

Verfahrenstechnische, bautechnische und energetische Eignung der Schaumbitumentechologie zur Herstellung von Warmasphalt unter Mitverwendung von Asphaltgranulat

1. Forschungsthema

Das Forschungsthema liegt primär auf dem Nachweis der verfahrenstechnischen Eignung der Schaumbitumentechologie für die großtechnische Herstellung von Heißasphaltemischgut unter gleichzeitigem Einsatz von Asphaltgranulat. Auf der Grundlage der bereits vorliegenden Erkenntnisse des abgeschlossen und publizierten Forschungsauftrages AiF 14749 N aus dem Jahr 2008 [Wirth, 2008] und den internationalen Erfahrungen (z. B. in den USA, Niederlanden) sollen weitergehende Untersuchungen die Eignung des Schaumbitumenverfahrens zur Herstellung von Warmasphaltemischgut unter Zugabe von Asphaltgranulat nachweisen. Die Asphaltgranulatzugabe ist im technischen Regelwerk für den Straßenbau in Deutschland unter anderem zur Ressourcenschonung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes durchgängig verankert und findet in den Bauverträgen regelmäßig und auf hohem technischem Niveau breite Anwendung. Eine Mitverwendung von Asphaltgranulat ist daher unumgänglich. Ebenso muss die material- und bautechnische Gleichwertigkeit zu konventionellen Asphaltgemischen Bestandteil der Beurteilung sein. Vor dem Hintergrund einer ganzheitlichen Betrachtungsweise der verfahrenstechnischen Weiterentwicklung der Heißasphaltproduktion sollen begleitend auch energetische und emissionsbezogene vergleichende Bewertungen der Versuchsvarianten vorgenommen werden. Die Motivation zum Einsatz der Schaumbitumentechologie bei der Asphaltherstellung ergibt sich für die Prozessbeteiligten KMU dabei mit absolut aktueller Brisanz durch den direkten Zusammenhang zwischen der potentiell erzielbaren Temperaturabsenkung mit der Reduzierung der Dämpfe und Aerosole bei der Heißverarbeitung, dem Energieverbrauch und den CO₂-Emissionen.

2. Wirtschaftliche Relevanz für KMU

2.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Aufgrund arbeitsmedizinischer Regelungen ist die Bestrebung zur Absenkung der Asphalttemperatur bei der Herstellung und beim Einbau spätestens seit dem Jahr 2000 (Grenzwertfestlegung auf 10 mg/m³) in Deutschland ein fester Bestandteil in der anwendungsbezogenen Asphaltforschung. Eine im technischen Regelwerk verankerte Absenkung der Temperatur war bisher allerdings nur für Gussasphalte und für Walzasphalte in Tunnel- und Trogbauwerken zwingend erforderlich. Im Mai 2020 erschien eine neue Fassung der Technischen Regeln für

Gefahrstoffe (TRGS 900) [TRGS, 2020], in der ein Arbeitsplatzgrenzwert für Dämpfe und Aerosole bei der Heißverarbeitung von Destillations- und Air-Rectified-Bitumen eingeführt wurde. Dieser Grenzwert ist so niedrig ($1,5 \text{ mg/m}^3$), dass er mit den aktuellen Technologien bisher nicht eingehalten werden kann, sodass der Grenzwert für die kommenden 5 Jahre ausgesetzt wurde. Bis dahin müssen technologische Lösungen zu sicher Einhaltung des Grenzwertes gefunden werden. Eine wesentliche Komponente hierbei wird die Absenkung der Verarbeitungstemperatur sein, die mit der Schaumbitumentechologie nachweislich erreicht wird.

Hiermit haben sich grundlegend neue Randbedingungen für Technologien zur Reduzierung der Asphalttemperatur bei Herstellung und Einbau (Warmasphalt oder Niedrigtemperaturasphalt) und damit auch für den Einsatz von Schaumbitumen ergeben.

Aus wissenschaftlicher Sicht kann auf vorhandene Erkenntnisse des Forschungsvorhabens [Wirth, 2008] zurückgegriffen werden. Die grundsätzliche Machbarkeit wurde hier nachgewiesen. Aus heutiger Sicht müssen großtechnische und anwendungsbezogene Weiterentwicklungen zur Energie- und Emissionsoptimierung des Herstellungsverfahrens ergänzt werden, mit denen das Potential zur Reduzierung der CO_2 -Emissionen quantifiziert werden kann. Zudem sind die Möglichkeiten und Grenzen der Zugabe von Asphaltgranulat für diese Technologie zu ermitteln. Hiermit können die Potentiale zur Energie- und Emissionsreduzierung durch eine bestmögliche Kombination der Asphaltgranulatzugabe und der Schaumbitumentechologie ermittelt werden.

2.2 Wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU

Durch eine Optimierung der Prozessparameter und der Detektion der Anwendungsgrenzen können den Asphaltherstellern mit geringem eigenen F+E-Budget (KMU) direkte Handlungshilfen und -hinweise für den Regelbetrieb ihrer Anlagen gegeben werden, womit sich deren Marktposition gegenüber größeren Unternehmungen sichern lässt. Letztendlich wird damit eine innovative und nachhaltige Verfahrenstechnik mit unmittelbarem Anwendungspotential für alle interessierten Asphaltmischanlagenbetreiber bereitgestellt.

Dies kann für KMU von existenzieller Bedeutung sein, wenn der neue Arbeitsplatzgrenzwert offiziell in Kraft tritt und eine hierzu notwendige Anlagentechnologie noch nicht vollumfänglich einsatzfähig ist. Darüber hinaus können mit dieser innovativen und nachhaltigen Technologie Kosten eingespart werden, womit sich die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Bauweisen verbessert und insgesamt ein wichtiger volkswirtschaftlicher Beitrag geleistet wird. Zudem trägt diese Kostenersparnis infolge des geringeren Energieeinsatzes zur Sicherung von Arbeitsplätzen bei. Die Reduzierung des Energieverbrauches leistet nicht zuletzt einen wichtigen Beitrag zur Verminderung der CO_2 -Emission.

In letzter Konsequenz sollen die gewonnenen Erkenntnisse in das deutsche Regelwerk für den Straßenbau eingebracht werden, um den Stand der Technik für alle Beteiligten zu dokumentieren und um die notwendige bauvertragliche Sicherheit zu gewährleisten.

3. Wissenschaftlich-technischer Ansatz

3.1 Stand der Forschung und Entwicklung

Der europäische Asphaltverband (EAPA) definiert in seinem Positionspapier von 2014 [EAPA, 2014] den temperaturabgesenkten Asphalt mit Schaumbitumen als Warmasphalt (WA) oder Warmasphaltnischgut (WAM), der bei Temperaturen zwischen 100 und 150 °C hergestellt wird. Dagegen wird der konventionelle Asphalt, der Heißasphalt, bei Temperaturen zwischen 150 und 190 °C hergestellt (siehe Bild 1).

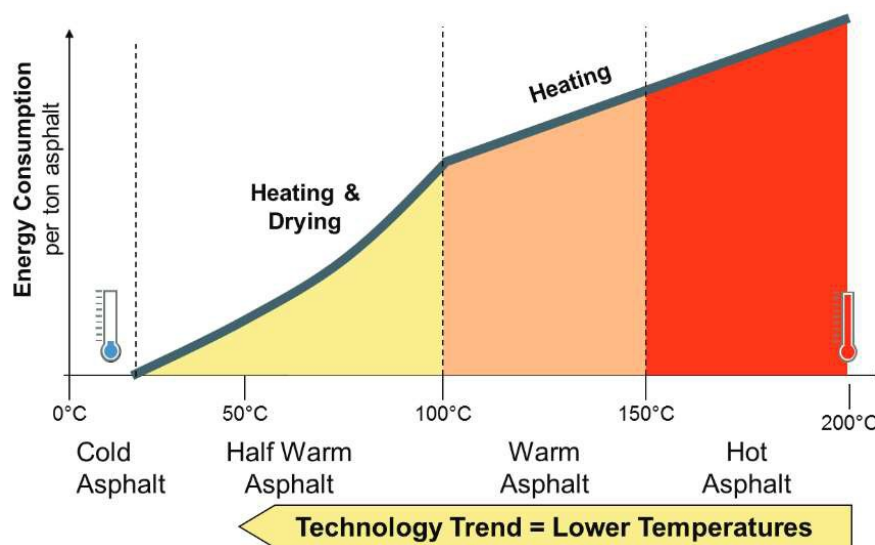


Bild 1: Einteilung der Asphaltbauweisen nach den Verarbeitungstemperaturbereichen [EAPA, 2014]

Dieser Temperaturbereich für den Heißasphalt findet sich annähernd gleichermaßen auch im deutschen Regelwerk den TL Asphalt-StB 07/13 [TL Asphalt, 2013] in der Tabelle 3 wieder. Die Grenzbereiche variieren dort je nach der Bitumensorte, wobei die härteren Bitumen eine höhere Verarbeitungstemperatur benötigen als die weicheren Bitumen. Niedrigere Mischtemperaturen bewirken einen geringeren Energiebedarf bei der Produktion und damit verbunden weniger CO₂-Emissionen. Zudem nehmen die Exposition des Einbaupersonals und die Belastung von Anliegern innerörtlicher Baustellen durch den Einsatz von Niedrigtemperaturasphalt gegenüber Standardasphalt ab.

In dem Forschungsprojekt [Wirth, 2008] wurde die grundsätzliche Einsatzmöglichkeit von Schaumbitumen bei der Herstellung von Warmasphalt (hier mit Niedrigtemperaturasphalt bezeichnet) am Beispiel von Deckschichtmischgut Asphaltbeton 0/11 (AB 0/11, heute AC 11 D) nachgewiesen. Durch Verwendung eines aufgeschäumten Bitumens (70/100) konnten bei gleichbleibenden Eigenschaften des Asphalts die Mischtemperatur und die Verdichtungs-temperatur gegenüber einem konventionellen Heißasphalt gleicher Art und Sorte um 30 bis

40°C abgesenkt werden. Die Gleichwertigkeit von Schaumbitumen-Warmasphalt und Referenzasphalt nach ZTV Asphalt-StB 01 [ZTV Asphalt, 2001] wurde sowohl in umfangreichen labortechnischen Untersuchungen als auch bei der Herstellung im Asphaltmischwerk mit großtechnischem Einbau, unter anderem mit Spurbildungstests und Bohrkernuntersuchungen, nachgewiesen.

Für den Praxistest stellte die Bayerische Staatsbauverwaltung die Staatsstraße St 2067 zwischen Ering und Machtlfing zur Verfügung, auf der ein 1,5 km langer Straßenabschnitt mit einer Warmasphaltdeckschicht AB 0/11 mit Schaumbitumen eingebaut wurde. Weder bei den baubegleitenden Laboruntersuchungen (Marshall-Prüfung, Bestimmung der Verdichtbarkeit mit Gyrator-Verdichter, indirekter Zugprüfung, Spurbildungstest) noch nach augenscheinlicher Beobachtung der Einbaustrecke nach einem Winter zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen Test- und Referenzmaterial.

Allerdings lassen die Prüfungen sowohl im Laborteil als auch im großtechnischen Untersuchungsteil darauf schließen, dass der Schaumbitumen-Warmasphalt seine vollen Gebrauchseigenschaften erst etwas später erreicht als der Referenzasphalt, bei dem dies unmittelbar nach dem Auskühlen der Fall war. Als Ursache hierfür werden Restwasseranteile in der Schaumbitumen-Warmasphaltschicht vermutet.

Das Forschungsvorhaben hat damit gezeigt, dass sich durch den Einsatz von Schaumbitumen bei der Asphaltherstellung Temperaturreduzierungen in gleicher Größenordnung erreichen lassen, wie sie mit anderen Methoden, die kostenintensive Additive (Wachse, Zeolithe) benötigen, möglich sind. Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass mit dem Schaumbitumeneinsatz eine erhebliche Minderung des Energieverbrauchs und der Energiekosten bei der Asphaltherstellung sowie eine entsprechende Reduzierung der Schadstoffemissionen im Vergleich zum Standardasphalt erzielt werden können.

Neuere Erkenntnisse im europäischen Ausland (Niederlande) dokumentieren Anwendungserfolge, bei denen eine hohe Homogenität (vollständige Umhüllung der Gesteinskörnungen) zu praktischen Anwendungen auf Autobahnen bis in die Asphaltbinder-schicht geführt hat. Die Schaumbitumeneigenschaften waren allerdings auch nicht mit den oben genannten vergleichbar. Die Dauerhaftigkeit der Schaumstabilität wurde in den letzten Jahren durch chemische Additive um ein Vielfaches erhöht.

In den Niederlanden wird seit einigen Jahren ein Verfahren mit derart additiviertem Schaumbitumen angewendet (LEAB, Laag Energie Asfalt Beton – Niedrigenergieasphaltbeton), bei dem der Asphalt bei rund 100 °C hergestellt und verarbeitet wird. Die praktischen Anwendungen erfolgten auch in Straßen und Schichten mit hoher Beanspruchung (Autobahnbau, bis in die Asphaltbinderschicht) und es wurden bisher ca. 700.000 t LEAB eingebaut [www.bam.com,

2020]. Die bisherigen baubegleitenden Untersuchungen und die bisherigen Langzeitbeobachtungen scheinen sehr vielversprechend.

Die wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile des Schaumbitumen-Warmasphalts können nur dann voll zum Tragen kommen, wenn der Einsatz von Schaumbitumen zur Temperaturminderung auch bei der Zugabe von Asphaltgranulat im zulässigen und praxisüblichen Umfang möglich ist. Hierzu liegen bisher keine wissenschaftlich abgesicherten Erkenntnisse vor. Ein Schwerpunkt des Projektes ist deswegen die labor- und großtechnische Untersuchung des Temperaturabsenkungseffekts der Schaumbitumentechologie nach neustem Stand der internationalen Erkenntnisse in Verbindung mit der Asphaltgranulatzugabe bei der Herstellung von Warmasphalt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nur der Bindemittelanteil, der zur Mischung neu zugegeben wird, aufgeschäumt werden kann, der im Asphaltgranulat enthaltene Bindemittelanteil jedoch nicht.

Die Weiterentwicklung der Schaumbitumenbauweise erfolgte weitgehend im internationalen Ausland. Die Warmasphaltbauweise ist in den USA bereits sehr weit verbreitet. Das Bild 2 zeigt, dass insbesondere im Südosten der USA diese Bauweise in einigen Bundesländern schon zu einer Routinebauweise geworden ist. Die Basis dieser Karte ist eine Befragung aus dem Jahr 2011. In vielen Fällen wurde hier auch auf die Schaumbitumentechologie zurückgegriffen [Martin, 2011], [Newcomb et al., 2015].

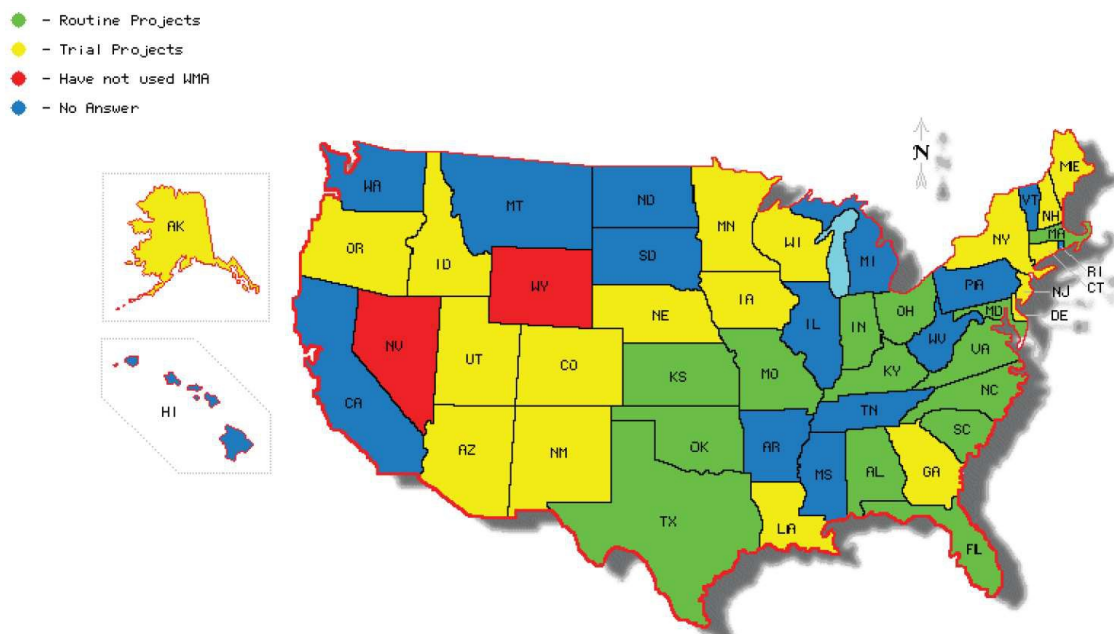


Bild 2: Anwendungsverbreitung der Warmasphaltbauweise in den USA, Stand 2011 [Martin, 2011]

Die wesentlichen Erkenntnisse der in [Martin, 2011] zusammengetragenen Forschungsergebnisse zur Warmasphalt-Bauweise in den USA lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die im Mittel um 27 °C abgesenkte Verarbeitungstemperatur führte in keinem der evaluierten Projekte zu Problemen an der Anlage und beim Einbau.
2. Mit der Herstellung der Asphaltgemische bei abgesenkter Temperatur konnten durchschnittlich 22 % an Brennstoffen eingespart werden.
3. Die am Schornstein der Asphaltmischanlage gemessene Verringerung der CO₂-Emissionen war direkt proportional zur Verringerung des Brennstoffverbrauchs.
4. Die Exposition der Arbeiter gegenüber lungengängigen Dämpfen während des Einbaus mit Warmasphalt wurde um mindestens 33 % reduziert.
5. Die Materialuntersuchungen haben gezeigt, dass die dynamischen Steifigkeiten der Warmasphalte in den meisten Fällen niedriger waren als die der entsprechenden Heißasphaltemischungen.
6. Bezüglich des Verformungsverhaltens wiesen 59 % der Warmasphalte eine statistisch äquivalente Spurrinnentiefe zu ihren korrespondierenden Heißasphalten auf. Bei den verbleibenden 41 % hatten die Warmasphalte eine größere Spurrinnentiefe als die Heißasphalt-Vergleichsmischungen.
7. Zur Herstellung von Laborproben aus Warmasphalt hat sich eine Gyrator-Verdichtung als zielführend und zuverlässig erwiesen. Allerdings sollte der optimale Bindemittelgehalt nicht auf Basis der abgesenkten Temperatur ermittelt werden, sondern auf Basis einer konventionellen Erstprüfung für Heißasphalt.

Neben den USA ist die Anwendung der Warmasphalt-Bauweise auch in vielen Ländern Europas weiter fortgeschritten als in Deutschland. Andererseits ist in Deutschland das vermutlich höchste Niveau bei der Wiederverwendung von Ausbauasphalt (Asphaltgranulat) zu beobachten. Beide ökologisch relevanten Aspekte gleichermaßen auszunutzen und dabei eine materialtechnologische Gleichwertigkeit zu Heißasphalt zu erreichen, ist wissenschaftlich bisher noch nicht nachgewiesen worden.

Um die Wirksamkeit der Warmasphalt-Technologien auf die Verdichtbarkeit im Labor nachweisen zu können, wird außerhalb von Deutschland fast immer das Gyrator-Verdichtungsverfahren verwendet [AASHTO R 35].

Aber auch in Deutschland wurde die Möglichkeit der Ansprache des Verdichtungsverhaltens mit dem Gyrator untersucht [Wallner, 2004]. Hierbei zeigte sich eine sehr hohe Sensitivität zur Differenzierung verschiedener Asphalte und deren Verdichtungsverhalten (siehe Bild 3).

Zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Verdichtungswiderstand wurde mit dem Gyrator-Verdichter eine Differenz von 52,0 festgestellt, die bei gleichen Mischgutvarianten im Marshall-Verdichtungsgerät bei 16,6 lag. Die Spannweite der an Proben aus großtechnisch hergestellten Asphalten ermittelten Verdichtungswiderstände lag sogar bei über 60. Auch wenn der Gy-

rator-Verdichter in Deutschland zurzeit noch wenig gebräuchlich ist, stellt diese Verdichtungsmethode in der hier relevanten Problemstellung eine vielversprechende Hilfe dar, zumal gleichwertig geeignete und in Deutschland gebräuchliche Methoden nicht vorhanden sind.

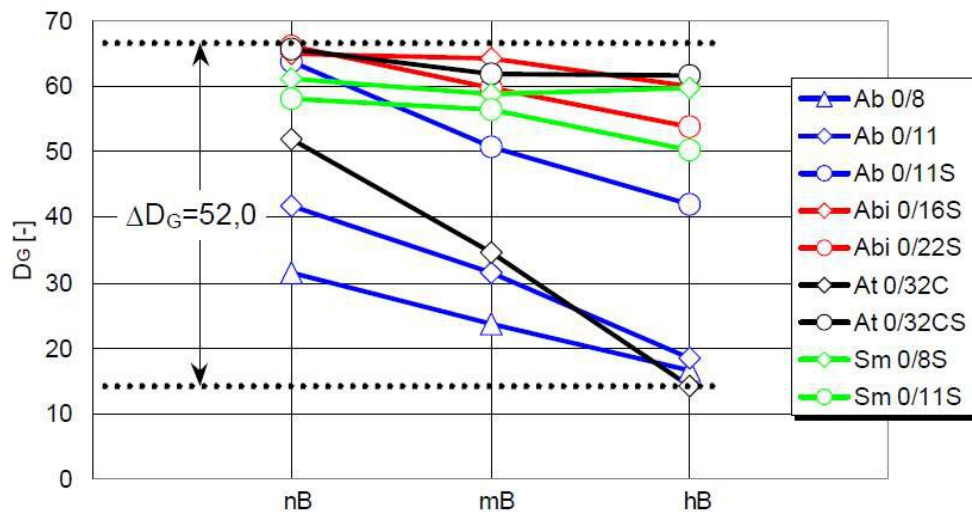


Bild 3: Verdichtungswiderstand (Gyrator) verschiedener Asphalte mit drei unterschiedlichen Bindemittelgehalten; (niedrig (n), mittel (m) und hoch (h)), [Wallner, 2004]

3.2 Arbeitshypothese

Forschungsziel ist es, den Nachweis zu erbringen, dass ein hinreichender Absenkungseffekt der Misch- und Verdichtungstemperatur durch den Einsatz von Schaumbitumen auch bei Zugabe von Asphaltgranulat in zulässigem und praxisüblichem Umfang wirksam ist. Es ist zu erwarten, dass sich mit zunehmendem Anteil an Asphaltgranulat der durch das Schaumbitumen eingebrachte Effekt verringert. Der Nachweis soll anhand von unterschiedlichen Mischgutzusammensetzungen im Labor und großtechnisch erbracht werden. Letztendlich sollen ausgewählte Mischungen auf einer öffentlichen, durch Widmung klassifizierten Straße eingebaut und einem Praxistest unter realen Randbedingungen unterworfen werden. Unabhängig von der Schaumbitumenfrage liegen bei den für die Praxisdurchführung der Untersuchung vorgesehenen Asphaltmischwerken sowohl die Voraussetzung (Paralleltrommel) als auch die nötigen Erfahrungen mit hohen Zugabemengen von Asphaltgranulat bei der Asphaltherstellung vor.

Die Untersuchungen erfolgen an Asphalttrag-, Asphaltbinder- und Asphaltdeckschichtmischgut. Auch ist zu untersuchen, bis zu welchem Mindestzugabebindemittelgehalt das Verfahren anwendbar ist. Für die Zugabemenge von Asphaltgranulat werden die Rahmenbedingungen des derzeit geltenden technischen Regelwerkes beachtet.

Angestrebt wird in dem vorgeschlagenen Forschungsprojekt, den höchstmöglichen Asphaltgranulatzugabeanteil nachzuweisen, bei dem der beobachtete Temperaturabsenkungseffekt infolge von Schaumbitumeneinsatz noch hinreichend wirksam ist. Dies wird in Abhängigkeit von Asphaltart und Produktionsverfahren erfolgen.

Ein weiteres Ziel des Forschungsvorhabens ist es, zu untersuchen, wie die Zugabe eines hydraulischen Bindemittels das Erreichen der vollen Gebrauchseigenschaften des Schaumbitumen-Warmasphalts nach dessen Abkühlung beeinflusst (chemische Bindung der Restwasseranteile). Konkret soll untersucht werden, inwieweit sich das in [Wirth, 2008] beobachtete zeitliche Abklingen des Viskositätsminderungseffekts (als Slow-Setting-Effekt bekannt), d. h. die Zeitspanne, bis der Schaumbitumenasphalt wieder die gleichen Festigkeitseigenschaften wie der Referenzasphalt erreicht hat, durch Zugabe von hydraulischem Bindemittel verkürzen lässt. Dabei müssen Einflüsse des hydraulischen Bindemittels auf die grundsätzlichen mechanischen Eigenschaften der Asphalte (temperaturabhängiges Steifigkeitsverhalten) vermieden werden [Iwanski, 2020].

Neben den asphalttechnologischen Aspekten der Schaumbitumenbauweise ist die technische Erweiterung einer Asphaltmischanlage mit der Schaumbitumentechologie sowie der Prozesssteuerung von Bedeutung. Aus diesem Grunde wird die Einbindung eines Asphaltmischanlagenherstellers in das Forschungsvorhaben vorgesehen (Mitarbeit im Betreuungsausschuss bestätigt). Ein weiterer Bearbeitungsschritt ist die Einbeziehung eines auf Energiebilanzierung spezialisierten Unternehmens, welches die in den Untersuchungen und Vergleichen eingesetzten Energiemengen quantifiziert und auf den CO₂-Footprint hin untersucht. Ziel ist es, verlässliche und belastbare Daten zu generieren, welche Aufschluss über potentielle Energieeffizienzsteigerungen beim Einsatz von WAM im Vergleich zu konventionell hergestelltem Asphaltmischgut liefern.

4. Lösungsweg

Zusammenfassend sind nachfolgend die vier Komponenten des angestrebten Lösungsweges des Forschungsvorhabens angeführt:

1. Warmasphaltemischungen werden labortechnisch unter Verwendung einer Laborschaumbitumenanlage untersucht, optimiert und charakterisiert. Dabei stehen das temperaturabhängige Verdichtungsverhalten und die materialtechnologischen Eigenschaften (Performance-Eigenschaften) im Vordergrund.
2. Es erfolgt die Herstellung von Heißasphalt an zwei Asphaltmischanlagen gemäß technischen Standards [VDI 2283] und die wissenschaftliche Begleitung zur Dokumentation der materialtechnologischen Eigenschaften. Hierbei steht die Übertragung der in den Laborversuchen gewonnenen Erkenntnisse auf den großtechnischen Maßstab im Vordergrund.

3. Ausgewählte Schaumbitumen-WA-Gemische werden im Vergleich zur Referenzvariante ohne Einsatz der Schaumbitumentechologie in Erprobungsstrecken großtechnisch validiert. Hierbei steht die Überprüfung des Einbau- und Verdichtungsverhaltens aber auch die zeitabhängige Festigkeitsentwicklung im Vordergrund.
4. Der benötigte Gesamtenergiebedarf zur Produktion einer Tonne Asphaltmischgut mit und ohne Einsatz der Schaumbitumentechologie wird berechnet. Hierzu wird der eingesetzte Energiebedarf des Energieträgers ermittelt und daraus die Bewertung der jeweiligen CO₂-Emissionen der Varianten abgeleitet.
5. Auf der Grundlage der vorgenannten Schritte werden die verfahrenstechnische Optimierung der Schaumbitumenanlage und das Parametrierkonzept erstellt.
6. Abschließend folgen die Auswertung der Untersuchungsergebnisse und die Erstellung des Abschlussberichtes als Grundlage für den geplanten Wissenstransfer.

4.1 Bearbeitungsschritte und Personaleinsatz

Die Bearbeitung des Forschungsprojektes erfolgt in sieben Arbeitspaketen, die mit den nachfolgenden Kapiteln im Detail beschrieben und im Bild 4 als Ablaufdiagramm zusammenfassend dargestellt sind.

4.1.0 Arbeitspaket 0: Auswahl und Beschaffung der zu untersuchenden Materialien

Das Arbeitspaket 0 sieht die Auswahl und Beschaffung der für die Laboruntersuchungen notwendigen Baustoffe vor. Dies erfolgt in Abstimmung mit den beiden beteiligten Asphaltmischanlagen, womit eine durchgängige Kontinuität der Baustoffe im Untersuchungsprogramm gewährleistet ist. Von großer Bedeutung ist dabei die Auswahl verschiedener Bindemittel (verschiedene Provenienzen) mit unterschiedlichen Schaumeigenschaften.

Zeitdauer: 2 Monate

Personaleinsatz RUB: 0,8 Monate wiss. Mitarbeiter/in, 0,75 Monate Baustoffprüfer/in

Ziele für AP 0: Charakterisierung der verwendeten Baustoffe und Kontinuität der Eigenschaften über das gesamte Arbeitsprogramm

4.1.1 Arbeitspaket 1: Untersuchungen zur Optimierung im Labormaßstab

Im Arbeitspaket 1 werden die materialtechnischen Grundlagen zur Konzeption der Warmasphaltmischungen erarbeitet. Die Voraussetzung hierfür ist eine Laborschaumbitumenanlage, mit der die Prozessrandbedingungen zur Schaumbitumenherstellung (Temperaturen, Druck, Wassergehalt, ggf. Düsengeometrie) variiert und optimiert werden können. Gleichzeitig müssen diese Laborbedingungen auf die großtechnischen Gegebenheiten übertragbar sein. Die Charakterisierung des Schaumbitumens erfolgt dabei über die Expansion (Faktor für die

maximale Volumenzunahme während des Aufschäumens) und die Halbwertszeit (Zeitdauer bis zur Reduzierung der Expansion auf die Hälfte des Maximalwertes).

Bei der Schaumbitumenherstellung in der Laboranlage wird auf Erfahrungswerte der Forschungsstelle zurückgegriffen [Krass et al, 2000], [Nyatanyi, 2001], [Ciecior, 2017].

Darüber hinaus werden die allgemeine Vorgehensweise und die zu dokumentierenden Parameter im Merkblatt für Kaltrecycling in situ im Straßenoberbau [M KRC, 2005], Anhang 8 berücksichtigt. Des Weiteren liegen Erkenntnisse über Additive vor, die die Schaumstabilität (deutlich längere Halbwertszeit) verbessern. Mit mindestens 30 unterschiedlichen Schaumbitumen-Varianten (Bindemittel, Additiv, Geräteeinstellungen) werden die optimalen Randbedingungen für die Schaumbitumenherstellung identifiziert.

Mit den so optimierten Schaumbitumeneigenschaften werden anschließend die Randbedingungen für die Herstellung und Verarbeitung von Schaumbitumen-Mischgut unter Berücksichtigung der Zugabe von Asphaltgranulat erarbeitet. Hierbei ist zum einen die materialtechnologische Gleichwertigkeit zum Referenzasphalt zu erreichen und zum anderen eine möglichst große Absenkung der Mischtemperatur zu erzielen. Insbesondere soll die jeweils optimale Kombination von Misch- und Verdichtungstemperatur unter Laborbedingungen ermittelt werden. Die in diesem Untersuchungsteil gewonnenen Versuchsergebnisse dienen auch der Ermittlung der praktischen Grenzen der Misch- und Verdichtungstemperaturen für den Schaumbitumen-Warmasphalt. Als Variationsmerkmale im Untersuchungsprogramm des Schaumbitumen-Warmasphalts sind vorgesehen:

- Bindemittelsorte
- Mischtemperatur
- Verdichtungstemperatur
- Probekörper-Lagerzeit
- Zugabemenge von Asphaltgranulat
- Zugabemenge von hydraulischem Bindemittel.

Die Asphaltgranulate und sämtliche notwendigen Gesteinskörnungen und Bindemittel werden in Abstimmung mit den beteiligten Asphaltmischanlagen entsprechend definierter Verträglichkeitskriterien ausgewählt, sodass die vorab durchzuführenden Laborversuche bereits auf die eingesetzten Baustoffe der Mischanlagen abgestimmt sind und diese im asphalttechnischen Sinne „identisch“ vorliegen.

Als Zugabebindemittel für die Asphalttragschicht soll ein Bitumen 70/100 verwendet werden. Zusätzlich soll ein härteres Bindemittel getestet werden, um zu klären, ob auch bei härteren Bitumen ein ähnlicher Temperaturabsenkungseffekt auftritt. Ausgewählte Teile des Untersuchungsprogramms sollen daher parallel mit Bitumen 70/100 und Bitumen 50/70 durchgeführt werden. Aufgrund des Bindemittels im Asphaltgranulat wird von einer resultierenden

Bindemittelhärte ausgegangen, die einem Bitumen 50/70 bzw. 30/45 entspricht und typisch für die derzeitige Praxis ist. Zielkriterium für die Gleichschaltung der Versuchsvarianten hinsichtlich der Bitumenhärte ist somit der Erweichungspunkt Ring und Kugel bzw. die Äquisteifigkeitstemperatur bei $G^*=15$ kPa des resultierenden Bindemittelgemisches aus Granulat- und Frischbitumen.

Das Asphaltbindermischgut und das Asphaltdeckschichtmischgut werden mit einem polymermodifizierten Bitumen (25/55-55 A (RC)) hergestellt. In Abhängigkeit von den Eigenschaften des Bindemittels im Asphaltgranulat werden die rheologischen Eigenschaften des aufgeschäumten Zugabebindemittels gewählt.

Die Herstellung des Schaumbitumen-Warmasphalts mit Asphaltgranulat erfolgt bei zwei Mischtemperaturen. Die Referenztemperaturen sind die gemäß der Temperaturfenster nach TP Asphalt-StB, Teil 35, Tabelle 1 festzulegenden materialtypischen Mischguttemperaturen. Die zweite Temperatur ist um jeweils 30 Kelvin niedriger. Die so hergestellten Schaumbitumen-Warmasphalte werden bei zwei unterschiedlichen Verdichtungstemperaturen mit zwei unterschiedlichen Verdichtungsmethoden hergestellt. Zum einen wird das konventionelle Verdichtungsverfahren mit dem Marshall-Verdichtungsgerät (PK-Ø: 100 mm) [TP Asphalt T 30, 07], jedoch mit induktiver Wegmessung verwendet und zum anderen erfolgt eine Probekörperverdichtung mit dem Gyrator (PK-Ø: 150 mm). Mit beiden Verdichtungsmethoden können Kennwerte zur Verdichtbarkeit errechnet werden, womit eine Bewertung der unterschiedlichen Varianten ermöglicht wird.

Der Aspekt der zeitveränderlichen Festigkeits-/Steifigkeitsentwicklung wird mit Spaltzug-Schwellversuchen festgestellt. Da diese Versuche zerstörungsfrei sind, können identische Probekörper nach unterschiedlichen Lagerungszeiten untersucht werden. Hierzu werden die Proben aus der Gyrator-Verdichtung verwendet, da diese einen hinreichend großen Durchmesser aufweisen. Alle Prüfungen erfolgen bei 5 °C, um plastische Verformungen zu vermeiden. Die Lagerungsdauer kann unter diesen Bedingungen so lange fortgeführt werden, bis sich keine Veränderung der Steifigkeit des Materials mehr ergibt.

Es werden zwei verschiedene Zugabemengen von Asphaltgranulat untersucht, die den praxisüblichen Werten entsprechen und gleichzeitig die Abschätzung der maximal möglichen Zugabeanteile von Asphaltgranulat gewährleisten, mit denen noch ein nennenswerter Temperaturabsenkungseffekt des Schaumbitumens zu erwarten ist.

Als praxisübliche Zugabemenge sind folgende mischgutspezifischen Werte vorgesehen:

AC 22 T S:	60 M.-%
AC 16 B S oder SMA 16 B S:	40 M.-%
AC 11 D S:	20 M.-%

Der im Schaumbitumen enthaltene Wasseranteil ist für die Verarbeitung des Mischgutes sehr wichtig. Nach Abschluss der Verdichtung scheint ein in geringen Mengen verbleibender Restwassergehalt die Steifigkeit des Asphaltes zu beeinflussen. Ein zeitlich beeinflusster Entzug dieses Restwassers wäre sehr hilfreich. Sofern sich in den Versuchen das Restwasser als länger andauernd negativ auf die Asphalteigenschaften auswirkt, werden Asphaltvarianten mit geringfügigen Anteilen (stöchiometrisch notwendigen Menge) an hydraulischem Bindemittel untersucht. Bei entsprechend positivem Ergebnis wird die Zugabe des hydraulischen Bindemittels auf weitere Laborvarianten und auch auf die späteren großtechnischen Mischungen ausgeweitet.

Um eine sichere Prognose über die Gebrauchseigenschaften des Schaumbitumen-Warmasphaltes machen zu können, werden in Arbeitspaket 1 werden die typischen Prüfverfahren für Walzasphalt-Heißmischgut durchgeführt. Je Variante wird geprüft:

- Marshall-Verdichtung mit induktiver Wegaufnahme gemäß [TP Asphalt-StB, T 10 B]
- Bestimmung der Verdichtbarkeit bei Gyrator-Verdichtung gemäß [DIN EN 12697-31]
- Spaltzug-Schwellversuch gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 26, 07]
- Einaxialer Druck-Schwellversuch gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 25 B1, 07]

Zeitdauer: 9 Monate

Personaleinsatz RUB: 3,4 Monate wiss. Mitarbeiter/in; 8,25 Monate Baustoffprüfer/in

Ziele für AP 1: Wissenschaftliche Erkenntnisse zum Einsatz von WA unter Verwendung von höchstmöglichen Asphaltgranulatanteilen mit gleichzeitiger Berücksichtigung der einschlägigen Bestimmungen und Vorgaben

4.1.2. Arbeitspaket 2: Großtechnische Erprobung an der Asphaltmischanlage

Da mit experimentellen Untersuchungen im Labor nur grundlegende Zusammenhänge betrachtet werden können, müssen für einen anwendungsbezogenen Forschungsansatz ergänzende großtechnische Erprobungen erfolgen. Die großtechnische Erprobung der aus dem Arbeitspaket 1 erlangten Erkenntnisse erfolgt an zwei mit jeweils unterschiedlicher Schaumbitumenanlage ausgestatteten Asphaltmischanlagen (Anlage A und Anlage B). Die Aufteilung des Arbeitsprogrammes wird so vorgenommen, dass die beiden Asphaltmischanlagen eine Asphaltvariante (z. B. Asphaltbinder mit höchstem Asphaltgranulatanteil) gleichermaßen herstellen (Doppelbestimmung), womit eine direkte Vergleichbarkeit der Grundtechnologie mit etwas unterschiedlicher Anlagentechnik ermöglicht wird.

Das Hauptziel des Arbeitspaket 2 ist der Nachweis, dass die in Arbeitspaket 1 ermittelten Befunde auch dann gültig sind, wenn der Schaumbitumen-Warmasphalt mit Zugabe von Asphaltgranulat und ggf. hydraulischem Bindemittel großtechnisch in einer Asphaltmischanlage unter

realen Produktionsbedingungen hergestellt wird. In einem abschließenden Praxistest soll das eingebaute Asphaltmischgut den üblichen Vergleichsprüfungen unterzogen werden.

Es werden die in Arbeitspaket 1 ermittelten optimalen Größen für Mischtemperatur, Probekörperlagerzeit, Asphaltgranulat- und Zugabeanteil des hydraulischen Bindemittels übernommen, so dass die diesbezüglichen Testvariationen entfallen.

Die großtechnisch hergestellten Mischgüter (Schaumbitumen-Warmasphalt im Vergleich mit dem Referenzasphalt) werden den bereits in Arbeitspaket 1 angewandten Prüfungen unterzogen. Darüber hinaus werden die in der Test- und der Referenzstrecke als Deckschicht eingebauten Asphaltmischgüter über Bohrkernentnahmen einer Vergleichsanalyse unterzogen (→ Teil AP3). Versuchsprogramm in Arbeitspaket 2 (je Variation):

- Marshall-Verdichtung gemäß TP Asphalt-StB, Teil 30
- Herstellung von Walzsektor-Verdichterplatten an der Asphaltmischanlage gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 33, 07]
- Spaltzug-Schwellversuch gemäß TP Asphalt-StB, Teil 26 (unterschiedl. Lagerungsdauer)
- Einaxialer Druck-Schwellversuch gemäß TP Asphalt-StB, Teil 25 B1

Zeitdauer: 6 Monate

Personaleinsatz RUB: 2,2 Monate wiss. Mitarbeiter/in; 1,5 Monat Baustoffprüfer/in
+ Eigenleistung durch KMUs

Ziele für AP 2: Produktionstechnische Erkenntnisse über Schaumbitumen-WA-Technologie in Verbindung mit höchstmöglichem Asphaltgranulateinsatz

4.1.3 Arbeitspaket 3: Großtechnische Validierung der Schaumbitumen-WA-Gemische in Erprobungsstrecken

Unmittelbar mit Beginn des Projektes starten die Vorbereitungen zur Wahl und Ausgestaltung einer geeigneten Erprobungsstrecke. Nach einer ersten Anfrage beim Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) wurde eine hohe Bereitschaft zur Kooperation bei der Auswahl und der Umsetzung einer Erprobungsstrecke bekundet. Voraussetzung für die Eignung ist eine Mindestlänge je Abschnitt von mindestens 300, besser 500 Metern. Vorgesehen sind mindestens zwei Bauabschnitte (BA), wobei BA 1 in dreischichtiger Schaumbitumenbauweise und BA 2 in äquivalenter Referenzbauweise (Heißasphalt) auszuführen ist.

Mit den Erkenntnissen aus den Arbeitspaketen 1 und 2 werden drei Schaumbitumen-Warmasphaltvarianten (Asphaltdeck-, Asphaltbinder- und Asphalttragschicht) mit optimierter Zusammensetzung ausgewählt, womit ein kompletter Asphaltoberbau in Schaumbitumenbauweise ausgeführt wird. Die Referenzasphalte sollten hinsichtlich der Asphaltgranulatanteile, der sonstigen Mischgutzusammensetzung und der Rheologie der resultierenden Bindemittel

im asphalttechnischen Sinne weitgehend identisch sein, um die Forschungsergebnisse möglichst isoliert von sonstigen Einflüssen bewerten zu können.

Die Bauausführung wird vollumfänglich an der Asphaltmischanlage und auf der Baustelle dokumentiert, wobei die Temperaturerfassungen und die damit in Zusammenhang stehenden nicht beeinflussbaren Randbedingungen bei dieser Dokumentation von besonderer Bedeutung sind. Die Überprüfung der Einhaltung der Mischgutzusammensetzungen erfolgt über Mischversuche zur Voreinstellung der Sorten an den Asphaltmischanlagen mit den tatsächlich zur Bauausführung vorliegenden Baustoffen, Bauanlaufproben und die abschließende Zielkontrolle anhand von Kontrollprüfungen. Ein weiterer Dokumentationsschritt mit hoher Bedeutung ist die Messung der Arbeitsplatzbelastung beim Einbau. Hierfür wird frühzeitig der Kontakt zur BG Bau (Dr. Musanke) hergestellt, um diese Messungen von einer erfahrenen und akkreditierten Stelle ausführen zu lassen. Mit diesen Ergebnissen kann überprüft werden, ob die Schaumbitumenttechnologie den durch die Temperaturabsenkung erwarteten Minderungseffekt auf die Exposition von Dämpfen und Aerosolen hat.

Die Schicht- und Aufbaueigenschaften werden an Bohrkernen überprüft. Hier können die in den Arbeitspaketen 1 und 2 durchgeführten Untersuchungen, Spaltzug-Schwellversuch gemäß TP Asphalt-StB-StB, Teil 26 und Einaxialer Druck-Schwellversuch gemäß TP Asphalt-StB, Teil 25 B1 (+ Raumdichten nach [TP Asphalt-StB, Teil 6, 07] ebenfalls angewendet werden. Ergänzend wird der Schichtenverbund gemäß [TP Asphalt-StB, Teil 80, 07] an allen Schichtgrenzen ermittelt. Für alle Untersuchungen sind 9 Bohrkern je Abschnitt (insgesamt 18 Bohrkern) erforderlich.

Zeitdauer: 5 Monate

Personaleinsatz RUB: 2 Monate wiss. Mitarbeiter/in, 2,25 Monat Baustoffprüfer/in;
+ Eigenleistung durch KMUs

Ziele für AP 3: Erkenntnisse über das Verhalten und die Qualität von WA-Gemischen unter realen Misch- und Einbaubedingungen

4.1.4 Arbeitspaket 4: Energie- und Emissionsbilanzierung der Asphaltmischanlage

Die unter realen Praxisbedingungen in der Asphaltmischanlage durchgeführten Versuchsreihen der Produktion von Warmasphaltmischgut sowie konventioneller Vergleichsproduktionsgänge werden bzgl. des Energieeinsatzes, der Energiekosten und der CO₂-Emissionen betrachtet und bewertet. Hierzu wird mit dem Betreiber und dem Hersteller der beteiligten Asphaltmischwerke ein Messkonzept erstellt, welches die hinsichtlich der Versuchsreihe variierenden Anlagenkomponenten und eingesetzten Energieträger der Aggregate definiert. Für diese Komponenten werden entweder auf bereits verbaute Messtechnik zurückgegriffen, oder

nach Maßgabe entsprechende Stromzähler verbaut. Nach folgenden Arbeitsschritten bzw. Kriterien soll hierbei vorgegangen werden:

- Identifizierung der Bereiche zusätzlich einzubauender Stromzähler, Sensorik etc., Definition der Systemgrenzen für die vorzunehmenden Messungen
- Erstellung Messkonzept mit Betreiber und Hersteller
- Messung der Energieströme der 7 Referenzheißgemische analog zu AP 2, Quantifizierung der eingesetzten Energiemengen und -Arten. Berechnung der resultierenden CO₂-Emissionen.
- Messung der Energieströme 14 ausgewählter Varianten WMA-Gemische analog zu AP 2, Quantifizierung der jeweilig eingesetzten Energiemengen der Varianten unter realen Produktionsbedingungen, Berechnung der resultierenden CO₂-Emissionen.
- Entwicklung von standardisierten Energieverbrauchsmodellen der 21 Varianten analog zu AP 2 für die weiterführende Vergleichbarkeit der Technologien außerhalb der definierten Systemgrenzen
- Dokumentation sämtlicher Messreihen

Zeitdauer: 6 Monate

Personaleinsatz: Dienstleistung wird durch Dritte erbracht + Eigenleistung durch KMU

Ziele für AP4: Praxiserprobte skalierbare Erkenntnisse über Energieeinsparpotential bei großtechnischem Einsatz von WA, sowie verringerter CO₂-Emissionen als Beitrag zu den nationalen Klimazielen.

4.1.5 Arbeitspaket 5: Verfahrenstechnische Optimierung der Schaumbitumen-Anlage und Parametrierkonzept

Die in den vorangegangenen Arbeitspaketen ermittelten optimalen Verfahrensparameter zur Schaumbitumenherstellung der Varianten werden in Abhängigkeit von den im Forschungsvorhaben untersuchten Asphaltarten und der jeweiligen Asphaltgranulatzugabequote zusammengestellt. Vor dem Hintergrund der ebenfalls erfassten relevanten materialtechnischen Eigenschaften der eingesetzten Baustoffe und der maschinentechnischen Voraussetzungen der Mischanlage ergeben sich somit optimale Prozessparameter für die Schaumbitumenrezepturen der betreffenden Mischrezepte. Für jedes Mischrezept lässt sich an dieser Stelle ebenfalls die Anwendungsgrenze der Schaumbitumenteknologie durch die Abschätzung des mindestens erforderlichen Schaumbitumenvolumens vornehmen. Die Validierung der detektierten Parameter erfolgt abschließend durch die Praxisuntersuchungen zum Einbau- und Verdichtungsverhalten und durch die Überprüfung der zeitabhängigen Festigkeitsentwicklung.

In schematischen Übersichten werden die qualitativen und eventuell auch quantitativen Einflüsse der Randbedingungen und Einstellparameter auf die Höhe der tatsächlich zu erreichenden Temperaturabsenkung dargestellt. Durch Berücksichtigung der energetischen/ emissionsrelevanten Reihung aus AP 4 werden die untersuchten Varianten abschließend ganzheitlich bewertet. Die sich somit ergebende Reihung ist als technisch-ökologisches Optimum zwischen den Optimierungskriterien Größe der Temperaturreduzierung (analog Energieeinsparung, CO₂-Emission und Reduzierung der auftretenden Aerosole und Dämpfe) und Höhe der Asphaltgranulatzugabemenge zu betrachten.

Abschließend sind die Vorgaben in einen Algorithmus (Ablaufschema) zur Übertragung des hier ermittelten Parametrierkonzeptes auf andere Randbedingungen (z. B. anderes Rezept, andere Granulateigenschaften, anderes Bindemittel) vor dem Hintergrund der signifikanten Einflüsse und erreichbaren Prozessgenauigkeiten zu überführen. Hieraus lassen sich weitere Vorgaben von logischen Parameterkombinationen und programmtechnischen Verriegelungen als Input zur Optimierung der auf dem Markt verfügbaren Anlagensteuerungen für die Schaum-bitumenaggregate durch den Anlagenbauer ableiten.

Die Implementierung der maßgeblichen Erkenntnisse des hier generierten Parametrierkonzeptes in das nationale Regelwerk erfolgt durch die Erstellung tabellarischer Übersichten und Schaubilder. Hieraus können für den konkreten produktionstechnischen Anwendungsfall Empfehlungen für geeignete Einstellwerte und/oder auf Übertragungsregeln basierende abgeleitete Einstellwerte für Mischgutherstellung vom Mischguthersteller bzw. für den Mischguteinbau vom Einbauunternehmen (i.d.R. KMU) entnommen werden.

Zeitdauer: 4 Monate

Personaleinsatz: ausschließlich Eigenleistung durch KMUs

Ziele für AP 5: Es liegen standardisierte Rezepturen für WA-Gemische vor. Tabellarische Übersichten und Schaubilder sind entwickelt, ebenso Algorithmen zur Übertragung des entwickelten Parametrierkonzeptes auf andere in der Praxis auftretende Randbedingungen.

4.1.6. Arbeitspaket 6: Auswertung der Untersuchungsergebnisse und Veröffentlichung
Kontinuierliche Auswertung der Ergebnisse über die gesamte Laufzeit, Erstellung des Zwischenberichtes, Veröffentlichungen und Vorträgen. Mit Abschluss des Arbeitsschrittes 6 werden die Ergebnisse des Forschungsprojektes in einem Schlussbericht zusammengefasst. Ein wichtiges Element des Schlussberichtes ist die Beschreibung von Handlungshinweisen, mit denen die KMU die Technologie schnellstmöglich umsetzen können. Die Zwischenergebnisse und insbesondere die im Schlussbericht beschriebenen Erkenntnisse sind die Basis für

Veröffentlichungen (während und nach der Bearbeitungszeit), Vorträge auf Fachtagungen sowie für den Input in die Gremien zur Regelwerksüberarbeitung (AK 7.3.7 der FGSV).

Zeitdauer: 24 Monate

Personaleinsatz RUB: 6,1 Monate wiss. Mitarbeiter/in, 4,8 Monate Wiss. Hilfskraft mit Bachelorabschluss

Ziele für AP 6: Zwischen- und Schlussberichte sowie Vorträge, Veröffentlichungen und Regelwerkseinbindung während Bearbeitung und nach Abschluss der Arbeit

4.1.7. Ablaufdiagramm der Arbeitspakete

AP 0: Auswahl und Beschaffung der zu untersuchenden Materialien

- Gesteinskörnungen für AC T mit Kalkstein, SMA B und AC D mit Moräne (Füller, Sand und grobe Gesteinskörnung auf der Grundlage der Zusammensetzungen regionaler Erstprüfungen)
- Bitumen 30/45 (Nullvariante AC T), 50/70 + 70/100 (AC T mit RA), 25/55-55 (Nullvarianten SMA B und AC D), 25/55-55RC (SMA B und AC D mit RA) von zwei Lieferanten = 10), Auswahl von 3 Bindemittel (RA-Varianten) anhand der Schaumeigenschaften
- Asphaltgranulat (22 RA 0/16 für AC T, 11 RA 0/8 für SMA und AC D von den beiden Mischwerken = 4)



AP 1: Untersuchungen zur Optimierung im Labormaßstab

- Untersuchungen zur Optimierung der Schaumeigenschaften (3 Bindemittel x 10 Randbedingungen = 30 Versuche), Mitverwendung von Additiven (z. B. Tego Addibit 720 S)
- Charakterisierung der Baustoffkomponenten (Korn- und Stückgrößenverteilung, Rohdichten, Bindemittel-rheologie, bei Bedarf weiteres, ggf. Additive), Festhalten der Materialfeuchten und Asphaltrestfeuchten
- Herstellung der Asphaltgemische mit Schaumbitumen
AC 11 D S, SMA 16 B S und AC 22 T S mit jeweils 34 Varianten (2 Zugabebindemittel, 2 Mischtemperaturen, 2 Verdichtungstemperaturen, 2 Verdichtungsarten, 2 = mit/ohne Additiv, + 2 Referenzheißgemische) = 102 Varianten mit Zwei- bzw. Vierfachbelegung (306 Proben)
- Untersuchungsparameter (Zeitreihen): Raumdichte MPK, Verdichtbarkeit (T-Wert) und Verdichtbarkeit (Gyrator), Restfeuchte, Einaxialer Druck-Schwellversuch, dynamischer Spaltzug-Schwellversuch (Multistage-Versuch zur Bewertung der zeitlichen Materialveränderung)
- Sofern signifikante Restwassergehalte festgestellt werden, soll die Bindung mit einem hydraulischen Bindemittel auf Laborebene untersucht werden.



AP 2: Großtechnische Erprobung an zwei Asphaltmischanlagen der KMU-Projektpartner

- Vorbereitende Maßnahmen: Vorversuche zur Validierung der Schaumanlagensteuerung, Ermittlung der Dosiergenauigkeiten (Parametrisierung siehe AP 1+2)
- Materialtechnische Untersuchungen zur Charakterisierung der Baustoffkomponenten (Abgleich mit AP 1)
- Herstellung der Schaumbitumen-Warmasphaltemischungen mit jeweils 6 Varianten (2 Mischtemperaturen, 2 Nachmischzeiten + 7 Referenzheißgemische) 4 Bedingungen x 7 Asphaltrezepte + 7 Referenzheißgemische = 35 Probemischungen (20 Anlage A, 15 Anlage B)
 - AC 11 D S MOR res. 25/55-55 20RA und 40RA an Anlage A (Schaummodul X)
 - SMA 16 B S MOR res. 25/55-55 40RA und 60RA (Stufe 60RA an beiden Mischanlagen)
 - AC 22 T S KA res. 30/45 mit 60 und 80RA an Anlage B (Schaummodul Y)
- Unmittelbare Probenherstellung an der Asphaltmischanlage (MPK und Walzsegment-Verdichtungsplatten als Leihgerät)
- Nachgelagerte Asphaltuntersuchungen analog AP 1 (außer Gyratorverdichtung)



AP 3: Großtechnische Validierung der Schaumbitumen-WA-Gemische in Untersuchungstrecken

- Akquisition einer geeigneten Baumaßnahme und bautechnische und logistische Vorbereitung
- Einbau eines Dreischichtigen Asphalt oberbaus mit Schaumbitumen-Warmasphaltemischgut AC 11 D, SMA 16 B und AC 22 T mit einer anhand AP 2 optimierten Zusammensetzung
- Kontrollprüfung an Mischgutproben
- Entnahme von Bohrkernen zur Dokumentation der Einbauqualität, Schichtenverbund (2 BK), Raumdicht+Spaltzug-Schwellversuch (4 BK), Einaxialer Druck-Schwellversuch 3 BK)
- Dokumentation aller relevanten Einbaubedingungen sowie Messung der Dämpfe und Aerosole beim Einbau



AP 4: Energie- und Emissionsbilanzierung der Asphaltmischanlage

- Identifizierung der Bereiche zusätzlich einzubauender Stromzähler, Sensorik etc., Definition der Systemgrenzen für die vorzunehmenden Messungen
- Erstellung Messkonzept mit Betreiber und Hersteller
- Messung der Energieströme der 7 Referenzheißgemische analog zu AP 2, Quantifizierung der eingesetzten Energiemengen und -Arten. Berechnung der resultierenden CO₂-Emissionen.
- Messung der Energieströme ausgewählter 14 Varianten Schaumbitumen – Warmasphaltemische analog zu AP 2, Quantifizierung der jeweilig eingesetzten Energiemengen der Varianten unter realen Produktionsbedingungen, Berechnung der resultierenden CO₂-Emissionen.
- Entwicklung von standardisierten Energieverbrauchsmodellen der 21 Varianten analog zu AP 2 für die weiterführende Vergleichbarkeit der Technologien außerhalb der definierten Systemgrenzen
- Dokumentation sämtlicher Messreihen, Erstellung von Berichten, Zuarbeit für Publikationen.



AP 5: Verfahrenstechnische Optimierung der Schaumbitumenanlage und Parametrierkonzept

- Ableitung der optimalen Schaumbitumenrezeptur für das jeweilige Mischrezept
- Ableitung der optimalen Mischparameter für das jeweilige Mischrezept
- Einflussanalyse und Darstellung qualitativer Ableitungen
- Erarbeitung tabellarischer Übersichten und Schaubilder als Empfehlungen für Einstellwerte für die gewählten Randbedingungen als Basis für einen neuen Leitfaden
- Berücksichtigung der energetischen/emissionsrelevanten Reihung aus AP4
- Detektion der minimalen Frischbindemittelmengen (rechnerisch) und der zugehörigen Prozessparameter (Machbarkeitsgrenze)
- Vorgaben von logischen Parameterkombinationen und Verriegelungen als Eingabe für Optimierungen der Anlagensteuerung durch den Anlagenbauer
- Vorgaben zu einem Algorithmus (Ablaufschema) zur Übertragung des hier ermittelten Parametrierkonzeptes auf andere Randbedingungen (anderes Rezept, anderes Granulat, anderes Bindemittel) vor dem Hintergrund der signifikanten Einflüsse und erreichbaren Prozessgenauigkeiten



AP 6: Auswertung der Untersuchungsergebnisse (kontinuierlich) und Veröffentlichung

- Berichterstellung
- Veröffentlichung / Vorträge / Referate
- Input für Regelwerksbearbeitung / Input für Optimierung Steuerung

Bild 3: Schematischer Ablauf des Projektes

4.2 Arbeitsdiagramm

Im nachfolgenden Arbeitsdiagramm werden die einzelnen Arbeitspakete einschließlich der Fertigstellung des Schlussberichtes und der Zuordnung des jeweils geplanten Personaleinsatzes zu den einzelnen Arbeitspaketen dargestellt:

Arbeitsschritte		Zeitraum																								Mon.
Projektmonat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24
AP 0	Auswahl und Beschaffung der zu untersuchenden Materialien																									2
AP 1	Untersuchungen zur Optimierung im Labormaßstab																									9
AP 2	Großtechnische Erprobung an zwei Asphaltmischanlagen der KMU-Projektpartner																									6
AP 3	Großtechnische Validierung der Schaumbitumen-WA-Gemische in Untersuchungstrecken																									5
AP 4	Energie- und Emissionsbilanzierung der Asphaltmischanlage																									6
AP 5	Verfahrenstechnische Optimierung der Schaumbitumenanlage und Parametrierkonzept																									4
AP 6	Auswertung der Untersuchungsergebnisse und Veröffentlichung etc.																									24
Personaleinsatz		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Dr.-Ing./M.Sc. (U)		0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75	0,75	0,5	0,75	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	14,5
Baustoffprüfer		0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	12,75
Wiss Hilfskraft m.BA-Abschluss*		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	4,8

*8 h/Wo= 0,2 Vollzeit

5. Umsetzbarkeit und Transfer der Ergebnisse

5.1 Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende

Die maschinentechnischen Elemente zur großtechnischen Installation der Schaumbitumentechologie an einer Asphaltmischanlage sind grundsätzlich vorhanden. Damit können die Forschungsergebnisse unmittelbar nach Projektende (wenige Monate) von jedem interessierten Mischanlagenbetreiber angewendet werden. Der Druck zur Erfüllung der im Jahr 2025 verbindlichen Einhaltung der Grenzwerte für die Arbeitsplatzbelastung wird ein zusätzlicher Motivator zur schnellen Implementierung dieser Technologie sein. Der erfolgreiche Einsatz der Schaumbitumentechologie ist allerdings verbunden mit der Kenntnis der relevanten Parameter zur Steuerung der Verfahrenstechnik, um die homogene Mischgutherstellung, die bestmögliche Verdichtbarkeit und die zielgenaue Einhaltung der Gebrauchseigenschaften zu gewährleisten. Für große Unternehmenseinheiten, die über eigene Entwicklungsabteilungen verfügen, ist dies vermutlich in einem angemessenen Zeitraum zu bewältigen. Kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) sind mit einer solchen Herausforderung wahrscheinlich überfordert. Die finanziellen Aufwendungen für die erforderliche maschinentechnische Ausrüstung einer Asphaltmischanlage sind dagegen auch für KMU zu leisten. Die Wettbewerbsfähigkeit der KMU wäre mit den Forschungserkenntnissen unmittelbar gegeben, ohne dass besondere Entwicklungskosten entstehen.

Aufgrund des geringeren Energieverbrauchs durch die Herabsetzung der Verarbeitungstemperaturen reduzieren sich für den Anlagenbetreiber die benötigten Brennstoffmengen, die wiederum eine Verringerung der Emissionen zur Folge haben, womit ein aktiver Beitrag zur Minderung des CO₂-Ausstoßes geleistet wird.

5.2 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Um einen sehr schnellen Wissenstransfer dieser Technologie zu gewährleisten, sollen die Ergebnisse primär in deutschen, aber auch in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht werden. Zudem ist ein Transfer im Rahmen von Kolloquien, Seminaren, Konferenzen und Kongressen vorgesehen. Von großer Bedeutung ist hier aber die Einbindung der Gremien der FGSV, die das technische Regelwerk für den Asphaltstraßenbau erarbeiten und weiterentwickeln. Der hier relevante Arbeitskreis (AK 7.3.7 Temperaturabsenkung) wird unmittelbar mit Projektbeginn in das Thema eingebunden. Der Leiter der Forschungsstelle ist hier seit vielen Jahren Mitglied in diesem Arbeitskreis und in den darüber angesiedelten FGSV-Gremien (AA 7.3 und AG 7).

5.2.1 Geplante spezifische Transfermaßnahmen während der Projektlaufzeit

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraumen
Laufender Bericht im Arbeitskreis AK 7.3.7 der FGSV	Einbindung in das nationale technische Regelwerk	unterschiedlicher Tagungsort/eintägige Sitzungen	2 x jährlich, jeweils im Frühjahr und im Herbst
Publikation der Forschungsidee und der dabei gewählten Vorgehensweise	Information des Fachpublikums über Vorgehensweise und Ziele, um ggf. weiteren fachlichen Input zu bekommen	Zeitschrift „asphalt“	erstmögliche Zeitschriftenausgabe nach Projektstart
Vortrag vor Fachpublikum	Information des Fachpublikums über Vorgehensweise, Ziele und erste Ergebnisse, um ggf. weiteren fachlichen Input zu bekommen	Willingen, Asphaltseminar Deutsche Asphalttage	Erster März nach Projektstart
Sitzungen Projektbegleitenden Ausschuss	Einbindung in lfd. Projekt durch regen Austausch	Bochum/eintägige Sitzung	2 x jährlich, in Absprache mit dem PA i

5.2.2 Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach Abschluss des Vorhabens

Maßnahme	Ziel	Ort/Rahmen	Datum/Zeitraumen
Vortrag vor Fachpublikum	Information des Fachpublikums über die Ergebnisse des Projektes mit Hinweisen zur Umsetzung	Willingen, Asphaltseminar	Erster März nach Ende des Projektes
Publikation der Forschungsergebnisse, Schwerpunkt Anlagentechnik	Information über die Ergebnisse des Projektes mit Hinweisen zur Umsetzung	Zeitschrift „asphalt“ Zeitschrift „Straße und Autobahn“	Erstmögliche Ausgabe nach Projektende

6. Durchführende Forschungseinrichtung

Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswegebau, Universitätsstraße 150,
44801 Bochum, Leiter: Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg



Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg

Bochum, 14.09.2020

Literaturverzeichnis

[Wirth, 2008]

Wirth, W.; Opel, A.: Herstellung von Niedrigtemperaturasphalt (Walzasphalt) unter Verwendung von Schaumbitumen: "Schaumbitumen-Heißmischgut", AiF-Forschungsvorhaben Nr. 14749 N, Universität der Bundeswehr München, November 2008

[TRGS, 2020]

Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900), Ausgabe Mai 2020

[EAPA, 2014]

The use of Warm Mix Asphalt, EAPA – Position Paper, European Asphalt Pavement Association (EAPA), Brussels, October 2014

[TL Asphalt, 2013]

Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen, TL Asphalt-StB Ausgabe 2007/Fassung 2013, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2013

[ZTV Asphalt, 2001]

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt, ZTV Asphalt-StB 01, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2001

[Van de Ven et al, 2007]

Van de Ven M. F. C., Jenkins K. J., Voskuilen J. L. M., Van den Beemt R.: Development of (half-) warm foamed bitumen mixes: state of the art, Development of (half-) warm foamed bitumen mixes: state of the art, International Journal of Pavement Engineering, Vol. 8 2007, Pages 163-175

[www.bam.com, 2020]

<https://www.bam.com/en/press/press-releases/2020/4/bams-sustainable-asphalt-mix-leab-is-officially-certified>, abgerufen am 7. September 2020

[Martin, 2011]

Martin A. E., Arambula E., Yin F., Cucalon L. G., Chowdhury A., Lytton R., Epps J., Estakhri C., Park E. S.: Evaluation of the Moisture Susceptibility of WMA Technologies, NCHRP REPORT 763, 2011

[Newcomb et al, 2015]

Newcomb, D. E., Arambula, E., Yin, F., Zhang, J., Bhasin, A., Li, W.: Properties of Foamed Asphalt for Warm Mix Asphalt Applications. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2015

[AASHTO R 35, 2017]

American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Practice for Super-pave Volumetric Design for Asphalt Mixtures, AASHTO Designation: R 35-17, Washington, 2017

[Wallner, 2004]

Wallner, B.: Bewertung von Asphalt mit dem Gyrator, Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung der Technischen Universität München, Dissertation 2004

[Iwanski, 2020]

Iwanski, M. M., Chomicz-Kowalska, A., Maciejewski, K.: Resistance to Moisture-Induced Damage of Half-Warm-Mix Asphalt Concrete with Foamed Bitumen, Materials 2020, 13

[Bieder et al, 2012]

Bieder, A., Probst, S., Biedermann, A., & Demarmels, A.: Foaming of bitumen - A key process for different low temperature asphalts. 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress. Istanbul 2012

[Bieder et al, 2016]

Bieder, A., Hofer, T., & Demarmels, A. (2016). Asphalt recycling and foam bitumen - a combined approach. 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Prag 2016

[Ozturk, 2013]

Ozturk, H. I.: Quantification of quality of framed warm mix asphalt binders and mixtures, Michigan State University, Dissertation 2013

[Krass et al, 2000]

Krass, K., Stoppka, B.: Schaumbitumen als Bindemittel für Asphalttragschichten aus pechhaltigem Straßenaufbruch und industriellen Reststoffen, Verbund-Forschungsvorhaben „Reststoffverwertung im Straßenbau“ – BMBF FE-146 10 36, TV 2, Ruhr Universität Bochum, 2000

[Nyatanyi, 2001]

Nyatanyi, I.: Einsatzmöglichkeiten von Schaumbitumen im Straßenbau von Entwicklungsländern am Beispiel Burundi, Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2001

[Ciecior, 2017]

Ciecior, A.: Theoretische Betrachtungen der Schaumbitumentechnologie, Bachelorarbeit an der Ruhr-Universität Bochum, 2017

[M KRC, 2005]

Merkblatt für Kaltrecycling in Situ, M KRC, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2005

[TP Asphalt-StB T 6, 2012]

Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 6: Raumdichte von Asphalt-Probekörpern, TP Asphalt-StB, Teil 6, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2007

[TP Asphalt-StB T 25 B1, 2020]

Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 23: Spaltzugfestigkeit von Asphalt-Probekörpern, TP Asphalt-StB, Teil 23, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2007

[TP Asphalt-StB, T 26, 2018]

Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 26: Spaltzug-Schwellversuch – Bestimmung der Steifigkeit, TP Asphalt-StB, Teil 26, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2018

[TP Asphalt-StB, T 30, 07]

Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 30: Herstellung von Asphalt-Probekörpern mit dem Marshall-Verdichtungsgerät (MVG), TP Asphalt-StB, Teil 30, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2007

[TP Asphalt-StB, T 33, 07]

Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 33: Herstellung von Asphalt-Probeplatten im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV), TP Asphalt-StB, Teil 33, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2007

[TP Asphalt-StB, T 35, 07]

Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 35: Asphaltmischgutherstellung im Laboratorium, TP Asphalt-StB, Teil 35, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2007

[TP Asphalt-StB, T 80, 07]

Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 80: Abscherversuch, TP Asphalt-StB, Teil 80, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2012

[TP Asphalt-StB, T 10 B, 10]

Technische Prüfvorschriften für Asphalt, Teil 10 A: Verdichtungswiderstand mit Hilfe des Marshall-Verdichtungsgerätes, Verfahren B: Änderung der Probekörperdicke, TP Asphalt-StB, Teil 10 B, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV); FGSV Verlag, Köln, 2010

[DIN EN 12697-31]

Asphalt – Prüfverfahren – Teil 31: Herstellung von Probekörpern mit dem Gyrator-Verdichter, Deutsche Fassung 2019

[VDI 2283]

Emissionsminderung - Aufbereitungsanlagen für Asphaltmischgut (Asphaltmischanlagen), Verein Deutscher Ingenieure, Juni 2008