



DIPLOMARBEIT
Master Thesis

**Beiträge zur Optimierung von temperaturabgesenkten
Gussasphalten**

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

unter der Leitung von

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

E 230/3
Institut für Verkehrswissenschaften-
Forschungsbereich Straßenwesen

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Veselin Emilov Stoyanov

1129553

4230 Asenovgrad, Bulgarien
Car Ivan Asen II 15/ Eingang B/Stock 5

Wien, 2016

Unterschrift.....

[Veselin Stoyanov]

Kurzfassung

Gussasphalt ist eine dichte, in heißem Zustand gieß- und streichbare Masse aus Gesteinskörnungen und Bitumen oder Bitumen mit Additiven, die als Deckschicht auf hoch belasteten Straßen sowie in Bereiche von gering belasteten Verkehrsflächen verwendet werden kann. Sie hat deutlich höhere Herstellungs- und Einbautemperaturen im Vergleich mit Walzasphalt. Eine Absenkung der Temperatur hat großes Potenzial zu mehr Energieeffizienz in der Asphaltproduktion. Ein weiterer Aspekt bei der Produktion von Gussasphalt ist, dass durch die hohen Temperaturen Gase und Aerosole emittiert werden, die eine Gesundheitsbelastung für Arbeitnehmer haben. Hauptziel der Asphaltindustrie heute ist diese negativen Auswirkungen von Gussasphalt zu vermindern.

Um eine Lösung des Problems zu finden und die neuen Emissionsanforderungen einzuhalten, werden zahlreiche Forschungen an das Energie-, Emissions- und Kosteneinsparungspotential über den gesamten Lebenszyklus von Gussasphalt stattgefunden. Die Anwendung von bestimmten viskositätsverändernden Additiven und Methoden kann eine Temperaturabsenkung von mehr als 30 °C erfolgt werden. Durch die Zugabe solcher Zusätze können, neben der Temperaturabsenkung, noch weitere Vorteile erlangt werden, wie z.B. eine Verbesserung der Verarbeitbarkeit, eine Erhöhung der Verformungsbeständigkeit oder eine Emissionsreduktion.

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit der Optimierung von temperaturabgesenkten Gussasphalten auf Labormaßstab. Der Schwerpunkt ist Reduzierung der Temperatur bei gleichbleibender Verarbeitbarkeit. Basis für die Forschung sind Gussasphaltnischgut MA 11, zwei Bitumenarten, zwei Gesteinsarten und vier organische Additive. Die verwendeten Methoden in Rahmen der Diplomarbeit sind Rotationalviskosimeter am Bitumen, Bending Beam Rheometer (BBR) am Bitumen und Mischmomentmessung am Mischgut.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Zugabe von viskositätsvermindernde Additive die erzielte Absenkung von -30 °C erreicht kann. Darüber hinaus bietet die Kombination der verschiedenen temperaturabsenkenden Methode eventuelle weitere Vorteile, was als Motivation für weitere Forschung in dieser Richtung dienen kann.

.

Abstract

Mastic asphalt is a dense, hot-cast and spreadable mass of aggregates and bitumen or bitumen with additives that can be used as a top layer on heavily loaded roads as well as in areas of low traffic areas. It has significantly higher production temperature. Reducing the temperature has great potential for better energy efficiency in asphalt production. Another aspect of the production of mastic asphalt is that gases and aerosols are emitted by the high temperatures which have a health impact on worker's health. The main objective of the asphalt industry today is to reduce these negative effects.

To find a solution to the problem and to meet the newly defined emission requirements numerous researches on the energy, emission and cost savings potential along the whole cycle of mastic asphalt are taking place. By the use of specific viscosity reducing additives and methods a temperature reduction of more than 30 °C is achieved that leads to the reduction of energy consumption. By the addition of such additives, in addition to the temperature reduction, further advantages can be obtained.

The main objective of this master thesis is the optimization of low-temperature mastic asphalts mixes on a laboratory scale. The focus is reducing the temperature while maintaining the same processability. Basis for the research are mastic asphalt (MA 11), two types of bitumen, two types of rocks and four organic additives. The methods used in the diploma thesis are rotational viscometers on the bitumen, bending beam rheometer (BBR) on the bitumen and mixed moment measurement on the mixture.

The results show that the addition of viscosity-reducing additives can reach the achieved lowering of more than 30 ° C. Furthermore, the combination of the different temperature lowering methods offers a possibility of increased advantages that constitutes in a motivation for further studies in that direction.

Vorwort

Die vorliegende Diplomarbeit wurde am Institut für Verkehrswissenschaften an der Technischen Universität Wien im Rahmen eines Doppel-Diplom Studiums zwischen der Universität für Architektur, Bauingenieurwesen und Geodäsie Sofia und der TU Wien verfasst. Diese Diplomarbeit bildet den Abschluss meines Bauingenieurstudiums.

Vor allem möchte ich mich herzlich bei Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab für die Möglichkeit meine Diplomarbeit am Institut für Verkehrswissenschaften zu verfassen bedanken.

Ein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Univ. Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Bernhard Hofko für das interessante Thema meiner Diplomarbeit und seiner Hilfsbereitschaft in jedem Moment.

Weiters möchte ich mich bei Herrn Projektass. Dipl.-Ing. Mariyan Dimitrov bedanken, der mich an den Laborgeräten eingeschult hat, während der Bearbeitung meiner Diplomarbeit mit viel Geduld ausgerüstet war und stets mit Verbesserungsvorschlägen und Formulierungshilfen zur Stelle war.

Außerdem möchte ich noch herzlich dem ganzen Laborteam für nette und kollegiale Atmosphäre danken.

An dieser Stelle möchte ich meinen herzlichen Dank an meinen Eltern äußern, die mir das Studium ermöglicht haben. Sie sind immer zur Verfügung gestanden und haben mich in schwierigen Situationen unterstützt. Ich danke ihnen für die zahlreichen gegebenen Ratschläge.

Nicht zuletzt möchte ich mich auch bei der Fakultät für Straßenbau an der Universität für Architektur, Bauingenieurwesen und Geodäsie Sofia, sowie bei meinen Studienkollegen und Freunden für die Unterstützung während meines Studiums bedanken.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung, Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	7
2	Stand der Technik	8
2.1	Grundlagen –Asphalt und Gussasphalt	8
2.2	Niedrigtemperaturasphalt-NTA.....	11
2.2.1	Geschichtliche Entwicklung von NTA	12
2.2.2	Einsatzmöglichkeiten.....	13
3	Materialien.....	17
3.1	Bitumen	17
3.1.1	Straßenbaubitumen	19
3.1.2	Polymermodifizierte Bitumen	20
3.2	Gesteinskörnung.....	22
3.3	Bitumen- und Asphaltadditive.....	24
3.3.1	FT-Wachs (Sasobit).....	24
3.3.2	Amidmitwachs (Licomont)	25
3.3.3	Montanwachse (Asphaltan)	26
3.3.4	Polyethylenwachs (Licocene, Luwax A).....	27
3.3.5	Synthetische Zeolithe – Natrium Aluminium Silikate (aspha-min, advera)	28
3.4	Gussasphaltrezeptur.....	30
4	Prüfmethodik	34
4.1	Labormischung von Bitumen mit Additiven	34
4.2	Bindemittel – Prüfmethoden.....	37
4.2.1	Rotationsviskosimeter (RV).....	37
4.2.2	Biegebalkenrheometer (BBR) gemäß EN 14771	39
4.3	Gussasphalt – Prüfmethoden	41
5	Ergebnisse der Laborverfahren zur Temperaturabsenkung von Gussasphalt	46
5.1	Rotationsviskosimeter	46
5.2	Mischmomenten	50
6	Zusammenfassung	55
I.	Abbildungsverzeichnis	57
II.	Tabellenverzeichnis	58

Häufig verwendete Abkürzungen

EN	Europäische Norm
NTA	Niedrigtemperaturasphalt
SHRP	Strategic Highway Research Program (US Straßenforschungsprogram)
RV	Rotational Viscometer (Rotationsviskosimeter)
DSR	Dynamic Shear Rheometer (Dynamisches Scherrheometer)
BBR	Beam Rheometer (Biegebalkenrheometer)
PG	Performance Grade (Gebrauchsklasse für Bitumen)
PmB	Polymermodifiziertes Bitumen
MA	Mastic Asphalt

1 Einleitung, Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Bauweise vom Gussasphalt hat sich besonders hinsichtlich der Anforderungen an die Standfestigkeit und Griffigkeit von Deckschichten im Straßenbau bewährt. Auch wenn die Anwendung dieser Bauweise in letzten Jahren zurückgegangen ist, so ist sie dennoch für hochbeanspruchte Verkehrsflächen und Brückenbeläge unverzichtbar

Bei der Verarbeitung von Gussasphalt im Straßenbau, die üblicherweise bei Temperaturen von 200° C bis 250°C erfolgt, kann man die auftretenden Emissionen messen. Es zeigt sich sicher, dass der Grenzwert von 10mg/m³ für Dämpfe und Aerosole in der Regel deutlich überschritten wird. [11]

Das Absenken der Herstellungs- und Einbautemperatur von Gussasphalt bedeutet nicht nur ökologisch eine sinnvolle Maßnahme, gleichzeitig können die im Zuge des Einbauprozesses freiwerdenden, gefährlichen Dämpfe und Aerosole reduziert werden. Dies heißt eine drastische Verbesserung der Arbeitsbedingungen.

Auf Laborebene werden durch umfassende Prüfungen bestehende Gussasphalt-Rezepturen optimiert, dass maximale Temperaturabsenkung bei gleichbleibend hoher Produktqualität erreicht wird. Das im Projekt **festgesetzte Ziel** 30/20/20 soll erreicht werden. Das bedeutet 30°C Temperaturabsenkung bei 20% Energie- und Treibhausgas (THG)-Emissionseinsparung.

Dieser Diplomarbeit ist nur ein Teil vom ganzen Projekt „High Efficient Low Emission Mastic Asphalt“. Es ist hauptsächlich mit der Optimierung von temperaturabgesenkten Gussasphalten verbunden. Als einfaches und praktisches Mittel, um die Asphalttemperatur gegenüber den Regel-Temperaturen abzusenken, hat sich die Verringerung der Viskosität durch Zugabe von organischen oder mineralischen Zusätzen erwiesen. Durch die Zugabe solcher Zusätze können, neben der Temperaturabsenkung, noch weitere Vorteile erreicht werden, wie z.B. eine Verbesserung der Verarbeitbarkeit, eine Erhöhung der Verformungsbeständigkeit oder eine Emissionsreduktion.

Die verwendeten Methoden in Rahmen der Diplomarbeit sind Rotationalviskosimeter am Bitumen, Bending Beam Rheometer (BBR) am Bitumen und Mischmomentmessung am Mischgut. Anhand der Auswertung und die Analyse der modifizierten Gussasphaltpörper und Bitumen muss man das Temperaturabsenkungspotential erreichen.

2 Stand der Technik

2.1 Grundlagen –Asphalt und Gussasphalt

Asphalt ist definiert als eine natürliche oder technisch hergestellte Mischung aus Bitumen und Gesteinskörnungen, die im Straßenbau für Fahrbahnbefestigungen, im Hochbau für Fußbodenbeläge, im Wasserbau und seltener im Deponiebau zur Abdichtung eingesetzt wird. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen ist die Asphaltkonstruktion in verschiedenartige Schichten unterteilt. Hierbei werden Asphalttrag-, Asphaltbinder-, und Asphaltdeckschichten abweichen. Je nach Dicke und Lage liefern sie ihren Anteil zur Tragfähigkeit der Gesamtgefüge, sofern alle Schichten zu einem kompakten Baukörper verbunden werden. [1] , [2]

Technischen Asphalte für Trag- und Deckschichten im Straßenbau bestehen in der Regel aus 90-96 M.% Gestein und entsprechend 4-10 M.% Bindemittel (Bitumen oder modifizierte Bitumen, hinsichtlich der Verwendungszweck). Für ein Mischgut ist es erforderlich, die wichtigsten Asphaltkenngößen zu bestimmen. Das sind der Hohlraum des Korngerüstes, der Hohlraum im Asphalt, der Bindemittelgehalt und der Auffüllungsgrad. [1]

Die Herstellung des Mischgutes erfolgt in einem Prozess, in welchem die einzelnen Bestandteile des Asphaltmischgutes gezielt zusammengesetzt und vermischt werden. Das Ziel eines guten Asphaltmischgutes ist es, ein möglichst dichtes Korngerüst, also mit einer möglichst kleinen Menge von Hohlräumen, mit einer optimalen Bindemittelmenge zu verkleben. Die Gesteinkörnigen übernehmen die Sturzfunktion im Asphalt (ausgenommen Gussasphalt) und muss in ihrer Korngrößerungszusammensetzung (Sieblinie) auf die Belastung abgestimmt werden. Das bedeutet möglichst dichte Gesteinmischung. Wichtige Mischgutanforderungen sind Sieblinie, Bindemittelgehalt, Hohlraumgehalt und Widerstand gegen Verformungen.

Im Straßenbau kann man die Asphaltdeckschichten grundsätzlich zwischen Walzasphalt und Gussasphalt unterscheiden. Walzasphalt benötigt den geforderten Verdichtungsgrad durch den Einsatz von Straßenwalzen. Gussasphalt lässt sich dagegen flüssig verarbeiten und muss nicht verdichten werden.

Wenn man über Einbautemperatur spricht, gibt es vier verschiedene Typen: Kaltmischgut (30°C), Warmeinbau (40-120°C), Temperaturabgesenkte Asphalte und Heißmischgut (130°C bis über 200°C). (Abbildung 1)

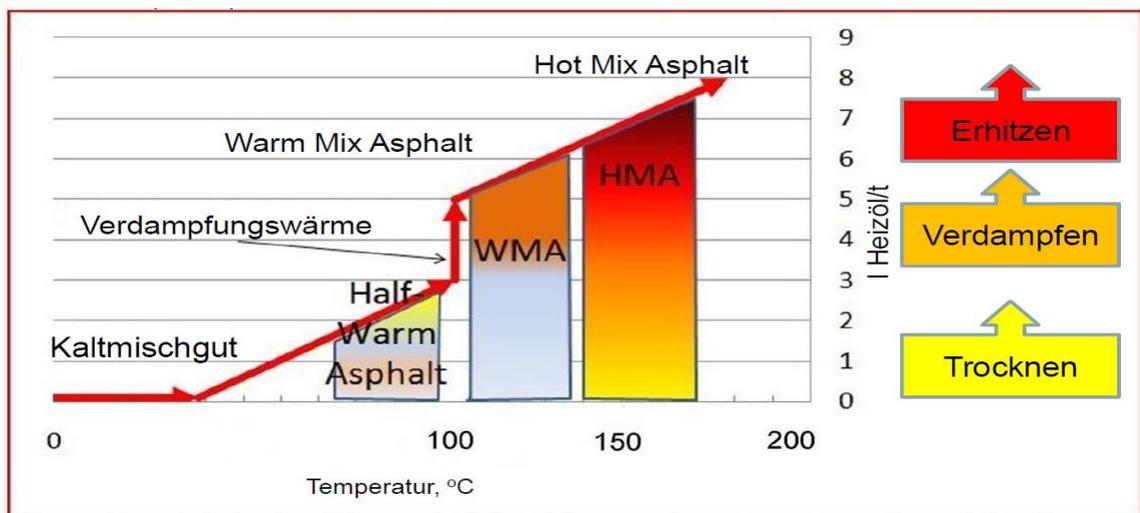


Abbildung 1: Klassifizierung nach Einbautemperatur [3]

Gussasphalt ist eine dichte, in heißem Zustand gieß- und streichbare Masse aus Gesteinskörnungen und Bitumen oder Bitumen mit Additiven. Gussasphalt besteht aus groben und feinen Gesteinskörnungen, Gesteinmehl und Bindemittel. Korngrößenverteilung und Bindemittelgehalt sind so angepasst, dass die Hohlräume des Gesteinskörnungsgemisches vollständig mit Bitumen ausgefüllt sind und darüber hinaus noch ein geringfügiger Bitumenüberschuss besteht. Dadurch lässt er sich im Gegenteil zu den anderen Asphaltarten ohne zusätzliche Verdichtung Hohlraumfrei verarbeiten (Abbildung 2). Hoher Anteil an Mörtel (Füller und Bitumen) ergibt sich eine optisch glatte Oberfläche. Gussasphalt wird als Straßenbelag, als Bodenbelag und für Abdichtungen verwendet. Am häufigsten wird er bei der beanspruchten Straßen und, wegen seiner Wasserdichtigkeit, auf Brücken eingesetzt. [2]

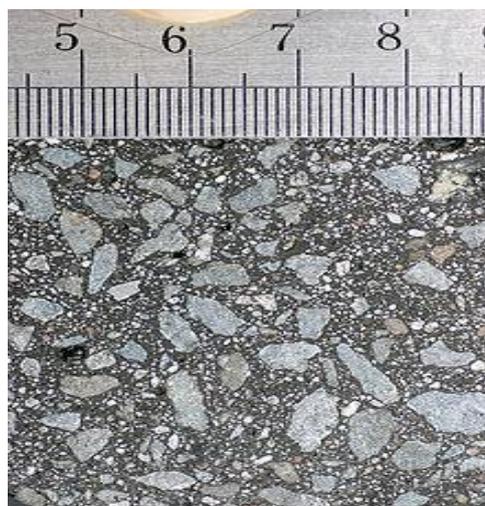


Abbildung 2: Querschnitt des Gussasphaltes [8]

Gussasphalt besitzt kein in sich abgestütztes Korngerüst. Die Lastabtragung erfolgt größtenteils durch den Mörtel, der dazu erheblich steifer sein muss. Das bedeutet hartes Bitumen und mehr Füller. Der steife Mörtel fordert deutlich höhere Herstellungs- und Einbautemperaturen. Für den konventionellen Gussasphalt und die modifizierten Varianten wurde die Herstellungstemperatur auf 250° C festgelegt. Die modifizierten Gussasphalte wurden bei Temperaturen von 220° C und 240° C hergestellt. [2]. (Abbildung 3)

Bei diesem Asphalttyp wird es deutlich mehr Bitumen verwendet, nämlich etwa 10% Bitumen und 90% Gestein. Zur Erzielung der notwendigen Standfestigkeit bei hohen Temperaturen und der Rissbeständigkeit bei Tieftemperaturen ist die Bindemittelmenge auf ein notwendiges Minimum zu beschränken. Das Mischgut wird ebenso in einer Mischanlage hergestellt. Allerdings bei deutlich höheren Temperaturen zwischen 230 und 250 Grad.



Abbildung 3: Einbau des Gussasphaltes[4]

Bei richtiger Konzeption zeigt Gussasphalt viele gute Eigenschaften- hoch tragfähig, zeigt gute Beständigkeit gegen Rissbildung bei tiefen Temperaturen, hohe Abdichtungswirkung, Tausalzbeständigkeit, Wärmedämmung, Schalldämmung und Wiederverwertbarkeit.

Gussasphalt besitzt durch seine hohlraumarme Struktur und durch die Bindemittelleigenschaften eine große Abriebfestigkeit. Das ist ein Vorteil für Deckschichten im Straßenbau und auch für befahrbare Gussasphaltbeläge. Gussasphalt ist wegen seiner Abriebfestigkeit, Laugen- und Säurebeständigkeit, Staubfreiheit und Wiederverwertbarkeit umweltfreundlich. Von Gussasphaltestrichen und -belägen gehen in der Nutzung keine Emissionen aus. [4]

Allerdings ist der Energieverbrauch aufgrund der hohen Temperaturen bei der Herstellung deutlich größer als bei Walzasphalten. Beim Heißeinbau von Asphalt entstehen Dämpfe und Aerosole aus Bitumen, deren Konzentration unter anderem von der Temperatur des Asphalttes abhängt. Je höher die Asphalttemperatur desto höher ist die Menge der Dämpfe und Aerosole. Die hohen Verarbeitungstemperaturen verursachen eine starke

Emissionsbildung. Bei konventionellen Gussasphalten mit ausreichender Standfestigkeit schließen sich die gute Verarbeitbarkeit und die geringe Emissionsbildung gegenseitig aus. Aus Arbeitsschutz- und auch aus Umweltschutzgründen ist also anzustreben, die Asphalttemperatur bei der Herstellung und bei dem Einbau so gering wie möglich zu halten. Durch die Verwendung der temperaturabgesenkter Asphalte ergeben sich diese Vorteile. [5]

2.2 Niedrigtemperaturasphalt-NTA

Niedrigtemperaturasphalte sind vor allem durch folgende zwei Effekte gekennzeichnet, eine deutliche Viskositätsreduktion im hohen Temperaturbereich, womit eine Verarbeitbarkeit bei niedrigen Temperaturen ermöglicht wird, sowie eine Erhöhung der Steifigkeit im Gebrauchstemperaturbereich. Die Energieeinsparung bei der Produktion und beim Einbau ist einer von der gesetzten Ziele der Asphaltindustrie. Damit liegt auch ein großes Potenzial zur Reduzierung der CO₂- Emission vor. Weiter kann durch die Temperaturreduktion vor allem bei Gussasphalt die Belastung durch die Dämpfe und Aerosole und somit die gesundheitliche Belastung der Arbeitnehmer deutlich weniger werden. [9]

Die gewünschte Temperaturabsenkung kann grundsätzlich durch drei unterschiedliche Methoden erzielt werden. Die wohl am häufigsten eingesetzte Möglichkeit ist die Modifikation mit sogenannten Bitumenadditiven. Das heißt verschiedene Wachse und organische Additiven, die eine Viskositätsreduktion oberhalb ihres spezifischen Schmelzpunktes ermöglichen. Allerdings ist bei der Wahl dieser Produkte auf die Einsatzparameter zu achten, da diese neben der Viskosität auch Änderungen der Asphalteigenschaften zur Folge haben. Die Zugabe zum Bitumen kann in der Asphaltmischanlage selbst oder in Form von Sonderbindemitteln erfolgen. Bei den Sonderbindemitteln wird das Additiv schon im Zuge der Bitumenproduktion zugeführt und mit dem Bitumen homogenisiert. [9]

Eine andere Variante ist die Modifikation mit sogenannten Asphaltadditiven. Dabei handelt es sich um mineralische Zusätze oder Emulsionen, die im Gegensatz zu den Bitumenadditiven erst beim Asphaltmischprozess selbst zugesetzt werden. Unter dem Begriff verfahrenstechnische Möglichkeiten werden eine Vielzahl von Methoden zusammen gefasst bei denen durch Zuführen kleiner Mengen von Wasser zum heißen Mischgut Wasserdampf entsteht und dadurch das expandierte Asphaltmischgut leichter verarbeitet werden kann.

Abschließend ist noch auf Bezeichnungsproblematik dieses relativ jungen Baustoffs hinzuweisen. Da sich in der Vergangenheit neben Niedrigtemperaturasphalt (NTA) auch Begriffe wie Niederviskoser Asphalt, Warm Mixed Asphalt oder Warm Asphalt Mixture (WAM) festgesetzt haben, ist bis heute keine einheitliche Asphaltbezeichnung normativ geregelt.

2.2.1 Geschichtliche Entwicklung von NTA

Ende der 90er Jahren hat die beginnende weltweite Klimaschutzdiskussion (Kyoto-Protokoll) eine wichtige Rolle in der Entwicklung der Temperaturabgesenkten Asphalte. In dieser Klimarahmenkonvention wurden erstmals völkerrechtlich verbindliche Zielwerte für den Ausstoß von Treibhausgasen in den Industrieländern festgelegt, welche die wesentliche Ursache der globalen Erwärmung sind. Dabei ist das Haustreibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO₂). Neben vielen anderen Industriezweigen ist auch die Asphaltindustrie ein relevanter Faktor um die Klimaziele zu erreichen.

Zum anderen ein sorgfältiger und bewusster Umgang mit Gefahrenstoffen , welcher vor allem in Europa zu Beginn der 90er Jahren einsetzte. Im Zuge dessen werden erstmals in Herbst 1996 in Deutschland Luftgrenze für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung festgestellt.

Parallel dazu begann eine breite Forschungsoffensive in Deutschland auf diesem Gebiet und 1997 wurde der Gesprächskreis Bitumen auf Anregung des Bundesministeriums für Arbeit und Sozialordnung gegründet. Er initiiert und koordiniert umfassende Untersuchungen der Expositionen, mögliche Gefährdungen durch Bitumen bzw. Dämpfe und Aerosole aus Bitumen und die notwendigen Schutzmaßnahmen.

In folgenden Jahren wurde das Thema ebenfalls von weiten europäischen Ländern , wie Frankreich, Schweden , Dänemark, Spanien, Großbritannien und Österreich um nur einige zu nennen, aufgegriffen und ein europaweiter Trend zum Niedrigtemperaturasphalt setzte ein. In Folge dessen stieg die Zahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen auf diesem Gebiet und Temperaturabgesenkter Asphalt fand bei zahlreichen Fachkongressen und Symposien reges Interesse.

Schließlich wurde auch die USA auf diesen in Europa einsetzenden Trend aufmerksam und im August 2002 sendete die Asphalt Paving Association (NAPA) und des National Institut of Occupational Safety und Health eine Delegation nach Deutschland, um sich bei den Vertretern des Deutschen Asphalt Verbandes sowie des Gesprächskreises Bitumen über den Einbau von Asphalt nach abgesenkten Temperaturen zu erkundigen.

Im Jahr 2003 schlug sich diese Entwicklung auch in Österreichs Straßen nieder und das Straßenbauamt der Tiroler Landesregierung forderte in einer Ausschreibung für die Sanierung mehrerer Teilstrecken des Fernpasses ausdrücklich Bitumen für „Niedertemperatur- Anwendungen“.

Im Jahr 2006 wurde von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen die bislang einzige Richtlinie für Niedertemperaturasphalt mit dem Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt veröffentlicht. [11]

In letzten Jahren findet dieses Thema immer größeren Anwendungsbereich. Es gibt zahlreiche Veröffentlichung über WMA und Zahl der Teststrecken und Baulose ist enorm gestiegen.

2.2.2 Einsatzmöglichkeiten

Es wurde schon in diesem Kapitel erwähnt, dass die Temperaturabgesenkte Asphalte vor allem durch folgende zwei Effekte gekennzeichnet sind und eine signifikante Viskositätsreduktion im hohen Temperaturbereich sowie verbesserte Asphalteigenschaften haben (Abbildung 4). In Abbildung 5 sind die Einsatzvorteile schematisch dargestellt und werden in diesem Kapitel erläutert.

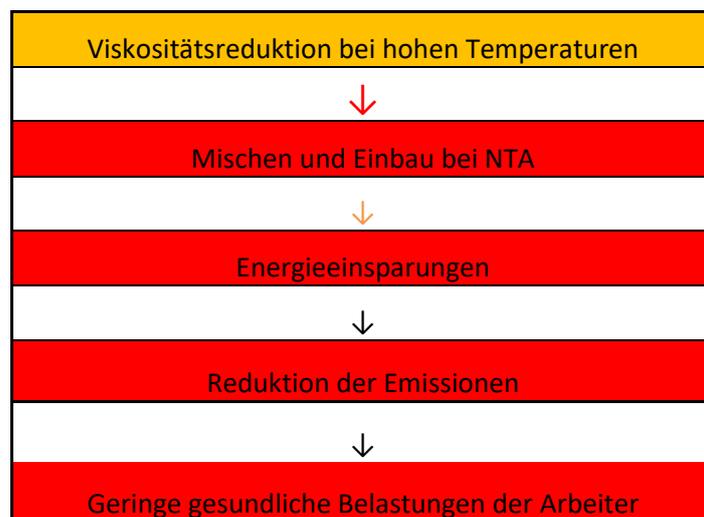


Abbildung 4: Effekten von Temperaturabgesenkter Asphalt

Ein Vorteil von NTA im Zuge des Einbauprozess ist die Risikominimierung beim Einbau während der kälteren Übergangsperioden bzw. kann die Einbausaison verlängert werden. Zwei physikalische Effekte sind verbinden damit. Zum einen kann der Asphalt durch die Viskositätsreduktion bei tieferen Temperaturen eingebaut werden und somit das Zeitfenster für die Verarbeitung vergrößert werden. Die Andere ist Abkühlrate bzw. der Wärmeübergang zwischen Mischgutoberfläche und der angrenzende Luft bei niedrigen Temperaturen. Somit kann durch tiefe Einbautemperaturen der Verarbeitungszeitraum verlängert werden. [9]

Die Verlängerung der Einbausaison sowie die weiteren Transportwege sind Einbauvorteile, die speziell außerhalb des Europas sehr wichtig ist. In Australien beispielsweise wurde durch FT-Paraffin Modifikation eine Transportzeit von bis zu 9 Stunden umgesetzt und eine Verarbeitung war immer noch möglich.

Allerdings sind diese Vorteil den ökologischen Sinnen gegenüberzustellen, da durch längere Transportwege der Energieverbrauch und die Emissionsbelastung ebenfalls steigen. Folglich

stellt sich die Frage, ob der zuvor durch Additivmodifikation teuer erzielte umwelttechnische Nutzen sinnvoll ist.

Durch den Einsatz von NTA kann laut wissenschaftlichen Berichten der Energiebedarf durch das Absenken der Mischtemperatur um 30° bis 35 ° C um circa 30 % reduziert werden. Theoretisch würde dies für eine Asphaltmischlage, die im Normalbetrieb 8 Liter Heizöl/t Asphalt benötigt, eine Einsparung von 2,4 Liter/t bedeuten. Folglich würden bei 60 Mio. t Asphalt in Deutschland bzw. 10 Mio. t in Österreich jährlich ein Energieeinsparpotential von 144 Mio. Liter bzw. 24 Mio. Liter Heizöl erzielt werden. Neben der Temperaturabsenkung selbst ist der Feuchtegehalt der Gesteinkörnungen, die verwendete NTA-Methoden, die Verwendung von Recycling- Asphalt, die Bauart und der Betrieb der Mischanlage von entscheidender Bedeutung.

Wie in der geschichtlichen Entwicklung hervorgehoben war, ist das Potenzial zur Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen speziell Kohlenstoffdioxid (CO₂), der Auslöser für die Weiterentwicklung von NTA in Europa, besser gewesen. Neben größtem Emissionsgas CO₂ werden auch eine Reihe andere gesundheitsbelastender Stoffe, wie das schleimhautreizende Gas Schwefeldioxid, flüchtige organische Verbindungen, das giftige Gas Kohlenstoffmonoxid und Stickstoffoxide, sowie Feinstaub emittiert. [11]

Eine Veränderung der Asphalteigenschaften ist durch die Modifikation mit organische Additiven oder Wachsen möglich. Dabei können ein verbesserter Widerstand gegen Spurrinnenbildung, frühere Verkehrsfreigabe und eine bessere Verdichtbarkeit erzielt werden.



Abbildung 5: Vorteile von NTA

Durch den relativ hohen Schmelzpunkt (100°C bis 140 °C) der verwendeten Wachsadditive kann im verformungsrelevanten Gebrauchstemperaturbereich (40°C bis 60° C) die Verformungsresistenz bei Walzasphalt und die Standfestigkeit bei Gussasphalt gesteigert werden. Die Gefahr von Spurrinnenbildung kann dadurch erheblich verringert werden.

Ein weiterer Vorteil, der durch die Modifikation mit Wachsadditive erzielt werden kann, ist eine frühere Verkehrsfreigabe. Durch niedrigen Einbautemperaturen und folglich kürzeren Abkühlphasen, sowie dem rasche Kristallisierungsprozess des Wachses können Fahrbahnbeläge früher für den Verkehr freigegeben werden.

Ein weiterer Vorteil durch den Einsatz von Bitumenadditiven ist die gesteigerte Verdichtungswilligkeit. Abschließend ist noch anzumerken, dass durch Wachsmodifikation (einzige Möglichkeit um Steifigkeit zu erhöhen) im Gegenzug das Tieftemperaturverhalten negativ beeinflusst wird. Die zuvor erläuterten Effekte sind je nach eingesetztem Produkt unterschiedlich. Deshalb muss bei der Planung auf die klimatischen, einbautechnischen und belastungstechnischen Rahmenbedingungen besonders geachtet werden.

Die Anwendung von NTA kann auch bei der Verwendung von Recycling-Asphalt Vorteile bringen. Durch die Viskositätsreduktion wird der Verdichtungsprozess, welcher bei zu hohen Recyclinganteilen immer ein Problem ist, deutlich erleichtert. Es gibt Berichte über Feldversuche bei denen durch Zugabe von Zeolithen oder FT-Paraffin ein Recyclinganteil von 90% realisiert wurde. [9]

Bei Herstellung von Asphaltmischgut mit abgesenkten Temperaturen ist zu beachten:

- Das Maß der Temperaturabsenkung ist abhängig von Witterung (Außentemperatur, Regen, Wind), da durch der Einbau wesentlich beeinflusst wird
- Für die richtigen Einstellungen der Asphaltmischguttemperatur ist aufzupassen, welches Asphaltmischgut vorher produziert wurde (es ist zeitaufwändig die Temperatur der Asphaltmischgutanlage abzusenken, als zu erhöhen)
- Eine sorgfältige Zeitablaufplanung von Produktion, Lagerung und Einbau ist in jedem Falle vorzunehmen.
- Die zum Einsatz kommenden Gesteinskörnungen sollten möglichst wenig Restfeuchte besitzen, um den Wassergehalt im Abgas auf ein Minimum zu reduzieren.
- Bei Temperaturen unter 10°C und bei großen Windbeeinflussungen sollte die Asphaltmischguttemperatur nicht abgesenkt werden.

Nachdem mit Beginn des Jahres 2008 die Aussetzung des Grenzwertes von 10mg/m³ für Dämpfe und Aerosole aus Bitumen bei der Heißverarbeitung für das Gussasphaltenwendungen durch den Ausschluss für Gefahrstoffe unter dem Bundesministerium für Arbeit und Soziales aufgehoben wurde, dürfen Gussasphalte nur noch – temperaturabgesenkt – mit Temperaturen von weniger als 230° C hergestellt,

ausgeliefert und eingebaut werden. Das ist nur sicher möglich die Zugabe von viskositätsverändernden Zusätzen. Die Auswirkung der Zusatzmittel auf die Verarbeitbarkeit können labortechnisch für die Gussasphalte durch Drehmomentmessung verifiziert werden. [9],[11]

In Abbildung 6 kann man die Richtwerte für die Asphaltmischguttemperaturen bei der Herstellung der temperaturabgesenkter Asphalte ansehen.

Asphaltart	Art und Sorte des Bindemittels	Asphaltmischguttemperatur bei der Herstellung	Asphaltmischguttemperatur beim Einbau
Walzasphalt	70/100 50/70	130° bis 150° C	mindestens 120°C
	30/45 25/55-55	140°C bis 160° C	mindestens 130°C
	10/40-65	150° bis 170°C	mindestens 140 ° C
Gussasphalt	30/45 20/30 25/55-55	200° bis 230° C	mindestens 200°C
	10/40-65	210° bis 230° C	mindestens 210°C

Abbildung 6: Richtwerte für die Asphaltmischguttemperatur [11]

3 Materialien

3.1 Bitumen

Bitumen ist ein schwerflüchtiges, klebriges und abdichtendes rohölstämmiges Produkt, das auch in Naturasphalt vorkommt und das in Toluol vollständig oder nahezu vollständig löslich ist (Abbildung 7). Bei Umgebungstemperatur ist es hochviskos oder nahezu fest. Aus Gründen des Umwelt- und Dienstnehmerschutzes ist es erforderlich, Bitumen und Asphalt von Teer, Pech und Produkten aus diesen definitionsmäßig zu trennen. [1]



Abbildung 7: Bitumen [2]

Bitumen stellt ein kolloidales System dar, in dem eine disperse Phase (Asphaltene) in einer kontinuierlichen Phase aus hochsiedenden Ölen (Maltene) in stabiler Verteilung vorliegt. Art, chemische Zusammensetzung und der Anteil der beiden Phasen sind entscheidend für Eigenschaften des Bitumens. Noch wichtiger bei Bitumen ist die Temperatur, denn es hat keinen ausgeprägten Schmelzpunkt, sondern einen Erweichungspunkt. Unterhalb der Temperatur, bei der die Erweichung eintritt, verhält sich Bitumen relativ spröde, oberhalb dieser Temperatur ist es gut verformbar und zeigt viskose Eigenschaften. Diese Fähigkeit von Bitumen beiträgt zum Einsatz als Bindemittel im Straßenbau. [4]

Bitumen bezeichnet ein sowohl natürlich vorkommendes als auch durch Raffinierprozess als Erdöl gewonnenes Gemisch aus verschiedenen organischen Stoffen. Mit Hilfe der fraktionierten Destillation werden aus Erdöl zunächst Treibstoffe und Öle gewonnen. Nächste Phase ist die Vakuumdestillation, wo weitere Produkte wie Gasöle und Schmieröle entzogen werden. Danach verbleibt Bitumen als nicht mehr wirtschaftlich weiter aufbereitender Destillationsrückstand. Bitumen ist bei Raumtemperatur nicht flüchtig und somit praktisch geruchlos und auch gegen viele Chemikalien unanfällig. In weiteren Prozessen kann dieses Bitumen zu Oxidationsbitumen, Fluxbitumen, Polymerbitumen oder Bitumenemulsionen weiterarbeitet werden. [5]

Je nach Art und Anzahl der bei der Bitumenherstellung durchlaufenen Verfahrensschritte werden viskose bis spröde Produkte enthalten. Bitumenhaltige Bindemittel gehören zu den Kohlenwasserstoff-Bindemitteln. Bitumen bestehen aus einer sehr großen Anzahl verschiedener Kohlenwasserstoffe und Kohlenwasserstoffderivate. (siehe Abbildung 8). Die Eigenschaften verschiedener Bitumenarten werden durch Prüfverfahren untersucht. Anhand der Herstellungsverfahren, der Anwendungsgebiete werden sie für eine breite industriellen Nutzung in verschieden Sorten und Arten unterteilt (Abbildung 9). Die wichtigsten Kennzahlen sind der Erweichungspunkt RuK, der Brechpunkt nach Fraaß und die Werte der Nadelpenetration. [2]

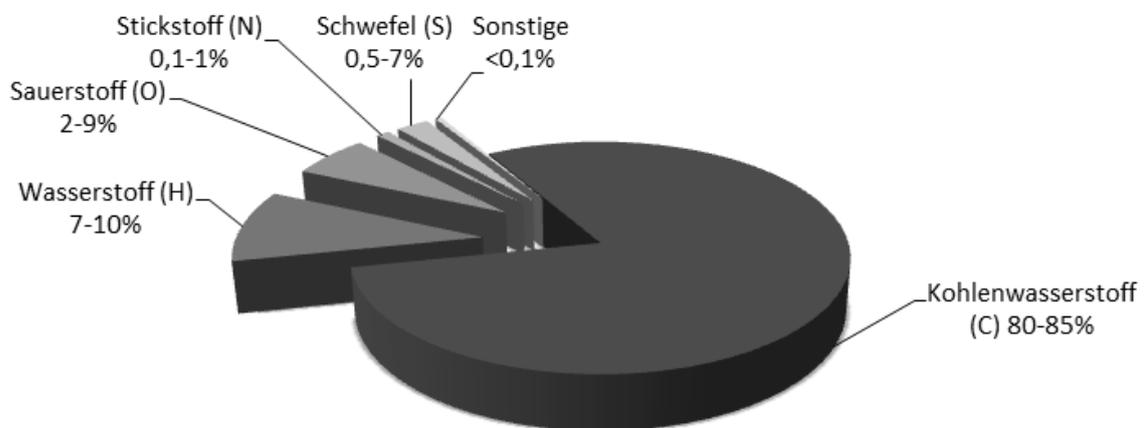


Abbildung 8: Hauptbestandteile von Bitumen [5]

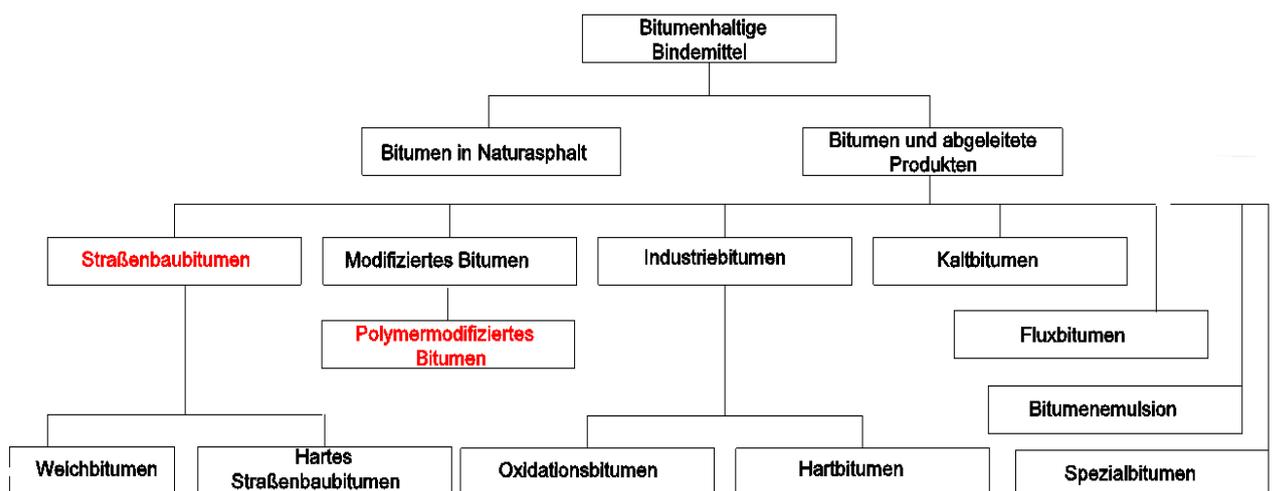


Abbildung 9: Terminologie der Kohlenwasserstoff-Bindemittel nach EN 12597 [1]

In Rahmen dieser Diplomarbeit werden ein Straßenbaubitumen B20/30 und ein polymermodifiziertes Bitumen PmB 25/55-65 schon selektiert. In den folgenden Kapiteln werden nur diese beiden Arten erläutern.

3.1.1 Straßenbaubitumen

Als Straßenbaubitumen bezeichnet man die Bitumensorten, die beim Bau und bei der Erhaltung von Verkehrsflächen und beim Wasserbau eingesetzt werden. In Europa werden die am häufigsten verwendeter Sorten von Straßenbaubitumen durch ihre Nadelpenetration bei 25°C bis zu einem Höchstwert von 900 1/10mm definiert. Die Werte von Standard-Straßenbaubitumen für die Nadelpenetration liegen zwischen 20 Zehntelmillimeter (1/10 mm) bis 330 1/10 mm. Das Straßenbaubitumen entsteht im Raffinerieprozess als Produkt der Destillationsstufe und wird auch bekannt als Destillationsbitumen. Je nach Art des Rohöls und der Dauer der Destillation entsteht Bitumen mit unterschiedlichen Härtegraden. Die Werte von Straßenbaubitumen für die Nadelpenetration geben Angabe über die Härte des verwendeten Bitumens. (Tabelle 1). Die Zahlenwerte im Name eines Bitumens (z.B. Bitumen 20/30) geben den Bereich an, in dem die Eindringtiefe der Nadel liegen darf. Die Temperaturspanne zwischen Erweichen und Versprödung bezeichnet als Plastizitätsspanne oder Gebrauchsspanne des Bitumens. [5]

Tabelle 1: Normative Zahlwerte von Straßenbaubitumen[2]

Straßenbaubitumens Kenndaten			
Sorte	EP RuK in C°	Penetration in 1/10mm	Veraltete Bezeichnung
160/200	35-43 (37-43)	160-220	B200
70/100	43-51 (43-49)	70-100	B80
50/70	46-54 (48-54)	50-70	B65
30/45	52-60 (53-59)	30-45	B45
20/30	55-63 (57-63)	20-30	B25

Weichbitumen werden durch ihre Viskosität bei 60°C charakterisiert und definiert. Die Penetration dient als Grundlage für die Einteilung der im Straßenbau verwendeten Bitumensorten. Ihre Penetrationswerte sind normalerweise zwischen 250 1/10 mm bis 900 1/10 mm. Je nach Härtegrad wird Destillationsbitumen vorzugsweise im Asphaltstraßenbau zur Herstellung von Walzasphalt oder Gussasphalt, sowie als Grundstoff für Bitumenemulsionen eingesetzt.

Zur Herstellung sehr harter Bitumensorten verwendet man eine besondere Hochvakuum-Destillation. Hartes Straßenbaubitumen weisen Penetrationswerte von 10 1/10 mm bis 30 1/10 mm auf. Sie sind daher steif und spröde. In Europa werden die Sorten 10/20 und 15/25 üblicherweise als harte Straßenbaubitumen bezeichnet. Sie werden im Bauwesen für

Gussasphalte (Geh- und Radwege, hochbelastete Verkehrsflächen und Brückenbeläge) eingesetzt, weil sie eine hohe Standfestigkeit haben. Härteres Straßenbaubitumen erfordert höhere Verarbeitungstemperaturen und ist empfindlicher gegen tiefe Temperaturen. [4]

In Rahmen dieser Diplomarbeit werden ein unmodifiziertes hartes Straßenbaubitumen B20/30 und ein polymermodifiziertes Bitumen PmB 25/55-65 eingesetzt. In Abbildung 10 sind die konventionellen Bitumenprüfungen der verwendeten Bindemittel dargestellt. Diese beiden Arten sind vorgeprüft und sind ausgewählt für das Grundziel dieses Projektes - Optimierung von Gussasphaltnischgut (MA11) nach maximaler Temperaturabsenkung.

Konventionelle Bitumenprüfungen	Penetration [1/10 mm]	Erweichungspunkt Ring und Kugel [°C]
B343A PmB 25/55-65	50	77,6
B342 20/30	31	61,0

Abbildung 10: Bitumen B20/30 und PmB 25/55-65

3.1.2 Polymermodifizierte Bitumen

Es handelt sich um Bitumen, deren rheologische Eigenschaften bei der Herstellung durch Verwendung eines oder mehrerer organischer Polymere modifiziert worden sind. Durch Zusatz geeigneter Kunststoffe, welche gezielt für die Modifizierung von Bitumen hergestellt werden, können sowohl das rheologische als auch das elastische Verhalten der konventionellen Bitumen wesentlich verbessert werden.

Polymermodifiziertes Bitumen (PmB) entsteht durch den Zusatz natürlicher oder synthetischer Polymere zu Destillationsbitumen mit teilweiser chemischer Vernetzung. Der Polymerzugabe von 3 bis 5% bewirkt eine Veränderung des Verhaltens des Bitumens. Das bedeutet Optimierung der Produkteigenschaften wie einer verbesserten Standfestigkeit bei Wärme (erhöhter Erweichungspunkt), erhöhter Haftung an der Gesteinskörnung, Verformungsbeständigkeit und einem verbesserten Langzeitalterungsverhalten. Ein wesentlicher Unterschied zum normalen Straßenbaubitumen besteht in der größeren Plastizitätsspanne und in den elastischen Rückverformungen. Durch den höheren Erweichungspunkt bei dem gleich bleibenden oder leicht erniedrigten Brechpunkt ergibt sich auch eine größere Plastizitätsspanne. Polymermodifiziertes Bitumen erreichen problemlos Erweichungspunkte um 70° C und darüber und sind in ihren Tieftemperatureigenschaften den Normalbitumen in meisten Fällen weit überlegen. [5]

Es gibt eine Vielzahl von Polymeren die unterschiedliche Einflüsse auf das Bitumenverhalten haben. Die wichtigsten Polymergruppen für die PmB-Herstellung sind PE (Polyethylen), SBR/SBS (Styrol-Butadien-Copolymere/Blockcopolymer), EPDM (Ethylen-Acrylester-

Copolymer), APP (Ataktisches Polypropylen). Die Wirkungsweise polymermodifizierter Bindemittel ist durch ihren strukturellen Aufbau sowie durch das strukturelle Zusammenwirken zwischen Polymer und Bitumen bestimmt. Wie die Straßenbaubitumen sind die polymermodifizierten Bitumen in erster Linie nach ihren Penetrationen (erster Teil der Bezeichnung, z.B. 10/40) und zusätzlich nach dem Erweichungspunkt Ring und Kugel (zweiter Teil der Bezeichnung, z.B. 60) eingeteilt. Die in Österreich derzeit gebräuchlichen Sorten sind das PmB 10/40-60, PmB 10/40-65, PmB 25/55-55, PmB 25/55-65, PmB 45/80-50, PmB 45/80-65, PmB 90/150-45 und das PmB 120/220-40. [4]

Tabelle 2: Bezeichnungen, Eigenschaften und Anwendungsbereiche von PmBs [4]

Sorte	Besondere Eigenschaften	Anwendungsbereich
PmB 10/40-60 PmB 10/40-65	hohe Verformungsstabilität große Plastizitätspanne ausgezeichnetes Haftverhalten	hochstandfeste Tragschichten Gussasphalt
PmB 25/55-65	hohe Verformungsstabilität große Plastizitätspanne ausgezeichnetes Haftverhalten	hochstandfeste Tragschichten Gussasphalt
PmB 25/55-55	hohe Verformungsstabilität große Plastizitätspanne ausgezeichnetes Haftverhalten	hochstandfeste Tragschichten Gussasphalt
PmB 45/80-65	hohe Verformungsstabilität sehr große Plastizitätspanne ausgezeichnetes Haftverhalten besonders elastische Eigenschaften sehr gutes Tieftemperaturverhalten	Dünnschichtdecken Drainasphalt Splittmastix polymermodifizierter Walzasphalt hochstandfeste Tragschichten
PmB 45/80-50	hohe Verformungsstabilität große Plastizitätspanne ausgezeichnetes Haftverhalten besonders elastische Eigenschaften gutes Tieftemperaturverhalten	Dünnschichtdecken Drainasphalt Splittmastix polymermodifizierter Walzasphalt hochstandfeste Tragschichten
PmB 90/120-65	besonders elastische Eigenschaften große Plastizitätspanne ausgezeichnetes Haftverhalten gutes Tieftemperaturverhalten	Dünnschichtdecken Drainasphalt ländlicher Wegebau polymermodifizierter Walzasphalt polymermodifizierte Bitumenemulsion
PmB 120/220-40	ausgezeichnetes Haftverhalten gutes Tieftemperaturverhalten besonders elastische Eigenschaften	polymermodifizierte Bitumenemulsion

3.2 Gesteinskörnung

Als Gesteinskörnung kennzeichnet man im Bauwesen natürliche und künstliche Gesteinskörner. Die natürlichen Gesteine kommen auf der Erde in großer Mannigfaltigkeit vor und werden im Straßenbau als bearbeitete oder unbearbeitete Naturwerksteine oder in zerkleinerter Form als Gesteinskörnung wie Schotter, Splitt, Kies und Sand verwendet. Auch industrielle Nebenprodukte und recycelte Materialien können im Straßenbau unter gewissen Voraussetzungen erfolgreich eingesetzt werden. Die Gesteine liegen entweder als Rundkorn oder in gebrochener Form vor. Um die geforderten Eigenschaften des Baustoffs zu erhalten, sind die Gesteinskörnungen entsprechend zusammenzustellen. Gebrochene Gesteinskörnung sind Steine, deren Form nicht natürlich entstanden ist, sondern künstlich zerkleinert wurde, im Unterschied zum Bruchstein oder Kies und Sand natürlicher Herkunft. Gebrochene Gesteinskörnungen werden als Primärmaterial in Steinbrüchen oder Kieswerken sowie als Sekundärmaterial gewonnen. Asphalt besteht aus Mineralstoffen (Gesteinen) und Bitumen als Bindemittel. Wenn Art oder Menge dieser Komponenten verändert werden, bekommt der Asphalt unterschiedliche Eigenschaften und kann so den geforderten Bedingungen angepasst werden. [4], [2]

Gesteinskörnungen dürfen nicht verunreinigt sein und keine schädlichen Mengen an Metallen oder Kunststoffen enthalten sowie keine Stoffe organische Ursprungs. Beim Gewinnen, Aufbereiten und Lagern von Gesteinskörnungen ist darauf zu achten, dass diese ihre Eigenschaften erhalten und die gestellten Anforderungen weiterhin nachkommen können. Bei der Wahl der Gesteinskörnung sind diese wesentliche Anforderungen zu beachten: Festigkeit, Haftverhalten gegenüber Bindemittel, Polierresistenz und Farbe. [7]

Gesteinskörnung ist körniges Material für Verwendung im Bauwesen. Es hat drei Anteile beziehungsweise grobe ($D \leq 45\text{mm}$), feine ($D \leq 2\text{ mm}$) und Füller ($D \leq 0,063\text{mm}$). Die Klassierung in die einzelnen Korngruppen erfolgt trocken oder nass durch Vibrationssiebung, bei feinen Körnung auch durch Windsichtung oder Schlämmung, wobei die unterschiedliche Sinkgeschwindigkeit verschieden großer Körner in bewegter Luft oder bewegtem Wasser ausgenutzt wird. [4], [17]

In Rahmen dieser Diplomarbeit werden zwei Gesteinsarten behandelt, deswegen wird nur auf diese beiden Arten näher eingegangen. Es handelt sich um Kantkorn und Rundkorn. (Abbildung 11)

Kantkorn ist ein gebrochenes Korn, dessen Oberfläche mit mehr als 50% gebrochen ist. Für die Untersuchungen wird Kersantit (Lamprophyr) aus Steinbruch Loja eingesetzt. Es handelt sich um fein- bis mittelkörnige, manchmal stark porphyrische Gesteine aus Biotit, Amphibolen und Pyroxenen, teilweise sind auch Klinopyroxen und Olivin beigemischt. Typisch ist ihre mittlere bis starke Dunkelfärbung, selten sind sie jedoch ultramafisch. Sie

zeichnen sich durch einen hohen Gehalt lithophiler Elemente aus und besitzen meist hohe Nickel- und Chromgehalte. (Tabelle 3)

Tabelle 3: Verwendete Kantkorn

Art der Gesteinskörnung	Größe	Anwendungsbereich
Loja-Brechkorn	0/2, 2/4, 4/8, 8/11 mm	Brechkorn als Zuschlagsstoff in Asphaltmischanlagen

Rundkorn ist ein mineralisches gerundetes Korn, dessen Oberfläche mit mehr als 50% gerundet ist. Die Zugabe von Rundkorn kann die Verarbeitbarkeit verbessern. Eine Kombination von Rundkorn und einem Additiv ist empfehlenswert. In diesem Fall erscheint die zweite Gesteinsart wie ein mineralisches Additive. Als Rundkorn wird ein karbonatischer Kies aus Werk Badenerstraße in den Laboruntersuchungen verwendet. [9]

Rundsande sind ungebrochene Gesteinskörner mit einer Körnung von 0 bis 4 mm. Rundkies ist eine ungebrochene Rundkomponenten mit einer Körnung von 4 bis 32 mm. Beide werden aus natürlichen Lockergesteinen (Kiesgruben, Seen, Flüssen) gewonnen. Sie werden im Kieswerk in den Normen entsprechende Klassen und Größen eingeteilt. Das Ersetzen des Kantkorns mit Rundkorn hat ein großes Potenzial zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit vom Gussasphalt. [8]



Abbildung 11: links ist Rundkorn 4/8 mm und rechts ist Rundkorn 8/16 mm [8]

3.3 Bitumen- und Asphaltadditive

Für die Temperaturabsenkung von Asphaltmischgütern werden meistens Wachsen oder organische Zusätze verwendet. Die Zugabe erfolgt im Form von Sonderbindermitteln (Additive schon in der Raffinerie mit Bindemittel homogenisiert) oder direkt in der Asphaltmischanlage. Die Modifikationsmengen sind üblich im Bereich von 2 bis 3 M.-% bezogen auf den Bindemittelgehalt. [9]

3.3.1 FT-Wachs (Sasobit)

Eines der am häufigsten eingesetzten Wachsadditive ist FT-Paraffin, welches aus langkettigen aliphatischen Kohlenwasserstoffverbindungen besteht. Es ist im Jahre 1925 von Fischer und Tropsch mittels der Fischer - Tropsch – Synthese hergestellt. FT-Wachs ist hart, niederviskos und hochschmelzend.

Im Allgemeinen wird bei der FT-Synthese Kohlenmonoxid in einem katalytischen Hochdruckverfahren, gefolgt von einem Destillationsprozess, bei einer Temperatur von 180 bis 280°C, in langkettige Kohlenwasserstoffe umgewandelt. Die Kettenlängen der Moleküle dieses Produkts liegen zwischen 40 und mehr als 120 Kohlenstoffatomen. Dadurch unterscheiden sich die FT-Paraffine von erdöleigenen Paraffinen, welche eine Kettenlänge von 22 bis 45 Kohlenstoffatomen aufweisen. [9]

Bei Raumtemperatur ist das FT-Wachs ein harter Festkörper. Seinen Tropfpunkt liegt zwischen 114°C und 120 °C. Bei Temperaturen oberhalb von 115 °C ist das FT-Wachs vollständig in Bitumen löslich und wirkt viskositätssenkend. Bei Temperaturen unterhalb von 80 °C bis 90 °C kristallisiert das FT-Wachs zu mikroskopisch kleinen Festpartikeln aus und es bildet sich eine Art Netzstruktur im Bitumen, die die Stabilität und Verformungsbeständigkeit des Asphalttes erhöhen. Das Produkt Sasobit ist ein FT-Wachs am häufigsten von der Firma Sasol Wax GmbH mit Sitz in Hamburg und hat hohe Lagerstabilität. (Abbildung 12) [9]



Abbildung 12: FT-Wachs Granulat

Üblicherweise beträgt der Produkt Sasobit 2,5% von der Masse des Bindemittels und muss nicht höher als 3% sein wegen der höheren Steifigkeit im Fall. In den USA ist der übliche prozentuelle Anteil 1 bis 1.5%. Über dieses Wachadditiv gibt es zahlreiche Untersuchungen und Angaben. Es ist am meistens verwendet. Die Schwerpunkte liegen vor allem bei den konventionellen Bindemitteluntersuchungen, Viskositätsuntersuchungen und teilweise bei gebrauchungsverhaltenorientierten Bindemittelprüfungen. Die Einflüsse vom FT-Wachs Modifikation auf die Asphalteigenschaften werden auch untersucht. Schwerpunkte sind Untersuchungen zum Verformungsverhalten (Spurbildungstest bei Asphaltbeton und statische sowie dynamische Stempelindringprüfungen bei Gussasphalt). In der Raffinerie von Sasol in Südafrika werden die synthetischen Wachse mit der FT-Technologie für die Straßenbauindustrie hergestellt. In Hamburg werden auch Wachse hergestellt.

Eine charakteristische Eigenschaft und auch einer Nachteil des Fischer-Tropsch-Wasch ist die negative Umweltauswirkung bei Herstellung.

3.3.2 Amidmitwachs (Licomont)

Amidwachse (auch Fettsäureamide) werden im so genannten Konti-Verfahren hergestellt. Bei diesem Verfahren wird bei 200 °C und mehreren Stunden Verweilzeit in einer endothermen Reaktion aus den Rohstoffen Ethylendiamin und Stearinsäure (Verhältnis 1:2) das Amidwachs abgespalten. Die genaue chemische Bezeichnung dieses Produktes lautet Bis-stearoyl-ethylendiamin. [9] (Abbildung 13)

Fettsäureamide sind langkettige aliphatische Kohlenwasserstoffe, die synthetisch hergestellt werden. Die Kettlänge der Fettsäure-Moleküle unterscheidet sich von der Kettenlänge erdöleigener Paraffine. Amidwachse sind oberhalb von 140° C vollständig löslich in Bitumen, durch Rühren homogen mit dem Basisbitumen und senken dessen Viskosität im flüssigen Zustand. [11]



Abbildung 13: Amidwachs

Der Tropfpunkt des Amidwachs befindet sich gemäß Herstellerangaben zwischen 140 °C und 145 °C, während der Erstarrungspunkt zwischen 135 °C und 142 °C liegt. Das fast weiße Additiv ist als Pulver oder Granulatform erhältlich und kann direkt dem Bitumen beigemischt werden oder erst während des Asphaltmischvorgangs zugesetzt werden. Während des Abkühlens kristallisieren Fettsäureamide aus und bilden Kristallite im Bitumen, die die Stabilität und Verformungsbeständigkeit des Asphalttes erhöhen. [9]

Das am häufigsten verwendete Produkt ist Licomont BS 100 von der Firma Clariant GmbH mit Sitz in Frankfurt. Das Produkt ist eine Mischung von Fettsäurederivaten und wird nicht zu den Amidwachsen, sondern zu den Spezialprodukten im Katalog von Clariant GmbH zugeteilt. Das Produkt Licomont BS 100 wird selbst von Clariant GmbH für den Straßenbau empfohlen. Andere Hersteller oder Lieferanten sind Haihang Industry Co., Ltd. (China), Hana Corporation (Südkorea), Lion ChemTech Co., Ltd., (Südkorea), Promax Industries (Dänemark), Deurex AG (Deutschland), Süddeutsche Emulsions-Chemie GmbH und GKG Mineralölhandel GmbH & CO KG (Deutschland). Von denen nur Promax Industries (Dänemark) und GKG Mineralölhandel GmbH & CO KG beziehen ihren Produkt mit der Asphaltindustrie. Promax Industries (Dänemark) bezeichnen das Amidwachs als Versteifungsmittel für Asphaltmischgüter.

Im Produktenkatalog von Clariant GmbH gibt es drei andere Produkte, die als Amidwachs beschriftet sind. Sie sind aber nicht vom Hersteller als Additive zu Temperaturabsenkung vom Asphaltmischgut vorgesehen. Ihre Eigenschaften, die im Produktkatalog gegeben sind, unterscheiden sich nicht von diesen dem Licomont BS 100.

Hinsichtlich der Umweltfreundlichkeit bei der Herstellung ist das Amidwachs ein sauberes Produkt. In Rahmen dieser Forschung wird Licomont BS100 als Bitumenadditive mit besondere Erwartung für Laboruntersuchungen ausgewählt. Wenn man den Einfluss von FT-Wachs, Montanwachs und Amidwachs auf die Eigenschaften des Endprodukts vergleicht, hat wahrscheinlich das Amidwachs das größte Potenzial.

3.3.3 **Montanwachse (Asphalten)**

In der Regel wird Montanwachs nicht als reines Additiv im Handel vertrieben. Es handelt es sich dabei um ein Stoffgemisch aus Rohmontanwachs und höhermolekularen Kohlenwasserstoffen mit einem Schmelzbereich zwischen 110°C und 140°C. Daraus erklärt sich, dass Montanwachse andere physikalische Eigenschaften haben und nicht mit den paraffinischen Anteilen im Bitumen verglichen werden können. Montanwachs sind oberhalb ihres Schmelztemperatur vollständig löslich in Bitumen, vermischen sich durch Rühren homogen mit dem Basisbitumen. Die Gewinnung des reinen Montanwachses erfolgt mit Hilfe der Toluolextraktion aus Braunkohle und anschließender Trennung des Toluols vom Rohmontanwachs mittels einer Verdampfungsanlage. [9] ,[11] (Abbildung 14)

Aufgrund von produktspezifischer Unterschiede (Verhältnis Rohmontanwachs zu Kohlenwasserstoffen) haben Tropfpunkt und Erstarrungspunkt einen großen Temperaturbereich. Der Tropfpunkt befindet sich in einem Bereich zwischen 80 °C und 150 °C, während der Erstarrungspunkt zwischen 75°C und 145 °C liegen kann. Diese Produkte sind entweder in Granulatform und können in der Asphaltmischanlage direkt beigemischt werden oder als fertig modifiziertes Bitumen eingesetzt werden. Die angebotenen von der Firma Romonta GmbH mit Sitz in Amsdorf, Deutschland, Produkte sind Asphaltan A (bevorzugt für Gussasphalt), Asphaltan B (bevorzugt für Walzasphalt und Bitumenmodifizierung), Asphaltan Bit (bevorzugt für Bitumenmodifizierung) und Asphaltan 117 (bevorzugt für Bitumenmodifizierung/Bitumenbeschichtung).



Abbildung 14: Montanwachs Granulat

Asphaltan-B ist eine Mischung von Montanwachs und Fettsäureamiden. Laut dem Hersteller ist Asphaltan-B eine Mischung von Montanwachs und höhermolekularen teils funktionalisierten Kohlenwasserstoffen. Der Erstarrungspunkt von Asphaltan-B liegt bei ca. 100°C und lässt sich in der Bitumenmatrix leicht auflösen. [9]

Andere Hersteller oder Lieferanten von Montanwachs sind Clariant International Ltd (Tropfpunkt zwischen 74°C und 99°C), Süddeutsche Emulsions-Chemie GmbH (Erstarrungspunkt zwischen 70°C und 140°C). In ihren Produktkatalogen bezeichnet Montanwachs aber nichts für die Verwendung im Straßenbau.

3.3.4 Polyethylenwachs (Licocene, Luwax A)

Polyethylenwachs wird durch einen Niederdruckprozess in Kombination mit Metallocene-Katalyse oder Ziegler-Katalyse, entwickelt von Firma Clariant hergestellt. Allerdings ist eine detaillierte Beschreibung des Herstellungsprozesses nicht veröffentlicht. [9]

Die Firma Clariant bietet eine breite Auswahl von den Polyethylenwachsen an und bezeichnet diese als Licocene. Diese Produkte unterscheiden sich durch ihren Tropfpunkt (80 °C bis 140 °C) und die damit verbundenen Viskositätseigenschaften. Ein ähnliches Produkt ist auch Luwax A von der Firma BASF. Hierbei handelt es sich ebenfalls um ein Polyethylenwachs mit ähnlichem Tropfpunkt (107 °C bis 114 °C). In Rahmen dieser Untersuchung wird das Produkt namens Licocene PE 4201 für Optimierung der abgesenkten Gussasphalte behandelt. [14] , [4]

Die Zugabe von Polyethylenwachs hat eine viskositätssenkende Wirkung, aber diese Effekte sind nicht so signifikant. Durch die hohen Herstellungskosten ist dieses Produkt nicht wirtschaftlich und findet aus diesem Grund keine Anwendung im Asphaltstraßenbau. Im Zuge dieser Arbeit wird es weiter behandelt. Die Prozessoptimierung mit dem Polyethylenwachs ist aber leicht und genau zu beschreiben. Alle Eigenschaften bei verschiedenen Temperaturen sind leicht definierbar, aber trotzdem ist ein teures Produkt. [9] (Abbildung 15)



Abbildung 15: Polyethylenwachs Granut

3.3.5 Synthetische Zeolithe – Natrium Aluminium Silikate (aspha-min, advera)

Prinzipiell werden Zeolithe in zwei Gruppen verteilt, die „Natur-Zeolithe“ und synthetisch hergestellte Zeolithe. (Abbildung 16) Zeolithe sind Gerüstsilikate mit locher Struktur, die im Inneren Fremdmoleküle aufnehmen und wieder abgeben können ohne die Form zu verändern. Sie sind auch form- und größenstabil.

Derzeit gibt es ca. 150 unterschiedliche synthetisch hergestellten Zeolithe und 48 natürlich vorkommende Zeolithe. Die Herstellung von den synthetischen Zeolithen erfolgt aus stark alkalischen wässrigen Lösungen von Silizium- und Aluminiumverbindungen. Daraus entsteht ein gelartiges, amorphes Natrium-Aluminium-Silikat, welches nach der hydrothermalen Kristallisation gewaschen und sprühgetrocknet wird. Durch die Zugabe von Additiven entsteht ein granuliertes, rieselfähiges Produkt mit einer durchschnittlichen Partikelgröße von 350µm. Die Unterschiede der einzelnen Zeolithe entstehen einerseits aus der Zusammensetzung der Reaktionsmischung und andererseits aus der Rührgeschwindigkeit und Kristallisationstemperatur. [11], [9]

Natürliche Zeolithe besteht aus etwa 6 bis 12 % und synthetische Zeolithe bis zu 25 % Wasser. Das entspricht pro Tonne Asphalt ca. 1 bis 1,5 Liter Kristallwasser. Während der Mischprozess werden Zeolithe mit dem Füller zugegeben. Die Wirkungsweise des Zeolithes beruht auf dem Verdampfen des Kristallwassers während des Mischvorgangs. Dabei bildet sich feindisperser Wasserdampf, welcher in Bläschenform an die Oberfläche wandert. Dadurch wird die Verarbeitviskosität des Bitumens stark absenkt und damit hergestellte Asphaltmischgut kann auch bei abgesenkten Temperaturen problemlos gebaut werden. Beim Abkühlen des Asphaltes und des Bindemittels kondensieren die mikrofeinen Dampfbläschen und die Viskosität steigt wieder auf. Das bedeutet, dass hergestelltes Asphaltmischgut wieder seine ursprünglichen Eigenschaften besitzt. [11]



Abbildung 16: Synthetische und natürliche Zeolithe

Es gibt zwei Handelsformen des synthetischen Zeoliths, weißes Feingranulat und feinteiliges Pulver. Der Zeolith wird in Mengen von 0,2 bis 0,3 M.-% direkt zum Mischgut zugesetzt. Bei der Anwendung von Zeolith als viskositätsreduzierendes Additiv ist anzumerken, dass die viskositätssenkende Wirkung zeitlich begrenzt ist und bei Lagerung und Transport bedacht werden muss. [9]

Zeolith wird in Europa von der Firma Aspha-min GmbH (Hanau, Deutschland), sowohl in Pulver als auch in Granulatform vertrieben, während in den USA die Firma PQ Corporation (Philadelphia, Pennsylvania, USA) das sehr ähnliche Produkt „Advera WMA“ vertreibt. Der einzige Unterschied ist die etwas kleinere Partikelgröße (3 – 6 µm) [9]

3.4 Gussasphaltrezeptur

Es werden zwei Gussasphaltsorten (MA8 und MA11), die am häufigsten in Österreich verwendet werden, optimiert. MA8 und MA11 sind Abbreviationen. Ihrer ganzen Name ist Mastic Asphalt 8 und Mastic Asphalt 11. Diese Zahlen gibt die Angabe über das Größtkorn der entsprechenden eingesetzten Gussasphaltarten. Die Optimierung der Gussasphalte erfolgt auf der Grundlage von Ausgangsrezepturen. Kennzeichnend für beide Gussasphalte MA8 und MA11 ist ein relativ hoher Bindemittelgehalt, der aus einem PmB 25/55-65 oder einem Straßenbaubitumen B20/30 zusammengesetzt ist. Die Sieblinien der Mischungen befinden sich im mittleren Bereich der vorgegebenen Grenzen der RVS 08.97.05, mit der Tendenz zu größeren Zusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches. Die detaillierten Untersuchungen nach der optimalen Sieblinien ergeben sich, dass MA 11 bessere Verarbeitbarkeit in Vergleich zu MA8 hat.

Um die Optimierung von Gussasphaltnischgut nach maximaler Temperaturabsenkung bei gleichbleibender Verarbeitbarkeit zu erreichen und gleichzeitig das Hoch- und Tieftemperaturverhalten positiv zu beeinflussen, können eine Vielzahl von Asphaltkomponenten variiert werden. Die Temperaturreduzierung erfolgt über die Zugabe des Zusatzmittels, von dem ein tendenziell schlechteres Tieftemperaturverhalten zu erwarten ist. Um dem entgegenzuwirken wird der Einfluss des Bitumens auf das Tieftemperaturverhalten und die Verarbeitbarkeit näher betrachtet, mit der Zielsetzung den Anteil im Bindemittel zu reduzieren. Eine generelle Reduktion des Bindemittelgehaltes zur Erhöhung der Standfestigkeit ist zunächst nicht vorgesehen, da hierdurch negative Auswirkungen sowohl auf die Verarbeitbarkeit als auch das Tieftemperaturverhalten zu befürchten sind. [17]

Die Veränderungen werden in der Zusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches vorgenommen mit der Zielsetzung eine dichtere Struktur zu erschaffen und den Mastix, bestehend aus dem Bitumen und dem Füller, zu verbessern. Durch das dichtere Korngefüge werden positive Auswirkungen auf die Standfestigkeit erwartet und infolge eines größeren Mastixanteils deutlich bessere Verarbeitungseigenschaften. Zusätzlich kann durch die Zugabe von hochwertigerem Kalksteinfüller die Asphalteeigenschaften verbessert werden. Um einen Praxisbezug zu den im Mischwerk des Herstellers verwendeten Lieferkörnungen herzustellen, wird die Anpassung der Sieblinie des Gesteinskörnungsgemisches auf der Grundlage der Siebanalyse der einzelnen Lieferkörnungen vorgenommen. [17]

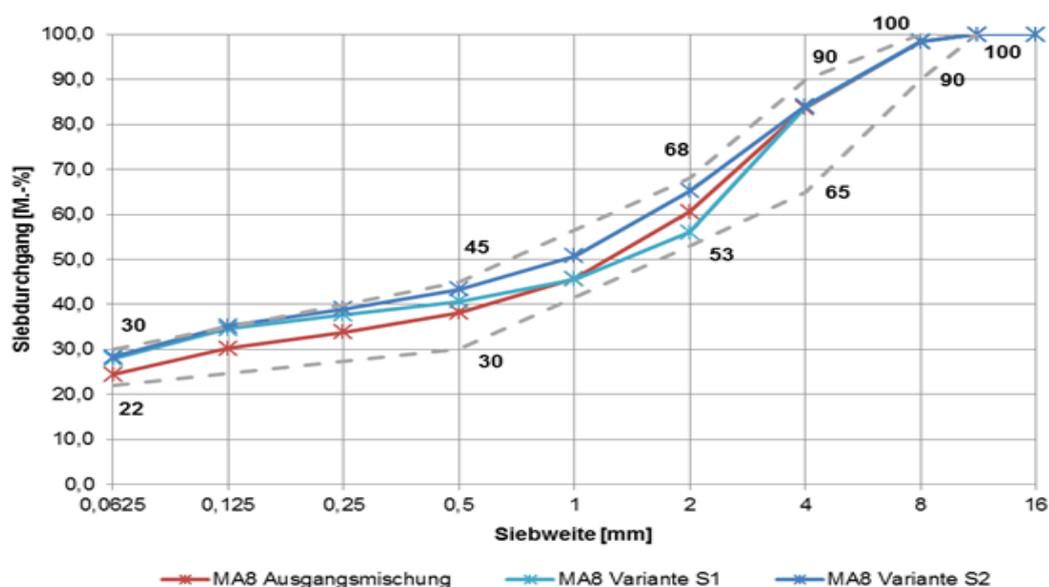


Abbildung 17: Sieblinie des Gussasphaltes MA8[17]

Unter Berücksichtigung der Grenzen für die Sieblinien des Gussasphaltes MA8 (Abb.17) gemäß ÖNORM B3580 ist für die Variante S1 ein deutlich höher Anteil an Kalksteinfüller und Splitt der Lieferkörnung 2/4 geplant. Im Ergebnis ergibt sich ein sehr splitt- und füllerhaltiges Gesteinskörnungsgemisch. In der Variante 2 kann man einen erhöhten Füllergehalt und geringeren Anteil der Lieferkörnung 2/4 bemerken. Im Vergleich zur Variante 1 ergibt sich ein beständiger und hohlraumärmerer Verlauf der Sieblinie (Tabelle 4). [17]

Tabelle 4: Anteil der Lieferkörnungen an der Zusammensetzung- Gussasphalt MA 8[17]

Lieferkörnung	Gesteinsart	MA8 Vorgabe	MA8 Variante S1	MA8 Variante S2
Füller	Kalkstein	21,4 %	27,8 %	26,4 %
0/2	Porphyrit (Loja)	39,2 %	24,2 %	39,2 %
2/4	Porphyrit (Loja)	15,9 %	25,4	10,9 %
4/8	Porphyrit (Loja)	14,8 %	13,9 %	14,8 %
Anteil Gestein	Σ	91,3 %	91,3 %	91,3 %
Anteil Bindemittel	Σ	8,7 %	8,7 %	8,7 %

Das Bindemittel bildet zusammen mit dem Füller des Gesteinkörngemisches einen Mastix im Gussasphalt, der für die Verarbeitung maßgeblich ist. Wird der Fülleranteil erhöht, wo bildet sich eine größere Mastixmasse. In weiteren Untersuchungen für das Projekt Prater Brücken zeigt die Variante S2 bessere Ergebnisse im Vergleich zur Variante S1 trotz des höheren Splittanteils.

Um der optimierte Sieblinie des Gussasphaltes MA11 anzupassen, wird ein höherer Füllergehalt unter Verwendung von Kalksteinmaterial erzielt. Im Splittbereich wird die Sieblinie der Ausgangsmischung beibehalten. Aufgrund des relativ niedrigen Bindemittelgehaltes der Ausgangsmischung wird dieser in der optimierten Variante um 0,2 M.-% erhöht (Tabelle 6). 8,2 % Anteil des Bindemittels ist normal für Gussasphalt wegen des höheren Bitumengehalts (6-9%), der Einer der Unterschiede zwischen Walzasphalt und Gussasphalt ist. [17]

Mittels der empfohlenen Sieblinien für MA11 S1 und MA8 S2 und auch mittels der Einhaltung der Richtwerte haben wir im Labor unsere Sieblinie erschafft.

Tabelle 5: Anteil der Lieferkörnungen an der Zusammensetzung- Gussasphalt MA 11 [17]

Lieferkörnung	Gesteinsart	MA11 Vorgabe	MA11 Variante S1
Füller	Kalkstein	22,0 %	27,1 %
0/2	Porphyrit (Loja)	29,0 %	17,5 %
2/4	Porphyrit (Loja)	8,0 %	18,4 %
4/8	Porphyrit (Loja)	17,0 %	11,8 %
8/11	Porphyrit (Loja)	16,0 %	17,0 %
Anteil Gestein	Σ	92,0 %	91,8 %
Anteil Bindemittel	Σ	8,0 %	8,2 %

Es ist empfehlenswert , dass man auf Gussasphalt MA 11 konzentrieren werden muss, weil Gussasphalt MA 11 mehr Einsatz findet und bessere Eigenschaften hat und auch zeigt bessere Verarbeitbarkeit als Gussasphalt MA 8 bei den Vorprüfungen. MA11 Variante S1 ist Richtlinie, die in der Grundlage der Zielerreichung liegt. Das ist die Formel, die für die Anfertigung der Mischguteinwaagen verwendet wird. Normalerweise hat der Gussasphalt einen höheren Bitumengehalt (6-9%) und einen höheren Füllergehalt (20-35%) im Vergleich

zum Walzasphalt. Die Tragfunktion wird von der Mastix (Füller + Bitumen) ausgeführt. Damit eine gute Verarbeitbarkeit erreicht wird, sind hohe Herstellungstemperaturen zwischen 200°C und 250°C notwendig. In Abbildung 18 und Abbildung 19 ist es dargestellt, die ausgewählte Sieblinie für MA11 und eine Einwaage des geprüften Probekörpers (22kg).

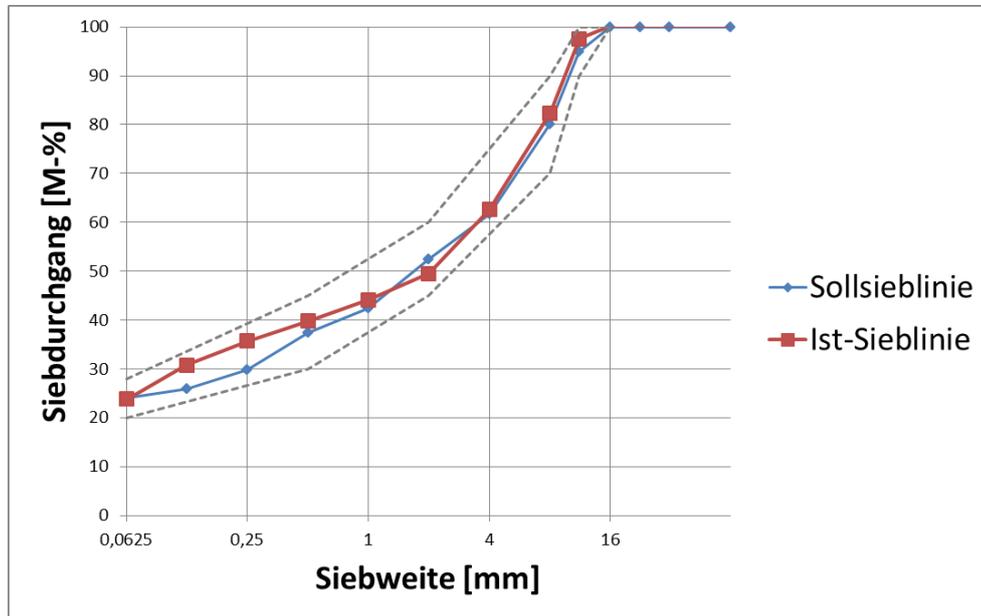


Abbildung 18:Ausgewählte Sieblinie

Einwaage					
				Anteil [M%]	Masse [g]
Bindemittel	Ziel-Bindemittelgehalt			8.20	1804.0
	Einzuwägende Masse (Klebenbleiben am Mischer)				1843.7
Zusatz	-			-	-
Gestein	F035, G681, G687, G688, G689			91.90	20218.0
	Laborcode	Material	Masse-%	Soll [g]	Ist [g]
Bitumen B343A	04.0_S185	PMB 25/55-65 + 4% Licomont	8.20	1804.0	
Füller	F035	Kalksteinmehl	27.50	6050.00	
[0 - 2]	G687	Rundkorn Badenerstraße 0/2	21.50	4730.00	
[2 - 4]	G688	Rundkorn Badenerstraße 2/4	8.10	1782.00	
[4 - 8]	G681	Rundkorn Badenerstraße 4/8	17.80	3916.00	
[8 - 11]	G689	Rundkorn Badenerstraße 8/11	17.00	3740.00	
Summe			100.10	22,022.0	

Abbildung 19: Einwaage für den Prokörper

4 Prüfmethodik

Dies ist ein erster Entwurf eines Bewertungsrahmens (stofflich, energisch, ökonomisch) von temperaturabgesenkten Gussasphalten. Reverenzprodukt ist ein 230° produzierter Gussasphalt. Entwickelt wurde dieser Bewertungsrahmen innerhalb des kooperativen FFG-Projektes E<EMA>.

In diesem Kapitel werden die verwendeten Prüfmethoden dieser Arbeit beschrieben. Das Hauptziel des Projekts ist die Produkte und Methoden zu Temperaturabsenkung für den Gussasphalt anzupassen. In Rahmen dieser Arbeit wurden ein polymermodifiziertes Bitumen PmB 25/55-65 und Bitumen B20/30 als Ausgangsbindemittel ausgewählt. Als Wachsmodifikation wird Licocene (2-4-6-10 Masse %), Licomont (2-4-6-10-30 Masse %), Sasobit (2-4-6-10-30 Masse %) und Asphalthan A (2-4-6-10-30 Masse %) zu Bitumen beigemischt. Das Mischen erfolgt heiß auf heiß bei 185°C für 10 Minuten. Synthetischen Zeolithe in der Kombination mit Amidwachs (Licomont) wird für temperaturabgesenkten Gussasphalt empfohlen. Das bedeutet zwei nichtgattungsähnliche Komponenten im Mischgut zuzugeben. In Rahmen dieser Diplomarbeit wird auf die Verarbeitbarkeit des temperaturabsenkten Gussasphalts und die Tieftemperatureigenschaften des Bindemittels eingegangen.

4.1 Labormischung von Bitumen mit Additiven

Dieses Punkt beschreibt den Vorgang, der für die Vermischung von Bindemittel mit Zusätze in dem Labor für Straßenwesen der TU Wien verwendet wurde. Das Bitumen und der entsprechender Zusatz werden bei einer Zieltemperatur aufgeheizt, damit ein erforderlicher flüssiger Zustand erreicht wird. Sie werden in 1L/2L Dose eingefügt und die Mischung verläuft zwischen 10 und 24 Minuten bei der ausgewählten Temperatur. Die verwendeten Prüfgeräte und Hilfsmittel sind Bitumenmischer, Wärmeschank, Waage, Heizplatte, Manschette und Sandbad. Der Mischer soll mit einer Rührvorrichtung ausgerüstet sein, die ausreichend stabil ist. (Abbildung 20)



Abbildung 20: Labormischer

Man braucht einen Zwangsbelüfteter Wärmeschrank zum Erhitzen des Bitumens und der Zusätze mit der angegebenen Genauigkeit auf die relevante Bezugstemperatur. Waage, mit der sich die Masse des betreffenden Mischgutes mit der angegebenen Genauigkeit messen lässt. Regulierbare Heizplatte, mit deren Hilfe sich die geforderte Zieltemperatur während des Mischens mit Genauigkeit aufrechterhalten lässt. Die Manschette ist ein regulierbares Gerät, das die 1L/2L Dose mit Bitumen und Zusatz umhüllt, um die geforderte Temperatur zu halten .Das Sand wird in Stahlwanne aufgeheizt, um die notwendige Temperatur während der Mischung aufrechterhalten zu lassen. (Abbildung 21)

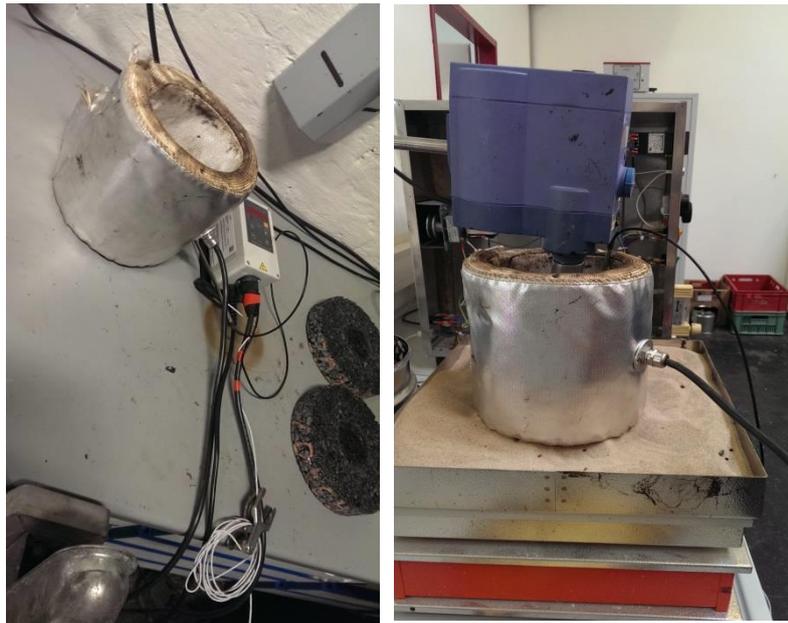


Abbildung 21: Links – Manschette , Rechts -Sandbad im Vorbereitenden Zustand

Zuerst wird das Bitumen in dem belüfteten Wärmeschrank 4 Stunden bei der entsprechenden Temperatur aufgeheizt, um genug weich zur Behandlung zu sein .Entsprechendes Bitumen wird in 1L/2L Dosen eingegossen ,wo später das Mischen stattfindet. Mit Hilfe der Waage wird die erforderliche Menge des Bitumens gemessen. Hinsichtlich des Prüfprogramms kann der prozentuellen Anteil des Zusatzes im Bitumen variieren. Es ist besser für das Mischen, wenn der Zusatz bei der Mischung in einen flüssigen Zustand ist. Die Aufheizung dauert zwischen 10 und 20 Minuten hinsichtlich der Menge von Zusatz. Man verwendet einen kleinen durchsichtigen Plastikbecher. Man soll zuerst die Zusatzmenge im Plastikbecher abwiegen und dabei die Waage auf Null stellen. Additive wird in die 1L/2L Dose zu dem Bitumen gegossen, bis die gewünschte Menge enthalten ist. Sandbad und Manschette werden auf entsprechende Temperatur von 220° eingestellt, die höher wegen der Wärmeverluste während des Versuches ist. In Tabelle.6 kann man die notwendigen Bedingungen für erfolgreiches Mischen beachten. Der Mischer wird angesteckt und der Metallstab befestigt. Wie im Vorfeld wird die abgewogene Masse

des Bitumens mittels Thermohandschuhe auf der Stahlwanne gestellt. Die 1L/2L Dose ist schon in dem heißen Sand angelegt worden und die entsprechende Zusatzmenge wird langsam in die Dose hinzugefügt. Man verwendet die Manschette, um die Dose mit Bitumen umzuhüllen. Der Gebrauch dieses Gerätes ist verbunden mit der Temperaturhaltung. Die Manschette bleibt um die Dose während des ganzen Mischens. Danach schaltet man die Maschine von 200-600 U/min ein. (Abbildung 22)



Abbildung 22: Mischen

Tabelle 6: Nötige Bedingungen für das Mischen

Bitumen	Additive	Menge [%]	Dauer [min]	U/Min	Temperatur [°C]
PmB 25/55-65	Licomont	2	10	200-400	185 +/- 5°C
PmB 25/55-65	Licomont	4	10	200-400	185 +/- 5°C
PmB 25/55-65	Licomont	6	12	200-400	185 +/- 5°C
PmB 25/55-65	Licomont	10	11	200-400	185 +/- 5°C
PmB 25/55-65	Licomont	30	11	600	185 +/- 5°C
PmB 25/55-65	Licocene	2	10	200-400	185 +/- 5°C
PmB 25/55-65	Licocene	4	10	200-400	185 +/- 5°C
PmB 25/55-65	Licocene	6	10	200-400	185 +/- 5°C
PmB 25/55-65	Licocene	10	10	200-400	185 +/- 5°C
PmB 25/55-65	Licocene	30	24	500	185 +/- 5°C
20/30	Licomont	2	10	200-400	185 +/- 5°C
20/30	Licomont	4	10	200-400	185 +/- 5°C
20/30	Licomont	6	10	200-400	185 +/- 5°C
20/30	Licomont	10	10	200-400	185 +/- 5°C
20/30	Licomont	30	10	500	185 +/- 5°C

4.2 Bindemittel – Prüfmethode

Die Auswertung des entsprechenden Bitumens erfolgt derzeit normalerweise mittels konventioneller Prüfmethode (Penetration, Erweichungspunkt Ring und Kugel, Brechpunkt nach Fraaß, usw). Die Werte ergeben sich keinen direkten Informationen auf das Verhalten des Bindemittels oder des damit hergestellten Asphaltmischgut für bestimmte Schaden.

Das SUPERPAVE – Programm (Superior Performing Asphalt Pavements) bestimmt Prüfkriterien, die als Grundlage zur Beurteilung der rheologischen Eigenschaften der geprüften Bitumen dienen. Die Bindemittelprüfungen wurden auch in die einschlägigen Normen überführt. Die Pumpfähigkeit und die Mischbarkeit sind charakterisiert als Verarbeitbarkeit des Bitumens. Die Prüfmethode nach SUPERPAVE ist Rotationsviskosimeter (RV) und die entsprechende europäische Norme ist EN13302.

4.2.1 Rotationsviskosimeter (RV)

Durch Messung der dynamischen Bindemittelviskosität (Zähigkeit) soll die Verarbeitbarkeit des Bitumens ausgewertet werden, um eine ausreichende Pumpfähigkeit und Mischbarkeit sicherzustellen. Ein Rotational Viskometer bestimmt die dynamische Bitumenviskosität und stellt ein koaxiales Zylindersystem mit einem stillstehenden äußeren Zylinder (Hülse) und einem rotierenden inneren Zylinder (Spindel) dar (siehe Abbildung 23). Es wird das notwendige Drehmoment für das Rotieren der Spindel gemessen. Auf die Spindel wird das erforderliche Drehmoment aufgebracht, um die Spindel mit einer Drehzahl von 20 U/min konstant rotieren zu lassen. [18]



Abbildung 23: Links: Rotational Viskometer, Rechts: Aluminiumhülse und Spindel[18]

Die Viskosität der Probe kann aus dem direkten Zusammenhang zwischen Drehmoment und Viskosität abgerechnet werden.

$$\eta = \frac{Md}{\omega} \times \frac{A}{M} [17] \quad \text{Formel 1}$$

ηdynamische Viskosität [Pa.s]

MdDrehmoment [Nm]

ΩWinkelgeschwindigkeit der Spindel [rad/s]

AFormfaktor [m^3]; A ist abhängig von der Form der Spindel

MGeometriefaktor [1/rad] M ist abhängig vom Radius der Spindel und dem Radius des Bechers

Die Schemaskizze eines Rotational Viscometers und die Prinzipskizze von Messsensor für Rotational Viscometer werden in Abbildung 24 dargestellt.

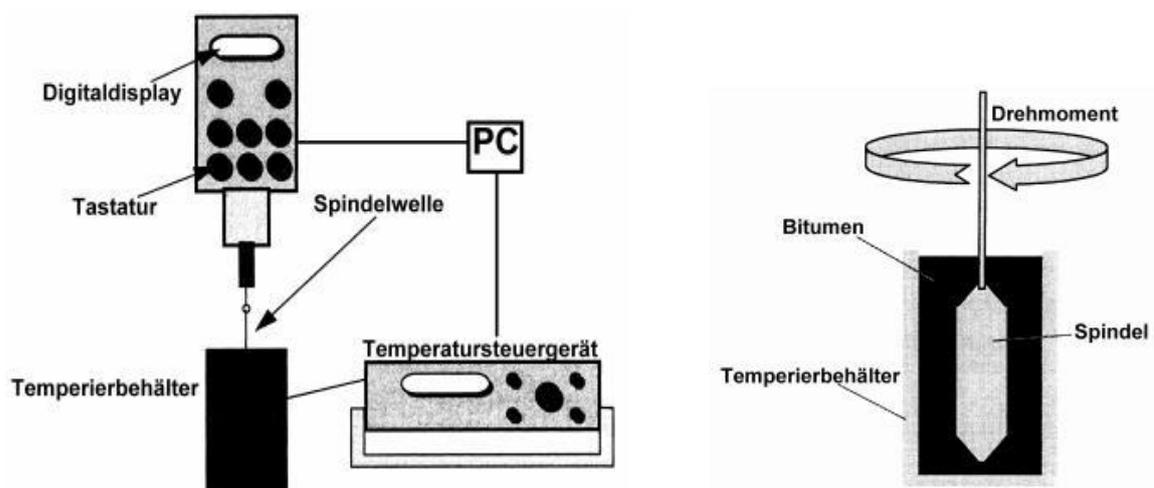


Abbildung 24: Links: Schemaskizze des RVs, Rechts: Prinzipskizze [5]

Eine schon homogenisierte Bitumenmenge, die von der Größe der Spindel abgehängt wird, wird in der Messbecher eingefüllt. Es gibt zwei Arten von den Spindelgrößen. Die große Spindel (SC-21) verwendet man für die ungealterte und die kleine Spindel (SC4-27) wird für kurz- und langzeitgealtertes Bitumen angewendet. Je größer ist die Spindel, desto kleiner ist der Abstand zwischen Spindel und Aluminiumhülse. Die Prüfung erfolgt mit jeweils 8,0 g Bindemittelgehalt bei der großen und 10,5g Bindemittelgehalt bei der kleinen Spindel. [5]

Die Prüfnorm fordert, dass eine Viskositätsmessung von 135°C notwendig ist, da normalerweise der Asphalteinbau bei ähnlichen Temperaturbereichen erfolgt. Für Ermittlung der Viskositätskurve braucht man die Viskosität bei verschiedenen Temperaturen.

Versuchdurchführung:

Zuerst läuft die Temperierzeit des Gerätes bis Temperatur bis 135 ° C, dann beginnt die Messung der Viskosität im Temperaturbereich von 140 ° C bis 250 ° C. Die Temperierzeit zwischen einzelne Temperatur dauert ungefähr 15 Minuten.

Prufbedingungen:

1. Gerätehersteller, - modell: Brookfield DV-III Programmable Rheometer
2. Bitumenmenge von 8,0g
3. Spindel SC4-21
4. Temperatur: 135 ° C und danach 140° C bis 250 ° C in 10 K Schritten
5. Drehzahl 20 U/min

Je höher die dynamische Viskosität bei einer definierten Temperatur ist, desto härter ist das Bitumen.

So sieht das Prüfprogramm des Bindemittels aus.

Tabelle 7: RV-Prüfprogramm

<i>B343 PmB 25/55- 65</i>	<i>S 184 Licocene</i>	<i>S 185 Licomont</i>	<i>S186 Sasobit</i>	B342 20/30	S184 Licocene	S185 Licomont	S186 Sasobit
2%	X	X	X	2%		X	
4%	X	X	X	4%		X	
6%	X	X	X	6%		X	
10%	X	X	X	10%		X	
30%		X	X	30%		X	

Die Prüfergebnisse werden in der nächsten Kapitel 4 anzeigt und ausgewertet.

4.2.2 Biegebalkenrheometer (BBR) gemäß EN 14771

Das Bending Beam Rheometer ist wie der Brechpunkt nach Fraaß ein Versuch für den Tieftemperaturbereich. Mittels dieses Prüfverfahren können Teiftemperatueigenschaften von bitumenhaltigen Bindemitteln einschätzt werden. Dabei wird eine Biegezugspannung in einen Bitumenbalken eingebracht und die daraus resultierende Durchbiegung gemessen (Abbildung 25). Daraus kann die Steifigkeit S und der m-Wert (Relaxationsfähigkeit, Kriechfähigkeit) des Bitumens errechnet werden. Je geringer die Steifigkeit und je höher der m-Wert ist, desto besser ist das Tieftemperaturverhalten des aus dem Bitumen hergestellten Asphalts. Das Rheometer besteht aus einem Computer, einem Kryostaten, einem

Ethanolbad zur Temperierung (von 0 bis -40 °C), einem Laststempel mit einem Weg- und Kraftaufnehmer und der Auflagervorrichtung für den Biegeversuch. [17]

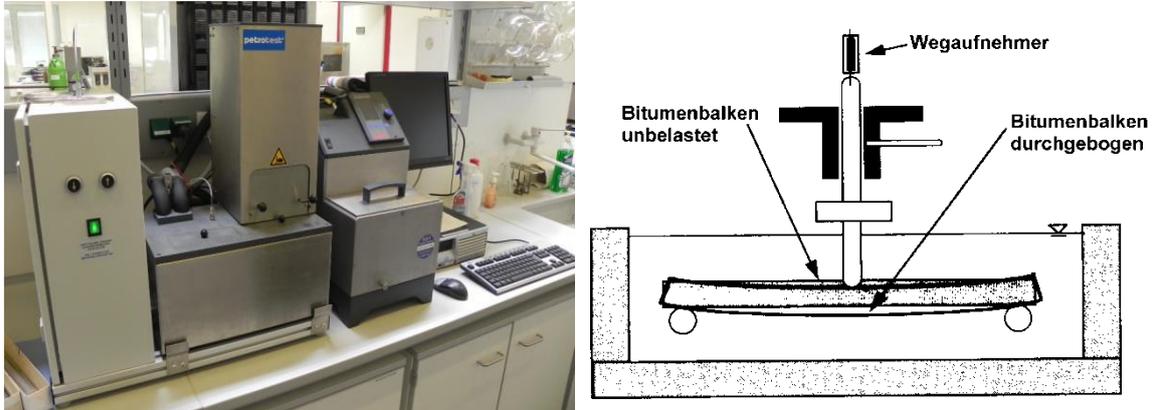


Abbildung 25: Links- Bending Beam Rheometer (BBR), Rechts- Messprinzip

Um eine optimale Temperierung des Bitumenbalkens zu erreichen, wird der Versuch in einem Ethanolbad durchgeführt. Wasser kann hier aufgrund der tiefen Temperaturen nicht verwendet werden (0 ° C bis -40 ° C). Die Methode ist auf Balkentheorie basiert (3-Punkt-Biegeversuch). Ein Balken auf zwei Auflagern wird mit einer Einzellast von 980 mN über einen Zeitintervall von 240 Sekunden belastet. Der Balken beginnt sich langsam durchzubiegen und das wird mit dem Wegaufnehmer gemessen. Aus der Belastung und der Durchbiegung kann zu jeder Zeit die Steifigkeit berechnet werden. [9]

$$S(t) = \frac{P \cdot l^3}{4 \cdot f(t) \cdot b \cdot h^3}$$

Dabei ist: $S(t)$ - Steifigkeit [Pa], P – Auflast [N], l – Abstand zwischen den Auflagern [m], f – Durchbiegung [m], b – Balkenbreite [m], h – Balkenhöhe [m].

Versuchführung:

Für jeden Versuch werden zwei Biegebalken (2x 15 g) benötigt, da die Messergebnisse gemittelt werden. Der Bitumenbalken wird anschließend auf die Auflagerpunkte gelegt und in der Mitte mit einer konstanten Auflast von 0,981 N für 240 Sekunden. Während der Versuchsdurchführung werden die Temperatur, die Kraft und die Durchbiegung gemessen. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden die Prüfungen bei Temperaturen von -6, -12, -18, -24 und -30 °C durchgeführt. Die Steifigkeitswerte werden für die Belastungszeiten von 8, 15, 30, 60, 120 und 240 Sekunden berechnet.

Prüfbedingungen:

1. Gerätehersteller, -modell: COESFELD Materialtest Bending Beam Rheometer
2. Bitumenmenge: 2 x 15 g
3. Temperierdauer: 60 Minuten
4. Temperatur: $T_{min}+10\text{ °C}$ (-6, -12, -18, -24, -30 °C)
5. Belastungsdauer: 60 Sekunden (240 Sekunden)
6. Belastung: 0,981 N

Für den Biegebalkentest nach SUPERPAVE gelten die Grenzwerte $S(60s) < 300\text{ MPa}$ und $m\text{-Wert}(60s) > 0,3$. Wenn S geringer als 300 MPa ist und wenn m -Wert über 0,3 ist, gelten die Tieftemperaturanforderungen für den betrachteten Temperaturbereich als erfüllt.

Die Prüfergebnisse werden in der nächsten Kapitel 4 angezeigt und ausgewertet.

4.3 Gussasphalt – Prüfmethode

Die Bewertung der Verarbeitbarkeit von Gussasphalt erfolgt durch Drehmomentmessung des entsprechenden Asphaltmischguts. Im folgenden Kapitel wird die Bestimmung des Drehmomentes für Gussasphalt beschrieben. Dafür benötigt man ein Asphaltmischer mit einem Drehmomentenaufnehmer. Temperaturabgesenktes Asphaltmischgut kann man in herkömmlichen Asphaltmischanlagen hergestellt werden. Die Voraussetzungen für eine einwandfreie Produktion sind gute funktionierende isolierte Abgasführung.

Bestimmung der Drehmoment für Heißasphalt im Labor des Forschungsbereiches für Straßenwesen der TU WIEN :

Die Mischgutkomponenten Gestein und Bindemittel müssen vor dem Mischprozess getrocknet bzw. auf die entsprechende Mischtemperatur aufgeheizt werden. Mit Hilfe des Gegenlaufzugangsmischers lassen sich die Mischmomenten für entsprechende Temperatur während des Mischvorgangs messen und danach die Ergebnisse mit der notwendigen Software auswerten. Die verwendeten Prüfgeräte und Hilfsmittel sind Wärmekammer mit Umluft (Höchsttemperatur 220°), Schreibtisch mit Computer, Waagen mit einer Ablesegenauigkeit von $\pm 1\text{g}$ (darauf Holzbrett), Zwangsmischer, Bitumen, Fraktionierte, abgewogene Gesteinskörnungen, Spachtel, Sicherheitshandschuhe, Reinigungspapier und kleine Stahlwanne. (Abbildung 26)



Abbildung 26: Mischer und Wärmeschrank

Erste Stufe ist das Temperieren der Mischgutkomponenten. Die Mischgutkomponenten Gestein und Bindemittel müssen vor dem Mischprozess getrocknet bzw. auf die entsprechende Mischtemperatur aufgeheizt werden. Die zu verwendende Temperatur wird durch das zu verwendende Bindemittel bestimmt und kann nach Einstellung am Display kontrolliert werden. Die bereits fraktionierten und abgewogenen Gesteinskomponenten werden in entsprechenden Stahlwannen, getrennt und versetzt, in den bereits vortemperierten Wärmeschrank gestapelt. Das zugehörige Bindemittel wird ebenfalls in ausreichender Menge (mind. Benötigte Menge + 100g) in einem Metalleimer zum temperieren auf Mischtemperatur in den Wärmeschrank gestellt. Die Verweilzeit der Gesteinskomponenten im Wärmeschrank muss mindestens 5 Stunden und des Bitumens zwischen 3 und maximal 5 Stunden betragen. Das Bindemittel ist demnach entsprechend später in den Wärmeschrank zu stellen. Die Abdeckung des Bindemittelbehälters darf nur lose aufliegen, da sich sonst während des Aufheizens ein Druck im Inneren aufbaut.



Abbildung 27: Komponenten im Wärmeschrank

Die zu wählende Temperatur des Zwangsmischers entspricht der Bindemittelabhängigen Mischtemperatur und somit der zuvor für das Temperieren der Komponenten im Wärmeschrank gewählten Größe. Für das aufheizen bis 170°C benötigt der Mischer ca. 2 Stunden. Dafür den Hauptschalter an der Vorderseite einschalten und mittels der Knöpfe „+“ „-“ „<“ „>“ kann man allen Parameter einstellen. 170°C ist die ursprüngliche Temperatur, die man einstellen sollte. (Abbildung 28)



Abbildung 28: Einstellungen des Mixers

Einfüllen der Mischgutkomponenten in den Mischer ist der nächste Teil des Vorgangs. Es wird an dieser Stelle vorausgesetzt, dass bis auf das Bitumen alle Mischgutkomponenten bereits abgewogen und ggf. ordnungsgemäß temperiert vorliegen. Entsprechende Arbeitsschutzkleidung ist anzulegen. Zuerst ist der Mischer vollständig zu öffnen. Man braucht den Knopf(1) an der seitlichen Seite des Mixers zu drücken, um den Deckel zu bewegen (Abbildung 29). Die abgewogenen Gesteinsfraktionen können nun aus dem Wärmeschrank entnommen und in die Mischtrommel eingefüllt werden. Das eingestellte intervallmäßige Mischprogramm startet automatisch. Dieser Schritt dient zur Homogenisierung der Gesteinskomponenten und dauert 30 Sekunden.

Sofern der bestehende Computer ausgeschaltet sein sollte, muss dieser durch drücken der Powertaste eingeschaltet und hochgefahren werden. Die Anmeldung erfolgt mit dem Benutzernamen wsv und dem Kennwort wsv1. Man lässt sich das Software-Programm beginnen, das sich mittig auf dem Desktop mit der Bezeichnung „ Labor Mischer DMS“ befindet. Der Deckel des Mixers soll gänzlich geöffnet sein, damit die Abrechnung der Messungen anfängt. Die Übertragung der Messdaten erfolgt nach Drücken „Stop“ am Ende über Excel.



Abbildung 29: Kombination 1) + 2) - Deckel Aufmachen ; 1)+ 3) - Deckel Zumachen

Anschließend ist der Mischer wieder vollständig zu öffnen. Mit Hilfe einer Schaufel wird nun eine Mulde im Zuschlag geformt. Jetzt den Behälter mit dem Bindemittel aus dem Wärmeschrank nehmen und auf die Waage stellen und die Abdeckung entfernen, danach den Wärmeschrank wieder schließen. Das Bindemittel wird jetzt vorsichtig sukzessive in die vorbereitete Mulde der Zuschlagstoffe gekippt. Dabei wird das Fehlgewicht regelmäßig an der Waage kontrolliert. Da sich ein geringer Teil des Bindemittels während des Mischvorgangs an der Innenseite der Mischtrommel bzw. am Mischwerkzeug absetzt, ist ein Überschuss von ca. 50 bis 100 Gramm einzufüllen. Dieser wird jedoch schon bei der Erstellung der Einwaageblätter vorgesehen. Nach der Bindemittelzugabe das Mischwerkzeug wieder vollständig absenken. Es läuft 300 Sekunden und ist genügend für Homogenisierung der Komponenten. Die ersten Drehmomentmessungen bei Temperatur von 170°C sind schon vorhanden.

So nach der Vormischung verwendet man Programm 1. Die folgenden Parameter sollten so eingestellt werden:

- Haltezeit : 0 Minuten
- Zeittemperatur:180° C
- Drehzahl: 40 U/min
- Mischzeit 1 : 0 Sekunden
- Mischzeit 2 : 300 Sekunden

In Laufe des Mischvorgangs lässt sich nur der Parameter „Zieltemperatur“ verändern. Die Messung erfolgt in den Intervallen von 20°C (180°C- 200°- 220°C- 240°C). Am Anfang der Mischung erhöht sich der Temperatur schnell um 10° C und es gibt ausreichende Ergebnisse für diese Temperatur, um sie in einer pünktlichen Auswertung zu verwenden. Die Daten der Messung sind tatsächlich mit 10°C mehr im Vergleich mit schön ausgewählten Zieltemperatur (190°C-210°C-230°C-250°C).

Die Schwerpunkte dieser Messungen sind die Variation der Zugabemenge von Additiven, der Einfluss der Rundkörner auf die Verarbeitbarkeit und Kombination aus Bitumenadditive mit Zeolithen. Anhand dieser Angaben kann maximal mögliche Temperaturabsenkung bei gleichbleibender Verarbeitbarkeit bestimmen werden.

Die Prüfergebnisse werden in der nächsten Kapitel 4 anzeigt und ausgewertet.

5 Ergebnisse der Laborverfahren zur Temperaturabsenkung von Gussasphalt

Das nachfolgende Kapitel beschäftigt sich mit der Verarbeitbarkeit von wachsmodifizierten Bindemittel und temperaturabgesenkten Gussasphalten. Zu Beginn wird mit Hilfe des Rotationalviskosimeters (RV) das Viskositätsverhalten unterschiedlicher Ausgangsbitumen mit verschiedenen Wachsadditiven untersucht. Im Anschluss daran werden diese Ergebnisse anhand von Drehmomentmessungen verifiziert.

5.1 Rotationsviskosimeter

Die Viskosität ist ein Maß für die Zähflüssigkeit eines Fluids. Normalerweise wird mit dem Begriff Viskosität mit Scherung verbunden, aber es ist auch möglich, die Viskosität in Dehnung zu messen. Durch Messung der dynamischen Bindemittelviskosität kann die Verarbeitbarkeit des Bitumens ausgewertet werden, um eine ausreichende Pumpbarkeit und Mischbarkeit sicherzustellen. Ein Rotationalviskosimeter bestimmt die dynamische Bitumenviskosität. In Abbildung 30 ist es ersichtlich noch einmal die konventionellen Prüfungen der ausgewählten Bindemittel.

Konventionelle Bitumenprüfungen	Penetration [1/10 mm]	Erweichungspunkt Ring und Kugel [°C]
B343A PmB 25/55-65	50	77,6
B342 20/30	31	61,0

Abbildung 30: Konventionelle Prüfungen

Die Ausgangsbitumen sind mit den Wachsadditiven FT-Paraffin (Sasobit), Admidwachs (Licomont) und Polyethylenwachs (Licocene) zu 2, 4, 6 und 10 M.% modifiziert und geprüft worden. Die Abmessung der Viskosität erfolgt im Temperaturbereich von 135 °C bis 250 °C bei der Drehzahl 20 U/min. Je höher die dynamische Viskosität ist, desto härter ist das Bitumen. Die Variation der Zugabemenge der verschiedenen Zusätze und ihrer Einfluss auf Bindemittelviskosität sind die Voraussetzungen für die Realisation der Projektziele. Das Prüfprogramm wird in Tabelle 7 im vorigen Kapitel dargestellt.

Die Bestimmung der möglichen Temperaturabsenkung erfolgt durch Vergleich einer nichtmodifizierten mit modifizierten Bitumenproben. Die Abbildung 31 und Abbildung 32 stellen die mit Rotationalviskosimeter (RV) gemessenen Viskositätsverläufe in Abhängigkeit der Temperatur (135°C bis 250°C) dar. 135°C bei dieser Abmessung ist laut der SUPERPAVE (SUPERPAVE.2003) einer geforderten Wert.

Das Ausgangsbitumen PmB 25-55/65 ist mit allen drei Zusätze modifiziert und geprüft worden. Straßenbitumen 20/30 ist nur mit Licomont. Wegen der verbesserten Eigenschaften PmB ist empfehlenswert. (Abbildung 31, Abbildung 32, Abbildung 33)

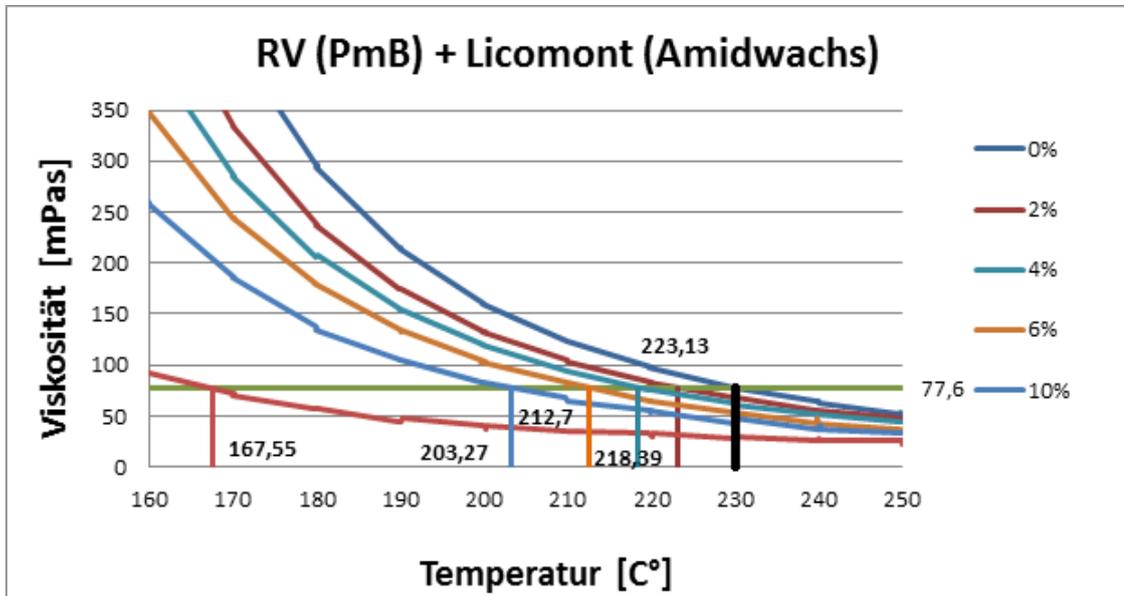


Abbildung 31: RV-Messungen PmB + Licomont

Wichtiger Punkt ist hier die Temperatur 230°C (Produktionstempetarur). Das ist unserer Referenzwert (Herstellungtemperatur vom Gussasphalt), wovon die Untersuchungen und die Analysen anfangen. Die Viskosität bei dieser Temperatur vom reinen PmB (ohne Wachse) ist 77,6 [mPas]. Der Schwerpunkt ist bei welcher Temperatur die Bitumen mit dem verschieden Zusatzgehalt gleiche Viskosität haben.

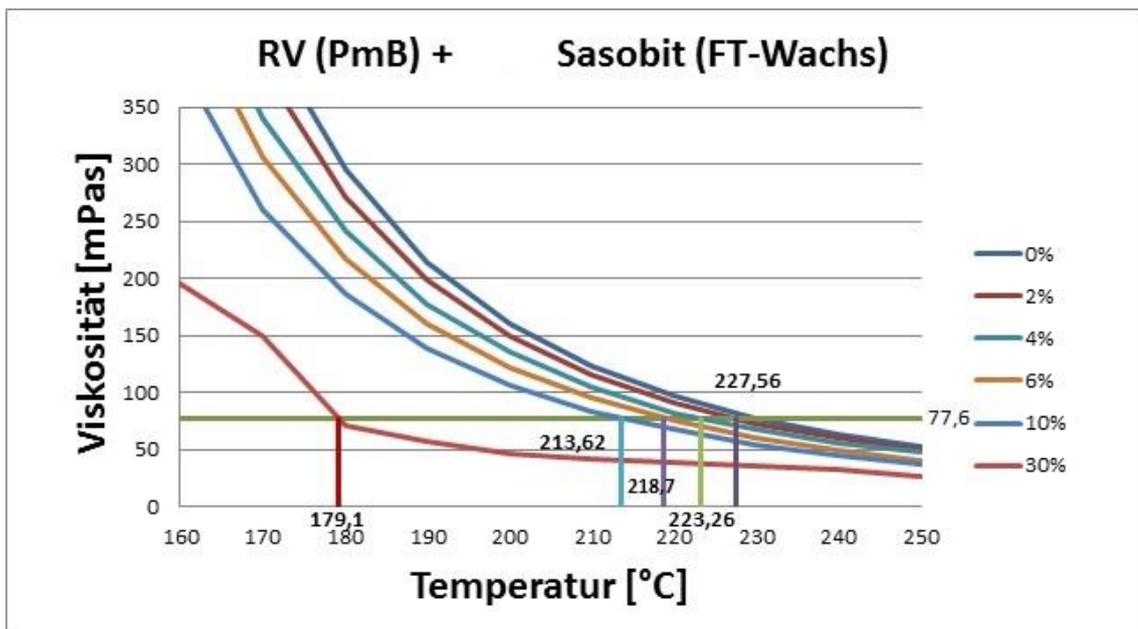


Abbildung 32: PmB + Sasobit

Aus den Viskositätsverläufen kann man schließen, dass sowohl bei Straßenbaubitumen, als auch bei polymermodifizierten Bindemitteln mit steigendem Wachsgehalt eine Reduktion der Viskosität im Hochtemperaturbereich auftritt. Darüber hinaus ist zu erkennen, die Unterschiede in der Viskosität bei höheren Temperaturen abzunehmen.

Die dargestellten Ergebnisse müssen so interpretiert werden, dass eine Verbesserung der Verarbeitbarkeit durch die Zugabe des Zusatzmittels verbessert und begrenzt ist. In den Abbildungen sind die Ergebnisse für Mischungen mit 0, 2, 4, 6, 10 und 30 M.% Licomontgehalt abgebildet. Dieser Zusatz zeigt die Ergebnisse und den besten Temperaturpotenzial im Vergleich zu den anderen Möglichkeiten, wenn es um modifiziertes Bitumen geht. 4 M.% Licomontgehalt gibt circa 12°C Reduktion der Temperatur von der Verarbeitbarkeit. Bei diesen Prüfangaben fällt darauf, dass Licocene und Sasobit fast ähnlichen Ergebnisse aber schlechter im Vergleich zum Admidwachs haben. Es kann eine deutliche Viskositätsreduktion bei der Mischmomentmessungen erzielt werden.

Straßenbitumen zeigt viel bessere Verarbeitbarkeit als **PmB 25/55-65** bei RV-Messungen bei Temperaturen >140°C (Abbildung 34). Die Viskosität bei der Herstellungstemperatur 230°C ist 42,91 [mPas]. Nichtmodifizierten Bindemittel ist weicher und deswegen hat bessere Potenzial im Hochtemperaturbereich. Für eine endgültige Auswahl ist auch wichtig die Tieftemperaturverhalten. Das unmodifizierte Bitumen hat ein schlechteres Verhalten in diesem Bereich.

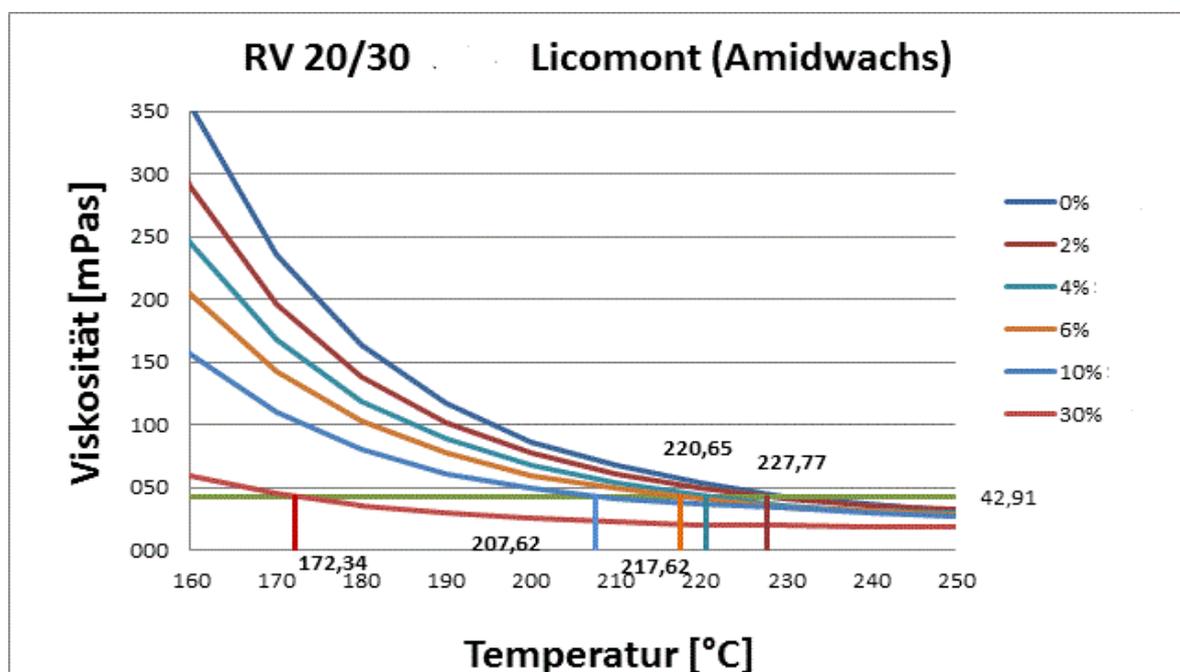


Abbildung 33: Straßenbitumen 20/30 + Licomont

Es ist ersichtlich, dass Licomont momentan das beste Potenzial hat. Polymermodifiziertes Bitumen mit 10 M.% Additegehalt ist sehr nah bis zum Projektziel, nämlich 30°C Temperaturabsenkung bei der Gussasphaltherstellung (Abbildung 34). **Licomont** hat auch die besten Ergebnisse bei den BBR-Prüfungen. (Abbildung 35) Das bedeutet -24,5°C Lower PG mit 4M.% Amidwachs. Maximal mögliche Temperaturabsenkung bei gleichbleibender Verarbeitbarkeit ist der Zweck dieser Diplomarbeit. Ca. 200° C ist Produktionstemperatur, die man erreichen muss.

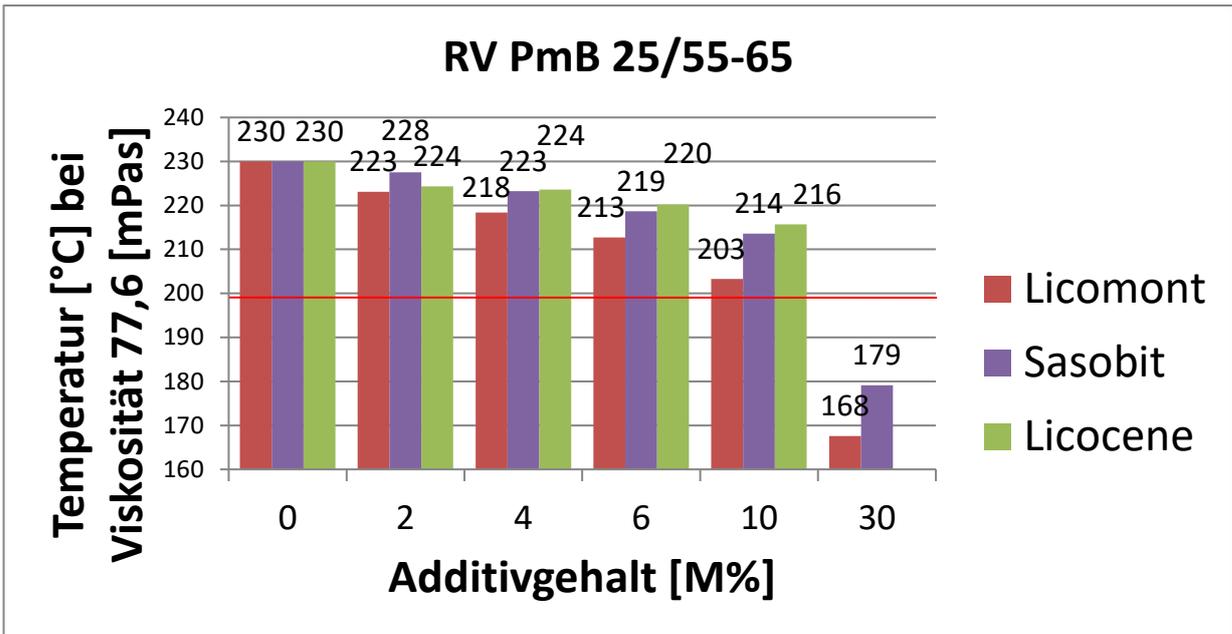


Abbildung 34: Vergleich zwischen den Additiven

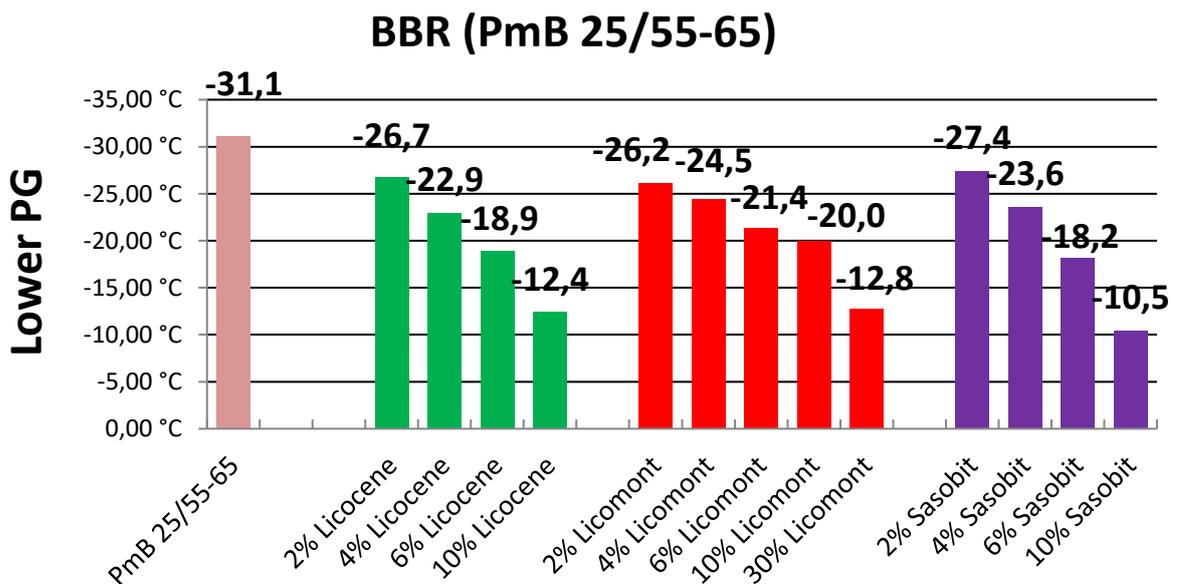


Abbildung 35: BBR Ergebnisse

5.2 Mischmomenten

Die Bewertung der Verarbeitbarkeit von Gussasphalt erfolgt durch Drehmomentmessung des entsprechenden Asphaltmischguts. Im folgenden Kapitel werden die Mischmomentergebnisse für Gussasphalt dargestellt. Temperaturabgesenktes Asphaltmischgut kann in herkömmlichen Asphaltmischanlagen hergestellt werden. Das Verfahren basiert auf dem Prinzip, einen sich drehenden Rührer durch heiße Gussasphaltmasse zu bewegen und das dabei auftretende Drehmoment zu messen. Mit der Hilfe der Ergebnisse des Drehmomentmessgeräts können Rückschlüsse auf die Verarbeitbarkeit und das Einbauverhalten von Gussasphalt gezogen werden.

Das beste Verhalten hat der Licomont 4 % bei den RV-Prüfungen. Wie im vorigen Kapitel festgestellt wurde, und das ist die wesentliche Ursache, nämlich Amidwachs für die Grundadditive auszuwählen. In Abbildung 36 kann man das geplante Prüfprogramm ansehen.

In Vorprüfungen gab es vier Mischungen mit unterschiedlicher Masse geplant (**MA11** 22kg und **MA11** 34kg). Mit 34kg brauchte der Mischer viel höhere Kraft als mit 22kg bei derselben Anfangstemperatur. Bei 34kg Mischung ist evtl. das Drehmoment leichter zu messen. Trotzdem sind die Abmessungen mit MA- 22kg gemacht.

	Versuchsn ummer	S 184 Licocene	S 185 Licomont	S186 Sasobit	RK	Zeolithe
B343 P m B 25/55-65	1					
	2	4%				
	3		4%			
	4		10%			
	5			4%		
	6		4%			0,50%
	7		4%			2,50%
	8		4%		100%	
	9				100%	
	10				50%	
	11				50%	
B342 20/30	12		4%			
	13				100%	
	14					
	15					

Abbildung 36: Prüfprogramm

Die Messung erfolgt in den Intervallen von 20°C (180°C- 200°- 220°C- 240°C). Am Anfang der Mischung erhöht sich der Temperatur um 10° C und es gibt ausreichende Ergebnisse für diese Temperatur, um sie in einer pünktlichen Auswertung zu verwenden.

Für die Mischgüter wird das temperaturabhängige Drehmoment bestimmt. Die Temperaturdifferenz bei den Drehmomenten ergibt die mögliche (theoretische) Temperaturabsenkung. Bei der Einwaagenherstellung gibt es verschiedene Varianten, wenn es um die Gesteinskörnungsform geht. Sie werden nicht nur von Kantkorn, sondern auch von Rundkorn besteht. Die beide Gesteinskörnungen werden auch zusammen und getrennt (50% Kantkorn + 50% Rundkorn) in Produktion von Gussasphaltkörper benutzen (Abbildung 37). Kombination aus Bitumenadditiven plus Zeolithen wird auch geprüft. Die Zugabe von den Zeolithen kann die Verarbeitbarkeit verbessern, aber leider gab es nicht so gute Ergebnisse.

Die Bestimmung des Rührwiderstandes ist insbesondere dann sinnvoll, wenn eine oder mehrere Komponenten des Asphaltmischguts verändert werden (feine oder grobe Gesteinkörnungen, Füller, Bindemittel, Zusätze).

Zur Bestimmung der Verarbeitbarkeit wurde zunächst der Einfluss des Licomonts auf die Verarbeitbarkeit für den Gussasphalt M11 (PmB + Kantkorn) definiert. Dazu wurden Drehmomentmessungen für die Ausgangsmischung und mit Admidwachs modifizierte Mischungen dargestellt (Abbildung 37).

Ausgehend von der Verarbeitbarkeit der Ausgangsmischung ist für die Mischungen mit 4 % und insbesondere mit 10 % Licomont eine deutliche Verbesserung der Verarbeitung festzustellen.

Der sinnvolle Wert ist 27,85 [Nm]. Das ist genau der Drehmoment vom Ausgangsmischgut bei der Produktionstemperatur 230°C. Der Schwerpunkt ist bei welcher Temperatur das Gussasphalt mit dem verschiedenen Zusatzgehalt gleichen Mischmoment hat. Die dargestellten Ergebnisse müssen so interpretiert werden, dass die Verbesserung der Verarbeitbarkeit durch die Zugabe der Additiven erreichbar ist. Das Temperaturabsenkungspotential entspricht den ursprünglichen Erwartungen und Zwecken. 26,61°C ist es bei 4% Licomont und 44,58°C bei 10% Licomont. PmP + 4% Licomont + Kantkorn ergibt Wert, der sehr nah zum Absenkungsziel ist.

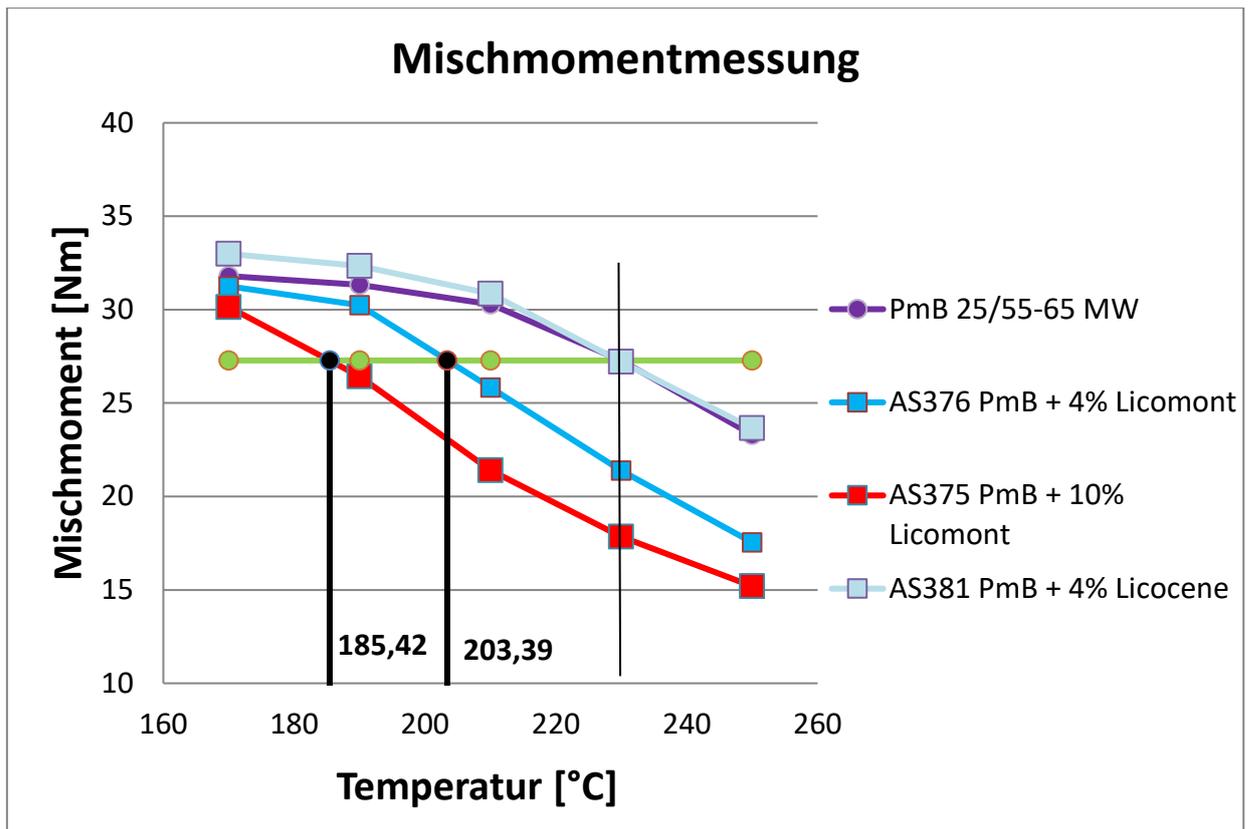


Abbildung 37: Drehmoment- Prüfergebnisse der Gussasphalt

Nach der Auswertung der vorgegebenen Mischgüter kann man eine endgültige Beurteilung machen. Alle Ergebnisse sind systematisiert und dargestellt in Abbildung 38. Diese Ergebnisse bestätigen den generellen Trend der Viskositätsreduktion. Es kommt durch Admidwachsmodifikation bei schon getesteten zu einer deutlichen Verringerung der Drehmomente und folglich zu einem signifikant günstiger Einbauverhalten.

Die Verwendung vom Rundkorn zeigt ein großes Portenzial zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit. Man hat mehr von den Zeolithen erwartet, wenn es um Temperaturreduktion geht, aber sie haben schlechtes Verhalten bei den Testen gezeigt.

Nach der Messungen kann man feststellen:

- 38,16°C Temperaturabsenkungspotenzial bei Bitumen 20/30 + 4% Licomont, bessere Ergebnisse im Vergleich zum PmB 25/55-65.
- 113,76°C Temperaturabsenkungspotenzial bei Bitumen 20/30 + Rundkorn (0/11), bessere Ergebnisse im Vergleich zum PmB 25/55-65.

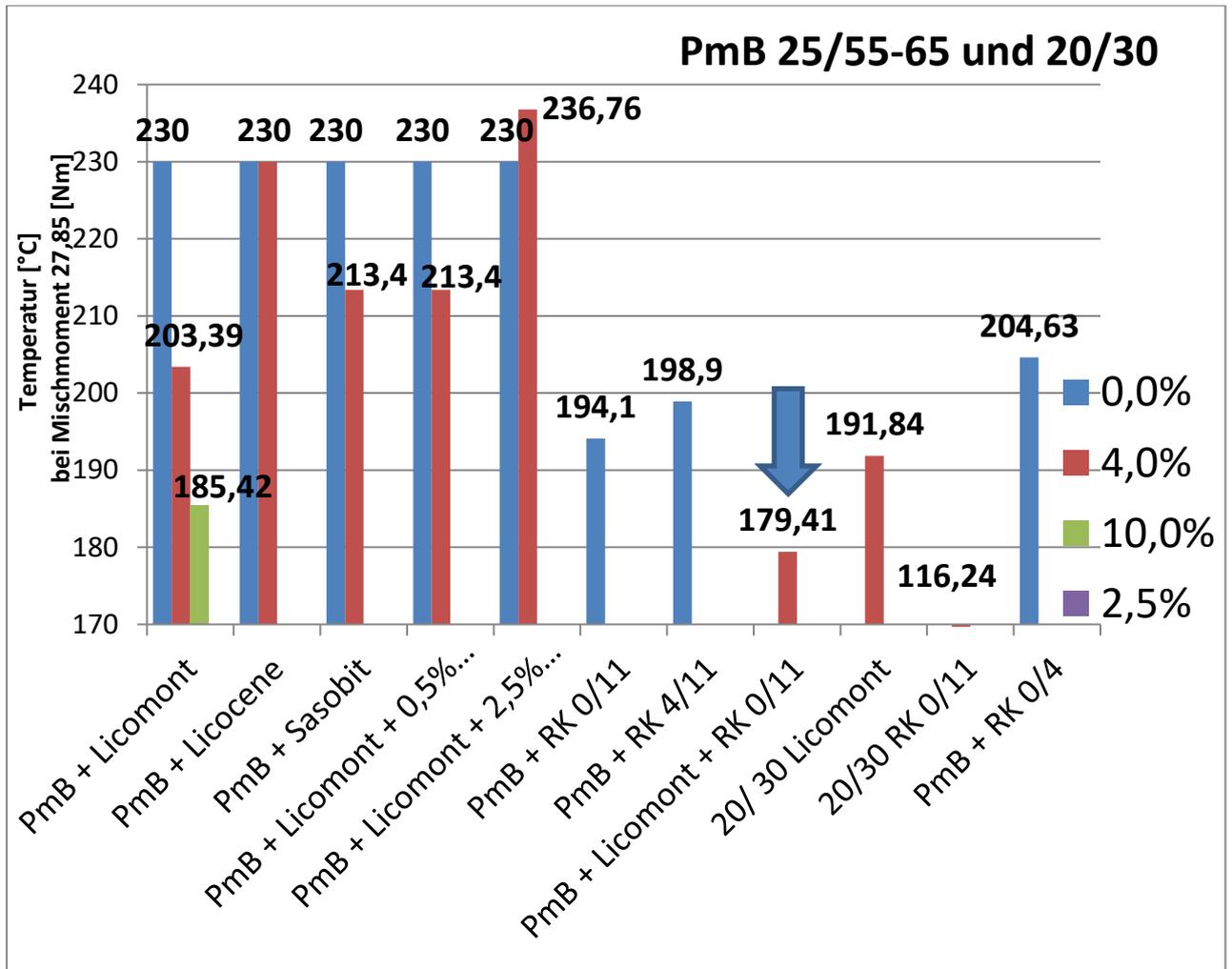


Abbildung 38: Endgültigen Mischmomentmessungen

In Abbildung 39 werden anhand der Gussasphalte MA11 PmB 25/55-65 und MA11 20/30 der Prüfergebnisse der Drehmomentmessungen mit den unterschiedlichen Additiven in der Suche von der Absenkungspotenzial dargestellt. Die Grenze von 200°C wird nicht nur von einem Asphaltmischgut überschreiten.

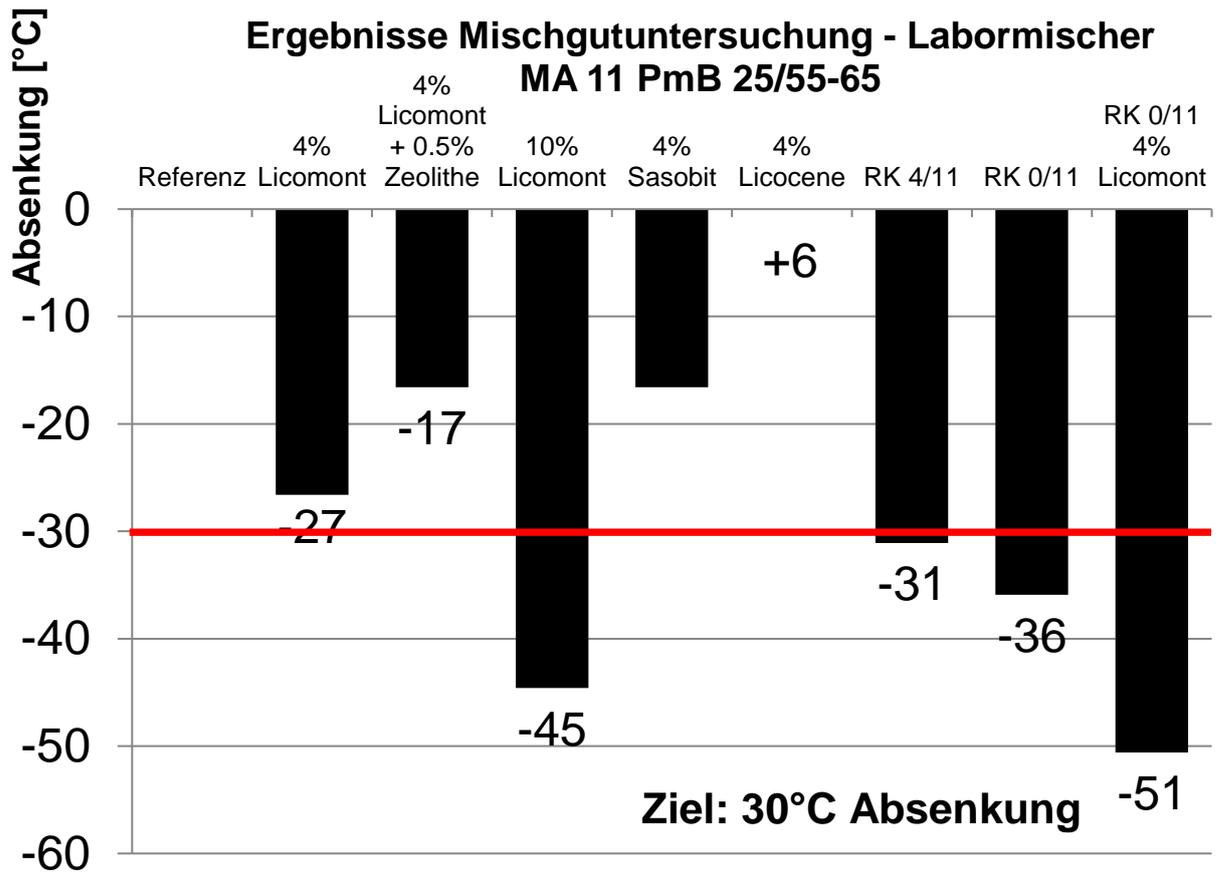


Abbildung 39: Temperaturabsenkungspotenzial

6 Zusammenfassung

In Rahmen dieser Diplomarbeit wird auf die Verarbeitbarkeit des temperaturabgesenkten Gussasphalts eingegangen. Das Grundziel ist die Optimierung von Gussasphaltemischgut nach maximaler Temperaturabsenkung bei gleichbleibender Verarbeitbarkeit zu erreichen und gleichzeitig das Hoch- und Tieftemperaturverhalten positiv zu beeinflussen

Nach der Durchführung von Rotationsviskosimeters-, BBR- und Drehmomentmessungen und insgesamt ca. 100 Versuchen werden die Ergebnisse mit der vorhandenen Datenbasis verglichen und folgenden Aussagen können gemacht werden:

- **Licomont (Amidwachs):** 4 M% vom Bitumengehalt
 - Beste Ergebnisse bei den RV-Prüfungen:
12°C Temperaturabsenkungspotenzial mit 4% Licomont
 - Beste Ergebnisse bei den BBR-Prüfungen;
-24,5°C Lower PG mit 4% Licomont
 - Beste Ergebnisse bei den Mischmomentmessungen;
26,61°C Temperaturabsenkungspotenzial mit 4% Licomont
- **Rundkorn**
 - Das Ersetzen des Kantkorns mit Rundkorn zeigt ein großes Portenzial zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit.
 - 35,9°C Temperaturabsenkungspotenzial mit 100% Rundkorn (0/11)
 - 31,1°C Temperaturabsenkungspotenzial mit Rundkorn (4/11)
 - 50,59°C Temperaturabsenkungspotenzial mit 4% Licomont und 100% Rundkorn (0/11)

Mein Diplomarbeit ist ein Teil des Projektes „High Efficient Low Emission Mastic Asphalt“ in Rahmen vom Institut für Verkehrswissenschaften an der Technischen Universität Wien. In nächstem Teil geht es um die Optimierung des Gebrauchsverhaltens. Die ausgewählten Produktute dafür sind MA11 + PmB 25/55-65 + Licomont 4%+ Rundkorn und MA11 + Bitumen 20/30 + Licomont 4%+ Rundkorn. Sie haben die besten Ergebnisse gegeben.

Literaturverzeichnis

- [1] ÖNORM EN 12597: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Terminologie, Ausgabe: 01-2001.
- [2] „Wikipedia,“ [Online]. Available: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bitumen>. [Zugriff am 01 02 2014].
- [4] D.-I. Weidlinger, Asphalt Handbuch, 2010.
- [5] M. Stoyanova, Untersuchungen der Feldalterung auf das rheologische Verhalten von Bitumen, Masterarbeit, 2014.
- [6] „<http://www.thomas-gruppe.de>,“ [Online]. Available: <http://www.thomas-gruppe.de/naturstein-asphalt/produkte-dienstleistungen/naturstein/gesteinskoernungen-fuer-asphaltmischgut/>. [Zugriff am 20 10 2014].
- [7] „<http://de.wikipedia.org/>,“ [Online]. Available: <http://de.wikipedia.org/wiki/Gesteinsk%C3%B6rnung>. [Zugriff am 20 10 2014].
- [8] „<http://www.ssk.cc/>,“ [Online]. Available: <http://www.ssk.cc/index.php?item=produkte&sub1=2&sub2=1>. [Zugriff am 21 10 2014].
- [9] D.-I. Wagner, Temperaturabgesenkte Asphalte, Wien, 2010.
- [10] „<http://www.kerzen-laedeli.ch/>,“ [Online]. Available: <http://www.kerzen-laedeli.ch/rohstoffe.html>. [Zugriff am 29 10 2014].
- [11] H. Dipl.-Ing. Richard Mansfeld, Temperaturabgesenkte Asphalte- Rarschäge aus der Praxis für die Praxis, Deutscher Asphaltverband, 2009.
- [12] „<http://bfb-bitumen.de/>,“ [Online]. Available: <http://bfb-bitumen.de/amidwachse/>. [Zugriff am 30 10 2014].
- [13] „<http://www.definitivewax.com/>,“ [Online]. Available: <http://www.definitivewax.com/inside-the-waxes/>. [Zugriff am 29 10 2014].
- [14] E. H. J. B. John D'Angelo, „Warm-Mix Asphalt: European Practice,“ American Trade Initiatives, Alexandria, 2008.

- [15] „<http://www.solostocks.de/>,“ [Online]. Available: <http://www.solostocks.de/produkte-kaufen/chemische-hilfsarbeitstoffe/andere-chemische-hilfsarbeitstoffe/polyethylenwachs-2017465>. [Zugriff am 27 10 2014].
- [16] „www.arnold-chemie.biz,“ [Online]. Available: <http://arnold-chemie.biz/archives/67>. [Zugriff am 2 11 2014].
- [17] U.-P. D.-I. D. Blab, „Generalerneuerung Praterbrücke,“ Wien, 2013.
- [18] T. Wien, „AA308_RV_20140411,“ Wien, 2014.
- [19] ÖNORM EN 12607-1: Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Bestimmung der Beständigkeit gegen Verhärtung unter Einfluss von Wärme und Luft - Teil 1: RTFOT-Verfahren, Ausgabe: 06-2007.
- [20] „<http://www.loja.at/>,“ [Online]. Available: http://www.loja.at/baustoff_stein.html. [Zugriff am 22 10 2014].

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klassifizierung nach Einbautemperatur [3].....	9
Abbildung 2: Querschnitt des Gussasphaltes [8]	9
Abbildung 3: Einbau des Gussasphaltes[4]	10
Abbildung 4: Effekten von Temperaturabgesenkter Asphalt.....	13
Abbildung 5: Vorteile von NTA.....	14
Abbildung 6: Richtwerte für die Asphaltmischguttemperatur [11]	16
Abbildung 7: Bitumen [2]	17
Abbildung 8: Hauptbestandteile von Bitumen [5]	18
Abbildung 9: Terminologie der Kohlenwasserstoff-Bindemittel nach EN 12597 [1]	18
Abbildung 10: Bitumen B20/30 und PmB 25/55-65.....	20
Abbildung 11: links ist Rundkorn 4/8 mm und rechts ist Rundkorn 8/16 mm [8]	23
Abbildung 12: FT-Wachs Granulat	24
Abbildung 13: Amidwachs.....	25
Abbildung 14: Montanwachs Granulat	27
Abbildung 15: Polyethylenwachs Granut.....	28
Abbildung 16: Synthetische und natürliche Zeolithe	29
Abbildung 17: Sieblinie des Gussasphaltes MA8[17]	31
Abbildung 18:Ausgewählte Sieblinie	33
Abbildung 19: Einwaage für den Prokörper	33
Abbildung 20: Labormischer	34
Abbildung 21: Links – Manschette , Rechts -Sandbad im Vorbereitenden Zustand.....	35

Abbildung 22: Mischen.....	36
Abbildung 23: Links: Rotational Viskometer, Rechts: Aluminiumhülse und Spindeln[18]	37
Abbildung 24: Links: Schemaskizze des RVs, Rechts: Prinzipskizze [5]	38
Abbildung 25: Links- Bending Beam Rheometer (BBR), Recht- Messprinzip	40
Abbildung 26: Mischer und Wärmeschrank.....	42
Abbildung 27: Komponenten im Wärmeschrank.....	42
Abbildung 28: Einstellungen des Mixers	43
Abbildung 29: Kombination 1) + 2) - Deckel Aufmachen ; 1)+ 3) - Deckel Zumachen	44
Abbildung 30: Konventionelle Prüfungen	46
Abbildung 31: RV-Messungen PmB + Licomont.....	47
Abbildung 32: PmB + Sasobit	47
Abbildung 33: Straßenbitumen 20/30 + Licomont.....	48
Abbildung 34: Vergleich zwischen den Additiven	49
Abbildung 35: BBR Ergebnisse.....	49
Abbildung 36: Prüfprogramm.....	50
Abbildung 37: Drehmoment- Prüfergebnisse der Gussasphalt	52
Abbildung 38: Endgültigen Mischmomentmessungen	53
Abbildung 39: Temperaturabsenkungspotenzial	54

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Normative Zahlwerte von Straßenbaubitumen[2]	19
Tabelle 2: Bezeichnungen, Eigenschaften und Anwendungsbereiche von PmBs [4]	21
Tabelle 3: Verwendete Kantkorn	23
Tabelle 4: Anteil der Lieferkörnungen an der Zusammensetzung- Gussasphalt MA 8[17]	31
Tabelle 5: Anteil der Lieferkörnungen an der Zusammensetzung- Gussasphalt MA 11 [17]	32
Tabelle 6: Nötige Bedingungen für das Mischen	36
Tabelle 7: RV-Prüfprogramm.....	39