



**Technische
Universität
Braunschweig**



Analyse der Mikrostruktur von Recyclingmischgut mittels Digital Image Processing

Augusto Cannone Falchetto 16.01.2017

- Einleitung
- Ziel und Ansatz der Forschung
- Prüfmatrix
- Digital Image Processing
- Numerische Berechnung der Korrelationsfunktionen
- Auto Correlation Length (ACL)
- Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Einleitung

- **Ausbauasphalt (Reclaimed Asphalt Pavement - RAP)** wird seit mehr als drei Jahrzehnten verwendet. Einige Straßenbehörden haben jedoch die Verwendung von RAP auf **bestimmte Prozentsätze** beschränkt.
- Es ist bekannt, dass die **räumliche Verteilung** der Bestandteile eines Verbundwerkstoffs seine mechanischen Eigenschaften wesentlich beeinflusst.
- Daher kann die **Digital Image Processing Methode (DIP)** verwendet werden, um die räumliche Verteilung des frischen und RAP-modifizierten Asphalts zu untersuchen.
- Die mit **DIP** erhaltenen **mikrostrukturellen Informationen** können zusammen mit **hochgeordneten Mikrostrukturfunktionen** verwendet werden, um Informationen über die mechanischen Leistungseigenschaften des Materials zu erhalten.

Ziel und Ansatz der Forschung

Ziel

Untersuchung der Wirkung der Zugabe von unterschiedlichen Mengen an RAP auf die **Asphaltmikrostruktur** (räumliche Verteilung der Bestandteile).

Ansatz

- Digitales Scannen von Asphaltscheiben und Asphaltbalken
- 2D dreiphasige **Digital Image Processing** (DIP);
- Numerische Berechnung der 2- und 3-**Punkt-Korrelationsfunktionen**;
- Identifikation der Schlüsselparameter für die räumliche Verteilung:
Auto Correlation Length (ACL) der Materialbestandteile.

12 Asphaltmischgutvarianten

ID	Gruppe	Bitumen	Design Luftporen (%)	RAP (%)	VMA (%)	V_{Luft} (%)	V_{mastix} (%)	NMAS (mm)
1	1	PG	7%	40%	16.3	6.1	10.2	19.0
2		58-28		25%	17.1	6.5	10.6	19.0
3		unmodifiziert		0%	17.5	6.9	10.6	12.5
4	2	PG	4%	40%	14.0	3.4	10.5	19.0
5		58-28		25%	14.5	3.5	10.9	19.0
6		unmodifiziert		0%	15.6	4.8	10.8	12.5
7	3	PG	7%	40%	16.9	6.1	10.8	19.0
8		58-34		25%	17.3	6.4	10.9	19.0
9		SBS		0%	17.4	6.7	10.6	12.5
10	4	PG	4%	40%	14.2	3.0	11.1	19.0
11		58-34		25%	15.2	4.0	11.1	19.0
12		SBS		0%	15.6	4.8	10.8	12.5

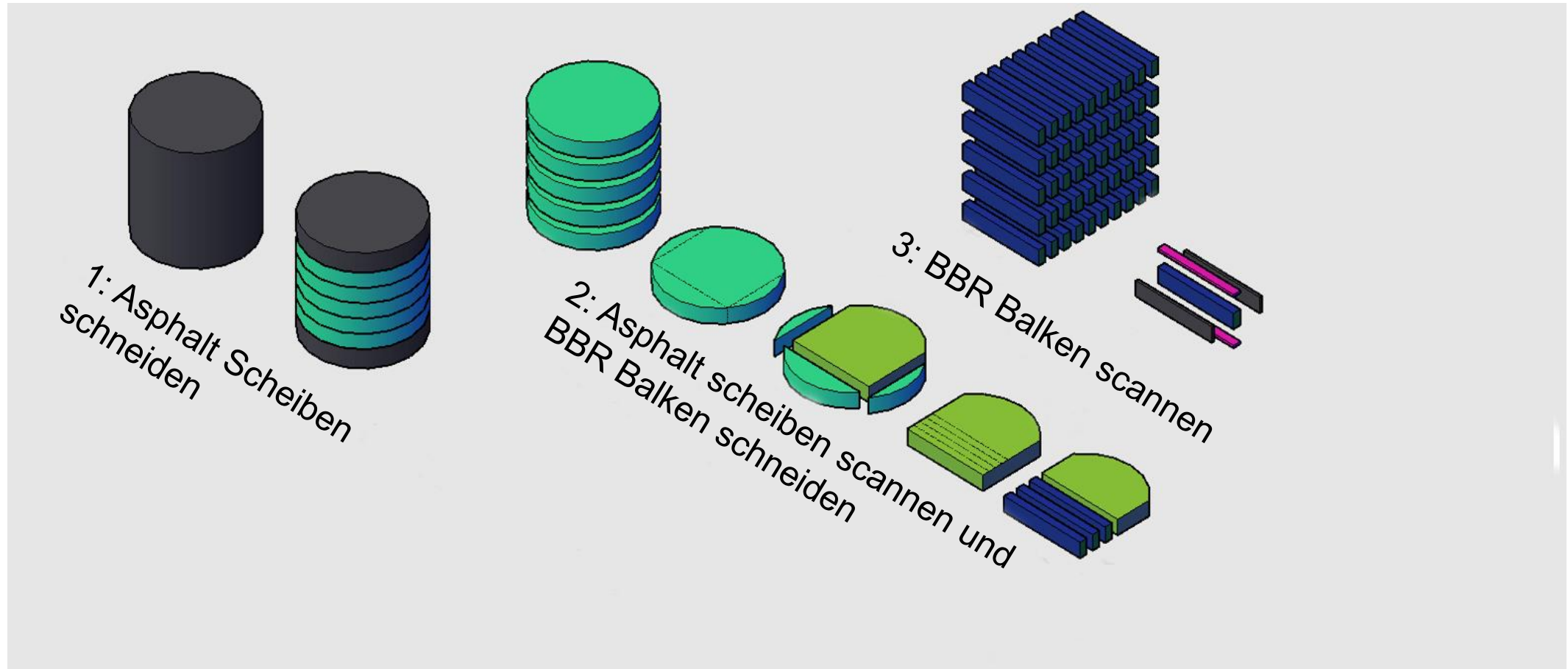
RAP (%): Ausbauasphalt

VMA (%): Voids in the Mineral Aggregate: Luftporen in dem Gestein

V_{Luft} und V_{mastix} (%): Volumen der Luftporen und Mastix (gemessen)

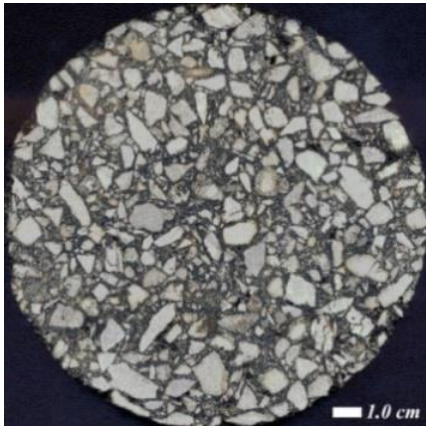
NMAS: Nominal Maximum Aggregate Size: ein Sieb größer als das größte Gestein.

Bildanalyse von Asphaltscheiben

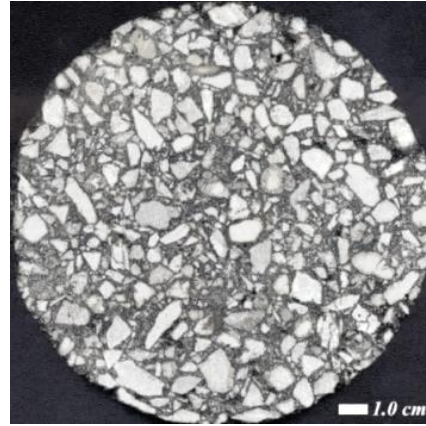


Bildanalyse von Asphaltscheiben

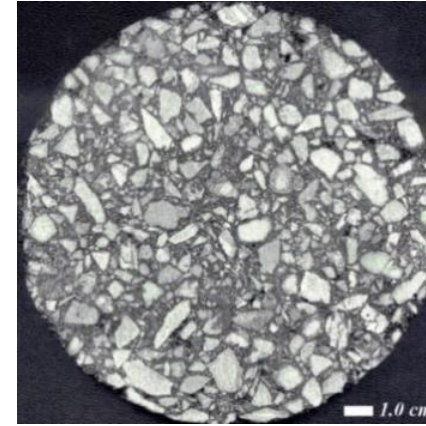
**Ursprüngliches
RGB-Stufenbild**



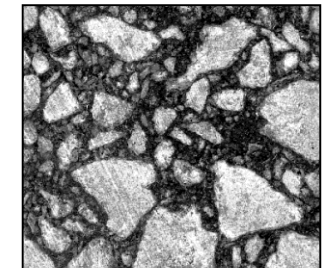
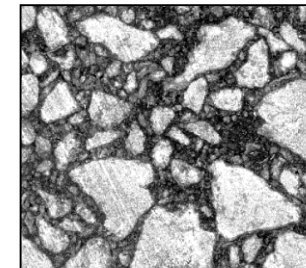
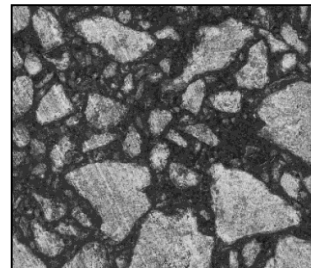
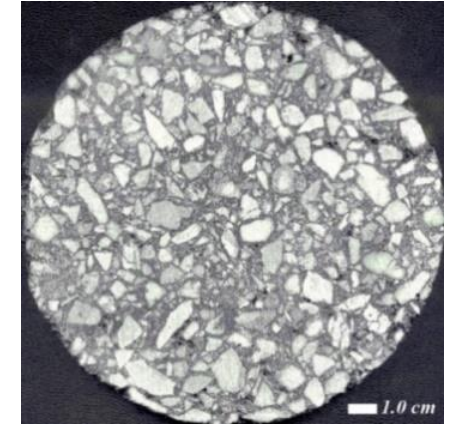
**Graustufen-
konvertiertes Bild**



**Störungsreduzierung
Mittels Filtern**



Kontrastverstärkung

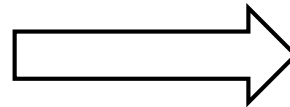


Dreiphasige Darstellung von Asphaltscheiben

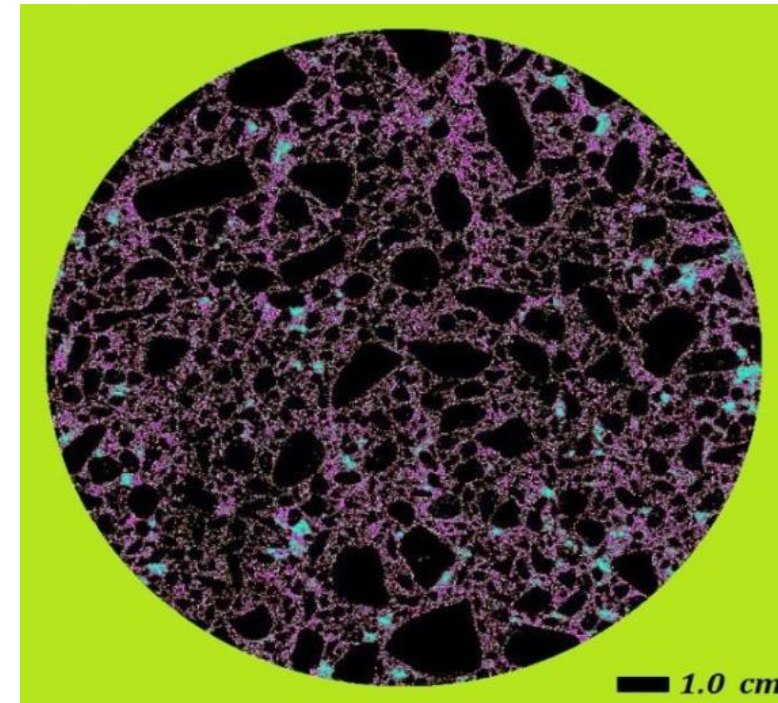
Ursprüngliches RGB-Stufenbild



Grenzberechnung
der Luftporen und
Asphaltmastix



Dreiphasiges Bild



Cyan: Luftporen

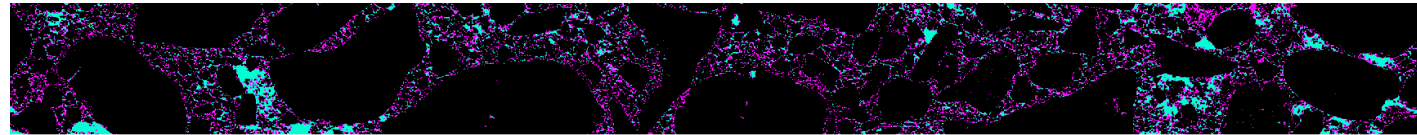
Violett: Asphaltmastix

Schwarz: Gestein (größer als 75 μm)

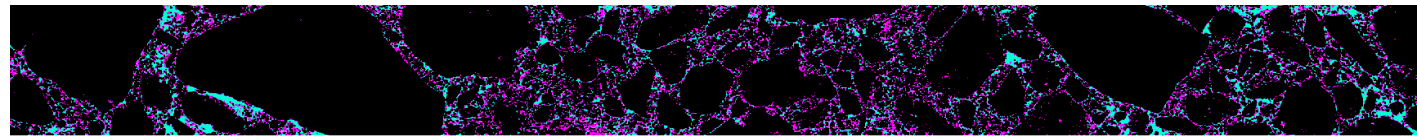
Dreiphasige Darstellung von BBR-Asphaltbalken

- Bildanalyse aller Balkenseiten:

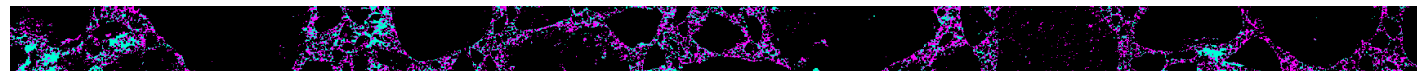
RGB Seite A



RGB Seite B



RGB Seite C



RGB Seite D



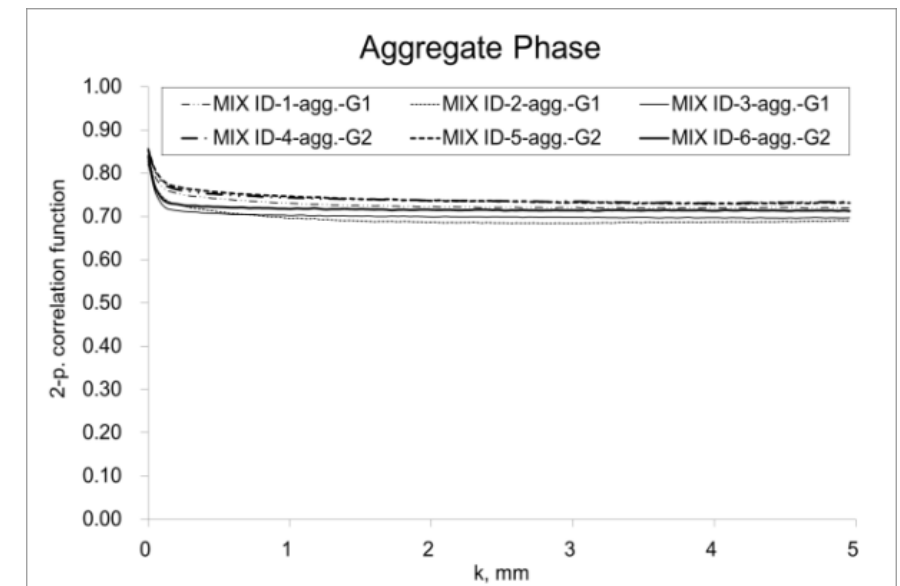
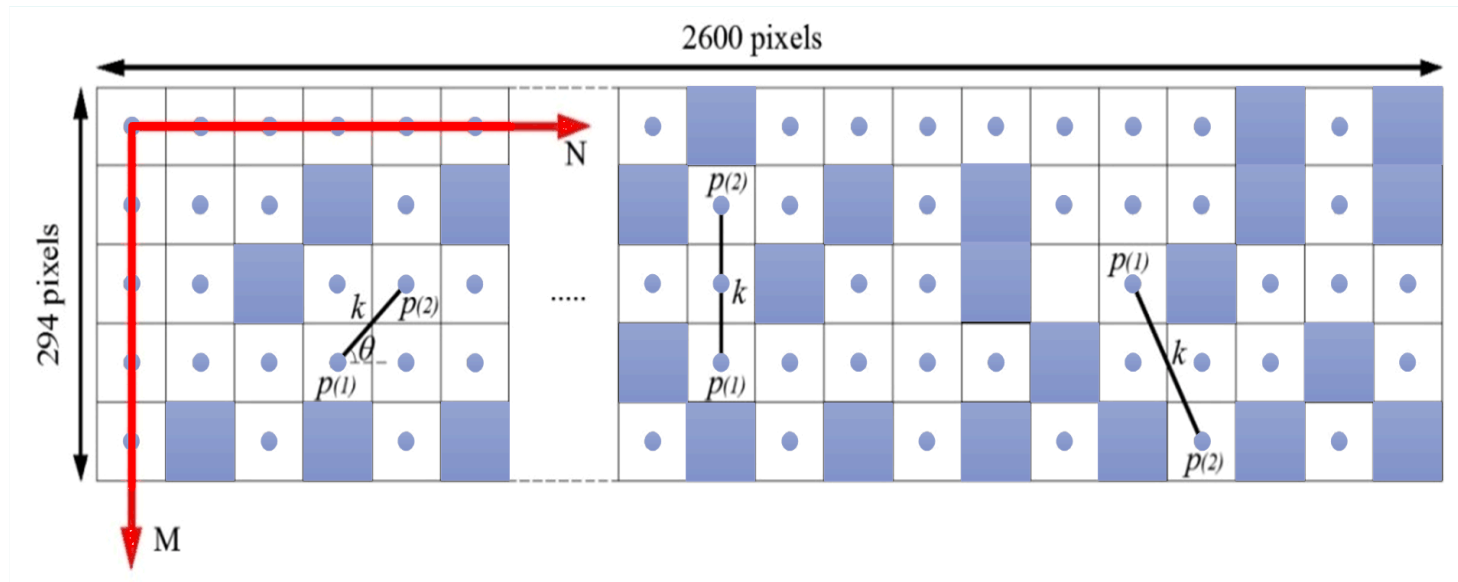
Numerische Berechnung der Korrelationsfunktionen

Definition der Korrelationsfunktion

- In der statistischen Mechanik ist die Korrelationsfunktion ein Maß für die Anordnung in einem System.
- Es charakterisiert, wie makro- und mikroskopische Variablen, wie Partikelkontakt oder Orientierung, sich an verschiedenen Positionen beeinflussen.
- Es quantifiziert, wie sich die makro- und mikroskopischen Variablen über den Raum des Materials durchschnittlich ändern.

Numerische Berechnung der Korrelationsfunktionen

- **2- und 3-Punkt-Korrelationsfunktionen:** nur die Seiten A und B der Proben wurden analysiert ($\sim 125\text{mm} \times 12.7\text{mm}$)
- Numerische Methode: Monte-Carlo-Simulation.
- Schematische Darstellung der 2-Punkt-Korrelationsfunktionsberechnung:



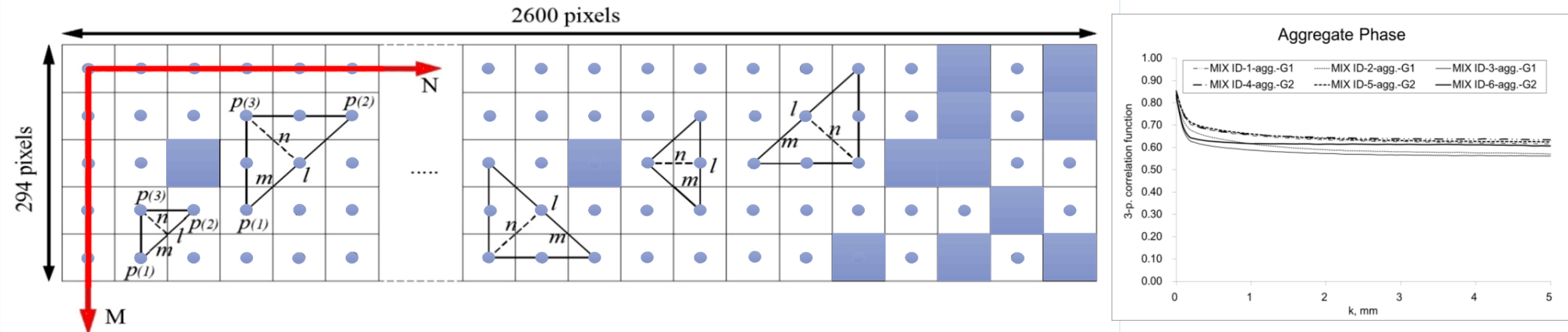
Mix 1: RAP: 40%, Luftporen 7%,
unmodifiziert Bitumen

Numerische Berechnung der Korrelationsfunktionen

- Die Dreiecke, die für die Berechnung von **3-Punkt-Korrelationsfunktionen** verwendet werden, sind durch **drei Integer Werte** definiert: l , m und n , die durch die folgenden Bedingungen verknüpft sind:

$$\left. \begin{aligned} m &\leq l / 2 \\ m^2 + n^2 &\leq 2ml \\ 2m &= 2n = l \end{aligned} \right\} S_3(l, m, n) = \frac{N_{k_hits}}{N_{drop}}$$

- Schematische Darstellung der 3-Punkt-Korrelationsfunktionsberechnung:



Auto Correlation Length (*ACL*)

Definition der Auto Correlation Length (*ACL*)

- ***ACL*** ist ein Schlüsselparameter, der räumliche Informationen zur geometrischen Topographie gibt.
- ***ACL*** quantifiziert die gewichtete mittlere Distanz der Wechselbeziehung zwischen mikroskopischen Größen, wie Partikelkontakt oder Orientierung.
- Außerhalb der ***ACL*** beeinflusst dieser Parameter die räumliche Verteilung einer bestimmten Phase nicht.
- Je größer die ***ACL***, desto größer ist das repräsentative Volumenelement $RVE \sim (2 \text{ } ACL)^3$.

Auto Correlation Length (ACL)

ACL von 2- und 3-Punkt-Korrelationsfunktionen

ID	Gruppe	Bitumen	Design Luftporen (%)	RAP (%)	2-Punkt ACL (mm)			3-Punkt ACL (mm)		
					Gestein	Mastix	Luft	Gestein	Mastix	Luft
1	1	PG	7	40	1.302	1.764	3.150	2.782	3.444	3.780
2		58-28		25	0.966	1.386	2.982	2.352	2.772	3.446
3		unmodifiziert		0	0.798	1.008	1.092	1.512	2.016	2.688
4	2	PG	4	40	1.134	1.680	3.066	2.360	2.814	2.940
5		58-28		25	0.882	1.302	2.814	2.184	2.352	2.856
6		unmodifiziert		0	0.714	0.714	0.882	0.588	1.932	2.016

Je kleiner die volumetrische Komponente, desto größer die ACL

Je höher der RAP-Anteil, desto größer die ACL

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- In diesem Projekt wurden unter Verwendung des **2D Digital Image Processing** identifiziert.
- Auf der Grundlage von volumetrischen Informationen wurden dreiphasige Asphaltbilder erzeugt.
- Berechnungen von 2- und 3-Punkt-**Korrelationsfunktionen** wurden an Gesteins-, Asphaltmastix- und Luftporensphasen der erzeugten dreiphasigen Asphaltbalkenbilder durchgeführt.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- Die Zugabe von RAP zum Asphalt bis zu 40% beeinflusst die räumlichen Verteilungen nicht wesentlich.
- Zugabe von RAP bis zu 40% führt nicht zu einem unterschiedlichen geometrischen Muster (Orientierung, Größe, etc.), verglichen mit dem frischen Asphalt.
- Es kann davon ausgegangen werden, dass alle signifikanten Unterschiede in der mechanischen Leistungsfähigkeit von RAP-Asphalt hauptsächlich mit der Leistungsfähigkeit von Materialbestandteilen und nicht in erster Linie mit geometrischem Muster zusammenhängen.
- Das entwickelte Analyseverfahren kann potenziell genutzt werden, um den Asphalt der Straßen für forensische Kontrolle, zusätzlich zu den Laboreigenschaften, zu testen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Fragen?



a.cannone-falchetto@tu-bs.de

