

**DIPLOMARBEIT**  
Master Thesis

**Gebrauchsverhalten von temperaturabgesenktem Gussasphalt bei  
hohen Temperaturen**

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. 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

Ivaylo Valeriev Valchinkov

1229333

1172 Sofia, Bulgarien  
Vasil Kalchev 39/ Eingang B/Stock 8/Tür 56

Wien, im Mai 2016

Unterschrift.....

[Ivaylo Valchinkov]

## Kurzfassung

Gussasphalt ist ein dichtes, gießfähiges und streichbares Mischgut, das als Deck-, oder Schutzschicht auf hoch belasteten Straßen sowie in Bereiche von gering belasteten Verkehrsflächen eingesetzt werden kann. Es bedarf keine Verdichtung und ist aus diesem Grund unter schwierigen örtlichen Verhältnissen geeignet. Weil die Beläge aus diesem Material bei Temperaturen von mehr als 230 °C hergestellt werden, entsteht während des Einbaus ein Risiko für die Arbeitnehmer aufgrund gefährliche Dämpfe und Aerosole. Zudem kommen auch eine höhere Umweltbelastung und Kosten als Resultat des hohen Energiebedarfs bei der Asphaltproduktion in der Mischanlage. Hauptziel der Asphaltindustrie heute ist diese negativen Auswirkungen von Gussasphalt zu vermindern.

Um ein Lösung des Problems zu finden und die neuen Emissionsanforderungen zu befriedigen, werden zahlreiche Untersuchungen an das Energie-, Emissions- und Kosteneinsparungspotential über den gesamten Lebenszyklus von Gussasphalt stattgefunden. In einer noch laufenden Studie an dem Institut für Verkehrswissenschaften der Technischen Universität Wien wird auf Laborebene eine Optimierung der Mischgutproduktion in der Form von Temperaturabsenkung erzielt. Durch die Anwendung von bestimmten viskositätsverändernden Additiven/Methoden wird eine Temperaturabsenkung von mehr als 30 °C erreicht, was zu der Verminderung des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen von mehr als 20% führt. Schwerpunkt der vorliegenden Diplomarbeit ist die Auswertung der Gebrauchseigenschaften der modifizierten Gussasphalte.

Basis für die in dieser Arbeit liegende Forschung sind zwei Gussasphaltmischgüter (MA 8 und MA 4), die man einerseits mit Amidwachs Zugabe und andererseits durch Rundkornsubstitution verbessert. Die Zusammenstellung der Asphaltrezepturen und die Prüfungsvorgehensweise werden bezüglich der Ergebnisse von früheren Projekten und mit Hilfe einer Studie der am Markt vorhandenen temperaturabsenkenden Methoden ausgewählt. Als Gegenstand der Asphaltuntersuchungen stehen zwei Prüfkriterien – Verarbeitbarkeit und Hochtemperaturverhalten. Bei der Einschätzung des ersten Kriteriums werden Drehmomentmessungen in einem Labormischer realisiert und für das zweite werden einaxiale Druckschwellversuche(UCCT) verwendet.

Mit der Vergleich der Daten aus der durchgeführten Versuche wird es klar, dass durch die Modifikationen eine gute Verarbeitbarkeit ohne Qualitätsverlust bei deutlich niedrigeren Temperaturen erreichbar ist. 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 pourable and spreadable mixture, which can be used as surface, or a protective layer on heavily-used roads as well as on low-traffic areas. It doesn't require any compaction and is therefore suitable for hardly accessible conditions. Because surfaces made from that Material are produced at Temperatures of more than 230 °C, there is an occurring Risk for the workers due to hazardous Vapors or Gases. In addition, there is a higher environmental risk and costs as a result from the increased energy demands during the asphalt production in the mixing plant.

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 life cycle of mastic asphalt are taking place. In a still running Study at the Institute for transport sciences of the Technical university of Vienna there is progress being made towards Optimizing the asphalt mixture production through temperature reduction. By the use of specific viscosity reducing additives/methods a temperature reduction of more than 30 °C is achieved that leads to the reduction of energy consumption and that of GHG-emissions by more than 20 %. Main focus of the presented thesis is the evaluation of the functional characteristics of modified mastic asphalts.

The Basis for the research lying in this work are two Types of mastic asphalts (MA 8 and MA 4) that are being improved with amide waxes on one hand and via substitution of the crushed aggregate with rounded one on the other. The compiling of the asphalt mixtures and the research methodology are selected in accordance with the Results from earlier Projects and with the help of a study on the commercially available temperature reducing methods. As a point of focus for the asphalt investigation two test criteria are being selected - deformation behavior and high-temperature behavior. The assessment of the first criterion is realized through torque-measurements in a laboratory scaled asphalt mixer and dynamic pressure threshold testing is being used for the second criterion.

Comparing the data from the performed tests it becomes clear, that with the selected modifications a satisfying workability without a loss in quality at lower temperatures is achievable. 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

Vor Ihnen liegt die Masterarbeit „Gebrauchsverhalten von temperaturabgesenktem Gussasphalt bei hohen Temperaturen“, Resultat eines Forschungsprojekts, in dem ich die Charakteristik und die Möglichkeiten nach Verfeinerung des Materials Gussasphalt untersucht habe. Diese Masterarbeit ist in Rahmen des Abschlusses meines gemeinsamen Studienprogramms „Infrastrukturplanung und -management“ an der TU-Wien der UABG Sofia (Bulgarien) entstanden. Im Zeitraum zwischen Oktober 2015 und Mai 2016 habe ich mich der Durchführung von den notwendigen Prüfungen, der Datenauswertung und dem Verfassen meiner Masterarbeit gewidmet.

Ich habe meine Masterarbeit im Auftrag von dem Labor bei dem Institut für Verkehrswissenschaften an der TU-Wien geschrieben. Zusammen mit meinem Betreuer Herr Dipl. -ing. Mariyan Dimitrov sowie die Projektassistenten Dipl. -ing. Radostin Rankov und Dipl. -ing. Georgi Chankov, habe ich die Forschungsfrage, die hier zugrunde liegt, erfolgreich ausgearbeitet. Ohne ihre Kooperation hätte ich mein Forschungsprojekt nicht realisieren können.

Ich möchte die Gelegenheit nutzen und bei Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab und Univ. Ass. Dipl. Ing. Dr. techn. Bernhard Hofko für ihr Vertrauen und die Entscheidung, mich als Diplomand zu akzeptieren, ehrlich bedanken. Des Weiteren möchte ich allen Kollegen und Freunden an der TU-Wien für die angenehme Zusammenarbeit und ihre Unterstützung mein Dank aussprechen.

Im Besonderen möchte ich meinen Eltern danken. Euer guter Rat und eure lieben Worten haben mir immer geholfen.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen meiner Masterarbeit.

Ivaylo Valchinkov

## Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>  | <b>8</b>  |
| 1.1      | Motivation der Themenwahl  | 8         |
| 1.2      | Aufgabestellung und Problematik  | 8         |
| 1.3      | Zielformulierung   | 10        |
| 1.4      | Vorgehensweise   | 10        |
| <b>2</b> | <b>Basisinformation über Asphalt als Baumaterial</b>                             | <b>12</b> |
| 2.1      | Walzasphalt – Konzept und Charakteristik   | 12        |
| 2.1.1    | Klassifikation   | 13        |
| 2.1.2    | Verdichtung – Eigenschaften und Ausführung                                       | 16        |
| 2.2      | Gussasphalt – Konzept und Charakteristik   | 16        |
| 2.2.1    | Beschreibung der Materialbestandteile  | 17        |
| 2.2.2    | Technische Merkmale  | 20        |
| 2.2.3    | Einsatzgebiet  | 21        |
| 2.2.4    | Gussasphalt in der Praxis – Beispiele  | 25        |
| 2.3      | Temperaturabgesenkter Einbau von Asphalt   | 28        |
| 2.3.1    | Entwicklungsgeschichte   | 30        |
| 2.3.2    | Vorteile des Verfahrens  | 31        |
| 2.4      | Stand der Technik bei Temperaturabsenkung  | 34        |
| 2.4.1    | Viskositätsverändernde organische Zusätze (Wachse)                               | 34        |
| 2.4.2    | Viskositätsverändernde mineralische Zusätze                                      | 38        |
| 2.4.3    | Chemische Zusätze  | 38        |
| 2.4.4    | Verfahrenstechnische Methoden  | 39        |
| <b>3</b> | <b>Überblick auf der Materialliste</b>   | <b>40</b> |
| 3.1      | Gussasphaltrezepturen  | 40        |
| 3.2      | Verwendete Materialien   | 41        |
| 3.2.1    | Gesteinskörnung  | 41        |
| 3.2.2    | Bitumen  | 41        |
| 3.2.3    | Verwendete Additive  | 42        |
| <b>4</b> | <b>Prüfmethodik bei der Untersuchung von temperaturabgesenkten Gussasphalten</b> | <b>42</b> |
| 4.1      | Allgemeines  | 42        |
| 4.2      | Prüfmethoden   | 43        |

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| 4.2.1       | Drehmomentmessung (DMM) .....                               | 43        |
| 4.2.2       | Einaxialer Druckschwellversuch (UCCT) nach EN 12697-25..... | 44        |
| <b>5</b>    | <b>Darstellung der auslaufenden Prüfergebnisse .....</b>    | <b>48</b> |
| 5.1         | Prüfprogramm .....  | 48        |
| 5.2         | Verarbeitbarkeit.....                                       | 49        |
| 5.2.1       | Drehmomentmessung.....                                      | 49        |
| 5.3         | Verformungsverhalten.....                                   | 52        |
| 5.3.1       | UCCT (Einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung) .....       | 52        |
| <b>6</b>    | <b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>                    | <b>54</b> |
| <b>I.</b>   | <b>Literaturverzeichnis .....</b>                           | <b>56</b> |
| <b>II.</b>  | <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>                          | <b>60</b> |
| <b>III.</b> | <b>Tabellenverzeichnis .....</b>                            | <b>61</b> |
| <b>IV.</b>  | <b>Anhang A.....</b>  | <b>61</b> |

## Häufig verwendete Abkürzungen

- iMAS (Innovative Mastic Asphalt) – Innovativer Gussasphalt zur Energie- und Emissionseinsparung
- <E>EMA - High Efficiency Low Emission Mastic Asphalt
- MTA - Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt
- NTA – Niedrigtemperaturasphalt
- DMM – Drehmomentmessung
- UCCT - Einaxiale Druckschwellprüfung
- UTST - Direkter Zugversuch
- TSRST – Abkühlprüfung
- PmB – Polymermodifiziertes Bitumen
- STABW – Standartabweichung
- WAM – Warm Asphalt Mix
- AW – Amidwachs
- RK – Rundkorn
- KK - Kantkorn

## 1 Einleitung

### 1.1 Motivation der Themenwahl

In einer Zeit in der Probleme durch Klimaerwärmung auftreten, mit einem ständigen Risiko von Energiekrisen, kann die Asphaltindustrie einen Beitrag in der Form von Kohlendioxid- und Energieeinsparung anbieten. Quer durch Europa werden Initiativen für eine Reduzierung des Klimawandels gestartet. Um die Emissionsbelastungen im Zusammenhang mit Straßenbau und Straßeninstandhaltung abzusenken, werden erhebliche Anstrengungen nach Optimierung der Herstellungs- und Einbauprozesse von Asphalt unternommen.

Eine niedrigere Temperatur in der Asphaltproduktion kann zur Energieeinsparung und zur Verminderung von Treibhausgasen beitragen. Das Ziel ist die Entwicklung von Niedertemperaturasphalten, die als Ersatz für Heißmischgutasphalt dienen. Durch diese umweltfreundliche Alternative können bessere Arbeitsbedingungen gesichert und Kosten eingespart werden.

### 1.2 Aufgabestellung und Problematik

Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) ist vorwiegend ein Nebenprodukt vieler Lebewesen und ein Resultat des vollständigen Verbrennens von Objekten, deren Hauptbestandteil Kohlenstoff ist. Aufgrund seiner Existenz in der Erdatmosphäre als essenzielles Treibhausgas, spielt CO<sub>2</sub> eine wesentliche Rolle bei dem Erderwärmungsprozess. Dieses unbrennbare, farb- und geruchlose Gas reflektiert die Wärmestrahlung zurück auf die Erde. Durch die Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Anteils in der Atmosphäre wird noch weniger Wärme in den Weltraum abgegeben, wobei negative Prozesse wie globale Erwärmung, Schmelzen der Polarkappen und somit letztlich ein Klimawandel hervorgerufen werden.

Nach der Nationaler Ozean- und Atmosphärenverwaltung (NOAA – USA) beträgt die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft für 2013 auf ca. 396,5 ppm (parts per Million/Teile von einer Million). Vor 200 Jahren findet man diese Konzentration bei 280 ppm und in den letzten 400.000 Jahren ist dieser Wert niemals über 300 ppm gestiegen (siehe Abbildung 1). In einem Zeitabschnitt von 10.000 Jahren beträgt der größte durchgängige Anstieg 100ppm. Im Vergleich dazu steigt die Konzentration in nur 50 Jahre, zwischen 1964 und 2013, um 76,9 ppm. Es ist deutlich zu erkennen, dass ein Handlungsbedarf in der Treibhausgasproblematik besteht. [1]

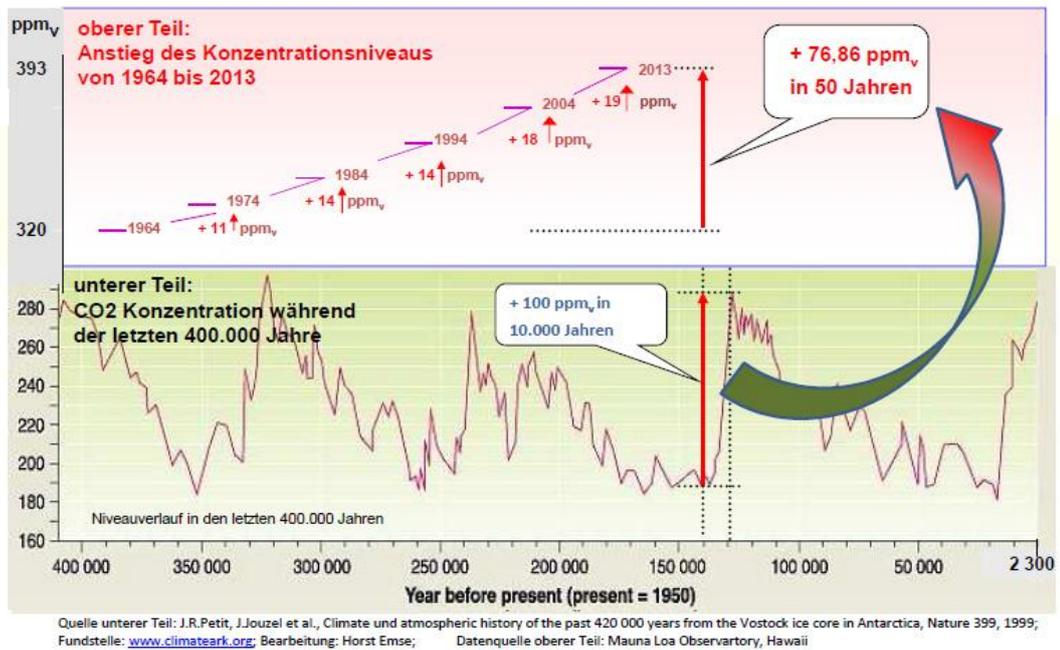


Abbildung 1: CO2-Konzentration [1]

Wie in Abbildung 2 ersichtlich ist das Ziel der „Klima Roadmap 2050“ und „Energie Roadmap 2050“ eine 80% Reduzierung der Emissionen (bezogen auf das Jahr 1990) bis zum Jahr 2050. Die Europäische Union zeigt durch ökonomisch leistbare, gesellschaftlich tragfähige und umweltverträgliche Energiepolitik die Absicht, Wachstum bzw. Wohlstand für die Zukunft zu sichern. Die Basis für eine CO<sub>2</sub>-arme Wirtschaft ist das Reduktionspotential von allen emissionsintensiven Bereichen wie Verkehr, Industrie, Stromerzeugung, Bauwesen, Landwirtschaft usw. zu finden und auszunutzen. [2]

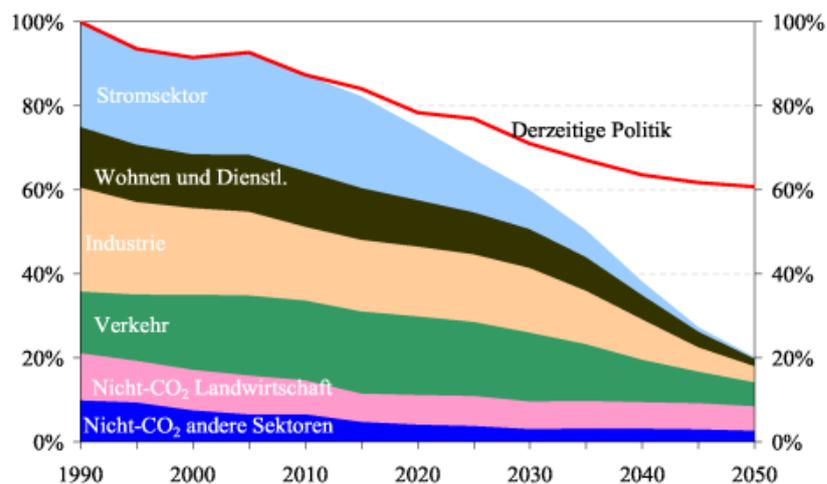


Abbildung 2: Wege zur Verringerung der THG-Emissionen  
in der EU um 80 % (100 % = 1990) [2]

Straßenbau macht keine Ausnahme davon. Durch die Reduzierung des Energieaufwandes bei der Mischgutproduktion kann die Asphaltindustrie ihren Beitrag zur Reduktion leisten und eine Senkung der Herstellungskosten realisieren. Um die Mischgutproduktion und den Belagseinbau so energieeffizient wie möglich zu gestalten, sind die technologischen Fortschritte in dem Bereich von zentraler Bedeutung. Die Entwicklung von neuen Asphalttypen, ohne Qualitätsverlust mit niedrigeren Misch- und Einbautemperaturen, ist notwendig für die Erfüllung der ökologischen und wirtschaftlichen Ziele.

In Folge der höheren Verarbeitungstemperaturen von 230°C bis 250°C (50°C bis 100°C höher als Temperaturen bei Walzasphalt) besteht bei Gussasphalt ein wesentliches Potential zu Energieeffizienzsteigerung bei der Herstellung. Weiterhin steht die Möglichkeit durch Zugabe von Additiven wie Wachs (natürlich oder synthetisch) die charakteristischen Eigenschaften des Materials zu beeinflussen und die Anwendung von Gussasphalt in der Praxis zu verbreiten.

### **1.3 Zielformulierung**

In dieser Diplomarbeit, Teil des Forschungsprojekts »Innovativer Gussasphalt zur Energie- und Emissionseinsparung« oder iMAS (Innovative Mastix Asphalt), werden neue Methoden nach temperaturabgesenkten Gussasphaltbau erforscht und ihre Vorteile durch eine Vielfalt von Prüfungen und ausführliche Untersuchung des Gebrauchsverhaltens bei hohen Temperaturen beweist. Als Hauptziel setzt man die Entwicklung eines Materials mit einem Optimierungsgrad von »30+/20+/20+«, d.h. eine Temperaturabsenkung von mehr als 30°C zusammen mit mehr als 20% Verminderung von Energieverbrauch und Treibhausgas(THS)-Emissionen. Die Verbesserung des konventionellen Gussasphaltprodukts wird durch die kombinierte Anwendung, einerseits von Wachszusätzen im Bitumen und andererseits von Substitution des Kantkorns durch Rundkorn, realisiert.

Im Vordergrund bei der Mischgutproduktion kommen MA8 und MA4 Gussasphalten. Die im Labor entwickelten Rezepturen finden später im Rahmen des iMAS Forschungsprojekts ihre Anwendung auf einer Probenstrecke am öffentlichen Straßennetz der Stadt Wien, was die Analyse der Niedertemperaturtechnologie unter reale Praxis-, Klima- und Verkehrsbedingungen erlaubt.

### **1.4 Vorgehensweise**

Am Anfang dieser Studie wird der Baustoff „Asphalt“ ausführlich beschrieben. Im Kapitel 2 werden die verschiedenen Asphaltkonzepte verglichen und die Baumethodik der Temperaturabsenkung erklärt. Auf diese Art und Weise bekommt man die notwendige theoretische Grundlage.

Darauffolgend ist im Kapitel 3 eine Übersicht aller geprüften Mischgüter und ihrer Bestandteile gemacht, als auch der Plan der Prüfungen gegeben. Für Basis der Untersuchungen werden MA 8 und MA 4 Rezepturen der Firma „Teerag-Asdag AG“ verwendet. Diese werden durch teilweise oder vollständige Substitution der gebrochenen Gesteinsfraktion durch gerundete Gesteine optimiert. Zusätzlich wird die Verbesserung der Gebrauchseigenschaften und die Viskositätsverminderung des MA 8 Mischgutes mittels Zugabe von dem organischen Amidwachsadditiv Licomont BS 100 erforscht.

Für die Analyse des Temperaturabsenkungspotenzial von Gussasphalt werden zwei Prüfmethoden eingesetzt: die Messung des Mischmoments in einem Gegenlaufzwangsmischer und die Untersuchung des Hochtemperaturverhaltens durch den einaxialen Druckschwellversuch. Die Erklärung der Prüfmethoden und Prüfparameter erfolgt im Kapitel 4.

Nach der Durchführung von den geplanten Prüfungen in dem Zeitabschnitt von Oktober 2015 bis Februar 2016 wird nach Zusammenfassung der Versuchsergebnisse (Kapitel 5) und mit ihren Interpretation (Kapitel 6) diese Diplomarbeit abgeschlossen. Die Resultate dienen dem „iMAS“ Forschungsprojekt als Basis für die weitere Verbesserung der Gebrauchseigenschaften und für die Erhöhung des Temperaturabsenkungspotentials von den selektierten Gussasphalttypen.

## 2 Basisinformation über Asphalt als Baumaterial

Zu diesem Teil der Abschlussarbeit gehören die Grundlagen des Walz- und Gussasphaltbaus in der Form einer umfangreichen Charakteristik der beiden Materialien. Darauf aufbauend wird der Begriff Temperaturabsenkung mit seiner Entwicklungsgeschichte vorgestellt und der Stand der Technik ermittelt.

### 2.1 Walzasphalt – Konzept und Charakteristik

Der Sammelbegriff „Walzasphalt“ umfasst alle Asphalte, die beim Einbau durch Walzen statisch oder dynamisch verdichtet werden. Abhängig von der Konzeption des Asphaltmischguts und der eingesetzten Verdichtungsarbeit ist es möglich der Hohlraumgehalt gezielt zu kontrollieren. Dichte Asphaltsschichten sind für viele Einsatzfelder bevorzugt, trotzdem sind oftmals aber zum Beispiel für lärmreduzierende oder offenporige, drainierende Asphalte hohe Gehalte an Hohlräume angestrebt. [3]

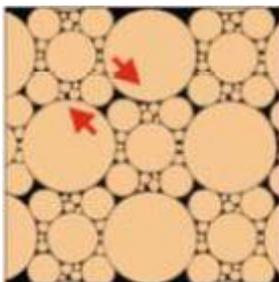
Nach dem technischen Regelwerk wird konventioneller Walzasphalt bei Temperaturen von  $160 \pm 20$  °C in Abhängigkeit von der Viskosität des Bitumens und die Mineralstoffzusammensetzung verarbeitet. Die Zusammensetzung der Asphaltmischung ist von der erwartender Verkehrs- und Witterungsbeanspruchung stark beeinflusst. Daher werden auch sehr verschiedene Verdichtungseigenschaften beansprucht. [4]

Vor dem Einbau wird das heiße Mischgut durch Lkw vom Asphaltmischwerk zur Baustelle transportiert, wobei eine Abkühlung des Mischgutes zu vermeiden ist. Am Einbauort wird der Straßenfertiger mit dem Mischgut aus dem Lkw versorgt, sodass die gewünschte Breite und Dicke des Belags durch die Einbaubohle am vorderen Ende des Fertigers erstellt wird. Schließlich ist der Asphalt mit Tandemwalzen und Gummiradwalzen so verdichtet, dass eine ausreichende Lagerungsdichte hergestellt ist. Die sorgfältige Ausführung des Walzvorgangs beansprucht die Qualität des Asphalts. Fehler in der Verdichtung sind eine Voraussetzung für Fahrbahnunebenheiten und geringe Widerstandsfähigkeit gegenüber der Verkehrsbelastung. [5]

#### Modelle zur Lastabtragung bei Walzasphalt:

##### Pakungs – Konzept

(Asphaltbeton – AC)



Bitumengehalt < 6,5 M% / Hohlraumgehalt ~ 4V%

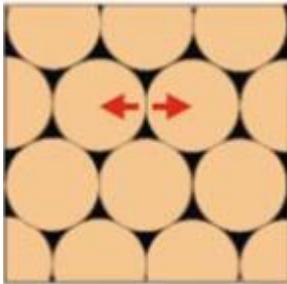
- Hier ist die höchste Lagerungsdichte erreicht. Man hat maximalen Mineralstoffgehalt bei minimalem Bindemittelbedarf. Die Last wird durch das Stützgerüst und den Materialverbund übernommen. [6]
- Als mögliche Versagen stehen Druck im Mikrobereich, Fließen und Schub.

Abbildung 3: Modell der Lastabtragung über Asphaltmestix [6]

### Stützgerüst – Konzept (a)

(Splittmastixasphalt – SMA)

Bitumengehalt < 7,5 M% / Hohlraumgehalt ~ 4V%



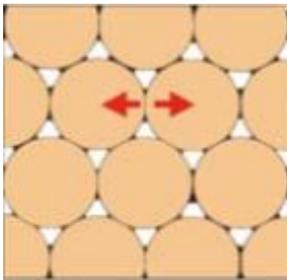
- Es existiert ein Kontakt zwischen den Körner. Eine Verzahnung bzw. innere Reibung des groben Mineralgerüsts ist anwesend.
- Die Lastabtragung wird im größten Teil durch das Gesteinsgerüst realisiert, wobei innerhalb der Belagsschicht eine seitliche Abstützung notwendig ist.
- Versagen werden hauptsächlich durch Keilzugspannungen verursacht [6]

Abbildung 4: Modell der Lastabtragung durch Stützgerüst und Materialverbund – dichte Struktur [6]

### Stützgerüst – Konzept (b)

(Offenporiger Asphalt – OP)

Bitumengehalt < 5 M% / Hohlraumgehalt ~ 20V%



- Eine Variation mit offenporiger Struktur und viel Hohlräumen [6]

Abbildung 5: Modell der Lastabtragung durch Stützgerüst und Materialverbund – offenporige Struktur

## **2.1.1 Klassifikation**

Die Fahrbahnbefestigungen aus Asphalt werden aus technischen und wirtschaftlichen Gründen in Tragschicht, Binderschicht (Asphaltbeton) und Deckschicht (Asphaltbeton, Splittmastixasphalt, offenporiger Asphalt usw.) unterteilt. Jede Schicht erfüllt eine spezifische Rolle und liefert in Abhängigkeit von der Dicke, Lage und Mischgutkomponenten ihren Anteil zur Tragfähigkeit der Konstruktion. [3]

- **Asphalttragschicht**

Sie steht als die unterste Asphaltsschicht der Fahrbahnkonstruktion und übergibt in einem festen Verbund mit Binder- und Deckschichten die Verkehrskräfte auf die Unterlage. Die auf diese Art und Weise realisierte Kraftverteilung begrenzt die Schäden in der gesamten Straßenbefestigung. Die Asphalttragschicht soll eine gleichmäßige und standfeste Fläche für die obere Schicht bieten. (EN 13108-1, EN 13108-2; ÖNORM 3580-1, ÖNORM 3580-2) [3]

- **Asphaltbinderschicht**

Die Asphaltbinderschicht wird zwischen der grobkörnigen Tragschicht und der feinkörnigen Deckschicht eingesetzt. Ihre Aufgabe ist die Aufnahme von besonders großen Schubspannungen aus dem Verkehr und die Verhinderung von Verformungen. Weiterhin sorgt die Binderschicht dafür, die vorhandenen Unebenheiten der Tragschicht auszugleichen und so die Herstellung der Deckschicht in gleichmäßiger Dicke und mit der erforderlichen Ebenheit zu erlauben. Die Schichtdicke (Tabelle 1) ist mit dem Größtkorn verbunden und muss an jeder Stelle ausreichend hohen Verdichtungsgrad erlauben. (EN 13108-1, EN 13108-2; ÖNORM 3580-1, ÖNORM 3580-2) [3]

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Größtkorn und Schichtdicke bei Trag- und Binderschichten [7]

| Größtkorn [mm] | Asphaltemischgutsorte / -type | Schichtdicke [cm] |
|----------------|-------------------------------|-------------------|
| 16             | AC D trag,<br>AC D binder     | 4,0 bis 7,0       |
| 22             |                               | 5,0 bis 9,0       |
| 32             |                               | 7,0 bis 13,0      |

- **Asphaltdeckschichten**

Als den obersten, besonders stark beanspruchten Teil der Asphaltbefestigungen, unterliegt die Asphaltdeckschicht den unmittelbaren Einwirkungen von Verkehr, Witterung und Auftaumitteln. Sie sollen einerseits dem Verkehr eine sichere und gut befahrbare bzw. begehbare Oberfläche bieten, andererseits die unteren Schichten schildern. Frostbeständige Mineralstoffe sichern die erforderliche Witterungsbeständigkeit. Die notwendige Verschleißfestigkeit, Verformungs- und Ermüdungsbeständigkeit werden durch eine Kombination von standfesten Korngerüsten und ausreichend dicken Bindemittelfilmen erreicht. Durch gute dauerhafte Ebenheit, hohe Griffigkeit wird die entsprechende Verkehrssicherheit gewährleistet. Weiterhin wird es zu der Umweltfreundlichkeit von Asphaltdeckschichten durch den Einsatz von gewässerverträglichen und recyclingfähigen Baustoffen und die Erzielung möglichst geräuscharmer Befahrbarkeit. [3]

**Asphaltbeton** :

Asphaltbeton (AC) als Mischgut für Deckschichten ist für die meisten Straßenarten geeignet und wird aus Gesteinskörnungen (Größtkorn bis zu 22 mm) mit abgestufter Sieblinie und Bindemittel hohlraumarm zusammengesetzt. Der Einbau wird im heißen Zustand maschinell (oder auf kleinen Flächen von Hand) durchgeführt, wobei der Asphalt danach mit Walzen verdichtet wird. [3]

Die Wahl der Asphaltart hängt von der Belastung und der gewünschten Oberflächentextur ab. Am Wesentlichen ist es bei stärkerer Verkehrsbelastung ein größeres splittreicheres Mischgut und größere Schichtdicke erforderlich. Bei schwächeren

Verkehrbelastungen ist die Schichtdicke geringer und die Erstellung eines feinkörnigen, bitumenreicheren und hohlraumärmeren Mischgutes ist erlaubt. Im Fall von besonders stark beanspruchten Verkehrsflächen ist der Einsatz von polymermodifizierten Bitumen empfohlen. Das sichert die Verbesserung wichtiger Eigenschaften wie Verformungsbeständigkeit, Ermüdungsbeständigkeit und Kälteverhalten. (EN 13108-1, EN 13108-2; ÖNORM 3580-1, ÖNORM 3580-2) [3]

**Splittmastixasphalt:**

Im Vergleich zu Asphaltbeton besteht Splittmastixasphalt (SMA) aus einem besonders splittreichen Gesteinskörnungsgemisch mit Ausfallkörnung und einem hohen Bitumengehalt. Die grobe Gesteinskörnung beansprucht im verdichteten Zustand ein in sich abgestütztes, fest verspanntes Splittgerüst. Die Dauerhaftigkeit dieser Struktur setzt eine hohe Schlag- und Kantfestigkeit der Mineralstoffe voraus und ihre Hohlräume sind durch einen bitumenreichen, mastixähnlichen Mörtel ausgefüllt. Auf Grund der Ausfallkörnung ist es möglich so viel Bitumen zu unterbringen, dass die Splittkörner dick umhüllt sind ohne die Verformungsbeständigkeit dadurch zu gefährden. Deckschichten aus SMA weisen sich als besonders verschleißfest-, verformungs- und ermüdungsbeständig. [3] (EN 13108-5; ÖNORM B 3584-1, ÖNORM B 3584-2)

**Offenporiger Asphalt:**

Der offenporige Asphalt(PA) ist eine spezielle Variation des Asphaltbetons, der einen hohen Gehalt an zusammenhängende Hohlräume wegen des wesentlichen Anteils von groben Gesteinskörnungen besitzt. Diese Charakteristik erlaubt, einerseits die Absorption der Abrollgeräusche von Verkehr und andererseits die Ableitung des Regenwassers nach unten. Um den Straßenkörper bzw. den Untergrund von diesem Wasser zu schützen, ist eine Abdichtung unter der Deckschicht erforderlich. Sie ist aus polymermodifiziertem oder gummimodifiziertem Bitumen realisiert. In Englisch wird diese Technologie Stress „Absorbing Membrane Interlayer“ (kurz SAMI) genannt. Eine zweite Möglichkeit ist der Einbau einer dünnen Abdichtungsschicht aus Gussasphalt. [8]. Einen Vergleich der Schichtdicken von den oben beschriebenen Deckschichten wird in Tabelle 2 gegeben. (EN 13108-7; ÖNORM B 3586-1, ÖNORM B 3586-2)

Tabelle 2: Zusammenhang zwischen Größtkorn und Schichtdicke, Deckschichten AC D deck, SMA D und PA D [7]

| Größtkorn [mm] | Schichtdicke [cm] |             |             |
|----------------|-------------------|-------------|-------------|
|                | AC D deck         | SMA D       | PA D        |
| 8              | 2,5 bis 3,5       | 2,5 bis 3,5 | 3,0 bis 4,0 |
| 11             | 3,0 bis 4,0       | 3,0 bis 4,0 | 4,0 bis 5,0 |
| 16             | 4,0 bis 5,0       | –           | 5,0 bis 6,0 |
| 22             | 5,0 bis 8,0       | –           | –           |

### **2.1.2 Verdichtung – Eigenschaften und Ausführung**

Neben den verschiedenen Rezepturen zwischen Walzasphalt und Gussasphalt ist auch das Einbauverfahren zu unterscheiden. Gussasphalt benötigt keine Verdichtung. Er wird ohne Hohlräume gemischt und beim Einbau gegossen und geglättet. Walzasphalt wird im Vergleich dazu mit dem Straßenfertiger größtenteils verdichtet und anschließend mit der Asphaltwalze geglättet und nachverdichtet. [4]

Die Dauerhaftigkeit und die Verformungsbeständigkeit bei Walzasphalten hängen besonders von dem beim Einbau erreichten Verdichtungsgrad ab. Weil Walzasphaltemischungen nach der erwartenden Verkehrs- und Witterungsbeanspruchung sehr unterschiedlich zusammengesetzt sind, weisen sie auch sehr verschiedene Verdichtungseigenschaften auf. Die Verdichtungswilligkeit wird sowohl von der Mineralstoffzusammensetzung, der Qualität und der Viskosität des Bitumens, als auch von der Mischguttemperatur beeinflusst. [4]

Für den notwendigen Verdichtungsaufwand ist nicht nur das Mischgutart, sondern auch die Mischguttemperatur während der Verdichtung von großer Bedeutung. Bei hohen Mischguttemperaturen hat das Bitumen eine positive Einwirkung wegen der niedrigen Viskosität. Es erfüllt die Rolle eines Schmiermittels und verringert die innere Reibung des Mineralstoffgemisches. Im Gegensatz dazu beansprucht die zunehmende Versteifung des Bitumens bei Abkühlung eine Steigerung des Verdichtungsaufwands bei niedrigen Temperaturen. Grundsätzlich ist die unmittelbare Verdichtung nach Einbau empfohlen. Als günstig für die Verdichtung der üblichen Bitumensorten steht der Temperaturbereich von 100 bis 140 °C. Zwischen 80 und 100 °C soll man die Verdichtung abschließen. [4]

## **2.2 Gussasphalt – Konzept und Charakteristik**

Aufgrund seiner vielfältigen Einsatzbereiche hat Gussasphalt, im Laufe der Zeit, an Bedeutung gewonnen. Das Material besteht in seiner Grundzusammensetzung aus Gestein (Splitt, Sand und Steinmehl), Bindemittel Bitumen und verschiedene notwendige Zusätze, dass in heißem Zustand (230 °C - 250 °C), gieß- und streichbar ist. Das Mineralstoffgemisch ist hohlraumarm eingerichtet und enthält frost- und verwitterungsbeständige Gesteinskörnungen. Der Bindemittelgehalt ist auf die Hohlräume des Gemisches so angepasst, dass diese in der fertigen Schicht ausgefüllt sind. Wegen des realisierten Bitumenüberschusses ist eine leichtere Verarbeitbarkeit des Gussasphalts möglich, bei der keine Verdichtung nötig ist. [9]

Das Material ist nach dem Mastixkonzept (siehe Abbildung 7) entwickelt, bei dem die Gesteine in einer bituminösen Mörtel-Matrix „schwimmen“. Der Mastix trägt die Last ab und hat daneben eine stabilisierende Rolle. Deshalb ist keine Verzahnung zwischen den Körnern erforderlich. [10]

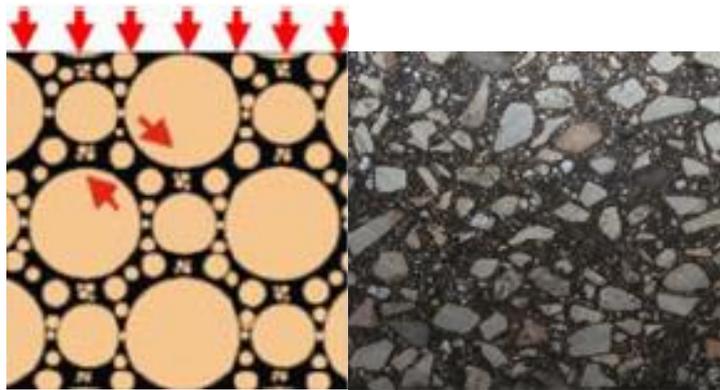


Abbildung 6: Mastix Konzept - schematische Darstellung links und Querschnitt einer Probekörper rechts [10]

Eine weitere Besonderheit ist der Transport von Gussasphalt. Um eine Entmischung zu verhindern bzw. eine gleichmäßige Verteilung aller Komponente zu gewährleisten, wird Gussasphalt mit fahrbaren Kochern (siehe Abbildung 8) ständig mit Einbautemperatur gehalten. [11]



Abbildung 7: Transportkocher mit vertikalem Rührwerk [12]

### 2.2.1 Beschreibung der Materialbestandteile

In Abhängigkeit von dem Verwendungszweck, den klimatischen und örtlichen Verhältnissen sowie den Belastungsarten kann Gussasphalt durch die Zusammensetzung der Gesteinskörnungen, die Bitumengehalt und -sorte an unterschiedliche Beanspruchungen angepasst werden.

#### **Steinmehl (Füller)**

Füller ist eine sehr feine Gesteinskörnung mit Korngrößen von 0 bis 0,063 mm, die auf 25-30 M.-% des Mischguts beträgt. Wegen der Steinmehlgeometrie ist eine Steuerung der Asphaltkonsistenz möglich. Dadurch wird mit der Füllerdosierung ein viskoserer (weicherer) oder steiferer Gussasphalt hergestellt. Normalerweise wird vorwiegend Kalk- und

Dolomitsteinmehl in der Praxis eingesetzt, wobei auch Basalt- und Quarzmehl für Sonderformen benutzt wird. [11]

- **Sand**

Sand (Korngröße 0 – 2 mm), der als Natur- oder Brechmaterial existiert, ist ein Hauptbestandteil von Gussasphalt mit einer Menge von ca. 30-50 M.-%, die nach der Gussasphaltsorte variiert. Das Korngrößenspektrum, die Kornform und nicht zuletzt die mineralogische Zusammensetzung beeinflussen die Festigkeit, die Verarbeitung, das Einsatzgebiet des Mischguts und den Grad des Bitumenverbrauchs. Kalk- und Dolomitsande kommen auch hier vorwiegend. Ausnahme sind besondere Anforderungen an die innere Reibung für Fahrbahnbeläge, die die höchste Gesteinsklasse GS benötigen. [11]

- **Splitt (Bruchstein mit Korngröße von 2 bis 32mm)**

Die Qualität der Splittgesteine spielt eine wichtige Rolle beim Verschleißverhalten von Asphalt und das Größtkorn beansprucht die Einbaudicke der Schicht. Die Haupttypen von Gussasphaltsorten kommen heutzutage mit Größtkorn von 4 mm, 8 mm und 11 mm. Relativ neu (vor ca. 25 Jahren) ist auch der Einbau von Deckschicht-Gussasphalten mit Größtkorn 16mm. Der Anteil von Splitt beträgt auf 30 bis 45 M.-% des Mischguts. [11]

- **Bitumen**

Bitumen wird bei der Destillation günstiger Erdöle oder auch als Naturprodukt gewonnen. Der nicht flüchtige und abdichtende Baustoff ist bei Umgebungstemperatur hochviskos oder nahezu fest. Als den wichtigsten Bestandteil zusammen mit dem Füller beansprucht Bitumen die Standfestigkeit des Mischguts, weil durch diese Mastix die Belastung übertragen wird [11].

Für die Gussasphaltherstellung sind mittelharte, harte und polymermodifizierte Bitumen geeignet, wobei das sehr harte Oxidationsbitumen 90/10 eine häufige Anwendung findet. Mit dieser Sorte kann man alle Estrichgussasphalte produzieren. Für weichere Gussasphalte kommen Mischungen mit Destillationsbitumen in Gebrauch. PmB-Bitumen werden auch, allein oder in Kombination mit dem Oxidationsbitumen 90/10, verwendet. [13]

Bei der Produktion von Bitumen werden unterschiedliche Verfahren benutzt, nämlich Vakuumdestillation, Hochvakuumdestillation, Oxidationsverfahren und Fällungsverfahren. Davon stehen für diese Diplomarbeit Vakuumdestillationsbitumen und das Oxidationsbitumen als relevant. [13]

Erster Schritt des Vakuumdestillationsverfahrens (destilliertes Bitumen) ist die Destillation des Rohöles bei atmosphärischen Druckverhältnissen, mit einer Temperatur von rund 370 °C durchgeführt. Als Zweiten Schritt kommt eine Vakuumdestillation bei maximal 410 °C, mit einem um ca. 20-30 mbar reduzierten Druck durchgeführt. Der verbleibende Rückstand das

Endprodukt, das als „destilliertes“ Bitumen bezeichnet wird. Durch dieses Verfahren werden die meisten Straßenbaubitumen hergestellt. Die Kategorisierung ist mit Hilfe des in der EN 1426 stehenden Penetrationsversuchs definiert. Der Penetrationsversuch ist maßgebend für die Härte des Bitumens. Das Messergebnis wird in der Einheit 0,1 mm angegeben. Ein 70/100 Bitumen bedeutet einen Penetrationspunkt von 70 bis 100 1/10 mm. [13]

Beim Oxidationsverfahren (Oxidationsbitumen) handelt es sich um das Einblasen von Sauerstoff mit 230 bis 270 °C in das Destillationsbitumen unter kontrollierten Bedingungen. Dadurch wird der Anteil von Asphalteneen erhöht, was in einem besonders harten Bitumen resultiert. Diese werden vor allem als Industriebitumen verwendet. Die Kategorisierung von Oxidationsbitumen erfolgt durch den Erweichungspunkt (ERK) und den Penetrationspunkt. Der Erweichungspunkt (EN 1427) charakterisiert das Erweichungsverhalten von Bitumen und. Ein Oxidationsbitumen 90/10 hat einen Erweichungspunkt von 85-95 °C und einen Penetrationspunkt von 5 bis 15 mm/10. [13]

- **Bindemittelmodifizierung**

Heute ist die Verwendung von Zusätzen, um die angestrebten Eigenschaften von Asphalt zu erreichen, von wachsender Bedeutung. Die verschiedenen Typen von Additiven werden direkt im Asphaltmischwerk oder indirekt über eine Beimischung mit dem Bitumen zugegeben.

### 1) Polymermodifizierte Bitumen

Die Zugabe von Polymeren im Bitumen resultiert im Prinzip in einer Erweiterung der Plastizitätsspanne und dadurch in einer verbesserten Standfestigkeit bei höheren Temperaturen. Daneben ist auch eine bessere Haftung an Mineralstoffen erzielt. Der Polymerart und die Herkunft des Bitumens bestimmen die Wirksamkeit der Polymere. PmB-Bitumen bekommt man aus Straßenbaubitumen, in das 3 bis 5 % Polymere eingemischt werden. In Tabelle 3 findet man die wichtigsten Polymergruppen zur PmB – Herstellung:

Tabelle 3: Polymergruppen – Übersicht [14]

|      |  |
|------|--|
| PE   | Polyethylen                            |
| SBS  | Styrol-Butadien-Styrol                 |
| EPDM | Ethylen - Propylen - Dien - Terpolymer |
| EVA  | Ethylen - Vinylacetat - Copolymer      |
| ACM  | Ethylen - Acrylester - Copolymer       |

Als Bestandteile der verwendeten Polymeren unterscheidet man linear oder radial vernetzten kettenförmige Moleküle. Wegen des Verknüpfungsbestrebens der Polymere werden Raumstrukturen entwickelt, was zu einer Veränderung des Fließverhaltens führt. Die

Polymermodifizierte Bitumen werden nach TL – PmB in elastomer- (PmB A, B) und thermoplastmodifizierten (PmB C) Bitumen differenziert. [14]

## **2) Gummimodifizierte Bitumen**

Durch die Verwendung von gummimodifizierten Bitumen werden eine Erhöhung der Alterungsstabilität des Asphalts und eine Verbesserung seiner Eigenschaften im Bereich der Elastizität angestrebt. Der Bitumenzusatz, Altreifen, wird in Form von Gummigranulat oder Gummimehl eingesetzt. [14]

## **3) Modifizierung mit organischen Additiven**

Diese organischen Bitumenadditiven kommen einerseits als synthetisch hergestellte Kohlenwasserstoffe (Fettsäureamidwachse, Fischer-Tropsch-Wachse) und andererseits als Fossilienderivaten (Montanwachs), tierische (Bienenwachs) und pflanzliche (Carnauba Wachs) Produkte, die zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit und Erhöhung des Verformungswiderstandes beitragen. Die auf diese Art und Weise produzierten wachsmodifizierten Bitumen besitzen eine reduzierte Viskosität, reduzierte Nadelpenetration und einen wesentlich erhöhten Erweichungspunkt. [14]

## **4) Modifizierung mit Haftmitteln**

Haftmittelzusätze werden mit dem Ziel, die Adhäsion zwischen Bitumen und Mineralstoff zu steigern, entwickelt. Sie sind grenzflächenaktive Stoffe, die eine Minderung der Grenzflächenspannung und eine verbesserte Benetzbarkeit sichern.

### **2.2.2 Technische Merkmale**

Infolge seiner hohlraumfreien, wasserdichten und chemikalienbeständigen Struktur zusammen mit einem viskoelastischen Verhalten weist Gussasphalt eine Vielfalt von vorteilhaften Eigenschaften. Das Material erlaubt einerseits einen fugenlosen Einbau und andererseits zweckmäßige Fugensetzung bei Sonderformen und –flächen. Daneben sind keine Abbindezeiten und keine Verdichtung erforderlich, um die Endfestigkeit zu erreichen, wobei der Belag bezüglich des Einbaus bereits nach 2 bis 4 Stunden nutzbar ist. Weiter kann man eine ausgezeichnete Verschleißfestigkeit und eine Unempfindlichkeit gegen Stoß und Schlag merken. Die ausgezeichnete Wärme- und Schalldämmung stehen auch als einen zusätzlichen Vorteil und wegen seiner Wiederverwertbarkeit ist der Baustoff umweltschonend.

Die Erzeugung von Asphalt kommt in stationäre, leicht versetzbare oder radmobile Asphaltmischanlagen vor. Die Mineralstoffe(Sand und Splitt) werden in einer Vakuum-Trockentrommel getrocknet, erhitzt und entstaubt. Während der folgenden Absiebung wird das erhitzte Gestein in Kornfraktionen verteilt und danach dosiert in den Mischer zugegeben. Die Dosierung des Füllers und des Bitumens erfolgt aus speziellen Silos bzw. Tanks. Im

Vergleich zu Walzasphalt wird beim Gussasphalt der Füller vor der Beigabe abgetrennt erhitzt. Nach einer Mischzeit von rund 80 Sekunden im Mischer bei einer Temperatur von ca. 235 °C wird das Gussasphaltnischgut direkt in einen fahrbaren Kocher mit Rührwerk gefüllt und zur Baustelle transportiert. [15]

### 2.2.3 Einsatzgebiet

Gussasphalt ist ein vielseitiges Material und beweist seit mehr als einen Jahrhundert in den unterschiedlichsten Bereichen seine Anwendungsmöglichkeiten. Es wird im Tiefbau als Schutz-, Ausgleichs- oder Deckschicht für Fahrbahnen und Gehwege aufgetragen und kommt im Brückenbau als Abdichtungsschicht zum Einsatz. Man kann das Material auch in Fußgängerzonen, auf Parkdecks und Sportplätzen finden. Im Hochbau wird Gussasphalt als Dichtungs- und Nutzbelag in Nassräumen und Markthallen sowie im Zusammenhang mit Gewässerschutzmaßnahmen verwendet. [16]

#### **Straßenbau:**

Die Eignung von Gussasphalt für **Deckschichten** wird von seiner höheren Verformungsbeständigkeit, dauerhafte Griffigkeit, lange Nutzungsdauer und geringen Unterhaltungsaufwand beurteilt. Aktuelle detaillierte Information über Gussasphalt für Straßenbau kann man in die Normen EN 13108-6 beziehungsweise ÖNORM B 3585 finden.

In der EN 13108-6 werden die Anforderungen an Gemische für Gussasphalt festgelegt, die Auswahl der Bestandteile behandelt und die Kennzeichnung der Asphaltarten definiert. Weiterhin werden Grenzwerte für wichtige Gebrauchseigenschaften nach Gussasphalt-Kategorie gegeben. Die ÖNORM B 3585 dient als die nationale Umsetzung der EN 13108-6 und enthält spezifische Anforderungen abhängig von den geographischen, topografischen und klimatischen Verhältnissen Österreichs. [17]

In der Abbildung 9 wird die Asphaltmischgut-Kennzeichnung durch ein Musterbeispiel erklärt.

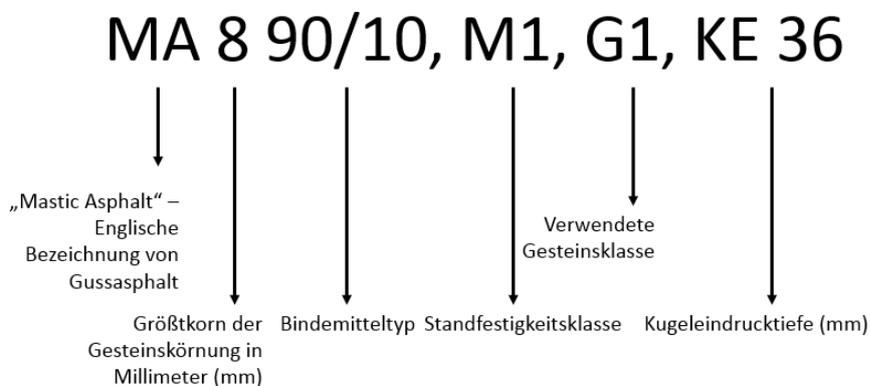


Abbildung 8: Asphaltmischgut – Kennzeichnung [18]

Gussasphalt für Straßenbau wird nach dem Größtkorn in MA 4, MA 8 und MA 11 gegliedert. Die Auswahl der Gussasphalt-Sorte ist abhängig von der Verkehrsbelastung. MA 4 und MA 8 kommen vorwiegend bei Bereichen mit geringerer mechanischer Belastung in Gebrauch. Dazugehörig sind Rad, Fußwegen sowie Garagenflächen. Weitere Einsatzmöglichkeiten für MA 4 und MA 8 entstehen in lärmtechnisch optimierten Deckschichten bei höheren Geschwindigkeiten und als Abdichtungsschicht unter offenporigen Asphalt. MA 11 ist für Fahrbahndecken mit hoher Beanspruchung geeignet und wird in der Regel maschinell eingebaut. Im Vergleich zum Bindemittelgehalt in konventionellen Mischguten (5,5-7,7 M.-%) beträgt den Bitumenanteil in Gussasphalt auf 6,5 bis 8,5 M.-%. und daneben wird auch Naturasphalt (1 bis 2%) hinzugegeben. [15]

Eine weitere Unterteilung nach der ÖNORM B 3585 definiert zwei zusätzliche Asphalt Typen – M1 und M2. Sie lassen sich hinsichtlich des Widerstandes gegen bleibende Verformungen (Parameter – Eindringtiefe) definieren. M1 für hochbelasteten Gussasphalt und M2 für geringer belasteten Flächen. Tabelle 4 erläutert die zu erfüllenden Werte. [18]

Tabelle 4: Anforderungen an die bleibende Verformung gemäß ÖNORM B 3585 [18]

| Bezug zur ÖNORM EN 13108-20:2009       |  |   | MA 4, MA 8, MA 11 |              |
|--|--|---|-------------------|--------------|
| Gemäß ÖNORM EN 13108-6:2008, Abschnitt | Merkmal gemäß CE-Kennzeichnung   | Parameter   | M1                | M2           |
| 5.9, Tabelle 8                         | Widerstand gegen bleibende Verformung gemäß ÖNORM EN 13108-20:2009, Abschnitt D.14, Tabelle D.5, Kennnummer D.5.1 <sup>a</sup> | Mindestwert der Eindringtiefe, in mm, nach 30 min | $I_{min1,0}$      |              |
| 5.9, Tabelle 9                         |  | Höchstwert der Eindringtiefe, in mm, nach 30 min  | $I_{max3,0}$      | $I_{max5,0}$ |
| 5.9, Tabelle 10                        |  | Maximale Zunahme, in mm, nach weiteren 30 Minuten | $I_{nc0,5}$       | $I_{nc0,8}$  |
| 5.9, Tabelle 11                        |  | Maximale dynamische Eindringtiefe in mm           | $I_{dynNR}$       |              |

<sup>a</sup> Widerstand gegen bleibende Verformung, ermittelt gemäß ÖNORM EN 12697-20

Für Gussasphalte gemäß ÖNORM B 3585 kommen die folgende Bindemittelsorten in Gebrauch [18]:

- 1) Straßenbaubitumen – 20/30, 30/45, 35/50, 50/70, 70/100\*
- 2) Oxidations(Hart-)bitumen – 90/10\*\*
- 3) Polymermodifizierte Bitumen – PmB 45/80-65, PmB 45/80-50, PmB 25/55-65, PmB 25/55-55\*\*\*

\* - Penetrationsbereich: 70 bis 100; Einheit 0,1 mm

\*\* - der Erweichungspunkt Ring und Kugel des Produkts liegt zwischen 85 °C und 95 °C und die Penetration liegt zwischen 5 x 0,1 mm und 15 x 0,1 mm

\*\*\* - Penetrationsbereich und Erweichungspunkt

Meistens ist der Bindemittelanteil im Gussasphalt eine Mischung von Straßenbaubitumen und Hartbitumen oder polymermodifizierten Bitumen, je nach Verwendungszweck [15].

Basierend auf der EN 13043 und mit Berücksichtigung der nationalen Regelung werden im Bereich der Gesteine Anforderungen an die Gesteinskörnung, den Füller, die Kornverteilung usw. in der ÖNORM B 3585 festgelegt. Innerhalb ist eine Unterteilung des Gesteinsmaterials in 10 Klassen (G1 bis G9 und GS) anwesend, von denen G1 bis G3 und GS für Gussasphalt als empfohlen bezeichnet sind. Sollwerte für die wichtigen physikalischen und chemischen Merkmale stehen auch zu Verfügung. [17]

Die Kugeleindruckprüfung (KE) dient zu Ermittlung der Standfestigkeit von Gussasphalt. Bei der Prüfung wird unter Einhaltung festgelegter Bedingungen eine gelenkig verbundene Halbkugel auf eine Gussasphaltprobplatte gedrückt. Neben der Herstellung der Prüfkörper werden die Durchführung der Prüfung und die Angabe der Ergebnisse in der ÖNORM 3638 geregelt. Die Kugeleindruckprüfung liefert im Vergleich zum Stempelindruckverfahren wesentlich rascher eine Aussage und ist daher zumindest zur Eigenüberwachung einer Gussasphaltproduktion eher geeignet. [19]

Neben dem Einbau von Deckschichten wird Gussasphalt gleichfalls mit Erfolg für **Instandsetzungsarbeiten** benutzt. Einerseits bei Straßenaufbrüchen oder Brandschäden an Fahrbahndecken nach Unfällen, andererseits in Kreuzungsbereichen mit hohen Schubbeanspruchung aufgrund Bremsen und Anfahren, zur Auffüllung von Spurrinnen und bei Kornausbrüchen durch Frosteinwirkung.

Weiter hat sich das Material in Kleinflächen, bei denen maschinelle Einbauschwierigkeiten erscheinen, und für Errichtung von Entwässerungsrinnen als hochwertig und praktikabel erwiesen.

- **Brückenbau**

Gussasphalt wird auf Brücken sowohl als Schutzschicht, als auch als Deckschicht verwendet. Die Anforderungen für die Beläge auf Brücken liegen in der RVS 15.03.15. [15]

Im Gegensatz zur offenen Strecken müssen die Beläge auf Brücken neben den allgemeinen Anforderungen (Ebenheit, Griffigkeit, Langlebigkeit) eine zusätzliche Menge von Aufgaben erfüllen, die entscheidend für die gesamte Lebensdauer des Objektes sind. [20]

Obwohl eine hohe Standfestigkeit bei warmer Witterung erforderlich ist, darf man daneben die Asphaltsschichten nicht zu hart erstellen, um das Risiko von **Rissbildung** bei Tieftemperaturen zu vermeiden. Als weitere Besonderheit kommen die

Temperaturschwingungen (die ausgleichende Masse des Straßenkörpers fehlt, wobei der Belag auch von unten abgekühlt wird), wegen deren die temperaturinduzierte Spannungen wesentlich rascher aufgebaut werden. [20]

Zweitens spielt die **Verarbeitbarkeit** des gebrauchten Materials eine entscheidende Rolle für die Ausführung der Belagsverbindungen. Wegen der potenziellen Probleme in den Randzonen bei Abdichtungen ist die Qualität der Anschlüsse an Fahrbahnübergänge, Konsolköpfe, Schächte, Abläufe usw. von großer Bedeutung. [20]

Drittens darf man merken, dass die Brückenkonstruktionen keine starren, unbeweglichen Unterlagen für die Beläge sind und von **Schwingungen** stark beeinflusst werden. [20]

In Betracht zu ziehen sind auch die dauerhafte schädliche Wirkung des Wassers und die zusätzliche Verkehrsbeanspruchung auf Brücken. [20]

Durch seine visko-elastische Eigenschaften, hohe Verformungs-, Chemisch- und Temperaturbeständigkeit kann Gussasphalt alle von den obengenannten Anforderungen effektiv erfüllen. Das Material ermöglicht die Entwicklung von relativ dünnen Belägen, die zu der Optimierung des Brückentragwerks beitragen können. [20]

- **Hochbau**

Gussasphaltestrich (als Oberboden oder als Untergrund für andere Fußbodenbeläge) im Hoch- und Industriebauten hat eine Abdichtungsrolle und erzielt die Verbesserung der **Wasser- Wärme- und Schallschutz**. In diesem Bereich findet Gussasphalt einen breiten Einsatz, ob als schwimmender Estrich, oder als Gussasphalt-Heizestrich (integrierte Fußbodenheizung) und wird in den folgenden Gebieten angewandt:

- Altbausanierung
- Wohn- und Geschäftsbauten
- Schulen, Krankenhäuser und andere öffentliche Gebäude
- Industriebauten

Der Gussasphaltestrich ist in der ÖNORM B 2232 geregelt. In der Tabelle steht die Klassifikation der Sorten nach der Eindringtiefe laut der in ÖNORM EN 13813 beschriebenen Eindringversuch in 1/10mm. [15]

Tabelle 5: Gussasphaltestrich – Einteilung [15]

| Erst- <sup>a</sup> , Güte- und Bauteilprüfung |                                       |                          |                   |               |
|---|---------------------------------------|--------------------------|-------------------|---------------|
| Härteklasse<br>gemäß<br>ÖNORM EN 13813        | Eindringtiefe gemäß<br>ÖNORM EN 13813 | Nationale<br>Bezeichnung | Prüfbelastung     | Eindringtiefe |
|   | 0,1 mm                                |                          | N/mm <sup>2</sup> | mm            |
| IP10  | ≤ 10                                  |                          |                   |               |
| IP12  | ≤ 12                                  |                          |                   |               |
| IP30  | 10 bis 30                             |                          |                   |               |
| IP70  | ≤ 70                                  | GE 40                    | 0,4               | ≤ 0,5         |
|   | ≤ 70                                  | GE 60                    | 0,6               | ≤ 0,5         |
|   | ≤ 70                                  | GE 90                    | 0,9               | ≤ 0,5         |

<sup>a</sup> Die Auswertung der Prüfergebnisse erfolgt gemäß dem in der ÖNORM EN 13813 beschriebenen Verfahren.

Gussasphalt ist auch ein ausgezeichnete **Abdichtungsschicht** auf Beton, Stahl und Holz. Neben der Grundierung, der Versiegelung und der Dichtungsschicht kommt eine Schicht aus Gussasphalt, die die Rolle der zweiten Abdichtungsanlage spielt. Bei begrünten Teilen übernimmt das Material auch die Funktion einer Wurzelschutzschicht. Die Bauweise findet man einerseits bei mäßig beanspruchten Flächen wie Balkone und Nassräume, andererseits bei hoch beanspruchten Bereichen wie Parkdecks, Tiefgaragen, Dachterrasse usw.. Solche Abdichtungen kann man wenige Stunden nach der Fertigstellung nutzen. [21]

Andere bemerkenswerte Anwendungen haben die verschiedene Sonderformen des Baustoffes wie Säurefester Gussasphalt in Bereichen mit langen strukturauflösenden Einwirkungen und die vielfältige farbige/geschliffene Gussasphalttypen. [21]

#### 2.2.4 Gussasphalt in der Praxis – Beispiele

Die vorliegenden erfüllten Straßenbauprojekte dienen als eine aktuelle Übersicht der Verbreitung und des Entwicklungsgrads von Gussasphaltbau in den verschiedenen Anwendungsbereichen heutzutage.

- **Weichselbrücke in Toruń /Polen – Jahr 2013 (Abdichtungssystem mit Gussasphalt)**

Die Stadt Torun befindet sich ungefähr 180 km nordwestlich der polnischen Hauptstadt Warschau. Die Brücke über die Weichsel besitzt eine Länge von 540 m und eine Breite von 30m. Die Konstruktion ist bekannt mit ihren Hängebögen (Abbildung 10), jede mit Spannweite von 270 m und Höhe von 50 m. [22]

Für die rund vier Kilometer lange Fahrbahn wird eine Menge von 50 000 Kubikmetern Gussasphalt fugenlos belegt. Der nahtlose maschinelle Einbau (Abbildung 11) des Mischguts

zusammen mit einer Rinne in Muldenform resultiert in einer verbesserten Fahrsicherheit und Fahrkomfort neben der verlängerten Betriebsdauer. [22]



Abbildung 9: Die Bögen der neuen Weichselbrücke und eine gesamte Aussicht der Umgebung [23]



Abbildung 10: Asphaltfertiger während des Einbaus vom Gussasphaltbelag [23]

- **Pilotprojekt – Kreisverkehr mit Gussasphalt in Stadt Hartberg, Österreich – Jahr 2011**

Diese Anlage auf der B50 (km 46 250) Hartberg wird mit einem drei Zentimeter Deckschicht aus Gussasphalt MA11 saniert. Nach dem Abschluss der Vorarbeiten (Fräsen, Pflastern usw.) wird der neue Belag aus Gussasphalt eingesetzt. Die Bauarbeiten verlaufen bei einer halbseitigen Sperre der B50. Die Baukosten belaufen sich auf 120 000 Euro und die Bauzeit dauert 3 Wochen. [24]

In Vergleich zu üblich gebrauchtem Asphalt ist dieser halbstarre Belag widerstandsfähiger und langlebiger. Nebenbei existieren auch die Möglichkeit von kleinflächigem Reparaturen und dem Vorteil eines niedrigeren Preises gegen Betondecken.



Abbildung 11: Händischer Einbau des Gussasphalts (links) und Oberflächenbehandlung (rechts) [24]

- **Autobahnviadukte an der A16, westlich von Gemeinde Pruntrut im Kanton Jura, Schweiz – Jahr 2012**

Diese vierspurige Autobahn teilt sich auf zwei separate Brücken mit verschiedenen Kurvenradien im Bereich der Viadukte. Jede der beiden liegt auf sieben Pfeilern, die zu einer Verteilung in acht Felder mit unterschiedlicher Größe führt. Die Pfeiler weisen eine maximale Höhe von 52m und Spannweite von 104m. [25]



Abbildung 12: Autobahnviadukte vor Deckschichteinbau [25]

Nach der Verlegung einer Abdichtung aus Polymerdichtungsbahnen wird eine Ausgleichsschicht aus Gussasphalt erstellt, um die Unebenheiten des Untergrundes zu beseitigen. Weiterhin wird eine Gussasphalt-Schutzschicht (Abbildung 14) und am Ende eine Gussasphalt-Deckschicht (Abbildung 15) eingebaut. Auf diese Art und Weise wird auch der Belag der zweiten Brücke realisiert. [25]



Abbildung 13: Maschineller Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht mit einem schienengeführten Einbaufertiger. [25]



Abbildung 14: Einbau der Gussasphalt-Deckschicht mit einem schienengeführten Einbaufertiger mit integrierter Splittabstreuung [25]

## 2.3 Temperaturabgesenkter Einbau von Asphalt

Ein charakteristisches Merkmal des Heißeinbaus von Asphalt ist die Erhebung der Konzentration von Schadstoffemissionen aufgrund hoher Temperaturen. Aus Arbeitsschutz- und Umweltschutzgründen erzielt man in den letzten Jahrzehnten diese Werte zu reduzieren. Für das Problem zeigt sich die Verringerung der Viskosität durch Zugabe von mineralischen und organischen Additiven als eine mögliche Lösung. Mit der Hilfe dieser Additiven werden wesentliche Temperaturabsenkungen gleichbleibender Qualität des Materials realisiert, was zu einer deutlichen Verminderung der Schadstoffe führt. Neben der Temperaturabsenkung bringt die Anwendung solcher Zusätze andere Vorteile, wie Verbesserung der Verarbeitbarkeit, Erhöhung der Verformungsbeständigkeit und eine vorzeitige Verkehrsfreigabe. [26]

Zwischen der Herstellung von modifizierten Guss- und Walzasphalten existieren wesentliche Unterschiede. Obwohl viskositätsverändernde Zusätze zunehmend Anwendung in der Asphaltindustrie gefunden haben, ist die Grundlage dafür bei den verschiedenen Asphalttypen vielseitig. Die Zugabe von Additiven bei Walzasphalten wird vorrangig für die Verbesserung der Verdichtbarkeit verbreitet. Die Wachsmodifizierung zur Temperaturabsenkung beschränkt sich auf Einzelfälle wie Einbau unter ungünstigen Luftverhältnissen (in Tunneln, zwischen Lärmschutzwänden) oder bei notwendigen frühzeitigen Nutzung (Flugplatzbelägen). Die Methode eignet sich auch in den kälteren Jahreszeiten, wenn unbedingt die Asphaltdeckschicht noch eingebaut werden muss. [27]

Im Vergleich dazu die wesentlich höheren Herstellungs- und Einbautemperaturen beim Gussasphalt und die daraus folgende Erhöhung der Energiekosten und schädliche Emissionen begründen die Anwendung von Temperaturabsenkungsmethoden in jedem Fall. [28]

Als Vorschlag des Gesprächskreises BITUMEN und als Resultat von umfangreichen Untersuchungen stehen heute sowohl Grenzwerte für die Expositionen bei Heißverarbeitung (Tabelle 6), als auch maximale Einbautemperaturen für die verschiedenen Asphalttypen. (Tabelle 7). Die Expositionsbeschreibung beruht auf Auswertungen von Arbeitsplatzmessungen in Deutschland zwischen 1999 und 2007. [28]

Tabelle 6: Expositionen durch Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen bei der Heißverarbeitung (Anzahl der Messungen und 95-Perzentilwerte ) [28]

| Arbeitsverfahren   | Anzahl | 95 %-Wert              |
|--|--------|------------------------|
| <b>Walzasphalt</b>   |        |                        |
| Fertigerfahrer   | 225    | 8,9 mg/m <sup>5</sup>  |
| Bohlenführer   | 161    | 12,4 mg/m <sup>5</sup> |
| Walzenfahrer   | 56     | 2,5 mg/m <sup>5</sup>  |
| Fertigerfahrer, im Tunnel  | 34     | 18,6 mg/m <sup>5</sup> |
| Bohlenführer, im Tunnel  | 72     | 18,5 mg/m <sup>5</sup> |
| Walzenfahrer, im Tunnel  | 18     | 8,8 mg/m <sup>5</sup>  |
| <b>Fugenverguss mit Heißbitumen</b>  | 40     | 4,1 mg/m <sup>5</sup>  |
| <b>Gussasphalt, temperaturabgesenkter händischer Einbau, &lt; 230 °C</b>   |        |                        |
| Es liegen noch zu wenige Messungen vor, um sichere Aussagen treffen zu können, die Expositionen liegen aber unter 12 mg/m <sup>5</sup> |        |                        |
| <b>Gussasphalt, temperaturabgesenkter maschineller Einbau, &lt; 230 °C</b>   |        |                        |
| Zapfer   | 43     | 7,7 mg/m <sup>5</sup>  |
| Bohlenführer   | 57     | 9,0 mg/m <sup>5</sup>  |
| Nacharbeiten   | 43     | 2,9 mg/m <sup>5</sup>  |
| <b>Gussasphalt, konventioneller maschineller Einbau, über 230 °C</b>   |        |                        |
| Zapfer   | 64     | 57,8 mg/m <sup>5</sup> |
| Bohlenführer   | 91     | 38,1 mg/m <sup>5</sup> |
| Nacharbeiten   | 52     | 9,7 mg/m <sup>5</sup>  |

Tabelle 7: Vergleich der Mischguttemperaturen [26]

| Richtwerte für Asphaltmischguttemperaturen bei der Herstellung temperaturabgesenkter Asphalte |                                     |  |   |
|---|-------------------------------------|--|---|
| Asphaltart  | Art und Sorte des Grundbindemittels | Richtwerte für Asphaltmischguttemperaturen bei der Herstellung | Richtwerte für Asphaltmischguttemperaturen an der Einbaubohle |
| Walzasphalt   | 70/100<br>50/70                     | 130 bis 150 °C   | mindestens 120 °C   |
|   | 30/45<br>25/55-55 A *               | 140 bis 160 °C   | mindestens 130 °C   |
|   | 10/40-65 A *                        | 150 bis 170 °C   | mindestens 140 °C   |
| Gussasphalt   | 30/45<br>20/30<br>25/55-55 A *      | 200 bis 230 °C   | mindestens 200 °C<br>höchstens 230 °C                         |
|   | 10/40-65 A *                        | 210 bis 230 °C   | mindestens 210 °C<br>höchstens 230 °C                         |

\*PmB A/C – elastomermodifiziert/thermoplastmodifiziert. Bezeichnung nach TL Bitumen-StB 07 (nationales Anwendungsdokument DE)

Es wird oft vernachlässigt, dass neben der Interesse nach Natur- und Arbeitnehmerschutz bei der Diskussion um die temperaturabgesenkte Verarbeitung von Asphalt und Bitumen auch einige wirtschaftliche Aspekte existieren. Klar zu sehen sind das Einsparpotenzial wegen der Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die Energiekostenreduktion und auch die danebenstehende Anlagenschonungen zusammen mit der Anlagenverschleiß bei Herstellung des Mischguts. Nicht zu vergessen sind auch die höhere Arbeitsleistung als Resultat der besseren Arbeitsbedingungen und die Reduktion der gesamtgesellschaftlichen Folgekosten. [29]

In dem Bereich der Niedertemperaturasphaltbau besitzt Deutschland seit mehr als 15 Jahren Erfahrung, was als die Voraussetzung für Entwicklung von zahlreichen Produkten und diverse Baumethodik liegt. Eine Zusammenfassung der Grundlagen kann man in den Dokumenten „Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt(MTA)“ von der FGSV. , veröffentlicht im Jahr 2011, und der „Leitfaden zum Thema Temperaturabgesenkte Asphalte“ vom Deutsche Asphaltverband e. V. (DAV), veröffentlicht im Jahr 2009, finden. In Österreich steht die Technologie für die Herstellung von Niedrigtemperaturmischgütern ab Februar 2010 in der RVS 08.97.05 Anforderungen an Asphaltmischgut zu Verfügung.

Die „Niedrigtemperaturasphalt“-Technologie (NTA) ist weltweit unter der englischen Bezeichnung „Warm Mix Asphalt“ (WMA) bekannt. [30]

### **2.3.1 Entwicklungsgeschichte**

Niedertemperaturasphalte haben sich rund um die Welt als geeignet erwiesen. Um diese Asphalte ein Teil der Normwerke des Straßenbaus zu machen, werden viele Forschungsprogramme und Aktivitäten im Laufe der Zeit durchgeführt.

Die ersten technischen Voraussetzungen für den Einbau von temperaturabgesenktem Asphalt werden in Europa entwickelt. Die MHI (Mitteldeutsche Hartstein – Industrie AG) fängt Experimente mit Aspha – min Zeolithe in 1995 an. „Schell Bitumen“ und „Veidekke Industry“(das größte norwegische private Straßenbauunternehmen), untersuchen 1996 in Norwegen die NT (Niedertemperatur) – Emulsion, was der Vorgänger der NT-Schaumasphalte ist. In 1997 werden die ersten Beläge mit Sasobit, eine Fischer-Tropsch Wachs, in Hamburg, Deutschland eingebaut. [31]

Als Resultat von den zunehmenden Diskussionen über die möglichen Gesundheitsgefahren durch Dämpfe und Aerosole werden im Herbst 1996 die ersten Luftgrenzwerte bei der Heißverarbeitung von Asphalt in Deutschland festgelegt. Bald danach wird 1997 auf Anregung der des Bundesministeriums für Arbeit und Sozialordnung der Gesprächskreis BITUMEN gegründet. Die Organisation koordiniert zahlreiche Arbeiten mit

dem Ziel, die dürftige Datenbasis für die Beurteilung schädlicher Einwirkungen durch Umgang mit Bitumen zu optimieren. Als Resultat ihre Forschungstätigkeiten wird es abgeschätzt, dass die Expositionen an fast allen Bitumen-Arbeitsplätzen unter 10 mg/m<sup>3</sup>. Dieser Wert wird im Mai 2000 als neuen Grenzwert empfohlen. [28]

Die Expositionen beim Gussasphalt sind aber davon eine Ausnahme und es wird klar, dass der Einbau möglichst bei abgesenkten Temperaturen erfolgen soll. Das wird durch die Anwendung von viskositätsveränderten Zusätzen bzw. viskositätsveränderten Bindemitteln realisiert. Damit diese Technik unter Gussasphaltherstellern und -verarbeitern allgemein akzeptiert wird, setzt die AGS(Ausschuss für Gefahrstoffe) eine Übergangsfrist ein. Endlich, am Anfang 2008, wird den Einbau von viskositätsverändertem Gussasphalt bei Temperaturen bis 230 °C als die einzige Zulässige Vorgehensweise angenommen. [28]

Im Bereich Walzasphalt ist zu dieser Zeit in Deutschland der konventionelle Einbau im Freien ohne weitere Schutzmaßnahmen die Norm. Im Tunnel und in beengten Verhältnissen(z.B. Straßen mit beidseitig hohen Wänden bzw. Abhängen) aber muss wegen der deutlich höheren Expositionen temperaturabgesenkt eingebaut werden. Mit einem Beschluss der Bundesregierung vom 16. Oktober 2007 „Verstärkte Innovationsorientierung öffentlicher Beschaffung“ werden NT-Asphalte stärker in Betracht genommen. [32]

Außerhalb Europa wird die Technologie 2002 in die USA vorgestellt. Deutschland wird von Delegationen der „National Asphalt Paving Association“ (NAPA) und des „National Institut of Occupational Safety and Health“ (NIOSH) besucht, um Information über die NT-Asphaltmethoden zu kriegen. Nächstens, in 2006, erfolgt einen globalen Rundgang, dessen Ziel die Erfahrungssammlung weltweit ist. In Nashville, Tennessee in November 2008 wird die erste internationale Konferenz über NT-Asphalte durchgeführt, bei der mehr als 750 Personen teilnehmen. Drei Jahre später wird es festgelegt, dass die Menge von gebrauchte NT-Asphalte in der USA zwischen 2009 und 2010 auf ca. 13% der gesamten Asphaltverwendung beträgt, d.h. eine Erhebung von 19,2 Mill. Tonen auf 47,6 Mill. Tonen. [31]

### **2.3.2 Vorteile des Verfahrens**

Die Verbreitung und die erfolgreiche Anwendung von temperaturabgesenkten Asphalten in allen Teilen der Industrie heutzutage sind aufgrund der folgenden Vorteilen realisiert: [28]:

- Verbesserte Gebrauchseigenschaften von Asphalt

Bei Niedertemperaturasphalten wird eine wesentlich bessere Verarbeitbarkeit erreicht, die bei erforderlichlichem Handeinbau, bei ungünstigen Witterungsverhältnissen oder für schwer verdichtbare Mischgüter besonders vorteilhaft ist. Weil der erzielte Verdichtungsgrad leichter zu sichern ist, wird auch die Erstellung dünner Schichten vereinfacht. Zusammen mit den

abgesenkten Einbautemperaturen führen auch die viskositätsverändernden Additive im Material zu einer Erhöhung der Verformungsbeständigkeit bei Wärme. [28]

- Geringere Belastung der Arbeitsbeschäftigten

Aus der Sicht des Arbeitsschutzes ist eine niedrige Expositionsbelastung bei Asphaltverarbeitung erstrebenswert. Die zahlreichen Untersuchungen des Gesprächskreises BITUMEN beweisen, dass eine deutliche Verminderung der Expositionen durch das Temperaturabsenkungsverfahren zu erreichen ist. Der Einbau von Walzasphalten wird bei 130 °C (statt 160 °C) und von Gussasphalten bei 210-220 °C (statt 250 °C) realisierbar. [28]

Als Folge davon kann man die Belastung von Dämpfen und Aerosolen unter den 10 mg/m<sup>3</sup> Grenzwert halten. Wichtig zu merken ist die wesentliche Expositionsverringeringung beim Gussasphalt. Die Tabellen .. und .. stellen die Resultate der Messungen für die verschiedenen Einbaumöglichkeiten. Die maximale Verringerung wird bei maschineller Herstellung von Gussasphalt erzeugt. Mit 32 mg/m<sup>3</sup> für die Bohlenführer und 52 mg/m<sup>3</sup> für die Zapfer. [28]

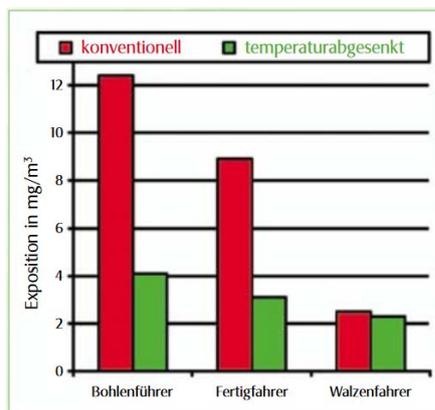


Abbildung 15: Expositionen beim konventionellen und temperaturabgesenkten Einbau von Walzasphalt [28]

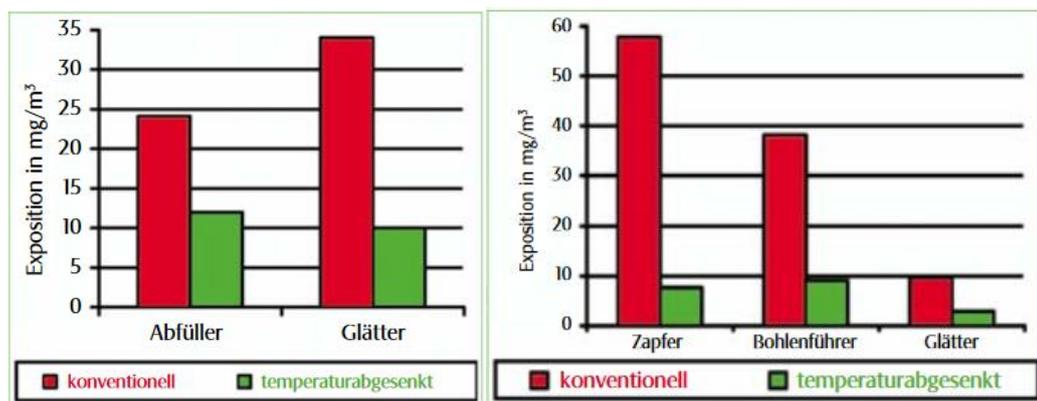


Abbildung 16: Expositionen beim konventionellen und temperaturabgesenkten Einbau von Gussasphalt. Händisch (links) und maschinell (rechts). [28]

Die verminderten Expositionen bedienen eine gesteigerte Mitarbeitermotivation und bestenfalls geringerer Krankenstand. Diese lassen Produktivitätssteigerungen bei der Fertigung sowie bei der Verarbeitung des Materials erwarten. [29]

- Energieeinsparung und Emissionsverminderung

Die Absenkung der Mischtemperatur bringt eine Reduktion der Energiebedarf an der Mischanlage mit. Für die Herstellung von Walzasphalt bei 160 °C sind 7,1 l Heizöl pro Tonne notwendig und für Gussasphalt bei 250 °C 10 l/t. Nach Abschätzung umfangreicher Untersuchungen in Deutschland beträgt den Wert der Einsparung auf 5,9% für eine Verminderung der Mischtemperatur um 10 °C. [28]

Die maximale Einbautemperatur von Gussasphalt wird seit 2008 an 230 °C begrenzt. Bei einer Menge von 290 000 t Gussasphalt für 2007 resultiert eine Absenkung von 20 °C in 342 200 l Heizöl weniger. Im Vergleich dazu benötigt eine vierköpfige Familie für Heizung und Warmwasser 1.200 l Heizöl im Jahr. [28]

Zusätzlich ist die Emissionserzeugung zu beachten. Die Produktion von 1 l Heizöl beansprucht 2,62 kg CO<sub>2</sub>. Unter Berücksichtigung der weiter entstehenden Klimagase (Methan, Lachgas usw.) ergibt 1 l Heizöl 3,12 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Diesbezüglich bedeutet die Einsparung von 342 200 l Heizöl 1,07 Mio kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr weniger. Noch eine höhere Verringerung erwartet man beim maschinellen Gussasphalteinbau, weil die Herstellung dort oft unter 230 °C erfolgt. [28]

Im Bereich Walzasphalt werden im 2007 50 Mio t produziert. Dazu gehört ein Einsparpotential von 41,9 Mio l Heizöl bei einer Einbautemperatur von 140 °C (statt 160 °C) und Abnahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen um etwa 130 700 t. Wie beim Gussasphalt ist die entsprechende Beschränkung der Emissionen für niedrigere Einbautemperaturen höher. [28]

Die Kalkulation und die Auswertung des Einsparpotenzials ist ein komplexer Prozess. Dafür ist nicht nur den Grad der Temperaturabsenkung, sondern auch die verwendete Technologie, die Feuchte der Gesteinskörnungen, die Verwendung von Recycling-Asphalt und den Betrieb der Mischanlage von großer Bedeutung. Studien in dieser Richtung werden von der „National Asphalt and Pavement Association“ der USA durchgeführt und in der Publikation „Warm - mix Asphalt: Best Practices“ veröffentlicht. [31]

- Frühere Verkehrsfreigabe ohne Qualitätsverlust

Bisherige Erfahrungen mit dem Einsatz von Additiven im Asphalt zeigen, dass eine vorzeitige Verkehrsfreigabe wegen der verkürzten Abkühlzeiten nach dem Einbau grundsätzlich möglich ist. Randbedingungen wie Lufttemperatur, Schichtdicke usw. darf man dabei auch beachten. [28]

Nach der Herstellung von Asphalt ist eine ausreichende Zeitspanne von mindestens 24 Stunden zur Abkühlung notwendig. Freigaben von deutlich weniger als diese Mindestzeit sind aber sehr oft in der Praxis üblich. Das steht als eine Voraussetzung nach Schädigung des neuen Belages. Aufgrund des temperaturabgesenkten Einbaus von Asphalt ist diese Gefahr deutlich geringer. [28]

Die frühere Verkehrsfreigabe infolge viskositätsverändernder Zusätze wird auch mit großem Erfolg bei der Erneuerung von Start- und Landebahnen angewandt. Beispiele dafür existieren auf den Flughäfen Frankfurt, Zweibrücken, Belgrad (Serbien) und Linz-Hörsching (Österreich). [28]

- Niedriger Alterungsgrad der Bindemittel

Bitumen bei Asphaltherstellung sollen nicht zu hoch erhitzt werden, um die Alterung zu begrenzen und seine Eigenschaften zu erhalten. Dies wird durch die niedrigere Einbau- und damit auch Mischtemperatur von Asphalt verhindert. Letztens steht ein weiterer positiver Nebeneffekt, nämlich die Verminderung der Beanspruchung von Mischanlagen durch geringere Befeuerungsleistung im Vergleich zu normal temperiertem Mischgut. [28]

## **2.4 Stand der Technik bei Temperaturabsenkung**

Die Erzeugung von temperaturabgesenkten/viskositätsverändernden Asphalten folgt durch Zusätze verschiedener Art, die sich nach organischer und mineralischer Herkunft unterteilen. Diese werden unmittelbar bei der Asphaltmischgutherstellung eingesetzt oder in der Form von gebrauchsfertig gelieferten modifizierten Bindemittel(Fertigprodukte) eingebracht. Bei Fertigprodukte müssen die Zusätze homogen im Bindemittel verteilt sein und die Lagerstabilität der Bindemittel nicht beeinträchtigen. [26]

Zusätzlich kommen auch die verfahrenstechnische Anwendungen, nämlich das KGO-Verfahren, das Zwei Phasen-Mischverfahren und das Schaumbitumen-Verfahren, als weitere Methode der Temperaturabsenkung. [33]

### **2.4.1 Viskositätsverändernde organische Zusätze (Wachse)**

Viskositätsverändernde organische Zusätze dienen zur Anfertigung von viskositätsverändernden Bindemitteln oder werden direkt bei der Produktion des Asphalts addiert. Sie senken die Viskosität des Bindemittels bei hohen Temperaturen und beanspruchen die Reduzierung der Misch- und Einbautemperaturen. Die erzeugte Viskositätsverminderung wird bei Asphalttemperaturen im Nutzbereich wieder aufgehoben bzw. der Effekt kehrt sich sogar um (siehe Abbildung 19), d.h. die Steifigkeit des Bindemittels im Asphalt ist dann genauso hoch, oder sogar noch höher im Vergleich zu einem nicht modifizierten Bindemittel. Auf diese Art und Weise entsteht ein höherer Beitrag seitens des Bindemittels zur Verformungsbeständigkeit des Asphaltes. [26]

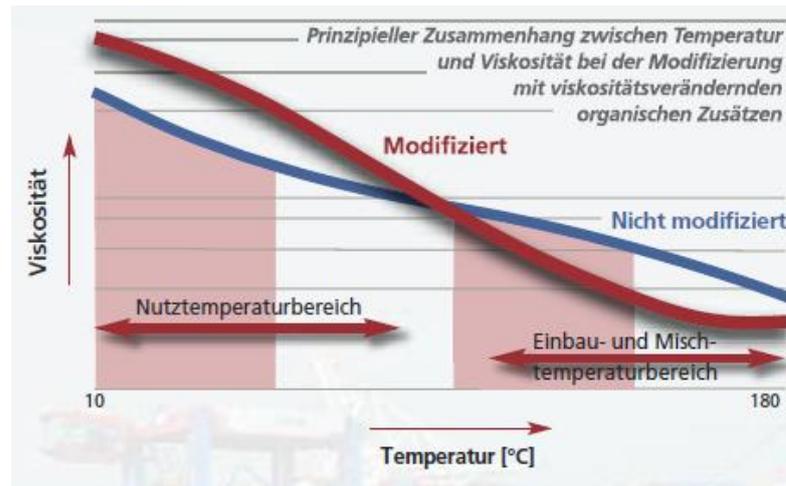


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen Temperatur und Viskosität – mit und ohne Modifikation

Die Herstellung der Fertigprodukte folgt in speziellen Aufbereitungsanlagen, wo eine homogene Verteilung des Zusatzes im Bindemittel gewährleistet wird. Der Gehalt von diesen Additiven beträgt auf 2 bis 3 % M bezogen auf das Bindemittel. Abbildung 20 (a) und (b) enthalten eine systematische Verteilung der Wachstypen. [26]

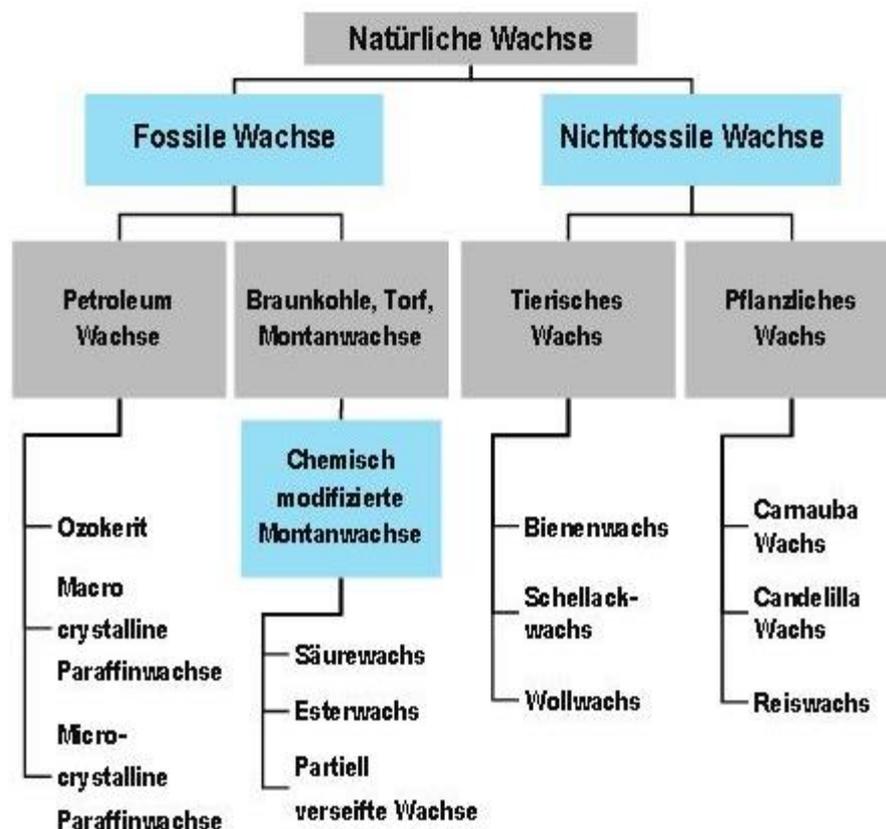


Abbildung 18(a): Klassifizierung von Wachsen – natürliche Wachse [42]

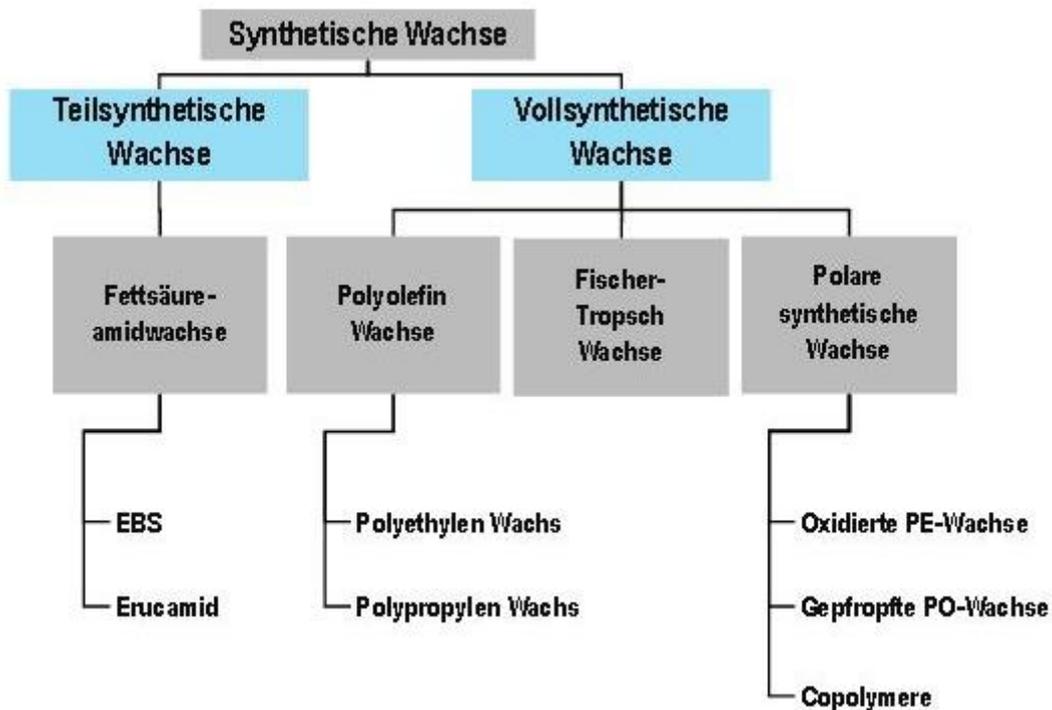


Abbildung 19(b): Klassifizierung von Wachsen – synthetische Wachse [42]

- **Fischer-Tropsch-Wachs**

Als Fischer-Tropsch-Wachse bezeichnet man langkettige aliphatische Kohlenwasserstoffe, die mit der Fischer-Tropsch Synthese (Methode zur Kohlenverflüssigung) in einem katalytischen Hochdruckverfahren aus dem Synthesegas (CO und H<sub>2</sub>) abgebaut werden. Es existiert einen Unterschied zwischen der Kettenlänge von FT-Molekülen und der Kettenlänge erdöleigener Paraffine. Infolgedessen haben FT-Paraffine andere physikalische Eigenschaften und sind mit den paraffinischen Anteilen im Bitumen nicht vergleichbar. Über 115 °C sind FT-Paraffine vollständig löslich in Bitumen, wobei sie sich durch Rühren homogen mit dem Basismaterial vermischen und dessen Viskosität im flüssigen Zustand senken. Bei dem Abkühlen kristallisieren FT-Paraffine aus und formieren Kristallite im Bitumen, die zu Erhöhung der Stabilität und der Verformungsbeständigkeit des Asphalts führen. [26]

„Sasobit“ zählt zu den Fischer-Tropsch Wachsen und kommt in der Form von weißen Pulver oder Granulat. Es ist ein Nebenprodukt der synthetischen Herstellung von Benzin, der so genannte Fischer-Tropsch-Prozess, wo der Wachsgehalt auf ca. 10% beträgt. Dieses langkettige aliphatische hydrokarbonatische Wachs mit Tropfpunkt zwischen 85 °C und 115 °C erzeugt hohe Viskosität bei niedriger Temperatur und niedrige Viskosität bei hoher Temperatur. Während der Abkühlung fängt die Kristallisierung bei 105 °C und beendet bei 65

°C mit der Formung von regelmäßig verteilten, mikroskopischen, stabförmigen Partikeln. Bei Betriebstemperaturen entwickelt „Sasobit“ eine kettenförmige Struktur im Bindemittel, was Stabilität des Mischguts leistet.

- **Amid-Wachs**

Amid-Wachse sind teilsynthetische Kohlenwasserstoffe, die im Labor aus natürlichen Produkten hergestellt werden. Sie sind Resultat der Kondensation von Fettsäureamiden und Amine als Basis. Das Additiv bringt eine bessere Steifigkeit des Bindemittels bei hohen Temperaturen. [26]

Wegen seiner chemischen Struktur ist „Licomont BS 100“ besonders grenzflächenaktiv und verbessert das Benetzungs- und Adhäsionsverhalten des Bitumens. Grundsätzlich wird dadurch eine bessere Wasserbeständigkeit und Dichte erreicht, das Abbrechen von Mineralkörnern wird abgewandt und die Verschleißfestigkeit der oberen Schichten wird vermindert. In Folge der außergewöhnlich gut thermischen Stabilität bis zu 300 °C ist „Licomont BS 100“ für die Verarbeitung aller Asphalten bei Heißeinbau geeignet. Im Temperaturbereich von 10 bis 90 °C weist das modifizierte Bitumen eine Steigerung der Härte, wobei die Spurbildung weitgehend verhindert ist. [26] [34]

Eine Konzentration von nicht mehr als 3% M bezogen auf Bitumengehalt ist nach der Hersteller Clariant optimal. Höhere Mengen ergeben keine weitere signifikante Veränderung der Asphalteeigenschaften. [34]

- **Montanwachs**

Montanwachs ist ein fossiles Pflanzenwachs, das aus bituminöser Braunkohle gewonnen wird. Ausbeute und Qualität bei der Gewinnung werden maßgeblich von der Temperatur der Extraktion, vom Wassergehalt der Kohle und von der Art des Lösungsmittels beeinflusst. Das rohe Montanwachs ist von schwarzbrauner Farbe und hart. In gebleichter und raffinierter Form ist Montanwachs gelblich bis weiß und hat je nach Form der Veredelung unterschiedliche Eigenschaften. Grundsätzlich zeichnet sich das Hartwachs durch ein gutes Glanz- und Gleitvermögen sowie gute chemische Beständigkeit aus. Der Tropfpunkt dieses Additivs befindet sich zwischen 80 °C und 150 °C und das Erstarrungspunkt zwischen 75 °C und 145°C. [35]

„Asphaltan A“ und „Romonta N“ (Produkten von „Romonta“ Unternehmen) sind Montanwachsen mit Erstarrungspunkt 78 °C bzw. 125 °C. Es geht um ein Hartwachs, erhalten durch Lösungsmittelextraktion von bestimmten Lignit- oder Braunkohle. Die Additive haben den ähnlichen Effekt auf Asphalt wie FT-Wachsen. Die Steifigkeit ist ähnlich zu Fettsäureamiden nach der Abkühlung erhöht. „Asphaltan A“ und „Romonta N“ finden ihre Anwendung im Gussasphaltbau wegen der Möglichkeit nach Modifikation der Konsistenz des Bitumens und die Verbesserung der Adhäsion zwischen Binder und Gestein. [34]

„Asphaltan B“ ist ein raffiniertes Montanwachs, das mit Fettsäureamiden gemischt ist. Der Schmelzpunkt liegt knapp unter 100 °C. Wie beim FT-Wachs wird hier auch die Viskosität bei niedrigen Temperaturen verbessert, jedoch ist der Effekt ungefähr gering. Der Hersteller („Romonta“) berichtet eine Erhöhung der Verdichtbarkeit, des Widerstands gegen Verformung und der Feuchtigkeitsresistenz. Asphaltan B ist für Walzasphalte bevorzugt. [34]

#### **2.4.2 Viskositätsverändernde mineralische Zusätze**

Viskositätsverändernde mineralische Zusätze werden von natürlichen und synthetisch hergestellten Zeolithen aufgebaut. Zeolithe charakterisieren sich als Gerüstsilikate mit lockerer Struktur, die im Inneren Fremdmoleküle, in diesem Fall Wasser, aufnehmen und wieder abgeben ohne ihre Form zu verändern, d.h. sie sind form- und größenstabil. Bei der Herstellung wirken stark alkalische wässrige Lösungen von Aluminium- und Siliziumverbindungen mit und daraus kommt ein Natrium-Aluminium-Silikat als gelartige und amorphe Substanz. Weitergehend wird dieses Silikat nach einer hydrothermalen Kristallisation gewaschen und sprühgetrocknet. Die unterschiedlichen Firmenprodukte variieren nach der Zusammensetzung der Reaktionsmischung, der verschiedenen Rührgeschwindigkeit und der Kristallisationstemperatur. [26]

Im Misch- und Einbautemperaturbereich geben die Zeolithe Wassermoleküle als Dampf ab. Dadurch wird das effektive Volumen des Bindemittels erhöht und die Viskosität gesenkt. Nachdem im Nutzbereich das Wasser kondensiert hat, erhält das Asphaltmischgut wieder seine ursprünglichen Eigenschaften. [36]

Natürliche Zeolithe enthalten einen Wassergehalt von etwa 6 bis 10 M.-% und synthetisch hergestellte bis zu 25 M.-%. Pro Tonne Asphalt beträgt das auf ca. 1 bis 1,5 Liter Kristallwasser. Sie werden vor das Bindemittel direkt in den Mischer eingesetzt und die zugegebene Menge, etwa 0,2 – 0,3 M.-% bezogen auf die Gesamtmischung, wird bei der Asphaltmischgut-Rezeptur dem Fülleranteil zugerechnet. Derzeit stehen zwei Technologien („*Aspha-Min*“ und „*Advera*“) für die Herstellung wassertragender Zeolithe.

Die Handelsform vom Additiv ist ein weißes (synthetisch) bzw. gelbliches (natürlich vorkommendes) Pulver oder Feingranulat. [26]

#### **2.4.3 Chemische Zusätze**

Chemische Additive sind eine andere vorhandene Möglichkeit bei der Herstellung von temperaturabsenkten Asphalten. Sie entstehen als eine Kombination von Emulgiermitteln, Tenside, Polymeren und Additive zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit des Mischguts und der Verdichtung sowie auch Haftvermittler. Die zugegebene Menge und die Temperaturabsenkungsgrad hängen von den spezifischen Produkten ab. Chemische Additive werden in der Form von Emulsion angebracht oder bei Bindemittelfertigung hinzugefügt und dadurch mit dem Asphalt gemischt. [34]

## **Evotherm**

Die Technologie, entwickelt von der amerikanischen Firma „Meatwestvaco“ in 2003, ist unter den folgenden Produkten bekannt – Evotherm ET (häufig als nur Evotherm verweist), die letztendlich von Evotherm DAT und Evotherm 3G ersetzt werden. [34]

Evotherm ET(Emulsion Technologie) verwendet ein chemisches Bündel von Emulgiermitteln und Haftvermittler. Das Additiv macht 30 M.-% des Bindemittelgehalts aus und wird als Emulsion angebracht. [34]

Evotherm DAT (Dispersed Asphalt Technology) ist dasselbe chemisches Bündel gemischt mit einer kleinen Wassermenge, die in der Asphaltfertigungslinie vor der Mischkammer eingespritzt wird. [34]

Evotherm 3G ist eine wasserfreie Variante von Evotherm. [34]

## **Rediset WMX**

Hier nadelt es sich um eine Kombination aus kationischen Tensiden und organischen Additiven, die die Rheologie verändert. Die chemische Modifikation des Bitumens fördert die aktive Adhäsion, was eine Verbesserung von der Benetzung des Aggregats mitbringt. Andere Komponenten des Zusatzes reduzieren die Viskosität des Bindemittels. Rediset WMX kommt in der Form von Pellets und enthält kein Wasser. Durch die Zugabe von 1,5 – 2,0 M.-% vom Bitumen wird eine Temperaturabsenkung von 15 bis 30 °C erreicht. [34]

## **REVIX**

Ein Vielfalt von Tensiden, Wachsen, Verarbeitungshilfsstoffen, Polymers und anderen Materialien werden in diesem Verfahren verwendet, um die innere Reibung zwischen Partikeln zu vermindern. Hier ist eine Temperaturabsenkung von 15 bis 27 °C ermöglicht. [34]

### **2.4.4 Verfahrenstechnische Methoden**

- **Schaumbitumen**

Bei der Produktion von Asphalt wird im Asphaltmischwerk ein Gemisch aus Bitumen (ca. 98%) und Wasser (ca. 2%) angewandt. In einer Expansionskammer werden Bitumen und Wasser unter Druck vermischt, was zu der Entstehung von einem Bitumenschaum durch die Bildung von Wasserdampf führt. Bei dem Schaumverfahren wird zeitlich eine Volumensteigerung des Bindemittels realisiert und die Viskosität des Bitumens wird gesenkt. Daraufhin wird dieser Schaum in den Mischer eingebracht. Das Wirkungsprinzip ist ähnlich zu diesem der Zeolithen. [30]

Der Hauptteil der Schaumtechnologie ist das Wasserzugabe-System und die Wirkungsweise der Schaumdüsen. Die meisten Hersteller der Schaumtechnologie bieten ihre eigenen Erzeugungsmöglichkeiten, die man zu der bestimmten Asphaltmischanlage des Lieferanten einbauen kann. Die Schaumdüsen dürfen in Abstimmung mit dem Bitumenzugabe-System eingerichtet werden. [34]

- **Zugabe feuchter Materialien**

Im größten Teil wird hier der verwendete Sand für die Asphaltherstellung nicht völlig getrocknet und zu dem Asphaltmischgut noch „nass“ angebracht. Das Wirkungsprinzip ist wie bei dem Ansatz von Zeolithen bzw. Schaumbitumen, nämlich die Entstehung von Wasserdampf. Die gebrauchte Energie für das Erhitzen des getrennten nassen Sandanteils von 0 bis 100 °C ist aber niedriger als diese notwendig für die Umwandlung des Wassers in Dampf bei den anderen Verfahren. [30]

### 3 Überblick auf der Materialliste

Der Inhalt dieser Kapitel ist mit der Beschreibung von den Gussasphaltrezepturen, die als Gegenstand der durchgeführten Untersuchungen liegen, sowie mit ihren Materialbestandteilen verbunden. Weiterhin wird auch die zeitliche Verteilung der Prüfungen in der Form von einem Prüfprogramm gegeben.

#### 3.1 Gussasphaltrezepturen

Schwerpunkt der Gebrauchsverhaltensstudie sind die folgenden zwei Gussasphaltmischgüter MA 8 82% 90/10 + 18% 70/100, M1, G1, KE36 und MA 4 82% 90/10 + 18% 70/100, M2, G3, KE33. Die Rezepturen sind gemäß den Anforderungen von der Firma „Teerag-Asdag AG“ ausgewählt und dienen als Referenz. Das MA8 Mischgut findet seine Anwendung bei nicht stark belasteten Straßen und das MA4 Mischgut ist größtenteils für Garagenflächen geeignet. Die Korngrößenverteilungen, sowie die Penetration- und die Erweichungspunktwerte des Bitmens findet man in der Tabelle 8.

Tabelle 8: Rezepturen der Gussasphaltmischgüter - MA 8 (links) und MA 4(rechts)

| MA 8 82% 90/10 + 18% 70/100, M1, G1, KE36 |           |        |                | MA 4 82% 90/10 + 18% 70/100, M2, G3, KE33 |           |        |                |
|---|-----------|--------|----------------|---|-----------|--------|----------------|
| Bitumen                                   |           |        |                | Bitumen                                   |           |        |                |
| Name                                      | PEN mm/10 | ERK °C | Anteil in M.-% | Name                                      | PEN mm/10 | ERK °C | Anteil in M.-% |
| 90/10                                     | 5-15      | 85-95  | 7.30           | 90/10                                     | 5-15      | 85-95  | 8.28           |
| 70/100                                    | 70-100    | 43-51  | 1.60           | 70/100                                    | 70-100    | 43-51  | 0.92           |
| Bindemittelgehalt gem.                    |           |        | <b>8.90</b>    | Bindemittelgehalt gem.                    |           |        | <b>9.20</b>    |
| Sollzusammensetzung                       |           |        |                | Sollzusammensetzung                       |           |        |                |
| Gesteinskörnung                           |           |        |                | Gesteinskörnung                           |           |        |                |
|   |           |        | 20.00          | Kalksteinmehl (Füller)                    |           |        | 16.80          |
|   |           |        | 39.00          | Dolomitstein (Gaaden) 0/2                 |           |        | 59.00          |
|   |           |        | 23.00          | Dolomitstein (Gaaden) 0/4                 |           |        | 15.00          |
|   |           |        | 9.10           |   |           |        |                |
|   |           |        | <b>91.10</b>   | Gesteinskörnungsgehalt                    |           |        | <b>90.80</b>   |
| Summe                                     |           |        | <b>100.00</b>  | Summe                                     |           |        | <b>100.00</b>  |

Neben der prozentualen Verteilung der Bestandteile ist auch eine graphische Darstellung der Sieblinien in Abbildung 21 vorhanden. Die Grenzsieblinien sind aus der ÖNORM B 3585 Tabelle 5 entnommen und die Ist-Linien für die folgenden Prüfungen sind so ähnlich wie möglich zu den Ausgangsdaten der Hersteller angepasst.

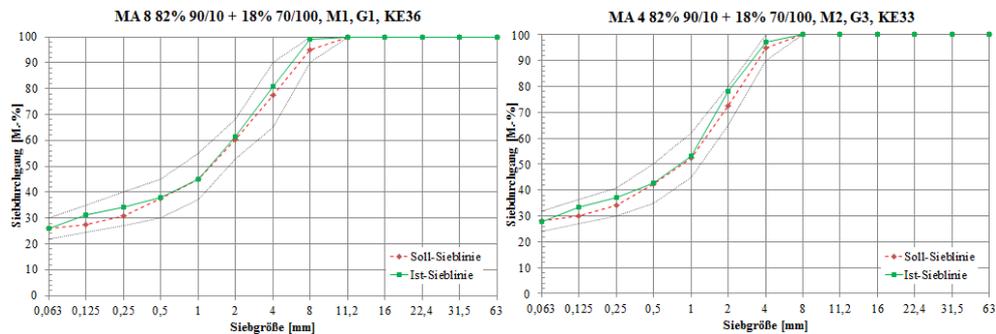


Abbildung 20: Sieblinien der Referenzrezepturen - MA 8 (links) und MA 4(rechts)

## 3.2 Verwendete Materialien

### 3.2.1 Gesteinskörnung

In Rahmen der erfüllten Prüfungen werden bei der Herstellung der Asphaltmischgüter Kersantitgesteine aus porphyrischer und Dolomitgesteine aus karbonatischer Herkunft als Kantkorn (Abbildung 22a) verwendet. Das Rundkornmaterial (Abbildung 22b) besteht aus karbonatischer Kies und als Füller wird Kalksteinmehl (Abbildung 22c) eingebracht.

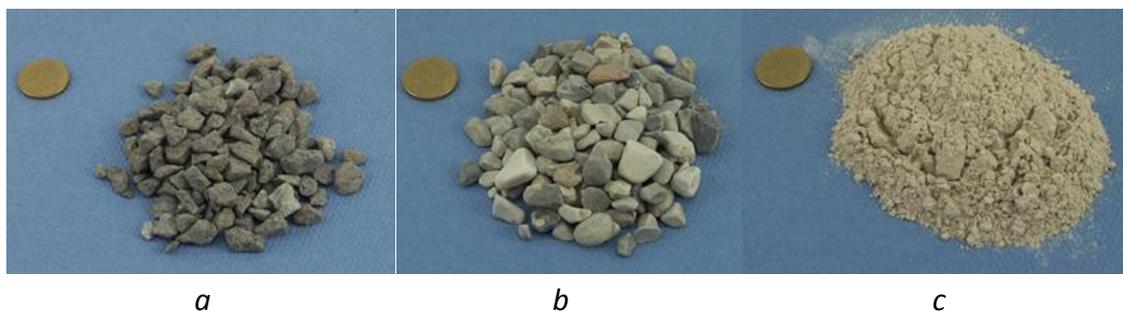


Abbildung 21: Gesteine – Kantkorn(a), Rundkorn(b), Füller(c)

### 3.2.2 Bitumen

Ständig wachsende Verkehrsbelastungen heutzutage bedienen größere Deformationen und Abnutzung bei konventionellen Asphalten, was in dem Bedarf an widerstandsfähigeren Lösungen resultiert. Weiterhin beansprucht das Mastixkonzept von Gussasphalt (im Bitumen „schwimmende“ Gesteine) eine wichtige lastabtragende Rolle des Bindemittelmateriale und die Auswahl von Bitumensorten mit höheren Qualität. Für die Ziele dieser Diplomarbeit wird eine Mischung aus dem Oxidationsbitumen 90/10 und dem

Straßenbitumen 70/100 ausgewählt. Das polymermodifizierte Bitumen PmB 25/55-65 kommt auch als eine Alternative zur Anwendung.

### **3.2.3 Verwendete Additive**

Für die weitere Optimierung des MA 8-Mischgutes wird das viskositätsverändernde Licomont BS 100, ein Amidwachs-Produkt der schweizerischen Firma „Clariant AG“, selektiert. Der Anteil des Zusatzes beträgt auf 2% des Bitumens. Im Punkt 2.4.1 steht eine detaillierte Beschreibung dieses organischen Wachses zu Verfügung.

Die Auswahl dieses Additivs ist auf Basis der Erkenntnisse von einem Sondierungsprojekt „High Efficient Low Emission Mastic Asphalt“ der TU-Wien von März 2014 bis Februar 2015 ausgewählt. In Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wird den Einfluss der folgenden Produkten/Methoden verglichen: Fischer-Tropsch-Wachs, Polyethylenwachs, Schaumverfahren, Amidwachs (rein, kombinierte Anwendung mit Zeolithen oder zusammen mit Rundkornsubstitution). Die Amidwachszugabe mit Rundkorn zeigt am Ende das größte Temperaturabsenkungspotenzial. [37]

## **4 Prüfmethodik bei der Untersuchung von temperaturabgesenkten Gussasphalten**

### **4.1 Allgemeines**

Aufgrund der positiven Erfahrung von früheren Forschungsprojekten zum Thema „Temperaturabsenkung“, die das gute Verhalten von Gussasphalt im Tieftemperaturbereich aufweisen, liegt der Schwerpunkt hier auf die Untersuchung des Hochtemperaturverhaltens sowie der Verarbeitbarkeit des Materials.

Das Kriterium der Verarbeitbarkeit und seine Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren bestimmen wichtige Aspekte der Asphaltherstellung und -einbau. Die Abmessung der Verarbeitbarkeit sowie ihre Veränderung bezogen auf die Zeit und die Temperatur wird mit Hilfe der Drehmomentmessung während der Mischgutherstellung erfüllt.

Im Vergleich zu Beton ist Asphalt wegen seines Bindemittels Bitumen ein thermoplastischer Straßenbaustoff, was bei hohen Temperaturen und starken Belastungen Verformungen beansprucht. Dieses Problem zusammen mit weiteren Faktoren wie nicht genügende Dicke des Asphaltoberbaus, falsche Mischgutsorten, mangelhafter Schichtverbund usw. kann zu der Bildung von Spurrinnen führen. Aus diesem Grund werden die Asphaltmischgüter auf Widerstand gegen bleibende Verformungen durch die einaxiale Druckschwellprüfung (UCCT) nach EN 12697-25 untersucht.

## 4.2 Prüfmethoden

### 4.2.1 Drehmomentmessung (DMM)

Die Definition des temperaturabhängigen Drehmoments ist die Widerstand des Mischwerkzeugs bei der Drehbewegung in Nm, während deren dieser Kennwert die Beurteilung der Verarbeitbarkeit in Abhängigkeit von der Temperatur ermöglicht.

Die Drehmomentmessung erfolgt durch die Anwendung von einem Gegenlaufzwangsmischer, der für die Herstellung von Guss- und Walzasphalt dient. Dieser Labormischer besitzt ein Gegenlaufzwangsmischbetrieb mit geneigter Mischtrommel und angestelltem Mischwerkzeug. Durch das asynchrone Antriebsdrehzahlverhältnis, die geneigte Mischtrommel und den angestellten Mischwerkzeug wird eine vollständige 3-dimensionale Vermischung gesichert. Der Füller bzw. die Faserstoffe werden gleichmäßig in der gesamten Asphaltmasse verteilt, ohne dass Entmischungen aufzutreten. Teil der Labormischer ist auch ein Messsystem, das eine Ermittlung des Drehmoments, der Mischzeit, der Drehzahlen sowie der Temperatur erlaubt. [38]



Abbildung 22: Gegenlaufzwangsmischer [38]

#### 4.2.1.1 Prüfungsverlauf

- Temperieren der Mischgutkomponenten

Als ersten Schritt der Prüfungsverlauf kommt die Vorbereitung der Materialbestandteilen. Es ist erforderlich die Gesteine zu trocknen und das Bitumen auf derselben Temperatur von 170 °C zu erhitzen. Dafür ist eine schon vorgeheizte Wärmekammer notwendig. Drinnen werden die in Stahlwannen getrennten Korngrößenfraktionen und später den Kübel mit Bindemittel angebracht. Die Gesteinskomponenten im Wärmeschrank brauchen min. 5 Stunden und dass Bitumen max. 3 Stunden. [39]

- Temperieren des Mixers

Bei der Prüfung ist es erforderlich die Temperatur im Zwangsmischer an die Temperatur der Gesteine und des Bitumens anzupassen. Deshalb wird das Gerät im Voraus, min. 30 Min. vor der Prüfung, eingeschaltet und die Parameter der Drehmomentmessung durch die Mischertasten ausgewählt.

- Einfüllen der Mischgutkomponenten in den Mischer

Nach dem Temperieren werden die schon abgewogenen und abgetrockneten Gesteine aus der Wärmekammer entnommen, in die Mischtrommel eingefüllt und für 40 Sekunden gemischt. Weiterhin wird der notwendige Bindemittelgehalt addiert und die Asphaltprobe für noch 300 Sekunden bei einer Drehzahl von 40 U/min und eine Temperatur von 170 °C zusammengesetzt. Jetzt wird die Drehmomentmessung gestartet. Diese erfolgt mit derselben Mischzeit von 300 sec aber bei verschiedenen Temperaturintervallen, nämlich 170 °C, 180 °C, 200 °C, 220 °C, 240 °C und 250 °C.

## **4.2.2 Einaxialer Druckschwellversuch (UCCT) nach EN 12697-25**

### **4.2.2.1 Anwendungsbereich**

Der einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung (Uniaxial cyclic compression test – UCCT) mit behinderter Seitendehnung ermöglicht die Bestimmung der Beständigkeit vom Asphalt bei hohen Temperaturen gegen bleibende Verformungen. Bei dem Versuch wird ein zylindrischer Asphaltprobekörper unter wiederholenden axialen Druck gesetzt. [40]

### **4.2.2.2 Kurzbeschreibung**

Die Probekörper, mit Durchmesser 150 mm, wird auf die Prüftemperatur vortemperiert und zwischen zwei parallelen Lastplatten eingebracht. Die obere Platte besitzt einen Durchmesser von 100 mm. Wegen einer Fassung von 4 mm auf der unteren Seite der Platte beträgt der tatsächliche Durchmesser, mit dem die Platte den Probekörper drückt, auf 96 mm. [40] Im Abbildung 24 wird das Prüfgerät dargestellt. Der Probekörper unterliegt zyklischen, einaxialen Blockimpulsen(Drückstoßen).

Im Rahmen des Versuchs wird die Höhenveränderung des Asphaltprobekörpers nach einer bestimmten Zahl von Belastungszyklen abgelesen. Auf diese Art und Weise bekommt

man die bleibende Verformung des Probekörpers (in %) als Funktion der Anzahl der einaxialen Druckstößen. Die Ergebnisse werden in einer Kriechkurve dargestellt. [40]

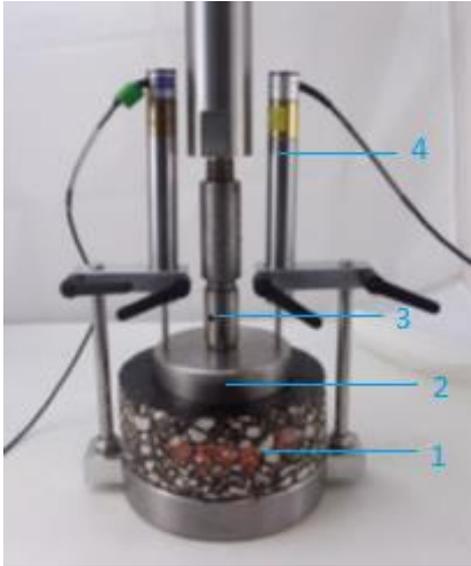


Abbildung 23: Prüfeinrichtung

Legende:

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

#### 4.2.2.3 Prüfeinrichtung zur Durchführung von UCCT

- Belastungseinrichtung

Das Prüfgerät soll eine zyklische Belastung mit Frequenz von 0,5 Hz und eine Größe von  $(100 \pm 2)$  kPa erzeugen. Die Kraftmessdose darf einen Messbereich von mindestens 2000 N habe und alle Teile müssen aus korrosionsbeständigen Stahl hergestellt werden [40].

- Wegaufnehmer

Teil der Prüfeinrichtung sind auch zwei Wegaufnehmer, die die Änderung in der Höhe des Probekörpers aufnehmen und mit deren Hilfe im Laufe des gesamten Versuchs die Gesamtaxialverformung bestimmt wird. Die Wegaufnehmer haben einen Messbereich von 50 mm und eine Genauigkeit von 0,2. [40]

- Wärmeschrank

Der Wärmeschrank ist notwendig für die Temperierung der Probekörper auf die gezielte Prüftemperatur. Die Auswahl von einem größeren Wärmeschrank, in den man mehrere Probekörper für Vortemperierung während der Durchführung des Versuchs einstecken kann, ermöglicht eine schnellere Vorgehensweise bei der Prüfung. [40]

#### 4.2.2.4 Probevorbereitung

Für Jede Probekörper sind eine zylindrische Form sowie eine glatte und ebene Probekörperfläche erforderlich. Die beiden Probekörperenden müssen parallel zu einander

und senkrecht zu der Zylinderachse sein. Die Trocknung der Proben erfolgt bei einer Temperatur von nicht mehr als 25 °C. [40]

Die Höhe der Probekörper nach DIN EN 12697-2 entspricht einem Wert von  $(60\pm 2)$  und der Durchmesser beträgt auf  $(148\pm 5)$  mm. [40]

Die Probekörper sind aus einer Straße zu entnehmen oder im Labor zu produzieren. Bei einer nicht genügenden Höhe der extern gewonnenen Proben darf man diese aufeinander aufstapeln. Unabhängig der Herkunft gelten für alle Probekörper dieselben Anforderungen für Glätte und Ebenheit. [40]

#### **4.2.2.5 Einsetzen und Konditionierung**

Die Lagerungstemperatur liegt in dem Bereich zwischen 5 °C und 25 °C. Um Beschädigungen an der Oberfläche zu vermeiden, müssen die Probekörper nicht aufeinander gelegt werden. [40]

Die Probekörper sind frühestens 2 Tagen nach ihrer Verdichtung zu prüfen. Vor dem Versuch darf man die Probekörper auf die Prüftemperatur (mit einer Abweichung von  $\pm 1,0$  °C) für mindestens 4h und nicht länger als 7h konditionieren. Die Erhaltung der erforderlichen Temperatur ist leichter zu sichern, wenn die Vortemperierung in derselben Kammer, wo der Versuch durchgeführt wird, stattfindet. [40]

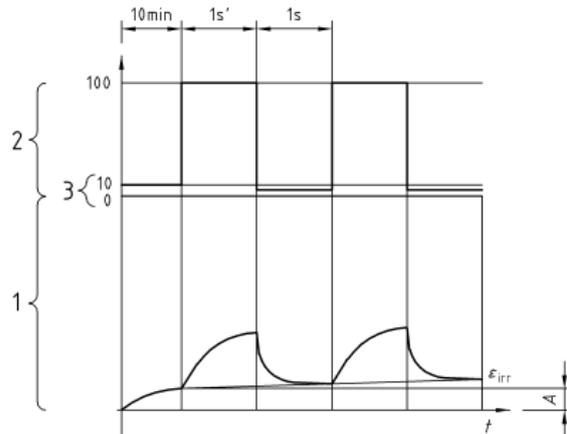
#### **4.2.2.6 Durchführung**

Die Anzahl der Asphaltprobekörper, die notwendig für eine ausführliche Kriechuntersuchung sind, ist mindestens drei. Die Prüftemperatur muss ständig mit einer Abweichung von  $\pm 1,0$  °C gehalten werden. [40]

Der Probekörper wird mittig und koaxial zwischen den beiden Lastplatten in die Prüfmaschine eingebaut. Um die Reibung zwischen der Lastplatte und des Probekörpers zu vermindern, wird ein Schmiermittel (z.B. Glyzerin und Talkum oder Silikonöl mit Schmiermittel) auf die Lastplatte aufgetragen. Zwei Wegaufnehmer, die die Verformung ablesen, werden auf die beiden Seiten der Probekörper und auf die ober Lastplatte eingebaut. Weiterhin wird auf den Körper eine Vorbelastung von 10 kPa für eine Dauer von 10 Minuten aufgebracht. Die ausgewählte Vorbelastungsgröße entspricht einem Durchmesser der Belastungsfläche von 96 mm. [40]

Nach der Vorbelastungsphase erfolgt die zyklische Belastung mit Belastungsdauer für jeden Impuls  $(1 \pm 0,05)$  s). Eine Darstellung der Belastung im Laufe der Zeit liegt in der Abbildung 25. Die Pausen zwischen den einzelnen Lastwechseln dauern  $(1 \pm 0,05)$  s), d.h. sie haben eine Frequenz von 0,5 Hz. Die Prüfung kommt zu Ende, wenn insgesamt 3600 Impulse mit einer Axialbelastung von  $(100 \pm 2)$  kPa durchgeführt werden. Die Gesamtprüfdauer beträgt auf 2h. [40]

Die bleibende Verformung wird nach einer bestimmten Anzahl von Lastzyklen bemessen. Die Abmessungen werden während der Lastpausen durchgeführt. [40]



Legende:

- 1. Verformung
- 2. Belastung
- 3. Vorbelastung
- t – Zeit
- A – Verformung wegen Vorbelastung
- $\epsilon_{irr}$  – Bleibende Verformung

Abbildung 24: Belastungs- und Verformungsgraph im Laufe der Zeit [40]

#### 4.2.2.7 Darstellung der Ergebnisse

Als Hauptziel bei der UCCT-Prüfung steht die Bestimmung der Gesamtaxialverformung nach einer festgelegten Anzahl von Lastwechseln zusammen mit der Ermittlung der Kriechratesteigung. Bei der Prüfungen in dieser Arbeit ist die Axialverformung nach 3600 Lastzyklen gemessen. Durch die Untersuchung der Steigung ist die Erstellung einer langfristigen Prognose für die Verformung möglich. Je flacher die Steigung ist, desto kleiner die zukünftige Verformung sein wird. Abbildung 26 zeigt die Verformung in Abhängigkeit von den Belastungszyklen und enthält die Gleichung der linearen Regression. Die Gesamtaxialverformung wird in Prozent (%) und mittels Formel 1 berechnet. [40]

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

$\epsilon_N$  – die Gesamtaxialverformung, in Prozent (%);

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

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

Die Kriechrate  $f_c$  für ein festgelegtes Intervall der Belastungszyklen ( $n_1, n_2$ ) ist im Mikrostrain/Belastungszyklus gegeben und nach Formel 2 bestimmt. [40]

$$f_c = \frac{\epsilon_{n1} - \epsilon_{n2}}{n_1 - n_2} \quad \text{Formel 2}$$

$\epsilon_{n1}$  – die Gesamtaxialverformung des Probekörpers nach n1 Belastungszyklen

$\epsilon_{n2}$  – die Gesamtaxialverformung des Probekörpers nach n2 Belastungszyklen

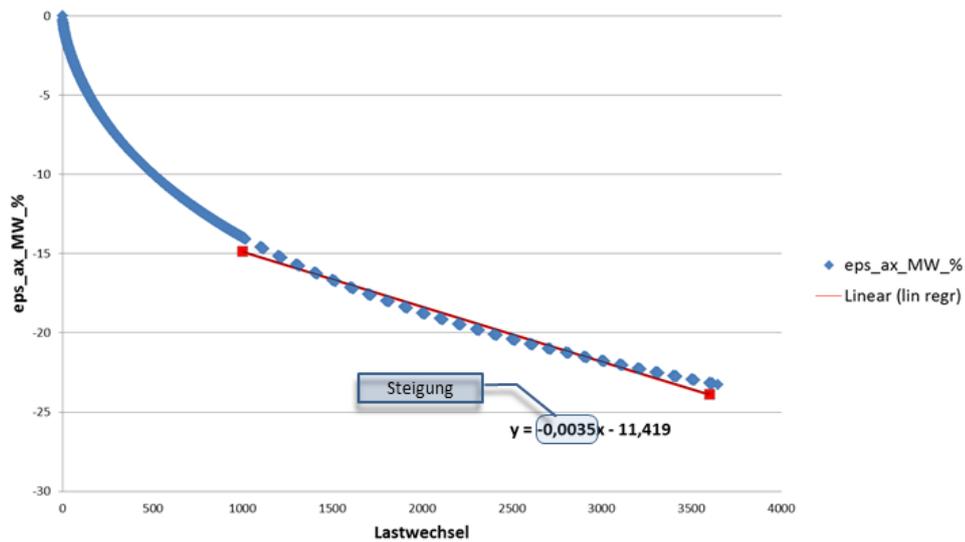


Abbildung 25: Verformung-Lastwechsel-Diagramm bei einem Asphaltmischgut

## 5 Darstellung der auslaufenden Prüfergebnisse

In diesem Abschnitt der Diplomarbeit erfolgt eine Erfassung von allen durchgeführten Prüfungen.

### 5.1 Prüfprogramm

Die Gebrauchsverhaltensuntersuchung umfasst die nachliegenden Gussasphaltrezepturen:

Tabelle 9: Anordnung der Asphaltrezepturen

| MA 8  | MA 4  |
|---|---|
| MA 8 82% 90/10 + 18% 70/100 KK 0/8 (Referenz)       | MA 4 82% 90/10 + 18% 70/100 KK 0/4 (Referenz)                     |
| MA 8 82% 90/10 + 18% 70/100 RK 0/8                  | MA 4 82% 90/10 + 18% 70/100 KK 0/4<br>optimierte Sieblinie        |
| MA 8 82% 90/10 + 18% 70/100 RK 0/8<br>+2% Amidwachs | MA 4 82% 90/10 + 18% 70/100 KK 0/4<br>Garagenabfahrt Mohsgasse 30 |
| MA 8 82% 90/10 + 18% 70/100 KK 0/2 + RK 2/8         | MA 4 82% 90/10 + 18% 70/100 RK 0/4                                |

Bei der Auswahl der vorhandenen Rezepturen kommt im Vordergrund die gezielte Substitution von Kantkorn(KK) durch Rundkorn(RK) und ihre Kombination. Die Optimierung wird im Bereich des MA8 Referenzmischguts durch die Anwendung durch die Zugabe von viskositätsverändernden Additiven weiterentwickelt. Die Bezeichnung KK(RK) erklärt die Form der Gesteinskörnung – gebrochen oder rund. Mit 0/8, 0/4 und 0/2 wird die entsprechende

Größe der verwendeten Fraktionen gegeben. Die Kombination KK 0/2 + RK 2/8 stellt die teilweise Substitution der Kantkorn durch Rundkorn in der Asphaltrezeptur dar.

Die Zusammenstellung der Gesamtheit von durchgeführten Prüfungen findet man in den Tabellen 12 und 13.

Tabelle 10: Plan der Prüfungen – MA 8

| Mischgut | 0/2      | 2/8      | Bemerkung    | Verarbeitbarkeit | Beständigkeit<br>Hochtemperatur |
|----------|----------|----------|--------------|------------------|---------------------------------|
|          |          |          |              | DMM              | UCCT - laut EN<br>12697-25:2005 |
| MA 8     | Kantkorn | Kantkorn |              | X                | X                               |
| MA 8     | Rundkorn | Rundkorn |              | X                | X                               |
| MA 8     | Rundkorn | Rundkorn | 2% Amidwachs | X                | X                               |
| MA 8     | Kantkorn | Rundkorn |              | X                | X                               |

Tabelle 11: Plan der Prüfungen – MA 4

| Mischgut | 0/2      | 2/4      | Bemerkung            | Verarbeitbarkeit | Beständigkeit<br>Hochtemperatur |
|----------|----------|----------|----------------------|------------------|---------------------------------|
|          |          |          |                      | DMM              | UCCT - laut EN<br>12697-25:2005 |
| MA 4     | Kantkorn | Kantkorn |                      | X                | X                               |
| MA 4     | Kantkorn | Kantkorn | externe Probe        |                  | X                               |
| MA 4     | Kantkorn | Kantkorn | optimierte Sieblinie | X                | X                               |
| MA 4     | Rundkorn | Rundkorn |                      | X                | X                               |

## 5.2 Verarbeitbarkeit

### 5.2.1 Drehmomentmessung

Die Beurteilung der Verarbeitbarkeit von den temperaturabgesenkten Gussasphalten wird durch den Vergleich zwischen den Drehmomentmessungen der konventionellen und den modifizierten Mischgüter realisiert.

Die Auswertung der Verarbeitbarkeit wird durch die graphische Darstellung der linearen Regression von allen Prüfergebnissen gegeben. Diese sind in der Abbildung 27 für MA8 und in der Abbildung 29 für MA 4 ersichtlich. Die Abhängigkeit des Mischmoments von der Mischtemperatur ist in den beiden Grafiken leicht zu sehen. Wegen der großen Differenzen bei der Viskosität am Anfang und am Ende des Prüfverlaufs ist dieser Zusammenhang deutlicher bei den veränderten Mischgütern.

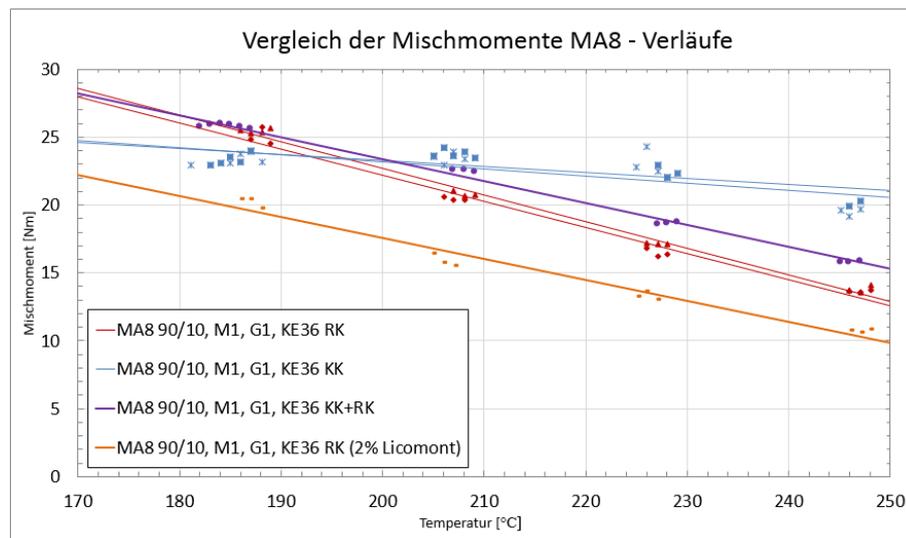


Abbildung 26: Prüfergebnisse der Drehmomentmessungen von MA 8

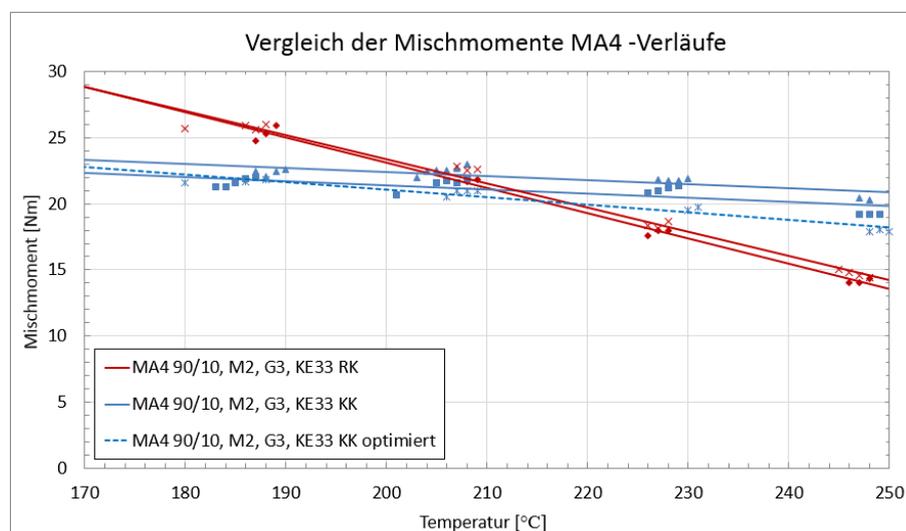


Abbildung 28: Prüfergebnisse der Drehmomentmessungen von MA 4

Interessant zu merken ist, dass die Rezepturen mit vollständig gerundeten Gesteinen (rote Linien) ein größeres Drehmoment im Niedertemperaturbereich erfordern. Dagegen wird aber eine rasche Viskositätsverminderung bei der Prüfungserlauf realisiert und die Resultate im Höhentemperaturbereich im Vergleich zu Kantkornmischgütern (blaue Linien) werden besser. Die MA4 Messungen ergeben einen größeren Anfangsmischmomentunterschied, deshalb ist der Viskositätsverminderungseffekt von Rundkorn dort kleiner. Um diese Differenz auszugleichen wird die MA4-Mischung verändert. Die „Optimierung“ der Asphaltrezeptur erfolgt in der Form von Erhöhung der Füllergehalt anstelle der anderen Gesteinsfraktionen.

Weitere Untersuchung der Kantkorn-/Rundkornsubstitution für das MA8 zeigt, dass vollständig gerundete Gesteine im Bereich 2/8 das Drehmoment beeinflussen können. Ein Szenario mit Erhaltung der Fremdfüllergehalt und 0/2 Kantkornfraktion in Kombination mit

2/8 Rundkornanteil erzeugt Ergebnisse ähnlich zu diesen von dem durch komplette Rundkornsubstitution hergestellten Asphalt (lila Linie).

Zusammen mit dem Kantkornersatzeffekt wird auch der Einfluss von Wachsadditiven auf das Referenzmischgut erforscht. Die bis hier her entwickelte Rundkornrezeptur wird durch 2% Amidwachs (orange Linie) modifiziert. Bei der Prüfung dieser Variant werden wesentlich bessere Resultaten realisiert. Die Anwendung von viskositätsverändernden Zusätzen ist aber mit Erhöhung der Kosten verbunden.

Nach dem Vergleich der Verarbeitbarkeit wird mit Hilfe der Mischmomentabmessungen das Temperaturabsenkungspotential für die neuen Gussasphaltrezepturen ermittelt. Für das Referenzmischgut wird ein Referenzmischmoment bei 230 °C abgelesen – 21,61 Nm für MA8 und 21,51 Nm für MA 4. Daraufhin wird bei diesem Mischmoment die äquivalente Mischtemperatur von allen untersuchten Mischgütern bestimmt.

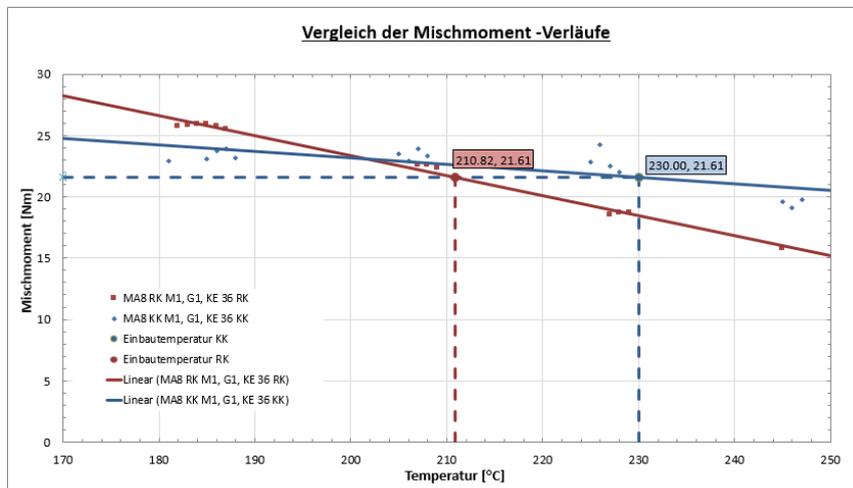


Abbildung 27: Bestimmung der Mischtemperatur bezogen auf ein Referenzdrehmoment

Die erforderlichen Mischtemperaturen für die ganze Reihe von Prüfungen werden in Abbildung 32 systematisiert und gegenüber dem gezielten Absenkungsgrad beurteilt.

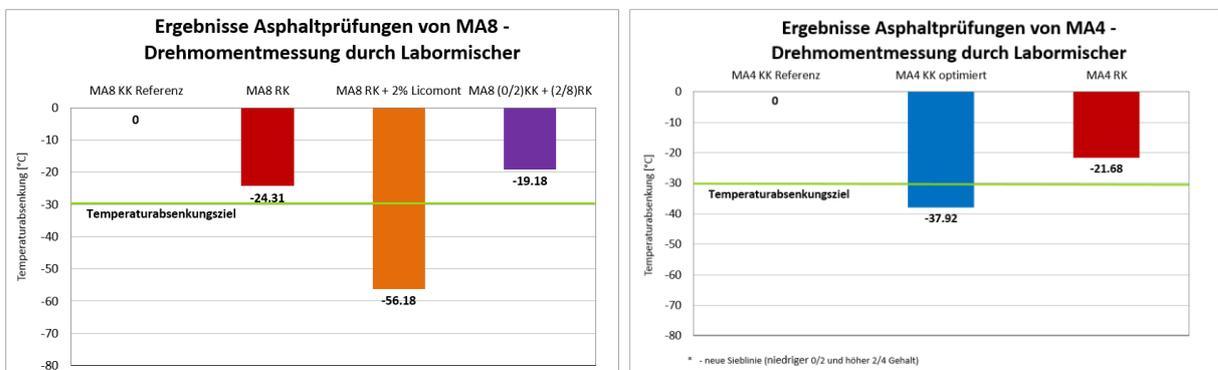


Abbildung 28: Temperaturabsenkungsgrad – MA8 (links) und MA4 (rechts)

Den MA8 Ergebnissen ist zu entnehmen, dass die Temperaturabsenkungsmethode KK/RK-Substitution (-24,31 °C) und KK+RK Zusammenstellung (-19,18 °C) für sich allein nicht genügend sind, um die Grenze von -30 °C zu überspringen. Erforderlich ist eine Zugabe von viskositätsverändernden Additiven (RK + 2% Licomont -56,18 °C). Die MA4 Mischgüter beweisen ein ähnliches Verhalten (RK -21,68 °C). Im Vergleich zu dem MA8-Asphalt aber wird hier den erzielten Absenkungsgrad nicht mit Amidwachs sondern mit einer Veränderung der Sieblinie erreicht.

## 5.3 Verformungsverhalten

### 5.3.1 UCCT (Einaxiale, zyklische Druckschwellprüfung)

Die UCCT-Prüfung ergibt die maximale Deformation des Probekörpers in Prozent nach 3600 Lastwechsel und die Steigung der linearen Regression von dem 1000-ten bis zu dem 3600-ten Lastwechsel in [ $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$ ] bei einer Prüftemperatur von 50 °C als Resultat. Eine detaillierte graphische Darstellung aller Kriechkurven der durchgeführten Versuche steht im Anhang A zu Verfügung. Die dargestellten Daten für die maximale Verformung in den folgenden Vergleichsdiagrammen zeigen den Mittelwert aus drei Einzelprüfungen mit der dazugehörigen Standardabweichung.

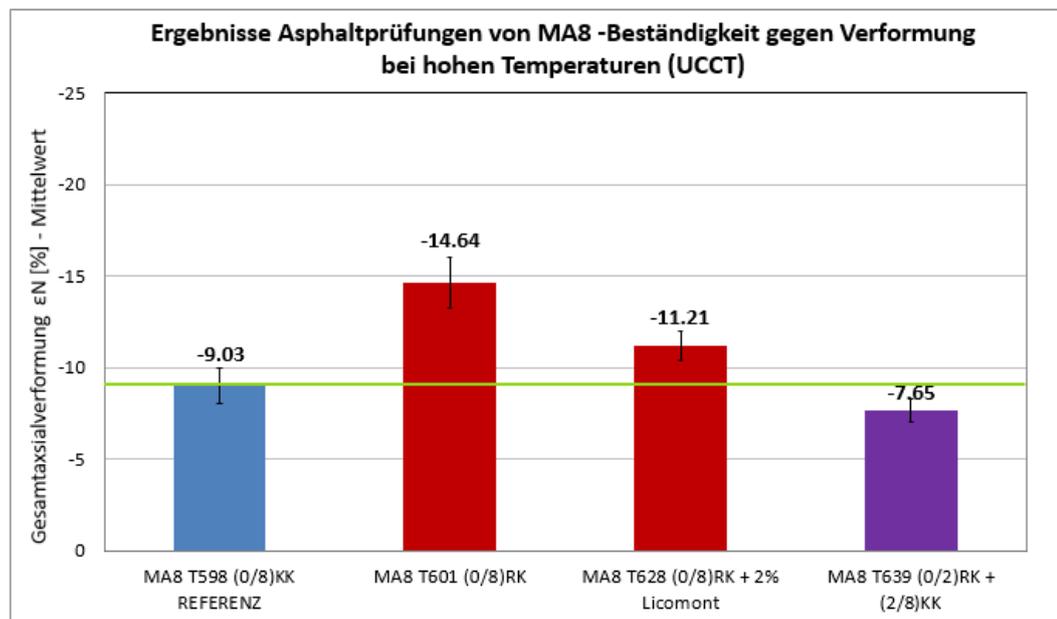


Abbildung 29: Bleibende Verformung und Kriechrate von MA8-Mischgutvariationen bei 50 °C

Das MA8-Referenzmischgut (Abbildung 33) mit gebrochenem Korn zeigt eine Axialdehnung von 9,03%. Wesentlich schlechter Resultaten ergibt die Szenario mit 100 % gerundeten Gesteine und Straßenbaubitumen -14,61%. Durch die Zugabe von 2% Amidwachs wird diese große Differenz bis zu -11,21 % vermindert. Die beste Ergebnisse bei der Untersuchung stammen aus der Kombination 0/2 Kantkorn + 2/8 Rundkorn. Dieses Mischgut

ergibt eine Deformation von -7,65 %, die allein die Grenzanforderung erfüllt. Die Fremdfüllermenge bei der MA8 Referenz, sowie bei der KK/RK Kombination beträgt auf 20 %M und die Varianten mit vollständigen Substitution der Kantkorn enthalten 25 %M.

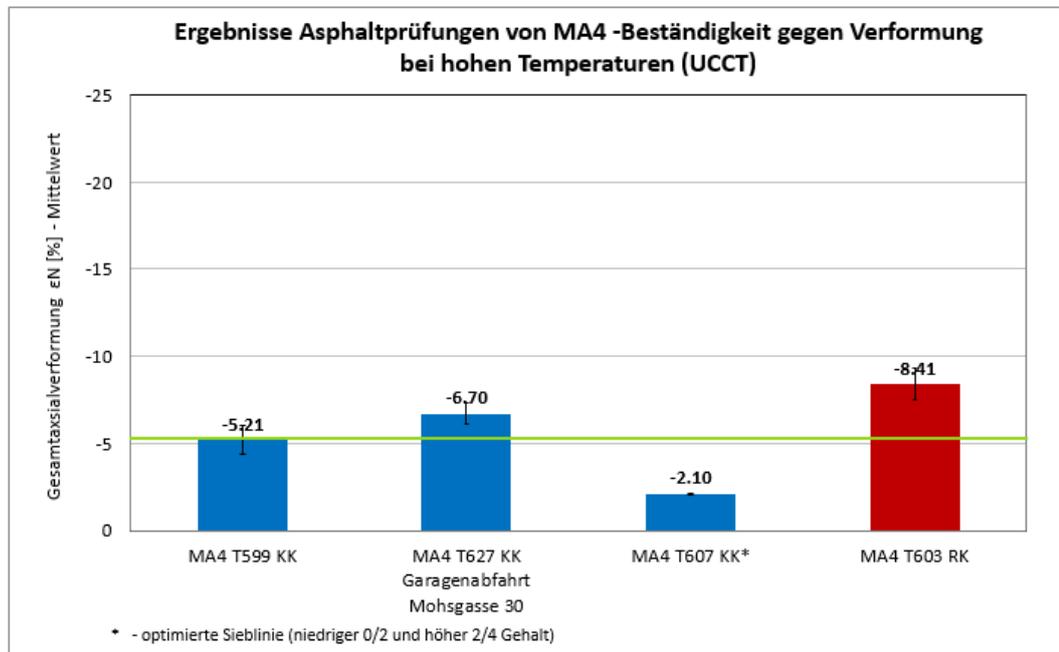


Abbildung 30: Bleibende Verformung und Kriechrate von MA4-Mischgutvariationen bei 50 °C

Bei den MA4 Prüfungen kann man auch bemerken, dass die reine Rundkornsubstitution (-8,41) nicht befriedigend ist. Im Vergleich zu den MA8-Szenarien wird hier den Einfluss von Amidwachs nicht untersucht, sondern eine Optimierung der Referenzsieblinie durchgeführt. Die ausgewählte Lösung (höher 2/4 und niedriger 0/2 Gehalt) zeigt deutlich kleinere Axialdehnungen. Auf diese Art und Weise wird die Erhöhung der Kosten wegen der Verwendung von Additiven vermieden.

Aus den durchgeführten Prüfungen wird erkennbar, dass der Gehalt und die Qualität der Sandfraktionen und des Steinmehls (<0,063) im Gussasphalt einen potentiellen signifikanten Einfluss auf den Widerstand gegen bleibende Verformungen beweisen kann. Daneben erzeugt die Anwendung von dem Amidwachsadditiv „Licomont BS 100“ auch eine positive Einwirkung. Weiterhin kann man sagen, dass die KK/RK Substitution als entscheidend bei der Mischmoment kommt, aber Schwierigkeiten bei der Beständigkeit gegen bleibende Verformung trifft. Dieses Problem ist eine Voraussetzung für weitere Untersuchungen.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Mit Gussasphalt werden seit über 50 Jahren widerstandsfähige und verkehrssichere Deckschichten hergestellt. Das Material ist eine hohlraumfreie und dichte Masse aus Gesteinskörnung und hohem Bitumengehalt, das in heißem Zustand gieß- und streichbar ist und keine Verdichtung beim Einbau bedarf.

Um die negative Aspekte der Asphaltindustrie zu beschränken, wird seit dem Beginn der 1990er Jahren an der Entwicklung von Produkten (Zusätzen) und Methoden zur Temperaturabsenkung von Asphaltmischgütern intensiv geforscht. Heutzutage werden solche Produkte in vielen europäischen Ländern, sowie der USA erfolgreich für Walzasphalte angewandt. Im Gegensatz existiert es nur begrenzte Erfahrung für die Anwendung bei Gussasphalten. Zudem werden die bestehenden Produkte/Methoden im Gussasphaltbau eingesetzt, ohne eine Optimierung der Produktion durchzuführen.

In der vorliegenden Arbeit werden zwei innovative, temperaturabgesenkte Gussasphaltrezepturen entwickelt (MA 8 82% 90/10 + 18% 70/100, M1, G1, KE36 und MA 4 82% 90/10 + 18% 70/100, M2, G3, KE33) und ihr Gebrauchsverhalten geprüft. Zusammen mit dem Einsatz von Wachs im Bitumen wird auch eine gezielte Substitution vom standmäßig verwendeten Kantkorn durch Rundkorn im Mischgut realisiert. Untersuchungen, Teil eines vorhergehenden Sondierungsprojekts, zeigen, dass die kombinierte Anwendung von Amidwachs und gerundete Gesteine bei gleichbleibender Qualität des Asphalts eine Temperaturabsenkung von bis zu 50 °C erreichen.

Schwerpunkt der Untersuchungen sind die Verarbeitbarkeit und der Verformungsverhalten des Materials bei hohen Temperaturen. Durch die Ergebnisse von den entsprechenden gebrauchsvorhaltensorientierten Prüfungen an der Reihe von modifizierten Gussasphaltvarianten werden die Gebrauchseigenschaften charakterisiert und eingeschätzt. Die Einschätzung erfolgt nach dem Vergleich der Prüfergebnisse zwischen einem nicht modifizierten Gussasphaltmischgut und den modifizierten mit Amidwachs und Rundkorn Gussasphalten. Aufgrund positiver Erfahrung aus früheren Projekten wird das Tieftemperaturverhalten zu dieser Etappe der Studie nicht erforscht.

Die Verarbeitbarkeit vom Gussasphalt wird mit Hilfe einer Drehmomentmessung bewertet. Die Resultate zeigen, dass die Rundkornmodifikation ohne Zugabe von viskositätsvermindernde Additive die erzielte Absenkung von -30 °C nicht erreicht. Trotzdem ist der viskositätsvermindernde Effekt der Gesteinssubstitution deutlich, was zu Verminderung der notwendigen Wachsmengen führt und dadurch eine mögliche Reduktion der Kosten mitbringt.

Um die Beständigkeit gegen bleibende Verformungen im Hochtemperaturbereich zu überprüfen, verwendet man den UCCT-Versuch nach EN 12697-25. Laut der Ergebnisse hier überspringen die Resultate aus der 100% KK/RK Substitution die maximale

Referenzdeformation. Der Einsatz von Wachs vermindert die bleibende Verformung, aber ist noch nicht befriedigend. Die optimale Lösung findet man in der Kombination der verschiedenen Gesteinstypen, nämlich 0/2 Kantkorn mit 2/8 Rundkorn. Die Erhaltung der feinen gebrochenen Gesteinsfraktionen aus der Referenzrezeptur sichert die gleiche Verformungsbeständigkeit wegen der Lastabtragungsprinzipien in Gussasphalt (Mastixkonzept) und die grobe Rundkornfraktionen ermöglichen die Verminderung der Viskosität.

Diese optimierten Mischungen sollen in der nächsten Etappe des noch laufenden iMAS(Innovativae Mastic Asphalt) Projekts an einer Asphaltmischanlage erstmals umgesetzt und in Probefeldern eingebaut werden. Anschließend wird eine Probestrecke am öffentlichen Straßennetz der Stadt Wien geplant, bei der konventionelle und innovative Gussasphalte unter Praxisbedingungen, Einbaubarkeit und Verhalten unter Klima und Verkehr vergleichend analysiert werden.

## I. Literaturverzeichnis

- [1] „Berliner Appell: Klimaneutral handeln,“ [Online]. Available: <http://www.klimaneutral-handeln.de/php/hintergrund1.php>.
- [2] „CO<sub>2</sub>-arme Wirtschaft bis 2050,“ [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050/index_de.htm).
- [3] „Arbeitsgemeinschaft der Bitumenindustrie,“ [Online]. Available: <http://www.arbit.de/anwendungsbereiche/strassenbau/walzasphalt/>.
- [4] „Grundlagen der Asphaltverdichtung,“ [Online]. Available: [http://www.bomag.com/de/media/pdf/PRD109016\\_0109\\_Walzfibel.pdf](http://www.bomag.com/de/media/pdf/PRD109016_0109_Walzfibel.pdf).
- [5] „Walzasphalt, Wikipedia,“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Walzasphalt>.
- [6] R. Blab, Straßenwesen(Scriptum), Kapitel 4 - Straßenbautechnik, 2012.
- [7] RVS 08.16.06 - Anforderungen an Asphaltsschichten - Gebrauchsverhaltenorientierter Ansatz, Wien , 12. März 2013.
- [8] Wikipedia, „Asphalt,“ [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Asphalt>.
- [9] „Straßen, Wege, Plätze - technische Information über Gussasphalt,“ [Online]. Available: [http://www.gussasphalt.de/pdf/Heft\\_43.pdf](http://www.gussasphalt.de/pdf/Heft_43.pdf).
- [10] M. N. Partl, „Asphalt und Bitume,“ [Online]. Available: [http://www.ifb.ethz.ch/education/bachelor\\_werkstoffe1/2011FS/Werkstoffe1\\_Bitumen2011.pdf](http://www.ifb.ethz.ch/education/bachelor_werkstoffe1/2011FS/Werkstoffe1_Bitumen2011.pdf).
- [11] „GUSSAPHALT - ein hochwertiger Baustoff, Gestrata Journal Folge 140,“ März 2014. [Online]. Available: [http://www.gestrata.at/archiv/journal/Journal\\_140.pdf](http://www.gestrata.at/archiv/journal/Journal_140.pdf).
- [12] „Transportkocher mit vertikalem Rührwerk,“ [Online]. Available: [http://www.gruen-gmbh.de/strassenbau/at\\_k\\_gussasphaltkocher\\_vertikal.html](http://www.gruen-gmbh.de/strassenbau/at_k_gussasphaltkocher_vertikal.html).
- [13] W. Müller und H. Buchta, Gestrata Asphalt Handbuch, Wien: GESTRATA – Gesellschaft zur Pflege der Straßenbautechnik mit Asphalt, 2010.

- [14] „Beurteilung der Benetzbarkeit und des Haftungsvermögens (Adhäsion) von Bitumen an Gestein mittels Kontaktwinkelmessungen (Punkt 4),“ [Online]. Available: <http://www.bitumen-gestein.de/%DCbersicht.html>.
- [15] G. PIRINGER und W. SCHILLER, „Gussasphalt in der Praxis - Eigenschaften und Einsatzgebiete,“ 2009. [Online]. Available: <http://www.gestrata.at/publikationen/archiv-beitraege/gestrata-journal-125/gussasphalt-in-der-praxis>.
- [16] M. A. „Gussasphalt - Materialbeschrieb,“ [Online]. Available: <http://www.materialarchiv.ch/detail/1581/Gussasphalt#/detail/1581/gussasphalt>.
- [17] ÖNORM EN 13108-6 "Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Teil 6: Gussasphalt", 2013.
- [18] ÖNORM B 3585 Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Gussasphalt - Regeln zur Umsetzung der OENORM EN 13108-6, 2012.08.15.
- [19] ÖNORM B 3638 - Technische Asphalte für den Straßenbau und verwandte Gebiete; Kugeleindruckprüfung von Gußasphalten, 1987.
- [20] C. Angs, „Gußasphalt auf Brücken,“ Institut für Materialprüfung, Schweiz, [Online]. Available: <http://www.trinidad-lake-asphalt.de/UserFiles/File/08-Praxis/Gussasphalt/Gussasphalt-auf-Bruecken.pdf>.
- [21] B. f. G. e. „Schwimmende Gussasphaltestriche,“ 2013. [Online]. Available: [http://gussasphalt.de/pdf/TI\\_50\\_Schwimmende\\_Gussasphaltestriche\\_2013.pdf](http://gussasphalt.de/pdf/TI_50_Schwimmende_Gussasphaltestriche_2013.pdf).
- [22] K. Struthoff, „Brücke aus einem Guss,“ Hersfelder Zeitung, 2014. [Online]. Available: <http://www.hersfelder-zeitung.de/bad-hersfeld/bruecke-einem-guss-4458529.html>.
- [23] „Eine Brücke setzt neue Maßstäbe, teams. 01/2014 - Magazin der Strabag SE,“ [Online]. Available: [http://www.strabag.com/databases/internet/\\_public/files.nsf/SearchView/55B1E600795E6146C1257EEC00548265/\\$File/STRA\\_01\\_14\\_teams\\_final\\_dt\\_STRANET\\_r12.pdf?OpenElement](http://www.strabag.com/databases/internet/_public/files.nsf/SearchView/55B1E600795E6146C1257EEC00548265/$File/STRA_01_14_teams_final_dt_STRANET_r12.pdf?OpenElement).
- [24] „Pilotprojekt Gussasphalt, Land Steiermark,“ 2011. [Online]. Available: <http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/beitrag/11587220/74835042>.

- [25] „Brückenbeläge im Verbundsystem, Aeschlimann,“ 2012. [Online]. Available: <http://www.aeschlimann.ch/de/aktuell/baustellen-vergangener-jahre/viaducs-du-creugenat-porrentruy-boncourt>.
- [26] D. A. e. „DAV Leitfaden Temperaturabgesenkte Asphalte,“ April 2009. [Online]. Available: [http://www.asphalt.de/site/startseite/literatur/infomaterial\\_download/veroeffentlichungen\\_des\\_dav/](http://www.asphalt.de/site/startseite/literatur/infomaterial_download/veroeffentlichungen_des_dav/).
- [27] D. Großhans, „Wachsmodifizierung von Guss- und Walzasphalten - Praxiserfahrungen und Hinweise,“ 2014. [Online]. Available: [http://www.peba.de/inhalte//uploads/2015/09/wachsmodifizierung\\_asphalt.pdf](http://www.peba.de/inhalte//uploads/2015/09/wachsmodifizierung_asphalt.pdf).
- [28] G. B. „Temperaturabgesenkte Asphalte,“ September 2009. [Online]. Available: <http://www.bgbau.de/gisbau/publikationen/brosch/downloads/BitumenBroschue-re.pdf>.
- [29] M. Bretschneider-Hagemes, H. Schmidt und R. Rühl, „Temperaturabsenkung bei der Verarbeitung von Bitumen - eine Chance für Umwelt, Arbeitsschutz und Wirtschaft,“ 2010. [Online]. Available: [http://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2010\\_106.pdf](http://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2010_106.pdf).
- [30] „Bitumeninnovationen – Welches Produkt wofür – Teil 2, Gestrata Journal Folge 142,“ 2014. [Online]. Available: [http://www.gestrata.at/archiv/journal/Journal\\_142.pdf](http://www.gestrata.at/archiv/journal/Journal_142.pdf).
- [31] NAPA, „Warm - mix Asphalt: Best Practices - 3rd Edition,“ 2012. [Online]. Available: [http://driveasphalt.org/assets/content/resources/QIP-125\\_Warm\\_Mix\\_Asphalt\\_3rd\\_edition.pdf](http://driveasphalt.org/assets/content/resources/QIP-125_Warm_Mix_Asphalt_3rd_edition.pdf).
- [32] R. Rühl, M. Schellenberger und M. Winklbauer, „Einbau von temperaturabgesenktem Walzasphalt in Tunnelbauwerken - Keine Alternative,“ 2012. [Online]. Available: <http://baunetzwerk.biz/artikelarchiv-asphalt/158/2524>.
- [33] M. Burndorfer, „Gebrauchsverhalten von mit Amidwachs modifizierten Bitumen, Gestrata Journal Folge 97,“ [http://www.gestrata.at/archiv/journal/Journal\\_123.pdf](http://www.gestrata.at/archiv/journal/Journal_123.pdf), Jänner 2009. [Online].
- [34] M. Zaumanis, „Warm Mix Asphalt Investigation,“ Technical university of Denmark, 2010. [Online]. Available: <http://www.byg.dtu.dk/english/Teaching/Student>.

- [35] MATERIAL ARCHIV, „Montanwachs - Materialbeschreibung,“ [Online]. Available: <http://www.materialarchiv.ch/app-tablet/#search/>.
- [36] C. Ölkers, „Asphalte mit viskositätsverändernden Zusätzen - 15 Jahre Praxis - Gestrata Journal - Folge 143,“ 2015. [Online]. Available: [http://www.gestrata.at/archiv/journal/Journal\\_143.pdf](http://www.gestrata.at/archiv/journal/Journal_143.pdf).
- [37] B. Hofko, M. Dimitrov, O. Schwab und F. Weiss, „High Efficient Low Emission Mastic Asphalt - Endbericht,“ 2014.
- [38] „Laborausstattung - Gegenlaufzwangsmischer,“ Bergische Universität Wuppertal, 2015. [Online]. Available: <http://www.strassenbau.uni-wuppertal.de/wegweiser/laborausstattung/asphalt/herstellung.html>.
- [39] DIN EN 12697-35 - Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt - Teil 35: Labormischung.
- [40] EN 12697-25 Asphalt - Prüfverfahren für Heißasphalt - Teil 25: Druckschwellversuch, 2005.
- [41] B. Hofko, M. Dimitrov, O. Schwab und F. Weiss, „Rundkorn statt Kantkorn - Eine alternative Methode zur Temperaturabsenkung von Gussasphalt,“ 2015. [Online]. Available: [http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat\\_243706.pdf](http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_243706.pdf).
- [42] C. Lechner, „Wachse in Kunststoffen – nicht nur Fließverbesserung,“ Clariant, 2012. [Online]. Available: [http://www.clariant.de/C12576850036A6E9/8198B558933E8F4CC1257A92004C1BC1/\\$FILE/Wachse%20in%20Kunststoffe%20-%20nicht%20nur%20Flie%C3%9Fverbesserung\\_SKZ%20Peine%207%20-8%2011%202012.pdf](http://www.clariant.de/C12576850036A6E9/8198B558933E8F4CC1257A92004C1BC1/$FILE/Wachse%20in%20Kunststoffe%20-%20nicht%20nur%20Flie%C3%9Fverbesserung_SKZ%20Peine%207%20-8%2011%202012.pdf).
- [43] ÖNORM B3130 Gesteinskörnungen für Asphalte und Oberflächenbehandlungen für Straßen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen - Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 13043, 2010.
- [44] ÖNORM B 3610 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Anforderungen an Straßenbaubitumen - Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 12591, 2014.
- [45] ÖNORM 3611-1 Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel - Teil 1: Anforderungen an oxidiertes Bitumen — Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 13304, 2009.

- [46] ÖNORM B 3613 Polymermodifizierte Bitumen für den Straßenbau - Anforderungen - Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 14023, 2011.

## II. Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: CO <sub>2</sub> -Konzentration [1] .....  | 9  |
| Abbildung 2: Wege zur Verringerung der THG-Emissionen .....  | 9  |
| Abbildung 3: Modell der Lastabtragung über Asphaltmastix [6] .....   | 12 |
| Abbildung 4: Modell der Lastabtragung durch Stützgerüst und Materialverbund – dichte Struktur [6] .....  | 13 |
| Abbildung 5: Modell der Lastabtragung durch Stützgerüst und Materialverbund – offenporige Struktur .....   | 13 |
| Abbildung 7: Mastix Konzept - schematische Darstellung links und Querschnitt einer Probekörper rechts [10] .....                                       | 17 |
| Abbildung 8: Transportkocher mit vertikalem Rührwerk [12] .....  | 17 |
| Abbildung 9: Asphaltmischgut – Kennzeichnung [18] .....  | 21 |
| Abbildung 10: Die Bögen der neuen Weichselbrücke und eine gesamte Aussicht der Umgebung [23] .....   | 26 |
| Abbildung 11: Asphaltfertiger während des Einbaus vom Gussasphaltbelag [23] .....  | 26 |
| Abbildung 12: Händischer Einbau des Gussasphalts (links) und Oberflächenbehandlung (rechts) [24] .....   | 26 |
| Abbildung 13: Autobahnviadukte vor Deckschichteinbau [25] .....  | 27 |
| Abbildung 14: Maschineller Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht mit einem schienengeführten Einbaufertiger. [25] .....                                 | 27 |
| Abbildung 15: Einbau der Gussasphalt-Deckschicht mit einem schienengeführten Einbaufertiger mit integrierter Splittabstreuerung [25] .....             | 27 |
| Abbildung 17: Expositionen beim konventionellen und temperaturabgesenkten Einbau von Walzasphalt [28] .....  | 32 |
| Abbildung 18: Expositionen beim konventionellen und temperaturabgesenkten Einbau von Gussasphalt. Händisch (links) und maschinell (rechts). [28] ..... | 32 |
| Abbildung 19: Zusammenhang zwischen Temperatur und Viskosität – mit und ohne Modifikation... 35  |    |
| Abbildung 20(a): Klassifizierung von Wachsen – natürliche Wachse [42] .....  | 35 |
| Abbildung 20(b): Klassifizierung von Wachsen – synthetische Wachse [42] .....  | 36 |
| Abbildung 21: Sieblinien der Referenzrezepturen - MA 8 (links) und MA 4(rechts) .....  | 41 |
| Abbildung 22: Gesteine – Kantkorn(a), Rundkorn(b), Füller(c) .....   | 41 |
| Abbildung 23: Gegenlaufzwangsmischer [38] .....  | 43 |
| Abbildung 24: Prüfeinrichtung .....  | 45 |
| Abbildung 25: Belastungs- und Verformungsgraph im Laufe der Zeit [40] .....  | 47 |
| Abbildung 26: Verformung-Lastwechsel-Diagramm bei einem Asphaltmischgut .....  | 48 |
| Abbildung 27: Prüfergebnisse der Drehmomentmessungen von MA 8 .....  | 50 |

Abbildung 29: Prüfergebnisse der Drehmomentmessungen von MA 4 ..... 50  
 Abbildung 31: Bestimmung der Mischtemperatur bezogen auf ein Referenzdrehmoment..... 51  
 Abbildung 32: Temperaturabsenkungsgrad – MA8 (links) und MA4 (rechts) ..... 51  
 Abbildung 33: Bleibende Verformung und Kriechrate von MA8-Mischgutvariationen bei 50 °C ..... 52  
 Abbildung 34: Bleibende Verformung und Kriechrate von MA4-Mischgutvariationen bei 50 °C ..... 53

### III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Größtkorn und Schichtdicke bei Trag- und Binderschichten [7] 14  
 Tabelle 2: Zusammenhang zwischen Größtkorn und Schichtdicke, Deckschichten AC D deck, SMA D und PA D [7]..... 15  
 Tabelle 3: Polymergruppen – Übersicht [14] ..... 19  
 Tabelle 4: Anforderungen an die bleibende Verformung gemäß ÖNORM B 3585 [18] ..... 22  
 Tabelle 5: Gussasphaltestrich – Einteilung [15] ..... 25  
 Tabelle 6: Expositionen durch Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen bei der Heißverarbeitung (Anzahl der Messungen und 95-Perzentilwerte ) [28] ..... 29  
 Tabelle 7: Vergleich der Mischguttemperaturen [26]..... 29  
 Tabelle 8: Rezepturen der Gussasphaltmischgüter - MA 8 (links) und MA 4(rechts) ..... 40  
 Tabelle 11: Anordnung der Asphaltrezepturen..... 48  
 Tabelle 12: Plan der Prüfungen – MA 8 ..... **Error! Bookmark not defined.**  
 Tabelle 13: Plan der Prüfungen – MA 4 ..... **Error! Bookmark not defined.**

### IV. Anhang A

