

Schlussbericht vom 11.03.2026

zum IGF-Vorhaben FKZ 22939 N

Thema

Innovative Qualitätssicherung bei der Asphaltherstellung: Durchgehende Produktionsüberwachung und Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes durch erhebliche Reduzierung der Exposition durch Lösemitteldämpfe. (InQuAs)

Berichtszeitraum

01.05.2023 bis 31.08.2025

Forschungsvereinigung

Deutsches Asphaltinstitut e.V.
Ennemoserstr. 10
543119 Bonn

Forschungseinrichtungen

Universität Kassel
Institut für Verkehrswesen
Fachgebiet Bau und Erhaltung von Verkehrswegen
Mönchebergstraße 7
34125 Kassel

Technische Universität Clausthal
Institut für Bergbau
Lehrstuhl für Tagebau und Internationaler Bergbau
Erzstraße 20
38678 Clausthal-Zellerfeld

asphalt 
verbindet. nachhaltig.

Inhaltsverzeichnis

1. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	3
1.1. Arbeitspaket 1: Auswahl verschiedener Asphaltmischgutarten und -sorten	3
1.2. Arbeitspaket 2: Produktionsüberwachung des heißen Gesteinskörnungsgemisches nach der Trockentrommel mittels Geoscanner	3
1.3. Arbeitspaket 3: Produktionsüberwachung der Eigenschaften des eingesetzten Asphaltgranulates mittels Geoscanner	9
1.4. Arbeitspaket 4: Demonstration und Validierung alternativer Prüfverfahren zur Bestimmung der Zusammensetzung (Bindemittelgehalt, Korngrößenverteilung) von Asphaltmischgut und Asphaltgranulat ohne Lösemittel	15
1.5. Arbeitspaket 5: Alternative Extraktionsverfahren zur Analyse der Bindemittleigenschaften frisch hergestellten Asphaltmischgutes und Asphaltgranulates (siehe Arbeitshypothese 5).....	17
1.6. Arbeitspaket 6: Auswertung und Bericht	18
2. Verwendung der Zuwendung	18
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	18
4. Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten	19
5. Wissenstransfer in die Wirtschaft.....	20
6. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft	20
7. Literaturverzeichnis	Fehler! Textmarke nicht definiert.

1. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Das Forschungsprojekt wurden in enger Kooperation der beiden Forschungseinrichtungen sowie von Partnerunternehmen der Asphaltindustrie durchgeführt. Die Beteiligung der Bauwirtschaft umfasste zunächst das Zurverfügungstellen von Proben (Asphaltnischgut, Asphaltgranulat (AG) und Gesteinskörnungen) und die Ergebnisse konventionell ermittelter Untersuchungsergebnisse aus der werkseigenen Produktionsüberwachung (WPK). Darüber hinaus ermöglichte die Deutag, Zweigniederlassung der Basalt AG, die Praxiserprobung der Geoscaner-System am Asphaltnischwerk Hambostel inklusive der Einrichtung ergänzter Probenahmemöglichkeiten unter unterstützte im Projekt durch sehr umfangreiche Laboranalysen insbesondere an Asphaltgranulaten.

1.1. Arbeitspaket 1: Auswahl verschiedener Asphaltnischgutarten und -sorten

Zu Beginn des Projektes wurde das Asphaltnischwerk Hambostel als optimale Produktionsanlage zur Untersuchung der innovativen Qualitätssicherungsverfahren identifiziert. Zunächst war bereits ein Geoscaner im Produktionsstrom des kalten Gesteinskörnungsgemisches vor der Trockentrommel eingerichtet, sodass bereits Erfahrungen mit dem System sowie Systembestandteile (z. B. Rechner im Mischwerkkontrollraum) vor Ort vorlagen. Zudem verfügt die Asphaltnischanlage über mehrere Doseure für Asphaltgranulate, mit denen das Asphaltgranulat für die Zugabe zum Asphaltnischgut aus verschiedenen AG-Halden zusammengeführt werden kann. Weiterhin wird angelieferter Ausbauasphalt in zahlreichen einzelnen AG-Halden gelagert, sodass eine große Palette von verschiedenen AGs im Rahmen des Projektes untersucht werden konnte.

Für die innovative Qualitätssicherung mit alternativen Prüfverfahren wurden 13 weitere Asphaltnischwerke unterschiedlicher Asphalt herstellenden Unternehmen hinzugezogen.

Im Rahmen des Projektes wurden so eine hohe Anzahl von Baustoffproben entnommen und analysiert:

- 114 Proben des heißen Gesteinskörnungsgemisches für Kalibrierung und Validierung der Online-Bestimmung der Korngrößenverteilung mittels Geoscaner
- 45 Einzelproben aus insgesamt 16 Asphaltgranulat-Halden zur Kalibrierung der Onlinebestimmung der Stückgrößenverteilung der Asphaltgranulate sowie 80 weiterer daraus fraktionierter Proben, zur Bestimmung der Korngrößenverteilung und Bindemittelgehalte
- 59 Einzelproben von Asphaltgranulaten zur Validierung der Qualitätssicherungssysteme
- 79 Asphaltnischgutproben aus insgesamt neun Asphaltnischanlagen zur Entwicklung und Validierung der lösemittelreduzierten Qualitätssicherungsverfahren.

1.2. Arbeitspaket 2: Produktionsüberwachung des heißen Gesteinskörnungsgemisches nach der Trockentrommel mittels Geoscaner

Die verwendete Messkette besteht aus einem Oszillator in Form eines Hartmetallstabs, einem piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmer sowie einem vorgeschalteten Ladungsverstärker. Der Sensor erfasst die bei der Kollision des erhitzten Kornkollektivs mit dem Oszillator entstehenden Schwingungsbeschleunigungen in Form elektrischer Ladung. Der Ladungsverstärker wandelt dieses empfindliche Ladungssignal in ein robustes Spannungssignal für die nachfolgende Datenerfassung um. Als Sensor wurde der piezoelektrische Beschleunigungsaufnehmer PCB 357B04 eingesetzt. Er ist für dynamische Schwingungs- und

Stoßmessungen unter hoher thermischer Belastung ausgelegt und arbeitet mit einem keramischen Schelement in einem hermetisch dichten Titangehäuse. Mit einer Empfindlichkeit von 10 pC/g, einem Messbereich von ± 2000 g, einer linearen Abweichung von höchstens 1 % sowie einem Einsatztemperaturbereich von -71 bis $+260$ °C eignet sich der Sensor insbesondere für kurze, schnelle und temperaturbeanspruchte Vorgänge.

Der eingesetzte In-Line-Ladungsverstärker PCB TLD422E35 übernimmt die Signalaufbereitung des hochfrequenten Sensorsignals. Er wandelt die vom Sensor erzeugte Ladung mit einem Konversionsfaktor von 1 mV/pC in ein niederohmiges Spannungssignal von $\pm 2,5$ V um, das gegenüber Leitungsstörungen deutlich unempfindlicher ist und sich direkt an Mess- und Auswertesysteme anschließen lässt. Der Oszillator besteht aus einem Hartmetallstab mit einem Durchmesser von 2 cm. Er verfügt über einen sehr hohen Elastizitätsmodul sowie einen hohen Verschleißwiderstand. Seine Härte beträgt nach der Mohs-Härteskala rund 9.

Verfahrensbedingt fließen die erhitzten Natursteinkörnungen nahezu kontinuierlich als Massenstrom aus der Trockentrommel heraus und werden über eine rund 2 m lange Schurre bis zur Übergabe an den Elevator transportiert. Daraus ergab sich, dass der Online-Analysator nur hinter der Trommel im Bereich der Schurre installiert werden konnte. Der Oszillator wurde an der metallischen Abdeckplatte der Schurre so befestigt, dass er orthogonal in den Massenstrom hineinragt. Diese Installation bietet optimale Voraussetzungen für die Kollision des Massenstroms mit dem Oszillator. Der Hochtemperatursensor ist auf der Stirnfläche des Oszillators verschraubt, sodass dieses Bauteil stets außerhalb des Massenstroms und der Schurre, rund 30 cm oberhalb der Kollisionszone, positioniert ist. Abbildung 1 dokumentiert die Position des Analysators. Unterhalb der Schurre befindet sich ein Probennehmer, der eigens für das Forschungsprojekt entwickelt und gebaut wurde.



Abbildung 1. Lage des Analysators und die eigenentwickelte spezielle Vorrichtung zur Entnahme von Proben aus dem Massenstrom

Für die Entnahme von heißen Gesteinsproben wurde eine spezielle Vorrichtung entworfen, gebaut und hinter der Trommel, rund zwei Meter hinter dem Online-Analysator, im Bereich der Übergabe des Massenstroms von einer Rutschrinne zum Elevator installiert. Zur Probenahme wird der Probennehmer – ein zylindrischer Behälter mit einem breiten und langen Schlitz – mithilfe einer Schiebevorrückung, die über einen Handhebel betätigt wird, durch ein zylindrisches Rohr unter den Massenstrom geschoben.

Probennehmer und Führungsrohr sind dabei koaxial angeordnet. Nach wenigen Sekunden füllt sich der Probennehmer im freien Materialfluss, der durch den Schlitz in die Vorrichtung gelangt. Anschließend wird der Probennehmer mithilfe des Handhebels wieder herausgezogen und außerhalb der Anlage über eine integrierte Kippvorrichtung in einen Eimer entleert. Diese Vorgehensweise verhindert den direkten Kontakt des Personals mit den bis zu 300 °C heißen Proben und dient damit der Arbeitssicherheit sowie dem Gesundheitsschutz.

In Kombination bilden die ausgewählten Messkomponenten einschließlich des Oszillators eine robuste Messkette für experimentelle Untersuchungen an thermisch beanspruchten Strukturen. Die Untersuchungen zur Messkette haben gezeigt, dass der Sensor für die unmittelbare Erfassung schneller Beschleunigungsimpulse am Oszillator geeignet ist, während der Ladungsverstärker die Voraussetzung für ein störarmes und auswertbares Spannungssignal schafft. Frequenzanalysen des Oszillators im kalten Zustand sowie während der Kollision mit den erhitzten Körnungen haben ergeben, dass das Schwingungsverhalten des Oszillators nicht temperaturabhängig ist. Der Sensor hat sich somit als geeignet für die Messung von Schwingungen an einem Oszillator erwiesen, der infolge des Kontakts mit dem heißen Gestein erhöhten Temperaturen ausgesetzt ist. Die Messgenauigkeit des Systems wird durch die Temperatur nicht beeinflusst. Eine Modifikation der Messkette war daher nicht erforderlich.

Für die Kalibrierung wurden über einen Zeitraum von rund drei Monaten in drei Kampagnen insgesamt 74 Proben des heißen Gesteinskörnungsgemisches aus dem Massenstrom entnommen. Die einzelnen Kampagnen orientierten sich an den im Mischwerk hergestellten Asphaltarten. In der ersten Kampagne wurden 24 Proben der Sorte AC 11 D N entnommen. Bei diesem Produkt handelt es sich um eine Natursteinkörnung mit einer Korngrößenverteilung von 0 mm bis 11,2 mm und einem geringen Überkornanteil. In der zweiten Kampagne wurden 26 Proben der Sorte AC 16 T D entnommen. Dieses Produkt weist eine Korngrößenverteilung von 0 mm bis 16 mm bei ebenfalls geringem Überkornanteil auf. In der dritten Kampagne wurden 24 Proben der Sorte AC 11 D S aus dem Massenstrom entnommen. Hinsichtlich ihres Kornspektrums von 0 mm bis 11,2 mm und des geringen Überkornanteils ist diese Sorte dem Produkt AC 11 D N ähnlich. Sie unterscheidet sich jedoch deutlich in den Kornanteilen der Klassen von 2 mm bis rund 8 mm von der Sorte AC 11 D N.

Zur Erhöhung der statistischen Sicherheit wurden bei jeder Entnahme jeweils zwei Proben in sehr kurzem zeitlichem Abstand zueinander genommen und in einem Behälter als Mischprobe genommen. Der exakte Zeitpunkt der Probenahme wurde protokolliert. Die aus dem Massenstrom entnommenen Proben wurden anschließend im Labor einer konventionellen Siebanalyse unterzogen. Zusätzlich wurden die bei der Kollision des Massenstroms mit dem Oszillator entstehenden akustischen Signale beziehungsweise Schwingungen aufgezeichnet. Die Kalibrierung des Online-Analysators erfolgte zunächst durch die Gegenüberstellung der aus den Laboranalysen stammenden Ergebnisse der Korngrößenverteilung der jeweiligen ausgewählten Proben mit den Signaleigenschaften des Analysators, die zeitparallel zur Entnahme dieser Proben registriert wurden. Die im Labor ermittelten Korngrößenverteilungen der Proben der jeweiligen Produktsorten sind in der nachstehenden Abbildung 2 dargestellt.

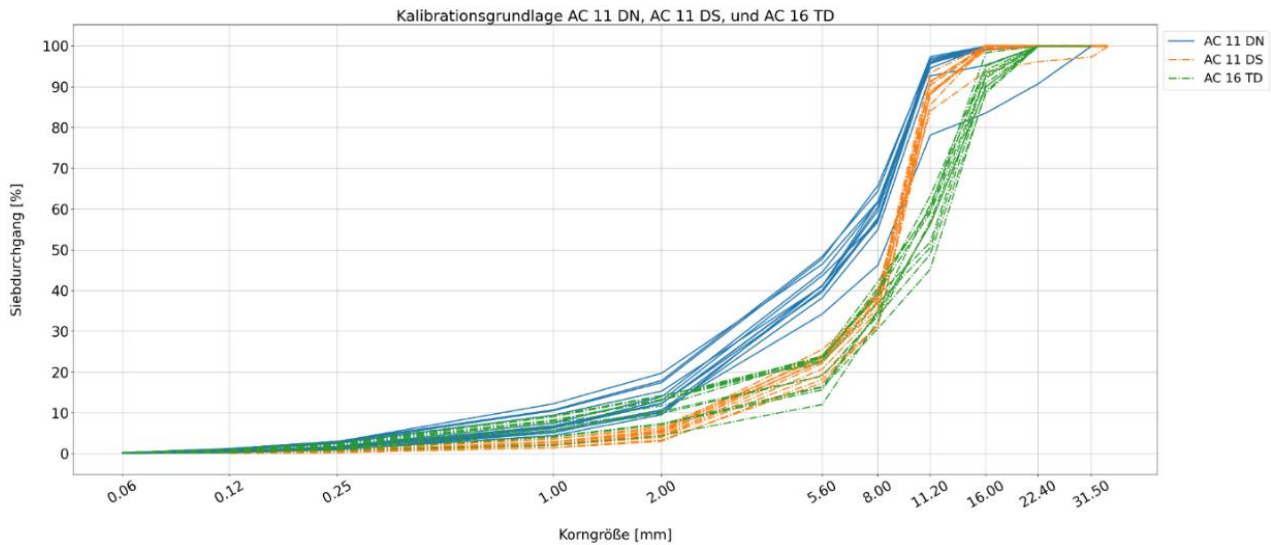


Abbildung 2. Siebanalysen der Proben, AC 11 D N, AC 11 D S und AC 16 T D

Für die Validierung der Ergebnisse der Online-Korngrößenanalyse der erhitzten Natursteinkörnungen wurden in zwei weiteren Etappen insgesamt 40 Proben aus dem Massenstrom entnommen. Während dieser Periode wurden die Signale ebenfalls aufgezeichnet; auf Grundlage der erstellten Kalibrationsfunktionen wurde die Korngrößenverteilung des Massenstroms berechnet. Die Proben wurden nach der Entnahme im Labor gesiebt. Anschließend wurden die Laborergebnisse der jeweiligen Proben den entsprechenden Ergebnissen der Online-Messung zum Zweck der Validierung gegenübergestellt und ausgewertet. Die Validierung wurde für die drei untersuchten Produkte durchgeführt.

Die Validierung der Ergebnisse der Online-Messung für das Produkt AC 11 D N zeigt, dass der Mittelwert der Abweichung der jeweiligen Kornfraktionen über alle Proben hinweg etwa 3 % beträgt. Die maximale mittlere Abweichung wurde für die Kornklasse 11,2 mm festgestellt. Die maximale Abweichung der einzelnen Kornklassen liegt bei 0,1 % für die Klasse 0,063 mm und bei etwa 9,2 % für die Klasse 31,5 mm. Tendenziell nimmt die Abweichung mit zunehmender Korngröße zu (Abbildung 3).

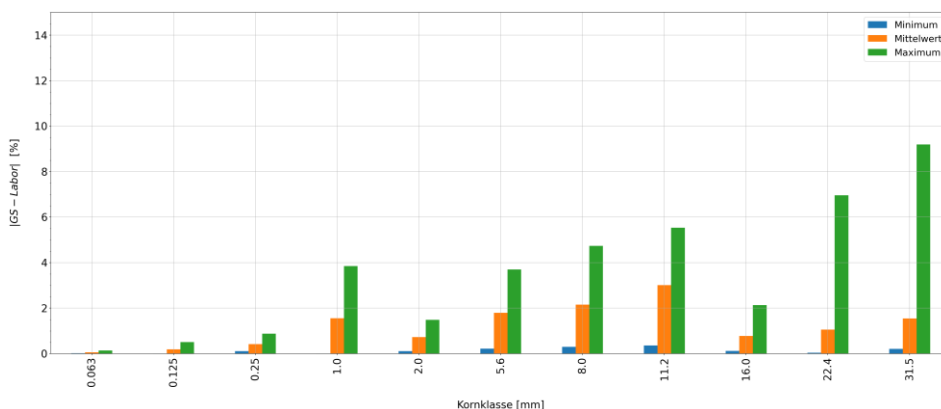


Abbildung 3. Vergleich der Ergebnisse des Labors und der Online-Korngrößenanalyse der jeweiligen Kornfraktionen für das Produkt AC11DN

Exemplarisch ist in Abbildung 4 das Ergebnis der Online-Korngrößenanalyse während dreier Betriebsstunden dargestellt. Wie aus der Abbildung hervorgeht, schwankt beispielsweise der Anteil der Kornklasse 5,6 mm bis 8 mm während des dreistündigen Messzeitraums um rund 10 %.

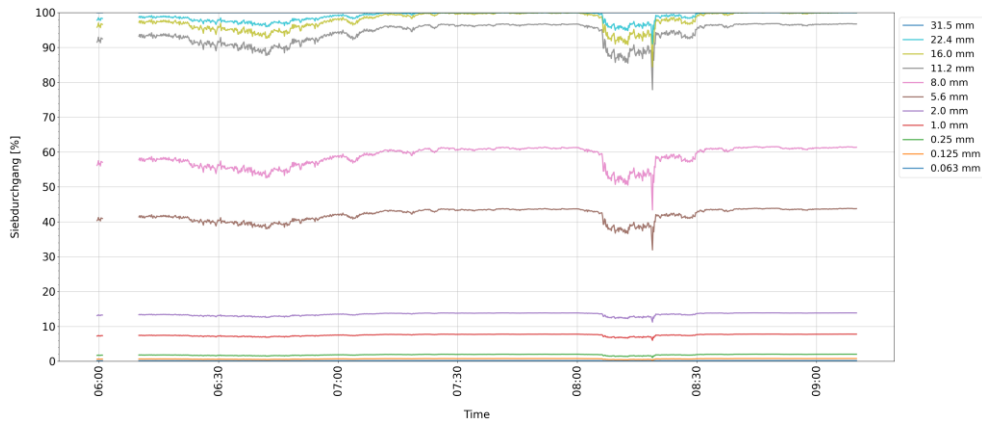


Abbildung 4. Verlauf der zeitabhängigen Online-Korngrößenanalyse des Massenstroms für das Produkt AC 11 D N während der Produktion

Die Validierung der Ergebnisse der Online-Messung für das Produkt AC16TD zeigt, dass der Mittelwert der Abweichung der jeweiligen Kornfraktionen über alle Proben hinweg etwa 3,4 % beträgt. Die maximale mittlere Abweichung wurde auch in diesem Fall für die Kornklasse 11,2 mm festgestellt. Die maximale Abweichung der einzelnen Kornklassen liegt bei 0,1 % für die Klasse 0,063 mm und bei etwa 9 % für die Klasse 11,2 mm. Tendenziell steigt die Abweichung zunächst bis zur Kornklasse 11,2 mm an und nimmt anschließend bis zur Kornklasse 22,4 mm kontinuierlich ab (Abbildung 5). Exemplarisch ist in Abbildung 6 das Ergebnis der Online-Korngrößenanalyse während drei Betriebsstunden dargestellt. Wie aus der Abbildung ersichtlich ist, schwankt beispielsweise der Anteil der Kornklasse 8 mm bis 11,2 mm während des dreistündigen Messzeitraums um rund 20 %.

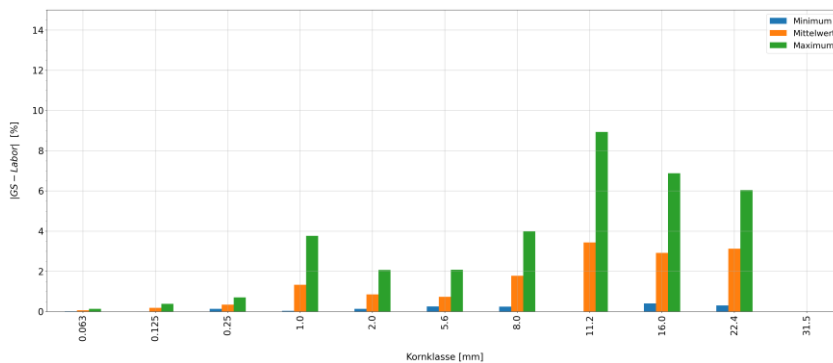


Abbildung 5. Vergleich der Ergebnisse des Labors und der Online-Korngrößenanalyse der jeweiligen Kornfraktionen für das Produkt AC16TD

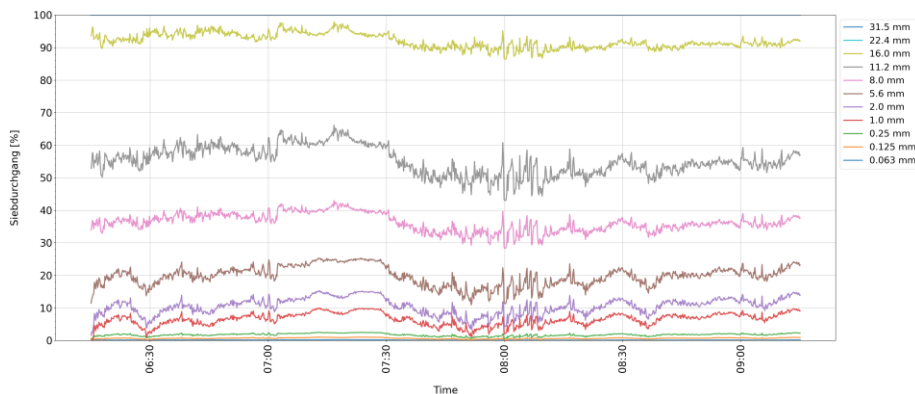


Abbildung 6. Verlauf der zeitabhängigen Online-Korngrößenanalyse des Massenstroms für den AC16TD während der Produktion

Die Validierung der Ergebnisse der Online-Messung für das Produkt AC11DS zeigt, dass der Mittelwert der Abweichungen der jeweiligen Kornfraktionen über alle Proben hinweg etwa 2,9 % beträgt. Die maximale mittlere Abweichung wurde auch in diesem Fall für die Kornklasse 11,2 mm festgestellt. Die maximale Abweichung der einzelnen Kornklassen liegt bei 0,2 % für die Klasse 0,063 mm und bei etwa 6 % für die Klasse 11,2 mm. Tendenziell steigt die Abweichung zunächst bis zur Kornklasse 11,2 mm an und nimmt anschließend bis zur Kornklasse 22,4 mm kontinuierlich ab (Abbildung 7). Dieses Verhalten ist dem des Produkts AC16TD ähnlich. Die Produkte AC16TD und AC11DS weisen in der Fraktion von 0 mm bis 8 mm sehr ähnliche Korngrößenverteilungen auf. Das gleichartige Verhalten der Online-Ergebnisse spricht für die Validität des Messsystems. Exemplarisch ist in Abbildung 8 das Ergebnis der Online-Korngrößenanalyse während drei Betriebsstunden dargestellt. Wie aus der Abbildung hervorgeht, schwankt beispielsweise der Anteil der Kornklasse 5,6 mm bis 8 mm während des dreistündigen Messzeitraums um rund 10 %. Auch das Ausmaß der Abweichung dieses Produkts ist dem des Produkts AC16TD ähnlich.

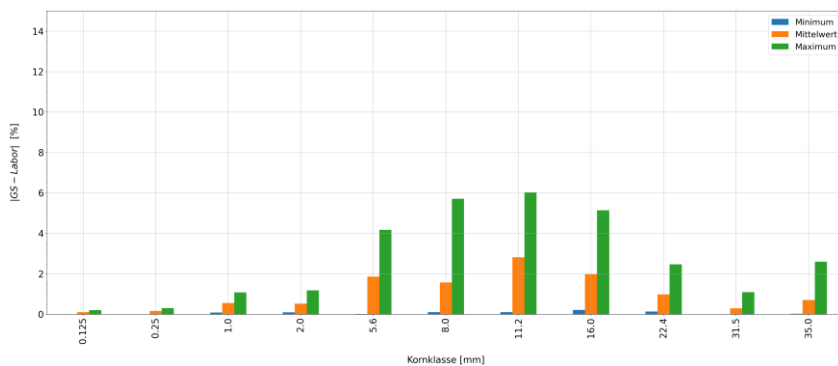


Abbildung 7. Vergleich der Ergebnisse des Labors und der Online-Korngrößenanalyse der jeweiligen Kornfraktionen für das Produkt AC11DS

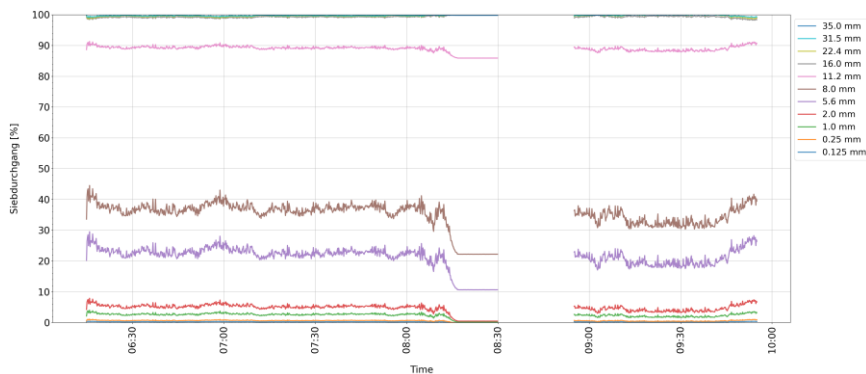


Abbildung 8. Verlauf der zeitabhängigen Online-Korngrößenanalyse des Massenstroms für das Produkt AC11DS während der Produktion

Zur Erfassung des Einflusses der Varianz der Korngrößenverteilung der Kalibrationsproben auf die Online-Ergebnisse des Analysators wurde unter Berücksichtigung der Kalibrationsproben der drei Produkte eine erneute Kalibrierung des Messgeräts vorgenommen. Diese neue Kalibrierung umfasst sämtliche Kalibrationsproben der Produkte AC 11 D N, AC 16 TD und AC 11 D S. Auf Grundlage dieser Kalibrierung wurde für ausgewählte Proben des Produkts AC 11 D N eine erneute Validierung durchgeführt. Die Abweichung zwischen den Laborergebnissen und den Online-Messungen war für dieses Produkt bezogen auf alle Fraktionen relativ hoch. Die Ergebnisse der Validierung dieser Proben auf Basis der erweiterten Kalibrierung sind in der nachstehenden Abbildung 9 dargestellt. Die erweiterte Kalibrierung führt zu einer höheren Genauigkeit

des Online-Korngrößenanalysators. Die maximale fraktionsbezogene Abweichung sinkt in diesem Fall auf weniger als 6 %.

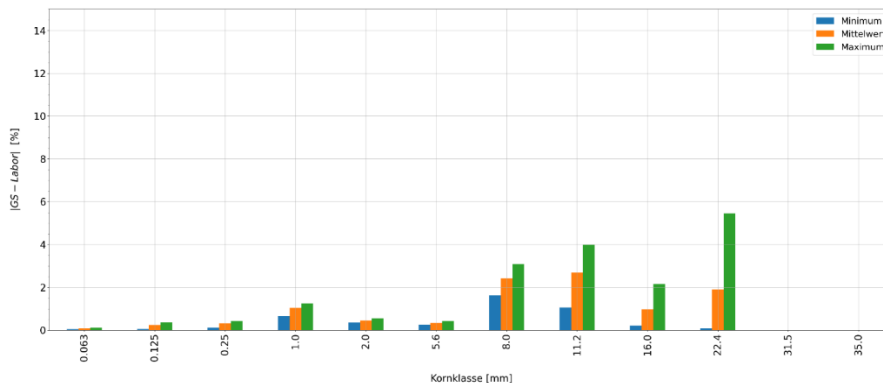


Abbildung 9. Vergleich der Ergebnisse des Labors und der Online-Korngrößenanalyse der jeweiligen Kornfraktionen auf Basis der erweiterten Kalibration für das Produkt AC11DN

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Online-Messung der Korngrößenverteilung des Massenstroms erhitzter Natursteinprodukte in der Asphaltproduktion möglich ist. Der Online-Analysator verfügt über eine ausreichende Genauigkeit zur kontinuierlichen Bestimmung der Korngrößenverteilung dieser erhitzten Natursteinprodukte. Die Messgenauigkeit steigt mit zunehmender Varianz der Korngrößenverteilung der Kalibrationsproben. Tendenziell nehmen die Abweichungen zwischen den Laborergebnissen und der Online-Analyse mit zunehmender Korngröße zu.

1.3. Arbeitspaket 3: Produktionsüberwachung der Eigenschaften des eingesetzten Asphaltgranulates mittels Geoscanner

Der Online-Analysator wurde direkt an der Übergabe der Bandanlage angebracht. Die Position des Oszillators ist so bemessen, dass dieser stets mit dem Massenstrom in Kontakt steht. Die Abbildung 10 zeigt die Position des Online Analysators. Der interne Betriebsablauf für die Aufnahme, Verladung und den Transport der Ausbauasphaltgranulate in dem Asphaltwerk, in dem die Untersuchungen durchgeführt wurden, lässt sich wie folgt beschreiben: In Abhängigkeit von der zu produzierenden Asphaltart werden die Granulate aus bestimmten Halden mithilfe eines Radladers aufgenommen und in einen Aufgabentrichter eingebracht. Von dort werden die Granulate nahezu kontinuierlich abgezogen und über eine Gurtförderanlage zum Transport in das Werk weitergeleitet. Aus betriebsinternen produktionstechnischen und arbeitssicherheitsrelevanten Gründen durfte die Entnahme von Proben nicht direkt an der Bandanlage hinter dem Online-Analysator erfolgen. Daher wurden die Proben zunächst aus der Schaufel des Radladers kurz vor der Übergabe in den Aufgabentrichter entnommen. Unter Berücksichtigung der Dauer des Transports der Granulate bis zum Online-Analysator wurde der Zeitpunkt der Analyse rechnerisch bestimmt. Diese Vorgehensweise weist jedoch nur eine eingeschränkte Repräsentativität auf. In einem weiteren Schritt wurde daher während der Kalibrationsphase nach Rücksprache mit dem Betrieb ein Probennehmer unterhalb der Bandübergabe installiert, der ähnlich konzipiert war wie der Probennehmer, der bei den erhitzten Natursteinkörnungen zum Einsatz kam. In diesem Fall treffen die Proben den Online-Analysator im freien Fall und gelangen anschließend in eine steil geneigte Schurre, unterhalb derer der Probennehmer installiert ist. In der Abbildung 10 ist der entwickelte Probennehmer nach der Installation abgebildet.



Abbildung 10. Installationsort des Online-Ansalyators und des Probennehmers

Die Untersuchungen zur Bestimmung der Korrelation zwischen Stückgrößenverteilung des Ausbausphaltes und des Bitumenanteils wurden in zwei Hauptgruppen unterteilt. Die erste Untersuchungsgruppe konzentrierte sich auf die Kalibrierung des Online-Ansalyators hinsichtlich der Online-Erfassung der Stückgrößenverteilung der Asphaltgranulate. Diese Untersuchungen wurden in zwei Etappen durchgeführt. Die zweite Untersuchungsgruppe diente der Kalibrierung des Online-Ansalyators hinsichtlich der indirekten Bestimmung des Bitumengehalts der Granulate auf

In der ersten Etappe der ersten Hauptgruppe der Untersuchungen wurden zehn Proben des Asphaltgranulats nach der beschriebenen Prozedur, das heißt durch Probenentnahme aus der Schaufel des Radladers, gewonnen. Diese Proben wurden im Labor gesiebt. Während der Probenahme wurden gleichzeitig die Signale des Online-Ansalyators aufgezeichnet. Durch die Gegenüberstellung der Ergebnisse der Siebanalyse mit den Signaleigenschaften des Online-Ansalyators zum Zeitpunkt der Kollision der Granulate mit dessen Oszillator wurde eine erste Kalibrierung des Ansalyators vorgenommen. Ziel dieser Untersuchung war es, die grundsätzliche Eignung des Online-Ansalyators zur Bestimmung der Stückgrößenverteilung von Asphaltgranulat nachzuweisen. Die Siebergebnisse der Proben sind in der Abbildung 11 dargestellt.

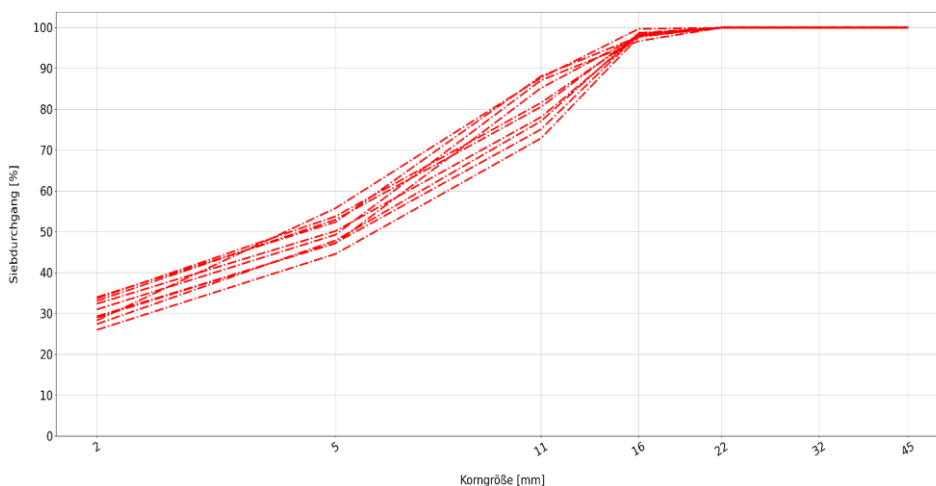


Abbildung 11. Stückgrößenverteilung der ersten zur Kalibrierung des Geoscanners entnommenen Asphaltgranulatproben

Die Online-Analyse des Massenstroms über eine Produktionsdauer von 12 Stunden weist für die jeweiligen relevanten Siebklassen eine vergleichbar große Varianz auf, wie sie sich auch aus den Ergebnissen der Laboranalysen ergibt. Beispielsweise zeigen die Ergebnisse der Online-Stückgrößenverteilung des Massenstroms, dass der Anteil des Siebdurchgangs bei einer Siebmaschenweite von 5 mm zwischen 57 % und 48 % schwankt. Die Schwankung des Anteils des Siebdurchgangs für dieselbe Maschenweite beträgt gemäß Siebanalyse 56 % bis 45 %. Der Online-Analysator liefert somit zuverlässige Ergebnisse, siehe Abbildung 12.



Abbildung 12. Online Korngrößenanalyse des Massenstroms über eine Produktionsdauer von 12 Stunden

Nach der Überprüfung der Funktionsfähigkeit und der grundsätzlichen Eignung des Systems für die Messung der Stückgrößenverteilung von Asphaltgranulat wurden in einer weiteren Kampagne Proben aus drei verschiedenen Halden entnommen. Dabei handelte es sich um sechs Proben der sogenannten Halde III mit einem Kornspektrum von 0 mm bis 22,4 mm und einem D50-Wert von rund 5 mm, sieben Proben der sogenannten Halde XIV mit einem Kornspektrum von 0 mm bis 11 mm sowie sechs Proben der sogenannten Halde IX mit einem Kornspektrum von 0 mm bis 22,4 mm und einem D50-Wert von etwa 13 mm. Die aus dem Massenstrom entnommenen Proben wurden anschließend im Labor einer konventionellen Siebanalyse unterzogen. Zusätzlich wurden die bei der Kollision des Massenstroms mit dem Oszillator entstehenden akustischen Signale beziehungsweise Schwingungen aufgezeichnet. Die Kalibrierung des Online-Analysators erfolgte durch die Gegenüberstellung der aus den Laboranalysen stammenden Ergebnisse der Stückgrößenverteilung der jeweils ausgewählten Proben mit den Signaleigenschaften des Geoscanners, die zeitparallel zur Entnahme dieser Proben registriert wurden.

Für die Erweiterung der Kalibration sowie zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Stückgrößenverteilung von Asphaltgranulat und dem Bitumenanteil des Massenstroms wurden insgesamt 59 Proben aus drei verschiedenen Asphaltgranulaten untersucht. In einem ersten Schritt wurden diese Proben im Labor gesiebt und so in fünf Fraktionen aufgeteilt. Auf Grundlage der aufgezeichneten Signale und der Ergebnisse der Siebanalyse wurde die Kalibrationsfunktion erweitert. Anschließend wurden die Proben sowohl hinsichtlich ihres Gesamtbitumengehalts als auch im Hinblick auf den kornfraktionsabhängigen Bitumenanteil weitergehend untersucht. Bei den Proben handelte es sich um folgende Sorten:

- Proben 1-36: Granulat 1, zu 45 % einer Asphalttragschicht zugegeben
- Proben 37-53: Granulat 2, gemischt aus drei Halten, zu 50 % einem SMA 16 B S zugegeben
- Proben 54-59: Granulat 3 aus einer Halde, zu 50 % einem SMA 16 B S zugegeben.

Die Untersuchungen zeigen, dass bei allen Asphaltarten ein sehr starker Zusammenhang zwischen der Stückgrößenverteilung der Granulate und dem Bitumenanteil besteht. Mit zunehmender Größe der Asphaltgranulate nimmt der Bitumenanteil ab, siehe Abbildung 13. Der Gesamtbitumengehalt ist

erwartungsgemäß von der jeweiligen Asphaltart abhängig. Abbildung 14 zeigt den Zusammenhang zwischen Bindemittelgehalt und Korngrößenverteilungsparameter D50 (Korngröße bei 50 % Siebdurchgang) aller fraktionierten Proben.

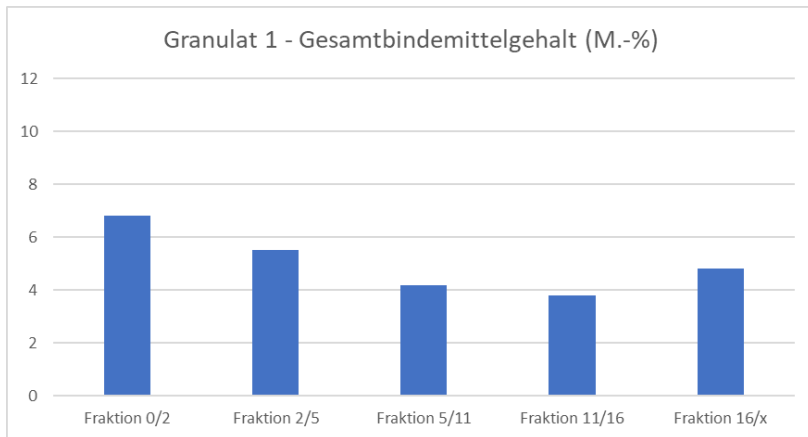


Abbildung 13. Abhängigkeit des Bitumenanteils von der Stückgröße des Asphaltgranulats, dargestellt für drei verschiedenen Asphaltarten

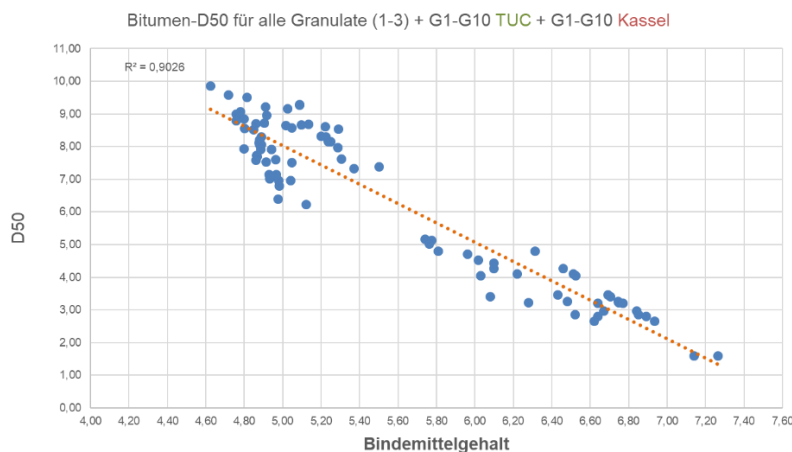


Abbildung 14. Abhängigkeit des Bitumengehalts von dem D50 Wert aller fraktionierten Asphaltgranulatproben

Auf Basis der festgestellten Abhängigkeiten wurden zwei Algorithmen entwickelt sowie eine Software zur Online-Bestimmung der jeweiligen Bitumenanteile auf Grundlage der Online-Korngrößenverteilung erstellt. Der erste Algorithmus basiert auf der Korrelation des stückklassenabhängigen Bitumengehalts des Asphaltgranulats im Massenstrom, während der zweite Algorithmus auf der Korrelation des D50-Wertes des Asphaltgranulats im Massenstrom beruht. In beiden Fällen wird die Stückgrößenverteilung des Asphaltgranulats im Massenstrom online durch den Analysator erfasst und in Kornklassen beziehungsweise in einen D50-Wert umgerechnet. Auf Grundlage der jeweiligen Korrelationsfunktionen wird anschließend der Bitumenanteil ebenfalls online berechnet.

Nach der Kalibration des Online-Analysators sowie der Entwicklung und Programmierung der Algorithmen wurden zum Zweck der Validierung 20 Proben aus dem Massenstrom entnommen. Zur Erhöhung der statistischen Sicherheit wurden jeweils zwei Proben in kurzem zeitlichem Abstand zueinander entnommen und als Mischprobe hinsichtlich ihrer Stückgröße analysiert. Anschließend wurde der D50-Wert der Proben berechnet. Darüber hinaus wurden die Proben im Labor hinsichtlich ihres fraktionsabhängigen Bitumenanteils untersucht. Zunächst erfolgte eine Validierung der Ergebnisse der vom Analysator ermittelten Online-

Stückgrößenverteilung. Die Ergebnisse dieser Validierung sind in Abbildung 15 dargestellt. Die im Labor ermittelten Anteile des Siebdurchgangs der Proben sind dort als Kreuze dargestellt, während die durchgezogenen Linien den Verlauf der vom Analysator online ermittelten Stückgrößenverteilung als Siebdurchgang wiedergeben. Die Validierung zeigt eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Laborergebnissen und den Ergebnissen des Online-Analysators.

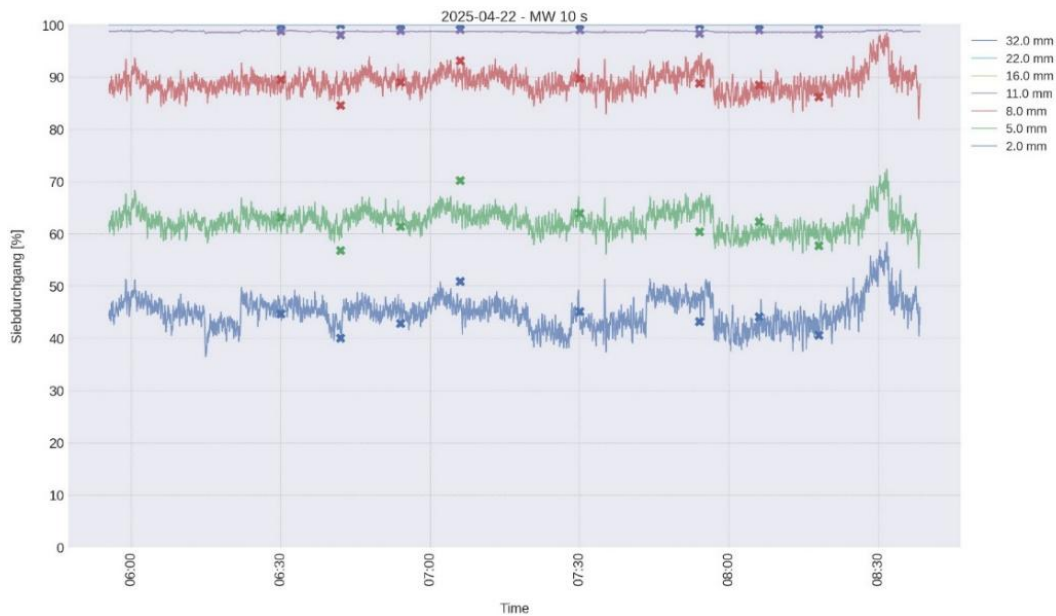


Abbildung 15. Mittels Geoscanner bestimmte Online-Stückgrößenverteilung des Asphaltgranulatstroms während der Validierungsphase

Aus den Signalen, die während des Zeitraums der Probenahme aufgezeichnet wurden, errechnete der Online-Analysator kontinuierlich den Gesamtbitumenanteil der Asphaltgranulate im Massenstrom. Die Validierung erfolgte durch die Gegenüberstellung der im Labor ermittelten Bitumenanteile der Proben mit den vom Online-Analysator zum jeweiligen Zeitpunkt bestimmten Bitumenanteilen. In Abbildung 16 sind die Ergebnisse der Online-Ermittlung des Bitumenanteils des Massenstroms während der Phase der Probenahme dargestellt. Die grüne Linie zeigt den Verlauf des zeitabhängigen Gesamtbitumenanteils, der auf Basis des D50-Wertes ermittelt wurde. Die blaue Linie dokumentiert den Verlauf des zeitabhängigen Gesamtbitumenanteils auf Grundlage der fraktionsabhängigen Korrelation.

Der Vergleich der Bitumenanteile der Proben aus der Laborextraktion mit den Ergebnissen der Online-Messung zeigt relative Abweichungen zwischen 2,3 % und maximal 8,3 %, was absolute Bindemittelgehaltsunterschieden zwischen 0,1 bis maximal 0,4 % entspricht. Der Mittelwert der relativen Abweichung beträgt 5 % bzw. 0,25 % Bindemittelgehalt. Insgesamt zeigen diese Untersuchungen, dass der Online-Analysator sowohl für die Online-Bestimmung der Stückgrößenverteilung der Asphaltgranulate als auch für die Online-Bestimmung des Bitumenanteils der Asphaltgranulate im Massenstrom über eine ausreichende Genauigkeit für die Anlagenüberwachung und Produktionssteuerung verfügt.



Abbildung 16. Zeitabhängiger Verlauf der Online Ermittlung des Bitumenanteils, grüne Linie berechnet auf Basis der Korrelation des online ermittelten D50-Wertes und blaue Linie auf Basis der Korrelation des online ermittelten Stückgrößenverteilung

Für die Validierung der Korrelationsfunktionen wurden zum einen die Ergebnisse der Laboruntersuchungen der beschriebenen 20 Proben herangezogen, die zum Zweck der Validierung aus dem Massenstrom in der Fabrik entnommen worden waren, und zum anderen Ergebnisse aus erweiterten Untersuchungen an Proben, die eigens aus verschiedenen Asphaltgranulat-Halden entnommen wurden. Für die ersten 20 Proben wurde der Zusammenhang zwischen dem D50-Wert der Proben und ihrem Bitumenanteil berechnet. Die Korrelation ergab ein Bestimmtheitsmaß von 0,9971. Damit ist die Nutzung der Korrelationsfunktion als valide anzusehen. Das Ergebnis ist in Abbildung 17 dargestellt.

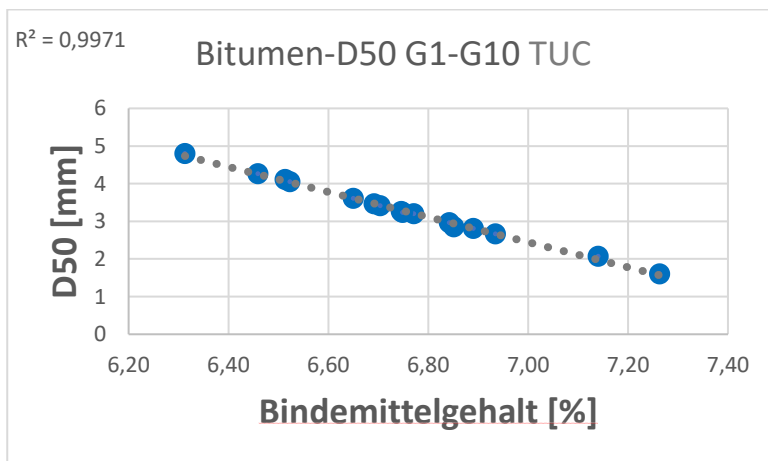


Abbildung 17. Korrelation zwischen D50-Wert und Bitumenanteil der 20 zur Verfahrensvalidierung verwendeten Proben

Weiterhin wurden 59 Asphaltgranulat-Proben aus insgesamt fünf verschiedenen AG-Halden entnommen. Die Korrelation zwischen dem Gesamtbitumenanteil und dem D50-Wert ergab ein Bestimmtheitsmaß zwischen 0,77 und 0,89.

1.4. Arbeitspaket 4: Demonstration und Validierung alternativer Prüfverfahren zur Bestimmung der Zusammensetzung (Bindemittelgehalt, Korngrößenverteilung) von Asphaltmischgut und Asphaltgranulat ohne Lösemittel

Folgende alternativen lösemittelfreien Prüfverfahren wurden durchgeführt:

- Thermoanalyse nach DIN EN 12697-39 zur Bestimmung des Bindemittelgehaltes und der Korngrößenverteilung des Gesteinsrückstandes
- Neutronenverfahren zur Bestimmung des Bindemittelgehaltes (H Red L)
- Mechanische Asphalteigenschaften

Zur weiteren Erprobung der Thermoanalyse und des Neutronenverfahrens wurden zunächst die zu untersuchenden Proben homogenisiert, geteilt, getrocknet und anschließend der Thermoanalyse sowie dem Neutronenverfahren unterzogen. Da die Verfahren bereits aus vorherigen Forschungsprojekten bekannt und im FGSV Merkblatt H Red L sowie in der DIN EN 12697 beschrieben sind wird hier auf eine detaillierte Verfahrensbeschreibung verzichtet. [24,25]

Zunächst wurde die Thermoanalyse nach H Red L an insgesamt 22 Asphaltgranulatproben aus drei Asphaltgranulathalden an Probenmengen von jeweils ca. 1,8 kg durchgeführt. Zur weiteren Anwendungsprüfung der Thermoanalyse an Asphaltmischgutproben wurden insgesamt 79 Asphaltmischgutvarianten verschiedener Mischwerke ausgewählt, als Proben durch die Asphalthersteller zur Verfügung gestellt und untersucht, siehe Tabelle 1.

Die insgesamt 79 Asphaltproben bilden ein breites Spektrum der im Asphaltstraßenbau verwendeten Mischgutsorten ab und ermöglichen eine Aussage über die Anwendbarkeit der Untersuchungen in der Praxis der Produktionsüberwachung zur Qualitätssicherung. Zur Verfahrensentwicklung und Erprobung wurden 54 und für die Validierung 25 Asphaltproben verwendet.

Für die Bestimmung der Korrekturwerte, mit denen die Masseänderung der Gesteinskörnungen berücksichtigt werden, wurden zwei verschiedene Verfahren angewendet:

- Wenn Proben der Gesteinskörnungen, welche zur Herstellung der Asphaltmischgutproben verwendet wurden, vorlagen, wurden die Korrekturwerte direkt durch Thermoanalyse der Gesteinsproben bestimmt.
- Für vier Asphaltproben wurden die Korrekturwerte doppeltbestimmt aus extrahierten Gesteinskörnungen bestimmt. Dadurch konnten auch Korrekturwerte für Asphaltmischgutproben mit Asphaltgranulat bestimmt werden.

Die Bindemittelgehaltsbestimmung mittels Neutronenverfahren wurde für vier verschiedene Asphaltmischgutvarianten an insgesamt 33 Einzelproben durchgeführt. Für alle Asphalte wurde unter Verwendung der in den Mischgutvarianten verwendeten Korngrößenverteilungen und jeweils drei Bindemittelgehalten Kalibrierkurven erstellt, welche den Zusammenhang zwischen Zählrate der Neutronenanalyse und Bindemittelgehalt beschreibt. Anschließend wurden die eigentlichen Asphaltproben untersucht, um deren Bindemittelgehalte zu bestimmen.

Table 1. Untersuchte Asphaltmischgutproben

Asphaltsorte	Proben- anzahl	Mischwerk	Ziel- Bindemittel	Asphaltgranulat- anteil	Besonderheiten
AC 11 DN*	1	B	35/50 VL	20%	15 % NA
AC 11 DS	8	B	25/55-55 A	20 %	
AC 11 DS	1	H	25/55-55 A RC	unbekannt	
AC 11 DS	1	C	50/70	unbekannt	HV
AC 11 DS*	1	B	25/55-55 A	20 %	
AC 11 DS*	10	A	25/55-55 A	unbekannt	
AC 16 BS*	2	B	25/55-55 A	40 %	
AC 16 BS*	1	B	25/55-55 A	40 %	
AC 16 TD*	1	B	70/100	25 %	
AC 22 BS SG	1	D	25/55-55 A RC	unbekannt	KH
AC 22 TS	1	I	50/70	unbekannt	HV
AC 22 TS	1	E	50/70	unbekannt	HV
AC 22 TS*	1	B	50/70	40 %	
AC 32 TN	8	B	50/70	30 %	
AC 32 TN	1	G	50/70	unbekannt	
AC 32 TS	2	C	50/70	unbekannt	HV
AC 32 TS	1	D	50/70	unbekannt	HV
AC 32 TS*	4	B	50/70	30 %	
AC 32 TS*	1	B	50/70	40 %	
AC 8 DN	1	E	50/70	unbekannt	HV
AC 8 DN	1	G	70/100	unbekannt	
AC 8 DN NTA	1	F	50/70	unbekannt	TA
SMA 11 S	13	A	25/55-55 A	0 %	4 Tage Beprobung
SMA 11 S	1	D	25/55-55 A	unbekannt	
SMA 16 BS*	1	B	10/40-65	15%	
SMA 8 S*	2	B	25/55-55 A	unbekannt	
Anzahl:	79				
* Validierungsproben					
HV: mit Haftverbesserer; KH: mit Kalkhydrat; NA: Natursand, TA: temperaturabgesenkt					

An einigen mittels Neutronenverfahren untersuchten Proben wurde anschließend der Bindemittelgehalt mittels Extraktionsverfahren bestimmt. Exemplarisch zeigt Abbildung 18 die an 13 WPK-Proben der Mischgutproduktion eines SMA 11 S sowie 12 WPK-Proben eines AC 16 B S bestimmten Bindemittelgehalte. An den Proben aus der Produktion eines Splittmastixasphaltes zeigt sich, dass sowohl Thermoanalyse als auch Neutronenverfahren Abweichungen des Bindemittelgehaltes identifizieren kann. Dass der mit Neutronenverfahren bestimmte Bindemittelgehalt geringer ist als mit den anderen Verfahren kann auf die bei Ermittlung der Kalibrierfunktion fehlenden Faserstoffe (ca. 0,3 M.-%) zurückgeführt werden. Für die Thermoanalyse kann auch an dem Asphaltbinder eine gute Übereinstimmung der Bindemittelgehalte mit den konventionellen WPK-Proben festgestellt werden. Außer bei den ersten Proben zeigen sich aber erhebliche Abweichungen für die Neutronenanalyse. Dies kann auf einen in den WPK-Protokollen verzeichneten Wechsel des verwendeten Asphaltgranulates zurückgeführt werden, welcher bei Bestimmung der Kalibrierfunktion nicht berücksichtigt wurde.

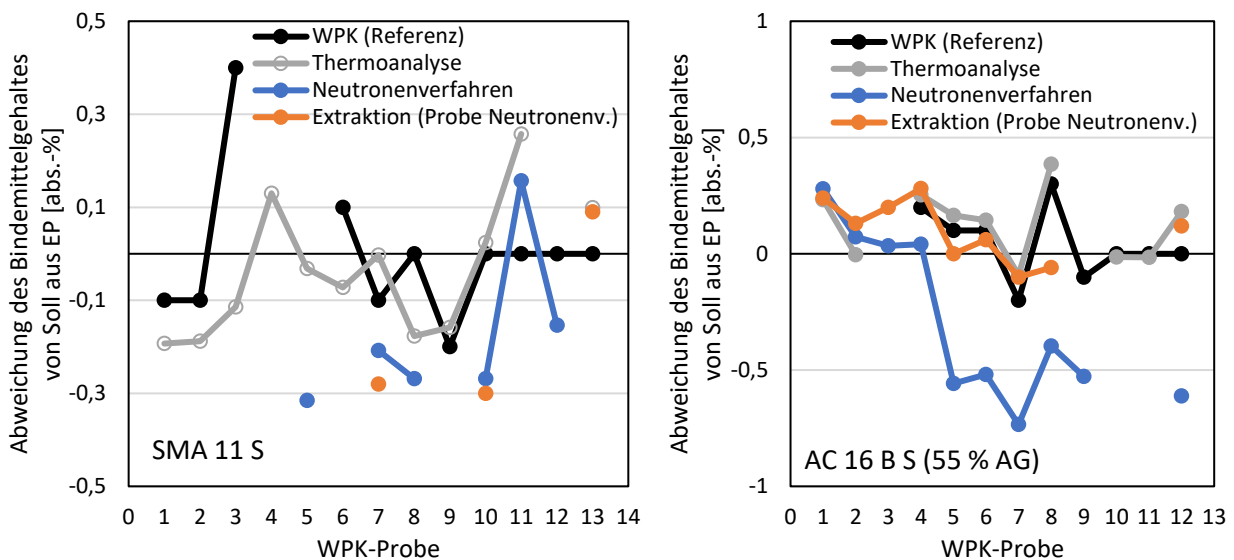


Abbildung 18. Beispiel für die mit drei verschiedenen Prüfverfahren bestimmten Bindemittelgehalte von Asphaltproben, die zur WPK entnommen wurden.

Die an aus den WPK-Proben verdichteten Asphaltproben bestimmten mechanischen Kennwerte Marshall-Stabilität, Spaltzugfestigkeit und Verdichtungswiderstand haben sich nicht als aussagekräftig zur Bewertung von Abweichungen in der Asphaltherstellung im Rahmen der beobachteten Schwankungsbreite erwiesen.

1.5. Arbeitspaket 5: Alternative Extraktionsverfahren zur Analyse der Bindemittleigenschaften frisch hergestelltem Asphaltmischgutes und Asphaltgranulates

In Voruntersuchungen an jeweils zwei Asphaltmischgut- und Asphaltgranulatproben wird das alternative Verfahren für die Asphaltextraktion und Bindemittelrückgewinnung erarbeitet. Dabei kommt das Verfahren der Heißextraktion in Anlehnung an die TP Asphalt-StB, Teil 1 mit Toluol zur Anwendung, wobei die Probenmengen stark reduziert werden. Nach Variation der Probenvorbereitung (Granulieren und/oder Fraktionieren der Asphaltprobe), der Extraktionszeiten sowie des Verfahrens zur Abtrennung des Feinanteils der Gesteinskörnungen (verschiedene Filtrationsverfahren, Zentrifugieren) wurde die an den rückgewonnenen Bindemitteln bestimmten Äquivalenzmodultemperaturen (T_{BTSV} , δ_{BTSV}) analysiert. Mittels FTIR-Analyse konnte überprüft werden, ob Lösemittel- bzw. Gesteinsrückstände in den Proben verbleiben. Das optimierte Verfahren für Kleinmengenextraktion von Asphaltproben von 100 g zur Gewinnung von Bindemittelproben erfolgt mittels Soxhlet-Extraktion in 12 Spülzyklen. Die Feinanteile des Gesteinskörnungsgemisches wurden dabei mit einem Papierfilter (Porengröße $1,5 \pm 0,5 \mu\text{m}$) zurückgehalten. Aus der Bitumenlösung konnte dann ca. 5 g des Bindemittels mittels Vakuumverdampfen gemäß TP Asphalt-StB, Teil 3 zurückgewonnen werden. An den rückgewonnenen Bindemitteln wurde die Äquivalenzmodultemperatur $T(G^*=15\text{kPa})$ bestimmt. Anstelle des Erweichungspunktes Ring und Kugel, der keine über den Kennwert $T(G^*=15\text{kPa})$ hinausgehende Informationen widerspiegelt, wurden FTIR-Analysen durchgeführt. Neben der Detektion von Gesteins- oder Lösemittelrückständen in den Bindemittelproben konnten damit Hinweise auf Alterungszustand und Modifizierung (z. B. Polymere, Wachs) ermittelt werden.

Mit diesem Verfahren konnte identifiziert werden, dass ein Asphaltmischgut des Typs AC 11 D S nicht mit dem laut Erstprüfung vorgesehenen polymermodifiziertem Bindemittel hergestellt wurde, sondern dass ein Straßenbaubitumen zur Anwendung kam.

In Abbildung 19 sind die Äquischermodultemperaturen und Phasenwinkel der aus den fraktionierten Asphaltgranulaten rückgewonnenen Bindemittel zusammengestellt. Bei den meisten Asphaltgranulaten ist zu erkennen, dass die feineren Fraktionen Bindemittel mit etwas höheren Äquischermodultemperaturen $T(G^*=15\text{kPa})$ enthalten als die gröberen Fraktionen. Dabei konnte mittels FTIR-Analyse gezeigt werden, dass diese höhere Steifigkeit nicht auf Gesteinsrückstände im Bindemittel zurückzuführen ist.

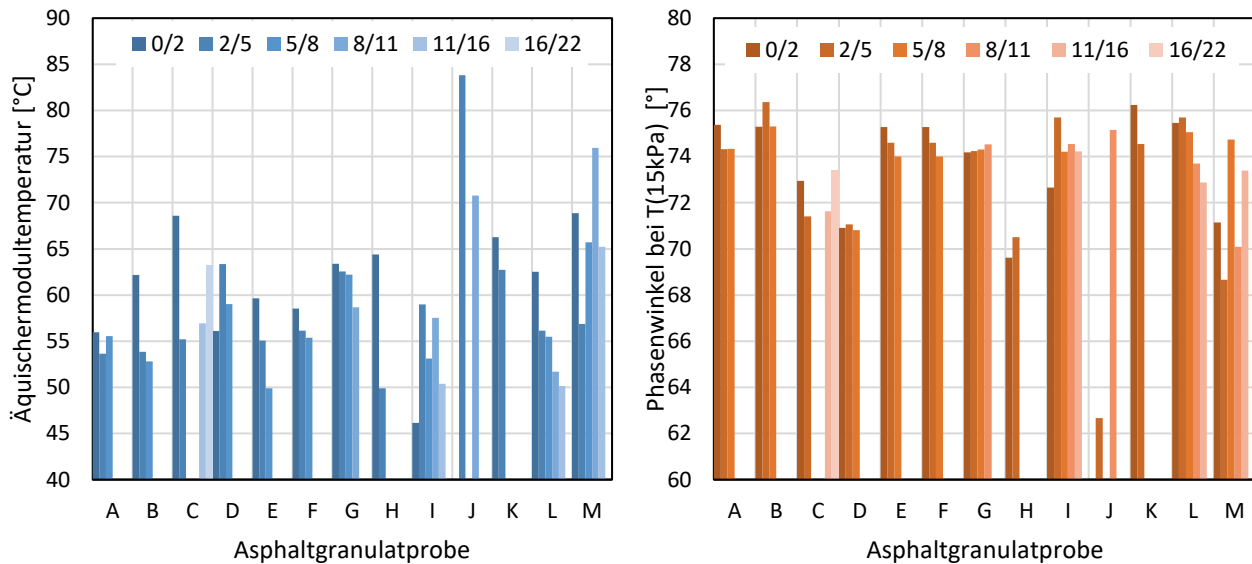


Abbildung 19. Äquischermodultemperaturen und Phasenwinkel der mittels Kleinmengensextraktion aus fraktionierten Asphaltgranulaten rückgewonnenen Bindemittel

1.6. Arbeitspaket 6: Auswertung und Bericht

Im Rahmen des Projektes wurden insgesamt fünf Sitzungen des Projekt-begleitenden Ausschusses durchgeführt. Dieser Bericht enthält die wesentlichen Ergebnisse des Forschungsprojektes. Eine ausführlichere Fassung wird nach Fertigstellung auf der Homepage der Forschungsvereinigung zum Download zur Verfügung gestellt.

2. Verwendung der Zuwendung

Siehe Nachweise. Es sind keine größeren Abweichungen vom Antrag aufgetreten

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Forschungsarbeiten sind nicht Teil des konventionell durchgeführten Qualitätssicherungs-Systems der Asphalthersteller, sodass die Untersuchung der Anwendbarkeit und Identifikation der geeigneten Prüfsystematik nur durch die Förderung mit öffentlichen Mitteln möglich ist.

4. Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zwei innovative Werkzeuge für die Qualitätssicherung bei der Herstellung von Asphaltmischgut weiterentwickelt und im Vergleich zu den konventionellen Verfahren analysiert.

Das Geoscaner-System, das bisher ausschließlich an kalten Gesteinskörnungsgemischen zur Online-Bestimmung der Korngrößenverteilung eingesetzt wird, kann auch im Materialstrom der erhitzten Gesteinskörnungen nach Durchlaufen der Trockentrommel angewendet werden. Somit kann die durchgehende Bestimmung der Zusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches näher am Mischvorgang und nach erfolgter Durchmischung in der Trockentrommel sowie Absaugung von Feinanteilen erfolgen. Hierdurch ist es möglich, die Anlagenleistung durch Nutzung des Bypasses zu steigern und trotzdem Schwankungen der Zusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches mittels geregelter Zugabe heiß abgesiebter Gesteinskörnungen auszugleichen. Gleichzeitig verringert sich der Verschleiß an der Heißabsiebung, da der überwiegende Anteil des Gesteinskörnungsgemisches über den Bypass zugeführt werden kann.

Durch Anwendung des Geoscaners im Materialstrom des Asphaltgranulates kann zielsicher die Stückgrößenverteilung bestimmt werden. Bei vorliegenden Kalibrierdaten kann daraus auf Bindemittelgehalt und Korngrößenverteilung des Gesteinskörnungsgemisches im Asphaltgranulat geschlossen werden. Hierzu ist eine Fraktionierung des Asphaltgranulates in mindestens drei Klassen erforderlich (z. B. <2 mm, 2/5 und >5,6 mm für ein Asphaltgranulat mit maximalem Stückdurchmesser von 11 mm). Je Fraktion sind Korngrößenverteilung und Bindemittelgehalt zu bestimmen. Dieser vergleichsweise große Prüfaufwand deutet auf eine bessere Anwendung des Geoscaners an Asphaltmischanlagen hin, in denen ein Asphaltgranulat-Management angewendet wird, bei welchem eine geringe Anzahl einzelner Halden mit möglichst homogenisierter Zuführung von Asphaltgranulat vorgehalten wird.

Die Anwendung der alternativen Prüfverfahren bei der werkseigenen Produktionskontrolle hat insbesondere für die Verfahren zur Bestimmung der Zusammensetzung der Asphalte eine hohe Anwendungsmöglichkeit gezeigt. Auch bei der Thermoanalyse sowie dem Neutronenverfahren zur Bestimmung des Bindemittelgehaltes ist eine Kalibrierung erforderlich, da die mineralische Zusammensetzung des Gesteins im Asphalt die Prüfergebnisse individuell beeinflussen. Insbesondere in Asphalten, in denen kein oder nur geringe Zugabemengen an Asphaltgranulat eingesetzt werden, haben sich die Verfahren als gut einsetzbar erwiesen.

In Regionen, in denen wenige verschiedene Gesteine zur Anwendung kommen, welche vergleichsweise einheitliche Korrekturwerte für die Thermoanalyse oder das Neutronenverfahrens erfordern, kann der Einsatz der Thermoanalyse zur Überprüfung der Zusammensetzung von Asphaltmischgut eingesetzt werden. Zur Bestimmung von Bindemittelleigenschaften ist jedoch weiterhin eine Extraktion und Rückgewinnung des Bitumens aus den Asphaltproben erforderlich. Hierfür kann der Einsatz einer Kleinmengenextraktion die im Asphaltlabor eingesetzten Lösemittelmengen deutlich reduzieren. Das hier optimierte Verfahren ermöglicht die Anwendung der Bindemittelextraktion vollständig in einem Abzug, sodass Laborpersonal keinen Lösemitteldämpfen ausgesetzt wird. Es verbleibt aber die manuelle Verwendung der Lösemittel im Abzug.

5. Wissenstransfer in die Wirtschaft

Im Rahmen der Projektlaufzeit wurden die in

Tabelle 2. Im Rahmen der Projektlaufzeit erfolgte Transfermaßnahmen

Maßnahme	Ziel	Inhalt/Rahmen	Datum/ Zeitraum
Ergebnistransfer sowie Berücksichtigung von Praxiswissen im Projekt	Information und Austausch mit der interessierten, im projektbegleitenden Ausschuss vertretenen Industrie	Online-Sitzungen des PbA	20.09.2023 12.03.2024 20.08.2025
		Präsenz-Sitzungen des PbA mit Demonstration der innovativen Verfahren	27.09.2024 08.05.2025
Information der Öffentlichkeit	Information über das Projekt	Homepage der Forschungsstelle sowie des DAI	ab Projektbeginn
Fachvortrag	Vorstellung des innovativen Verfahrens für die Qualitätssicherung bei der Asphaltproduktion	DAV/DAI Asphaltseminar, Willingen Vortrag Jens Wetekam: „InQuAs – Innovative Qualitätssicherung bei der Asphaltherstellung“	19.03.2024
Lehrtätigkeit an Hochschule	Ergebnistransfer in die Lehre	Anwendung der Verfahren im Rahmen von betreuten Abschlussarbeiten	ab 10/2022

6. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Maßnahme	Ziel	Inhalt/Rahmen	Datum/ Zeitraum
Zusammenfassender Fachaufsatz	Information der Asphalt herstellenden Industrie über die Projektergebnisse	Zeitschrift "asphalt"	ca. 06/2026
Fachvortrag	Umsetzungsvorschlag des WPK-Verfahrens	DAV/DAI Asphaltseminar, Willingen	03/2025
Mitarbeit in relevanten technischen Ausschüssen .	Vorstellung und Einarbeitung der erarbeiteten Änderungsvorschläge für das technische Regelwerk	FGSV-AA 7.6 "Prüfung von Asphalt" und AA 7.8 „Wiederverwendung von Asphalt“ FGSV-AK 7.6.3 " Zerstörungsfreie Messverfahren“	03/2026 und 09/2026