlacke) zum Einsatz. [1]

Diabase, Dolomite, Basalte und Kalke eignen sich speziell gut für die Asphaltproduktion, da diese eine ausgezeichnete Bitumenhaftung vorweisen. Völlig ungeeignet für den Straßenbau sind Tonminerale, Glimmer und Muskovit, da diese sehr quellfähig sind. Das heißt bei Wasserzugabe vergrößert sich ihr Volumen, was zu Schäden führen kann. [1], [3]

2.1.2 Gesteinskörnung

Früher wurde die Gesteinskörnung auch Zuschlag genannt. Die Gesteinskörnung kann natürlich vorkommen oder im Steinbruch durch Sprengen abgetragen werden und mittels Backenbrecher, Kreiselsbrecher beziehungsweise Prallmühlen in die gewünschte Größe gebrochen werden. Auch rezyklierte Gesteinskörnung aus Betonabbruch ist möglich, aber der Einsatz dieser muss in der Ausschreibung der Straßenbaustelle explizit angegeben werden. [1]

Die Einteilung erfolgt in:

- **grobe** $D \leq 45 \text{ mm} / d \geq 2 \text{ mm}$
- **feine** $D \leq 2 \text{ mm}$
- **Füller** (früher auch Schlemmkorn genannt) $d \leq 0,063 \text{ mm}$ [1]

Wobei D die obere Siebgröße und d die untere Siebgröße beschreibt. [1]

Wichtige Begriffe bezüglich Gesteinskörnung sind die Kornklassen und Korngruppen. Unter Kornklasse versteht man eine Gesteinskörnung, die durch das obere, größere Sieb (z.B. 8 mm) hindurchfällt, aber auf dem unteren, kleineren Sieb (z.B. 4 mm) liegen bleibt. Hier hat man aber kein Unterkorn und Oberkorn, das bedeutet, man hat nur eine Gesteinskörnung zwischen d und D aber nichts Kleineres oder Größeres. [1]

Bei der Korngruppe handelt es sich um werksmäßig produzierte Körnung mit Unterkorn und Oberkorn. [1]

Da Kornklassen und Korngruppen mit d/D angegeben werden (z.B. 2/4, 4/8, ...) ist es wichtig, immer extra anzugeben, um was es sich handelt. [1]

2.1.3 Gesteinsanforderungen

Je nach gewünschtem Asphalt sind unter anderem die folgenden Bedingungen einzuhalten:

Geometrische Anforderungen:

- **Korngrößenverteilung:** Bestimmung über Sieben
- **Kornform (grobe Gesteinskörnung):** Über Messen der Länge und Dicke
- **Anteil gebrochener Körner:** visuelle Sortierung (wichtig für Kraftableitung) [1]

Physikalische Anforderungen:

- **Widerstand gegen Polieren (feine Gesteinskörnung):** Prüfverfahren nach Wehner/Schulze
- **Frost-Tauwiderstand (grobe Gesteinskörnung):** 10 Frost Tau-Zyklen von wassergefüllten Dosen mit wassergesättigten Kornklassen; Messung des Massenverlusts
- **Widerstand gegen Zertrümmerung (grobe Gesteinskörnung):** Stahlkugeln mit Prüfmaterial in Trommel gegeben und nach 500 Umdrehungen nach Siebung gewogen
- **Widerstand gegen Polieren (grobe Gesteinskörnung):** Gesteinskörnung auf Stahlform geklebt und mittels Poliermaschine 3 Stunden behandelt; Messung des Reibbeiwertes [1]

2.2 Bitumen

2.2.1 Allgemein

Definition:

"Bei der Aufarbeitung geeigneter Erdöle gewonnenes, schwerflüchtiges, dunkelfarbiges Gemisch verschiedener organischer Substanzen, deren viskoelastisches Verhalten sich mit der Temperatur ändert." (Straßenbau und Straßenerhaltung [1], Kap. 1 Folie 56)

Bitumen wird im Straßenwesen dazu verwendet, die einzelnen Gesteinskörner miteinander zu verkleben, um eine stabile Struktur (=Asphalt) zu bilden. [1]

Bitumen wird eigentlich nur in Raffinerien aus Erdöl hergestellt, aber es kommt auch als „Naturbitumen“ z.B. in Trinidad vor. [2]

2.2.2 Gewinnung von Bitumen

Das Rohöl wird mittels Schiffen oder Pipelines angeliefert und in einem Röhrenofen (siehe Abb. 2.2-1) erhitzt, um in einer Destillationskolonne als Erstes die leicht flüchtigen Bestandteile wie Benzin und Kerosin abzutrennen. Durch das zweite mal Erhitzen erhält man mittels Vakuumdestillation verschiedene Schmierstoffe (Dieselöl, Maschinenöle) und das Destillationsbitumen. Dieses weiche Bitumen kann mit Hilfe von Hochvakuumdestillation und Oxidationsverfahren zu Hochvakuumbitumen und Oxidationsbitumen veredelt werden. [1], [2], [23], [24]

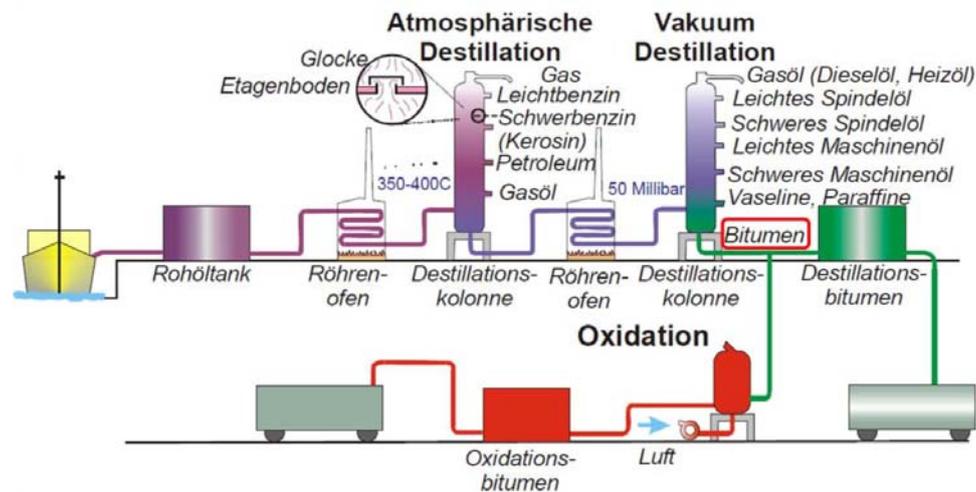


Abb. 2.2-1: schematische Bitumenherstellung [2]

2.2.3 Einteilung von Bitumen

2.2.3.1 Destillationsbitumen

Alle Bitumen, die mittels Destillation von Erdölen gewonnen werden, nennt man Destillationsbitumen. Sie werden unterteilt in Straßenbaubitumen und Hochvakuumbitumen. Man bezeichnet Straßenbaubitumen als jene Bitumensorten, die für die Erzeugung von Asphalt für den Straßenbau verwendet werden. Sie haben eine relativ kleine Gebrauchsspanne $\Delta \approx 50 - 60 \text{ K}$ und eine Konsistenz von weich bis mittelhart. Durch ein erhöhtes Vakuum wird Hochvakuumbitumen erzeugt, das härter und dafür auch spröder ist als das herkömmliche Straßenbitumen. [1], [2], [23], [24]

2.2.3.2 Oxidationsbitumen

Als Oxidationsbitumen wird Bitumen bezeichnet, das künstlich oxidiert wurde, d.h. Sauerstoff oder Luft wird eingeblasen, dadurch verhärtet es sich sehr stark, was eine Alterung vorwegnimmt. Dadurch erhält man ein sehr hartes, sprödes Bitumen. Verwendung findet dies im Hochbau speziell für Dach- und Dichtungsbahnen bzw. bei Estrichen im Tiefgaragenbereich. [1], [2], [23], [24]

2.2.3.3 Polymermodifizierte Bitumen

Als polymermodifizierte Bitumen bezeichnet man Bitumen, die durch Zugaben von Modifikationsmitteln (Thermoplaste, thermoelastische Kunststoffe und Elastomere) modifiziert wurden. Dadurch erhält man bessere Eigenschaften (höhere Gebrauchsspanne, höherer Erweichungspunkt, verbesserte Verformungsbeständigkeit, günstigere Langzeitalterung als Destillationsbitumen), aber die Kosten sind erheblich höher. [1], [2], [23], [24]

2.2.3.4 Fluxbitumen

Als Fluxbitumen wird Destillationsbitumen bezeichnet, das mit Fluxölen „verschnitten“ wird, um dadurch die Viskosität zu senken, was zu einer leichteren Verarbeitbarkeit führt. Dadurch reicht eine Temperatur von 90°C aus, um es zu verarbeiten. Einsatz findet Fluxbitumen für Oberflächenreparatur im ländlichen Gebiet und zur Erzeugung von Kaltasphalten. [1], [2], [23], [24]

2.2.3.5 Bitumenemulsion

Unter Bitumenemulsion wird ein Gemisch aus Bitumen, Wasser und Stabilisator verstanden. Feinste Bitumentropfen werden in Wasser mittels Mischer eingerührt. Damit sich die Bitumentropfen nicht wieder vom Wasser trennen, benötigt man einen Stabilisator (Emulgator). Der große Vorteil von Bitumenemulsionen ist der Einbau unter Lufttemperatur. Nach Aufsprühen der

Emulsion verdampft das Wasser und an der Oberfläche haftet das Bitumen. Zur Anwendung kommen Bitumenemulsionen beim Vorspritzen zwischen zwei Asphaltlagen und zur Oberflächenbehandlung. [1], [2], [23], [24]

2.2.4 Eigenschaften von Bitumen

Die typischen Eigenschaften von Bitumen stammen aus ihrem kolloidalen System. Bitumen ist ein Gemisch in stabiler Verteilung von Asphaltenen, die eine disperse (verteilte) Phase bilden, und Maltenen, die eine zusammenhängende Phase aus hochsiedenden Ölen bilden. Genau dieser spezielle Aufbau prägt das Verhalten von Bitumen, das sehr stark temperaturabhängig ist. [2], [24]

2.2.4.1 Chemischer Aufbau:

Die Hauptbestandteile in Massenprozent von Bitumen lauten:

- 80-85% Kohlenstoff
- 7-10% Wasserstoff
- 2-9% Sauerstoff
- 0,5-7% Schwefel
- 0,1-1% Stickstoff
- < 0,1 % Sonstige Bestandteile [24]

Die geographische Herkunft des Rohöls spiegelt sich in der chemischen Zusammensetzung des Bitumens wider, trotzdem sind die Gebrauchseigenschaften zirka gleich, da diese mehr von der chemischen Struktur abhängen. [24]

2.2.4.2 Physikalische und chemische Eigenschaften:

Bitumen hat durch seine chemische Struktur unter verschiedenen Temperaturen ein spezielles Verformungsverhalten. Es ist spröde und hart unter Tieftemperatur, weich bis breiig unter Hochtemperaturen und wird flüssig über 200° C. Dieser Vorgang ist aber immer wieder umkehrbar, sodass das Material nach seiner Abkühlung bzw. Erwärmung wieder in seinen jeweiligen Aggregatzustand übergeht. Durch dieses Verhalten kann man Bitumen auch als thermoplastischen Werkstoff bezeichnen. Dieses thermoviskose Verhalten bildet die Grundlage für die Verarbeitung von Bitumen. Je nach Verarbeitung (Mischen, Einbauen, Verdichten, Spritzen, Pumpen) hat man verschiedene Temperaturen. Je nach Bitumensorte müssen auch die Verarbeitungstemperaturen angepasst werden. Je härter das Bitumen ist, desto heißer muss es eingebaut werden. [24]

Eine weitere Eigenschaft ist das elasto-viskose Verhalten, d.h. auch der Verformungswiderstand von Bitumen ist abhängig von der Belastungsdauer. Bei sehr kurzer Belastungszeit verhält sich das Bitumen elastisch und federt eine Belastung vollständig zurück. Je länger die Belastungszeit ist, desto mehr überwiegt der viskose Anteil, d.h. die Belastung wird irreversibel. Zum besseren Verständnis kann man einen Nagel sehr schnell in einen Behälter mit weichen Bitumen schlagen und es entsteht nur ein kleines Loch. Schiebt man den Nagel aber langsam in weiches Bitumen verschwindet dieser in diesem vollständig.[24]

Bitumen besitzt auch ein hohes Relaxationsvermögen, d.h. es erfolgt kein spontaner Spannungsabbau, sondern ein zeitabhängiger. Auch hier gilt: bei weichem Bitumen erfolgt der Abbau der Spannung schneller. Das ist der Grund, warum Asphalt ohne Fugen eingebaut werden darf. Auch ein sehr gutes Haftvermögen zählt zu den Eigenschaften von Bitumen. Nur durch dieses ist es möglich, bei vollständiger Benetzung des Gesteins Asphalt herzustellen. [24]

Bitumen ist sehr beständig gegen anorganische Säuren (ausgenommen Schwefelsäure und Salpetersäure), stark polare Lösemittel (Wasser und Alkohol), Salze und Basen. Da es sich bei Bitumen

um ein Erdölprodukt handelt, ist es chemisch unbeständig gegenüber artverwandten Erzeugnissen wie Toluol, Benzin und Diesel. Das ist auch der Hauptgrund, dass auf Tankstellen nur Betonplatten eingesetzt werden dürfen, da sich Asphalt auflösen würde. [2]

2.2.4.3 Alterung:

Wie jeder organische Stoff altert auch Bitumen. Unter Sauerstoffzufuhr, Wärme bzw. unter UV-Strahlung erfährt Bitumen destillative und oxidative Veränderungen, welche zu einer Verhärtung führen. Man unterscheidet zwischen Kurzzeitalterung und Langzeitalterung. [1], [24]

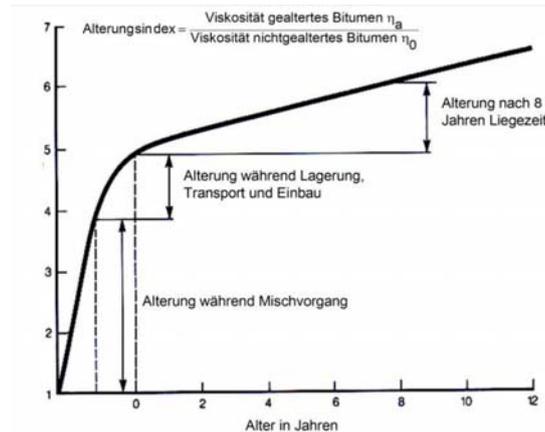


Abb. 2.2-2: Zeitlicher Verlauf der Alterung [2]

In Abbildung 2.2-2 kann man gut die Alterung über die Jahre für Bitumen, das in einer Straße eingebaut wurde, verfolgen. Auf der vertikalen Achse wird der Alterungsindex angegeben und auf der horizontalen Achse das Alter in Jahren. η_0 bezeichnet die gemessene Viskosität direkt nach Herstellung des Bitumens in der Raffinerie, bei zirka 180° C, welches noch keinem Sauerstoff ausgesetzt wurde. η_a bezeichnet die Viskosität des eingebauten, gealterten Bitumens. Direkt nach der Herstellung des Bitumens ist der Alterungsindex 1 und steigt durch Mischen, Transport und Einbau um das Fünffache sehr stark an. Dieser Vorgang wird als Kurzzeitalterung bezeichnet, bei der es aufgrund von hohen Temperaturen zu einer Verdunstung der noch übrig gebliebenen niedrigsiedenden Komponenten kommt. Die Kurzzeitalterung führt dazu, dass das eingebaute Bitumen viel härter und spröder ist als das Ausgangsprodukt in der Raffinerie. Nach dem Einbau beginnt die Liegedauer des Asphaltes und somit die Langzeitalterung. Je nach Einbauschicht der Bitumen im Asphalt (Deck-, Binder- oder Tragschicht) altert das gleiche Bitumen unterschiedlich. Unter Langzeitalterung versteht man die langsamen Änderungen in der kolloidalen Struktur aufgrund von Sauerstoffzufuhr und UV-Strahlung. Meist ist der Alterungsindex in der Deckschicht wesentlich höher als in der Tragschicht, da diese Schicht einer höheren UV-Strahlung und Temperatur ausgesetzt ist. [1], [2], [24]

Diese Alterungsprozesse können auch im Labor nachgestellt werden:

RTFOT-Verfahren ÖNORM EN 12607-1:2015

Dieses Verfahren dient zur Kurzzeitalterung. Es werden „RTFOT Flaschen“ mit bituminösem Bindemittel gefüllt und unter konstanter Lufttemperatur von 163°C in einer Trommel langsam zum Rotieren gebracht. Dadurch bildet sich ein dünner Bitumenfilm, der durch eine hohe Oxidationsoberfläche eine sehr schnelle Alterung erfährt. [2], [25]

PAV-Verfahren ÖNORM EN 14769:2012

Dieses Verfahren dient zur Langzeitlangalterung. Das Verfahren darf nur bei bituminösem Bindemittel angewendet werden, das eine RTFOT Alterung hinter sich hat. Ein unbewegter bituminöser Bindemittelfilm wird mittels Druckkessel auf eine Temperatur von 90-110°C unter einem Druck

von 2,1 MPa erhitzt und anschließend werden für eine definierte Zeitspanne die Belastungen konstant gehalten, was zu einer beschleunigten Oxidation führt.[2], [26]

2.2.5 Bezeichnung von Bitumen

Bitumen ist zurzeit in Österreich nur nach empirischen Versuchsergebnissen wie folgt bestellbar:

Straßenbaubitumen:

Z.B.: 50/70

Dies bedeutet eine minimale/maximale Eindringtiefe (Penetration) von 50 - 70*1/10 mm. Die restlichen Anforderungen sind in der ÖNORM EN 12591:2009 Tabelle 1A und 1B festgelegt. [1], [27]

Polymermodifizierte Bitumen für den Straßenbau:

Z.B.: PmB 45/80-65

PmB bezeichnet polymermodifizierte Bitumen, 45/80 gibt wieder die minimale/maximale Eindringtiefe (Penetration) von 45 - 80*1/10 mm an und 65 gibt die Temperatur für den Erweichungspunkt nach Ring Kugel von 65° C an. Die restlichen Anforderungen sind in der ÖNORM B 3613:2018 Tabelle 1 festgelegt [1], [28]

2.2.6 Prüfverfahren von Bitumen

Für Bitumen gibt es im Labor zwei verschiedene Prüfverfahren, und zwar die konventionellen und die gebrauchtsverhaltensorientierten.

2.2.6.1 Konventionelle Prüfverfahren

Konventionelle Prüfverfahren sind historisch entstandene empirische Verfahren, die zwar leicht, kostengünstig und schnell mit geringem Aufwand im Labor durchführbar sind, aber sie erlauben keine direkte praxisrelevante Beurteilung von eingebautem Bitumen in der Straße. Obwohl die ermittelten Messwerte keine physikalischen Kenngrößen sind, werden diese Prüfungen in ganz Europa noch immer sehr oft angewendet. [1]

Penetration ÖNORM EN 1426:2015

Erhitztes bituminöses Bindemittel wird in einen Tiegel (siehe Abb. 2.2-3) gegossen, abgekühlt und in ein Wasserbad mit 25° C gestellt. Anschließend wird eine genormte Nadel mit einer Belastung von 100 Gramm für 5 Sekunden in die warmen bituminösen Bindemittel gedrückt. Nach dem Versuch werden weitere Nadeln eingedrückt, bis man drei verwertbare Ergebnisse (Messtoleranz laut Norm) bekommt. Daraus erhält man einen gemittelten Wert, der zwischen minimaler und maximaler Eindringtiefe gemessen in 1/10 mm laut Herstellerangaben sein muss. [1], [5]

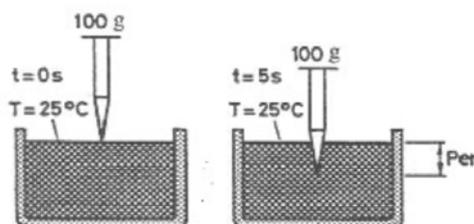


Abb. 2.2-3: schematischer Penetrationstest [1]

Dieser Wert ist das Maß für die Bitumenhärte. Je höher der Wert ist, desto härter ist das geprüfte Bitumen. [1], [5]

Erweichungspunkt Ring Kugel ÖNORM EN 1427:2015

Bei diesem Versuch gibt es zwei verschiedene Prüfungen laut ÖNORM EN 1427. Erweichungspunkt bis 80° C mit destilliertem Wasser als Prüfliquidität und über 80° C mit Prüfliquidität Glycerin. Hier befindet sich nur die Versuchsbeschreibung für hohen Erweichungspunkt, da bei meiner Diplomarbeit ausschließlich polymermodifizierte bituminöse Bindemittel verwendet wurden. [6]

Erhitztes bituminöses Bindemittel wird in zwei Ringe (siehe Abb. 2.2-4 links/links) gegossen, unter Raumtemperatur gekühlt, die zwei gefüllten Ringe in eine Ringhaltevorrichtung auf ein Gestell montiert, zwei Kugeln mit je 3,5 Gramm in die Ringe gelegt und die gesamte Vorrichtung in ein Becherglas mit Glycerin gelegt (siehe Abb. 2.2-4 rechts). Unter dem Becherglas befindet sich eine Heizplatte, die die Prüfliquidität erhitzt. Durch den Temperaturanstieg der Prüfliquidität wird das bituminöse Bindemittel erwärmt, und die Kugel dringt durch ihr Eigengewicht durch die zu prüfende Schicht. Dies erzeugt dadurch einen Bitumensack, der bei Berühren einer Lichtschranke die Prüfmaschine stoppt (siehe Abb. 2.2-4 links/rechts) und man erhält zwei Temperaturwerte, die gemittelt werden. [1], [6]

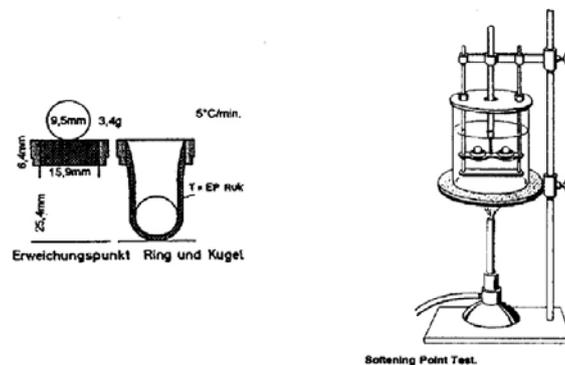


Abb. 2.2-4: schematischer Erweichungspunkt Ring-Kugel-Test [1]

Die gemittelte Temperatur T_{ERK} gibt die obere Grenze der Gebrauchsspanne an, diese wird auch als knetbarer Bereich bezeichnet. [1]

Brechpunkt nach Fraaß ÖNORM EN 12593:2015

Auf ein Prüfblech aus Federstahl wird erhitztes bituminöse Bindemittel mit gleichmäßiger Dicke aufgebracht, abgekühlt und die Prüfplatte an beiden Enden in der Prüfapparatur festgeklemmt. Das Prüfblech wird nun unter konstanter Abkühlgeschwindigkeit von 1°C/min so lange Biegung unterworfen, bis es reißt. Die Temperatur, bei der der erste Riss erkennbar ist, wird als Brechpunkt nach Fraaß bezeichnet. [7]

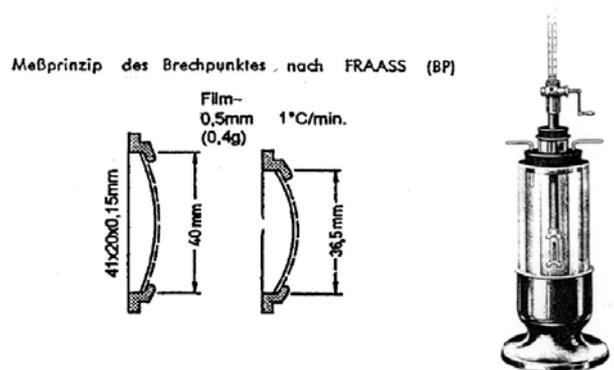


Abb. 2.2-5: schematischer Brechpunkt nach Fraaß Test [1]

Die erhaltene Temperatur T_{BP} gibt die untere Grenze der Gebrauchsspanne an. Diese wird auch als Maß für die Kältehärtigkeit bezeichnet. [1]

Gebrauchsspanne - Plastizitätsspanne

Als Kombination der Ergebnisse der Versuche Erweichungspunkt Ring Kugel und Brechpunkt nach Fraaß erhält man die Gebrauchsspanne Δ : [1]

$$\Delta = T_{ERK} - T_{BP}$$

Für die Anwendung von Bitumen für den straßentechnischen Bereich ist dieser Wert wichtig, da er angibt, für welchen Temperaturbereich sich das Bitumen eignet. Für Destillationsbitumen $\Delta \approx 50 - 60 \text{ K}$ und für polymermodifizierte Bitumen $\Delta \approx 80 - 100 \text{ K}$. [2]

Kraft-Duktilität ÖNORM EN 13589:2018

Erhitztes polymermodifiziertes bituminöses Bindemittel wird in eine Gießform gegossen, unter Luft ausgehärtet und, wie in Abbildung 2.2-6 erkennbar, in einen Duktilometer eingespannt. Bei einer Prüftemperatur von 5°C werden die Zugkraft und der Weg gleichzeitig gemessen. Der Probekörper wird so lange mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 mm/min belastet bis er reißt. [1], [8]

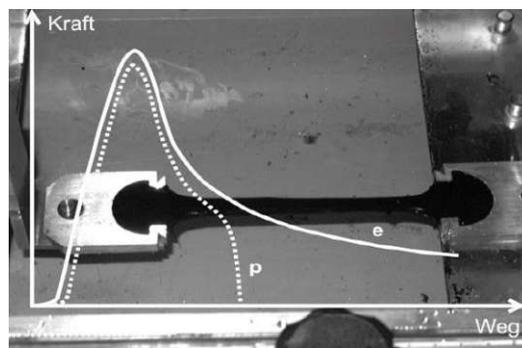


Abb. 2.2-6: Kraft-Duktilität Test [1]

Die Länge bis der Probekörper reißt, wird in Zentimetern gemessen und gibt für polymermodifiziertes bituminöses Bindemittel die Streckeigenschaften an. Diese Eigenschaften werden auch als ein Maß für die innere Kohäsion bezeichnet. [1]

Elastische Rückstellung ÖNORM EN 13398:2018

Es wird wie beim Versuch zuvor erhitztes polymermodifiziertes bituminöses Bindemittel in eine Gießform gegossen, unter Luft ausgehärtet und, wie in Abbildung 2.2-7 erkennbar, in einen Duktilometer eingespannt. Der Probekörper wird bei Raumtemperatur (25°C) auf eine Länge von 200 mm unter einer konstanten Geschwindigkeit von 50 mm/min gedehnt. Der verformte Bitumenfaden wird mittig durchtrennt, um bei den zwei Hälften nach einer Zeit von 30 Minuten die Rückverformung zu messen. [2], [9]



Abb. 2.2-7: elastische Rückstellung Test [1]

Die elastische Rückstellung R_E in Prozent wird aus diesem Versuch berechnet und gibt das Maß für den Modifizierungsgrad an. [2], [9]

2.2.6.2 Gebrauchsverhaltensorientierte Prüfverfahren

Gebrauchsverhaltensorientierte Bitumenprüfungen sind in den USA entwickelt worden und werden heutzutage dort und in Asien verwendet. Ein großer Vorteil dieser Prüfverfahren ist, dass die beanspruchten Bitumen unter realen Verkehrsbelastungen mit praxisrelevanten Temperaturen bemessen werden und so realitätsnähere Resultate generieren. Ein weiterer wichtiger Vorteil ist, dass die gemessenen Werte physikalische Kenngrößen sind, die mit Anforderungen (siehe Abb. 2.2-8) verglichen werden können. Es wird bei diesen Versuchen auch die Alterung des Bitumens berücksichtigt. Es sind somit rheologische Prüfungen von Bitumen, um die Gebrauchsspanne besser und klar definieren zu können. Die großen Nachteile dieser gebrauchsvorhaltensorientierten Prüfungen sind die höheren Kosten und die aufwendigere Versuchsdurchführung als die konventionellen Prüfungen. [1], [2]

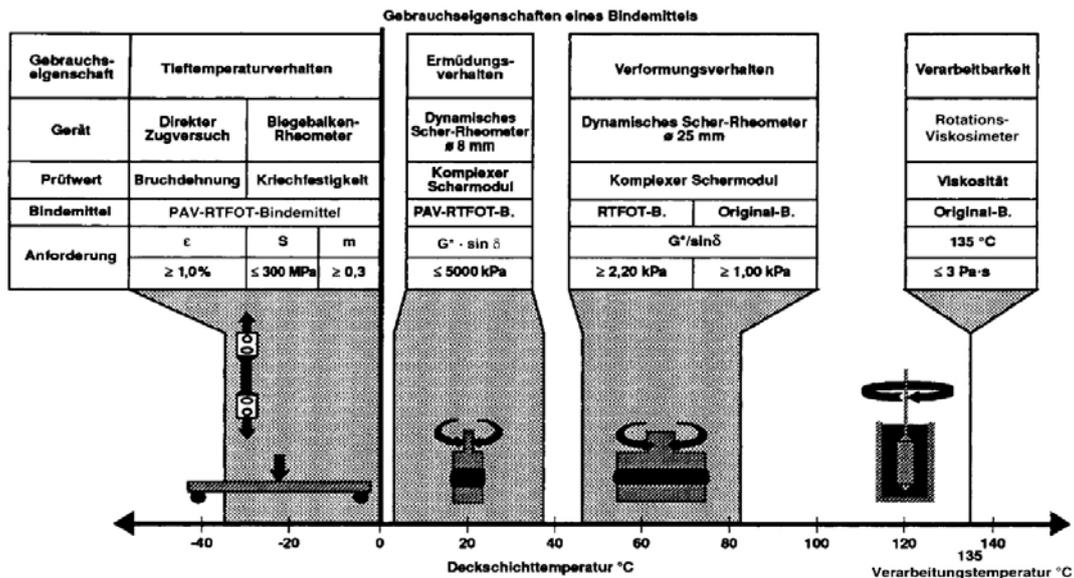


Abb. 2.2-8: Übersicht Gebrauchseigenschaften eines Bindemittels [1]

Direct Tension Test (DTT) AASHTO T 314 (US-Norm)

Dieser Test ist der Prüfung nach Kraft-Duktilität der konventionellen Bitumenprüfung sehr ähnlich. Auch hier wird erhitztes bituminöses Bindemittel in eine Gießform gegossen, unter Luft ausgehärtet und in einen Duktilometer eingespannt. Es wird die Probe 60 Minuten unter Tieftemperaturen gekühlt und unter konstanter Geschwindigkeit von 1 mm/min belastet, bis der Probekörper reißt. Es werden die Ausgangslänge und die Länge nach dem Bruch gemessen (siehe Abb. 2.2-9) und die Bruchdehnung ϵ in Prozent berechnet. Man bekommt in Abhängigkeit der Temperatur je eine Bruchdehnung ϵ . [1], [2]

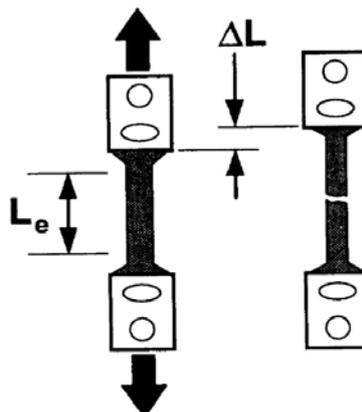


Abb. 2.2-9: schematischer Direct Tension Test [1]

Die Anforderung laut Abb. 2.2-8 ist für $\varepsilon \leq 1,0\%$. Die Temperatur bei der $\varepsilon = 1,0\%$ ist, nennt man die kritische Temperatur, die die untere Gebrauchsspanne bezeichnet. Bitumen nennt man duktil, wenn es eine hohe Bruchdehnung besitzt und spröde bei geringer Bruchdehnung ist. [1], [2]

Biegebalkenrheometer (BBR) ÖNORM EN 14771:2012

Da der Direct Tension Test ein altes Prüfverfahren ist, bei dem man nur einen Wert pro Temperatur bekommt, wurde an seiner Stelle ein vollautomatischer Biegebalkenrheometer Test eingeführt. [2]

Dieser Versuch wird zur Bestimmung des Einflusses von Biege- bzw. Zugspannungen unter Tieftemperatur verwendet. Das Bitumen im Asphalt zieht sich beim Abkühlen zusammen, wird aber dabei behindert, sodass sich im Bitumen Zugspannungen aufbauen, die zu Kälterissen führen. [1], [2], [10]

Es wird ein Balken aus erhitztem bituminösem Bindemittel gegossen, unter Luft abgekühlt, in einen mit Ethanol befüllten Biegebalkenrheometer (siehe Abb. 2.2-10) an beiden Enden gelagert eingebaut und anschließend die Probe mit einer mittig angreifenden Einzelkraft von 1,0 N für 240 Sekunden unter Tieftemperatur belastet. Die dadurch entstehende Balkendurchbiegung bei konstantem Kraftaufwand wird gemessen, woraus man die Steifigkeit S und den m -Wert (Maß für Relaxionsfähigkeit) berechnen kann. [1], [2], [10]

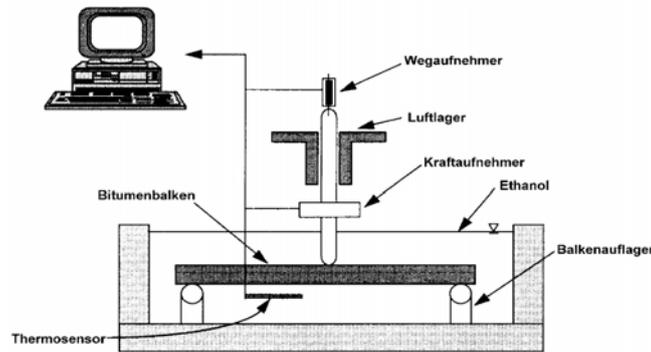


Abb. 2.2-10: schematischer Biegebalkenrheometer Test [1]

Die Anforderung laut Abb. 2.2-8 sind für $S \leq 300$ MPa und für $m \geq 0,3$. Je höher der m -Wert ist, desto besser kann Spannung abgebaut werden, aber die Steifigkeit S sollte gleichzeitig niedrig bleiben. [1]

Dynamischer Scherrehometer (DSR) ÖNORM EN 14770:2012

Ein erhitztes bituminöses Bindemittel wird zwischen zwei horizontal liegenden kreisrunden Platten eingegossen, unter Luft abgekühlt und mittels einer Wärmekammer auf die gewünschte Prüftemperatur gebracht. [1], [2], [11]

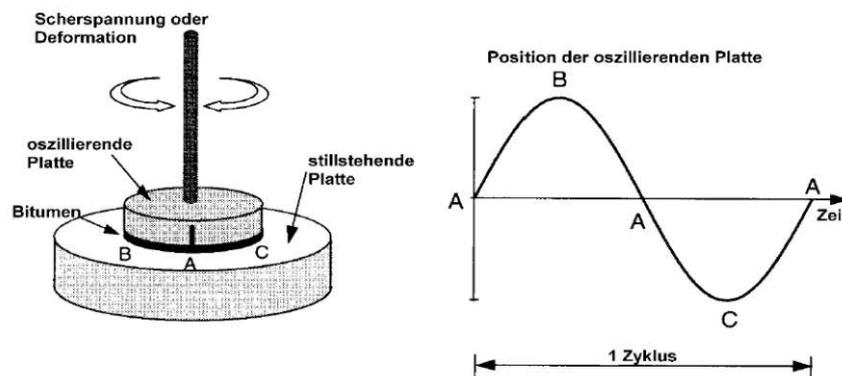


Abb. 2.2-11: schematischer DSR-Test [1]

Abb.2.2-12: Sinusförmiger Verlauf der rotierenden Platte [1]

Der Scherreometer (siehe Abb. 2.2-11) besteht aus zwei Platten, die obere Platte rotiert oszillierend hin und her und die untere Platte steht still. Dadurch wird auf das bituminöse Bindemittel eine Scherdehnung aufgebracht. Die obere Platte fährt wie Abb. 2.2-12 erkennbar die Punkte A, B, C in einem sinusförmigen Verlauf ab. [1], [2], [11]

Es ergeben sich durch diesen Versuch über die Zeit sinusförmige Scherdeformationen. Aufgrund des viskoelastischen Mediums von Bitumen, d.h. abhängig von Temperatur, ist die Kraft nachhinkend, was zum Phasenverschiebungswinkel δ führt. Für die Bestimmung des komplexen Schubmoduls G^* und des Phasenverschiebungswinkels δ wird die Probe bei unterschiedlichen Prüftemperaturen automatisch vom Scherreometer durchfahren. [1], [2], [11]

Je höher G^* ist, desto schwerer lässt sich das bituminöse Bindemittel verformen. Die Anforderungen laut Abb. 2.2-8 sind für $G^* \sin(\delta) \leq 5000 \text{ kPa}$ und $G^* / \sin(\delta) \geq 1,0 \text{ kPa}$. [1]

Rotations-Viskosimetrie (RV) ÖNORM EN 13302:2018

Das Prüfgerät besteht aus zwei Zylindern, was man in Abbildung 2.2-13 gut erkennen kann: dem fixen Außenzylinder (Temperierbehälter), der das eingefüllte bituminöse Bindemittel auf konstanter Temperatur hält und einer Spindel, die konstant mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 20 Umdrehungen pro Minute rotiert. Das Gerät misst das Drehmoment, welches das erhitzte bituminöse Bindemittel den aufgebrauchten Umdrehungen entgegengesetzt. Daraus wird die dynamische Viskosität η errechnet. [1], [2], [12]

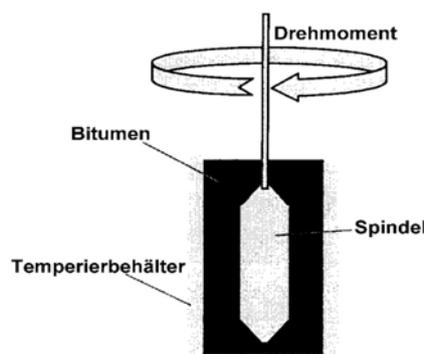


Abb. 2.2-13: schematischer Rotations-Viskosimetrie Test [1]

Die dynamische Viskosität η nimmt überproportional mit der Temperatur ab, d.h. Bitumen wird immer niederviskoser (flüssiger). Wichtige Kenngröße ist bei 135°C , was einer Temperatur entspricht, bei der man Bitumen gerade noch einbauen kann. [1], [2], [12]

Die Anforderung laut Abb. 2.2-8 ist $\eta_{135} \leq 3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ [1]

2.3 Asphalt

2.3.1 Allgemein

Definition:

"Asphalt ist ein Gemisch aus Bitumen oder bitumenhaltigen Bindemitteln und Gesteinskörnungen." (Wendehorst Baustoffkunde [24], Kap. 13.2, Seite 778)

Für den Straßenbau geeignete Asphalte enthalten in der Regel 93 - 95 M% und 4 - 7 M% Bitumen. Die Eigenschaften der einzelnen Asphaltmischungen sind stark abhängig von ihren Mischungsverhältnissen. Obwohl die meisten Asphalte nur 4 - 7 M% Bitumen beinhalten, beeinflussen die Bitumensorte und der Bitumengehalt die Materialeigenschaften des Asphaltes sehr. Die Asphaltproduktion wird üblicherweise in großen stationären Durchlaufmischanlagen oder auch in mobilen Chargenmischanlagen erzeugt. Der Standardablauf ist wie folgt: Asphaltherstellung, temperierter Transport mittels LKW, Einbau durch Fertiger und Verdichtung mittels Walze. Besonderes

Augenmerk muss man auf die Herstell- und Einbautemperaturen legen, da eine zu hohe Temperatur zu einer Alterung des Bitumens führt und sich bei zu niedrigen Temperaturen die bitumen- umhüllten Gesteinskörnungen nicht mehr ausreichend verdichten lassen. Beides führt zu erheblichen Qualitätsverlusten der eingebauten Straße [1],[2],[24]

2.3.2 Arten von Asphalten

Die Einteilung der Asphalte kann nach der Funktion (Tragschicht, Binderschicht, Deckschicht), nach der Einbautemperatur (Kaltmischgut, Warmeinbau, temperaturabgesenkte Asphalte, Heißmischgut) und nach der Lastabtragung (Korn zu Korn Stützung, Bitumen Stützung) erfolgen. Die wichtigsten Heißmischgutasphalte werden im nachfolgenden Punkt beschrieben. [1], [2]

2.3.3 Heißmischguttypen von Asphalt

2.3.3.1 Asphaltbeton (AC)

Dieser Asphalttyp wird am häufigsten in Österreich verwendet. Das Mischgutkonzept beruht auf dem Packungskonzept (=Betonprinzip), das der Struktur von Beton sehr ähnlich ist. Es kommt zu der dichtesten Packung der Gesteinskörner, da die Sieblinie idealerweise einer Fuller Parabel entspricht. Asphaltbeton besitzt den geringsten Bitumenmittelgehalt (3,5 – 4 M%) aller Heißmischguttypen. Dieses Mischgut besitzt im eingebauten, verdichteten Zustand einen Hohlraumgehalt von 2,5 V% bei Deckschichten und bis 6 V% bei Tragschichten. Zum Einsatz kommt Asphaltbeton für Trag-, Binder- und Deckschicht. [1], [2]

2.3.3.2 Splittmastixasphalt (SMA)

Splittmastixasphalt zeichnet sich durch ein grobkörniges Splittgerüst aus, dessen Hohlräume durch Mastix (= Bitumen + Füller) gefüllt sind. Die Sieblinie besitzt eine Ausfallskörnung, d. h. es fehlen in dem Korngemisch gewisse Sand- und Feinsplittanteile. Es sind für diesen Mischguttyp ein hoher Bindemittelgehalt ($\geq 6,5$ M%) und Zusätze zur Stabilisierung notwendig. Dieser hohe Bindemittelgehalt verursacht hohe Kosten, bietet dafür aber hohe Tragfähigkeit und Geräuschminderung bei der Radüberrollung. Splittmastixasphalt wird darum nur für das hochran- gige Straßennetz (=Autobahn) als Deckschicht verwendet. [1], [2]

2.3.3.3 Offenporiger Asphalt (PA)

Dieser Asphalttyp besitzt eine ausgeprägte Ausfallskörnung (Sandfraktion) und einen sehr großen Hohlraumgehalt (17 – 25 V%), der von außen erreichbar und miteinander verbunden ist. Dadurch kommt es zur Schallabsorption im Asphaltkörper, was gegenüber Asphaltbeton zu einer Lärminderung von 3 - 6 dB(A) führt. Der große Hohlraum dient auch zur Entwässerung des Oberflächenwassers. Dadurch kommt es zu keinem Aquaplaning. Leider besitzt dieser Asphalttyp nur eine kurze Lebensdauer von 7-10 Jahren. Des Weiteren kann man im Winter keinen Splitt streuen und benötigt eine Mindestüberfahrgeschwindigkeit von 70 km/h, um die Poren offen zu halten (Sogwirkung). Der offenporige Asphalt wird in Österreich nicht eingesetzt, aber als Deck- schicht vermehrt in den Niederlanden. [1], [2]

2.3.3.4 Gussasphalt (MA)

Unter Gussasphalt versteht man einen Asphalt, der nach dem Mastixkonzept gemischt wird, d.h. der Hohlraum wird vollständig durch Mastix (= Bitumen + Füller) gefüllt. Dadurch benötigt Guss- asphalt sehr hohen Bitumen- (7,5 - 10 M%) und Füllergehalt (20 - 32 M%) und er besitzt keinen Hohlraum, der technisch relevant ist. Er muss somit als einziger Heißmischguttyp nicht mittels Walze verdichtet werden. Es muss ein sehr hartes Bitumen eingesetzt werden, da die Verkehrslast

zum überwiegenden Teil vom Bitumen abgetragen wird. Der große Vorteil dieser Heißmischgutttype ist, dass sie ohne Verdichtung gegossen werden kann und man damit Abdichtungen für Brücken bzw. Industrieböden herstellen kann. Die Nachteile sind die hohen Kosten, die hohe Einbautemperatur und dass man nach dem Vergießen noch „absplitten“ (Bitumentumhüllte Edelkankörnungen in die noch heiße Oberfläche eindrücken) muss, um eine gewisse Griffigkeit der Oberfläche zu garantieren. [1], [2]

2.3.4 Bezeichnung von Asphalten

Asphalt ist in Österreich empirisch oder funktional bestellbar:

empirisch:

Z.B.: AC11 deck PmB45/80-65, A2, G1

AC Asphaltbeton

11 Größtkorn

deck Deckschicht

PmB45/80-65 Bindemittel siehe 2.2.5

A2 Sieblinientyp (Klasse abhängig von Bindemittel, Sieblinie und Hohlraumgehalt)

G1 Gesteinsklasse (G1 bis G3, GS) [1]

funktioal:

Z.B.: AC11 deck PmB45/80-65, R1, G1

Fast alle Bezeichnungen sind gleich bis auf R1. Diese gibt die funktionale Anforderung laut ÖNORM B 3580-2 an die Gebrauchstauglichkeit an. [1]

2.3.5 Prüfverfahren von Asphalt

Wie auch bei Bitumen gibt es für Asphalt im Labor zwei verschiedene Prüfverfahren, und zwar die konventionellen und die gebrauchsverhaltensorientierten.

2.3.5.1 Konventionelle Prüfverfahren

Konventionelle Prüfverfahren werden noch immer oft angewendet, da sie kostengünstig und schnell mit geringem Aufwand im Labor durchführbar sind. Sie erlauben aber keine direkte praxisrelevante Beurteilung von Asphaltmischgütern. [1]

Die wichtigsten konventionellen Prüfungsverfahren lauten:

- Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen nach ÖNORM EN 12697-11:2020
- Spurbildungstest nach ÖNORM EN 12697-22:2020
- Marshall-Prüfung nach ÖNORM EN 12697-34:2020
- Treibstoffbeständigkeit nach ÖNORM EN 12697-43:2014
- Beständigkeit gegen Enteisungsmittel nach ÖNORM EN 12697-41:2014
- Wasserempfindlichkeit nach ÖNORM EN 12697-12:2018

2.3.5.2 Gebrauchsverhaltensorientierte Prüfverfahren

Auch nach den Kriterien von gebrauchsverhaltensorientierten Asphaltprüfungen kann Asphalt bestellt werden. Der große Vorteil ist, dass hier der Asphalt über sein gesamtes Temperaturspektrum realitätsnahe beansprucht wird und man als Versuchsergebnisse materialspezifische Kenngrößen (T_{crack} , f_c , ϵ_6) bekommt, die mit Anforderungen verglichen werden können.

Abkühlprüfung (TSRST) ÖNORM EN 12697-46:2020Einaxiale Kältezugsprüfung (UTST) ÖNORM EN 12697-46:2020

Da diese zwei Versuche Teil meiner Laborarbeit für die Diplomarbeit darstellen, werden diese Versuche im Kapitel 5 ausführlich erklärt.

Triaxiale zyklische Druckschwellprüfung (TCCT) ÖNORM EN 12697-25:2016

Dieser Versuch dient zur Ermittlung der Beständigkeit gegen bleibende Verformung bei hohen Temperaturen mit behinderter Querdehnung und somit der Spurrinnenanfälligkeit einer Probe in einer Straße. Es wird ein zylindrischer Asphaltprobekörper (Herstellung im Labor oder Bohrkern aus Straße) vortemperiert, mit einer Membran überzogen (damit kein Wasser in Hohlraum eintritt), in eine temperierte Triaxzelle gestellt, mit konstantem radialem Stützdruck und zyklischem Axialdruck belastet. Die Prüftemperaturen sind bei Binder und Tragschichten 40°C und bei Deckschichten 50°C. Der radiale Seitendruck (=Zelldruck in Abb. 2.3-6) wird mit Wasserdruck aufgebracht, um den Zustand der Probe in der eingebauten Straße zu simulieren. Die sinusförmige dynamische Axialbelastung mit einer Frequenz von 3 Hz und 25.000 Lastwechseln wird mittels Hydraulikaggregat erzeugt. [2], [20]

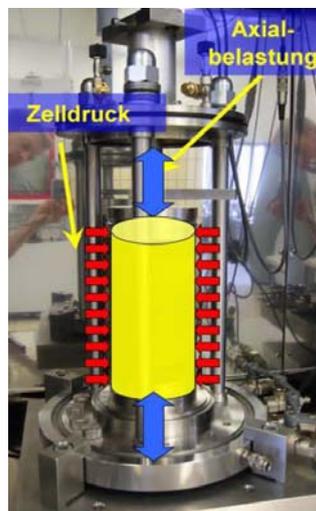


Abb. 2.3-1: Triaxiale zyklische Druckschwellprüfung (TCCT) [2]

Man erhält durch diesen Versuch eine Kriechkurve mit dem Verlauf der dauerhaften Verformung abhängig von den Lastwechseln. Aus der Kriechkurve kann die Kriechrate f_c abgelesen werden, die der Steigung im quasilinearen Bereich entspricht. Je geringer die Kriechrate f_c ist, desto beständiger ist die Asphaltprobe gegen dauerhafte Verformung. [2], [20]

4-Punkt Biegeprüfung (4PBB) Steifigkeitsversuch ÖNORM EN 12697-26:2022

Dieser Versuch dient zur Ermittlung der dynamischen Steifigkeit des Asphaltmischgutes. Dazu wird ein prismatischer Probekörper im Labor hergestellt und in einer temperierten 4-Punkt Biegeprüfung-Maschine mittels Probekörperklemmen horizontal befestigt. Der Probekörper wird an den Enden so gelagert, dass an den Belastungs- und Reaktionspunkten (in der Mitte zwischen der aufgetragenen Last; siehe Abb. 2.3-7) horizontale Verschiebung und freie Rotation möglich sind. Anschließend wird der Probekörper mit konstantem Moment zwischen den Lasteintragungspunkten belastet. Hierfür wird eine periodische, sinusförmige vertikale Verschiebung an zwei Punkten (blaue, rote Pfeile siehe Abb. 2.3-7) auf den Probekörper ausgeübt. [1], [2], [21]

Beim Steifigkeitsversuch wird in Abhängigkeit der Zeit für die aufgetragene Kraft die Dehnung unter dieser Kraft gemessen. Da es sich um einen viskoelastischen Probekörper handelt, hängt die aufgetragene Kraft der gemessenen Dehnung nach und somit erhält man den Phasenverschiebungswinkel φ . Während des Prüfvorgangs werden unterschiedliche Frequenzen (0,1 – 40 Hz) und Temperaturen (-20°C - +40°C) automatisch von der Prüfmaschine mit einer geringen Anzahl

von Lastwechseln (<1000 LW) durchfahren. Mit der Frequenz wird die Geschwindigkeit des Verkehrs simuliert. Dadurch lässt sich der komplexe E-Modul E^* berechnen. Die ermittelten Versuchsergebnisse (Phasenverschiebungswinkel φ und komplexe E-Modul E^*) hängen stark von der Frequenz und der Temperatur ab. Je höher die Frequenz (entspricht Geschwindigkeit des Verkehrs), desto höher ist die Steifigkeit (d.h. weniger Last wird in Untergrund eingebracht)! [1], [2], [21]

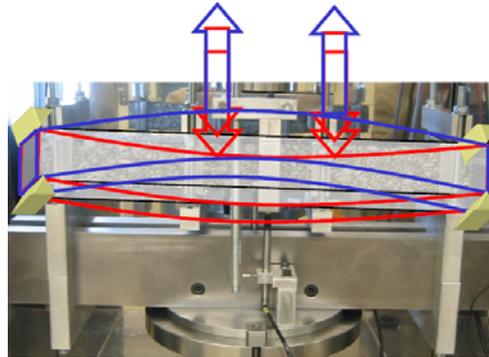


Abb. 2.3-2: 4-Punkt Biegeprüfung TSTST [2]

4-Punkt Biegeprüfung (4PBB) Ermüdungsversuch ÖNORM EN 12697-24:2018

Dieser Versuch dient zur Ermittlung der Ermüdungsbeständigkeit des Asphaltmischgutes. D.h. es wird das mehrfache Überrollen eines Lkw-Reifens in der Tragschicht simuliert, was zu Mikrorissen auf dessen Unterseite führt. Diese Risse wachsen nach oben und der komplette Oberbau wird zerstört. Der Versuchsaufbau und der prismatische Probekörper sind genau gleich wie in dem Steifigkeitsversuch, nur die Belastungsintensität ändert sich. Es werden die nötigen Lastwechsel N_{zul} gezählt bis der Probekörper den Ermüdungszustand erreicht hat, d.h. wenn sich der komplexe E-Modul E^* auf die Hälfte des Ausgangswertes verringert hat. Es werden zuerst die Einzelversuche durchgeführt (18 Versuche an 18 Probekörpern). Für eine gegebene Temperatur werden drei Versuche bei verschiedenen Belastungsstufen (Dehnungsamplituden) mit mindestens 6-maliger Wiederholung durchgeführt. Daraus erhält man 18 N_{zul} Werte. Alle Werte der Einzelversuche werden auf ein doppellogarithmisches Diagramm mit horizontaler Achse N_{zul} und vertikaler Achse eingebrachte Dehnung in $\mu\text{m}/\text{m}$ eingetragen. Über diese Punkte wird eine Kurve gelegt, die man Wöhlerkurve nennt. Mit dieser kann bei 10^6 Lastwechsel die Dehnungsstufe ε_6 abgelesen werden. [1], [2], [22]

3 Verwendete Eingangsmaterialien

In diesem Punkt werden die einzelnen verwendeten Materialien für meine Versuche beschrieben.

3.1 Gesteinskörnung

Das verwendete Gestein wurde dem „Straßenbautechnisches Labor der TU Wien“ von der Hartstein Loja Betriebs GmbH für meine Diplomarbeit zur Verfügung gestellt. Der Steinbruch befindet sich im Ort Persenbeug, der in der Nähe von Ybbs an der Donau in Niederösterreich liegt. Geologisch betrachtet liegt der Loja-Graben (Namensgeber des Steinbruchs) in der Böhmisches Masse. Vor Ort werden zum größten Teil Ganggesteine Kersantit und Granitporphyr abgebaut, gebrochen und gesiebt. Dieses Gesteinsmaterial ist sehr hart, abriebfest, polierresistent, frostsicher, zäh, schlag- und druckbeständig, was sich ideal als Gesteinskörnung für die Asphaltproduktion von Deckschichten eignet. [31]

3.1.1 Gesteinskörnung für PA

Da es sich bei offenporigem Asphalt (PA) um eine Asphaltart mit sehr hohem durchgehendem Hohlraum handelt, musste für die Herstellung die Korngruppe Loja 8/11 gesiebt werden, um jegliches Unter- bzw. Oberkorn zu entfernen (=Kornklasse 8/11 erstellen).



Abb. 3.1-1: Siebmaschine

Es wurden dafür zwei Siebe mit einer quadratischen Sieböffnung von 8 mm und 11 mm verwendet. Da für die Mischgutproduktion der PA-Platten zirka 200 kg ausgesiebtes Material benötigt wurde, behalf man sich mit einer automatischen Siebmaschine (siehe Abb. 3.1-1). Der Aufbau von unten ist wie folgt: elektrischer Unwucht-Motor im blauen Sockel, Schale für Unterkorn, 8 mm Sieb, 11 mm Sieb, drei Ringe und ganz oben ein Stahldeckel. Es wird ein halber Blechkübel Loja 8/11 (so bekommt man Gesteinskörnung vom Steinbruch) reingeschüttet, der Stahldeckel aufgesetzt und verschraubt. Nach 5 Minuten Betrieb wird das Oberkorn (Material, das am 11 mm Sieb liegen bleibt) entsorgt und nur der Siebinhalt, der am 8 mm Sieb liegen bleibt, weiterverwendet. Des Weiteren wurde für die Erstellung der PA-Asphaltplatten noch Loja 0/2 verwendet.

3.1.2 Gesteinskörnung für SMA

Für die Produktion der Splittmastixasphalt-Platten (SMA) musste keine Gesteinskörnung extra gesiebt werden. Es wurden Loja der Korngruppe 0/2, 2/4, 4/8 und 8/11 verwendet. Zur Qualitätskontrolle von der gelieferten Gesteinsmenge wurde pro Korngruppe eine Sieblinie erzeugt, die mit Sieblinien von früheren Messungen verglichen wurden.

Im Speziellen möchte ich auf die Qualitätskontrolle des Loja 8/11 Gc 90/15 der Korngrößenverteilung eingehen. Die Bezeichnungen bedeuten:

8	Lochweite d = 8mm
11	Lochweite D = 11mm
Gc	Kornzusammensetzung von groben Gesteinskörnungen
90	min. 90 M% Siebdurchgang bei D=11mm (d.h. max. 10 M% Überkorn)
15	max. 15 M% Siebdurchgang bei d=8mm (d.h. max. 15% Unterkorn) [24]

Laut Leistungserklärung Nr. 002 (Gesteinskörnung für die Herstellung von Asphalt) von der Hartstein Loja Betriebs GmbH müssen alle hier verwendeten Korngruppen die Korngrößenverteilung Gc 90/15 einhalten. [32]

Bestimmung der Korngrößenverteilung – Siebverfahren ÖNORM EN 933-1:2012

Es gibt bei diesem Verfahren zwei Arten der Siebung, und zwar die Trockensiebung und die Nasssiebung, wobei die Nasssiebung exakter ist, da die Feinanteile durch das Waschen besser getrennt werden können. Hier wird nur das Nasssiebverfahren beschrieben. Zur Probekörpervorbereitung

werden zwei Blechschalen mit je zirka 550-600 g Gesteinskörnung für mindestens 12 Stunden bei 110 ± 5 °C in einem Trockenschrank getrocknet. Anschließend lässt man beide Proben abkühlen, wiegt sie und trägt das Gewicht M1 und M2 in eine Tabelle ein (siehe Tabelle 3.1-1). [33]



Abb. 3.1-2: Prüfeinrichtung Siebverfahren

Der Aufbau der Prüfeinrichtung von unten (siehe Abb. 3.1-2) ist wie folgt: elektrischer Unwucht-Motor im weißen Sockel mit zwei Reglern für Amplitude und Belastungszeit, Auffangschale mit Wasserableitungsschlauch, Analysensiebe der Weiten: 0,063 bis 11,2, Stahldeckel mit Schrauben und am obersten Punkt eine Wasserzuleitung. [33]

Zur Nasssiebung wird, der gesamte Inhalt der ersten Blechschale (M1) in die Prüfeinrichtung gekippt, Deckel aufgesetzt und verschraubt. Mittels Wasser und Unwucht-Motor (Amplitude von 40 - 10 Minuten) wird die Gesteinskörnung gesiebt, die Siebrückstände je Sieb in Blechschalen geleert und anschließend alle Blechschalen zur Trocknung (110 ± 5 °C) für 24 Stunden in den Trockenschrank gelegt. Diese Vorgänge werden auch für die zweite Probe (M2) wiederholt. [33]

Tabelle 3.1-1: Ergebnisse Loja 8/11

Siebweite [mm]	Einwaage Gestein [g]		Siebdurchgang [M%]		Mittelwert Siebdurchgang [M%]
	Siebung M1	Siebung M2	Siebung 1	Siebung 2	
	560,3	590,7			
	Rückstand am Sieb [g]				
0,063	3,0	2,0	0,5	0,3	0,4
0,125	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6
0,025	0,0	0,6	0,7	0,6	0,6
0,5	0,0	0,0	0,7	0,6	0,6
1	0,0	0,0	0,7	0,6	0,6
2	0,0	0,0	0,7	0,6	0,6
4	0,6	0,0	0,8	0,6	0,7
8	64,5	33,8	12,5	6,3	9,4
11,2	429,7	448,2	90,4	83,0	86,7
16	53,2	99,3	100,0	100,0	100,0
22,4	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
31,5	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
63	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
SUMME M' [g]	551,6	584,6			

Nach der Trocknung werden alle Inhalte der Blechschalen einzeln gemessen und in die Tabelle eingetragen. Die Einwaagen vor und nach der Wiegung unterscheiden sich, da durch das Wasser ein Anteil der Feinanteile in die Kanalisation kommt. Weiters sind Genauigkeit der Waage bzw. die Messungenauigkeit des Labormitarbeiters ausschlaggebend. Solange die Siebung M1 bzw. M2 von der Summe M' weniger als 10 % abweicht, sind die Messergebnisse in Ordnung. Anschließend wird pro Siebweite der Anteil in der Kornklasse in M% berechnet:

$$M_x = \frac{\text{Rückstand am Sieb } X}{M'} * 100$$

M_x Anteil der Kornklasse [M%] in Abhängigkeit von M'

M' Summe Trockenmasse nach Siebvorgang

Zuletzt werden die Anteile der Kornklassen aufsummiert und man erhält den Siebdurchgang in M% in Abhängigkeit M' (siehe Tabelle 3.1-1). Diese Ergebnisse werden grafisch mit den Achsen Siebgröße in mm und Siebdurchgang in M% als Sieblinie dargestellt.

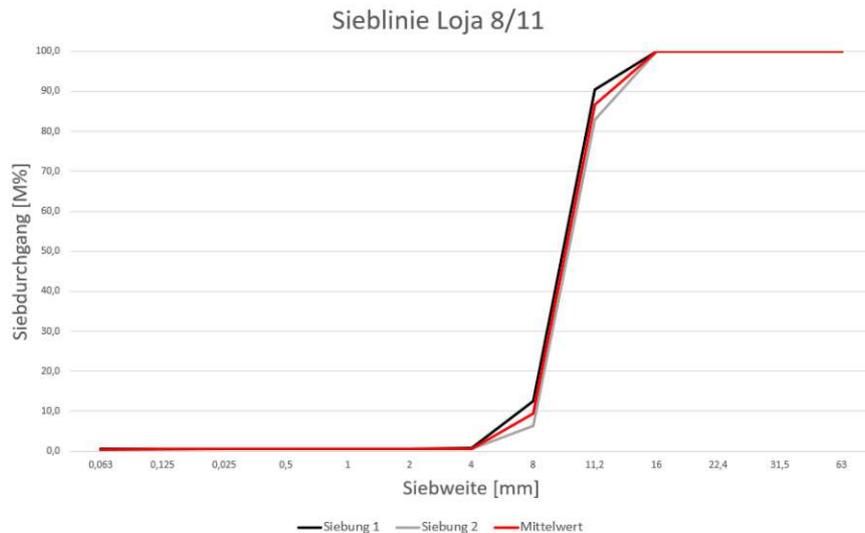


Abb. 3.1-3: Sieblinie Loja 8-11

Als letzter Schritt wird der Anteil des Überkorns und Unterkorns bestimmt und mit den Herstellerangaben verglichen. Der Anteil des Über- und Unterkorns von 8/11 kann mittels Tabelle 3.1-1 berechnet werden:

$$\text{Überkorn} = 100 - \text{Siebdurchgang in M\% am Sieb 11,2}$$

$$\text{Unterkorn} = \text{Siebdurchgang in M\% am Sieb 8}$$

Damit ergibt sich ein Überkorn von 9,6 M% bei der 1. Siebung und 17,0 M% bei der 2. Siebung. Des Weiteren erhält man ein Unterkorn von 12,5 M% bei der 1. Siebung und 6,3 M% bei der 2. Siebung. Bei der Siebung 1 ist das Überkorn kleiner als 10 M% und das Unterkorn kleiner als 15 M% und somit erfüllt diese Siebung die Gesteinskörnungsangaben des Herstellers. Die Siebung 2 erfüllt die Herstellerangabe nicht.

Da die Abweichungen der Mittelwerte gegenüber früheren Siebmessungen (siehe Anhang 12.1.5) gering waren, wurde die Mischgutrezeptur mit den Altwerten ermittelt.

3.2 Füller

Unter Füller versteht man eine sehr feine Gesteinskörnung, welche bei dem Siebverfahren durch das Sieb mit einer Maschenweite von 0,063mm hindurchgeht. Für beide Mischgüter wird das Kalksteinmehl des Herstellers Baunit als Füller verwendet. Für die Kalksteinmehlproduktion wird Kalkstein mittels Sprengung gewonnen, gewaschen, gebrochen, gemahlen und getrocknet. Dieser Füller wird als Fremdfüller bezeichnet, da der mineralische Ursprung nicht der restlichen gröberen Gesteinskörnung entspricht. [34]

3.3 Bitumen

Da für meine Diplomarbeit verschiedene Deckschichtasphalte, für den zukünftigen Einsatz auf hochrangigen Straßen in Österreich, produziert und geprüft wurden, eignet sich herkömmliches Destillationsbitumen dafür nicht. Es wurden polymermodifizierte bituminöse Bindemittel ver-

wendet, die eine höhere Gebrauchsspanne, höheren Erweichungspunkt, verbesserte Verformungsbeständigkeit und günstigere Langzeitalterung als Destillationsbitumen besitzen. [1], [2], [23], [24]

Die zwei verwendeten polymermodifizierten bituminösen Bindemittel lauten:

- **PmB 45/80-65**
- **PmB 45/80-75**

Wie schon in Punkt 2.2.5 erklärt, bezeichnet 45/80 die minimale und maximale Eindringtiefe und 65 bzw. 75 die Temperatur für den Erweichungspunkt.

3.4 Bitumentummantelte Zellulosefasern

Zur Stabilisierung der Asphaltmischung wurden bitumentummantelte Zellulosefasern der Marke „Viatop Premium“ verwendet. Dieser Bindemittelzusatz wird in Form von Pellets während des Asphaltmischvorganges eingestreut. Durch die Zugabe dieser bitumentummantelten Zellulosefasern erhöht sich die Verformungsbeständigkeit des Asphaltes speziell bei hoher Verkehrslast (=LKW). Damit wird die Lebensdauer der eingebauten Straße erhöht und führt zu einer gesteigerten Wirtschaftlichkeit auf hochrangigen Straßen. [35]

4 Herstellung der Probekörper

4.1 Rezepturen errechnen

Hier wird, für das leichtere Verständnis, exemplarisch die Vorgangsweise zur Ermittlung der Rezeptur des Asphaltmischgutes SMA 11 PmB 45/80-65, S3 nach ÖNORM B 3584-1:2018 Asphaltmischgut — Mischgutanforderungen — Splittmastixasphalt Teil 1: Empirische Anforderungen gezeigt.

Der Siebdurchgang der verwendeten Korngruppen (siehe Anhang 12.1) wird in die Tabelle 4.1-1 eingetragen. Die Werte der grünen Zellen der Tabelle beschreiben den Massenanteil in M% der Ist-Sieblinie und müssen so lange verändert werden, bis sich die Ist-Sieblinie zwischen den zwei Grenzsieblinien laut ÖNORM B 3584-1 (siehe Abb. 4.1-1) befindet. [36]

Tabelle 4.1-1: Ermittlung der Ist-Sieblinie

Massenanteil [M%]	6	12	16	28	38	100
Korngruppe	Füller	Loja 0/2	Loja 2/4	Loja 4/8	Loja 8/11	Ist-Sieblinie
Laborcode	F167	G934	G901	G954	G935	
Korngrößen [mm]	Siebdurchgang [M%]					
0,063	64,2	4,6	1,6	1,3	0,5	5,2
0,125	89,8	8,6	2,0	1,5	0,6	7,4
0,25	99,1	20,7	2,4	1,5	0,6	9,5
0,5	100,0	36,5	3,2	1,6	0,6	11,6
1	100,0	58,1	4,8	1,9	0,6	14,5
2	100,0	91,2	11,3	4,2	0,7	20,2
4	100,0	100,0	78,6	22,0	0,7	37,0
8	100,0	100,0	100,0	91,5	9,5	63,2
11,2	100,0	100,0	100,0	99,7	86,4	94,7
16	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Die Ist-Sieblinie für 0,063 mm berechnet sich mit:

$$\frac{(6 \cdot 64,2) + (12 \cdot 4,6) + (16 \cdot 1,6) + (28 \cdot 1,3) + (38 \cdot 0,5)}{100} = 5,21 \text{ M\%}$$

Mittels der Tabelle 4.1-2 wurden die zwei Grenzsieblinien in Abb. 4.1-1 erzeugt:

Tabelle 4.1-2: empirische Grenzsieblinien laut ÖNORM B 3584-1:2018 Tabelle 5

Grenzsiebliene nach ÖNORM B 3584-1		
Korngrößen [mm]	Untere Grenze	Obere Grenze
	Siebweite	Siebweite
0,063	5,0	9,0
0,125	5,7	11,0
0,25	7,0	15,0
0,5	8,0	20,0
1	10,0	25,0
2	15,0	30,0
4	22,0	38,0
8	45,0	70,0
11,2	90,0	100,0
16	100,0	100,0

Somit erhält man die Sieblinie ohne Bindemittel:

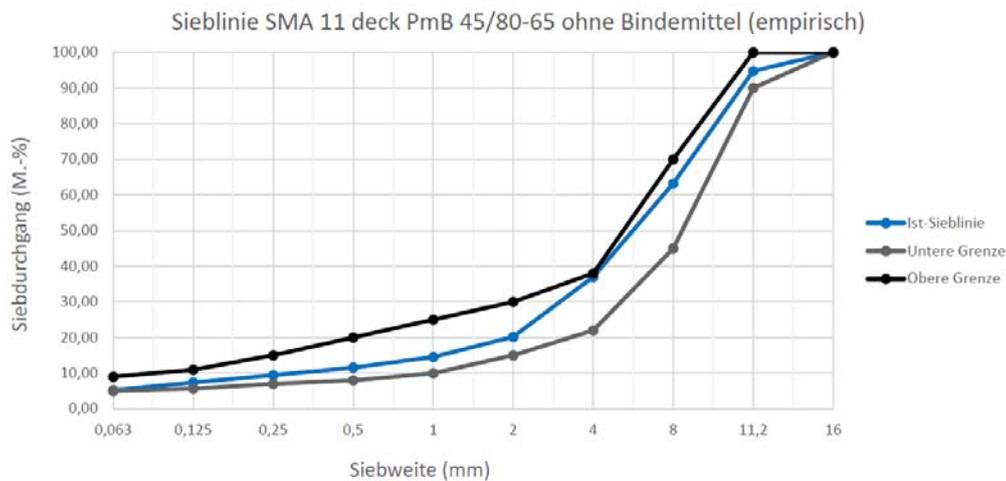


Abb. 4.1-1: Sieblinie SMA 11 deck PmB 45/80-65 ohne Bindemittel (empirisch)

Darauffolgend müssen Marshall-Probekörper hergestellt werden (mit drei verschiedenen Bindemittelgehalten), die Roh- und Raumdichte aller Probekörper ermittelt werden (ÖNORM EN 12697-5 + ÖNORM EN 12697-6) und anschließend der optimale Bindemittelgehalt über eine Polynomfunktion 2. Grades bestimmt werden. Der optimale Bindemittelgehalt wird bei maximaler Raumdichte bestimmt (Extremwertberechnung der Polynomfunktion). [36]

Die genaue Bestimmung der einzelnen Asphaltrezepturen nach ÖNORM B 3584-2 und ÖNORM B 3584-2 nach gebrauchsvorhaltensorientierten Anforderungen erfolgte durch meinen Betreuer Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Hofko, der durch seine jahrelange Erfahrung als Laborleiter die Asphaltrezepte so angepasst hat, dass man eine Erhöhung der Spannungsreserve im Tieftemperaturverhalten erhält.

Man sieht, dass die errechneten Massen-Prozent der Einwaage nach gebrauchsvorhaltensorientierten Anforderungen (siehe Tabelle 4.1-3) sehr ähnlich zu den Massenanteilen nach empirischem Ansatz der Tabelle 4.1-1 sind. Auch die Sieblinien ähneln sich sehr (siehe Abb. 4.1-2 und Abb. 4.1-1). Die Einwaagen aller anderen Asphaltproben sind in Anhang 12.2 zu finden.

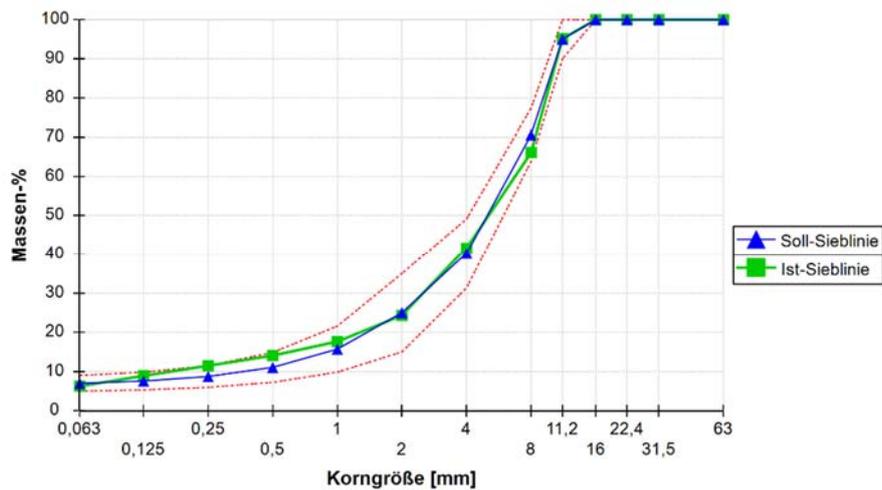


Abb. 4.1-2: Sieblinie SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3

Tabelle 4.1-3: Einwaage - SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3

Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		5,60	2352,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			2403,7	
Zusatz	S260 Viatop Premium		0,50	210,0	
Gestein	F167, G901, G934, G935, G954		93,90	39438,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1129A	45/80-65 PmB	5,60	2352,0	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	210,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	7,00	2940,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	14,00	5880,00	
[2 - 4]	G901	Loja 2/4	16,00	6720,00	
[4 - 8]	G954	Loja 4/8	24,00	10080,00	
[8 - 11]	G935	Loja 8/11	32,90	13818,00	
Summe			100,00	42.000,0	

4.2 Vorbereitungsarbeiten

Es wurden immer gleichzeitig zwei Asphaltplatten mit demselben Mischgut hergestellt. Die Mischtemperaturen und Herstellungstemperaturen für die Probekörper sind bei SMA und PA die gleichen. Im ersten Schritt wurden die verschiedenen Gesteinskörnungen, exakt auf den Gramm genau nach der Einwaage (siehe Anhang 12.2) verwogen und in vier große Blechboxen zusammengesüttet. Im zweiten Schritt wurden diese Blechboxen bei einer Temperatur von 185 °C für 8 Stunden in einem großen Wärmeschrank vorgewärmt. Auch das verwendete polymermodifizierte bituminöse Bindemittel muss bei 185° C vorgewärmt werden, aber nur für eine Dauer von 3 bis 5 Stunden. [37], [38], [39]

4.2.1 Herstellung der Labormischung: ÖNORM EN 12697-35:2016

Auch der Gegenlaufzwangsmischer (siehe Abb. 4.2-1) muss vor dem Mischen auf die Mischtemperatur von 185 °C vorgeheizt werden. Wenn die Temperatur erreicht ist, wird als erstes das vorgeheizte Gesteinskörnungsgemisch eingefüllt, die bitumentummantelten Zellulosefaser-Pellets dazugegeben und am Schluss das flüssige polymermodifizierte bituminöse Bindemittel in die offene Mischschüssel (siehe Abb. 4.2-2) gegossen. Das Rührwerk mischt das Mischgut für 2 Minuten unter 40 Umdrehungen pro Minute. Anschließend muss der Deckel geöffnet werden und die Probe per Hand mittels Spachtel für 30 Sekunden zur besseren Homogenisierung vermischt werden. Danach wird das Mischgut für weitere 3 Minuten mittels Rührwerks gemischt. Auf die Einhaltung

der Zeiten muss exakt geachtet werden, damit die thermische Zersetzung des Bindemittels möglichst gering gehalten wird und alle Gesteinskörnungen mit Bitumen vollständig ummantelt werden. [37], [38], [39]



Abb. 4.2-1: Gegenlaufzwangsmischer geschlossen
+ **Abb. 4.2-2: Gegenlaufzwangsmischer offen**

Ein geringer Anteil des fertigen Mischgutes wird in der Mitte des Zwangsmischers, zur Bestimmung der Rohdichte, entnommen und auf zwei Platten mit ummanteltem Tuch großflächig aufteilt (siehe Abb. 4.2-3 Mitte). Die Masse in Gramm muss laut ÖNORM EN 12697-5 mindestens 50-mal den Größtkorndurchmesser besitzen, aber mindestens 250g betragen. Da beide Asphaltmischgüter (SMA und PA) den Größtkorndurchmesser von 11mm besitzen, musste somit jede Probe mindestens 550g betragen. Die Bestimmung der Rohdichte findet man in Abschnitt 4.2.3. [40]



Abb. 4.2-3: Blechbox (Links) / Platte mit ummanteltem Tuch (Mitte) / Verdichtungsform Oberteil (Rechts)

Das restliche fertige Mischgut wurde mittels Schaufel in eine Blechbox (siehe Abb. 4.1-3 Links) gegeben, verwogen und mittels Rollwagen zur Verdichtungsmaschine gerollt.

4.2.2 Verdichten mittels Walzverdichtungsgerät: ÖNORM EN 12697-33:2022

Noch vor dem Mischvorgang wird zur Verdichtungsvorbereitung der Unterteil der Verdichtungsform (siehe Abb. 4.2-4) mit dem horizontalen Schlitten verschraubt und eine 8mm Stahlplatte eingelegt. Auch diese Maschine muss, wie der Gegenlaufzwangsmischer, mit der Probenherstellungstemperatur von 150°C vortemperiert werden (nur für 2 Stunden). [41]

Nach dem Mischvorgang wird das heiße Mischgut in den Unterteil der Verdichtungsform, mit den Innenabmessungen von 500 x 260 mm so geschaufelt, dass man eine ebene Oberfläche erhält. Danach wird ein Papierbogen zur besseren Entformung eingelegt, Verdichtungsform-Oberteil (siehe Abb. 4.2-3 Rechts) mittels zwei Befestigungshaken mit dem Verdichtungsform-Unterteil verbunden und mit dem Walzensegment (Breite = 260 mm / Radius = 350-550 mm) eine Verdichtung mittels Glattwalzentrommel simuliert.

Die Verdichtungsmaschine besteht aus folgenden Einzelteilen:

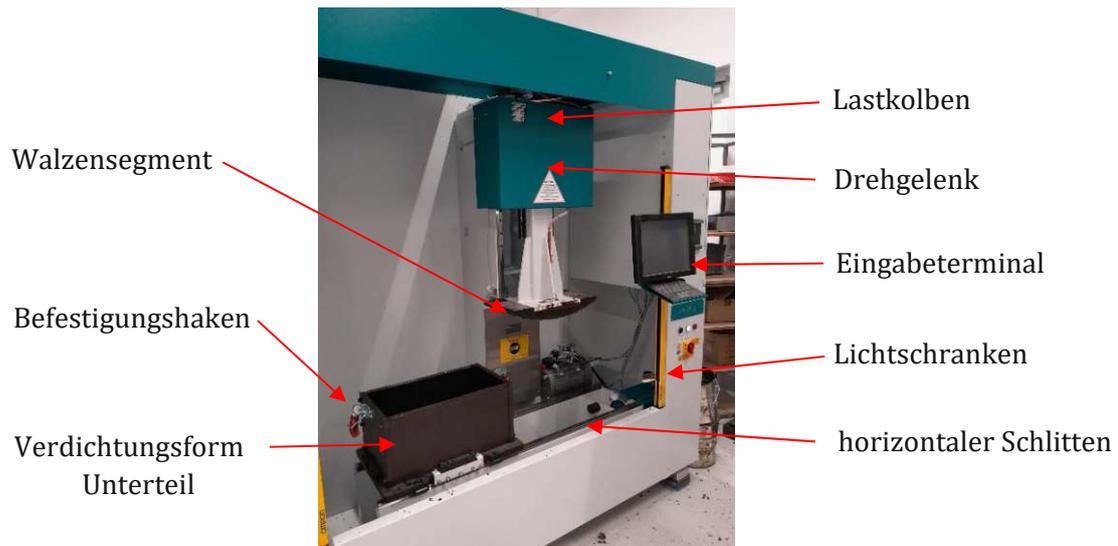


Abb. 4.2-4: Walzensegmentverdichtungsmaschine von Infratest

Zuerst fährt die Verdichtungsform mittels horizontalen Schlittens in die Mitte, das Walzensegment wird mittels Lastkolben bis zur unverdichteten Asphaltoberfläche abgesenkt bis eine Kraft von 3,84 N/mm Plattenbreite erreicht wird. Während des höhengeregelten Verdichtungs Vorganges wird das Asphaltgemisch pro Überrollung um 0,25 mm bis zur Zielhöhe von 70 mm belastet. Dazu bringt der Lastkolben, bei gleichzeitiger Hin- und Her-Bewegung des horizontalen Schlittens die Kraft auf. Wenn die Zielhöhe erreicht ist, wird die Kraft gleichmäßig verringert, damit man nach 25 Walzenübergängen noch 0,38 N/mm Plattenbreite hat. Der Verdichtungs Vorgang muss innerhalb von 5 Minuten nach dem Verfüllen des heißen Asphaltmischgutes beendet sein. Anschließend wird auch die zweite Platte so hergestellt und beide unter Raumtemperatur gekühlt. [41]

4.2.3 Bestimmung der Rohdichte nach Verfahren A: ÖNORM EN 12697-5:2019

Die Rohdichte muss zusammen mit der Raumdichte ermittelt werden, um den Hohlraumgehalt der verdichteten Proben ermitteln zu können. Die Masse eines Asphaltprobekörpers ohne Hohlräume bezogen auf sein Volumen bezeichnet die Rohdichte. Die Rohdichte von Asphalt wird beim volumetrischen Verfahren A aus der Trockenmasse und dem hohlraumfreien Probenvolumen ermittelt. In einem Pyknometer (siehe Abb. 4.2-5) wird dazu das Probenvolumen, mithilfe der Wasser verdrängung der Probe, gemessen. Dazu wird abgekühltes Asphaltmischgut per Hand zerkleinert, in zwei genormte geeichte Pyknometer gegeben, Wasser mit Lösungsmittel (Seife) hineingefüllt und mit einem Stab gerührt, um die Oberflächenspannung zu senken. Anschließend wird mittels Vakuumgerät (15 Minuten Druck von 700 mbar auf Enddruck von 30 mbar gesenkt) die eingeschlossene Luft zwischen den Agglomeraten im Wasser beider Pyknometer entfernt. Zuletzt müssen beide Pyknometer für 30 Minuten in ein vortemperiertes Wasserbad (siehe Abb. 4.2-6) mit 25°C gestellt werden. [40]

Für die Bestimmung der Rohdichte ρ_{mv} müssen folgende Massen ermittelt werden:

- m_1 ...Masse Pyknometer leer [g]
- m_2 ...Masse Pyk. +MG [g]
- MG... Masse Mischgut [g]
- m_3 ...Masse Pyk +MG + Prüflf. [g]
- ρ_w ...Dichte Prüflf. [g/cm³]
- V_p ...Volumen Pykn. [cm³]

$$\rho_{mv} = \frac{(m_2 - m_1)}{V_p - (m_3 - m_2)/\rho_w}$$

Die Ergebnisse der restlichen Rohdichten sind im Anhang in den Tabellen A20 bis A43 zu finden.



Abb. 4.2-5: Pycnometer

4.2.4 Probekörperherstellung

Aus einer verdichteten Asphaltplatte mit den Abmessungen 500 x 260 x 70 mm wurden je 8 Probekörper mit 50 x 50 x 225 mm für die Abkühlprüfung (TSRST) bzw. die einaxiale Kältezugsprüfung (UTST) hergestellt. Dafür mussten die Proben mittels Nassschneidemaschine an allen Seiten geschnitten werden, damit der zu prüfende Querschnitt keinen Randeinflüssen unterliegt und so homogen wie möglich ist.

4.2.5 Bestimmung der Maße der Asphaltprobekörper: ÖNORM EN 12697-29: 2020

Zur Bestimmung der Eingangsgrößen des Querschnitts und der Länge für die Kälteversuche mussten pro quaderförmigen Probekörper mehrere Messungen durch einen Messschieber mit einer Fehlertoleranz von $\pm 0,1$ mm erfolgen. Bei jedem Probekörper wurde zweimal die Länge, vier Mal die Breite und vier Mal die Höhe gemessen (an 4 Querschnitten - oben, 2x Mitte und unten). Anschließend wurden die Mittelwerte berechnet. [42]

Die gemittelten Probekörperabmessungen sind im Anhang unter Tabelle A 20 bis A 43 zu finden.

4.2.6 Bestimmung der Raumdichte der Asphalt-Probekörper: ÖNORM EN 12697-6:2020

Die Raumdichte bezeichnet die Masse eines Asphaltprobekörpers mit Hohlräumen bezogen auf sein Volumen. Sie dient, zusammen mit der Rohdichte, zur Berechnung des Hohlraumgehalts der verdichteten Proben. Es gibt vier Verfahren zur Bestimmung der Raumdichte (A, B, C, D). Hier wird nur auf die beiden verwendeten Verfahren B und D eingegangen. [43]

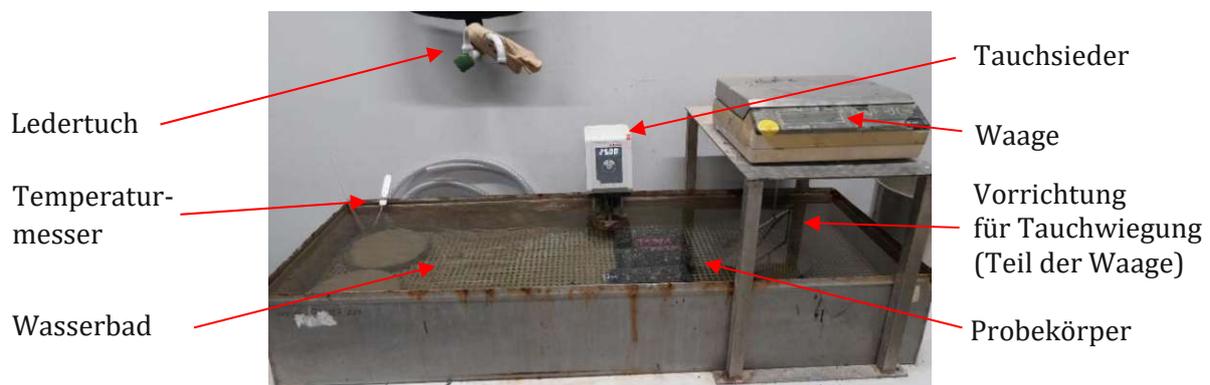


Abb. 4.2-6: 25°C Wasserbad mit Tauchwiegung

Verfahren B

Als erster Schritt müssen die gemittelten Längen, Breiten und Höhen laut 4.2.5 ermittelt werden. Anschließend wird für jeden Probekörper die trockene Masse (=m1) mittels einer Waage (siehe 4.2-6) ermittelt und alle Probekörper einer Platte für mindestens 30 Minuten in ein vortemperiertes Wasserbad unter einer Temperatur von 25°C gelagert, um eine Sättigung des Probekörpers

mit Wasser zu erreichen. Beim nächsten Schritt wird jeder einzelne Probekörper unter Wasser gewogen (=m2). Zum Schluss wird jede einzelne Probe aus dem Wasserbad genommen, mittels feuchten Ledertuches (nicht saugend) abgetupft und wieder gewogen (=m3). [43]

Verfahren D

Für dieses Verfahren müssen nur die gemittelte Länge, Breite und Höhe laut 4.2.5 und die trockene Masse m1 pro Probekörper ermittelt werden. [43]

Raumdichte nach Verfahren B:

Die Dichte des 25°C (=t) warmen Wassers errechnet sich mit:

$$\rho_w = 1,00025205 + \left(\frac{7,59 * t - 5,32 * t^2}{10^6} \right)$$

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

Raumdichte nach Verfahren D:

$$\rho_{bdim} = \frac{m_1}{l * b * h} * 10^3$$

Die Ergebnisse Raumdichten und Trockenmassen der einzelnen Probekörper sind im Anhang unter Tabelle A 20 bis A 43 zu finden.

4.2.7 Bestimmung des Hohlraumgehaltes der Asphalt-Probekörper: ÖNORM EN 12697-8:2019

Die Bestimmung der Hohlraumgehalte in Volums-Prozent der einzelnen Probekörper hat für die Kälteversuche eine große Bedeutung, da Messergebnisse unter anderem sehr abhängig vom Hohlraumgehalt sind. Der Hohlraumgehalt gibt den Luftporenanteil in Volums-Prozent der Asphaltprobe an. [44]

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

Auch die Ergebnisse dieser Bestimmung des Hohlraumgehaltes finden sich im Anhang unter Tabelle A 20 bis A 43.

4.2.8 Probenvorbereitung für UTST + TSRST: ÖNORM EN 12697-46:2020

Um bei den hergestellten, vermessenen, verwogenen prismatischen Probekörpern UTST und TSRST Versuche durchführen zu können, müssen an beiden Enden Adapter verklebt werden. Im ersten Schritt werden, wie im Abb. 4.2-8 ersichtlich, an beiden Enden des Probekörpers rundherum zur Außenkante parallel verlaufende 2 cm Markierungen auf den Probekörper gezeichnet. Danach muss jeder verwendete Adapter mit einer Drahtbürste gereinigt, das Außengewinde auf Gängigkeit überprüft werden, Schutzausrüstung (Sicherheitsbrille; Einweghandschuhe; Laborkittel) angelegt werden und die Adapter von Bitumenresten mittels Toluols (Lösungsmittel) behandelt werden. Danach wurde der Zwei-Komponenten-Polyurethanleim des Herstellers Kleiberit mit einem Mischungsverhältnis von:

- 3/6 Komponente A (KLEIBERIT 573.8 Plastic-Mastic)
- 2/6 Komponente B (KLEIBERIT 870.0 Härter)
- 1/6 Füller (Baumit Kalksteinmehl)

mit einer kleinen Spachtel angerührt. Zur Klebung der Adapter wird eine Einspannbank benötigt. Diese hat folgenden Aufbau: [19], [45]

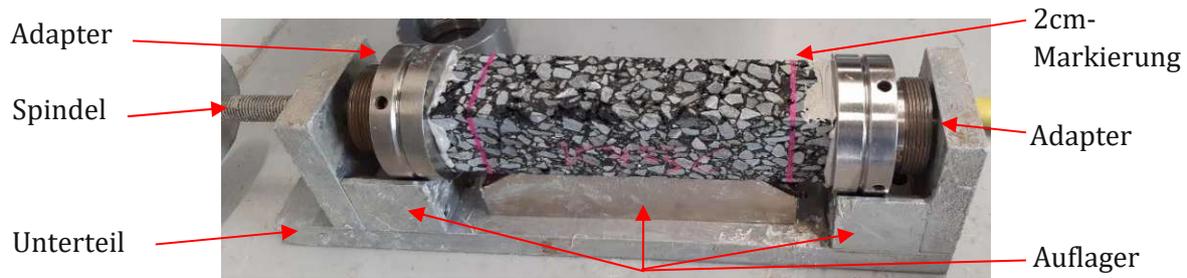


Abb. 4.2-7: Einspannbank für Probenvorbereitung

Die Größe der Auflager (links, Mitte und rechts) werden so ausgewählt, dass der Probekörper genau in der Mitte des Adapters liegt. Die Adapter werden mit Gewinde nach außen positioniert (siehe Abb. 4.2-7), auf den Stirnseiten des Probekörpers Kleber aufgebracht, in die Mitte der Einspannbank gelegt und mittels Drehens der Spindel die Adapter mit der Probe zusammengespannt. Anschließend wird zwischen der 2cm Markierung und dem Adapter ein Keil geklebt, damit bei Belastung als erstes der Probekörper versagt und nicht die Klebestelle. [19]

Die Probekörper müssen in der Einspannbank nach dem Kleben für 12 Stunden unter Raumtemperatur trocknen, sind danach aus der Einspannbank zu lösen und müssen anschließend für mindestens 12 Stunden in einem Temperaturschrank (siehe Abb.4.2-8) unter einer Temperatur von 10°C vortemperiert werden.



Abb. 4.2-8: Lagerung der geklebten Probekörper in Temperaturschrank bei 10°C

5 Prüfmethode

5.1 Prüfmaschine

Die Prüfmaschine (siehe Abb. 5.1-1) besteht aus einer Klimakammer, die die Temperatur im Inneren bis weit unter -30 °C absenken kann. Zusätzlich besitzt sie an der Vorderseite eine Tür, in der ein Fenster ist. An der Oberseite der Klimakammer findet man ein manuelles Bedienelement zur Einstellung der gewünschten Prüftemperatur, die aber nicht benötigt wird, da die Temperaturregelung über angeschlossenen PC erfolgt. Die Kraft- und Wegaufzeichnung der Kraftmessdose und dem Wegaufnehmer (siehe Abb. 5.5-2) werden mittels einem WDCs 580 des Herstellers Wille Geotechnik (befindet sich neben dem Monitor) auf einen Computer übertragen. Zur Kraftaufbringung ist ein Schrittmotor im unteren Bereich der Maschine angeordnet, der die Kraft gegen den Belastungsrahmen oben ausübt. [19]

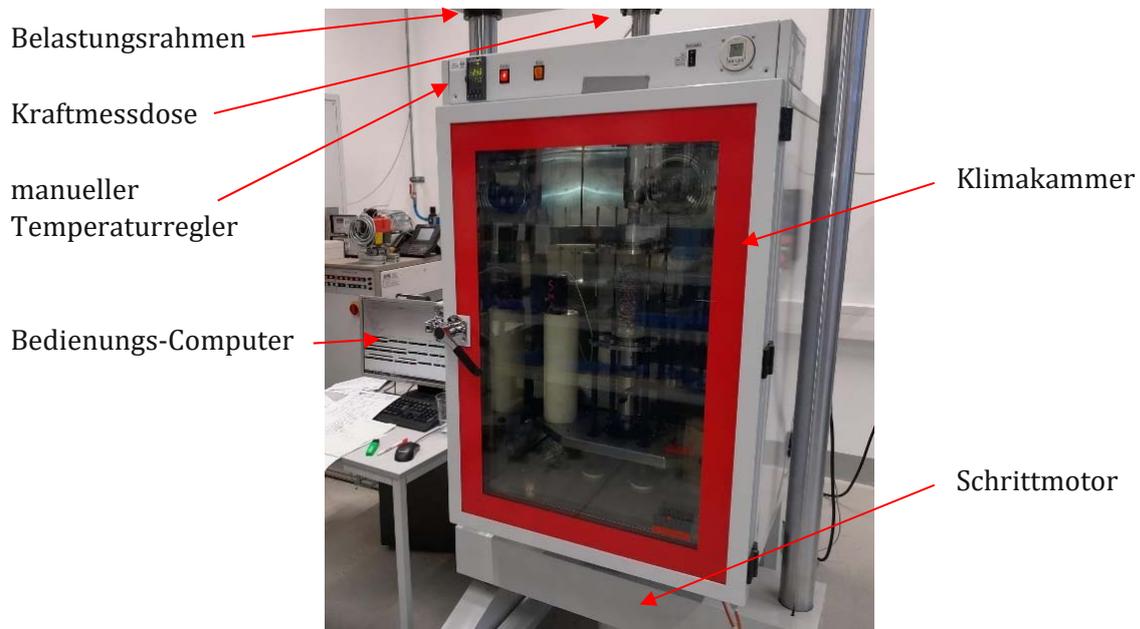


Abb. 5.1-1: Prüfmaschine

Die Komponenten der Klimakammer, die in Abbildung 5.1-2 zu finden sind, werden dazu benötigt die Probekörper oben und unten mittels Klemme an die Schwenkspannvorrichtung anzuschrauben und während der Versuche die Versagensspannung zufolge Versagenstemperatur zu ermitteln.

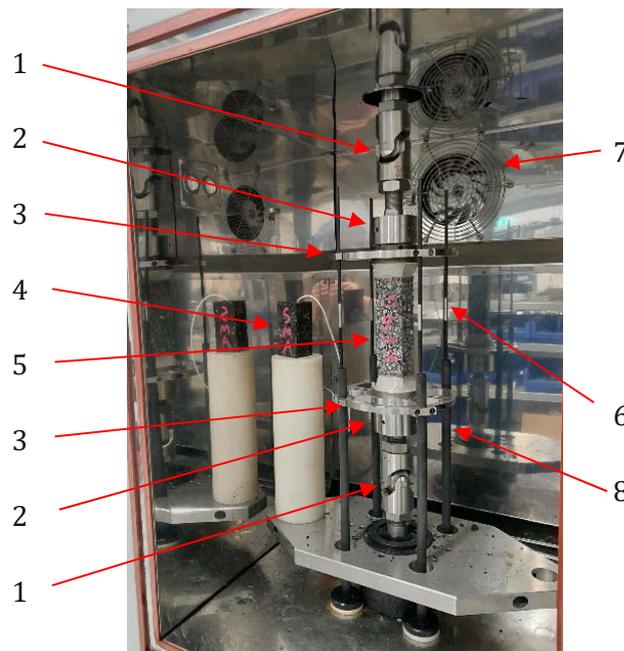


Abb. 5.1-2: Klimakammer

- 1 Schwenkspannvorrichtung
- 2 Klemme
- 3 Endplatte
- 4 Dummy mit Temperaturmessfühler
- 5 Probekörper
- 6 Wegaufnehmer-Stange (4 Stück)
- 7 Ventilator
- 8 Stangenführungsrohr (4 Stück)

5.2 Abkühlprüfung (TSRST) ÖNORM EN 12697-46:2020

Im Winter wird vor allem der Deckschichtasphalt sehr extremen Abkühlraten unterzogen, die aber zum Teil durch den Bitumenanteil des Asphalts mittels Spannungsrelaxation kompensiert werden können. Durch den fugenlosen Einbau ist ein Schrumpfen während der Abkühlung nicht möglich, dadurch bauen sich Zugspannungen auf, die durch die Relaxationsfähigkeit des Bitumens teilweise abgebaut werden können. Da sich aber die Spannungsrelaxation verringert, je tiefer die Außentemperaturen sind, werden die Zugspannungen im Asphaltkörper immer größer, bis dieser reißt. Durch die reinen kryogenen Belastungen, zufolge extremer Tieftemperatur, entstehen an der Oberfläche des Deckschichtasphalts Risse quer zur Fahrriechtung. Um diese Risse in Abhängigkeit der Temperatur besser verstehen zu können, wurden die TSRST- und UTST-Versuche entwickelt. [1], [2]

Mit der Abkühlprüfung (TSRST) wird die kryogene Belastung zufolge witterungsbedingtem Abkühlen so simuliert, dass ein quadratischer Probekörper zwischen zwei Lastplatten spannungsfrei bei 10°C Starttemperatur eingespannt wird und mit einer konstanten Abkühlrate von 10 Kelvin pro Stunde bis zum Bruch belastet wird. Während der Temperatursenkung wird die Länge zwischen den zwei Einspannplatten konstant gehalten (siehe Abb. 5.2.1), was zu einem konstanten Zusammenziehen (=strain) des Probekörpers führt, bis dieser reißt. [1], [2]

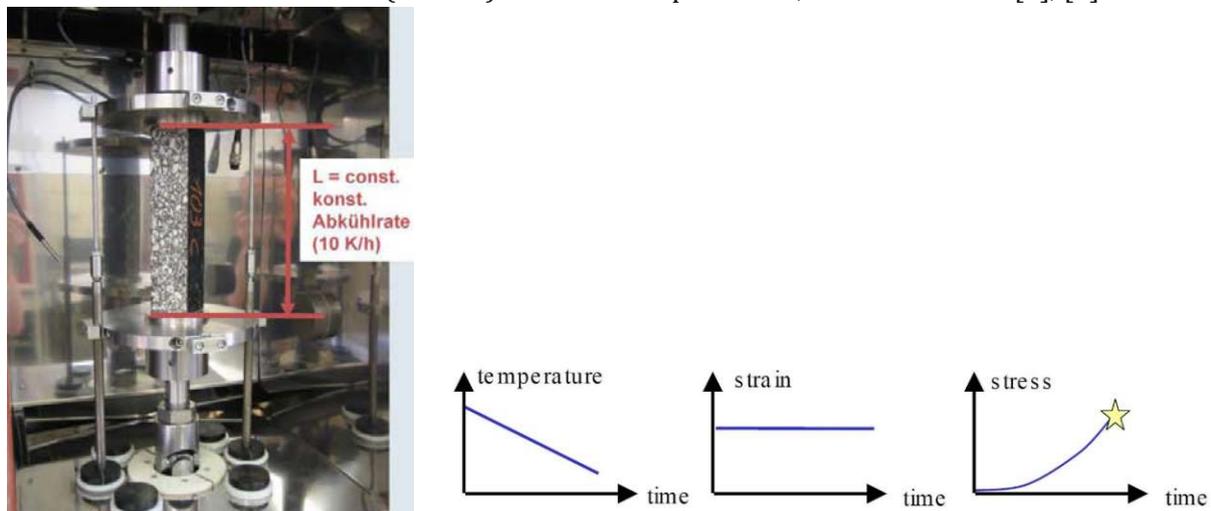


Abb. 5.2-1: Abkühlprüfung TSTST [2]

Bei diesem Versuch wird die Kraft in Abhängigkeit der Temperatur gemessen, die notwendig ist, dass die zwei Einspannplatten die konstante Länge des Probekörpers halten können. Somit erhält man einen Verlauf der kryogenen Spannung (=stress) zufolge Temperatur. Auch die Temperatur, bei der der Probekörper versagt, wird gemessen (Bruchtemperatur T_{crack}). [1], [2]

5.3 Einaxiale Kältezugsprüfung (UTST) ÖNORM EN 12697-46:2020

Bei diesem Versuch wird die mechanogene Beanspruchung zufolge Verkehrslast in Kombination von tiefen Temperaturen simuliert. Durch diese entstehen an der Oberfläche des Deckschichtasphalts Risse quer zur Fahrriechtung. [1], [2]

Der Versuchsaufbau ist exakt der gleiche wie bei TSRST, nur die Prüfbedingungen ändern sich. Es werden mehrere einaxiale Zugversuche bei unterschiedlichen Prüftemperaturen (5°, -10°C, -25°C) ausgeführt. Dazu wird ein Probekörper eingespannt, spannungsfrei auf die zu prüfende Tieftemperatur gesenkt und mit einer konstanten Zuggeschwindigkeit von 1 mm pro Minute bis zum Bruch belastet. Während der Belastung wird die Temperatur konstant gehalten. [1], [2]

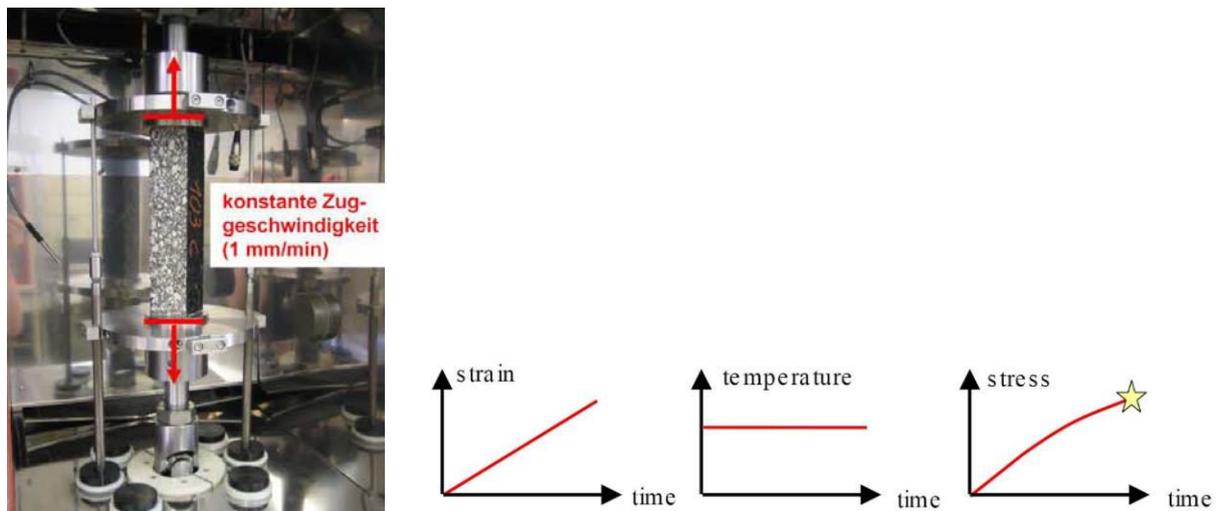


Abb. 5.3-1: Direkter Zugversuch UTST [2]

Bei diesem Versuch wird die beim Ausfall gemessene Zugkraft und die Ausfallsdehnung $\epsilon_{\text{Ausfall}}$ in Abhängigkeit der Prüftemperatur gemessen. Damit kann man mit den Probeabmessungen die Zugfestigkeit β in N/mm^2 berechnen. Pro Prüftemperatur sind drei Versuche notwendig (insgesamt 9 Versuche), um eine Regressionsgerade über die Mittelwerte zu legen, um einen Verlauf der Zugfestigkeit in Abhängigkeit der Temperatur zu erhalten. [1], [2]

5.4 Gesamtergebnis von TSRST und UTST

Aus der Kombination der Ergebnisse von TSRST und UTST erhält man die in Abbildung 5.4.1 ersichtliche Zugfestigkeitsreserve (auch Spannungsreserve genannt). Die Zugfestigkeitsreserve gibt die zusätzliche verkehrsinduzierte Belastung in Abhängigkeit der Temperatur an, die ein Asphaltkörper zusätzlich zur kryogenen Belastung infolge witterungsbedingten Abkühlens aufnehmen kann, ohne dass der Asphaltkörper reißt. [1], [2]

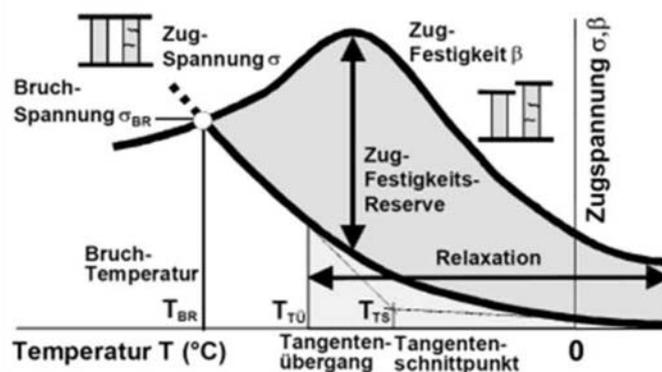


Abb. 5.4-1: Ermittlung der Zugfestigkeitsreserve [2]

5.5 Versuchsablauf

Nach Verbindung der Prüfmaschine mit dem Bedingungs-Computer wird mittels Programm „GEO-sys 8.7.8.9“ die voreingestellte Prüfvorschrift für TSRST und UTST ausgewählt und nach Schließung der Klimakammertür gewartet, bis die Starttemperatur von 10°C erreicht ist. Anschließend wird die Tür der Klimakammer geöffnet, alle vier Verbindungsschrauben (siehe Abb. 5.5-1) der oberen und unteren Endplatte gelöst. Durch gleichzeitiges Auseinanderdrücken der Endplatten und Hinunterfahren des Belastungskolben werden die zwei Probekörperteile frei und können durch Lösen der zwei Klemmen aus der Klimakammer entfernt werden. [19]

Aus dem Temperaturschrank (siehe Abb. 4.2-8) wird ein geklebter Probekörper zusammen mit einem Dummy gleichzeitig in die Klimakammer gestellt. Pro hergestellter Asphaltmischung wird ein Probekörper in der Mitte auseinandergeschnitten und ein Loch in der Mitte gebohrt (= Dummy), um die Innentemperatur während der Versuchsdurchführung zu messen. Anschließend wird die neue Probe durch Befestigung an der unteren Klemme eingebaut und mit dem Anfahr-Prozess gestartet.

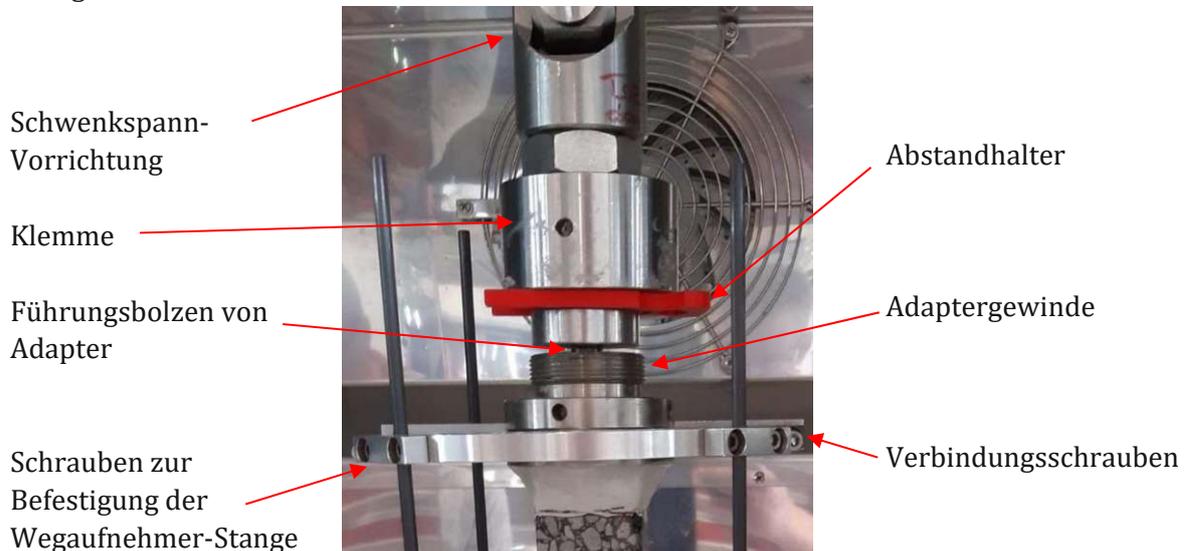


Abb. 5.5-1: Anfahr-Prozess oben

Für den Anfahr-Prozess fährt man mit dem Belastungskolben langsam nach oben, bei gleichzeitiger Einführung des Führungsbolzen des Adapters in das Führungsloch der Schwenkspannvorrichtung. Danach wird die Probe vorbelastet (bis zu 300 N) um Kraftschluss herzustellen. Anschließend wird die obere Klemme per Hand angezogen und beide Endplatten so fixiert, dass jede Wegaufnehmer-Stange mittig zu seinem Stangenführungsrohr positioniert ist. Zuletzt wird, zur besseren Temperaturübertragung, das Bohrloch des Dummies mit gekühlter 99-prozentiger Glycerin-Lösung befüllt, der Dummy wie in Abbildung 5.1-2 positioniert, der Temperaturfühler eingesetzt und die Tür der Klimakammer verschlossen.

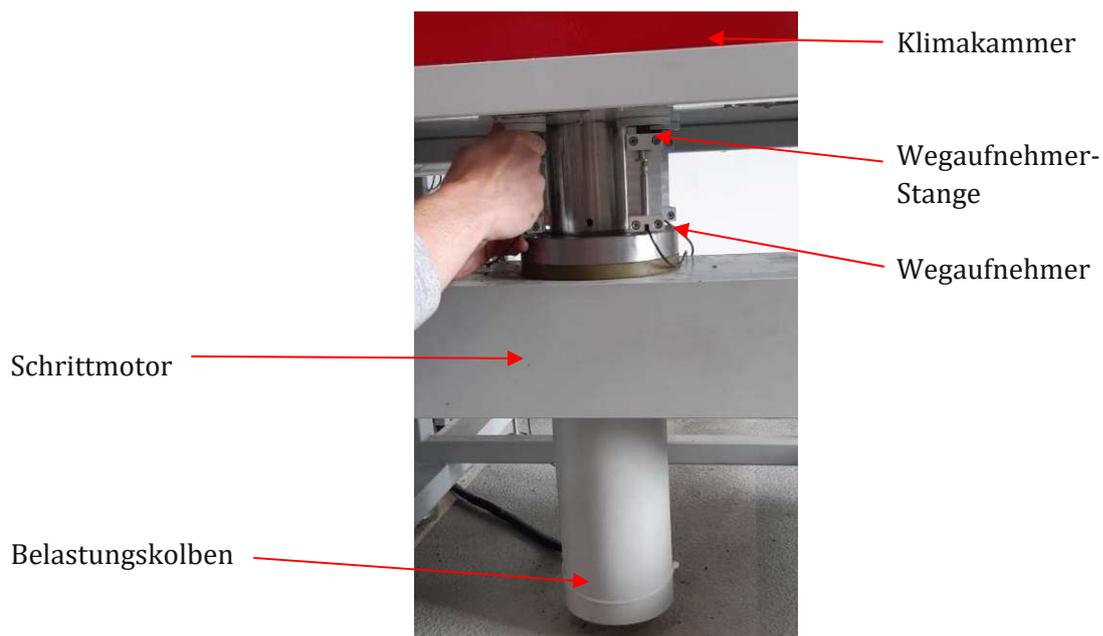


Abb. 5.5-2: 0-Stellung Wegaufnehmer unten

Jetzt wird die voreingestellte Prüfvorschrift automatisch durchgeführt. Es müssen noch die Probeabmessungen, der Speicherort der Maschinendaten und die Versuchsparameter für die Versuche (TSRST und UTST) eingegeben werden. Auch die Wegaufnehmer-Stangen müssen wie in Abbildung 5.5-2 auf $\pm 100 \mu\text{m}$ ausgerichtet werden. Danach führt die Maschine den TSRST- bzw. UTST-Versuch vollautomatisch aus und erwärmt die Klimakammer nach Bruch des Probekörpers wieder auf 10°C .

In Abbildung 5.5-3 wird ein Probekörper nach Bruch dargestellt:



Abb. 5.5-3: gebrochener Probekörper

6 Prüfprogramm

Damit alle Proben zu den möglichst gleichen Bedingungen geprüft werden konnten, wurde immer nur ein Mischgut, für zwei Asphaltplatten, gleichzeitig hergestellt, da man das Risiko von Gefüge-Veränderungen von langer Liegezeit im Vorhinein ausschließen wollte.

Als erstes wurde von jedem Mischgut zuerst die Rohdichte nach dem Verfahren A bestimmt, dann die Platten (500 x 260 mm) mittels Walzverdichtungsgerät auf eine Höhe von 70 mm verdichtet und 8 Proben (50 x 50 x 225 mm) je Platte herausgeschnitten. Anschließend wurden von jedem Probekörper die Maße, die Raumdichte und der Hohlraumgehalt ermittelt. Pro Mischgut wurde ein Dummy für die innere Temperaturmessung aus einem Probekörper geschnitten. An die restlichen 15 Probekörpern wurden je Probekörper zwei Adapter mittels Zwei-Komponenten-Polyurethanleim geklebt und in einem Temperaturschrank bei 10°C gelagert.

6.1 TSRST

Anschließend wurden pro Mischgut so viele TSRST-Versuche durchgeführt, dass mindestens drei Spannungs-Temperatur-Verläufe einen ähnlichen Verlauf haben. Das sieht man, da diese TSRST-Versuchsverläufe mit kleiner Schwankung fast parallel sind.

Alle TSRST-Versuche wurden mit folgenden Parametern geprüft:

Tabelle 6.1-1: Versuchsparameter TSRST

Parameter	Wert
Konditionstemperatur (= Starttemperatur)	10°C
Konditionsdauer	1 h
Zieltemperatur	-40°C
Temperaturrate	10°K/h
Aufzeichnungsrate	0,1 Hz
maximaler Vertikalweg	2 mm
maximale Kraft	25 kN
Lageregelung	2 Wegaufnehmer (Extensionsregelung)

6.2 UTST

Danach wurden pro Mischgut so viele UTST-Versuche durchgeführt, dass pro Prüftemperatur (5°C / -15°C / -25°C) mindestens drei Ergebnisse der Zugfestigkeit β_t in einer geringen Schwankungsbreite in N/mm² liegen.

Alle UTST-Versuche wurden mit folgenden Parametern geprüft:

Tabelle 6.2-1: Versuchsparameter UTST 5°C / -15°C / -25°C

Parameter	Wert
Prüftemperatur	5°C / -15°C / 25°C
Konditionsdauer	1h / 3h / 4h
Aufzeichnungsrate	10 Hz
Prüfgeschwindigkeit	1 mm/min
Vorspannkraft	300 N
maximale Kraft	25 kN
maximaler Vertikalweg	5 mm

Insgesamt wurden sechs verschiedene Asphaltmischgüter jeweils für PA-Platten und für SMA-Platten hergestellt.

Hergestellte Asphaltmischgüter:

- PA 11 deck PmB 45/80-65, P1
- PA 11 deck PmB 45/80-75, P1
- PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1
- PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, P1
- PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1
- PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, P1

- SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3
- SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3
- SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, S3
- SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3
- SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3
- SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3

Wie einzeln in 2.2.5 und 2.3.4 schon beschrieben, bedeuten die Abkürzungen Folgendes:

PA	Offenporiger Asphalt
SMA	Splittmastixasphalt
11	Größtkorn
deck	Deckschicht
PmB	Polymermodifizierte Bitumen
45/80	minimale/maximale Eindringtiefe (Penetration) von 45 - 80*1/10 mm
-65	Temperatur für den Erweichungspunkt nach Ring Kugel von 65° C
P1	funktionale Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit laut ÖNORM B 3580-2
S3	funktionale Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit laut ÖNORM B 3580-2

Zur Modifikation des Rezeptes:

+0,5M% F	Zugabe von 0,5 Massenprozent Füller
-0,5M% F	Reduktion von 0,5 Massenprozent Füller
+0,5M% Bit/F	Zugabe von 0,5 Massenprozent Bitumen und 0,5 Massenprozent Füller
-0,5M% Bit/F	Reduktion von 0,5 Massenprozent Bitumen und 0,5 Massenprozent Füller

Insgesamt wurden aus 24 Platten 192 Probekörper geschnitten und davon 161 Probekörper mittels TSRST bzw. UTST geprüft. Es konnten aber leider nur 142 Ergebnisse gewertet werden, da die Asphaltproben keine homogene Zusammensetzung besitzen und es dadurch zu sehr hoher Streuung der Messergebnisse kam.

6.3 Auswerten der Ergebnisse

Da die zwei gebrauchsvorhaltensorientierten Asphaltprüfungen (und auch viele andere Prüfungen) im Labor für Straßenwesen öfters auszuwerten sind, wurde ein eigenes Programm für diese Aufgabe im Labor entwickelt und programmiert.

Für die Einspeisung der Maschinendaten in das Programm LAMA (= Labor-Manager) mussten zuvor die Textdateien mit Maschinencode mittels Programms „Geozip“ umgewandelt werden. Pro Versuch wurde so eine Datei erstellt, die einzeln in das Programm LAMA übertragen wurde. Anschließend wurden die Berechnungen und Diagramme selbstständig generiert.

Die Formelgrundlagen befinden sich in der ÖNORM EN 12697-46:

TSRST:

$$\sigma_{kry}(T) = \frac{F_{kry}(T)}{A_{Probe}}$$

$\sigma_{kry}(T)$	kryogene Spannung (Abhängigkeit von Probekörpertemperatur) [N/mm ²]
$F_{kry}(T)$	gemessene kryogene Zugkraft (Abhängigkeit von Probekörpertemperatur) [N]
A_{Probe}	Probenquerschnitt [mm ²]

UTST:

$$\beta_t(T) = \frac{F_z(T)}{A_{Probe}}$$

$\beta_t(T)$	Zugfestigkeit (Abhängigkeit von Probekörpertemperatur) [N/mm ²]
$F_z(T)$	aufgebrachte Zugkraft (Abhängigkeit von Probekörpertemperatur) [N]

Spannungsreserve:

$$\Delta\beta_t(T) = \beta_t(T) - \sigma_{kry}(T)$$

$\Delta\beta_t(T)$	Zugfestigkeit (Abhängigkeit von Probekörpertemperatur) [N / mm ²]
--------------------	---

7 Zusammenfassung der Prüfergebnisse

Am Anfang werden die Ergebnisse der berechneten Hohlraumgehalte dargestellt. In den darauffolgenden Unterpunkten werden die Ergebnisse der einzelnen TSRST-Versuche, der einzelnen UTST-Versuche und am Ende die Spannungsreserve aller geprüfter Mischgüter gezeigt.

7.1 Berechnete Hohlraumgehalte von den Prüfkörpern

In den folgenden zwei Tabellen 7.1-1 und 7.1-2 werden die berechneten Hohlraumgehalte in Volums-Prozent, nach den Formeln des Abschnittes 4.2.6, der Probekörper der verschiedenen Mischgüter dargestellt:

Tabelle 7.1-1: Hohlraumgehalte PA

PA-Mischgut	verwendete Prüfkörper / Hohlraumgehalt in V%											
PA 11 deck PmB 45/80-65, P1	K787A	K787B	K787D	K787E	K787F	K787G	K788A	K788B	K788E	K788F	K788H	
	21,7	21,2	20,9	21,3	21,0	22,1	20,2	20,7	21,4	20,5	20,8	
PA 11 deck PmB 45/80-75, P1	K791A	K791B	K791D	K791F	K791H	K792A	K792B	K792C	K792D	K792E	K792G	K792H
	23,1	22,9	23,1	22,7	22,5	23,6	24,2	22,9	22,2	22,8	21,7	22,2
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1	K807B	K807D	K807E	K807F	K807G	K807H	K808C	K808D	K808E	K808F	K808G	K808H
	23,5	24,1	24,1	23,5	22,4	22,5	22,4	23,4	23,5	24,0	23,8	23,8
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, P1	K809A	K809C	K809D	K809E	K809F	K809G	K809H	K810B	K810C	K810D	K810F	K810G
	25,4	24,6	25,1	24,7	24,8	24,5	25,2	24,6	24,9	24,9	24,7	24,7
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1	K796B	K796C	K796D	K796E	K796F	K796G	K796H	K797A	K797C	K797E	K797F	K797H
	19,4	19,8	20,2	19,8	20,7	19,2	20,7	19,7	19,2	18,9	18,8	19,2
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, P1	K798B	K798C	K798D	K798F	K798G	K798H	K799A	K799B	K799C	K799D	K799G	K799H
	23,3	23,9	24,4	23,3	24,0	22,1	22,9	23,4	22,1	22,9	22,1	22,9

Tabelle 7.1-2: Hohlraumgehalte SMA

SMA-Mischgut	verwendete Prüfkörper / Hohlraumgehalt in V%											
SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	K790A	K790C	K790E	K790F	K790H	K795B	K795C	K795D	K795E	K795F	K795H	
	9,4	9,2	10,5	9,7	10,2	9,6	9,4	9,4	10,4	9,7	11,0	
SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3	K793A	K793B	K793C	K793D	K793E	K793G	K794A	K794C	K794E	K794F	K794G	K794H
	8,8	8,1	9,0	9,4	10,2	9,8	8,6	9,0	9,2	9,1	8,9	10,2
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, S3	K811B	K811C	K811D	K811F	K811G	K811H	K812A	K812B	K812C	K812E	K812F	K812H
	10,0	10,5	10,5	9,6	9,5	10,0	11,0	10,1	9,5	9,2	9,2	9,2
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3	K813A	K813C	K813E	K813F	K813G	K813H	K814A	K814D	K814E	K814F	K814G	K814H
	11,1	10,5	11,2	10,7	10,4	10,8	10,5	10,2	10,9	10,7	10,5	10,7
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3	K803C	K803D	K803E	K803G	K804A	K804B	K804C	K804D	K804E	K804F	K804G	K804H
	9,3	8,9	9,1	9,5	10,3	9,1	8,7	10,4	10,2	9,3	8,6	9,1
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3	K805A	K805C	K805D	K805E	K805F	K805G	K806B	K806D	K806E	K806F	K806G	K806H
	9,1	9,5	9,5	8,9	9,0	9,2	9,2	8,2	8,6	8,4	7,8	8,4

7.2 TSRST-Ergebnisse

In der Tabelle 7.2-1 sind die für die Spannungsreserve ausgewählten TSRST Messergebnisse tabellarisch aufgelistet. Im Anhang findet man die TSRST-Einzelergebnisse aller verschiedenen Mischgüter (PA-Mischgüter in Abb. A7 bis A12 und SMA-Mischgüter in Abb. A19 bis A24).

Es wurden immer pro Mischgut so viele TSRST-Versuche durchgeführt, dass mindestens drei Spannungs-Temperatur-Verläufe einen ähnlichen Verlauf haben. Dafür muss man laut ÖNORM EN 12697-46:2020 bei TSRST-Versuchen auf zwei Dinge achten, um eine Wiederhol- und Vergleichspräzision zu erreichen. Die Abweichung der drei gemessenen Bruchtemperaturen T_{crack} darf nicht mehr als 2°C voneinander betragen und die Ergebnisse der kryogenen Spannung bei Ausfall (= Bruchspannung σ_{kry}) dürfen nicht mehr als 0,5 N/mm² voneinander abweichen. [19]

Die Auswahl der „gültigen TSRST-Ergebnisse“ wurde so vereinfacht, dass man nur die Bruchtemperatur T_{crack} und die dazugehörige Bruchspannung σ_{kry} in Tabellenform erfasst hat. Die Fehlmessungen und abgewählte TSRST Bruchtemperaturen wurden in Tabelle 7.2-2 dargestellt, um zu zeigen, dass bei manchen Mischgütern die Abweichung der betrachteten Bruchtemperatur sehr groß ist, da es sich beim Asphalt um keinen homogenen Körper handelt. Dies sieht man sehr gut am Beispiel von dem Mischgut PA 11 deck PmB 45/80-65, P1. Der Mittelwert von T_{crack} der ausgewählten Proben (K787B, K787E und K788B) ist $-30,03\text{ °C}$, d.h. es sind nur Messergebnisse gültig, die $\pm 1,0\text{ °C}$ davon abweichen (entspricht Anforderung laut ÖNORM maximal $2,0\text{ °C}$ voneinander). Dadurch wurden die Proben K787 H mit $T_{\text{crack}} = -19,8\text{ °C}$ und K788D mit $T_{\text{crack}} = -17,5\text{ °C}$ abgewählt.

Tabelle 7.2-1: TSRST Bruchtemperatur und Bruchspannung

Mischgut	Proben- Nummer	Tcrack [°C]	σ_{kry} [N/mm ²]	Proben- Nummer	Tcrack [°C]	σ_{kry} [N/mm ²]	Proben- Nummer	Tcrack [°C]	σ_{kry} [N/mm ²]
PA 11 deck PmB 45/80-65, P1	K787B	-29,8	1,4	K787E	-31,1	1,4	K788B	-29,2	1,5
PA 11 deck PmB 45/80-75, P1	K791B	-30,6	1,5	K791A	-30,8	1,5	K792C	-30,0	1,5
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1	K808D	-29,7	1,6	K807D	-30,5	1,4	K807E	-31,6	1,5
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, P1	K810G	-29,7	1,5	K810F	-29,3	1,4	K809E	-31,1	1,4
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1	K797H	-29,8	1,8	K797C	-30,5	1,4	K796G	-28,9	1,4
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, P1	K799A	-27,1	1,4	K799D	-29,7	1,3	K799H	-27,2	1,3
SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	K795B	-30,9	3,4	K795D	-29,3	3,6	K795H	-30,9	3,2
SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3	K793A	-28,8	3,3	K793B	-29,2	3,6	K793C	-30,7	3,7
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, S3	K811B	-29,7	2,8	K811H	-27,7	3,1	K812B	-28,8	3,4
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3	K813C	-29,1	3,4	K814A	-31,3	4,2	K814D	-31,9	3,8
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3	K804F	-30,7	3,6	K803C	-29,7	3,9	K803G	-29,6	3,5
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3	K805C	-28,5	3,4	K805D	-29,5	3,5	K805A	-29,3	3,4

Tabelle 7.2-2: Fehlmessungen und abgewählte TSRST Bruchtemperaturen

Mischgut	Proben- Nummer	Tcrack [°C]	Proben- Nummer	Tcrack [°C]
PA 11 deck PmB 45/80-65, P1	K787H	-19,8	K788D	-17,5
PA 11 deck PmB 45/80-75, P1	K791C	-38,1		
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1	K807A	-3,6		
SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	K795A	-23,7		
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3	K813B	FEHLER		
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3	K803F	0,9		
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3	K806A	FEHLER		

Bei den Proben K807A und K803F in Tabelle 7.1-2 riss der Probekörper aufgrund schlechten Klebens bei sehr geringer Bruchtemperatur ($-3,6\text{ °C}$ bzw. $0,9\text{ °C}$). D.h. nicht der Asphaltkörper hat zufolge Temperaturabsenkung auf Zug versagt, sondern die Klebestelle. Dies konnte durch sorgsameres Auftragen des Zwei-Komponenten-Polyurethanleim bei nachfolgenden Messungen vermieden werden. Aufgrund eines Maschinenfehlers wurden bei zwei Versuchen (K806A und K813B) keine Maschinendaten generiert und so konnte der Versuch nicht verwendet werden.

Bei den restlichen Einzel-Ergebnissen der Tabelle 7.2-1 sieht man, dass alle ausgewählten Bruchtemperaturen T_{crack} sehr nahe beieinander liegen. Sie bewegen sich innerhalb eines Intervalls von $-27,1$ bis $-31,9\text{ °C}$, was einer Intervallbreite von $4,8\text{ °C}$ entspricht.

Auch die Bruchspannungen σ_{kry} je Mischgut liegen sehr nahe beieinander. Bei den PA-Mischgütern bewegen sich die Ergebnisse zwischen $1,4$ bis $1,8\text{ N/mm}^2$ und bei den SMA-Mischgütern zwischen $2,8$ bis $4,2\text{ N/mm}^2$

7.3 UTST-Ergebnisse

In den Tabellen 7.3-1 bis 7.3-3 sind die für die Spannungsreserve ausgewählten UTST-Messergebnisse tabellarisch aufgelistet. Hier ist rein die Zugfestigkeit β_t bei den Temperaturen

von 5° C, -10° C und -25° C relevant. Im Anhang findet man die UTST-Einzelergebnisse aller verschiedenen Mischgüter (PA-Mischgüter in Abb. A13 bis A18 und SMA-Mischgüter in Abb. A25 bis A30).

Pro Prüftemperatur wurden so viele UTST-Versuche durchgeführt, dass mindestens drei Zugfestigkeits-Messergebnisse sehr nahe beieinander liegen. Auch hier muss man laut ÖNORM EN 12697-46:2020 bei UTST-Versuchen auf zwei Dinge achten, um eine Wiederhol- und Vergleichspräzision zu erreichen. Die Ergebnisse der drei gemessenen Zugfestigkeiten β_t dürfen bei 5°C nicht mehr als 0,3 N/mm² voneinander abweichen und bei -10°C bzw. -25°C nicht mehr als 0,7 N/mm². [19]

Insgesamt sind 9 „gültige UTST-Ergebnisse“ nötig, damit man eine Regressionsgerade über die gemittelten Messergebnisse von 5° C, -10° C und -25° C legen kann, um einen Verlauf der Zugfestigkeit in Abhängigkeit der Temperatur zu erhalten. Die Auswahl dieser „gültigen UTST-Ergebnisse“ wurde wieder vereinfacht und zwar, dass man nur die Zugfestigkeiten β_t in Tabellenform erfasst hat.

Tabelle 7.3-1: Ergebnisse Zugfestigkeit UTST 5°C

Mischgut	Proben- Nummer	β_t [N/mm ²]	Proben- Nummer	β_t [N/mm ²]	Proben- Nummer	β_t [N/mm ²]
PA 11 deck PmB 45/80-65, P1	K787G	0,77	K787F	0,60		
PA 11 deck PmB 45/80-75, P1	K792D	0,57	K791H	0,58	K791F	0,58
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1	K807G	0,68	K807H	0,68	K808C	0,64
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, P1	K809A	0,54	K809D	0,58	K809H	0,54
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1	K796D	0,55	K796F	0,59	K796H	0,58
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, P1	K798B	0,58	K799B	0,66	K798F	0,59
SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	K790E	1,65	K795E	1,28	K795F	1,33
SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3	K794F	1,02	K793D	1,57	K794G	1,48
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, S3	K811F	1,46	K812C	1,48	K811G	1,37
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3	K813E	0,79	K813A	1,35	K814E	1,41
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3	K804D	1,39	K804A	1,42	K804E	1,46
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3	K806D	1,52	K806H	1,56	K806F	1,59

Tabelle 7.3-2: Ergebnisse Zugfestigkeit UTST -10°C

Mischgut	Proben- Nummer	β_t [N/mm ²]	Proben- Nummer	β_t [N/mm ²]	Proben- Nummer	β_t [N/mm ²]
PA 11 deck PmB 45/80-65, P1	K788A	2,05	K787A	1,57	K788H	1,81
PA 11 deck PmB 45/80-75, P1	K791D	1,74	K792B	1,68	K792A	1,66
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1	K808G	1,76	K808H	1,90	K807F	1,35
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, P1	K809G	1,47	K809C	1,74	K810B	1,74
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1	K797A	1,83	K797E	1,70	K797F	2,03
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, P1	K798C	1,47	K798D	1,66	K798G	1,61
SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	K790A	3,76	K790C	3,40		
SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3	K794C	4,45	K794E	4,23	K794H	4,54
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, S3	K811D	4,26	K811C	4,39	K812A	4,02
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3	K813H	3,83	K814G	4,29	K813G	4,19
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3	K803D	4,56	K804C	4,65	K804G	4,75
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3	K805F	3,72	K805G	4,05	K806B	4,20

Tabelle 7.3-3: Ergebnisse Zugfestigkeit UTST -25°C

Mischgut	Proben- Nummer	β_t [N/mm ²]	Proben- Nummer	β_t [N/mm ²]	Proben- Nummer	β_t [N/mm ²]
PA 11 deck PmB 45/80-65, P1	K787D	1,74	K788F	1,52	K788E	1,51
PA 11 deck PmB 45/80-75, P1	K792G	1,31	K792H	1,35	K792E	1,65
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1	K807B	1,58	K808F	1,82	K808E	1,85
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, P1	K809F	1,23	K810C	1,48	K810D	1,51
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1	K796B	1,49	K796C	1,31	K796E	1,79
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, P1	K799C	1,22	K798H	1,46	K799G	1,68
SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	K795C	3,94	K790F	3,82	K790H	3,92
SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3	K794A	3,87	K793G	3,05	K793E	3,22
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, S3	K812E	4,08	K812F	3,93	K812H	4,52
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3	K814F	4,15	K813F	3,88	K814H	3,75
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3	K804B	4,56	K803E	4,20	K804H	4,35
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3	K805E	3,51	K806G	4,02	K806E	3,88

Auch hier wurden die abgewählten UTST-Ergebnisse der Zugfestigkeit in Tabelle 7.3-4 zusätzlich angegeben, um wie bei Kapitel 7.2 die großen Abweichungen der einzelnen Proben in einem Mischgut darzustellen:

Tabelle 7.3-4: Abgewählte UTST-Ergebnisse

Mischgut	UTST 5°C		UTST -10°C		UTST -25°C			
	Proben- Nummer	β_t [N/mm ²]						
PA 11 deck PmB 45/80-65, P1	K788G	1,72						
PA 11 deck PmB 45/80-75, P1	K792F	0,63						
SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	K795G	3,69	K790B	4,78	K790G	0,78		
SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3	K794D	3,85	K793F	3,06				
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3			K803B	3,89				
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3					K805B	0,18	K806C	0,59

Dass es zu großen Abweichungen aufgrund der Inhomogenität von Asphalt in einem Mischgut kommen kann, sieht man sehr gut an zwei Beispielen:

SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3:

Wie bei jedem Mischgut wurden aus zwei Platten 16 Probekörper geschnitten und ein Dummy für die innere Temperaturmessung erzeugt. Somit verbleiben 15 Probekörper für die TSRST- und UTST-Versuche. Zuerst wurden wie in 7.2 beschrieben vier TSRST-Versuche durchgeführt, bis drei Versuche den Vorgaben der Wiederhol- und Vergleichspräzision laut ÖNORM EN 12697-46:2020 entsprochen haben (Probe K795A abgewählt).

Anschließend wurden noch 11 UTST-Versuche durchgeführt. Hier mussten drei UTST-Ergebnisse abgewählt werden, da sie den Vorgaben der Wiederhol- und Vergleichspräzision laut ÖNORM EN 12697-46:2020 nicht entsprochen haben: Der Mittelwert von β_t der ausgewählten Proben bei -25° (K795C, K790F und K790H) ist 3,89 N/mm², d.h. es sind nur Messerergebnisse gültig die $\pm 0,35$ N/mm² davon abweichen (entspricht Anforderung laut ÖNORM maximal 0,7 N/mm² bei -25°C voneinander). Dadurch wurde die Probe K790G mit β_t von 0,78 N/mm² abgewählt. Leider musste auch bei 5°C das Ergebnis der Probe K795G mit β_t von 3,69 N/mm² abgewählt werden, da $\beta_{t,mittel}$ gleich 1,42 N/mm² ist und nur Messerergebnisse gültig sind, die $\pm 0,15$ N/mm² davon abweichen (entspricht Anforderung laut ÖNORM maximal 0,3 N/mm² bei 5°C voneinander). Bei -10°C waren nur noch drei Proben zur Versuchsdurchführung übrig. Da aber hier das Ergebnis der Probe K790B mit β_t von 4,78 N/mm² sehr stark von den restlichen zwei Messergebnissen abwich (K790A β_t = 3,76 N/mm² und K790 β_t = 3,40 N/mm²), entschied man sich bei -10°C nur zwei akzeptable Werte zu verwenden. Für eine weitere Probe (für -10°C) hätte man eine komplett neue Asphaltplatte mischen, verdichten, schneiden, wiegen und messen müssen, was aufgrund der hohen Kosten nicht durchgeführt wurde. Da bei UTST immer drei Messergebnisse pro Prüftemperatur gemittelt werden, ist so der Fehleranteil geringer, als die weit abweichende Probe K795G zu verwenden.

PA 11 deck PmB 45/80-65, P1

Hier wurden auch aus 16 Probekörpern wieder ein Dummy (K787C) erzeugt und 15 Probekörper geklebt. Leider ist die Probe K788C während des Klebens auf den Boden gefallen und gebrochen, was normalerweise kein Problem darstellt, da man nur 12 Proben insgesamt für die Tieftemperaturprüfung benötigt. Da es aber zwei abgewählte TSRST-Versuche (K787H mit $T_{\text{crack}} = -19,8^\circ\text{C}$ und K788D mit $T_{\text{crack}} = -17,5^\circ\text{C}$) gab und zusätzlich bei 5°C K788G mit β_t von $1,72\text{ N/mm}^2$ abgewählt werden musste, da dieser Wert vom gemittelten Wert β_t von $0,69\text{ N/mm}^2$ sehr stark abgewichen ist, sind auch hier nur zwei verwendbare Versuchsergebnisse bei 5°C zu finden. Auch hier wurde, wie beim Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3, aus Kostengründen keine weitere Platte erzeugt.

Bei den restlichen Einzel-Ergebnissen der Tabelle 7.3-1 bis 7.3-3 sieht man Folgendes:

Bei PA-Mischgütern liegen die Zugfestigkeiten bei 5°C zwischen $0,54$ und $0,77\text{ N/mm}^2$, bei -10°C zwischen $1,35$ und $2,05\text{ N/mm}^2$ und bei -25°C zwischen $1,22$ und $1,85\text{ N/mm}^2$.

Die Zugfestigkeiten bei SMA-Mischgütern liegen in den Intervallen bei 5°C zwischen $0,79$ und $1,65\text{ N/mm}^2$, bei -10°C zwischen $3,40$ und $4,75\text{ N/mm}^2$ und bei -25°C zwischen $3,05$ und $4,56\text{ N/mm}^2$.

7.4 Spannungsreserve

In den nachstehenden Abbildungen findet man die Regressionsgerade über je drei Mittelwerte pro Temperatur in ROT, der Mittelwert der TSRST-Versuche wird in BLAU angezeigt und die Spannungsreserve ist in GRÜN ersichtlich.

7.4.1 PA

Die Abbildungen 7.4-1 bis 7.4-6 zeigen den Verlauf der Spannungsreserve für die sechs PA-Mischgüter:

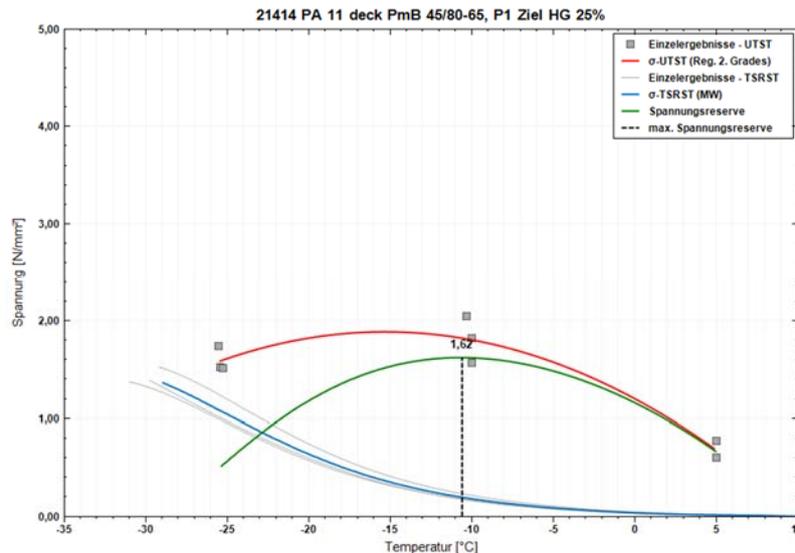


Abb. 7.4-1: Spannungsreserve-PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 Ziel HG 25%

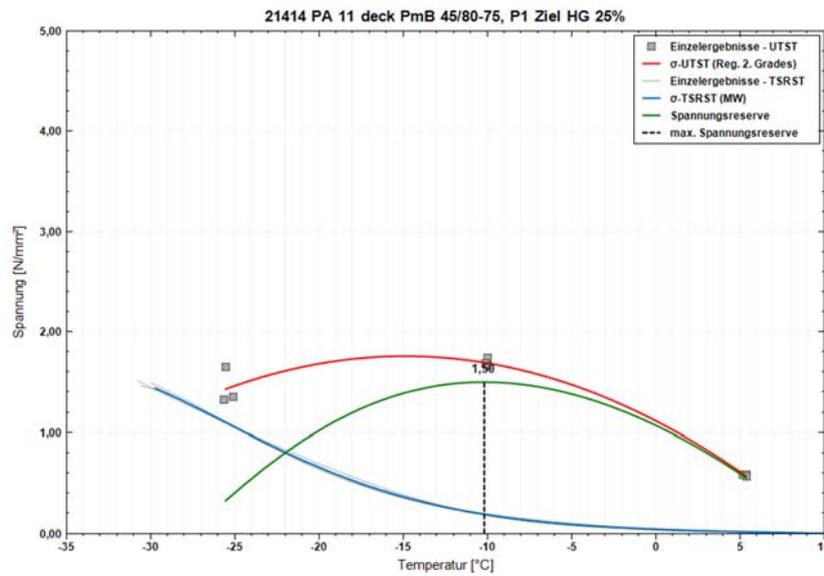


Abb. 7.4-2: Spannungsreserve-PA 11 deck PmB 45/80-75, P1 Ziel HG 25%

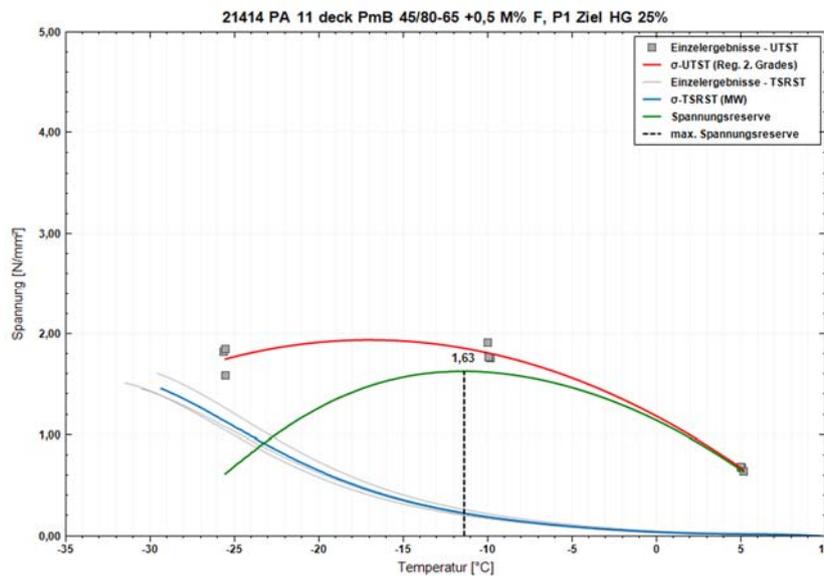


Abb. 7.4-3: Spannungsreserve-PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% F, P1 Ziel HG 25%

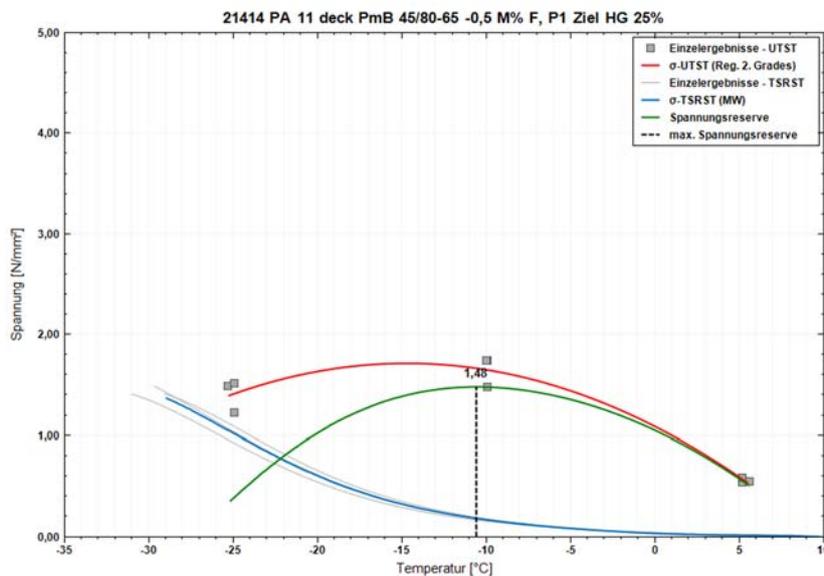


Abb. 7.4-4: Spannungsreserve-PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% F, P1 Ziel HG 25%

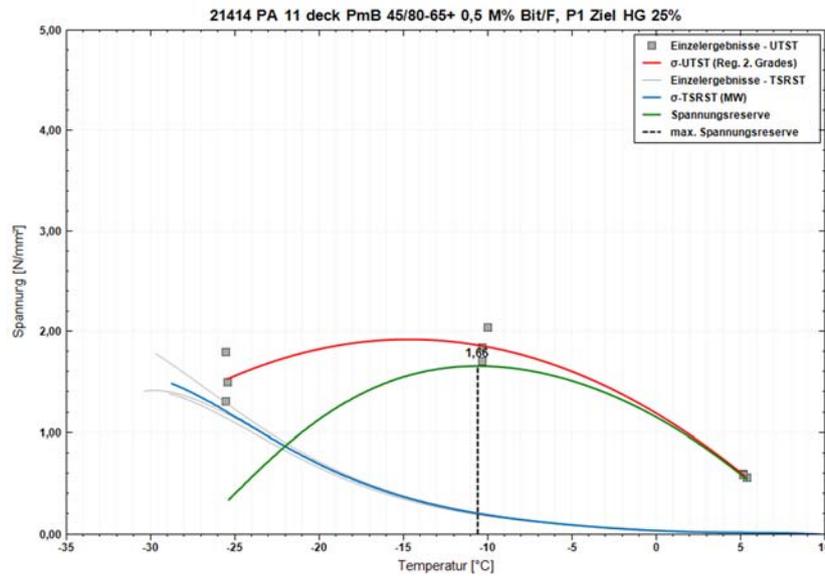


Abb. 7.4-5: Spannungsreserve-PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% Bit/F, P1 Ziel HG 25%

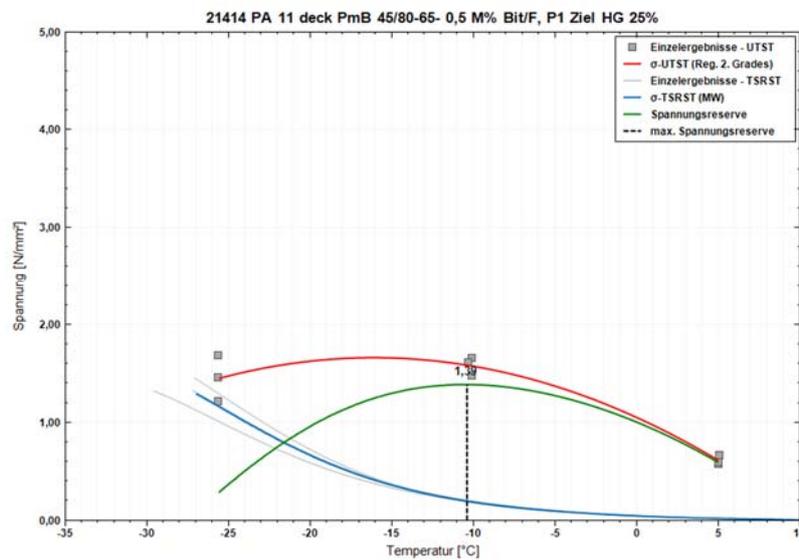


Abb. 7.4-6: Spannungsreserve-PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% Bit/F, P1 Ziel HG 25%

7.4.2 SMA

Die Verläufe der Spannungsreserven für die sechs SMA-Mischgüter werden in den Abbildungen 7.4-7 bis 7.4-12 dargestellt:

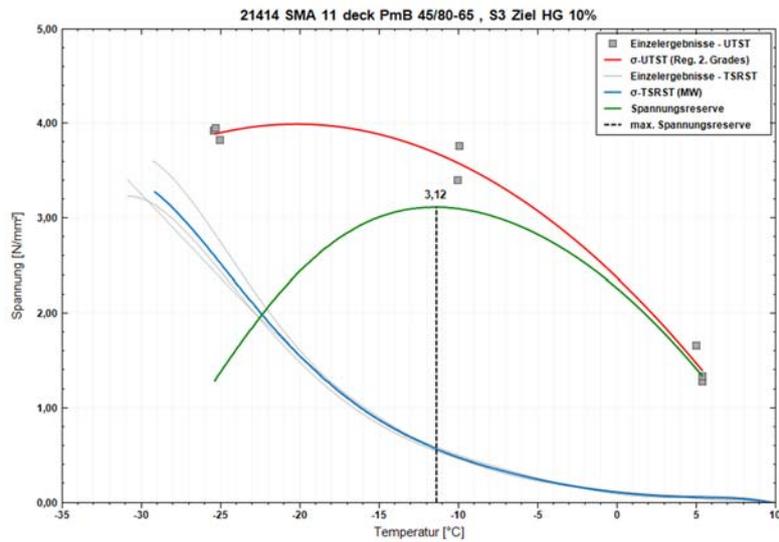


Abb. 7.4-7: Spannungsreserve-SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 Ziel HG 10%

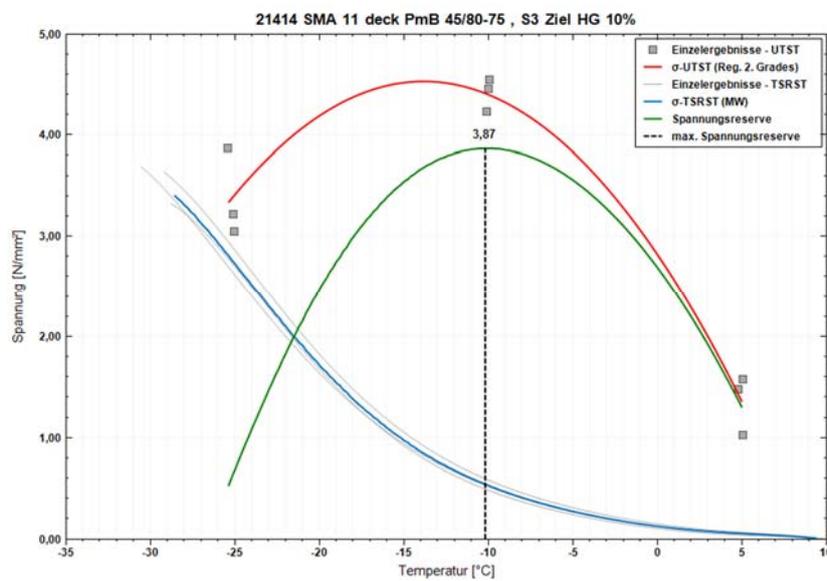


Abb. 7.4-8: Spannungsreserve-SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3 Ziel HG 10%

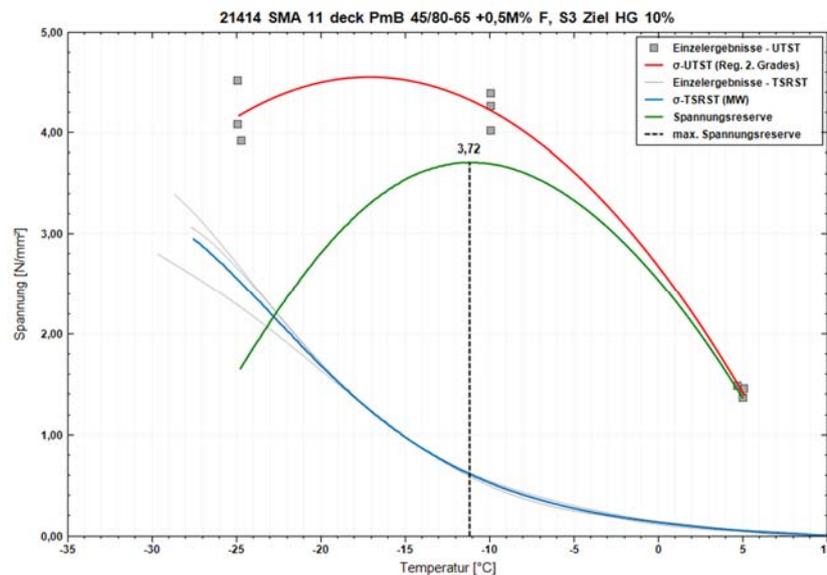


Abb. 7.4-9: Spannungsreserve-SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% F, S3 Ziel HG 10%

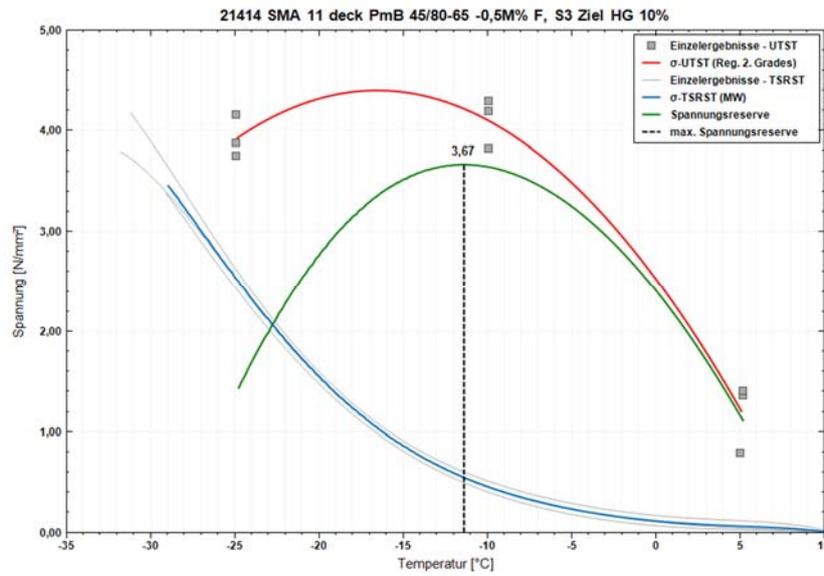


Abb. 7.4-10: Spannungsreserve-SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% F, S3 Ziel HG 10%

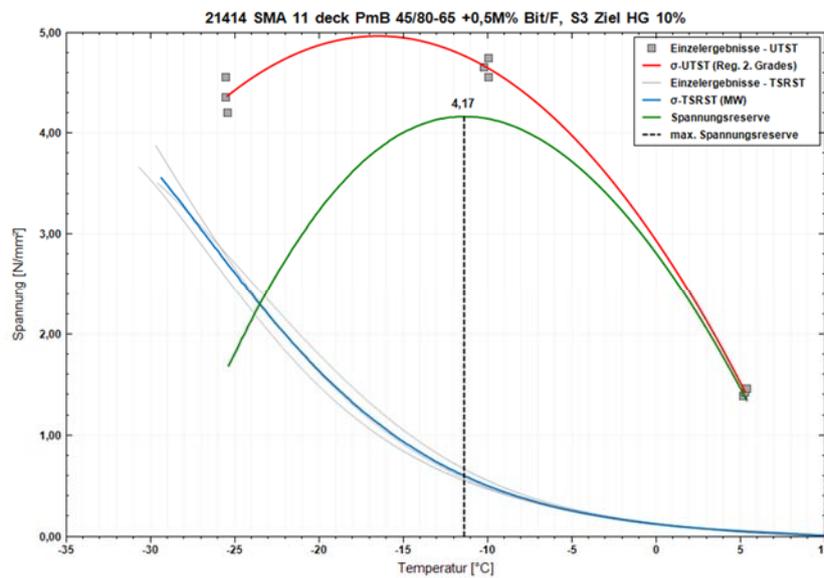


Abb. 7.4-11: Spannungsreserve-SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% Bit/F, S3 Ziel HG 10%

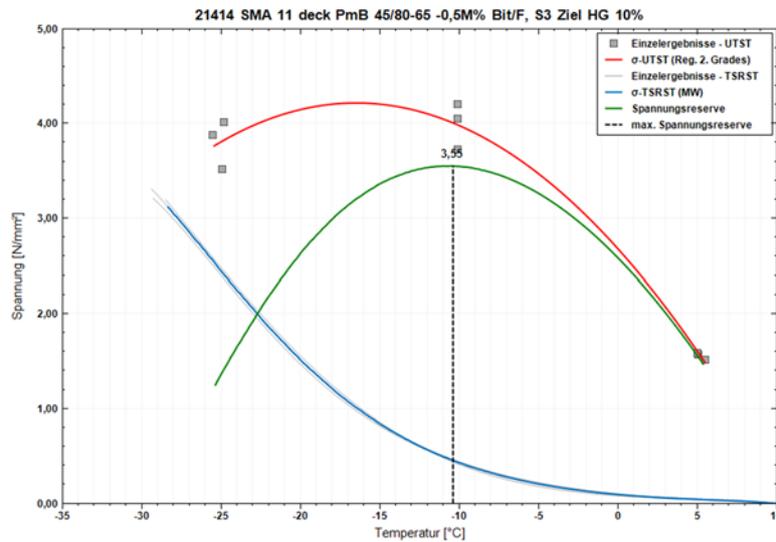


Abb. 7.4-12: Spannungsreserve-SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% Bit/F, S3 Ziel HG 10%

7.5 Berechnung der effektiven Spannungsreserve ohne Hohlraumgehalt

Da sich die Ergebnisse der maximalen Spannungsreserve auf die Fläche des Querschnitts inklusive Hohlraum beziehen, wurden zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse die Spannungen annäherungsweise auf eine Fläche ohne Hohlraum wie folgt berechnet:

$$\Delta\beta_t(T) = \beta_t(T) - \sigma_{kry}(T) = \frac{F_{kry}(T)}{A_{Probe}} - \frac{F_z(T)}{A_{Probe}} = \frac{(F_{kry}(T) - F_z(T))}{A_{Probe}} \approx \frac{F_{max}}{A_{Probe}}$$

$$F_{max} \approx \Delta\beta_t(T) * A_{Probe}$$

$$\begin{aligned} \Delta\beta_t(T)_{effektiv} &= \frac{F_{max}}{A_{Probe} * (1 - \text{Hohlraumgehalt})} = \frac{\Delta\beta_t(T) * A_{Probe}}{A_{Probe} * (1 - \text{Hohlraumgehalt})} = \\ &= \frac{\Delta\beta_t(T)}{(1 - \text{Hohlraumgehalt})} = \frac{\Delta\beta_t(T)}{\left(1 - \frac{V_{mittel}\%}{100}\right)} \end{aligned}$$

Dadurch ergibt sich für die verschiedenen Mischgüter die effektive Spannungsreserve (= maximale Spannungsreserve ohne Hohlraum) ohne Berücksichtigung des Hohlraumvolumens. Die Ergebnisse für den gemittelten Hohlraumgehalt und der effektiven Spannungsreserve werden in den Tabelle 8.4-3 für PA-Mischgüter und in der Tabelle 8.4-4 für SMA-Mischgüter dargestellt und interpretiert.

8 Interpretation der Ergebnisse

Zur leichteren Vergleichbarkeit wurden pro Asphaltrezept für alle Hohlraumgehälter und alle Tieftemperatur-Prüfergebnisse der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet und in den folgenden Tabellen dargestellt.

Zur Modifikation der Mischgüter (PA und SMA) wurde ausgehend von dem Asphalt-Rezept mit einem polymermodifizierten Bitumen 45/80-65 folgende Bestandteile modifiziert: Als erstes wurde ein härteres Bitumen (PmB 45/80-75) verwendet, anschließend ist die Füllermenge ($\pm 0,5$ Massenprozent) modifiziert worden. Und am Ende hat man zusätzlich zur Füllermenge auch noch die Bitumenmenge um $\pm 0,5$ Massenprozent variiert.

Auf die Auswirkungen der Modifikation des Rezeptes auf die Hohlraumgehälter und die Tieftemperatur-Prüfergebnisse wird in den folgenden Abschnitten (8.1 bis 8.4) eingegangen und sie werden auch dort beschrieben.

8.1 Interpretation Einfluss Rezeptur auf Hohlraumgehälter

Der Mittelwert der Hohlraumgehälter bei PA-Mischgütern liegt in einem Intervall von 19,63 bis 24,84 Volums-Prozent, dies erkennt man in Tabelle 8.1-1. Die Standardabweichung liegt zwischen 0,27 und 0,76 V%, was einer geringen Abweichung entspricht. Das heißt die Gesteinskörnung ist während des Mischvorgangs vollständig mit Bitumen überzogen worden und in gleichbleibender Qualität verdichtet worden. Dadurch wurde nur auf die Mittelwertveränderung eingegangen.

Tabelle 8.1-1: Mittelwert und Standardabweichung Hohlraumgehälter PA

PA-Mischgut	Hohlraumgehalt	
	Mittelwert [V%]	Standardabweichung [V%]
PA 11 deck PmB 45/80-65, P1	21,07	0,54
PA 11 deck PmB 45/80-75, P1	22,83	0,66
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1	23,42	0,64
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, P1	24,84	0,27
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1	19,63	0,64
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, P1	23,11	0,76

Ausgehend vom Mischgut PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 mit 21,07 V% wurde durch Verwendung eines härteren Bitumens (PmB 45/80-75) der Hohlraum auf 22,83 V% gesteigert. Bei der Variation des Füllers wurde durch Zugabe von 0,5M% ein noch höherer Hohlraumgehalt generiert. Den größten Hohlraumgewinn erzielte man mit PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, P1. Da PA-Asphalt als Deckschicht vorwiegend zur Lärmminimierung eingesetzt wird, ist somit der größte Hohlraumgewinn auch die beste Lärmreduzierung.

In der Tabelle 8.1-2 ist ersichtlich, dass bei SMA-Mischgütern der Mittelwert der Hohlraumgehälter in einem Intervall von 8,82 bis 10,68 Volums-Prozent liegt. Die Standardabweichung liegt zwischen 0,29 und 0,61 V%, was auch wieder einer geringen Abweichung entspricht, was von einer gleichbleibenden Herstellungsqualität zeugt. Auch hier wurde nur auf die Mittelwertveränderung eingegangen.

Tabelle 8.1-2: Mittelwert und Standardabweichung Hohlraumgehälter SMA

SMA-Mischgut	Hohlraumgehalt	
	Mittelwert [V%]	Standardabweichung [V%]
SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	9,86	0,57
SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3	9,19	0,63
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, S3	9,86	0,59
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3	10,68	0,29
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3	9,38	0,61
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3	8,82	0,54

Vom Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 ausgehend mit 9,86 V% verringerte sich durch Benutzung eines härten Bitumens (PmB 45/80-75) der Hohlraum auf 9,19 V%. Durch plus 0,5M% Füller ist der Hohlraum gleichgeblieben. D.h. zur Kostenminimierung kann 0,5M% Füller bei gleichbleibendem Hohlraumgehalt eingespart werden. Den größten Zuwachs des Hohlraumgehaltes erlangte man mit SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3. Die Variation mit $\pm 0,5$ Massenprozent Füller und Bitumen führte beide Male zu einer Reduktion des Hohlraumgehaltes.

8.2 Interpretation der TSRST-Ergebnisse

Die Bruchtemperatur T_{crack} ist abhängig von Bindemittelgehalt, Bitumenklasse, Rezeptur des Mischguts und dem Verhältnis von Bindemittel zu Füller. [2]

Je höher die Bruchtemperatur und desto flacher der Spannungsverlauf des Versuches ist, desto besser für die Maximierung der Spannungsreserve.

Der Verlauf der kryogenen Spannung in Abhängigkeit der Temperatur ist immer wie folgt: Der erste Teil der Kurve ist der Teil, der durch viskoelastische Spannungsrelaxation gekennzeichnet ist. Hier krümmt sich die Linie aufgrund der Relaxation des Bitumens langsam nach oben. Wenn man hier die Temperatur wieder erhöht (=Entlastung), geht der Verlauf wieder die gleiche Linie hinunter und es bleibt keine plastische Verformung übrig.

Der zweite Teil der Kurve ist der Teil, der durch zunehmend elastisches Verhalten gekennzeichnet ist, was man am Verlauf der Kurve gut sieht, da sie annähernd linear wird. Das heißt die kryogene Spannung erhöht sich mit konstanter Steigung.

Im dritten Bereich bekommt der Probekörper Risse, die zu einer Querschnittsminimierung und im Endeffekt zum Bruch führen. Dadurch sinkt die Spannung kurz vor dem Bruch.

Je besser die Asphaltdurchmischung mittels Gegenlaufzwangsmischer und je gleichmäßiger die Verdichtung mittels Walzensegments, desto paralleler und näher liegen die Verläufe der einzelnen Versuchskörper beieinander. Dies spiegelt sich in dem Hohlraumgehalt wider. Je weniger Unterschied beim Hohlraumgehalt der einzelnen Probekörper ist, desto geringer ist die Streuung der Ergebnisse. Dies sieht man gut im Anhang in der Abbildung A7; Probe K787E mit 21,3 V% Hohlraumgehalt und K787B mit 21,2 V% Hohlraumraumgehalt liegen bis -20°C auf der gleichen Linie und verlaufen danach mit einer sehr geringen Abweichung. Die Probe K788B mit nur 20,7 V% Hohlraum besitzt einen komplett anderen Verlauf. Aus dieser Erkenntnis wurden bei den nachfolgenden Versuchen aus einem Mischgut die Probekörper ausgewählt, die annähernd den gleichen Hohlraumgehalt besitzen.

In den Tabellen 8.2-1 und 8.2-2 wurden die Mittelwerte und Standardabweichung der Bruchtemperaturen T_{crack} und der dazugehörigen Bruchspannung σ_{kry} dargestellt.

Wie bereits in Kapitel 7.2 erörtert, wurde darauf geachtet, die Wiederhol- und Vergleichspräzision laut ÖNORM EN 12697-46:2020 einzuhalten. Dies bedeutet, dass die Standardabweichung der verwendeten TSRST-Messergebnisse bei T_{crack} maximal $1,0^{\circ}\text{C}$ besitzen darf und die Standardabweichung bei der Bruchspannung σ_{kry} maximal $0,25\text{ N/mm}^2$. Aufgrund von großen Abweichungen der Inhomogenität von Asphalt innerhalb eines Mischgutes konnten, aufgrund von Kosteneinsparungen, die Vorgaben nicht immer eingehalten werden.

Tabelle 8.2-1: Mittelwert und Standardabweichung TSRST-Versuche PA

PA-Mischgut	T _{crack} [°C]		σ _{kry} [N/mm ²]	
	Mittelwert [°C]	Standardabw. [°C]	Mittelwert [N/mm ²]	Standardabw. [N/mm ²]
PA 11 deck PmB 45/80-65, P1	-30,03	0,97	1,43	0,06
PA 11 deck PmB 45/80-75, P1	-30,47	0,42	1,50	0,00
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1	-30,60	0,95	1,50	0,10
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, P1	-30,03	0,95	1,43	0,06
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1	-29,73	0,80	1,53	0,23
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, P1	-28,00	1,47	1,33	0,06

Die Wiederhol- und Vergleichspräzision konnte bei den PA-Mischgütern, wie in Tabelle 8.2-1 ersichtlich, bei allen Bruchspannungen eingehalten werden. Dies war aber bezüglich Bruchtemperaturen nicht überall möglich. Das Mischgut PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, P1 wich mit 1,47 °C zu stark ab.

Ausgehend vom Mischgut PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 mit einem Mittelwert der Bruchtemperaturen T_{crack} von -30,03°C und dem Mittelwert der dazugehörigen Bruchspannung σ_{kry} von 1,43 N/mm² erhöhte sich sowohl T_{crack_mittel} (auf -30,47°C) als auch σ_{kry_mittel} (auf 1,50 N/mm²) bei Verwendung eines härteren Bitumens (PmB 45/80-75). Bei der Variation des Füllers wurde durch Zugabe von 0,5M% der höchste T_{crack_mittel} (-30,60°C) generiert, wobei σ_{kry_mittel} zu dem Mischgut mit härterem Bitumen gleich blieb. Durch zusätzliche Bitumenvariation von -0,5 Massenprozent wurde die T_{crack_mittel} (auf -28,00°C) und die σ_{kry_mittel} (auf 1,33 N/mm²) gesenkt.

Tabelle 8.2-2: Mittelwert und Standardabweichung TSRST-Versuche SMA

SMA-Mischgut	T _{crack} [°C]		σ _{kry} [N/mm ²]	
	Mittelwert [°C]	Standardabw. [°C]	Mittelwert [N/mm ²]	Standardabw. [N/mm ²]
SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	-30,37	0,92	3,40	0,20
SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3	-29,57	1,00	3,53	0,21
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, S3	-28,73	1,00	3,10	0,30
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3	-30,77	1,47	3,80	0,40
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3	-30,00	0,61	3,67	0,21
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3	-29,10	0,53	3,43	0,06

Auch hier hat man darauf geachtet, die Wiederhol- und Vergleichspräzision bei den SMA-Mischgütern, wie in Tabelle 8.2-2 ersichtlich, einzuhalten. Leider ist dies bei zwei Mischgütern nicht möglich gewesen. Bei SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, S3 war die Standardabweichung der Bruchspannung σ_{kry} mit 0,30 N/mm² zu hoch und bei dem Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3 waren beide Standardabweichungen zu groß.

Vom Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 ausgehend mit einem Mittelwert der Bruchtemperaturen T_{crack} von -30,37°C und dem Mittelwert der dazugehörigen Bruchspannung σ_{kry} von 3,40 N/mm² verringert sich bei Verwendung eines härteren Bitumens (PmB 45/80-75) T_{crack_mittel} (auf -29,57°C), aber σ_{kry_mittel} erhöht sich (auf 3,53 N/mm²). Durch Zugabe von 0,5M% Füller verringert sich sowohl T_{crack_mittel} (auf -28,73°C) als auch σ_{kry_mittel} (auf 3,10 N/mm²). Wenn man die 0,5M% Füller abzieht, erhält man den höchsten Wert von T_{crack_mittel} (-30,77°C) und auch von σ_{kry_mittel} (3,80 N/mm²).

Die Messergebnisse der reinen TSRST-Messversuche sagen aber leider noch nichts über eine Vergrößerung oder Verkleinerung der Spannungsreserve aus. Nur die Kombination der Ergebnisse der TSRST-Versuche (großes T_{crack_mittel} ; flacher Spannungsverlauf) mit den Ergebnissen der UTST-Versuche (hohe Zugfestigkeiten) lässt eine qualitative Interpretation zur Maximierung der Spannungsreserve zu.

8.3 Interpretation der UTST-Ergebnisse

Auch hier ist die Zugfestigkeit bei Tieftemperatur abhängig von Bindemittelgehalt, Bitumenklasse, Rezeptur des Mischguts und dem Verhältnis von Bindemittel zu Füller. [2]

Je höher Werte der einzelnen Zugfestigkeiten bei Bruch sind, desto besser ist dies für die Maximierung der Spannungsreserve.

Die Mittelwerte und Standardabweichung der Ergebnisse der Zugfestigkeit sind in den Tabellen 8.3-1 und 8.3-2 zusammengefasst.

Auch hier wurde, wie bereits in Kapitel 7.2 erörtert, als erstes auf die Einhaltung der Wiederhol- und Vergleichspräzision laut ÖNORM EN 12697-46:2020 geachtet. Das bedeutet, dass die Standardabweichung der Zugfestigkeiten β_t der verwendeten UTST-Messergebnisse bei 5°C maximal 0,15 N/mm² betragen darf und bei -10°C bzw. -25°C nicht mehr als 0,35 N/mm².

Tabelle 8.3-1: Mittelwert und Standardabweichung UTST-Versuche PA

PA-Mischgut	β_t [N/mm ²] bei 5°C		β_t [N/mm ²] bei -10°C		β_t [N/mm ²] bei -25°C	
	Mittelwert [N/mm ²]	Standardabw. [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]	Standardabw. [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]	Standardabw. [N/mm ²]
PA 11 deck PmB 45/80-65, P1	0,69	0,12	1,81	0,24	1,59	0,13
PA 11 deck PmB 45/80-75, P1	0,58	0,01	1,69	0,04	1,44	0,19
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1	0,67	0,02	1,67	0,29	1,75	0,15
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, P1	0,55	0,02	1,65	0,16	1,41	0,15
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1	0,57	0,02	1,85	0,17	1,53	0,24
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, P1	0,61	0,04	1,58	0,10	1,45	0,23

Die Wiederhol- und Vergleichspräzision konnte bei den PA-Mischgütern, wie in Tabelle 8.3-1 ersichtlich, bei allen Mischgütern für die Prüftemperaturen von 5°C, -10°C und -25°C eingehalten werden. Dies war aber nur möglich, wie im Detail im Abschnitt 7.3 erörtert, da man beim Mischgut PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 bei der Prüftemperatur 5°C statt den vorgesehenen drei UTST-Prüfergebnissen nur zwei gewertet hat.

Wie in Tabelle 8.3-1 ersichtlich, sind folgende Veränderungen durch Modifikation des Rezeptes bei den PA-Mischgütern zu sehen:

Prüftemperatur 5°C:

Ausgehend vom Mischgut PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 mit einem Mittelwert der Zugfestigkeit β_t von 0,69 N/mm² wurde durch die Verwendung eines härteren Bitumens (PmB 45/80-75) $\beta_{t,mittel}$ auf 0,58 N/mm² gesenkt, das nachvollziehbar ist, da ein härteres Bitumen mit höherem Erweichungspunkt schlechteres Tieftemperaturverhalten aufweist und spröder ist als PmB 45/80-65. Anschließend wurde der Fülleranteil verändert. Bei Zugabe von 0,5M% Füller ändert sich $\beta_{t,mittel}$ kaum, nur bei Abzug von 0,5M% Füller senkt sich $\beta_{t,mittel}$ auf 0,55 N/mm², was dem tiefsten Mittelwert bei 5°C Prüftemperatur entspricht. Durch zusätzliche Bitumenvariation von $\pm 0,5$ Massenprozent wurde $\beta_{t,mittel}$ auf 0,57 N/mm² bei Zugabe bzw. $\beta_{t,mittel}$ auf 0,57 N/mm² bei Abzug gesenkt.

Prüftemperatur -10°C:

Wieder vom Mischgut PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 ausgehend mit einem Mittelwert der Zugfestigkeit β_t von 1,81 N/mm² erhöht sich $\beta_{t,mittel}$ bei dem Mischgut von PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1 sehr gering (auf 1,85 N/mm²). Die restlichen Mischgüter führen nur zu einer Verringerung der Mittelwerte der Zugfestigkeit β_t .

Prüftemperatur -25°C:

Auch hier geht man wieder vom Mischgut PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 aus und sieht, dass das Mischgut PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1 zu fast keiner Veränderung des $\beta_{t,mittel}$ führt. Den höchsten Mittelwert der Zugfestigkeit bei der Prüftemperatur von -25°C bekommt man durch die Zugabe von 0,5M% Füller ($\beta_{t,mittel} = 1,75$ N/mm²).

Tabelle 8.3-2: Mittelwert und Standardabweichung UTST-Versuche SMA

SMA-Mischgut	β_t [N/mm ²] bei 5°C		β_t [N/mm ²] bei -10°C		β_t [N/mm ²] bei -25°C	
	Mittelwert [N/mm ²]	Standardabw. [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]	Standardabw. [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]	Standardabw. [N/mm ²]
SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	1,42	0,20	3,58	0,25	3,89	0,06
SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3	1,36	0,30	4,41	0,16	3,38	0,43
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, S3	1,44	0,06	4,22	0,19	4,18	0,31
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3	1,18	0,34	4,10	0,24	3,93	0,20
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3	1,42	0,04	4,65	0,10	4,37	0,18
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3	1,56	0,04	3,99	0,25	3,80	0,26

Auch hier hat man darauf geachtet die Wiederhol- und Vergleichspräzision bei den SMA-Mischgütern, wie in Tabelle 8.3-2 ersichtlich, einzuhalten. Aufgrund, wie schon öfters erwähnt, von Kosteneinsparungen wurden die Wiederhol- und Vergleichspräzisionen hier gleich von drei Mischgütern überschritten. Bei SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 und bei SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3 waren die Standardabweichungen bei der Prüftemperatur von 5°C der Zugfestigkeiten β_t mit 0,20 N/mm² bzw. mit 0,34 N/mm² zu hoch. Beim Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3 sind sowohl für Prüftemperatur von 5°C (mit 0,30 N/mm²) als auch für die Prüftemperatur von -25°C (mit 0,43 N/mm²) die Standardabweichungen zu hoch.

In der Tabelle 8.3-2 sind folgende Veränderungen durch Modifikation des Rezeptes bei den SMA-Mischgütern ersichtlich:

Prüftemperatur 5°C:

Ausgehend vom Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 mit einem $\beta_{t,mittel}$ von 1,42 N/mm² wurde durch den Gebrauch eines härteren Bitumens (PmB 45/80-75) der Mittelwert der Zugfestigkeit β_t auf 1,36 N/mm² gesenkt. Dies liegt, wie schon bei PA beschrieben, am schlechteren Tieftemperaturverhalten von hartem Bitumen. Darauf folgend wurde der Fülleranteil modifiziert. Bei plus 0,5M% Füller ändert sich $\beta_{t,mittel}$ kaum (wie schon bei PA), nur bei minus 0,5M% Füller senkt sich $\beta_{t,mittel}$ auf 1,18 N/mm², was wie beim PA den tiefsten Mittelwert bei 5° C Prüftemperatur entspricht. Den höchsten Mittelwert der Zugfestigkeit bei der Prüftemperatur von 5°C ($\beta_{t,mittel} = 1,56$ N/mm²) bekommt man durch Abzug von 0,5M% Bitumen und Füller.

Prüftemperatur -10°C:

Wieder vom Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 ausgehend mit einem Mittelwert der Zugfestigkeit β_t von 3,58 N/mm² erhöht sich, anders als erwartet, der $\beta_{t,mittel}$ (auf 4,41 N/mm²) bei der Verwendung eines härteren Bitumens (PmB 45/80-75). Die restlichen Mischgüter führen alle zu einer Erhöhung der Mittelwerte der Zugfestigkeit β_t . Den größten Zugfestigkeits-Gewinn (+1,07 N/mm²) erzielte man mit dem Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3.

Prüftemperatur -25°C:

Hier geht man wieder vom Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 mit einem $\beta_{t,mittel}$ von 3,89 N/mm² aus. Wie gewohnt, senkt sich der Mittelwert der Zugfestigkeit β_t (auf 3,38 N/mm²) bei Verwendung eines härteren Bitumens (PmB 45/80-75). Den höchsten Mittelwert der Zugfestigkeit bei der Prüftemperatur von -25°C, wie auch bei -10°C, bekommt man durch die Zugabe von 0,5M% Bitumen und Füller ($\beta_{t,mittel} = 4,37$ N/mm²).

8.4 Interpretation der Spannungsreserve

Es wird als erstes auf die Spannungsreserven inklusive Hohlraum Bezug genommen, die durch TSRST- und UTST-Versuche ermittelt wurden. Da der Hohlraumgehalt einen großen Einfluss auf die Versuchsergebnisse und somit auch auf die Spannungsreserve hat, wurden im zweiten Unterpunkt die Ergebnisse der Spannungsreserve ohne Hohlraumgehalt dargestellt und interpretiert.

8.4.1 Spannungsreserve (inklusive Hohlraumgehalt)

Der Verlauf der Spannung in Abhängigkeit der Temperatur ist bei allen geprüften Asphaltproben wie folgt: Die Spannungen steigen bis zu einer Tieftemperatur von zirka -10°C und besitzen dort die maximale Spannungsreserven und fallen danach bis zum Bruch.

Die in den Abbildungen 7.4-1 bis 7.4-6 für PA-Mischgüter und in den Abbildungen 7.4-7 bis 7.4-12 für SMA-Mischgüter dargestellten Spannungsreserve-Diagramme wurden zur leichteren Unterscheidbarkeit der Veränderung aufgrund von Rezeptur in Tabelle 8.4-1 bzw. Tabelle 8.4-2 zusammengefasst. Es wurden aus den Diagrammen die maximale Spannungsreserve $\Delta\beta_{t,max}$ sowie die dazugehörige Temperatur $T_{\Delta\beta_{t,max}}$ abgelesen und in tabellarischer Form dargestellt:

Tabelle 8.4-1: maximale Spannungsreserve PA

PA-Mischgut	$\Delta\beta_{t,max}$ [N/mm ²]	$T_{\Delta\beta_{t,max}}$ [°C]
PA 11 deck PmB 45/80-65, P1	1,62	-10,6
PA 11 deck PmB 45/80-75, P1	1,50	-10,2
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1	1,63	-11,2
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, P1	1,48	-10,6
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1	1,66	-10,3
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, P1	1,39	-10,2

Wie auch in den vorigen Interpretationen wird vom Mischgut PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 mit einer maximalen Spannungsreserve $\Delta\beta_{t,max}$ von $1,62\text{ N/mm}^2$ bei einer Temperatur von $-10,6^{\circ}\text{C}$ ausgegangen. Bei Verwendung eines härteren Bitumens (PmB 45/80-75) verringert sich sowohl $\Delta\beta_{t,max}$ auf $1,50\text{ N/mm}^2$ als auch die dazugehörige Temperatur auf $-10,2^{\circ}\text{C}$, da, wie schon in den UTST-Versuchsergebnissen beschrieben, härteres Bitumen schlechteres Tieftemperaturverhalten aufweist als PmB 45/80-65. Durch plus 0,5M% Füller ist der $\Delta\beta_{t,max}$ gleichgeblieben, aber durch die Verschiebung der dazugehörigen Temperatur um $0,6^{\circ}\text{C}$ wurde insgesamt das Tieftemperaturverhalten besser. Bei minus 0,5M% Füller wird bei gleicher Temperatur eine niedrigere Spannungsreserve erreicht ($\Delta\beta_{t,max} = 1,48\text{ N/mm}^2$). Durch zusätzliche Bitumenvariation von $\pm 0,5\text{ M}\%$ wurde $\Delta\beta_{t,max}$ auf $1,66\text{ N/mm}^2$ erhöht (bei Zugabe) bzw. $\Delta\beta_{t,max}$ auf $1,39\text{ N/mm}^2$ (bei Abzug) gesenkt. Die dazugehörigen Temperaturen waren annähernd gleich hoch wie die Temperatur bei der Ausgangsmischung.

Meiner Meinung nach ist das Rezept mit +0,5M% Bit/F die beste Wahl für die Maximierung der Spannungsreserve bei Tieftemperaturverhalten von PA-Mischgütern. Da aber die Ergebnisse von +0,5M% Füller und +0,5M% Bit/F sehr nahe beieinander liegen und die Wiederhol- und Vergleichspräzision laut ÖNORM EN 12697-46:2020 nicht immer eingehalten wurde, bedarf es für diese zwei Mischgüter eine erweiterte Laborprüfung mit einer noch größeren Anzahl an geprüften Asphaltproben.

Tabelle 8.4-2: maximale Spannungsreserve SMA

SMA-Mischgut	$\Delta\beta_{t,max}$ [N/mm ²]	$T_{\Delta\beta_{t,max}}$ [°C]
SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	3,12	-11,2
SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3	3,87	-10,1
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, S3	3,72	-11,1
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3	3,67	-11,2
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3	4,17	-11,2
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3	3,55	-10,2

Ausgehend vom Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 mit einer maximalen Spannungsreserve $\Delta\beta_{t,max}$ von $3,12\text{ N/mm}^2$ bei einer Temperatur von $-11,2^{\circ}\text{C}$ wurde durch Änderung des Bitumens (PmB 45/80-75) $\Delta\beta_{t,max}$ zwar auf $3,87\text{ N/mm}^2$ erhöht, aber die dazugehörige Temperatur um einen Grad gesenkt. Durch Zugabe von 0,5M% Füller ist bei gleichbleibender Temperatur die maximale Spannungsreserve $\Delta\beta_{t,max}$ auf $3,72\text{ N/mm}^2$ angewachsen. Bei Abzug von 0,5M%

Füller war der Zuwachs mit $\Delta\beta_{t_max}$ von 3,67 N/mm² nicht so hoch. Den größten Spannungsreserve-Gewinn (+1,05 N/mm²) bei exakt gleicher Temperatur $T_{\Delta\beta_{t_max}}$ erzielte man mit dem Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3.

Da hier, gegenüber den PA-Mischgütern, das Rezept mit +0,5M% Bit/F sich deutlich als beste Wahl für die Maximierung der Spannungsreserve bei Tieftemperaturverhalten von SMA-Mischgütern zeigt, sind hier keine erweiterten Laborprüfungen notwendig.

8.4.2 Spannungsreserve (exklusive Hohlraumgehalt)

Mittels der Formeln in Kapitel 7.5 wurden die effektiven Spannungsreserven durch die gemittelten Hohlraumgehalte berechnet und die Ergebnisse in Tabelle 8.4-3 und Tabelle 8.4-4 dargestellt.

Tabelle 8.4-3: maximale Spannungsreserve ohne Hohlraum PA

PA-Mischgut	$\Delta\beta_{t_max}$ [N/mm ²]	Gemittelter Hohlraum [V%]	$\Delta\beta_{t_max_effektiv}$ [N/mm ²]
PA 11 deck PmB 45/80-65, P1	1,62	21,1	2,05
PA 11 deck PmB 45/80-75, P1	1,50	22,8	1,94
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1	1,63	23,4	2,13
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, P1	1,48	24,8	1,97
PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1	1,66	19,6	2,06
PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, P1	1,39	23,1	1,81

Wie man in Tabelle 8.4-3 sofort sieht, sind die effektiven Spannungsreserven $\Delta\beta_{t_max_effektiv}$ (ohne Hohlraum) deutlich höher als die maximalen Spannungsreserven $\Delta\beta_{t_max}$ (mit Hohlraum).

Vom Mischgut PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 ausgehend ist die effektive Spannungsreserve $\Delta\beta_{t_max_effektiv}$ gleich 2,05 N/mm². Der gemittelte Hohlraumgehalt der Proben inklusive Hohlraum beträgt 21,1 V%. Durch den Einsatz eines härteren Bitumens (PmB 45/80-75) wurde, wie für härteres Bitumen gewöhnlich, $\Delta\beta_{t_max_effektiv}$ gesenkt (auf 1,94 N/mm²). Durch Zugabe von 0,5M% Füller ist $\Delta\beta_{t_max_effektiv}$ auf 2,13 N/mm² gestiegen, was der höchste Wert aller PA-Mischgüter ist. Bei $\Delta\beta_{t_max}$ (mit Hohlraum) ist der Wert aber wie die Ausgangsmischung gleichgeblieben. Dies liegt daran, dass der gemittelte Hohlraumgehalt um 2,3V% zunahm. Durch Abzug von 0,5M% Füller bekommt man ein $\Delta\beta_{t_max_effektiv}$ von 1,97 N/mm². Durch zusätzliche Bitumenvariation von $\pm 0,5$ M% wurde $\Delta\beta_{t_max_effektiv}$ auf 2,06 N/mm² erhöht bei Zugabe bzw. $\Delta\beta_{t_max_effektiv}$ auf 1,81 N/mm² bei Abzug gesenkt.

Beim PA-Mischgut findet man die maximale Spannungsreserve bei Zugabe von +0,5M% Füller mit $\Delta\beta_{t_max_effektiv} = 2,13$ N/mm² und somit einen Unterschied zum Ergebnis inklusive Hohlraum. Auch hier liegen die Ergebnisse der Mischgüter PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1 und PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1 sehr nahe beieinander, was die Erkenntnis, wie bereits inklusive Hohlraum angeführt, untermauert, eine erweiterte Laborprüfung mit einer noch größeren Anzahl an geprüften Asphaltproben durchzuführen.

Tabelle 8.4-4: maximale Spannungsreserve ohne Hohlraum SMA

SMA-Mischgut	$\Delta\beta_{t_max}$ [N/mm ²]	Gemittelter Hohlraum [V%]	$\Delta\beta_{t_max_effektiv}$ [N/mm ²]
SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	3,12	9,9	3,46
SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3	3,87	9,2	4,26
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, S3	3,72	9,9	4,13
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% F, S3	3,67	10,7	4,11
SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3	4,17	9,4	4,60
SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5M% Bit/F, S3	3,55	8,8	3,89

Wie auch in den vorigen Interpretationen wird vom Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 mit einer $\Delta\beta_{t_max_effektiv}$ gleich $3,46 \text{ N/mm}^2$ ausgegangen. 9,9 V% beträgt der gemittelte Hohlraumgehalt der Proben inklusive Hohlraum, was ungefähr der Hälfte gegenüber PA-Mischgütern entspricht. Bei Verwendung eines härteren Bitumens (PmB 45/80-75) wurde, wie schon bei $\Delta\beta_{t_max}$ inklusive Hohlraum beobachtet, eine Erhöhung der effektiven Spannungsreserve $\Delta\beta_{t_max_effektiv}$ (auf $4,26 \text{ N/mm}^2$) bemerkt. Die restlichen Mischgüter führen alle zu einer Erhöhung der Werte von $\Delta\beta_{t_max_effektiv}$. Den größten Zugfestigkeits-Gewinn ($+1,14 \text{ N/mm}^2$) erzielte man mit dem Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3.

Somit wurde gezeigt, dass man bei SMA-Mischgütern die größte Spannungsreserve durch Zugabe von +0,5M% Bitumen und +0,5M% Füller erhält, da sowohl die Spannungsreserve mit bzw. ohne Berücksichtigung des Hohlraums den größten Wert aller geprüften SMA-Platten aufweisen. Diese Eigenschaft erkaufte man sich aber mit einer geringen Reduzierung des Hohlraumgehalts, was zu einer erhöhten Lärmemission beim Überrollen führt.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Die im Rahmen meiner Diplomarbeit durchgeführten Versuche und die Interpretation der Ergebnisse zeigen, dass das Tieftemperaturverhalten von Asphalt sehr abhängig von der Mischgutzusammensetzung ist.

Zur Modifikation der Mischgüter (PA und SMA) wurde ausgehend von den Asphalt-Rezepten PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 und SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 als erstes ein härteres Bitumen (PmB 45/80-75) verwendet, anschließend ist die Füllermenge ($\pm 0,5$ Massenprozent) modifiziert worden. Und am Ende hat man zusätzlich zur Füllermenge auch noch die Bitumenmenge um $\pm 0,5$ Massenprozent variiert.

Die Herstellung der Prüfkörper, die Berechnung der nötigen Eingangsparameter und die Verklebung der Adapter, damit die Probekörper geprüft werden können, findet man im Kapitel 4.

Insgesamt wurden 6 verschiedene Mischgüter von offenporigem Asphalt (PA) und 6 verschiedene Mischgüter von Splittmastixasphalt (SMA) hergestellt. Dadurch erhielt man 24 Platten mit 192 Probekörpern. Davon wurden 44 Stück für TSRST-Versuche verwendet, wobei nur 36 verwertbare Ergebnisse lieferten. Im Anschluss wurden noch 117 Stück für UTST-Versuche benötigt, wovon nur 106 verwertbare Ergebnisse lieferten.

Am Ende wurden alle Einzelergebnisse ausgewertet, die Spannungsreserve berechnet und grafisch dargestellt.

Es wurde gezeigt, dass durch Zugabe von 0,5 M% Bitumen und 0,5M% Füllergehalt eine Verbesserung der Tieftemperaturverhalten erzeugt wird.

Der Vergleich zwischen PA- zu SMA-Mischgütern ist nicht möglich, da es sich um zwei komplett verschiedene Deckschichtasphalte handelt. Es kommt auf den Fokus des Kunden (=Autobahngesellschaft) an.

Entweder liegt der Fokus des Kunden auf Lärminderung, dann rate ich zu einem PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% F, P1 mit einer Steigerung der Spannungsreserven von $0,04 \text{ N/mm}^2$ (gegenüber der Ausgangsmischung PA 11 deck PmB 45/80-65) beziehungsweise PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, P1 mit einem Zuwachs der Spannungsreserven von $0,01 \text{ N/mm}^2$. Leider bedarf es für diese zwei Mischgüter noch einer erweiterten Laborprüfung mit einer noch größeren Anzahl an geprüften Asphaltproben, um sagen zu können, welches Mischgut besser ist. Dafür hat man beim Einsatz von PA-Mischgut nur die halbe Spannungsreserve eines SMA-Mischgutes und der Deckasphalt hat somit eine kürzere Lebensdauer als SMA. Des Weiteren ist die Reinigung des von außen zugänglichen Hohlraums aufwendiger.

Wenn der Fokus rein auf der Maximierung der verkehrsinduzierten Belastung liegt, ist das Mischgut SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F, S3 zu empfehlen. Die Steigerung der Spannungsreserven beträgt $1,05 \text{ N/mm}^2$, was einem Gewinn der verkehrsinduzierten Belastung von 33,6% entspricht (gegenüber der Ausgangsmischung SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5M% Bit/F).

Um die Asphalt-Rezepturen, auch in der Realität im Tieftemperaturverhalten auf Österreichs Autobahnen anzuwenden, bedarf es, selbstverständlich einer Wiederholung sämtlicher Versuche mit einer größeren Anzahl an Probekörpern durch mehrere unabhängige Labormitarbeiter.

Leider sagt auch die Wiederholung sämtlicher Versuche durch unabhängige Labormitarbeiter nichts über die zukünftige Einsetzbarkeit auf europäischen Straßen aus, da nur das Verhalten bei Tieftemperatur untersucht wurde und das Hochtemperaturverhalten unberücksichtigt blieb.

Zur Verifizierung der Ergebnisse bedarf es zusätzlich zur Überprüfung des Tieftemperaturverhaltens einer Versuchsreihe für Hochtemperatur (triaxiale zyklische Druckschwellprüfungen) und Ermüdung (4-Punkt Biegeprüfung Steifigkeitsversuche und Ermüdungsversuche).

Dies ist speziell in der heutigen Zeit durch den Klimawandel von großer Bedeutung. Im Sommer werden die Temperaturen immer höher und die Winter beginnen immer milder zu werden.

10 Literaturverzeichnis

- [1] R. Blab und L. Eberhardsteiner. Straßenbau und Straßenerhaltung LVA 230.040; Vorlesungsskript. Sommersemester 2021.
- [2] B. Hofko. Baustoffe im Verkehrswegebau LVA 230.025; Vorlesungsskript; Sommersemester 2016.
- [3] R. Blab. Straßenbau LVA 230.009; Vorlesungsskript; Wintersemester 2016.
- [4] Lexikon der Geographie: Gestein (abgerufen 10. Februar.2023).
url: www.spektrum.de/lexikon/geographie/gestein/3031.
- [5] ÖNORM EN 1426:2015-09 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Nadelpenetration
- [6] ÖNORM EN 1427:2015-09 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung des Erweichungspunktes – Ring- und Kugel-Verfahren
- [7] ÖNORM EN 12593:2015-09 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung des Brechpunktes nach Fraaß
- [8] ÖNORM EN 13589:2018-08 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung der Streckeigenschaften von modifiziertem Bitumen mit dem Kraft-Duktilitäts-Verfahren
- [9] ÖNORM EN 13398:2018-02 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung der elastischen Rückstellung von modifiziertem Bitumen
- [10] ÖNORM EN 14771:2012-08 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung der Biege-kriechsteifigkeit – Biegebalkenrheometer (BBR)
- [11] ÖNORM EN 14770:2012-08 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung des komplexen Schermoduls und des Phasenwinkels – Dynamisches Scherrheometer (DSR)
- [12] ÖNORM EN 13302:2018-08 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung der dynamischen Viskosität von bitumenhaltigem Bindemittel mit einem Viskosimeter mit rotierender Spindel
- [13] ÖNORM EN 12697-11:2020-05 Asphalt – Prüfverfahren – Teil 11: Bestimmung der Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen
- [14] ÖNORM EN 12697-22:2020-05 Asphalt – Prüfverfahren – Teil 22: Spurbildungstest
- [15] ÖNORM EN 12697-34:2020-05 Asphalt – Prüfverfahren – Teil 34: Marshall-Prüfung
- [16] ÖNORM EN 12697-43:2014-10 Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 43: Treibstoffbeständigkeit
- [17] ÖNORM EN 12697-41:2014-03 Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 41: Widerstand gegen chemische Auftaumittel
- [18] ÖNORM EN 12697-12:2018-10 Asphalt – Prüfverfahren – Teil 12: Bestimmung der Wasserempfindlichkeit von Asphalt-Probekörpern
- [19] ÖNORM EN 12697-46:2020-05 Asphalt – Prüfverfahren – Teil 46: Widerstand gegen Kälterisse und Tieftemperaturverhalten bei einachsigen Zugversuchen
- [20] ÖNORM EN 12697-25:2016-12 Asphalt – Prüfverfahren – Teil 25: Druck-Schwellversuch
- [21] ÖNORM EN 12697-26:2022-12 Asphalt – Prüfverfahren – Teil 26: Steifigkeit
- [22] ÖNORM EN 12697-24:2018-11 Asphalt – Prüfverfahren – Teil 24: Beständigkeit gegen Ermüdung
- [23] GESTRATA - Gesellschaft zur Pflege der Straßenbautechnik mit Asphalt (Hrsg.): Asphalt Handbuch. bcom Advertising GmbH, Wien, 4. Auflage 2010.
- [24] G. Neroth; D. Vollenschaar Wendehorst Baustoffkunde. Grundlagen - Baustoffe - Oberflächenschutz. 27. Auflage Vieweg + Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2011
- [25] ÖNORM EN 12607-1:2015-01 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft – Teil 1: RTFOT-Verfahren
- [26] ÖNORM EN 14769:2012-08 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Beschleunigte Langzeit-Alterung mit einem Druckalterungsbehälter (PAV)
- [27] ÖNORM EN 12591:2009-08 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel – Anforderungen an Straßenbaubitumen
- [28] ÖNORM B 3613:2018-02 Polymermodifizierte Bitumen für den Straßenbau Anforderungen
- [29] ÖNORM EN 12697-30:2019-03 Asphalt – Prüfverfahren – Teil 30: Probenvorbereitung, Marshall-Verdichtungsgerät
- [30] ÖNORM EN 12697-19:2020-05 Asphalt – Prüfverfahren – Teil 19: Durchlässigkeit der Probekörper
- [31] Hartsteinwerk Loja (abgerufen 26. Februar, 2023). url: www.loja.at
- [32] Leistungserklärung Hartsteinwerk Loja (abgerufen 26. Februar.2023). url: www.loja.at/wp-content/uploads/2022/10/Leistungserklaerungen-Loja-Stand-Oktober-2022.pdf

- [33] ÖNORM EN 933-1:2012-03 Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Siebverfahren
- [34] ÖNORM EN 13043:2002 Gesteinskörnungen für Asphalt und Oberflächenbehandlungen für Straßen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen.
- [35] CTW-Bindemittelzusätze: VIATOP PREMIUM (abgerufen 01.03. März.2023). url: www.ctwmuttenz.ch/index.php/viatop-premium
- [36] B. Hofko. und K. Kappl. Straßenbautechnisches Laborpraktikum LVA 230.046; Vorlesungsskript. Sommersemester 2022
- [37] ÖNORM EN 12697-35:2016-11 Asphalt - Prüfverfahren Teil 35: Labormischung
- [38] ÖNORM B 3584-2:2018-02 Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen – Splittmastixasphalt Teil 2: Gebrauchsverhaltensorientierte Anforderungen
- [39] ÖNORM B 3586-2:2018-02 Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Offenporiger Asphalt Teil 2: Gebrauchsverhaltensorientierte Anforderungen
- [40] ÖNORM EN 12697-5:2019-02-01 Asphalt — Prüfverfahren Teil 5: Bestimmung der Rohdichte
- [41] ÖNORM EN 12697-33:2022-12 Asphalt – Prüfverfahren – Teil 33: Probestückvorbereitung mittels Walzverdichtungsgerät
- [42] ÖNORM EN 12697-29:2020-08-01 Asphalt – Prüfverfahren Teil 29: Bestimmung der Maße von Asphalt-Probekörpern
- [43] ÖNORM EN 12697-6:2020-05-01 Asphalt – Prüfverfahren Teil 6: Bestimmung der Raumdichte von Asphalt-Probekörpern
- [44] ÖNORM EN 12697-8: 2019-02-01 Asphalt – Prüfverfahren Teil 8: Bestimmung von volumetrischen Charakteristiken von Asphalt-Probekörpern
- [45] Kleiberit (abgerufen 08.März.2023). url: www.kleiberit-direct.com

11 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.2-1: schematische Bitumenherstellung [2]	9
Abb. 2.2-2: Zeitlicher Verlauf der Alterung [2]	11
Abb. 2.2-3: schematischer Penetrationstest [1]	12
Abb. 2.2-4: schematischer Erweichungspunkt Ring-Kugel-Test [1]	13
Abb. 2.2-5: schematischer Brechpunkt nach Fraaß Test [1]	13
Abb. 2.2-6: Kraft-Duktilität Test [1]	14
Abb. 2.2-7: elastische Rückstellung Test [1]	14
Abb. 2.2-8: Übersicht Gebrauchseigenschaften eines Bindemittels [1]	15
Abb. 2.2-9: schematischer Direct Tension Test [1]	15
Abb. 2.2-10: schematischer Biegebalkenrheometer Test [1]	16
Abb. 2.2-11: schematischer DSR-Test [1]	16
Abb.2.2-12: Sinusförmiger Verlauf der rotierenden Platte [1]	16
Abb. 2.2-13: schematischer Rotations-Viskosimetrie Test [1]	17
Abb. 2.3-1: Triaxiale zyklische Druckschwellprüfung (TCCT) [2]	20
Abb. 2.3-2: 4-Punkt Biegeprüfung TSTST [2]	21
Abb. 3.1-1: Siebmaschine	22
Abb. 3.1-2: Prüfeinrichtung Siebverfahren	23
Abb. 3.1-3: Sieblinie Loja 8-11	24
Abb. 4.1-1: Sieblinie SMA 11 deck PmB 45/80-65 ohne Bindemittel (empirisch)	26
Abb. 4.1-2: Sieblinie SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	27
Abb. 4.2-1: Gegenlaufzwangsmischer geschlossen + Abb. 4.2-2: Gegenlaufzwangsmischer offen	28
Abb. 4.2-3: Blechbox (Links) / Platte mit ummanteltem Tuch (Mitte) / Verdichtungsform Oberteil (Rechts)	28
Abb. 4.2-4: Walzensegmentverdichtungsmaschine von Infratest	29
Abb. 4.2-5: Pyknometer	30
Abb. 4.2-6: 25°C Wasserbad mit Tauchwiegung	30
Abb. 4.2-7: Einspannbank für Probenvorbereitung	32
Abb. 4.2-8: Lagerung der geklebten Probekörper in Temperaturschrank bei 10°C	32
Abb. 5.1-1: Prüfmaschine	33
Abb. 5.1-2: Klimakammer	33
Abb. 5.2-1: Abkühlprüfung TSTST [2]	34
Abb. 5.3-1: Direkter Zugversuch UTST [2]	35
Abb. 5.4-1: Ermittlung der Zugfestigkeitsreserve [2]	35
Abb. 5.5-1: Anfahr-Prozess oben	36
Abb. 5.5-2: 0-Stellung Wegaufnehmer unten	36
Abb. 5.5-3: gebrochener Probekörper	37
Abb. 7.4-1: Spannungsreserve-PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 Ziel HG 25%	44
Abb. 7.4-2: Spannungsreserve-PA 11 deck PmB 45/80-75, P1 Ziel HG 25%	45
Abb. 7.4-3: Spannungsreserve-PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% F, P1 Ziel HG 25%	45
Abb. 7.4-4: Spannungsreserve-PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% F, P1 Ziel HG 25%	45
Abb. 7.4-5: Spannungsreserve-PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% Bit/F, P1 Ziel HG 25%	46
Abb. 7.4-6: Spannungsreserve-PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% Bit/F, P1 Ziel HG 25%	46
Abb. 7.4-7: Spannungsreserve-SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 Ziel HG 10%	47
Abb. 7.4-8: Spannungsreserve-SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3 Ziel HG 10%	47
Abb. 7.4-9: Spannungsreserve-SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% F, S3 Ziel HG 10%	47
Abb. 7.4-10: Spannungsreserve-SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% F, S3 Ziel HG 10%	48
Abb. 7.4-11: Spannungsreserve-SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% Bit/F, S3 Ziel HG 10%	48
Abb. 7.4-12: Spannungsreserve-SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% Bit/F, S3 Ziel HG 10%	48

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1-1: Ergebnisse Loja 8/11	23
Tabelle 4.1-1: Ermittlung der Ist-Sieblinie	25
Tabelle 4.1-2: empirische Grenzsieblinien laut ÖNORM B 3584-1:2018-02 Tabelle 5.....	26
Tabelle 4.1-3: Einwaage - SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3	27
Tabelle 6.1-1: Versuchsparameter TSRST	37
Tabelle 6.2-1: Versuchsparameter UTST 5°C / -15°C / -25°C	38
Tabelle 7.1-1: Hohlraumgehälter PA.....	40
Tabelle 7.1-2: Hohlraumgehälter SMA	40
Tabelle 7.2-1: TSRST Bruchtemperatur und Bruchspannung.....	41
Tabelle 7.2-2: Fehlmessungen und abgewählte TSRST Bruchtemperaturen	41
Tabelle 7.3-1: Ergebnisse Zugfestigkeit UTST 5°C	42
Tabelle 7.3-2: Ergebnisse Zugfestigkeit UTST -10°C	42
Tabelle 7.3-3: Ergebnisse Zugfestigkeit UTST -25°C	43
Tabelle 7.3-4: Abgewählte UTST-Ergebnisse.....	43
Tabelle 8.1-1: Mittelwert und Standardabweichung Hohlraumgehälter PA.....	50
Tabelle 8.1-2: Mittelwert und Standardabweichung Hohlraumgehälter SMA.....	50
Tabelle 8.2-1: Mittelwert und Standardabweichung TSRST-Versuche PA.....	52
Tabelle 8.2-2: Mittelwert und Standardabweichung TSRST-Versuche SMA.....	52
Tabelle 8.3-1: Mittelwert und Standardabweichung UTST-Versuche PA	53
Tabelle 8.3-2: Mittelwert und Standardabweichung UTST-Versuche SMA.....	54
Tabelle 8.4-1: maximale Spannungsreserve PA	55
Tabelle 8.4-2: maximale Spannungsreserve SMA	55
Tabelle 8.4-3: maximale Spannungsreserve ohne Hohlraum PA	56
Tabelle 8.4-4: maximale Spannungsreserve ohne Hohlraum SMA.....	56

Anhang

Gesteinskörnung - Sieblinien und Siebdurchgang

Füller



Abb. A1: Sieblinie Füller

Tabelle A1: Siebdurchgang Füller

Korngröße [mm]	Siebdurchgang [M-%]			Kornklasse [mm]	Anteil an der Kornklasse [M-%]		
	Siebung 1	Siebung 2	Mittelwert		Siebung 1	Siebung 2	Mittelwert
< 0,063	64,2	64,2	64,2	[0/0,063]	64,2	64,2	64,2
< 0,125	89,8	89,8	89,8	[0,063/0,125]	25,6	25,6	25,6
< 0,25	99,1	99,1	99,1	[0,125/0,25]	9,3	9,3	9,3
< 0,5	100,0	100,0	100,0	[0,25/0,5]	0,9	0,9	0,9
< 1	100,0	100,0	100,0	[0,5/1]	0,0	0,0	0,0
< 2	100,0	100,0	100,0	[1/2]	0,0	0,0	0,0
< 4	100,0	100,0	100,0	[2/4]	0,0	0,0	0,0
< 8	100,0	100,0	100,0	[4/8]	0,0	0,0	0,0
< 11,2	100,0	100,0	100,0	[8/11,2]	0,0	0,0	0,0
< 16	100,0	100,0	100,0	[11,2/16]	0,0	0,0	0,0
< 22,4	100,0	100,0	100,0	[16/22,4]	0,0	0,0	0,0
< 31,5	100,0	100,0	100,0	[22,4/31,5]	0,0	0,0	0,0
< 63	100,0	100,0	100,0	[31,5/63]	0,0	0,0	0,0
				Summe	100,0	100,0	100,0

Loja 0/2



Abb. A2: Sieblinie Loja 0/2

Tabelle A2: Siebdurchgang Loja 0/2

Korngröße [mm]	Siebdurchgang [M-%]			Kornklasse [mm]	Anteil an der Kornklasse [M-%]		
	Siebung 1	Siebung 2	Mittelwert		Siebung 1	Siebung 2	Mittelwert
< 0,063	3,2	5,9	4,6	[0/0,063]	3,2	5,9	4,6
< 0,125	6,2	11,1	8,6	[0,063/0,125]	3,0	5,1	4,1
< 0,25	18,9	22,5	20,7	[0,125/0,25]	12,7	11,4	12,0
< 0,5	35,9	37,1	36,5	[0,25/0,5]	17,0	14,7	15,9
< 1	60,5	55,8	58,1	[0,5/1]	24,6	18,6	21,6
< 2	93,8	88,7	91,2	[1/2]	33,3	32,9	33,1
< 4	100,0	100,0	100,0	[2/4]	6,2	11,3	8,8
< 8	100,0	100,0	100,0	[4/8]	0,0	0,0	0,0
< 11,2	100,0	100,0	100,0	[8/11,2]	0,0	0,0	0,0
< 16	100,0	100,0	100,0	[11,2/16]	0,0	0,0	0,0
< 22,4	100,0	100,0	100,0	[16/22,4]	0,0	0,0	0,0
< 31,5	100,0	100,0	100,0	[22,4/31,5]	0,0	0,0	0,0
< 63	100,0	100,0	100,0	[31,5/63]	0,0	0,0	0,0
				Summe	100,0	99,9	100,1

Loja 2/4



Abb. A3: Sieblinie Loja 2/4

Tabelle A3: Siebdurchgang Loja 2/4

Korngröße [mm]	Siebdurchgang [M-%]			Kornklasse [mm]	Anteil an der Kornklasse [M-%]		
	Siebung 1	Siebung 2	Mittelwert		Siebung 1	Siebung 2	Mittelwert
< 0,063	1,1	2,0	1,6	[0/0,063]	1,1	2,0	1,6
< 0,125	1,5	2,4	2,0	[0,063/0,125]	0,4	0,4	0,4
< 0,25	2,0	2,9	2,4	[0,125/0,25]	0,5	0,5	0,5
< 0,5	2,8	3,6	3,2	[0,25/0,5]	0,8	0,7	0,7
< 1	4,6	5,0	4,8	[0,5/1]	1,8	1,4	1,6
< 2	11,5	11,2	11,3	[1/2]	6,9	6,2	6,6
< 4	82,2	75,0	78,6	[2/4]	70,8	63,8	67,3
< 8	100,0	100,0	100,0	[4/8]	17,8	25,0	21,4
< 11,2	100,0	100,0	100,0	[8/11,2]	0,0	0,0	0,0
< 16	100,0	100,0	100,0	[11,2/16]	0,0	0,0	0,0
< 22,4	100,0	100,0	100,0	[16/22,4]	0,0	0,0	0,0
< 31,5	100,0	100,0	100,0	[22,4/31,5]	0,0	0,0	0,0
< 63	100,0	100,0	100,0	[31,5/63]	0,0	0,0	0,0
				Summe	100,1	100,0	100,1

Loja 4/8

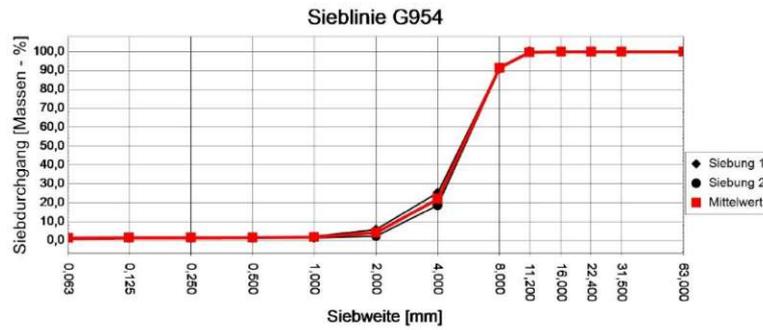


Abb. A4: Sieblinie Loja 4/8

Tabelle A4: Siebdurchgang Loja 4/8

Korngröße [mm]	Siebdurchgang [M-%]			Kornklasse [mm]	Anteil an der Kornklasse [M-%]		
	Siebung 1	Siebung 2	Mittelwert		Siebung 1	Siebung 2	Mittelwert
< 0,063	1,2	1,4	1,3	[0/0,063]	1,2	1,4	1,3
< 0,125	1,6	1,4	1,5	[0,063/0,125]	0,3	0,0	0,2
< 0,25	1,7	1,4	1,5	[0,125/0,25]	0,1	0,0	0,1
< 0,5	1,8	1,4	1,6	[0,25/0,5]	0,1	0,0	0,0
< 1	2,3	1,5	1,9	[0,5/1]	0,6	0,1	0,3
< 2	5,9	2,4	4,2	[1/2]	3,6	0,9	2,3
< 4	25,4	18,7	22,0	[2/4]	19,5	18,3	17,9
< 8	91,9	91,1	91,5	[4/8]	66,5	72,4	69,5
< 11,2	99,5	100,0	99,7	[8/11,2]	7,6	8,9	8,2
< 16	100,0	100,0	100,0	[11,2/16]	0,5	0,0	0,3
< 22,4	100,0	100,0	100,0	[16/22,4]	0,0	0,0	0,0
< 31,5	100,0	100,0	100,0	[22,4/31,5]	0,0	0,0	0,0
< 63	100,0	100,0	100,0	[31,5/63]	0,0	0,0	0,0
				Summe	100,0	100,0	100,1

Loja 8/11

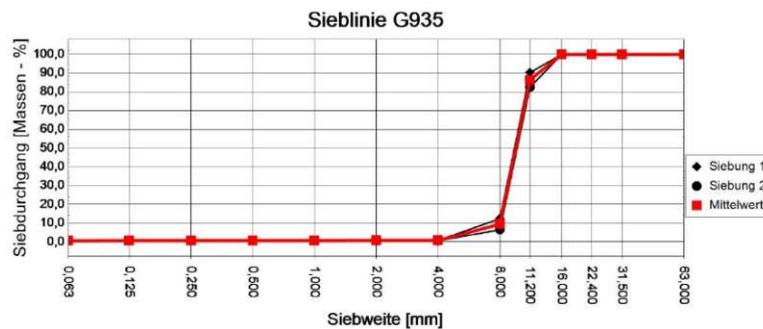


Abb. A5: Sieblinie Loja 8/11

Tabelle A5: Siebdurchgang Loja 8/11

Korngröße [mm]	Siebdurchgang [M-%]			Kornklasse [mm]	Anteil an der Kornklasse [M-%]		
	Siebung 1	Siebung 2	Mittelwert		Siebung 1	Siebung 2	Mittelwert
< 0,063	0,6	0,4	0,5	[0/0,063]	0,6	0,4	0,5
< 0,125	0,7	0,5	0,6	[0,063/0,125]	0,1	0,1	0,1
< 0,25	0,7	0,5	0,6	[0,125/0,25]	0,0	0,1	0,0
< 0,5	0,7	0,5	0,6	[0,25/0,5]	0,0	0,0	0,0
< 1	0,7	0,5	0,6	[0,5/1]	0,0	0,0	0,0
< 2	0,8	0,6	0,7	[1/2]	0,0	0,0	0,0
< 4	0,8	0,6	0,7	[2/4]	0,1	0,0	0,0
< 8	12,4	6,5	9,5	[4/8]	11,6	6,0	8,8
< 11,2	90,3	82,5	86,4	[8/11,2]	77,9	75,9	76,9
< 16	100,0	100,0	100,0	[11,2/16]	9,7	17,5	13,6
< 22,4	100,0	100,0	100,0	[16/22,4]	0,0	0,0	0,0
< 31,5	100,0	100,0	100,0	[22,4/31,5]	0,0	0,0	0,0
< 63	100,0	100,0	100,0	[31,5/63]	0,0	0,0	0,0
				Summe	100,0	100,0	99,9

Loja 8/11 gesiebt

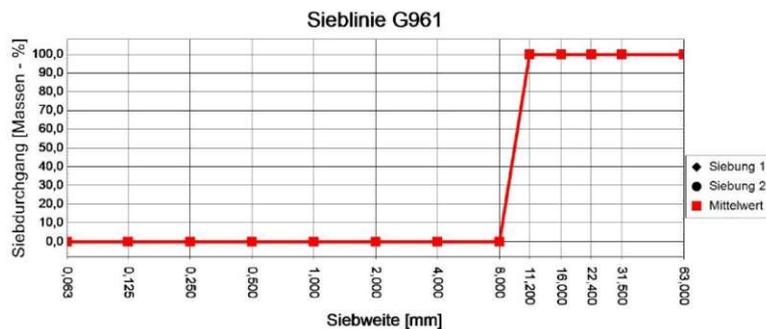


Abb. A6: Sieblinie Loja 0/2

Tabelle A6: Siebdurchgang Loja 0/2

Korngröße [mm]	Siebdurchgang [M-%]			Kornklasse [mm]	Anteil an der Kornklasse [M-%]		
	Siebung 1	Siebung 2	Mittelwert		Siebung 1	Siebung 2	Mittelwert
< 0,063	0,0	0,0	0,0	[0/0,063]	0,0	0,0	0,0
< 0,125	0,0	0,0	0,0	[0,063/0,125]	0,0	0,0	0,0
< 0,25	0,0	0,0	0,0	[0,125/0,25]	0,0	0,0	0,0
< 0,5	0,0	0,0	0,0	[0,25/0,5]	0,0	0,0	0,0
< 1	0,0	0,0	0,0	[0,5/1]	0,0	0,0	0,0
< 2	0,0	0,0	0,0	[1/2]	0,0	0,0	0,0
< 4	0,0	0,0	0,0	[2/4]	0,0	0,0	0,0
< 8	0,0	0,0	0,0	[4/8]	0,0	0,0	0,0
< 11,2	100,0	100,0	100,0	[8/11,2]	100,0	100,0	100,0
< 16	100,0	100,0	100,0	[11,2/16]	0,0	0,0	0,0
< 22,4	100,0	100,0	100,0	[16/22,4]	0,0	0,0	0,0
< 31,5	100,0	100,0	100,0	[22,4/31,5]	0,0	0,0	0,0
< 63	100,0	100,0	100,0	[31,5/63]	0,0	0,0	0,0
				Summe	100,0	100,0	100,0

Asphaltplatte - Einwaage

PA

Tabelle A7: Einwaage - PA 11 deck PmB 45/80-65, P1

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1522	Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	25,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	1,913		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K787	Freundl	7,0	17.404	17.404	
K788	Freundl	7,0	17.404	17.404	
				erforderliche Masse [g]	34.808
				aufgerundete Masse [g]	37.000
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			6,20	2294,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				2344,5
Zusatz	S260 Viatop Premium			0,50	185,0
Gestein	F167, G934, G961			93,30	34521,0
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1129A	45/80-65 PmB	6,20	2294,0	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	185,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	5,00	1850,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	2,00	740,00	
[8 - 11]	G961	Loja 8/11 (ausgesiebt)	86,30	31931,00	
			Summe	100,00	37.000,0

Tabelle A8: Einwaage - PA 11 deck PmB 45/80-75, P1

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1524	Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-75, P1		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	25,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	1,913		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K791	Freundl	8,0	19.890	19.890	
K792	Freundl	8,0	19.890	19.890	
				erforderliche Masse [g]	39.780
				aufgerundete Masse [g]	42.000
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			6,20	2604,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				2661,3
Zusatz	S260 Viatop Premium			0,50	210,0
Gestein	F167, G934, G961			93,30	39186,0
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1129A	45/80-65 PmB	6,20	2604,0	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	210,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	5,00	2100,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	2,00	840,00	
[8 - 11]	G961	Loja 8/11 (ausgesiebt)	86,30	36246,00	
			Summe	100,00	42.000,0

Tabelle A9: Einwaage - PA 11 deck PmB 45/80-65, +0,5 M% Bit/F, P1

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1531	Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 +B/F		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	25,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	1,913		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K796	Freundl	7,0	17.404	17.404	
K797	Freundl	7,0	17.404	17.404	
Rohdichte	-	1	1.120	1.120	
			erforderliche Masse [g]	35.928	
			aufgerundete Masse [g]	38.000	
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			6,82	2591,6
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				2648,6
Zusatz	S260 Viatop Premium			0,50	190,0
Gestein	F167, G934, G961			92,68	35218,4
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1129A	45/80-65 PmB	6,82	2591,6	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	190,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	5,50	2090,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	1,99	756,20	
[8 - 11]	G961	Loja 8/11 (ausgesiebt)	85,19	32372,20	
	Summe			100,00	38.000,0

Tabelle A10: Einwaage - PA 11 deck PmB 45/80-65, -0,5 M% Bit/F, P1

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1532	Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 -B/F		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	25,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	1,913		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K798	Freundl	7,0	17.404	17.404	
K799	Freundl	7,0	17.404	17.404	
Rohdichte	-	1	1.120	1.120	
			erforderliche Masse [g]	35.928	
			aufgerundete Masse [g]	38.000	
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			5,58	2120,4
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				2167,0
Zusatz	S260 Viatop Premium			0,50	190,0
Gestein	F167, G934, G961			93,92	35689,6
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1129A	45/80-65 PmB	5,58	2120,4	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	190,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	4,50	1710,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	2,02	767,60	
[8 - 11]	G961	Loja 8/11 (ausgesiebt)	87,40	33212,00	
	Summe			100,00	38.000,0

Tabelle A11: Einwaage - PA 11 deck PmB 45/80-65, +0,5 M% F, P1

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1543	Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 +F		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	25,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	1,913		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
E1254	Freundl	7,0	17.404	17.404	
K807	Freundl	7,0	17.404	17.404	
				erforderliche Masse [g]	34.808
				aufgerundete Masse [g]	37.000
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			6,20	2294,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				2344,5
Zusatz	S260 Viatop Premium			0,50	185,0
Gestein	F167, G934, G961			93,30	34521,0
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1129A	45/80-65 PmB	6,20	2294,0	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	185,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	5,50	2035,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	2,00	740,00	
[8 - 11]	G961	Loja 8/11 (ausgesiebt)	85,80	31746,00	
Summe			100,00	37.000,0	

Tabelle A12: Einwaage - PA 11 deck PmB 45/80-65, -0,5 M% F, P1

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1544	Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 -F		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	25,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	1,913		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K809	Freundl	7,0	17.404	17.404	
K810	Freundl	7,0	17.404	17.404	
				erforderliche Masse [g]	34.808
				aufgerundete Masse [g]	37.000
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			6,20	2294,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				2344,5
Zusatz	S260 Viatop Premium			0,50	185,0
Gestein	F167, G934, G961			93,30	34521,0
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1129A	45/80-65 PmB	6,20	2294,0	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	185,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	4,50	1665,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	2,00	740,00	
[8 - 11]	G961	Loja 8/11 (ausgesiebt)	86,80	32116,00	
Summe			100,00	37.000,0	

SMA

Tabelle A13: Einwaage - SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1523	Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	15,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,168		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K789	Freundl	7,0	19.724	19.724	
K790	Freundl	7,0	19.724	19.724	
			erforderliche Masse [g]	39.448	
			aufgerundete Masse [g]	42.000	
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		5,60	2352,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			2403,7	
Zusatz	S260 Viatop Premium		0,50	210,0	
Gestein	F167, G901, G934, G935, G954		93,90	39438,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1129A	45/80-65 PmB	5,60	2352,0	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	210,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	7,00	2940,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	14,00	5880,00	
[2 - 4]	G901	Loja 2/4	16,00	6720,00	
[4 - 8]	G954	Loja 4/8	24,00	10080,00	
[8 - 11]	G935	Loja 8/11	32,90	13818,00	
	Summe		100,00	42.000,0	

Tabelle A14: Einwaage - SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1530	Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	15,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,168		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K795	Freundl	7,0	19.724	19.724	
			erforderliche Masse [g]	19.724	
			aufgerundete Masse [g]	22.000	
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		5,60	1232,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			1259,1	
Zusatz	S260 Viatop Premium		0,50	110,0	
Gestein	F167, G901, G934, G935, G954		93,90	20658,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1161A	PmB 45/80-65	5,60	1232,0	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	110,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	8,00	1760,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	10,00	2200,00	
[2 - 4]	G901	Loja 2/4	16,00	3520,00	
[4 - 8]	G954	Loja 4/8	30,00	6600,00	
[8 - 11]	G935	Loja 8/11	29,90	6578,00	
	Summe		100,00	22.000,0	

Tabelle A15: Einwaage - SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1528	Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	15,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,168		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K793	Freundl	7,0	19.724	19.724	
K794	Freundl	7,0	19.724	19.724	
				erforderliche Masse [g]	39.448
				aufgerundete Masse [g]	42.000
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			5,60	2352,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				2403,7
Zusatz	S260 Viatop Premium			0,50	210,0
Gestein	F167, G901, G934, G935, G954			93,90	39438,0
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1026A	STARFALT 45/80-75	5,60	2352,0	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	210,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	7,00	2940,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	14,00	5880,00	
[2 - 4]	G901	Loja 2/4	16,00	6720,00	
[4 - 8]	G954	Loja 4/8	24,00	10080,00	
[8 - 11]	G935	Loja 8/11	32,90	13818,00	
Summe			100,00	42.000,0	

Tabelle A16: Einwaage - SMA 11 deck PmB 45/80-65, +0,5 M% Bit/F, S3

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1539	Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 +B/F		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	15,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,168		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K803	Freundl	7,0	19.724	19.724	
K804	Freundl	7,0	19.724	19.724	
				erforderliche Masse [g]	39.448
				aufgerundete Masse [g]	42.000
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			6,00	2520,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				2575,4
Zusatz	S260 Viatop Premium			0,50	210,0
Gestein	F167, G901, G934, G935, G954			93,53	39282,6
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1161A	PmB 45/80-65	6,00	2520,0	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	210,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	7,50	3150,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	13,44	5644,80	
[2 - 4]	G901	Loja 2/4	15,93	6690,60	
[4 - 8]	G954	Loja 4/8	23,90	10038,00	
[8 - 11]	G935	Loja 8/11	32,76	13759,20	
Summe			100,03	42.012,6	

Tabelle A17: Einwaage - SMA 11 deck PmB 45/80-65, -0,5 M% Bit/F, S3

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1540	Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 -B/F		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	15,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,168		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K805	Freundl	7,0	19.724	19.724	
K806	Freundl	7,0	19.724	19.724	
				erforderliche Masse [g]	39.448
				aufgerundete Masse [g]	42.000
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			5,20	2184,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				2232,0
Zusatz	S260 Viatop Premium			0,50	210,0
Gestein	F167, G901, G934, G935, G954			94,30	39606,0
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1161A	PmB 45/80-65	5,20	2184,0	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	210,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	6,50	2730,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	14,06	5905,20	
[2 - 4]	G901	Loja 2/4	16,07	6749,40	
[4 - 8]	G954	Loja 4/8	24,10	10122,00	
[8 - 11]	G935	Loja 8/11	33,57	14099,40	
Summe			100,00	42.000,0	

Tabelle A18: Einwaage - SMA 11 deck PmB 45/80-65, +0,5 M% F, S3

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1546	Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 +F		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	15,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,168		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattennummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K811	Freundl	7,0	19.724	19.724	
K812	Freundl	7,0	19.724	19.724	
				erforderliche Masse [g]	39.448
				aufgerundete Masse [g]	42.000
Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			5,60	2352,0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				2403,7
Zusatz	S260 Viatop Premium			0,50	210,0
Gestein	F167, G901, G934, G935, G954			93,90	39438,0
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1129A	45/80-65 PmB	5,60	2352,0	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	210,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	7,50	3150,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	14,00	5880,00	
[2 - 4]	G901	Loja 2/4	16,00	6720,00	
[4 - 8]	G954	Loja 4/8	24,00	10080,00	
[8 - 11]	G935	Loja 8/11	32,40	13608,00	
Summe			100,00	42.000,0	

Tabelle A19: Einwaage - SMA 11 deck PmB 45/80-65, -0,5 M% F, S3

Angaben zum Asphalt					
Laborcode	AS1547	Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 -F		
Ist-Rohdichte [g/cm ³]	2,550	Ziel-Hohlraumgehalt [V%]	15,0		
		Ziel-Raumdichte [g/cm ³]	2,168		
Angaben für die Probekörperherstellung					
Plattenummer	Verdichter	Dicke [cm]/ Anzahl [Stk]	Masse pro Platte [g]	Gesamtmasse [g]	
K813	Freundl	7,0	19.724	19.724	
K814	Freundl	7,0	19.724	19.724	
			erforderliche Masse [g]	39.448	
			aufgerundete Masse [g]	42.000	
Einwaage					
			Anteil [M%]	Masse [g]	
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt		5,60	2352,0	
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)			2403,7	
Zusatz	S260 Viatop Premium		0,50	210,0	
Gestein	F167, G901, G934, G935, G954		93,90	39438,0	
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen	B1129A	45/80-65 PmB	5,60	2352,0	
Zusatz	S260	Viatop Premium	0,50	210,00	
Füller	F167	Kalsteinmehl	6,50	2730,00	
[0 - 2]	G934	Loja 0/2	14,00	5880,00	
[2 - 4]	G901	Loja 2/4	16,00	6720,00	
[4 - 8]	G954	Loja 4/8	24,00	10080,00	
[8 - 11]	G935	Loja 8/11	33,40	14028,00	
	Summe		100,00	42.000,0	

Rohdichte, Abmessungen, Raumdichten und Hohlraumgehalte von Probekörpern

PA

Tabelle A20: Probekörper K787

Probedaten						
Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1		Laborcode	AS1522		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G961		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1129A		
Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,58	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdichte Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraum- gehalt [V%]
K787A	224,5	48,0	46,7	1014,8	2,019	21,7
K787B	224,6	50,0	49,9	1139,0	2,033	21,2
K787C	224,8	50,1	48,8	1130,5	2,055	20,3
K787D	225,0	50,7	49,1	1143,5	2,041	20,9
K787E	224,9	51,0	48,5	1129,3	2,031	21,3
K787F	225,1	51,2	48,4	1136,8	2,038	21,0
K787G	225,4	51,1	49,2	1140,5	2,010	22,1
K787H	224,9	50,9	49,8	1161,5	2,037	21,0

Tabelle A21: Probekörper K788

Probedaten						
Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1			Laborcode	AS1522	
Gesteinsart	Loja			Laborcode(s)	G934, G961	
Fremd-Füller	Kalsteinmehl			Laborcode(s)	F167	
Zusatz	Viatop Premium			Laborcode(s)	S260	
Bitumen	45/80-65 PmB			Laborcode	B1129A	
Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]		2,58	Verfahren		A - Volumetrisches Verfahren	
Prüftemperatur [°C]		25,0	Prüfflüssigkeit		luftfrei gekochtes Wasser	
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K788A	223,3	50,6	49,5	1151,5	2,059	20,2
K788B	223,5	50,6	48,7	1129,4	2,045	20,7
K788C	223,8	50,8	49,9	1172,1	2,068	19,8
K788D	224,2	50,6	49,6	1140,1	2,024	21,6
K788E	224,4	50,7	49,5	1141,2	2,028	21,4
K788F	224,7	51,0	51,5	1213,2	2,052	20,5
K788G	224,9	48,0	53,0	1161,1	2,029	21,4
K788H	225,0	48,6	47,6	1063,8	2,043	20,8

Tabelle A22: Probekörper K791

Probedaten						
Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-75, P1			Laborcode	AS1524	
Gesteinsart	Loja			Laborcode(s)	G934, G961	
Fremd-Füller	Kalsteinmehl			Laborcode(s)	F167	
Zusatz	Viatop Premium			Laborcode(s)	S260	
Bitumen	45/80-65 PmB			Laborcode	B1129A	
Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]		2,58	Verfahren		A - Volumetrisches Verfahren	
Prüftemperatur [°C]		25,0	Prüfflüssigkeit		luftfrei gekochtes Wasser	
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K791A	222,4	50,0	49,4	1091,1	1,984	23,1
K791B	223,2	49,7	49,4	1090,4	1,990	22,9
K791C	223,0	49,5	49,3	1083,7	1,993	22,8
K791D	223,1	49,6	49,2	1080,7	1,983	23,1
K791E	223,5	49,5	49,2	1077,0	1,982	23,2
K791F	222,6	49,7	49,4	1089,9	1,994	22,7
K791G	222,1	49,6	48,3	1062,1	1,995	22,7
K791H	222,1	50,0	48,0	1063,9	1,999	22,5

Tabelle A23: Probekörper K792

Probedaten						
Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-75, P1			Laborcode	AS1524	
Gesteinsart	Loja			Laborcode(s)	G934, G961	
Fremd-Füller	Kalsteinmehl			Laborcode(s)	F167	
Zusatz	Viatop Premium			Laborcode(s)	S260	
Bitumen	45/80-65 PmB			Laborcode	B1129A	
Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]		2,58	Verfahren		A - Volumetrisches Verfahren	
Prüftemperatur [°C]		25,0	Prüfflüssigkeit		luftfrei gekochtes Wasser	
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K792A	225,2	50,7	49,3	1110,0	1,971	23,6
K792B	225,2	50,7	49,2	1098,2	1,955	24,2
K792C	224,9	50,7	48,9	1107,5	1,988	22,9
K792D	224,9	50,4	49,0	1113,0	2,006	22,2
K792E	224,6	50,2	48,7	1094,7	1,991	22,8
K792F	224,4	49,5	48,3	1085,3	2,025	21,5
K792G	224,1	50,3	48,9	1114,5	2,021	21,7
K792H	224,1	49,4	49,3	1095,7	2,007	22,2

Tabelle A24: Probekörper K796

Probedaten						
Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 +B/F		Laborcode	AS1531		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G961		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1129A		
Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,532	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K796A	224,4	44,5	47,5	977,8	2,063	18,5
K796B	224,6	48,9	50,1	1124,2	2,042	19,4
K796C	224,7	50,6	50,8	1172,4	2,031	19,8
K796D	224,7	50,5	51,2	1173,8	2,021	20,2
K796E	224,7	50,5	50,6	1166,3	2,031	19,8
K796F	224,7	51,0	50,4	1160,7	2,009	20,7
K796G	224,2	50,7	51,2	1189,2	2,045	19,2
K796H	223,9	50,6	50,8	1155,1	2,008	20,7

Tabelle A25: Probekörper K797

Probedaten						
Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 +B/F		Laborcode	AS1531		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G961		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1129A		
Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,532	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K797A	223,6	47,4	46,1	993,6	2,034	19,7
K797B	224,3	51,4	52,8	1253,3	2,057	18,8
K797C	224,6	50,7	52,7	1227,1	2,045	19,2
K797D	225,1	52,4	48,5	1169,8	2,047	19,2
K797E	225,0	52,6	48,5	1180,3	2,054	18,9
K797F	225,4	52,1	49,6	1196,1	2,055	18,8
K797G	225,7	52,6	49,9	1217,6	2,055	18,8
K797H	226,2	49,5	52,0	1189,0	2,045	19,2

Tabelle A26: Probekörper K798

Probedaten						
Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 -B/F		Laborcode	AS1532		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G961		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1129A		
Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,634	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K798A	224,8	50,1	49,7	1142,5	2,041	22,5
K798B	224,4	50,3	49,2	1122,4	2,020	23,3
K798C	224,2	50,1	49,2	1107,0	2,004	23,9
K798D	224,2	50,3	49,8	1119,8	1,992	24,4
K798E	224,3	50,3	49,4	1129,0	2,026	23,1
K798F	224,1	50,4	51,1	1166,0	2,019	23,3
K798G	224,2	50,4	52,2	1180,9	2,002	24,0
K798H	223,1	49,3	48,5	1092,3	2,051	22,1

Tabelle A27: Probekörper K799

Probedaten						
Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 -B/F		Laborcode	AS1532		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G961		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1129A		

Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,634	Verfahren		A - Volumetrisches Verfahren		
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit		luftfrei gekochtes Wasser		
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K799A	223,9	49,0	49,7	1107,9	2,032	22,9
K799B	223,9	49,5	50,5	1128,5	2,017	23,4
K799C	223,7	48,9	50,8	1139,7	2,053	22,1
K799D	224,1	49,2	50,5	1130,6	2,031	22,9
K799E	223,9	49,5	49,5	1130,8	2,062	21,7
K799F	224,0	49,5	48,4	1103,2	2,056	21,9
K799G	223,5	49,2	48,5	1092,9	2,051	22,1
K799H	224,0	49,6	48,2	1088,1	2,032	22,9

Tabelle A28: Probekörper K807

Probedaten						
Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 +F		Laborcode	AS1543		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G961		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1129A		

Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,634	Verfahren		A - Volumetrisches Verfahren		
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit		luftfrei gekochtes Wasser		
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K807A	224,0	51,5	50,7	1170,1	2,000	24,1
K807B	224,0	51,0	50,0	1153,3	2,016	23,5
K807C	224,3	50,6	48,6	1116,7	2,027	23,0
K807D	224,3	50,8	50,2	1144,0	2,000	24,1
K807E	224,2	51,0	50,1	1145,5	2,000	24,1
K807F	224,2	51,2	50,8	1173,7	2,014	23,5
K807G	224,3	51,1	50,6	1185,1	2,043	22,4
K807H	224,1	51,2	50,4	1180,7	2,041	22,5

Tabelle A29: Probekörper K808

Probedaten						
Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 +F		Laborcode	AS1543		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G961		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1129A		

Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,634	Verfahren		A - Volumetrisches Verfahren		
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit		luftfrei gekochtes Wasser		
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K808A	223,4	50,7	50,6	1159,9	2,024	23,2
K808B	224,0	50,8	49,8	1152,7	2,037	22,7
K808C	224,2	50,4	48,8	1126,3	2,043	22,4
K808D	224,5	51,0	50,0	1156,8	2,018	23,4
K808E	224,9	50,9	50,0	1153,2	2,014	23,5
K808F	225,1	51,0	48,9	1123,4	2,002	24,0
K808G	225,2	51,0	50,1	1156,6	2,007	23,8
K808H	225,3	49,9	50,1	1129,8	2,007	23,8

Tabelle A30: Probekörper K809

Probedaten						
Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 -F		Laborcode	AS1544		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G961		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S280		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1129A		

Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,634	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K809A	222,5	49,4	48,7	1051,1	1,964	25,4
K809B	222,6	49,4	49,7	1089,5	1,993	24,3
K809C	222,4	49,3	49,9	1086,4	1,986	24,6
K809D	222,4	49,5	50,2	1091,8	1,974	25,1
K809E	222,2	49,5	50,3	1097,2	1,983	24,7
K809F	222,2	49,4	50,6	1099,5	1,981	24,8
K809G	222,1	49,2	48,9	1062,8	1,989	24,5
K809H	221,8	49,2	49,9	1072,2	1,969	25,2

Tabelle A31: Probekörper K810

Probedaten						
Asphaltsorte	PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 -F		Laborcode	AS1544		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G961		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S280		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1129A		

Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,634	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K810A	223,3	48,5	50,1	1055,2	1,945	26,2
K810B	223,8	50,1	50,9	1134,1	1,986	24,6
K810C	224,2	50,6	49,5	1110,8	1,978	24,9
K810D	224,5	50,6	50,1	1126,2	1,977	24,9
K810E	224,9	50,7	49,8	1131,8	1,994	24,3
K810F	225,2	50,4	50,5	1135,5	1,983	24,7
K810G	225,7	50,5	49,9	1127,8	1,983	24,7
K810H	225,7	50,5	50,9	1126,5	1,941	26,3

SMA

Tabelle A32: Probekörper K790

Probedaten						
Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3		Laborcode	AS1523		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G901, G954, G935		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1128A		
Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,518	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K790A	222,5	51,1	48,8	1267,9	2,282	9,4
K790B	222,8	51,2	49,2	1291,3	2,300	8,7
K790C	223,3	51,1	49,1	1281,0	2,287	9,2
K790D	223,5	51,2	49,5	1274,1	2,249	10,7
K790E	224,8	51,1	49,3	1276,9	2,253	10,5
K790F	224,6	51,3	49,4	1295,7	2,275	9,7
K790G	224,8	51,3	49,2	1292,0	2,279	9,5
K790H	225,3	48,7	49,8	1235,9	2,262	10,2
K790I	222,4	50,9	49,0	1265,1	2,310	8,3
K790J	223,2	51,4	49,4	1289,3	2,315	8,1
K790K	223,4	51,0	49,4	1278,3	2,307	8,4

Tabelle A33: Probekörper K793

Probedaten						
Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3		Laborcode	AS1528		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G901, G954, G935		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	STARFALT 45/80-75		Laborcode	B1026A		
Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,518	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K793A	223,4	49,4	48,7	1234,2	2,296	8,8
K793B	223,8	49,7	49,1	1262,2	2,315	8,1
K793C	224,0	49,8	49,1	1254,3	2,292	9,0
K793D	224,2	49,8	49,4	1257,9	2,281	9,4
K793E	224,8	49,9	48,7	1234,9	2,261	10,2
K793F	224,9	49,5	49,0	1240,0	2,273	9,7
K793G	225,4	49,6	48,9	1241,9	2,272	9,8
K793H	225,5	49,3	48,8	1224,2	2,257	10,4

Tabelle A34: Probekörper K794

Probedaten						
Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/60-75, S3		Laborcode	AS1528		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G901, G954, G935		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	STARFALT 45/60-75		Laborcode	B1026A		

Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,518	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			

Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K794A	223,6	48,6	48,0	1199,6	2,302	8,6
K794B	223,8	52,2	49,1	1322,1	2,302	8,6
K794C	224,5	51,6	48,3	1280,7	2,291	9,0
K794D	224,3	50,9	49,2	1285,8	2,290	9,1
K794E	224,9	50,8	48,5	1288,4	2,287	9,2
K794F	224,8	50,9	49,0	1281,7	2,288	9,1
K794G	225,0	50,9	49,2	1290,9	2,293	8,9
K794H	225,0	51,0	48,4	1255,5	2,261	10,2

Tabelle A35: Probekörper K795

Probedaten						
Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/60-75, S3		Laborcode	AS1530		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G901, G954, G935		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	PmB 45/60-65		Laborcode	B1161A		

Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,52	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			

Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K795A	223,3	48,8	48,1	1198,0	2,285	9,3
K795B	223,4	49,3	51,5	1290,4	2,277	9,6
K795C	223,6	49,3	49,9	1256,8	2,284	9,4
K795D	223,5	49,2	49,3	1238,2	2,284	9,4
K795E	223,5	49,3	50,3	1250,9	2,257	10,4
K795F	223,4	49,2	50,2	1255,5	2,276	9,7
K795G	223,4	48,8	50,1	1252,1	2,293	9,0
K795H	223,2	49,3	50,6	1247,0	2,242	11,0

Tabelle A36: Probekörper K803

Probedaten						
Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/60-65, S3 +B/F		Laborcode	AS1539		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G901, G954, G935		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	PmB 45/60-65		Laborcode	B1161A		

Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,526	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			

Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K803A	222,1	50,3	48,2	1224,9	2,273	10,0
K803B	222,9	50,3	51,8	1339,8	2,307	8,7
K803C	223,6	50,3	50,2	1294,4	2,291	9,3
K803D	223,6	51,5	50,8	1346,8	2,302	8,9
K803E	223,8	51,8	50,6	1349,0	2,297	9,1
K803F	224,2	51,8	50,3	1337,3	2,291	9,3
K803G	224,5	51,8	50,9	1352,4	2,286	9,5
K803H	224,8	51,2	50,9	1355,3	2,313	8,4

Tabelle A37: Probekörper K804

Probedaten						
Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 +B/F	Laborcode	AS1539			
Gesteinsart	Loja	Laborcode(s)	G934, G901, G954, G935			
Fremd-Füller	Kalsteinmehl	Laborcode(s)	F167			
Zusatz	Viatop Premium	Laborcode(s)	S260			
Bitumen	PmB 45/80-65	Laborcode	B1161A			
Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,526	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K804A	222,5	50,3	49,9	1263,5	2,265	10,3
K804B	222,8	50,3	49,7	1280,1	2,297	9,1
K804C	223,4	50,2	49,2	1272,8	2,305	8,7
K804D	223,9	50,2	49,6	1261,4	2,263	10,4
K804E	224,3	50,4	49,5	1268,9	2,268	10,2
K804F	224,8	50,1	49,4	1274,6	2,292	9,3
K804G	225,3	50,3	49,6	1296,8	2,308	8,6
K804H	225,6	50,3	49,8	1297,6	2,296	9,1

Tabelle A38: Probekörper K805

Probedaten						
Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 - B/F	Laborcode	AS1540			
Gesteinsart	Loja	Laborcode(s)	G934, G901, G954, G935			
Fremd-Füller	Kalsteinmehl	Laborcode(s)	F167			
Zusatz	Viatop Premium	Laborcode(s)	S260			
Bitumen	PmB 45/80-65	Laborcode	B1161A			
Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,526	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K805A	223,0	49,4	49,2	1243,8	2,297	9,1
K805B	222,9	52,1	50,0	1340,2	2,307	8,7
K805C	223,0	51,3	49,9	1304,0	2,285	9,5
K805D	222,8	51,1	50,4	1310,0	2,286	9,5
K805E	222,8	51,1	50,2	1314,9	2,301	8,9
K805F	222,5	51,2	50,3	1315,8	2,298	9,0
K805G	222,5	51,3	50,0	1307,3	2,294	9,2
K805H	222,1	51,4	50,1	1293,4	2,258	10,6

Tabelle A39: Probekörper K806

Probedaten						
Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 - B/F	Laborcode	AS1540			
Gesteinsart	Loja	Laborcode(s)	G934, G901, G954, G935			
Fremd-Füller	Kalsteinmehl	Laborcode(s)	F167			
Zusatz	Viatop Premium	Laborcode(s)	S260			
Bitumen	PmB 45/80-65	Laborcode	B1161A			
Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,526	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K806A	223,8	50,5	49,4	1275,4	2,284	9,6
K806B	223,8	50,1	49,1	1263,1	2,293	9,2
K806C	223,7	50,6	49,0	1276,8	2,304	8,8
K806D	223,6	50,5	49,1	1285,4	2,318	8,2
K806E	223,6	50,4	49,0	1275,1	2,310	8,6
K806F	223,5	50,5	48,6	1270,0	2,314	8,4
K806G	223,6	50,4	48,7	1278,4	2,329	7,8
K806H	223,5	50,2	48,4	1257,2	2,313	8,4

Tabelle A40: Probekörper K811

Probedaten						
Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 +F		Laborcode	AS1546		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G901, G954, G935		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1129A		

Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,526	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdichte Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K811A	222,8	47,9	49,3	1165,7	2,219	12,2
K811B	222,8	49,5	49,3	1235,2	2,273	10,0
K811C	222,8	49,3	49,1	1219,7	2,260	10,5
K811D	222,8	49,5	49,4	1231,2	2,260	10,5
K811E	222,5	49,1	49,8	1240,8	2,282	9,7
K811F	222,5	49,1	49,5	1233,1	2,283	9,6
K811G	222,4	49,3	49,7	1244,5	2,285	9,5
K811H	222,3	49,2	49,4	1229,1	2,273	10,0

Tabelle A41: Probekörper K812

Probedaten						
Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 +F		Laborcode	AS1546		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G901, G954, G935		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1129A		

Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,526	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdichte Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K812A	224,5	52,6	49,6	1318,5	2,249	11,0
K812B	224,6	51,8	49,8	1314,0	2,270	10,1
K812C	224,4	51,0	49,4	1292,7	2,285	9,5
K812D	224,1	50,4	48,9	1258,1	2,277	9,9
K812E	223,8	50,4	48,5	1254,3	2,293	9,2
K812F	223,4	50,4	48,8	1258,8	2,293	9,2
K812G	223,2	50,3	48,7	1257,9	2,303	8,8
K812H	222,7	50,4	48,7	1253,6	2,294	9,2

Tabelle A42: Probekörper K813

Probedaten						
Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 -F		Laborcode	AS1547		
Gesteinsart	Loja		Laborcode(s)	G934, G901, G954, G935		
Fremd-Füller	Kalsteinmehl		Laborcode(s)	F167		
Zusatz	Viatop Premium		Laborcode(s)	S260		
Bitumen	45/80-65 PmB		Laborcode	B1129A		

Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,526	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdichte Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K813A	222,7	50,2	48,2	1212,1	2,245	11,1
K813B	222,7	50,5	49,8	1265,9	2,261	10,5
K813C	222,7	50,3	49,2	1245,5	2,260	10,5
K813D	222,7	50,4	49,5	1242,7	2,241	11,3
K813E	222,7	50,7	49,7	1257,5	2,242	11,2
K813F	222,5	50,5	49,4	1251,2	2,255	10,7
K813G	222,3	50,3	49,3	1247,2	2,263	10,4
K813H	221,8	50,4	49,3	1240,9	2,254	10,8

Tabelle A43: Probekörper K814

Probedaten						
Asphaltsorte	SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 -F	Laborcode	AS1547			
Gesteinsart	Loja	Laborcode(s)	G934, G901, G954, G935			
Fremd-Füller	Kalsteinmehl	Laborcode(s)	F167			
Zusatz	Viatop Premium	Laborcode(s)	S260			
Bitumen	45/80-65 PmB	Laborcode	B1129A			

Prüfergebnisse						
Rohdichte des Mischgutes						
Rohdichte [Mg/m ³]	2,526	Verfahren	A - Volumetrisches Verfahren			
Prüftemperatur [°C]	25,0	Prüfflüssigkeit	luftfrei gekochtes Wasser			
Probekörper	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse trocken [g]	Raumdicke Verf. D [Mg/m ³]	Hohlraumgehalt [V%]
K814A	220,8	50,4	50,0	1258,1	2,262	10,5
K814B	221,0	50,4	49,1	1247,0	2,284	9,6
K814C	221,3	50,5	49,4	1257,4	2,277	9,9
K814D	221,7	50,5	49,6	1259,0	2,268	10,2
K814E	222,1	50,3	49,2	1237,0	2,250	10,9
K814F	222,3	50,1	49,6	1247,9	2,256	10,7
K814G	222,7	50,2	50,1	1267,4	2,262	10,5
K814H	222,9	50,3	50,0	1264,3	2,256	10,7

PA-Einzelversuche

TSRST

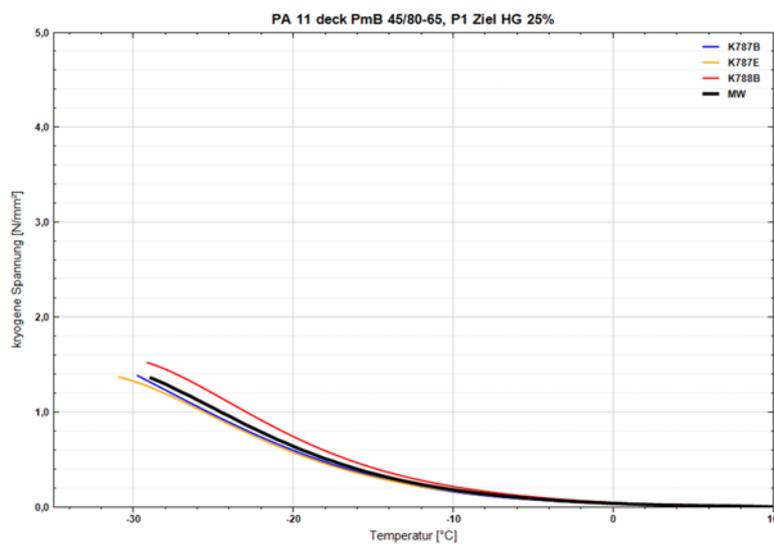


Abb. A7: TSRST - PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 Ziel HG 25%

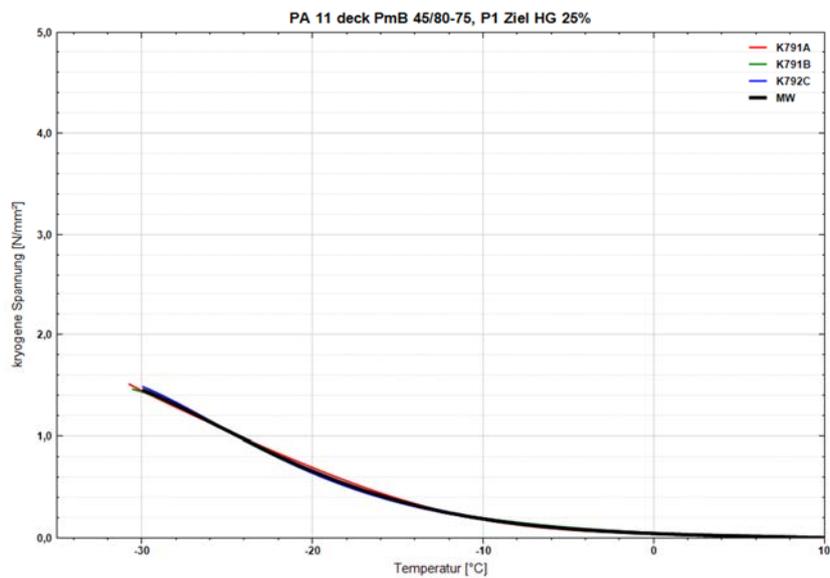


Abb. A8: TSRST - PA 11 deck PmB 45/80-75, P1 Ziel HG 25%

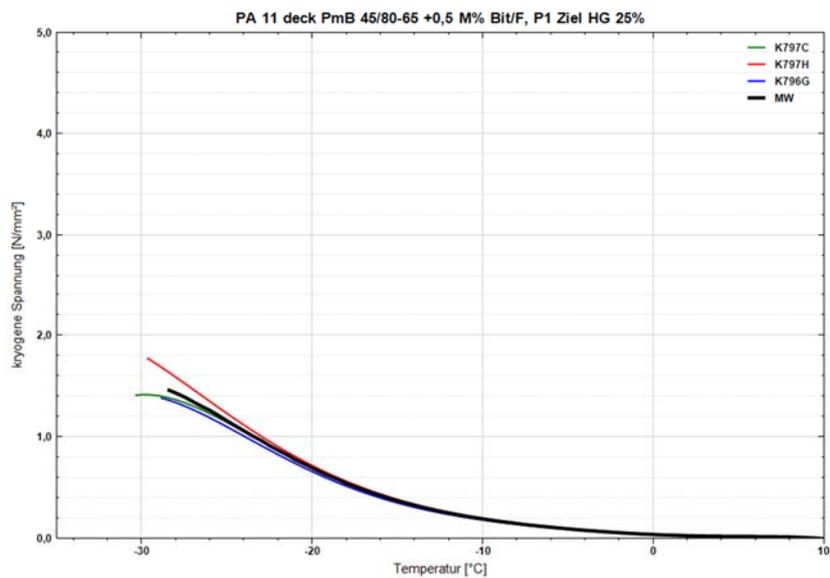


Abb. A9: TSRST - PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% Bit/F, P1 Ziel HG 25%

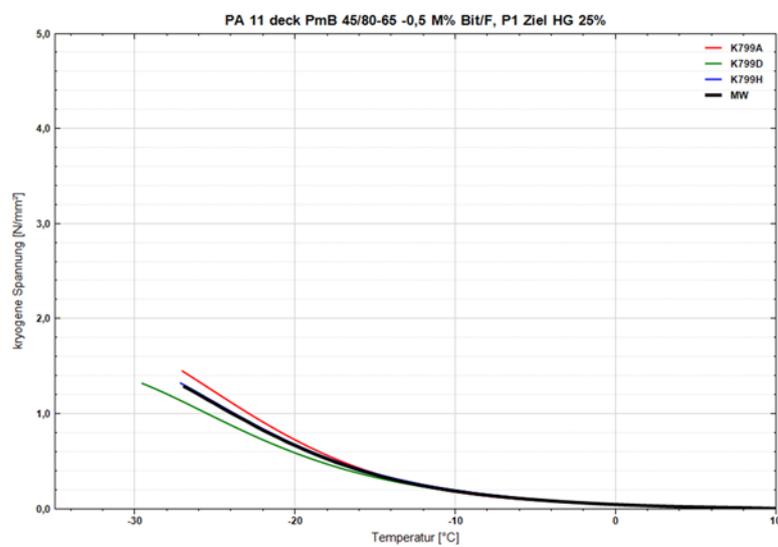


Abb. A10: TSRST - PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% Bit/F, P1 Ziel HG 25%

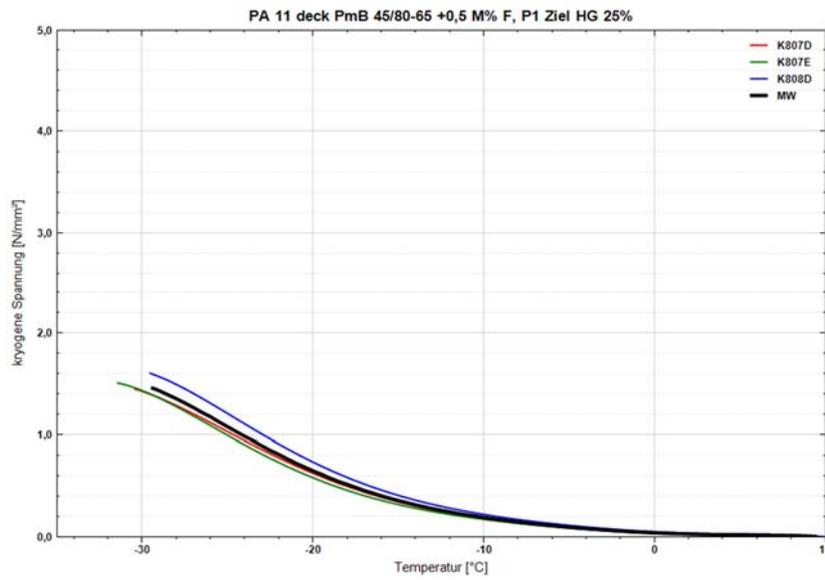


Abb. A11: TSRST – PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% F, P1 Ziel HG 25%

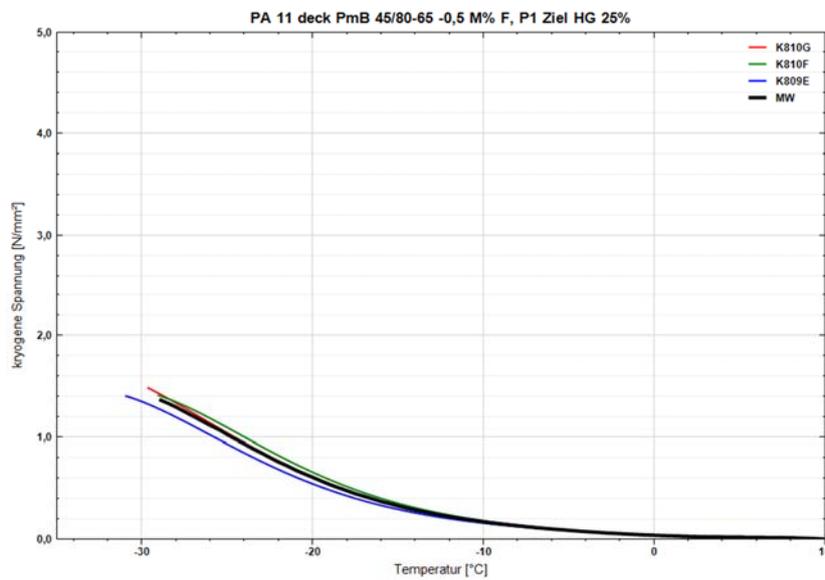


Abb. A12: TSRST – PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% F, P1 Ziel HG 25%

UTST

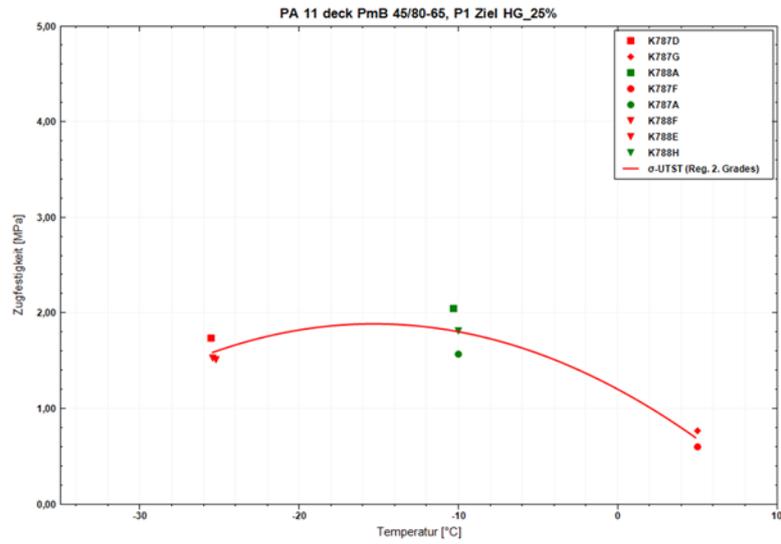


Abb. A13: UTST - PA 11 deck PmB 45/80-65, P1 Ziel HG 25%

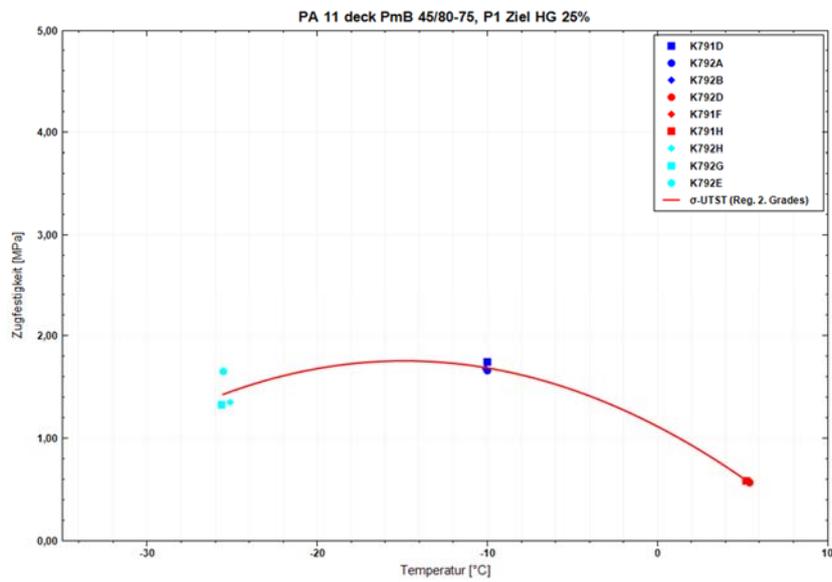


Abb. A14: UTST - PA 11 deck PmB 45/80-75, P1 Ziel HG 25%

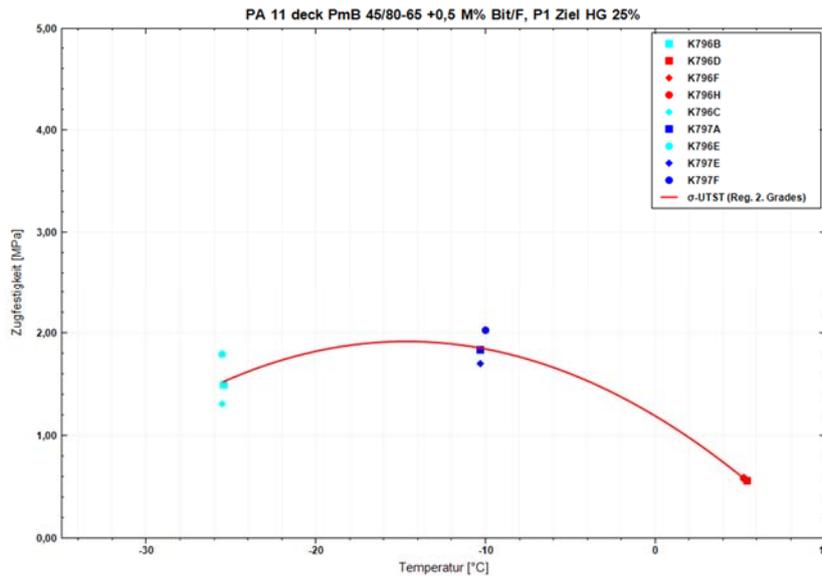


Abb. A15: UTST - PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% Bit/F, P1 Ziel HG 25%

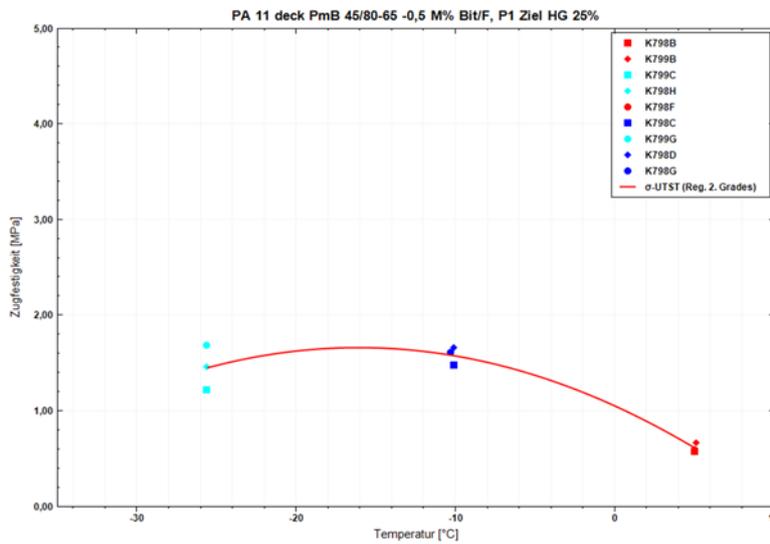


Abb. A16: UTST - PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% Bit/F, P1 Ziel HG 25%

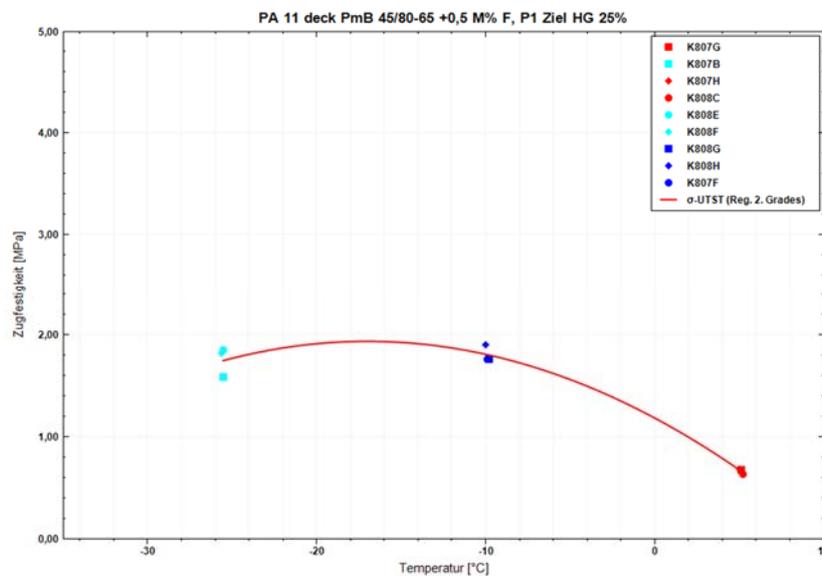


Abb. A17: UTST - PA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% F, P1 Ziel HG 25%

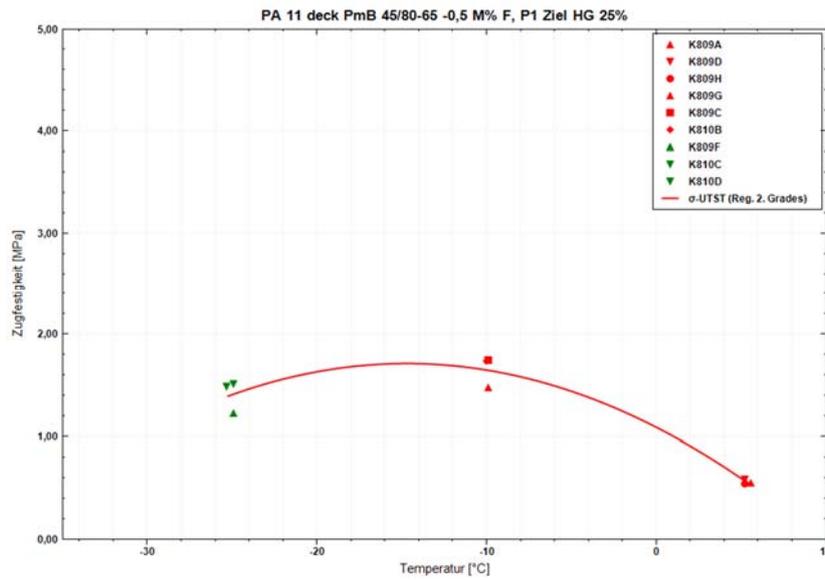


Abb. A18: UTST - PA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% F, P1 Ziel HG 25%

SMA-Einzelversuche

TSRST

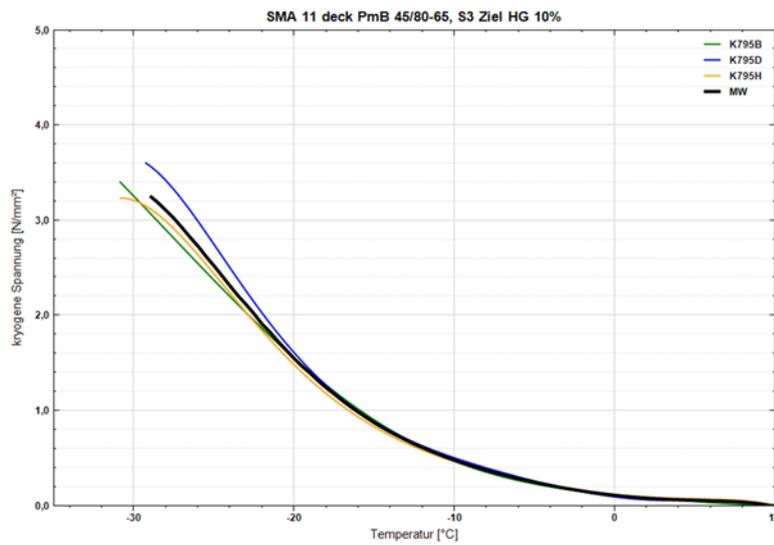


Abb. A19: TSRST - SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 Ziel HG 10%

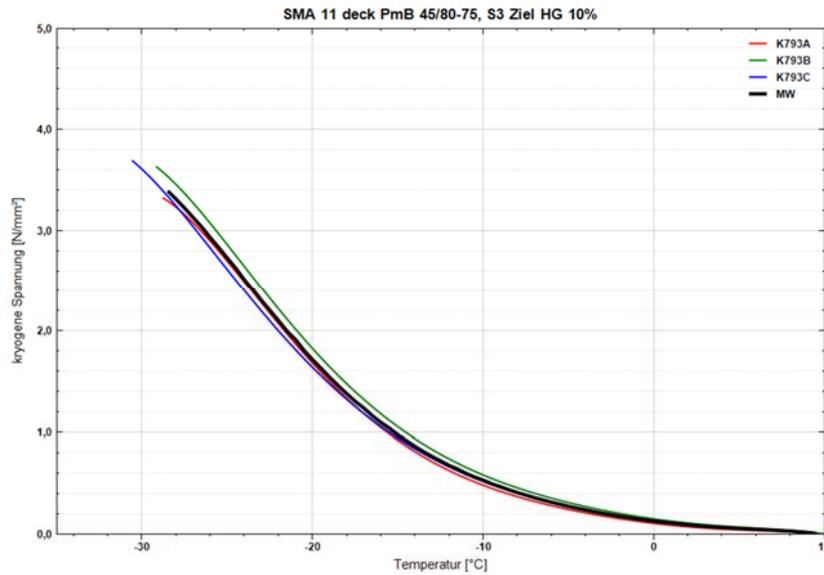


Abb. A20: TSRST - SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3 Ziel HG 10%

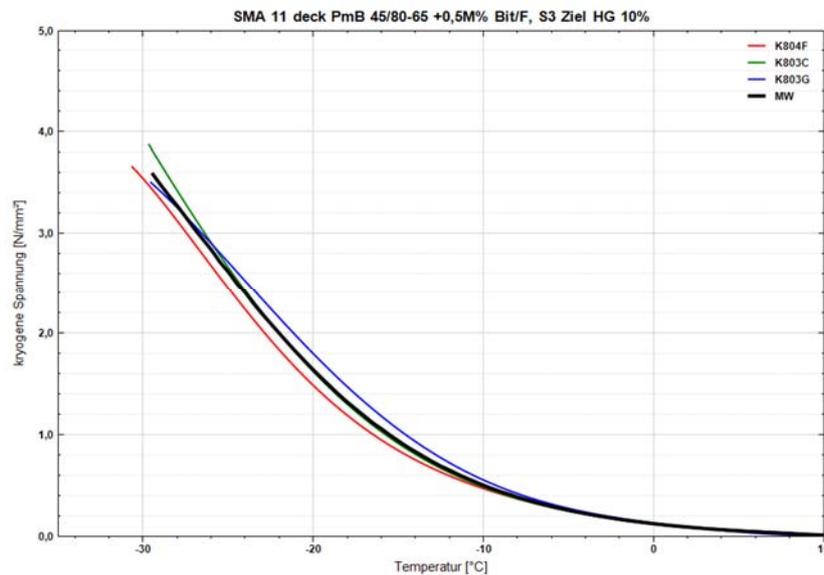


Abb. A21: TSRST - SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% Bit/F, S3 Ziel HG 10%

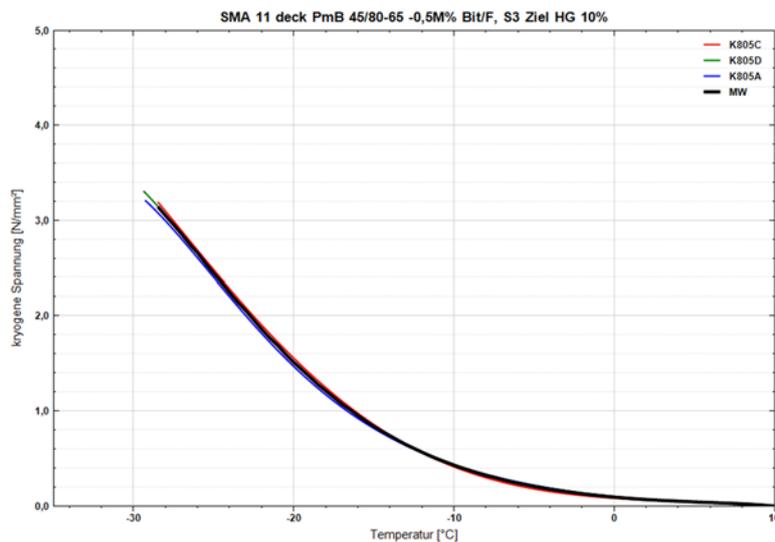


Abb. A22: TSRST - SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% Bit/F, S3 Ziel HG 10%

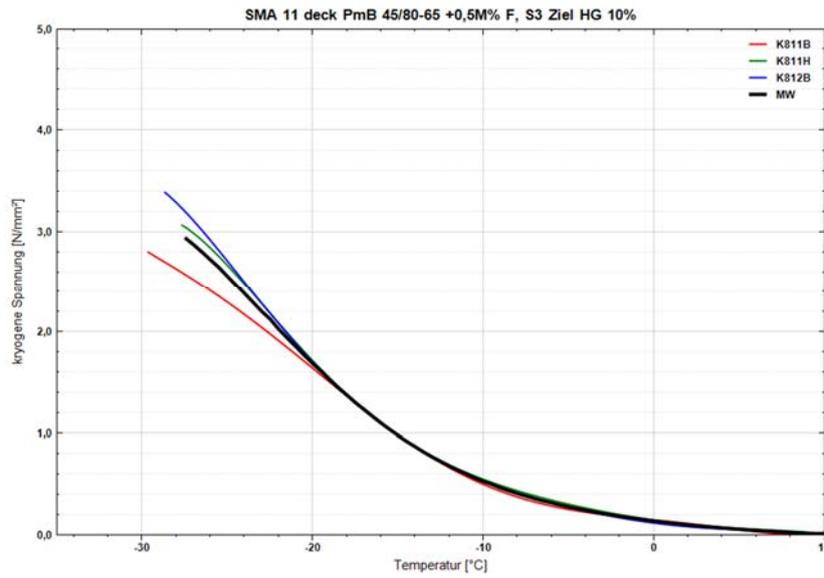


Abb. A23: TSRST - SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% F, S3 Ziel HG 10%

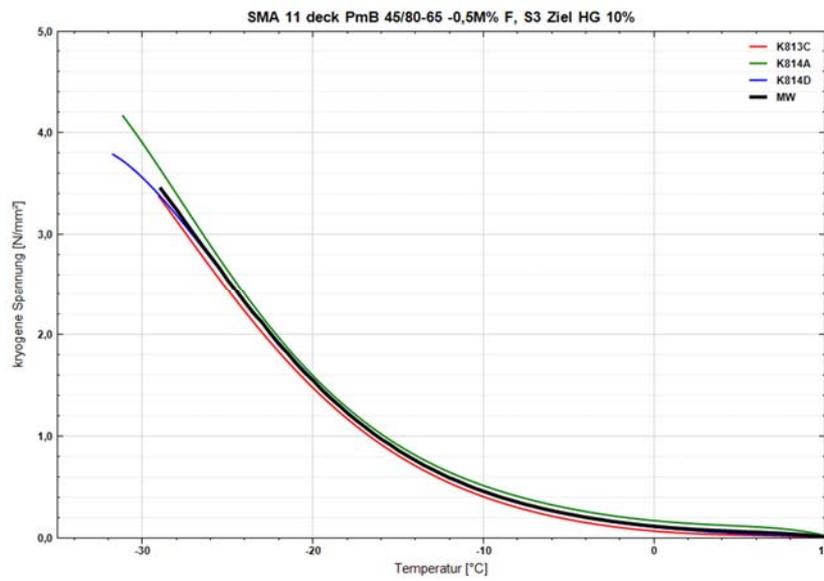


Abb. A24: TSRST - SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% F, S3 Ziel HG 10%

UTST

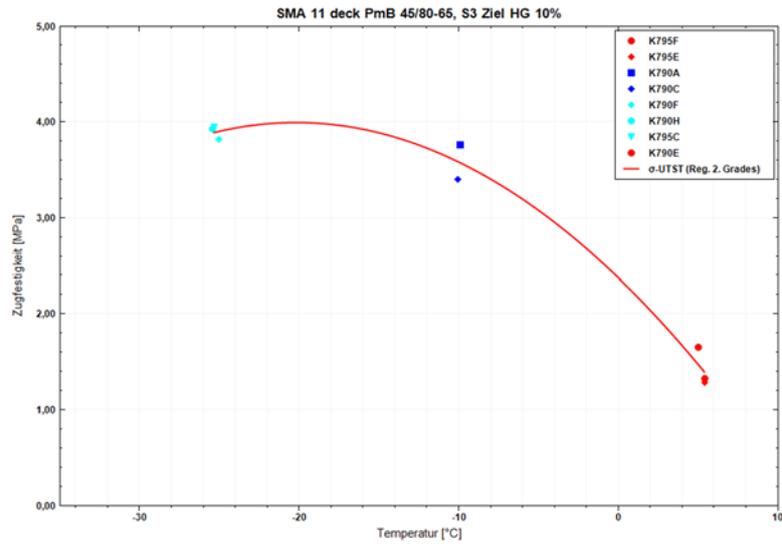


Abb. A25: UTST - SMA 11 deck PmB 45/80-65, S3 Ziel HG 10%

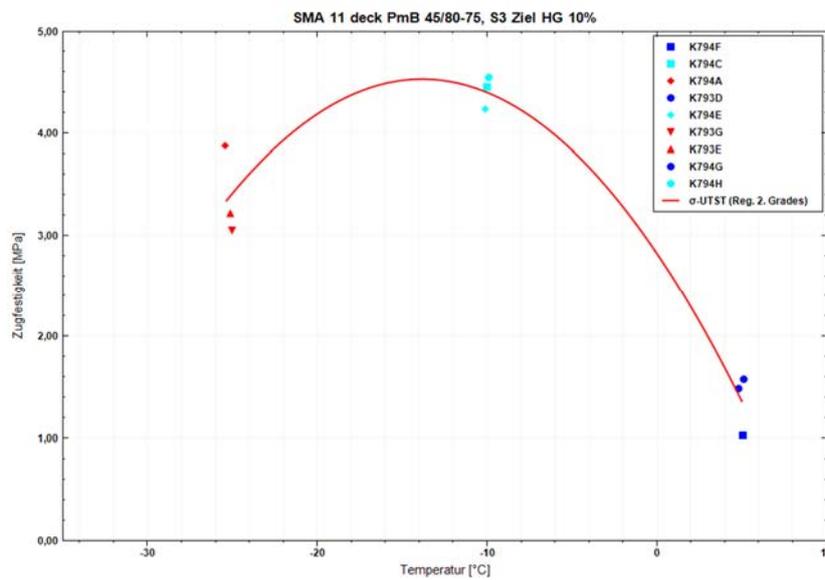


Abb. A26: UTST - SMA 11 deck PmB 45/80-75, S3 Ziel HG 10%

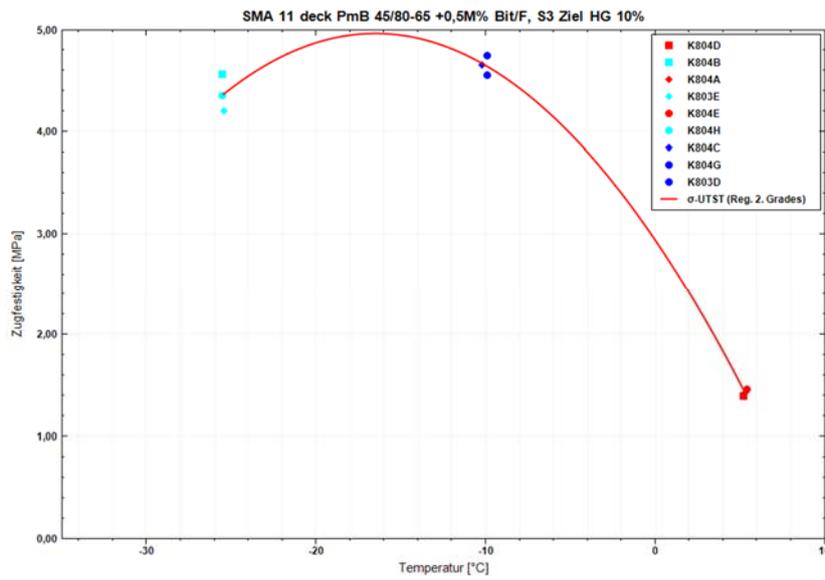


Abb. A27: UTST - SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% Bit/F, S3 Ziel HG 10%

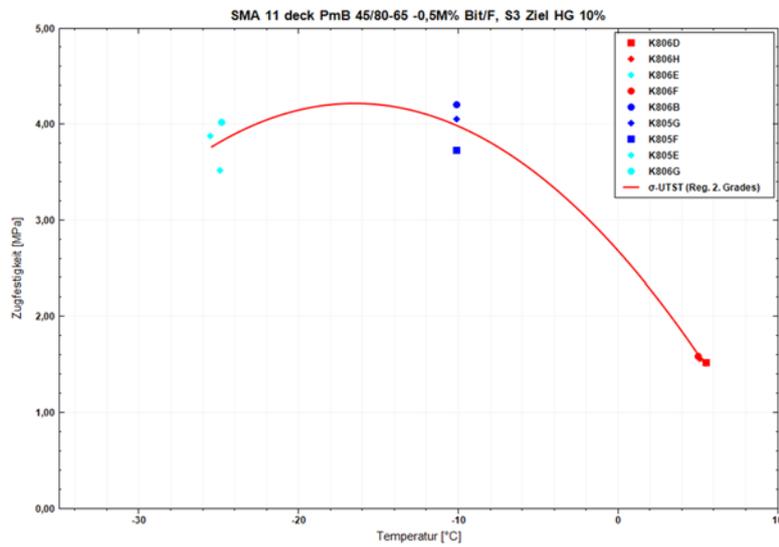


Abb. A28: UTST - SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% Bit/F, S3 Ziel HG 10%

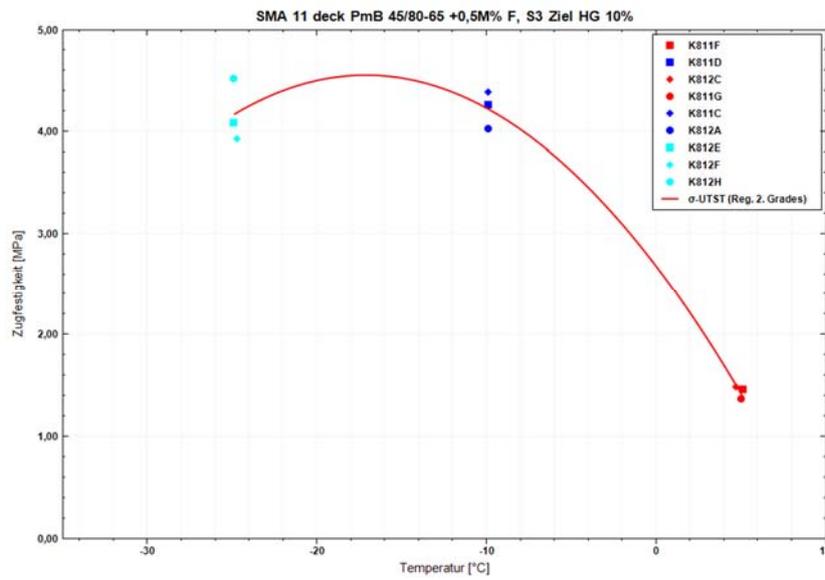


Abb. A29: UTST - SMA 11 deck PmB 45/80-65 +0,5 M% F, S3 Ziel HG 10%

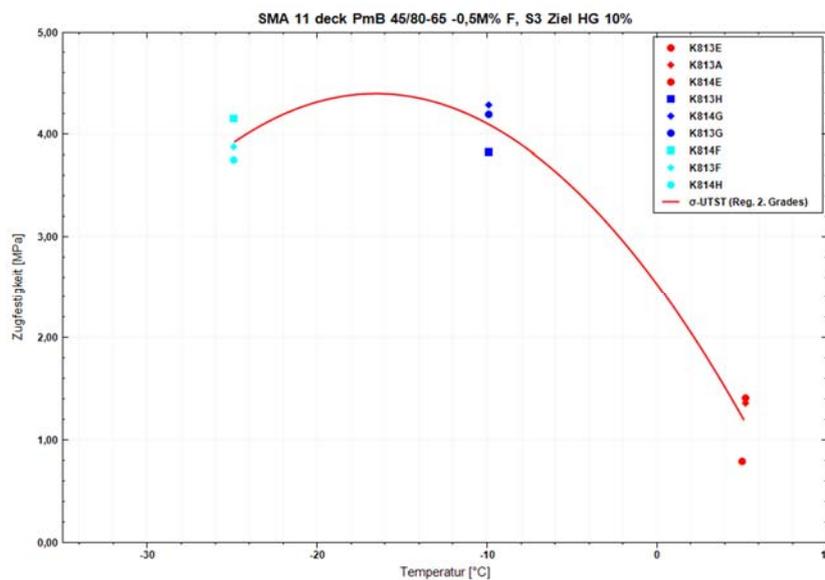


Abb. A30: UTST - SMA 11 deck PmB 45/80-65 -0,5 M% F, S3 Ziel HG 10%