



HighRAP

Highly Recycled Asphalt Pavement

Martins Zaumanis

03.02.2023

Die Deutschen haben viele Wörter aus der lettischen Sprache übernommen!

Lettisch–Deutsch

Brilles – Brille

Kleita – Kleid

Panna – Pfanne

Spēle – Spiel

Papīrs – Papier

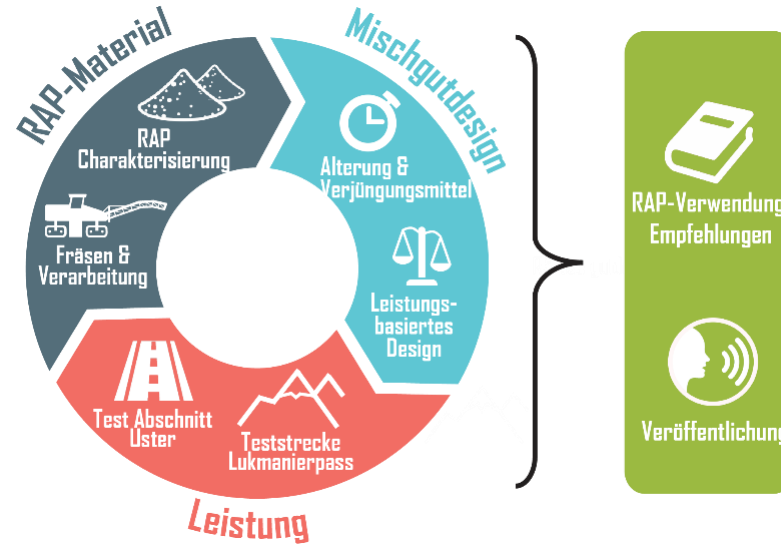
Asfalts – Asphalt

Projektziel

Ziel des HighRAP-Projekts ist es, Empfehlungen zu erarbeiten, die es ermöglichen, den durchschnittlichen Gehalt an Ausbauasphalt zu erhöhen, ohne die Leistungsfähigkeit des Belags zu beeinträchtigen.



Überblick über das HighRAP-Projekt



Teilnehmer



Sponsoren

Bundesamt für Strassen

Bundesamt für Umwelt

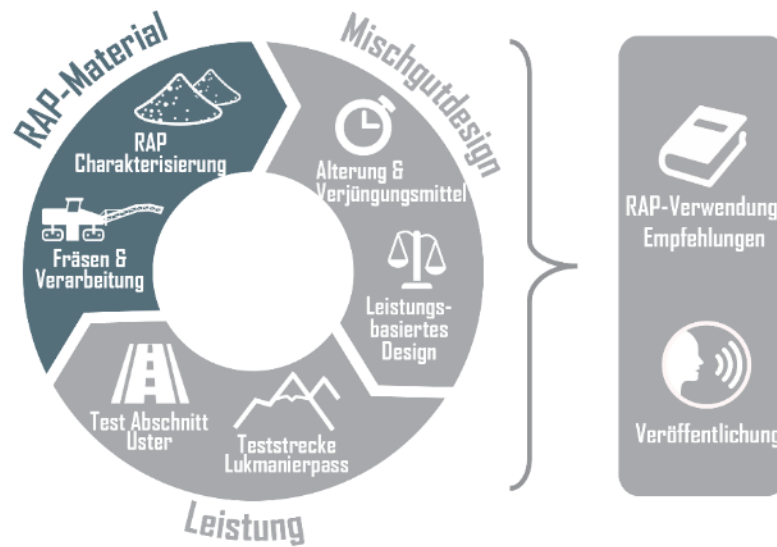
AWEL Kanton Zürich

ANU Kanton Graubünden


Dauer: 06.2019-12.2022

+Nicolas Bueche, (BFH)
+Remo Fehr, ANU Kt GR





RAP Material: RAP Verarbeitung

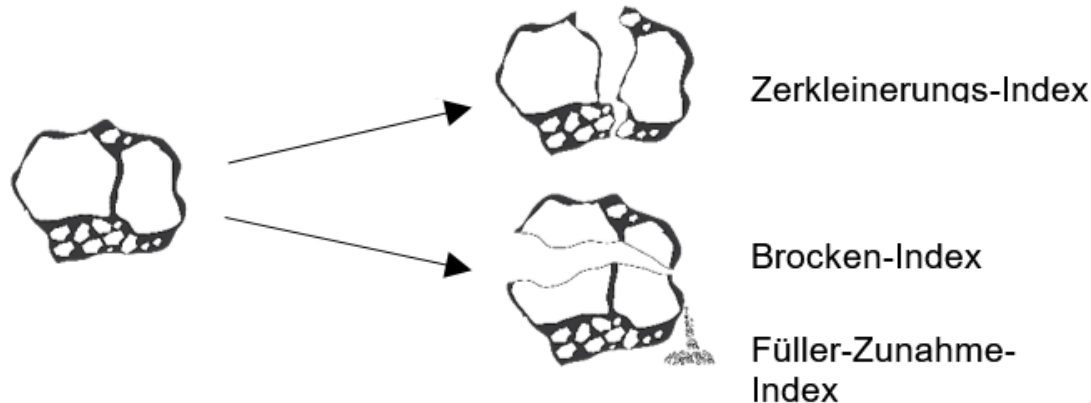
Studie	Aufgaben	Aktivitäten während des HighRAP-Projekts
 RAP-Fräsen und - Verarbeitung	Entwicklung von RAP- Verarbeitungsverfahren, die eine maximale Nutzung von RAP in der Produktion ermöglichen.	<ul style="list-style-type: none"> • Ein Versuch unter realen Bedingungen zur Bewertung der Auswirkungen des Fräsens. • Ein Vollversuch zur Entwicklung einer Methode zur quantitativen Bewertung des Zerkleinerungs- und Siebverfahrens von RAP.

Für den Versuch wurden vier verschiedene Brecher verwendet

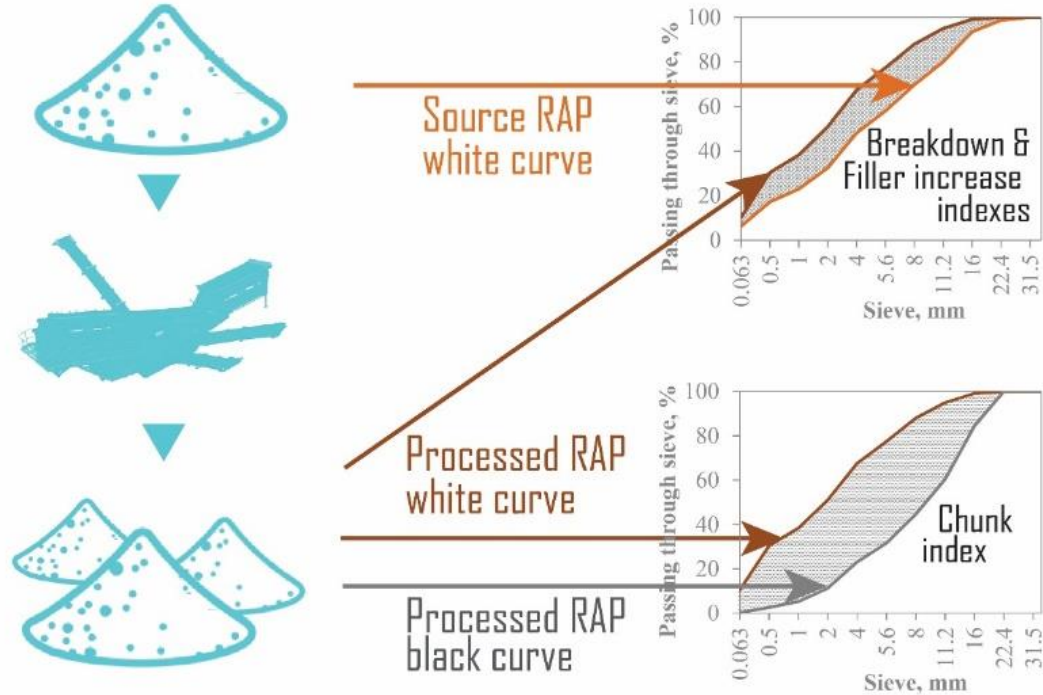


Es wurden drei Indizes entwickelt, die eine Bewertung der Zerkleinerung und Siebung von RAP ermöglichen:

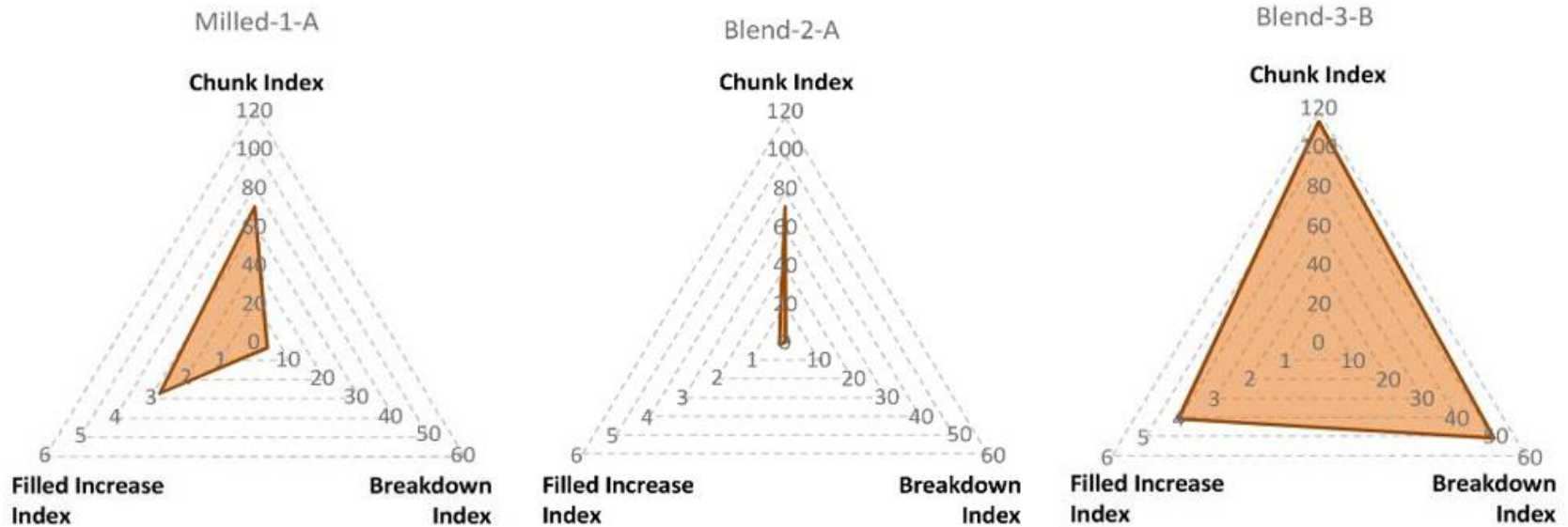
- Brocken-Index zeigt die Grösse der RAP-Agglomerationen.
- Zerkleinerungs-Index zeigt die Verringerung der Partikelgrösse der RAP-Aggregate während der Verarbeitung.
- Füller-Zunahme-Index zeigt die Menge des erzeugten Füllergehalts während der RAP-Verarbeitung.



Die Indizes können durch eine Korngrößenverteilung von RAP vor und nach der Bindemittlextraktion bestimmt werden.



Ein Radardiagramm ermöglicht den Vergleich verschiedener RAP-Verarbeitungsmethoden und die Optimierung der Brecherparameter



Kleinere Fläche = bessere Verarbeitung

Rechner verfügbar:

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5500154>

Instructions:

Change the sieve sizes in the 'Source black curve', if necessary.

Fill the green cells with data (delete the example data first)

The calculated indexes as well as their graphical representation will appear on the right.

*If you notice any errors, please inform Martins Zaumanis (jeckabs@gmail.com)

Source black curve

Sieve (mm)	Sample #1 % passing cumul.	Sample #2 % passing cumul.	Sample #3 % passing cumul.	Average % passing cumul.	Range
0.075	70.1			70	0.1
0.15	68.2			69	0.1
0.3	65.7			65	0.1
0.6	60.5			61	0.1
1.2	52.5			53	0.1
2.5	42.9			43	0.1
5.0	33.8			34	0.1
10.0	24.9			25	0.1
20.0	19.2			19	0.1
40.0	11.0			12	0.1
80.0	7.4			7	0.1
150.0	4.5			5	0.1
300.0	0.8			1	0.1

Source white curve

Sieve (mm)	Sample #1 % passing cumul.	Sample #2 % passing cumul.	Sample #3 % passing cumul.	Average % passing cumul.	Range
0.075	100			100	0.1
0.15	100			100	0.1
0.3	100			100	0.1
0.6	100			100	0.1
1.2	100			100	0.1
2.5	96			96	0.1
5.0	80			80	0.1
10.0	67			67	0.1
20.0	55			55	0.1
40.0	46			46	0.1
80.0	32			32	0.1
150.0	23			23	0.1
300.0	10			10	0.1
600.0	6			6	0.1

Results

Sample ID:

Processing technology:

Process parameters:

Other conditions:

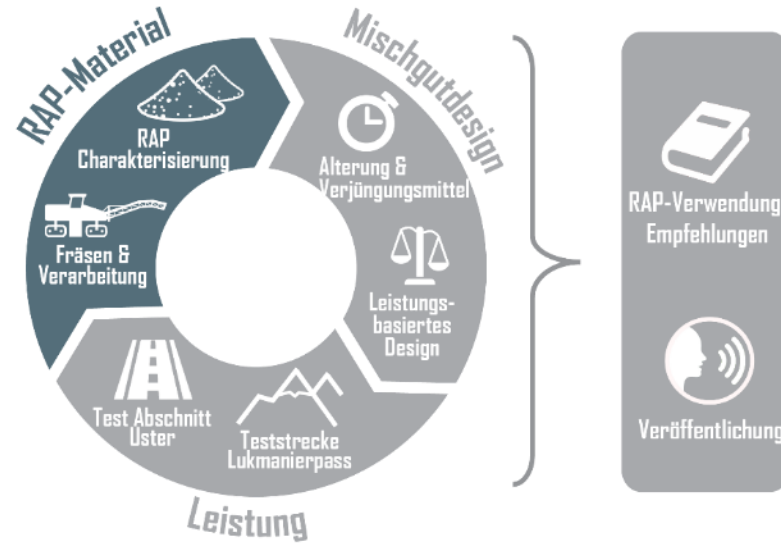
	Result	max	min	
Chunk index	107	107.0	107.0	smaller value means the RAP chunks are smaller
Breakdown index	52	52.0	52.0	smaller value means that the aggregates were processed
Filler Index	4.1	4.1	4.1	smaller value means fines are not generated
Stockpile chunk index	185	185.2	185.2	smaller value means the RAP chunks are smaller

Chunk index


Breakdown index

Stockpile chunk index

Filler chart

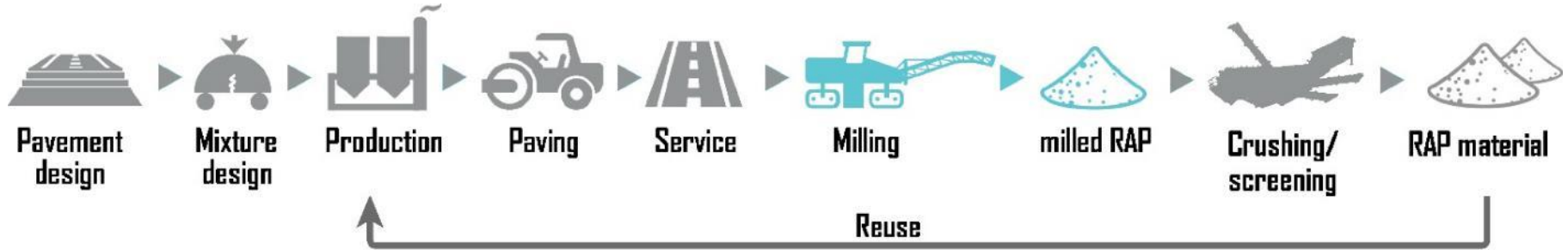


RAP Material: RAP Fräsen

Studie	Aufgaben	Aktivitäten während des HighRAP-Projekts
 RAP-Fräsen und - Verarbeitung	Entwicklung von RAP- Verarbeitungsverfahren, die eine maximale Nutzung von RAP in der Produktion ermöglichen.	<ul style="list-style-type: none"> • Ein Versuch unter realen Bedingungen zur Bewertung der Auswirkungen des FräSENS. • Ein Vollversuch zur Entwicklung einer Methode zur quantitativen Bewertung des Zerkleinerungs- und Siebverfahrens von RAP.

Warum müssen wir das Fräsen erforschen?

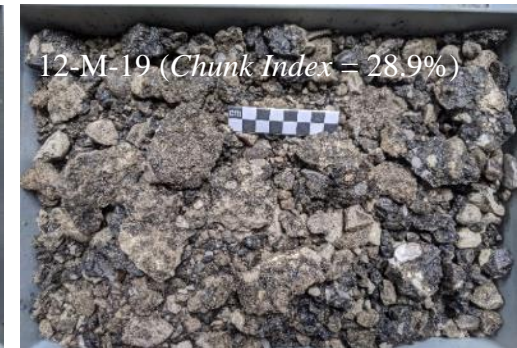
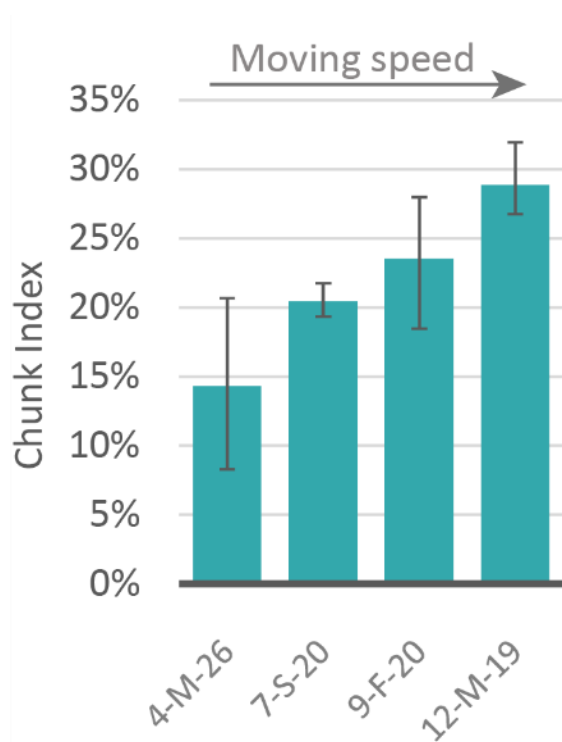
- Das Fräsen wird am häufigsten aus der Prozessperspektive betrachtet, beispielsweise durch Verbesserung der Fräszähne, der Frästiefe, des Energieverbrauchs und anderer Parameter.
- Es gibt fast keine Untersuchungen darüber, wie das Fräsen die Eigenschaften von RAP beeinflusst.
- Das RAP ist ein wichtige Ausgangsmaterial für die Asphaltherstellung.



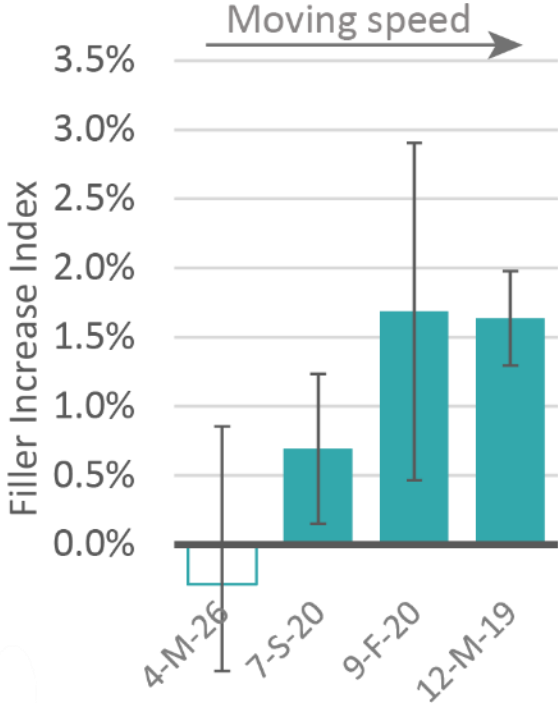
Die Idee: Fräsparameter wirken sich auf die RAP-Eigenschaften aus. Aber welche Parameter und wie?

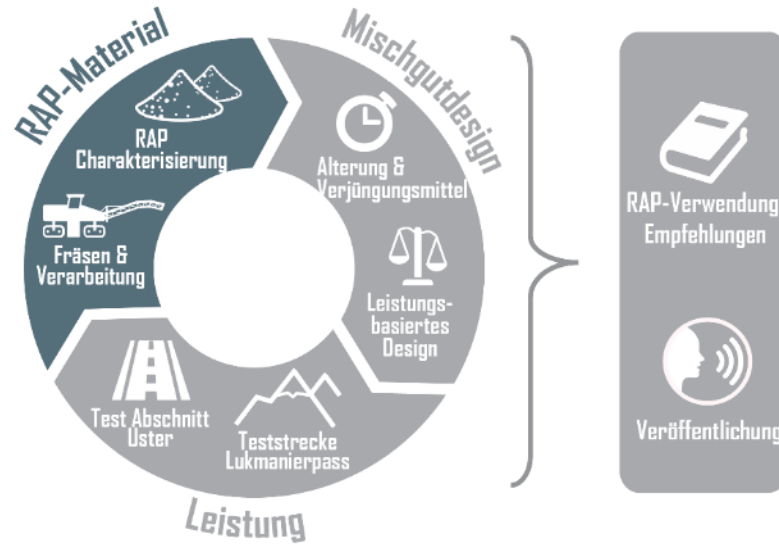


Ergebnis: Die RAP-Agglomerationen steigen mit zunehmender Geschwindigkeit



Ergebnis: Es wird mehr Füller erzeugt mit zunehmender Geschwindigkeit





RAP Material: RAP Charakterisierung

Studie



RAP-
Charakterisierung

Aufgaben

Entwicklung vereinfachter Testmethoden zur schnellen Charakterisierung von RAP ohne Extraktion des Bindemittels.

Aktivitäten während des HighRAP-Projekts

- Ein Versuch unter realen Bedingungen zur Bewertung der Eignung von zwei Methoden zur Charakterisierung von RAP ohne Extraktion von Bindemitteln.

Fragmentation test

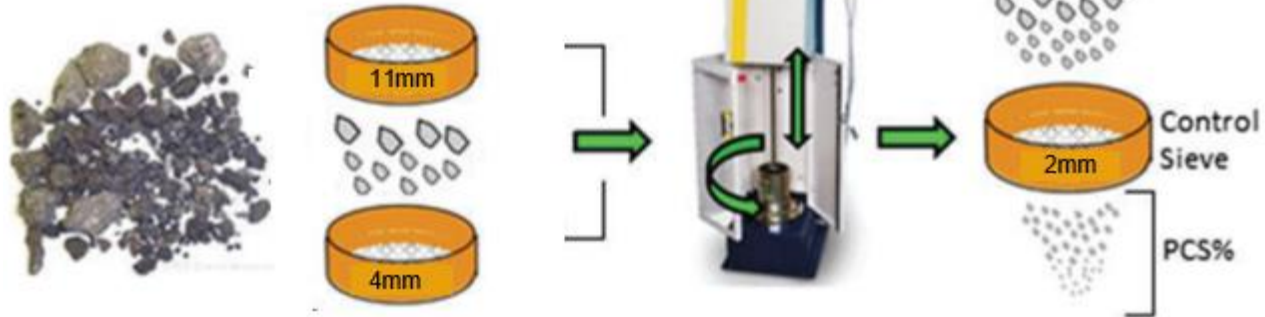
Vorgeschlagen von RILEM

Getestet bei 20 °C

Form mit 150 mm Durchmesser

56 Schläge (5 Schichten)

3 kg Material



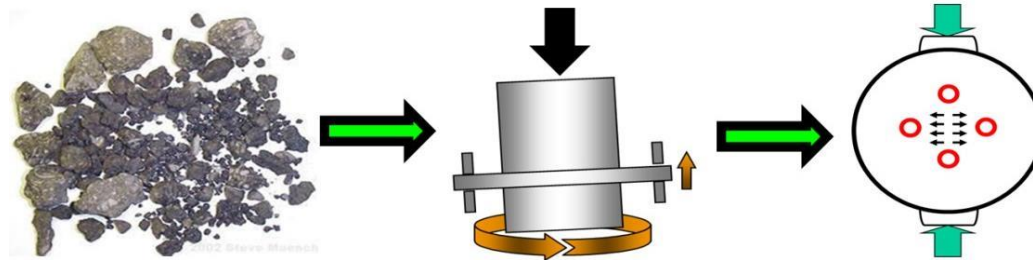
Ergebnis = Passierkontrollsieb (PCS), %

Cohesion test

Vorgeschlagen von RILEM

RAP verdichtet bei 140 °C mit einem Kreiselverdichter (150 mm Form)

Indirekter Zugversuch bei 25 °C



Ergebnis = Indirekte Zugfestigkeit

Ergebnis = N_{flex} Factor

$$N_{flex}Factor = \frac{\text{Tughness to inflection point, kPa}}{\text{postpeak slope at inflection point, kPa}}$$

Schlussfolgerungen

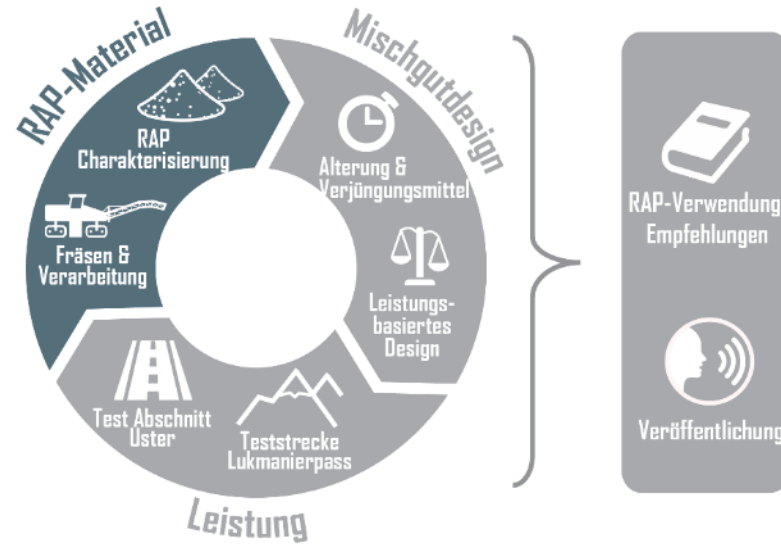
Fragmentierungstest

- Hohe Reproduzierbarkeit
- Empfindlich gegenüber der RAP-Verarbeitungsmethode
- Einfluss der RAP-Agglomerationen und der Zähigkeit der Gesteinskörnung unklar

Kohäsionsprüfung

- Empfindlich gegenüber dem Erweichungspunkt des Bindemittels
- Empfindlich gegen Alterung
- Nicht empfindlich gegenüber dem Bindemittelgehalt

- Keiner der Tests ist einsatzbereit
- Weitere Forschung ist notwendig



RAP-Variabilität

Aufgaben

Bestimmung der Auswirkungen der RAP-Homogenität

Aktivitäten während des HighRAP-Projekts

Eine theoretische Berechnung zur Bestimmung der Auswirkungen der RAP-Inhomogenität in Abhängigkeit vom RAP-Gehalt

Angenommene Variabilitätswerte (aber repräsentativ für die Praxis)

Property	In mix design	Min	Max
RAP binder content, %	4.6	4.1	5.1
RAP binder penetration, dmm	25	15	35
Rejuvenator content, % from RAP binder	6.2	6.0	6.4

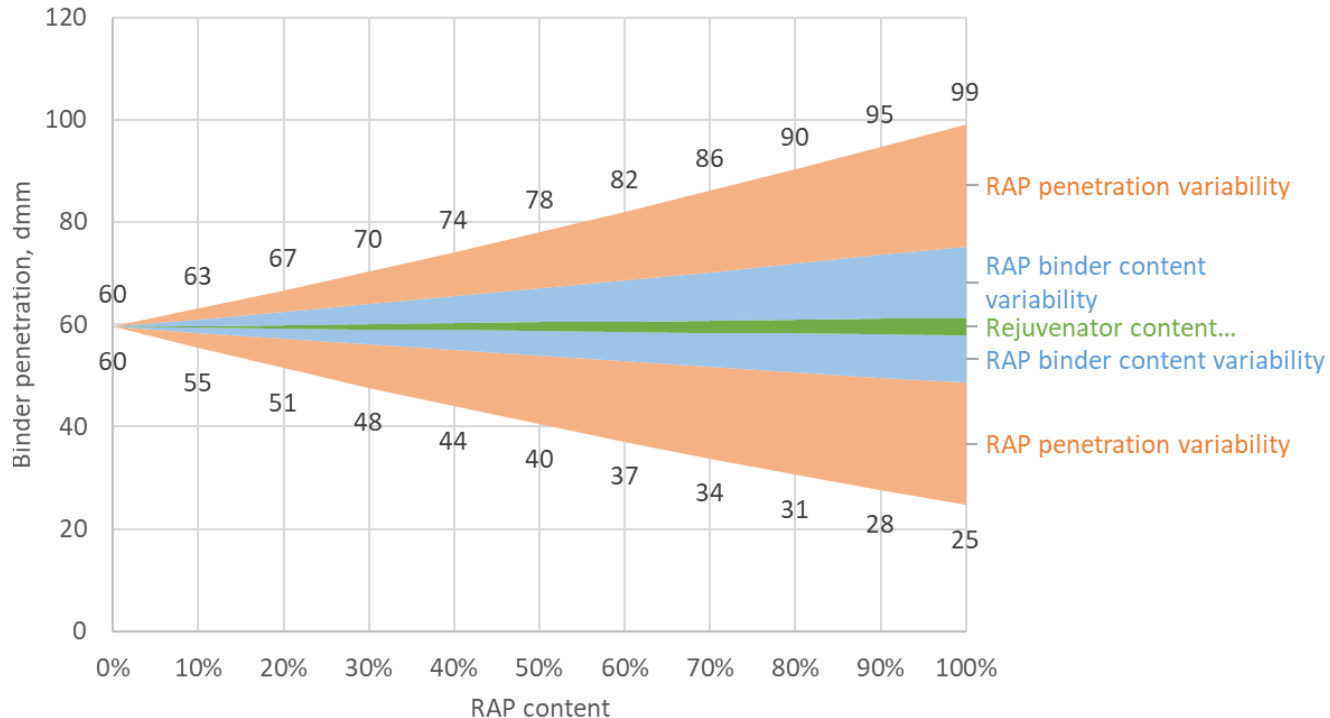
Berechnung der Bitumenpenetration

$$\log P = \frac{A \cdot \log P_a + B \cdot \log P_b}{100}$$

Verjüngungsmittel-Effekt berechnen

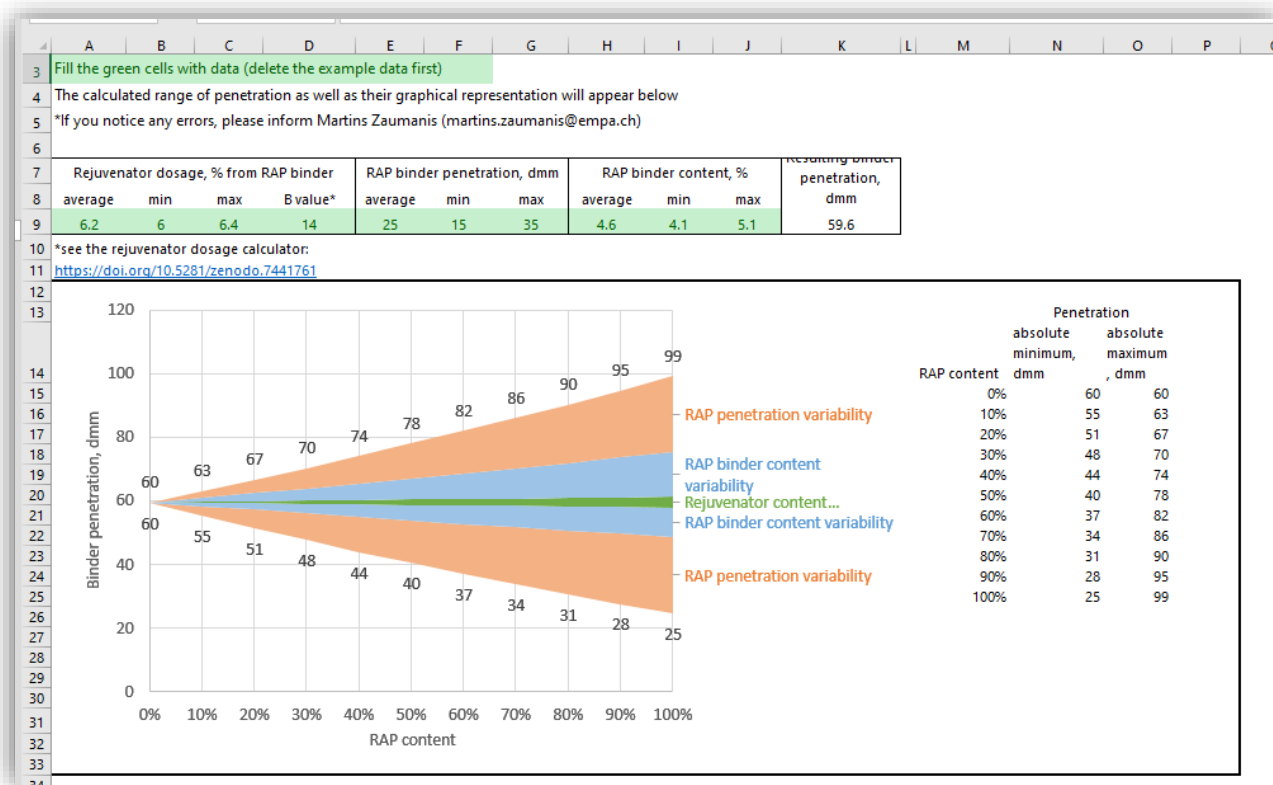
$$Dose = \frac{\log_e \frac{PEN}{A}}{B}$$

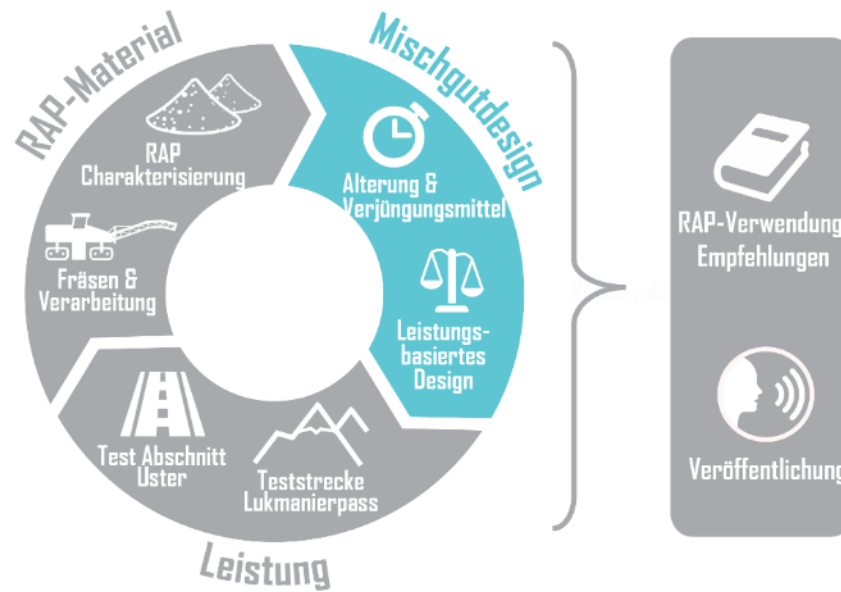
Variabilität des RAP-Bindemittelpenetration in Abhängigkeit vom RAP-Gehalt




RAP-Variabilitäts-Rechner verfügbar :

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7441805>

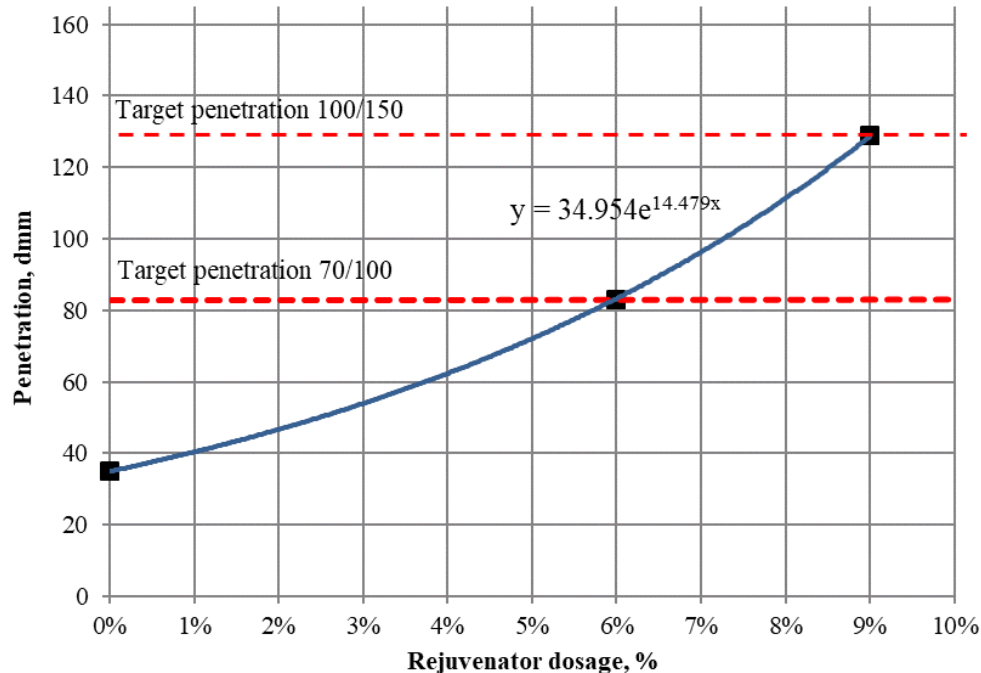




Mischgutdesign: Verjüngungsmittel

Studie	Aufgaben	Aktivitäten während des HighRAP-Projekts
 Alterung & Verjüngungsmittel	Entwicklung eines Alterungsprotokolls für das Mischgutsdesign zur Bewertung der Dauerhaftigkeit von verjüngtem RAP.	<ul style="list-style-type: none"> • Alterung von Asphalt im Labor zum Vergleich mit im Werk hergestellten Mischgut und Strassenbohrkernen. • Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung der Alterungsbeständigkeit von Verjüngungsmittel.

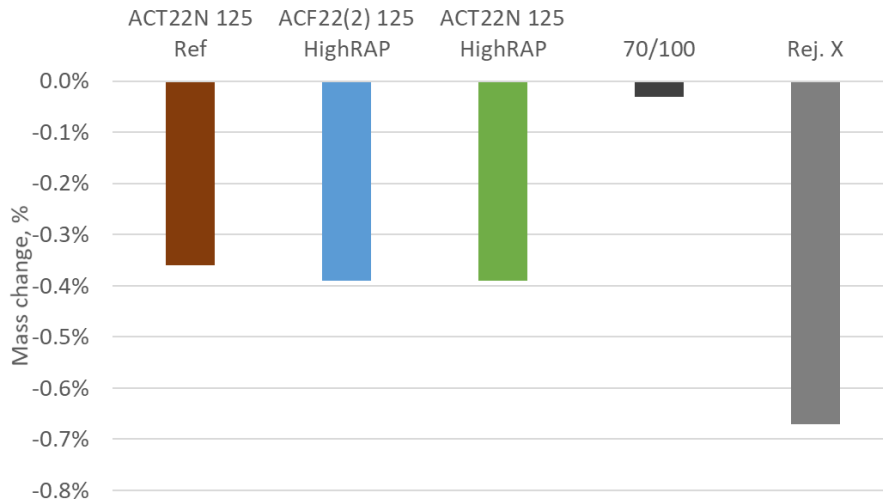
Schritt 1: Verjüngungsmitteldosierung: zum Erreichen der Zielpenetration



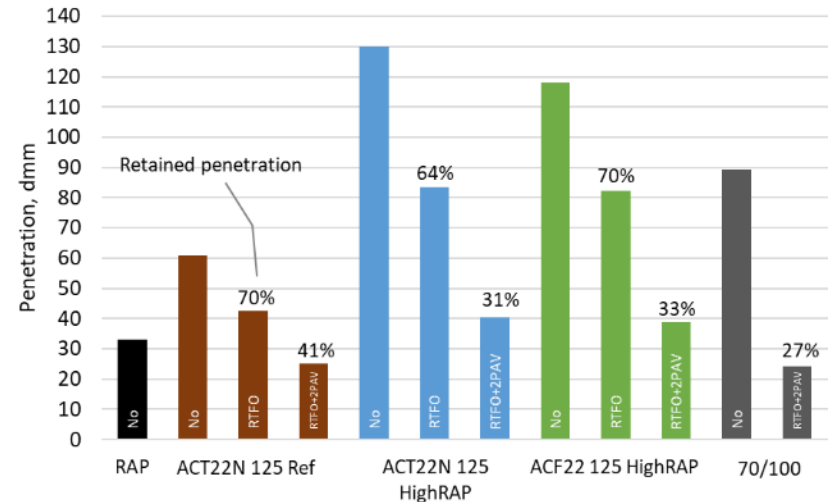
$$Dose = \frac{\log_e \frac{PEN}{A}}{B}$$

Schritt 2: Bestimmung der Alterungsbeständigkeit

1) Massenänderung während des RTFO-Tests

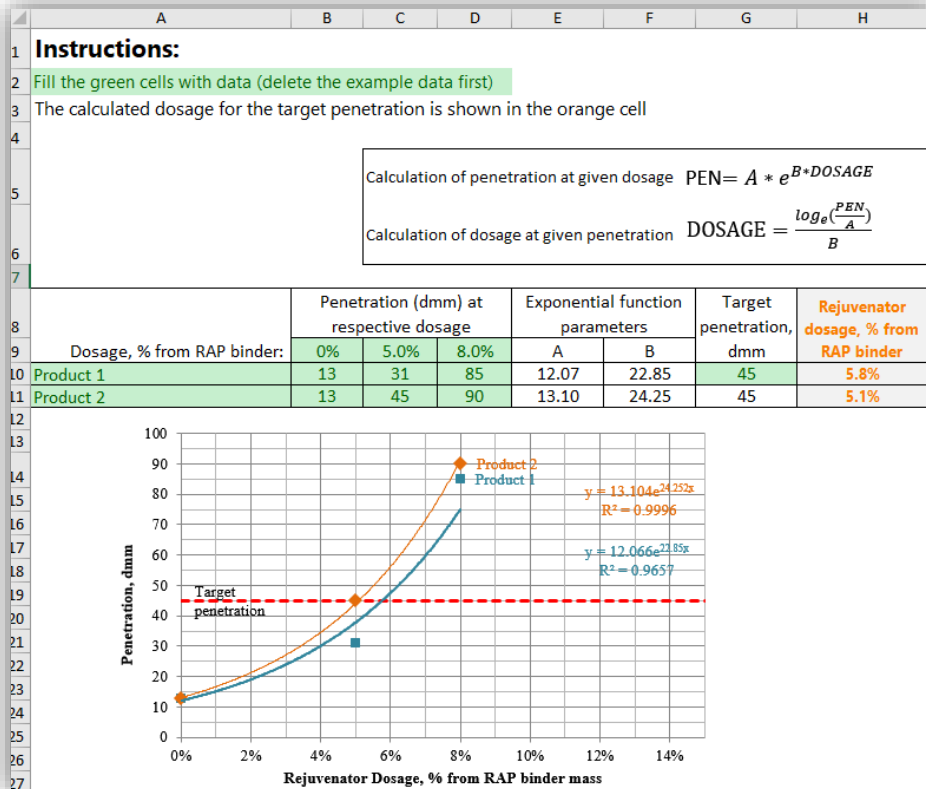


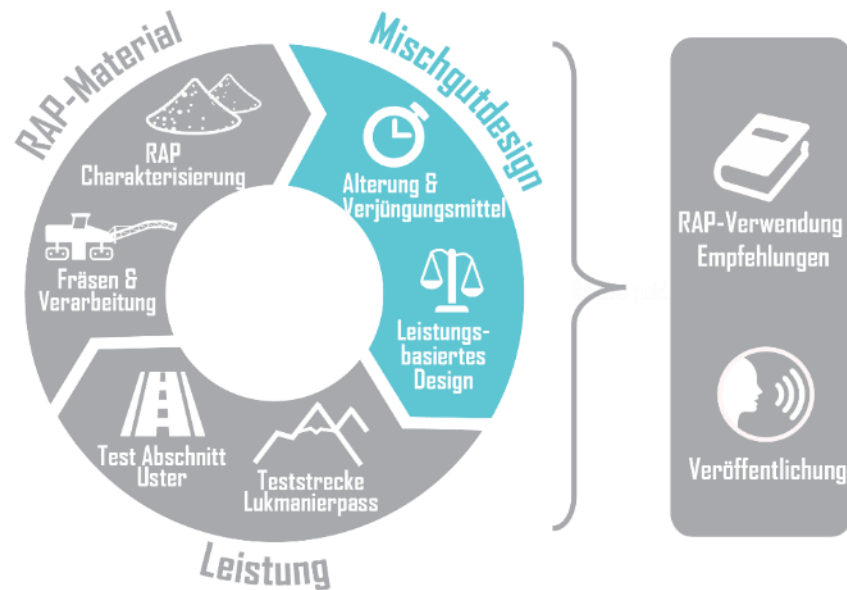
2) Penetrationsänderung nach RTFO+2PAV



Rechner für die Dosierung von Verjüngungsmitteln verfügbar:

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7441805>





Mischgutdesign: Leistungs-basiertes Design

Studie



Leistungsorientierte
Mischgutsentwicklung

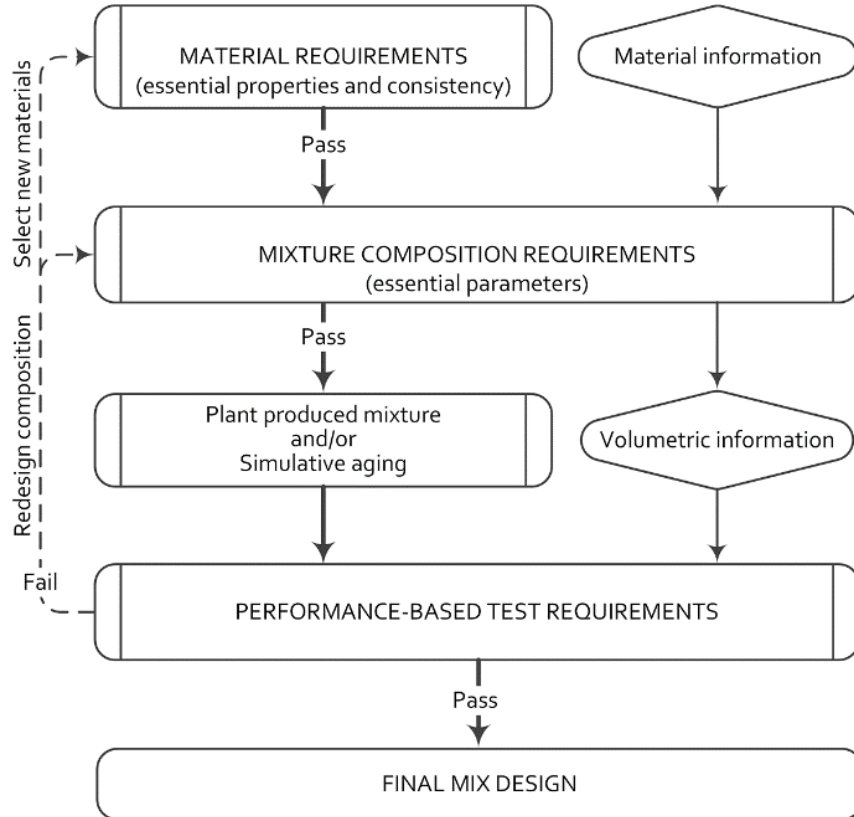
Aufgaben

Entwicklung eines Verfahrens, das es ermöglicht, Mischgut mit hohem RAP-Anteil zu entwickeln, das in Bezug auf Leistung und Dauerhaftigkeit mit konventionellem Asphalt vergleichbar ist.

Aktivitäten während des HighRAP-Projekts

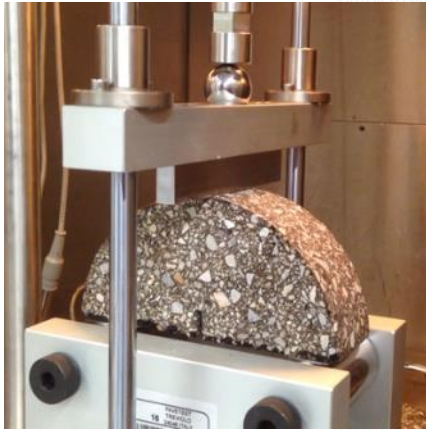
- Verwendung eines leistungsorientierten Mischgutdesigns für die in Teststrecken eingebauten Mischgüter.
- Entwicklung von Akzeptanzkriterien für die halbkreisförmige Biege- und zyklische Druckprüfung.

Leistungsorientiertes Mischgutdesign

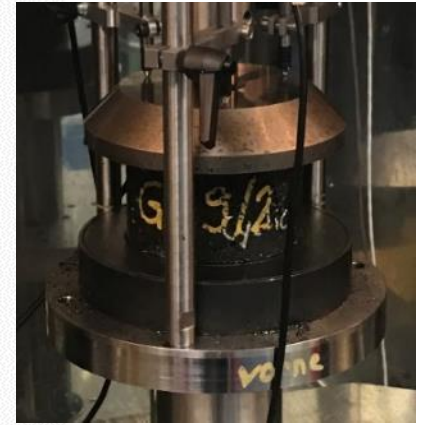
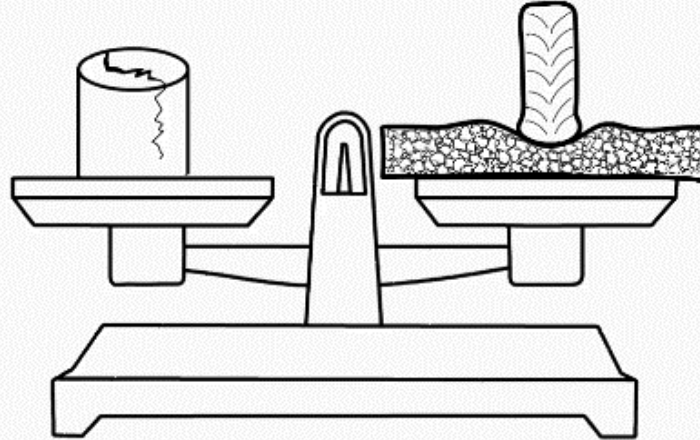


- Optimieren des Gehalts der Verjüngungsmittel für das Mischgut basierend auf den Ergebnissen der Zielpenetration.
- Prüfen der Rissanfälligkeit und Neigung zur plastischen Verformung, um den Zielbindemittelgehalt und andere Designparameter auszugleichen.
- Falls notwendig, Durchführen zusätzlicher Bindemittel- und Mischgutprüfungen, bevor das endgültige Rezept genehmigt wird.

Entwickelte Kriterien

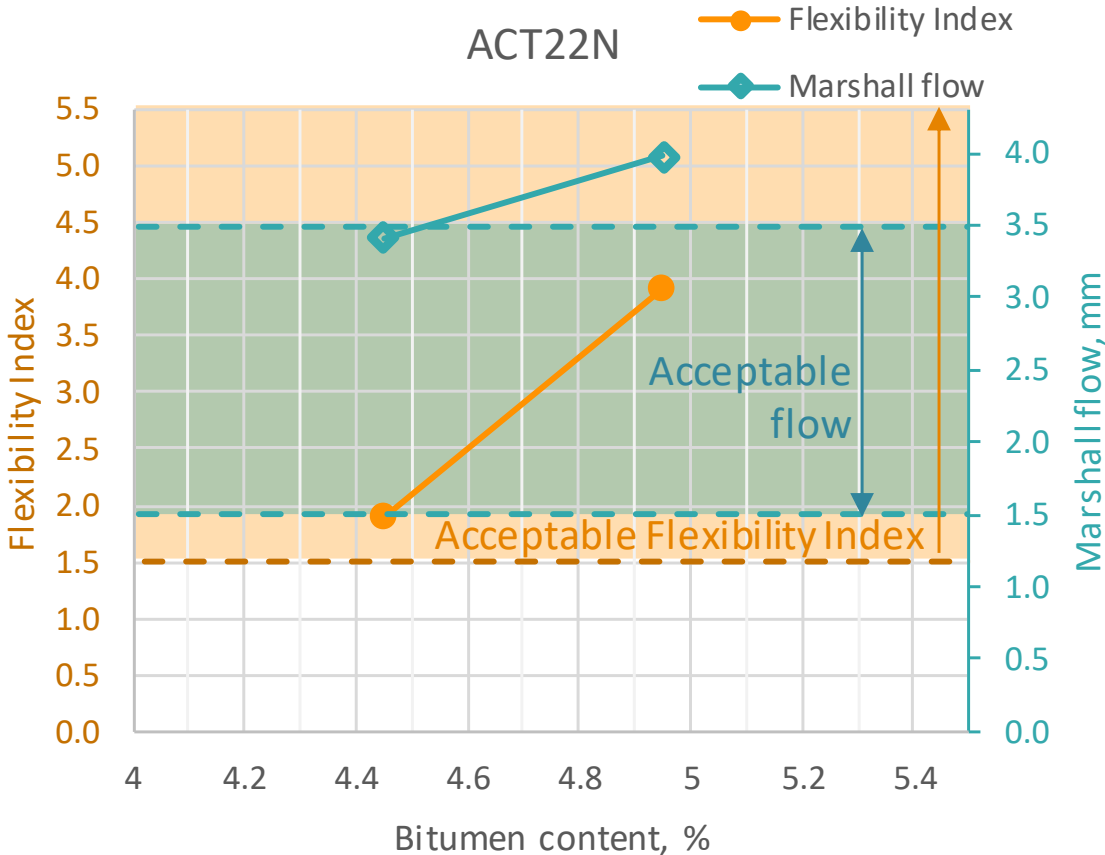
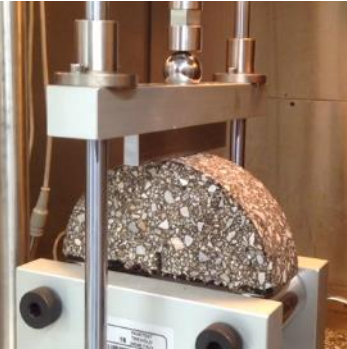


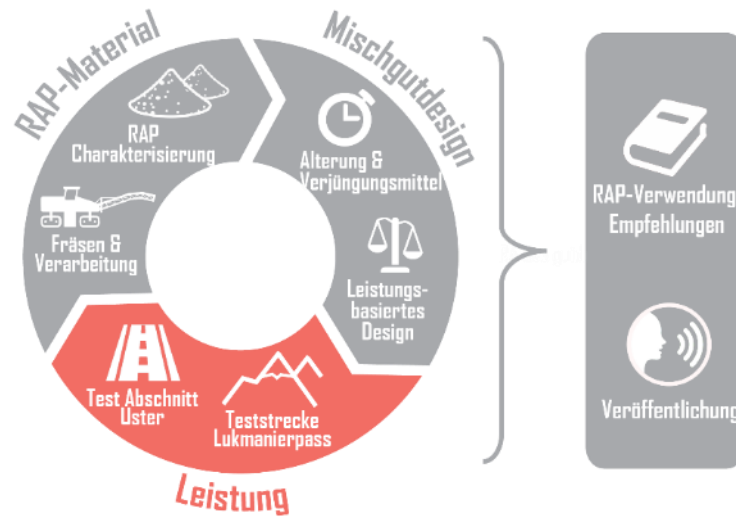
Rissanfälligkeit:
Halbzylinder-Biegeversuch



Prüfung der plastischen Verformung:
Druckschwellversuch

Beispiel für ein leistungsorientiertes Mischgutdesign





Teststrecke: Uster

Studie



Teststrecke im Uster

Aufgaben

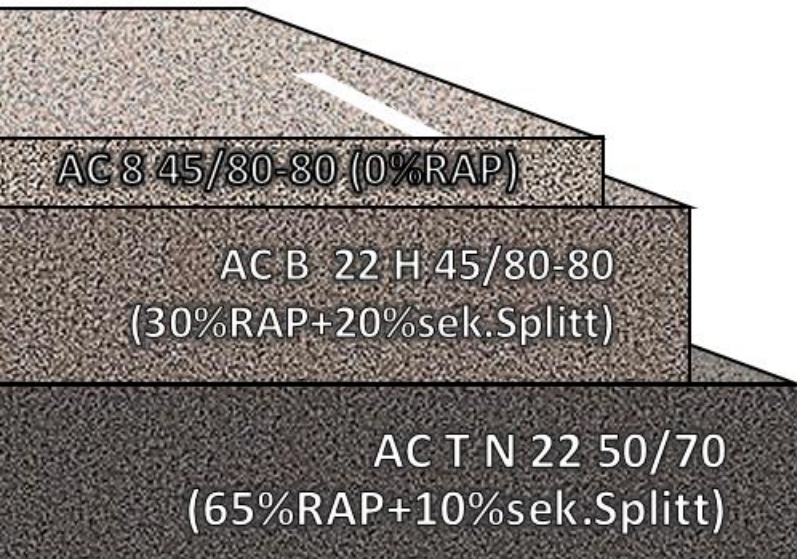
Evaluierung der grosstechnischen Herstellung und des Einbaus von Mischgut mit hohem RAP-Anteil für stark befahrene Strassen.

Aktivitäten während des HighRAP-Projekts

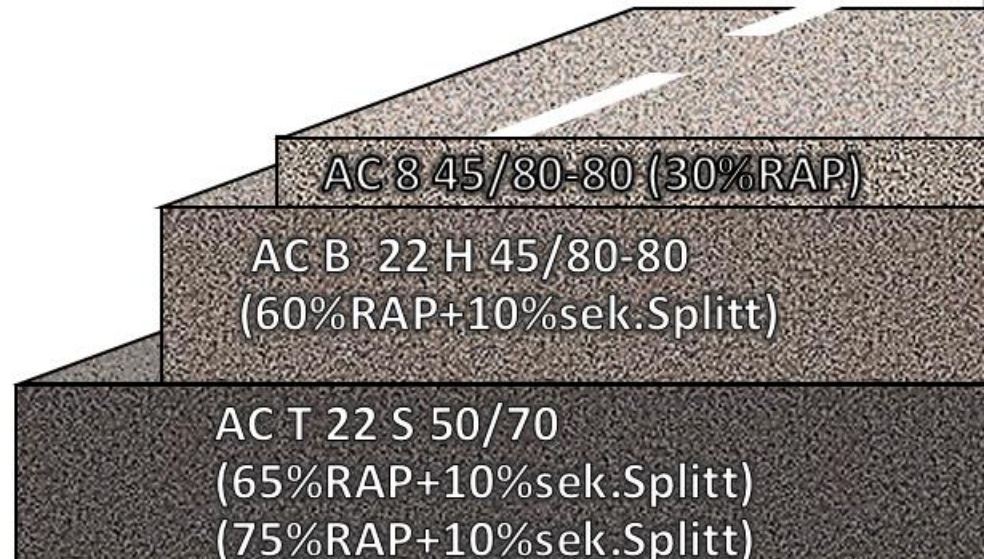
- Bau einer Versuchsstrecke in Uster zur Validierung der Leistungsfähigkeit von polymermodifiziertem Mischgut mit hohem RAP-Anteil.

Mischgutttypen

Referenz



HighRAP



Herstellung: BHZ AG Asphaltwerk in Volketswil

Verjüngungsmittel im Mischer zugesetzt

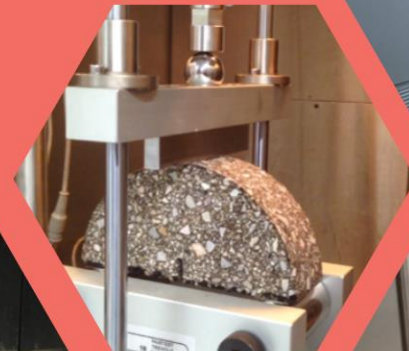
RAP wird in der Ammann Asphaltanlage
auf Produktionstemperatur erwärmt





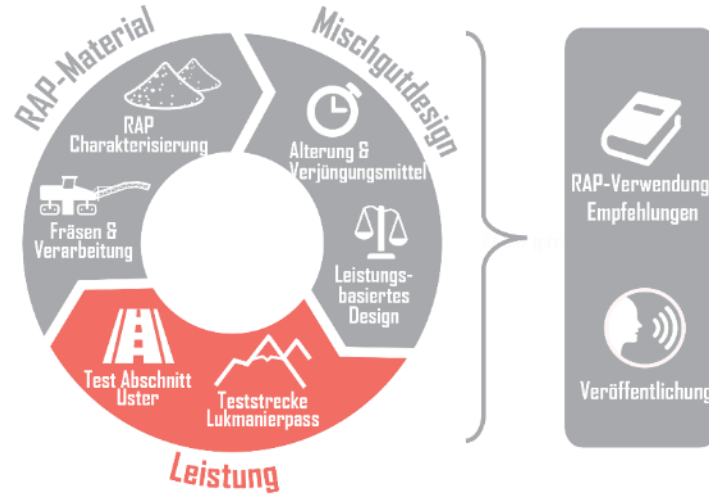
HighRAP research project, Martins Zaumanis, Empa

Die hergestellten Mischguten werden mit Bindemittel- und Mischgutttests gründlich charakterisiert.




Zusammenfassung

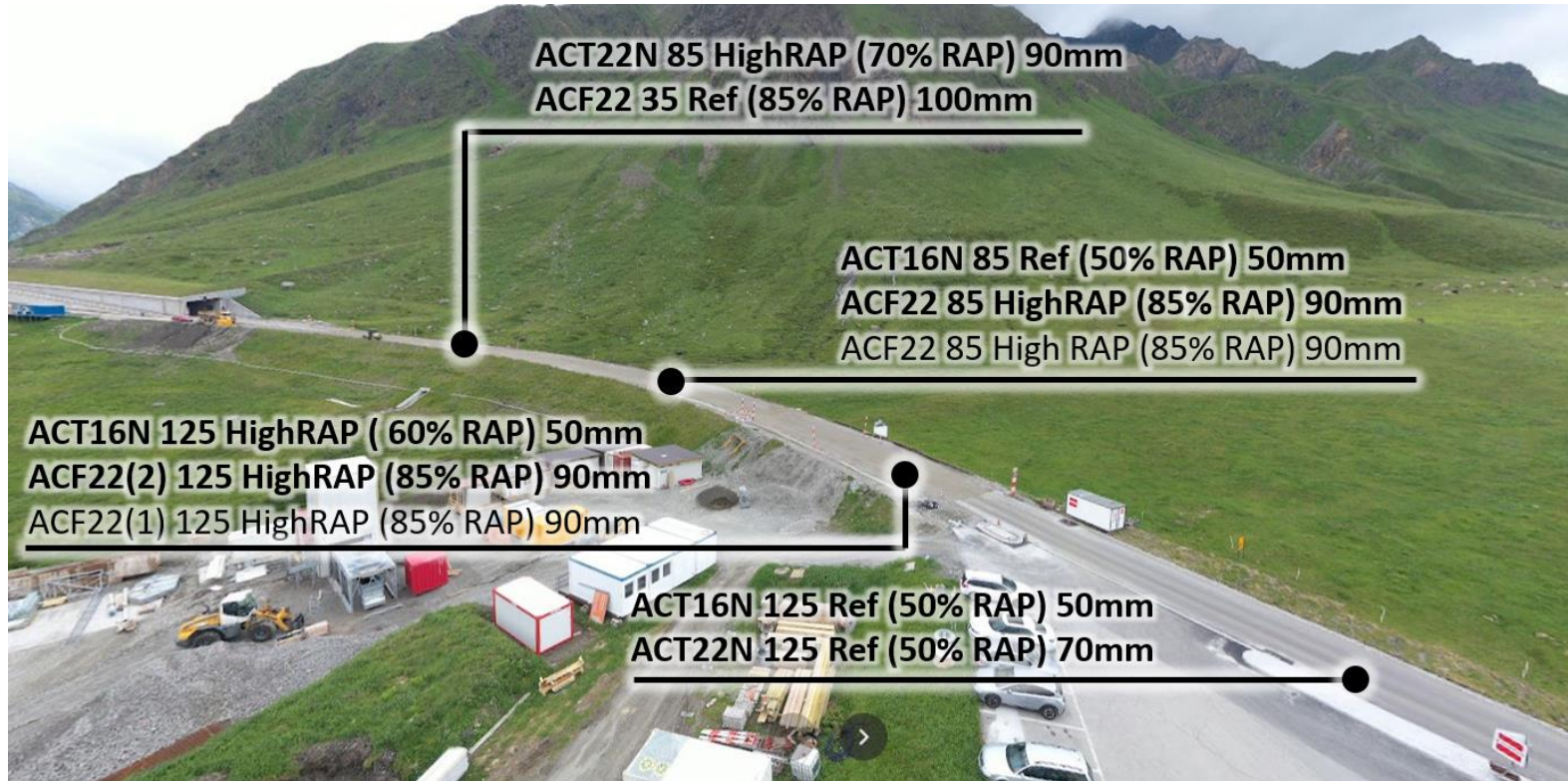
- 30 % RAP in der Deckschicht mit guter Leistung in der Klasse PmB 45/80-80, aber mit 60 % RAP nicht möglich
- Mit 40-50 % RAP wahrscheinlich möglich PmB 45/80-65 Klasse zu erreichen
- 65 % RAP in unmodifizierter Binderschicht ergab gute Leistung



Teststrecke: Lukmanierpass

Studie	Aufgaben	Aktivitäten während des HighRAP-Projekts
 <p>Teststrecke am Lukmanierpass</p>	<p>Evaluierung der grosstechnischen Herstellung und des Einbaus von Mischgut mit hohem RAP-Anteil für Strassen in Höhenlagen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Bau einer Teststrecke auf dem Lukmanierpass zur Validierung der Leistungsfähigkeit von Trag- und Fundationsschichtmischguter mit hohem RAP-Anteil.

Mischguttypen



Herstellung: Asphaltwerk der Catram AG in Untervaz

Verjüngungsmittel zu kaltem
RAP hinzugefügt



RAP auf Produktionstemperatur
erwärmt im Ammann - Contimix RAH
100% und im Ammann Universal 300

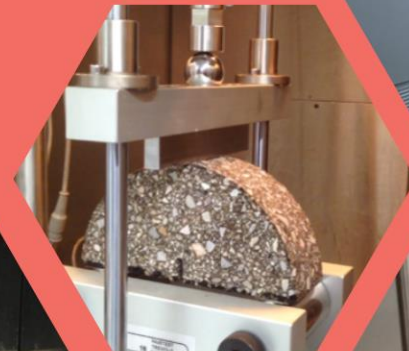




1 Jahr nach der Bau: keine Probleme

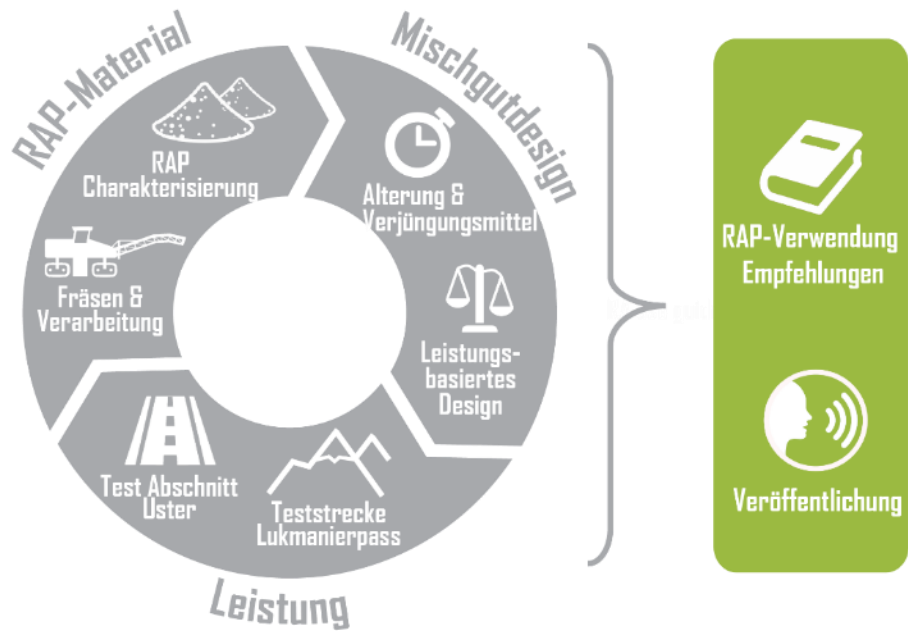


Die hergestellten Mischguten werden mit Bindemittel- und Mischgutttests gründlich charakterisiert.



Zusammenfassung

- 85 % RAP wurde in Fundations-schichten mit guter Leistung verwendet
- 60-70 % RAP wurde in Tragschichten mit guter Leistung verwendet
- Allgemein gute Beständigkeit gegen thermische Rissbildung für Mischgüter mit hohem RAP Gehalt



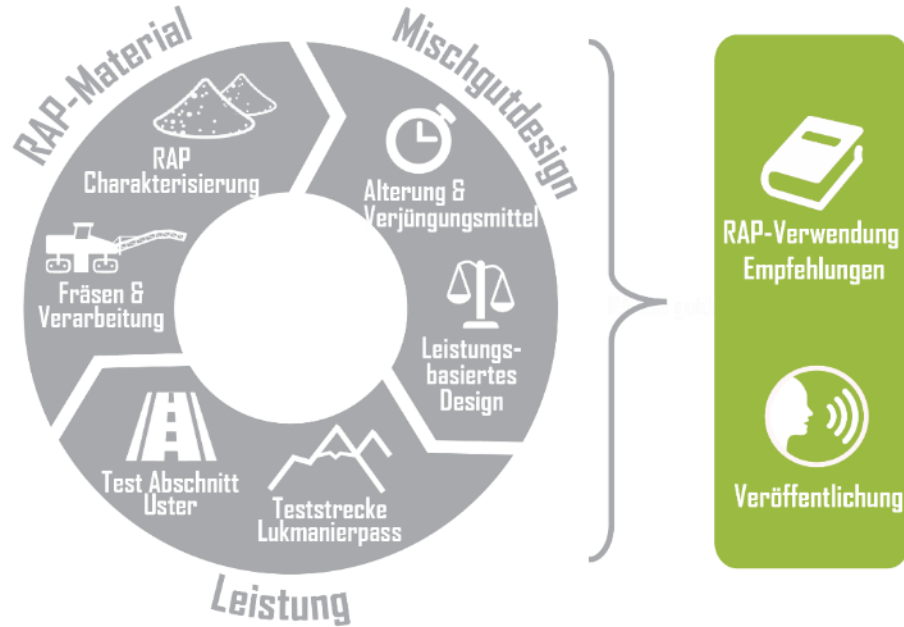
Empfehlungen

EMPFEHLUNGEN

- Verwenden von RAP ≤ 30 % in PmB-Deckschichten (PmB 45/80-80) und ≤ 50 % in der PmB-Trag-/Binderschicht (PmB 45/80-65)
- Verwenden von RAP in Höhenlagen: ≤ 70 % in der Trag-/Binderschicht und ≤ 85 % in der Foundationsschicht
- (Ein höherer RAP-Gehalt kann bei Nachweis der Leistungsfähigkeit in Betracht gezogen werden)
- Die **Homogenität des RAP** muss bei hohem RAP-Anteil gewährleistet sein (insbesondere Bindemittelgehalt und – eigenschaften)
- Verwendung des **leistungsorientierten Mischgutdesigns** für die Erstprüfung (Rissbeständigkeit ist besonders wichtig)

EMPFEHLUNGEN

- Wahl der Dosierung des Verjüngungsmittels basierend auf der **angestrebten Penetration** im Recyclingmischgut
- Validierung des Verjüngungsmittels oder weichen Zugabebindemittels durch Prüfung der **Alterungsbeständigkeit** (RTFO+2xPAV): Masseverlust und Penetration
- Sicherstellen, dass die **konventionellen Anforderungen** an das rückgewonnene Bindemittel und Mischgut erfüllt sind
- Verwenden der **CBF-Indizes zur Optimierung** der RAP-Aufbereitung
- Umsetzung dieser Empfehlungen nach eigener Validierung



Vollständige Ergebnisse

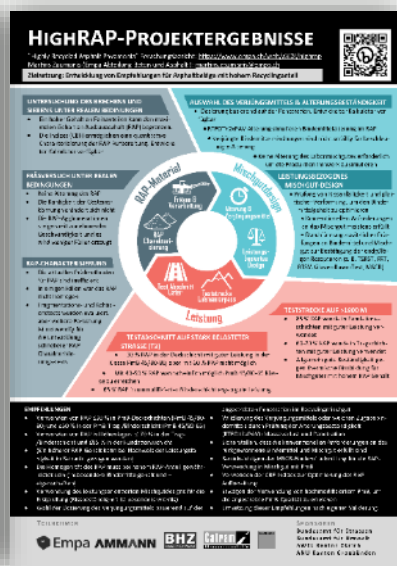
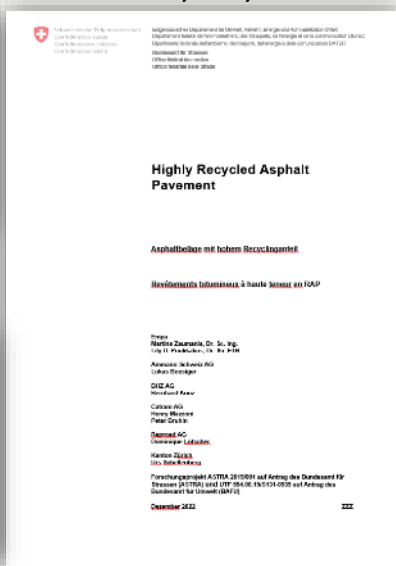
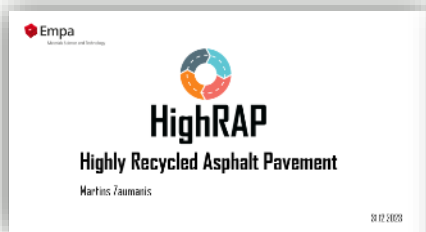
Ergebnisse des HighRAP-Projekts

Bericht &
Zusammenfassung
in DE, FR, EN

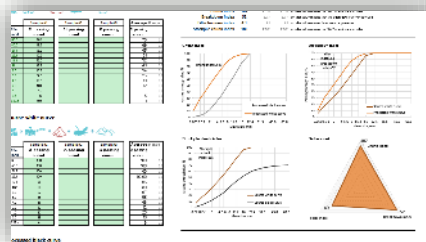
diese Präsentation

One-pager

Herunterladen



Excel-Tabellen



Contact: martins.zaumanis@empa.ch

<https://www.empa.ch/web/s308/highrap>