



# HighRAP

## Highly Recycled Asphalt Pavement

Martins Zaumanis

03.02.2023

# Les allemands ont repris beaucoup de mots du letton !

## Letton–allemand

Brilles – Brille

Kleita – Kleid

Panna - Pfanne

Spēle – Spiel

Papīrs – Papier

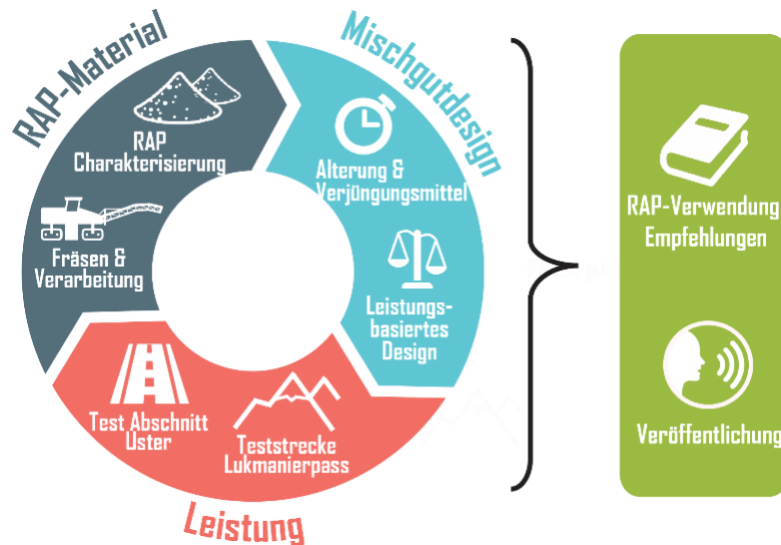
Asfalts – Asphalt

# Objectif du projet

Le but du projet HighRAP est d'élaborer des recommandations qui permettent d'augmenter la teneur moyenne en asphalte recyclé (RAP), sans nuire à la performance du revêtement.



# Aperçu du projet HighRAP



Participants



**AMMANN**



Sponsors

Office fédéral des routes

Office fédéral de l'environnement

AWEL canton de Zurich

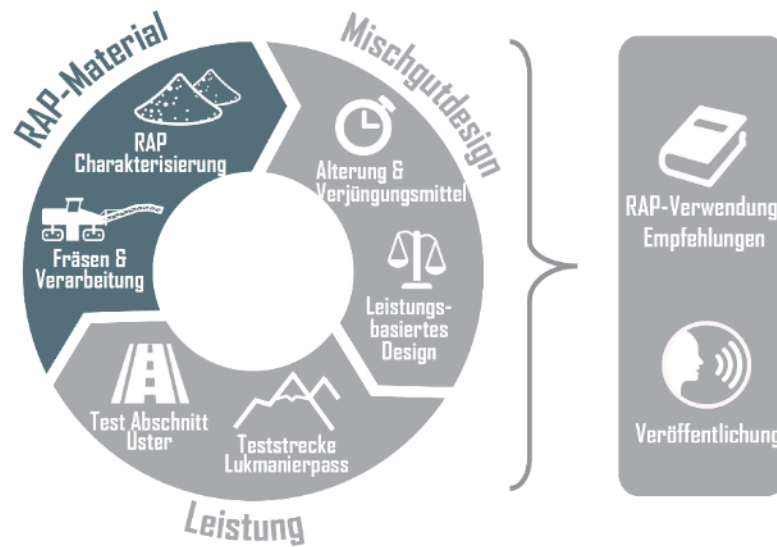
ANU canton des Grisons

Durée: 06.2019-12.2022


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







# Matériel RAP : Traitement RAP

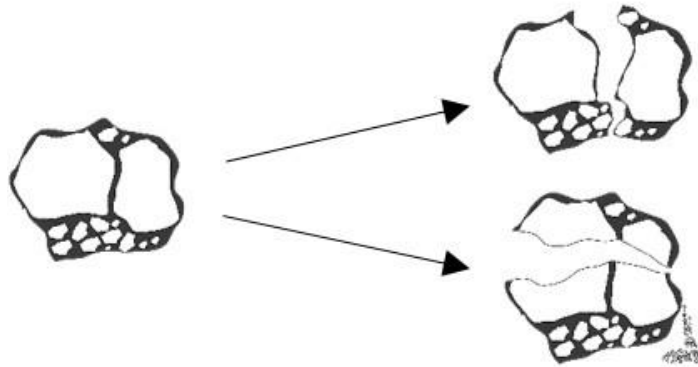
Studie	Aufgaben	Aktivitäten während des HighRAP-Projekts
 RAP-Fräsen und - Verarbeitung	Entwicklung von RAP- Verarbeitungsverfahren, die eine maximale Nutzung von RAP in der Produktion ermöglichen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein Versuch unter realen Bedingungen zur Bewertung der Auswirkungen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

# Quatre différents broyeurs ont été utilisés pour les essais



## Trois indices ont été développés, qui permettent une évaluation du broyage et du tamisage du RAP :

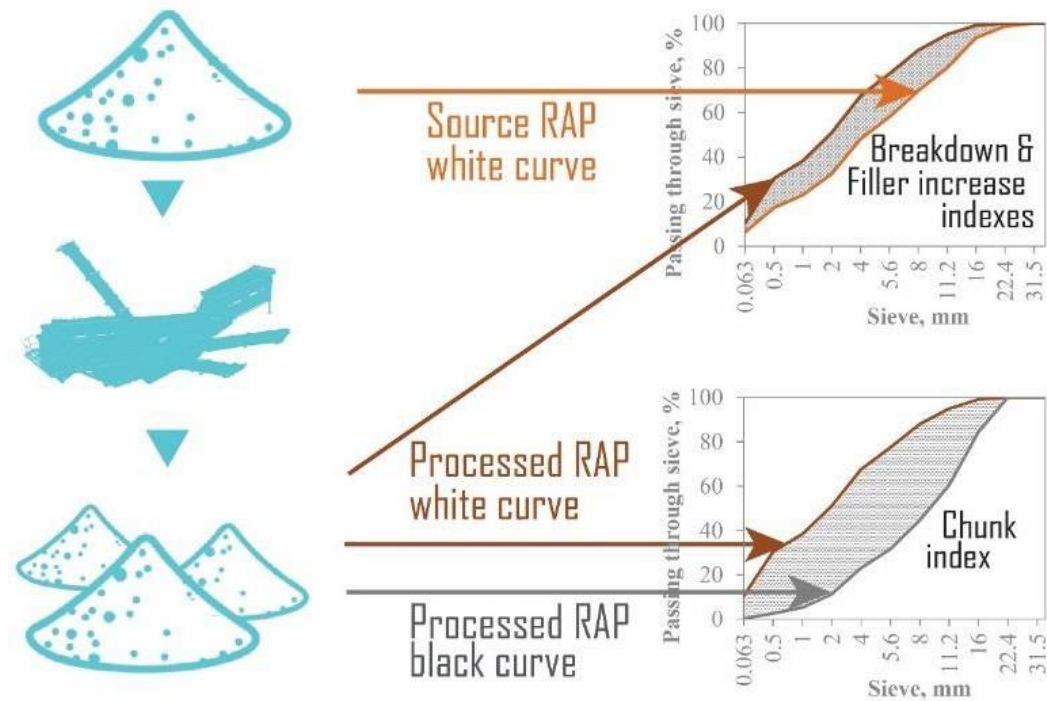
- L'index de fragmentation montre la taille des agglomérations de RAP
- Index de concassage montre la réduction de la taille des particules des agrégats de RAP pendant le traitement.
- L'index d'augmentation de filler montre la quantité de teneur en filler générée pendant le traitement de RAP.



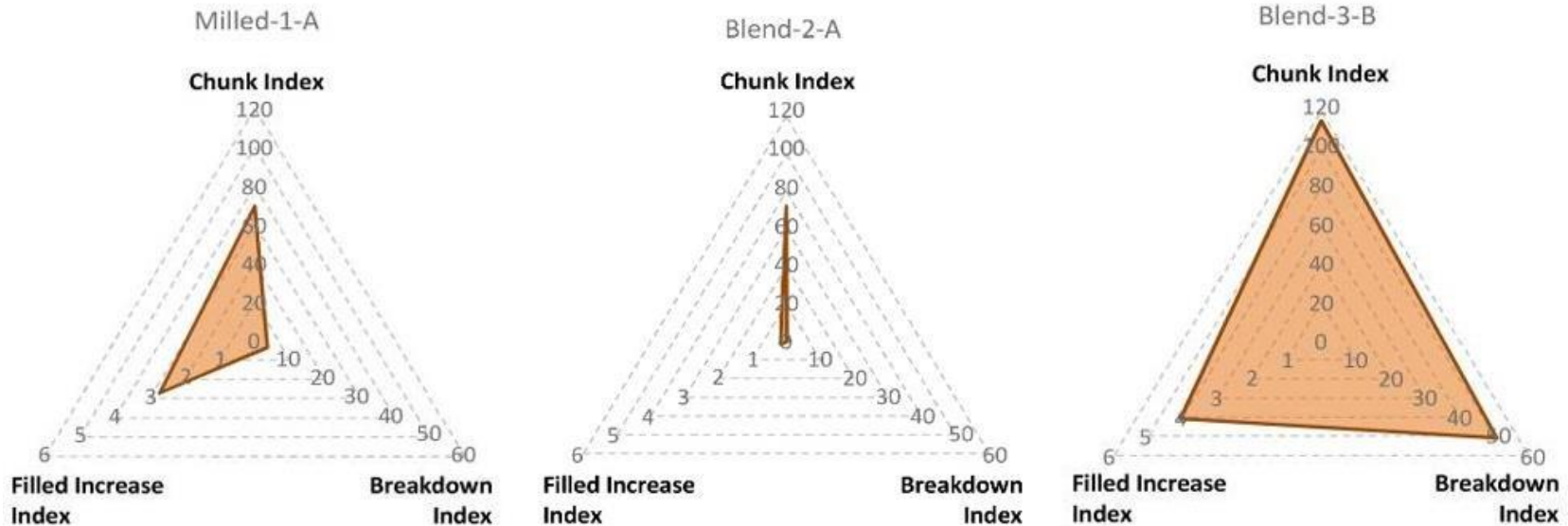
Index de concassage sans agglomération  
Index de fragmentation avec agglomération  
Index d'augmentation de filler



Les index peuvent être définis par une granulométrie de RAP avant et après l'extraction du liant.



Un diagramme en radar permet de comparer les différentes méthodes de traitement du RAP et l'optimisation des paramètres de broyage.



Surfaces plus petites = meilleur traitement


# Calculateur disponible :

<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 (gedkabs@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	69.2			69	0.1
0.3	65.2			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	15.2			15	0.1
40.0	11.0			12	0.1
80.0	7.4			7	0.1
150.0	4.8			5	0.1
300.0	0.8			1	0.1

### Source white curve



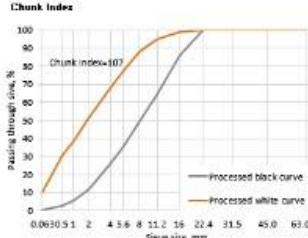
Sieve (mm)	Sample #1 % passing cumul.	Sample #2 % passing cumul.	Sample #3 % passing cumul.	Average % passing cumul.	Range
0.075	100			100	0.1
0.15	100			100	0.1
0.3	100			100	0.1
0.6	100			100	0.1
1.2	100			100	0.1
2.5	96			96	0.1
5.0	80			80	0.1
10.0	67			67	0.1
20.0	55			55	0.1
40.0	46			46	0.1
80.0	32			32	0.1
150.0	23			23	0.1
300.0	9			9	0.1
600.0	6			6	0.1

### Results

Sample ID:    
 Processing technology:    
 Process parameters:    
 Other conditions:  

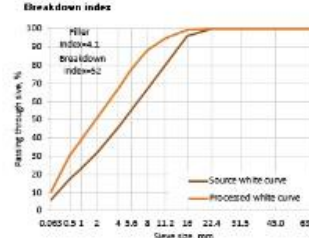
	Result	min	max	
Chunk index	107	93.3	107.3	smaller value means the RAP chunks are smaller
Breakdown index	52	0.0	52.3	smaller value means that the aggregates were processed
Filler Increase index	4.1	4.1	4.1	smaller value means fines are not generated
Stockpile chunk index	185	185.2	185.2	smaller value means the RAP chunks are smaller

#### Chunk index



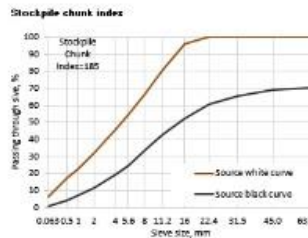
Chunk index: 107

#### Breakdown index



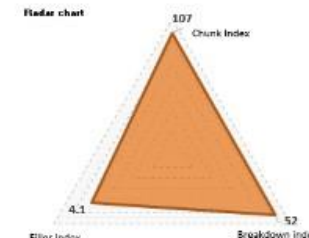
Filler index: 4.1  
Breakdown index: 52

#### Stockpile chunk index



Stockpile Chunk Index: 185

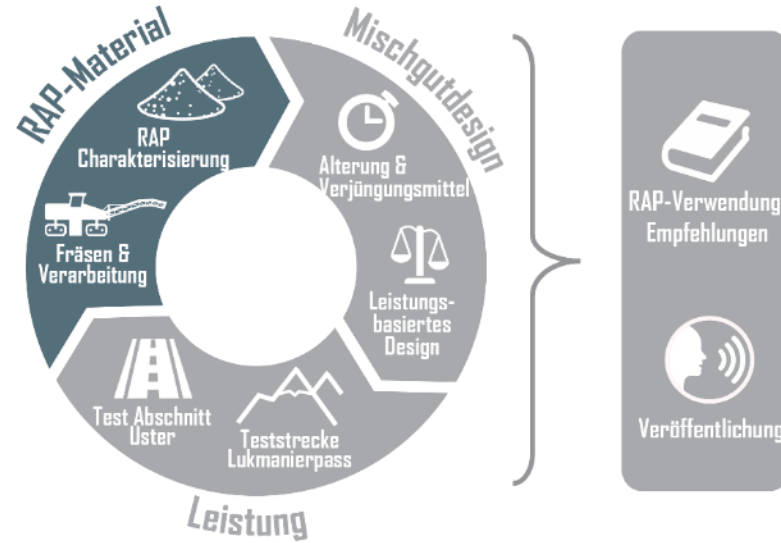
#### Filler chart



107  
Chunk Index

4.1  
Filler Index

52  
Breakdown Index



# Matériel RAP : Fraiseuses de RAP

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"> <li>• Ein Versuch unter realen Bedingungen zur Bewertung der Auswirkungen des FräSENS.</li> <li>• Ein Vollversuch zur Entwicklung einer Methode zur quantitativen Bewertung des Zerkleinerungs- und Siebverfahrens von RAP.</li> </ul>



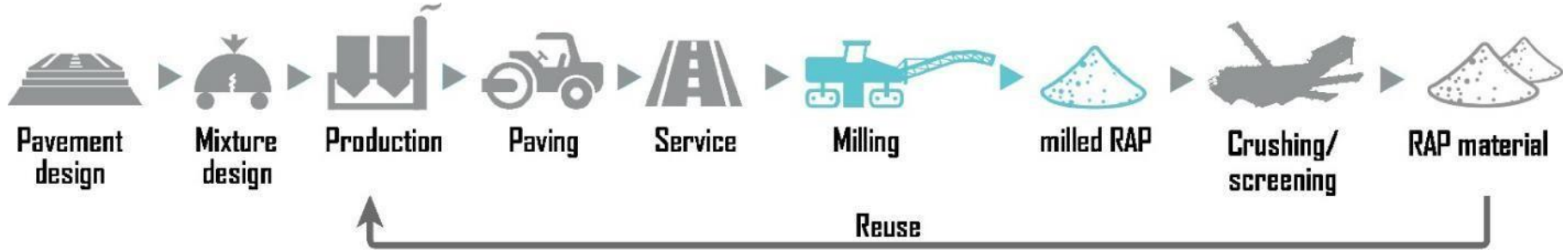
RAP-Fräsen und -Verarbeitung

Entwicklung von RAP-Verarbeitungsverfahren, die eine maximale Nutzung von RAP in der Produktion ermöglichen.

- 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.

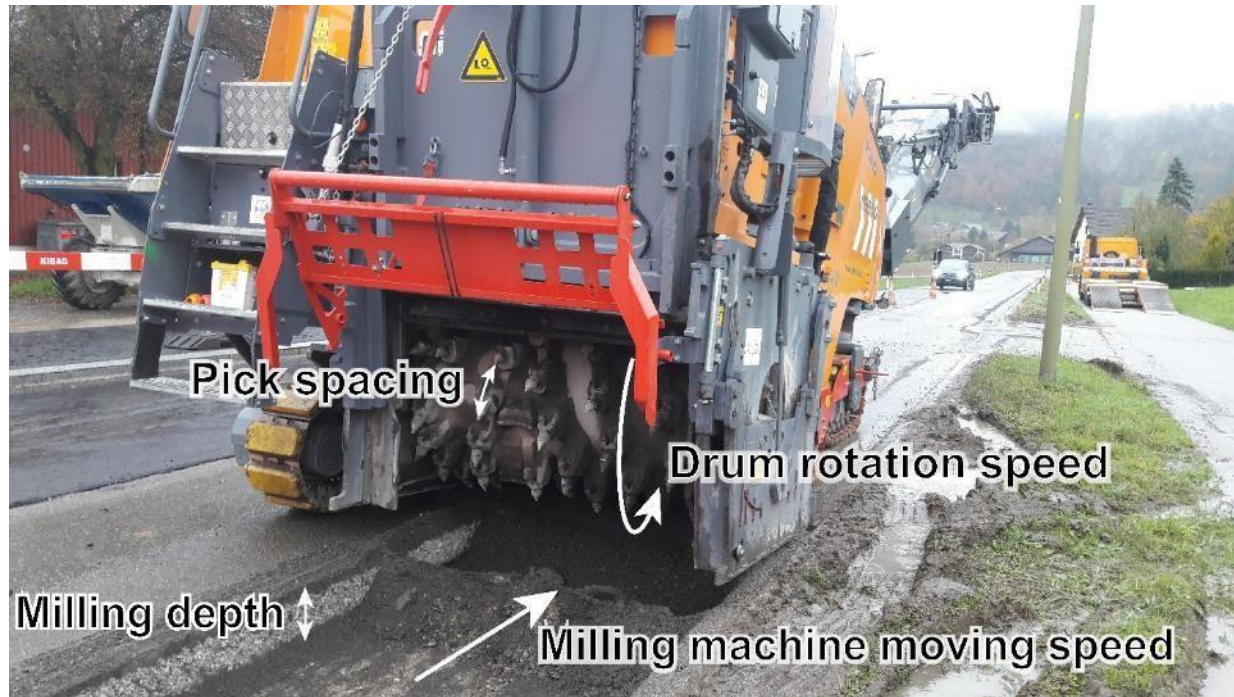
# Pourquoi devons-nous faire des recherches sur le fraisage ?

- Le fraisage est le plus souvent considéré dans la perspective du processus, par exemple par l'amélioration des dents de fraisage, de la profondeur de fraisage, de la consommation d'énergie et d'autres paramètres.
- Il n'existe presque aucune recherche sur la manière dont le fraisage influence les caractéristiques du RAP.
- Le RAP est un matériau de base important pour la production d'asphalte.

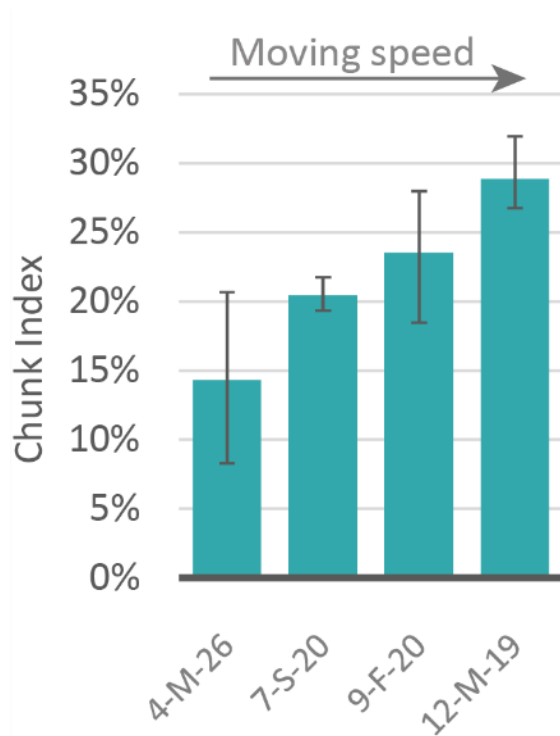




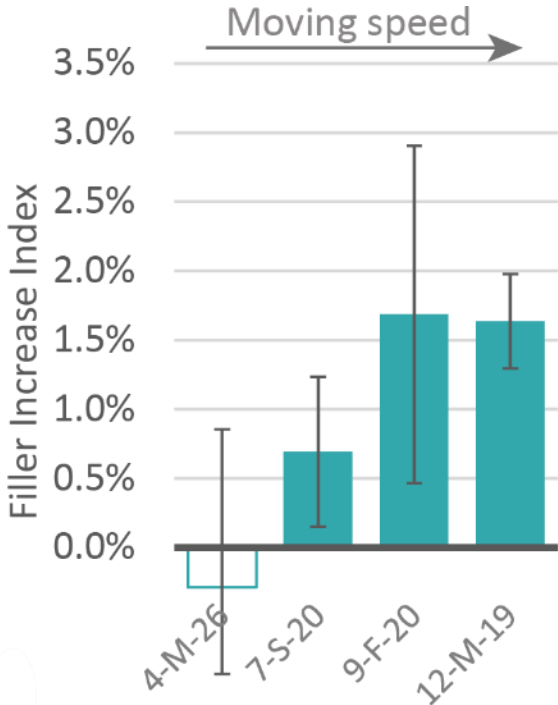
L'idée : les paramètres de fraisage ont un impact sur les caractéristiques du RAP. Mais quels paramètres et comment se fait l'impact ?

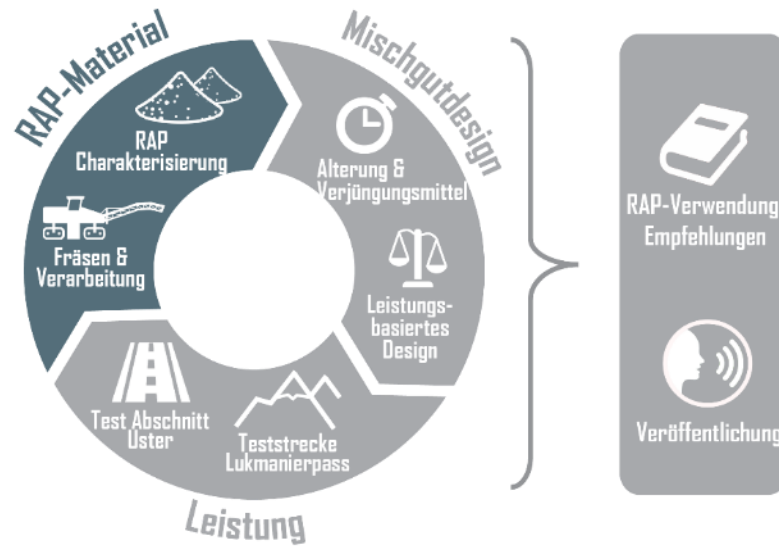


# Résultat : Les agglomérations de RAP augmentent quand la vitesse augmente



Résultat : Davantage de filler est généré avec une vitesse croissante





# Matériel RAP : Caractérisation du RAP

## Studie



## Aufgaben

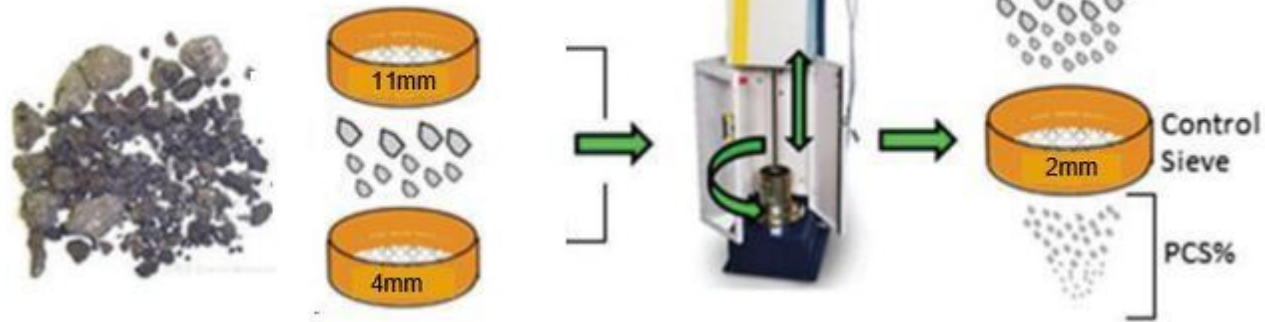
Entwicklung vereinfachter Testmethoden zur schnellen Charakterisierung von RAP ohne Extraktion des Bindemittels.

## 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.

# Test de fragmentation

Proposé par RILEM Testé à 20 °C  
Forme avec un diamètre de 150 mm  
56 frappes (5 couches)  
3 kg de matériau



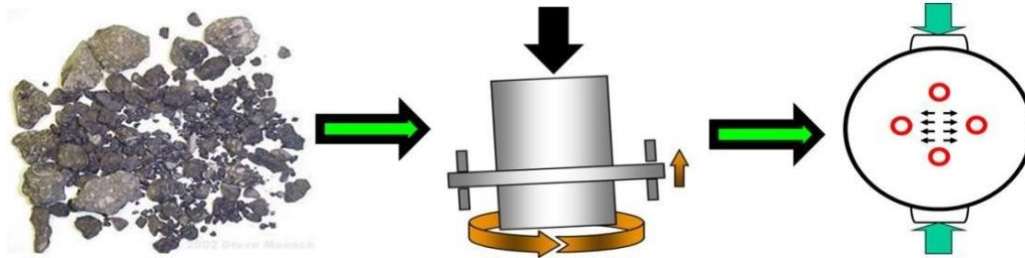
Résultat = Tamisage de contrôle (PCS), %



# Test de cohésion

Proposé par RILEM

Le RAP se compacte vers 140 °C avec un compresseur centrifuge (forme de 150 mm) Essai de traction indirect à 25 °C



Résultat = Résistance à la traction indirecte

Résultat = Facteur  $N_{flex}$

*Tughness to inflection point, kPa*

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

# Conclusions

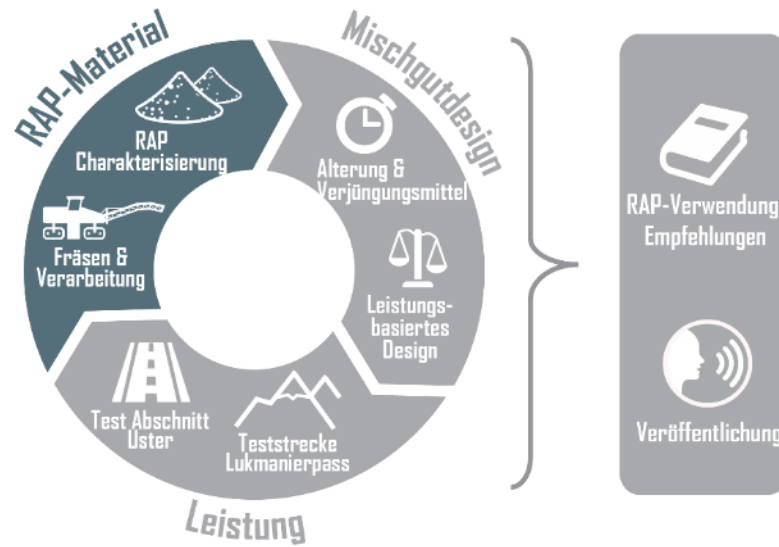
## Test de fragmentation

- Reproductibilité élevée
- Sensible aux méthodes de traitement du RAP
- Influence pas clairement établie des agglomérations du RAP et de la résistance du granulat pierreux

## Contrôle de cohésion

- Sensible au point de ramollissement du liant
- Sensible au vieillissement
- Pas sensible à la teneur en liant

- Aucun des tests n'est opérationnel
- Des recherches plus approfondies sont nécessaires



## Variabilité du

### Tâches

Déterminer les impacts de l'homogénéité du RAP

### Activités pendant le projet HighRAP

Un calcul théorique pour définir les impacts du RAP sur : l'inhomogénéité en fonction de la teneur en RAP

# Valeurs de variabilité supposées (mais représentatives pour la pratique)

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

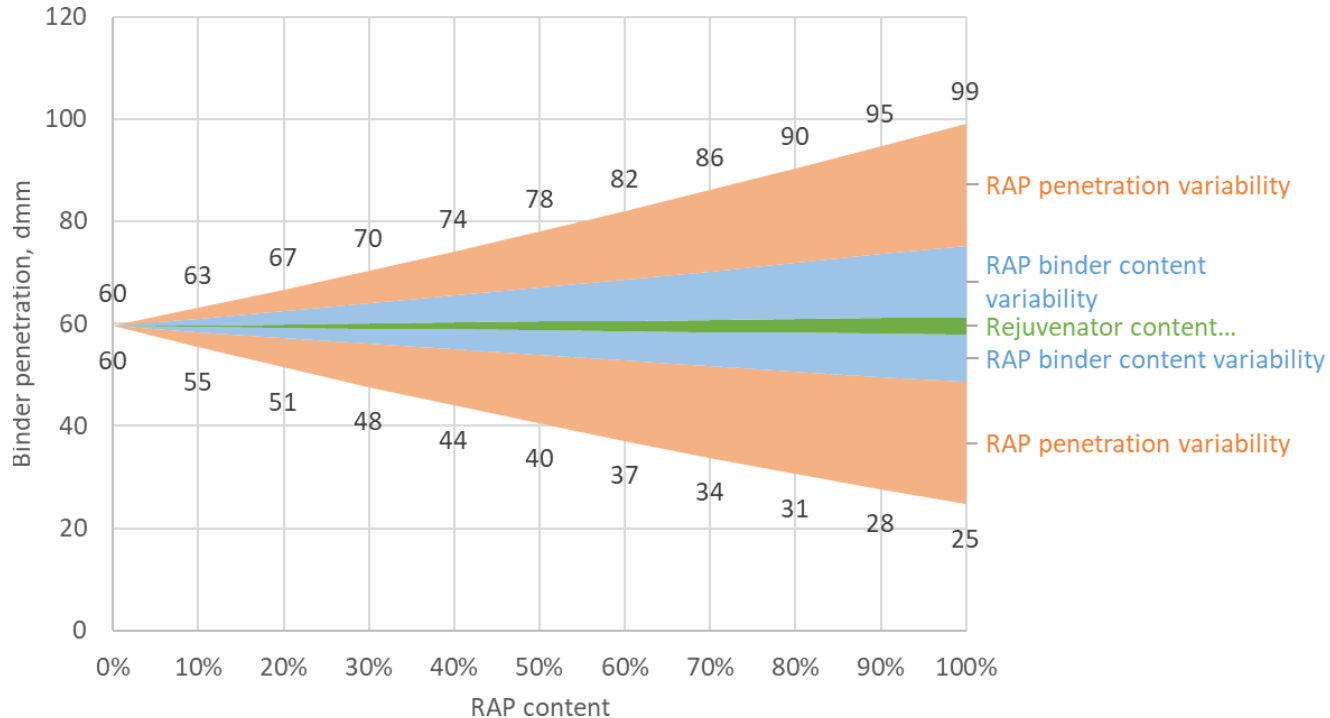
Calcul de la pénétration bitumineuse

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

Calculer l'effet réjuvenateur

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

# Variabilité de la pénétration du liant du RAP en fonction de la teneur en RAP





# Calculateur de variabilité du RAP disponible :

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

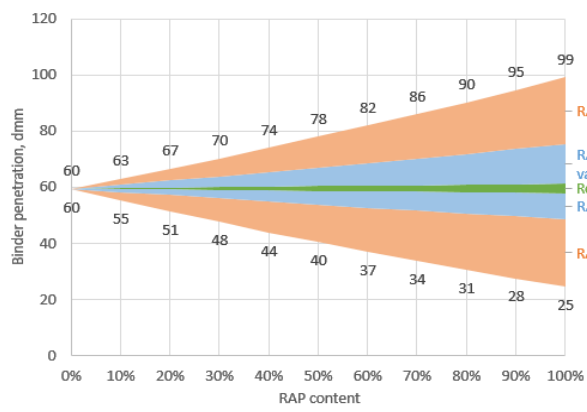
3 Fill the green cells with data (delete the example data first)

4 The calculated range of penetration as well as their graphical representation will appear below

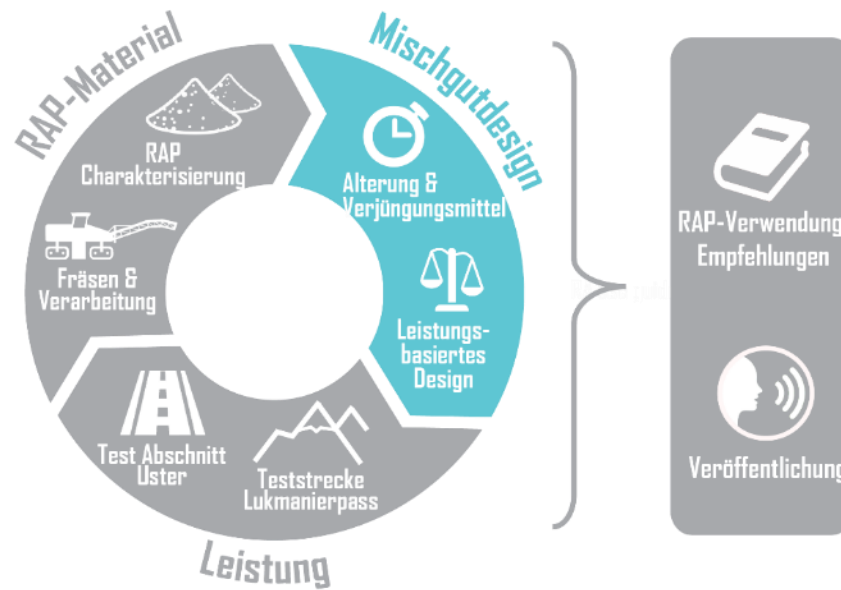
5 \*If you notice any errors, please inform Martins Zaumanis (martins.zaumanis@empa.ch)

Rejuvenator dosage, % from RAP binder				RAP binder penetration, dmm			RAP binder content, %			Rejuvenator binder penetration, dmm
average	min	max	B value*	average	min	max	average	min	max	dmm
6.2	6	6.4	14	25	15	35	4.6	4.1	5.1	59.6


10 \*see the rejuvenator dosage calculator:  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7441761>



RAP content	Penetration	
	absolute minimum, dmm	absolute maximum, dmm
0%	60	60
10%	55	63
20%	51	67
30%	48	70
40%	44	74
50%	40	78
60%	37	82
70%	34	86
80%	31	90
90%	28	95
100%	25	99

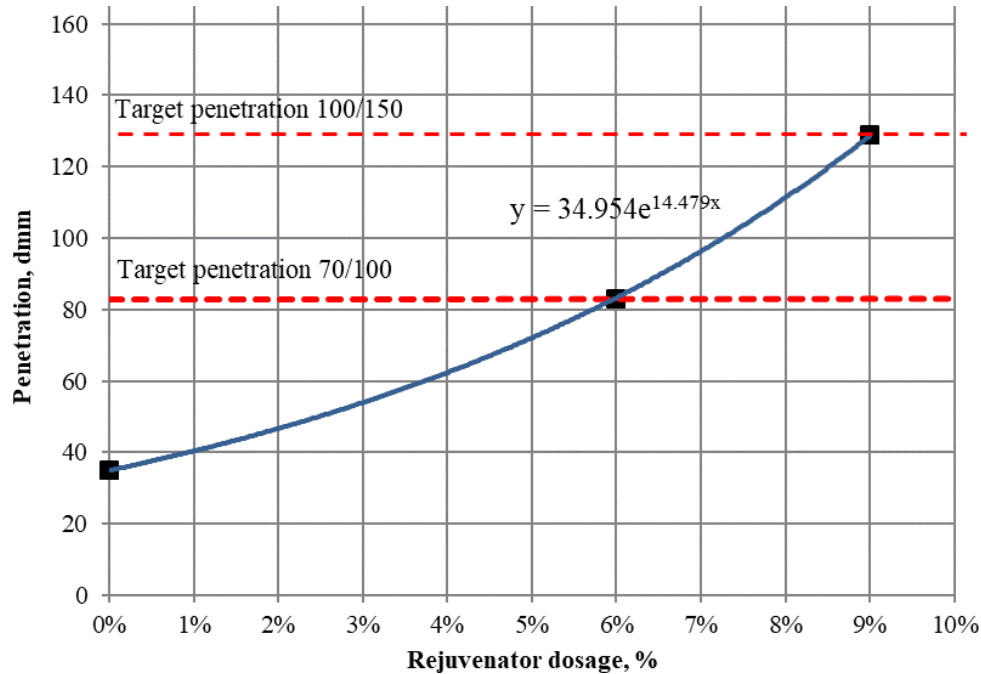


# Conception de l'enrobé : Réjuvénateur

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"> <li>• Alterung von Asphalt im Labor zum Vergleich mit im Werk hergestellten Mischgut und Strassenbohrkernen.</li> <li>• Entwicklung eines Verfahrens zur Bewertung der Alterungsbeständigkeit von Verjüngungsmittel.</li> </ul>

# Etape 1 :

Dosage du réjuvenateur : pour atteindre l'objectif de pénétration

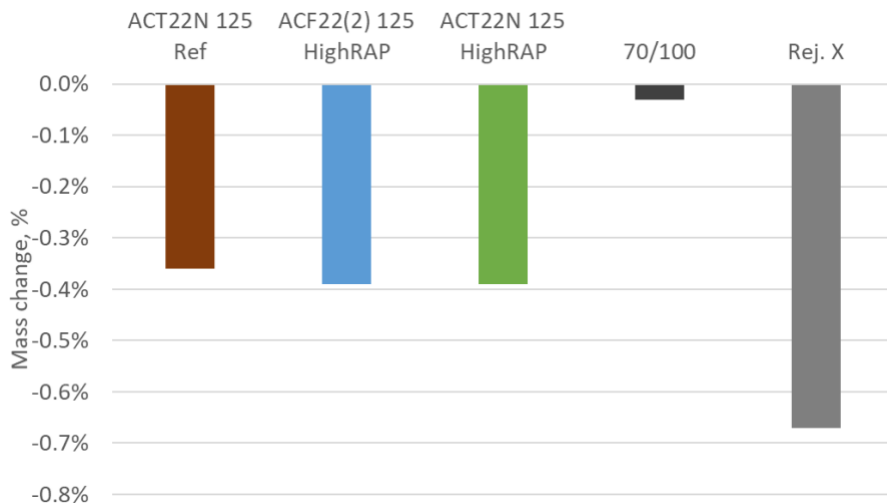


$$Dose = \frac{\log_e \frac{PEN}{A}}{B}$$

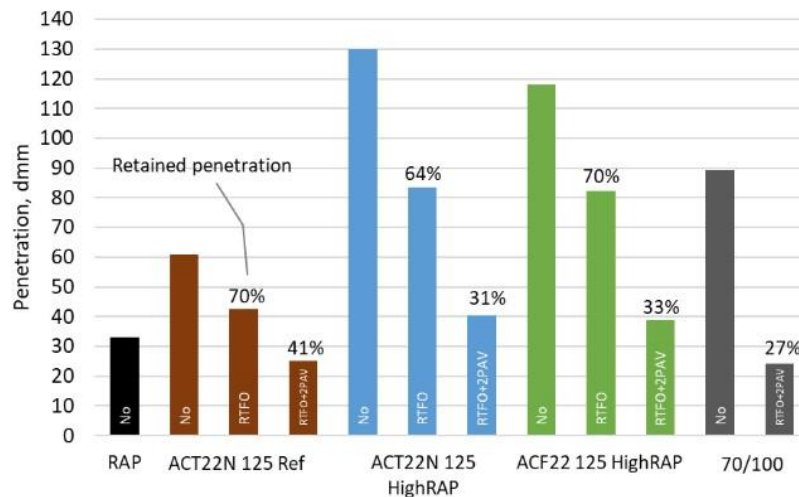
# Etape 2 :

## Détermination de la résistance au vieillissement

### 1) Variation de la masse pendant le test RTFO

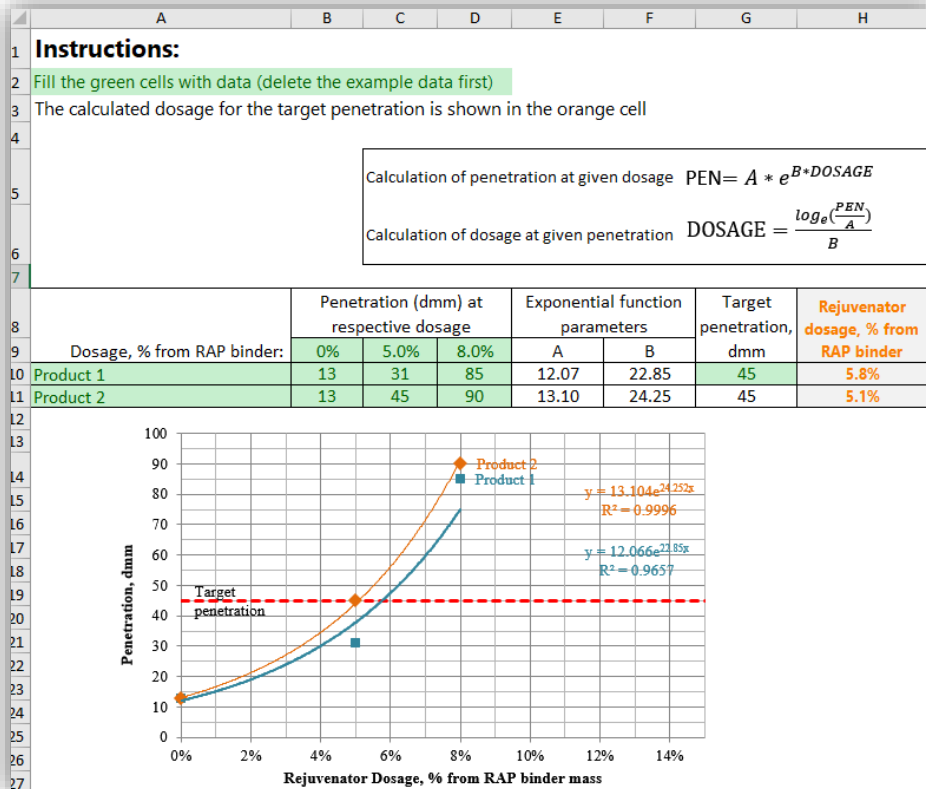


### 2) Variation de pénétration après RTFO+2PAV

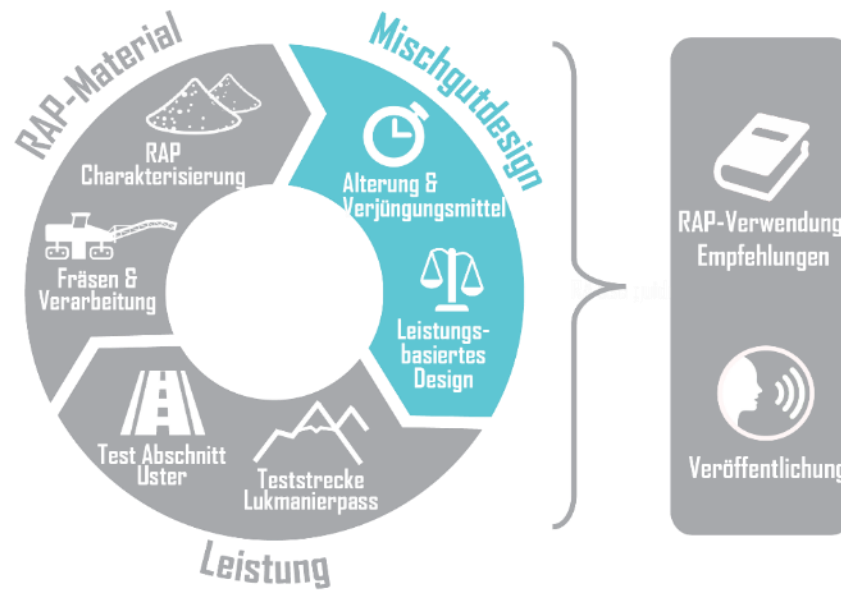


# Calculateur pour le dosage du réjuvenateur disponible :

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







## Conception de l'enrobé : Conception basée sur la performance

### Studie



Leistungsorientierte  
Mischgutsentwicklung

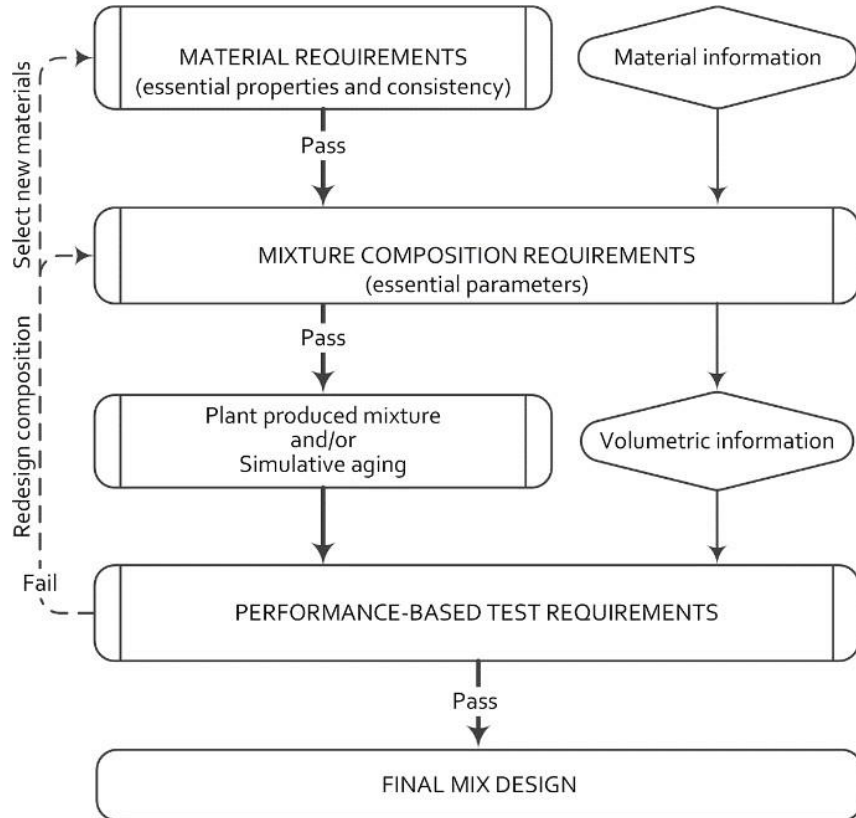
### Aufgaben

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

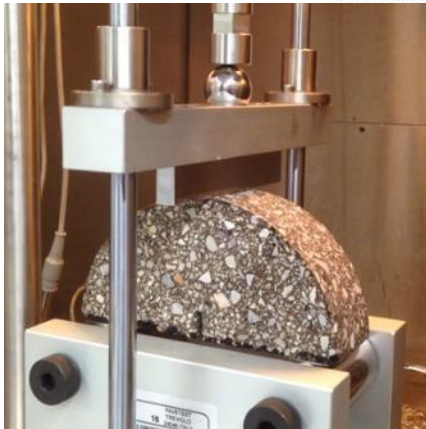
- Verwendung eines leistungsorientierten Mischgutdesigns für die in Teststrecken eingebauten Mischgüter.
- Entwicklung von Akzeptanzkriterien für die halbkreisförmige Biege- und zyklische Druckprüfung.

# Conception de l'enrobé basée sur la performance



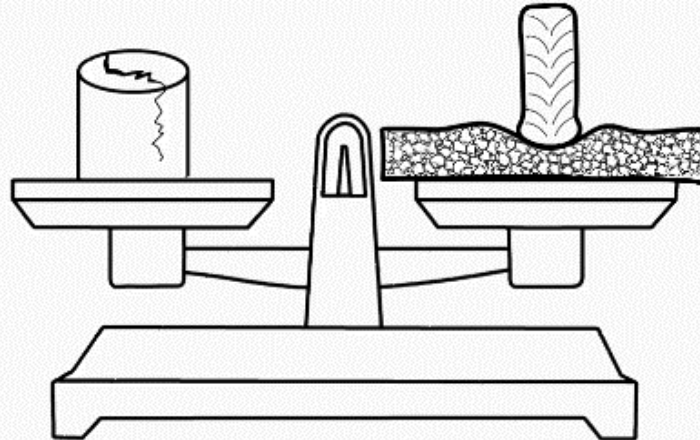
- Optimisation de la teneur en réjuvenateur pour l'enrobé, basée sur les résultats de l'objectif de pénétration.
- Examen de la tendance à la fissuration et de la propension à la déformation plastique, pour compenser l'objectif de la teneur en liant et des autres paramètres de la conception.
- Si nécessaire, réalisation d'exams supplémentaires du liant et de l'enrobé, avant que la recette finale soit validée.

# Critères développés :



## Tendance à la fissuration :

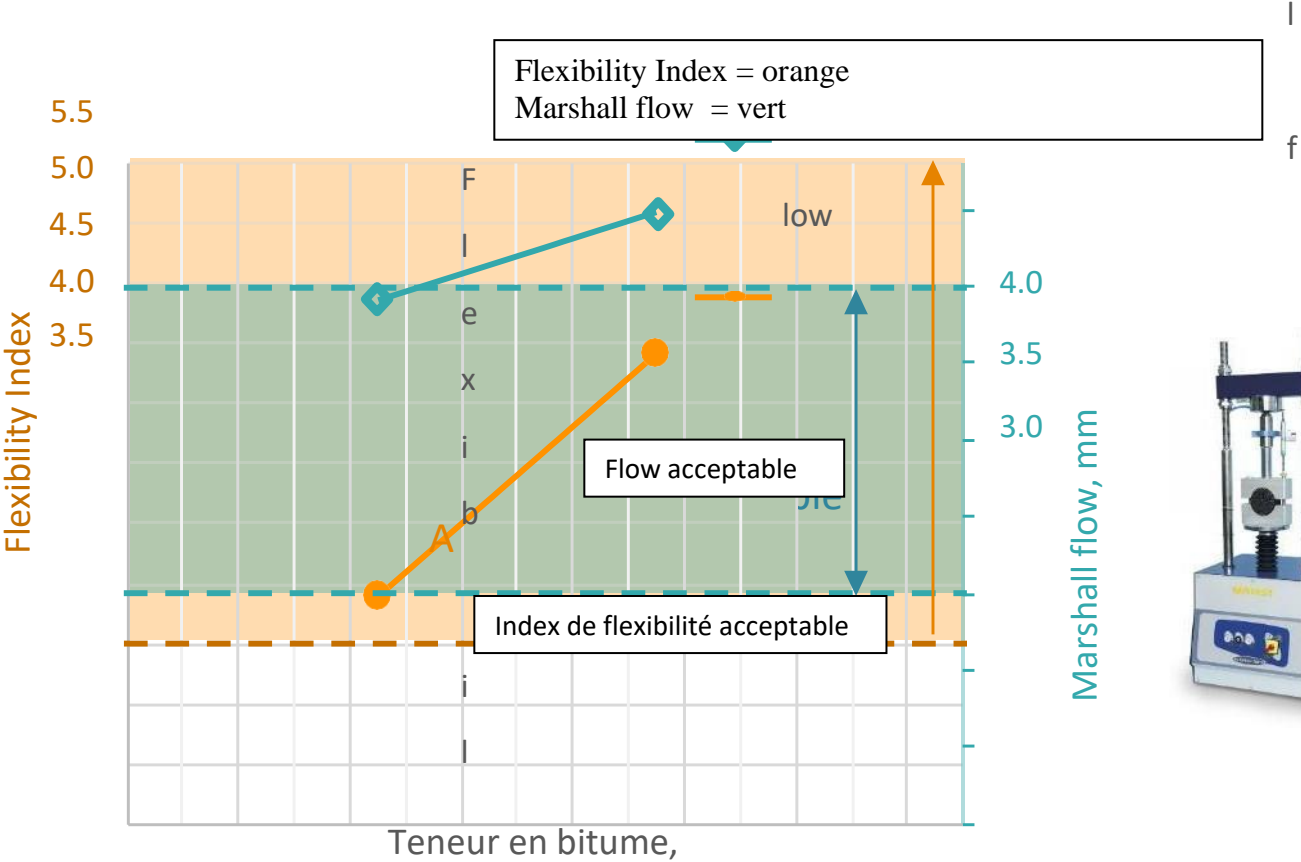
Essai de flexion du demi-cylindre

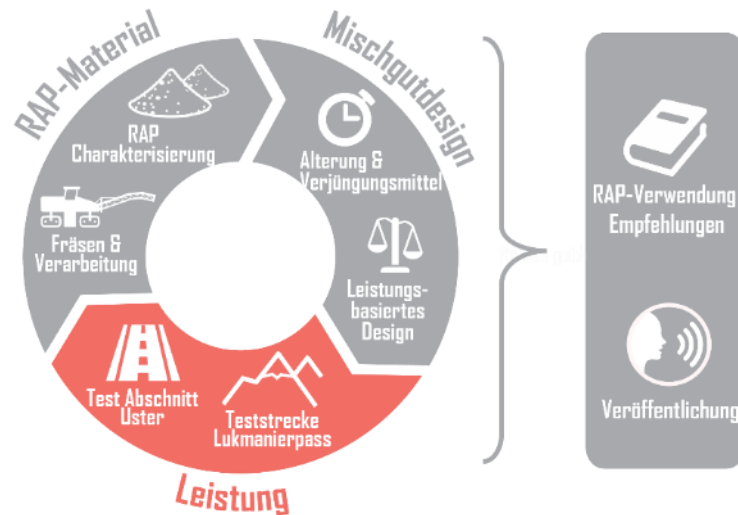


## Examen de la déformation plastique :


Essai au seuil de pression

# Exemple d'une conception d'enrobé orienté vers la performance





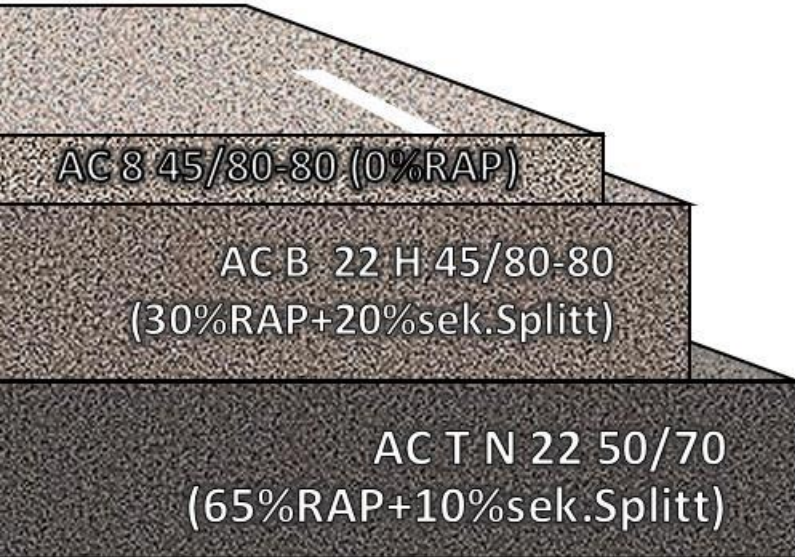
## Trajet de test : Uster

Studie	Aufgaben	Aktivitäten während des HighRAP-Projekts
 Teststrecke im Uster	Evaluierung der grosstechnischen Herstellung und des Einbaus von Mischgut mit hohem RAP-Anteil für stark befahrene Strassen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bau einer Versuchsstrecke in Uster zur Validierung der Leistungsfähigkeit von polymermodifiziertem Mischgut mit hohem RAP-Anteil.</li> </ul>

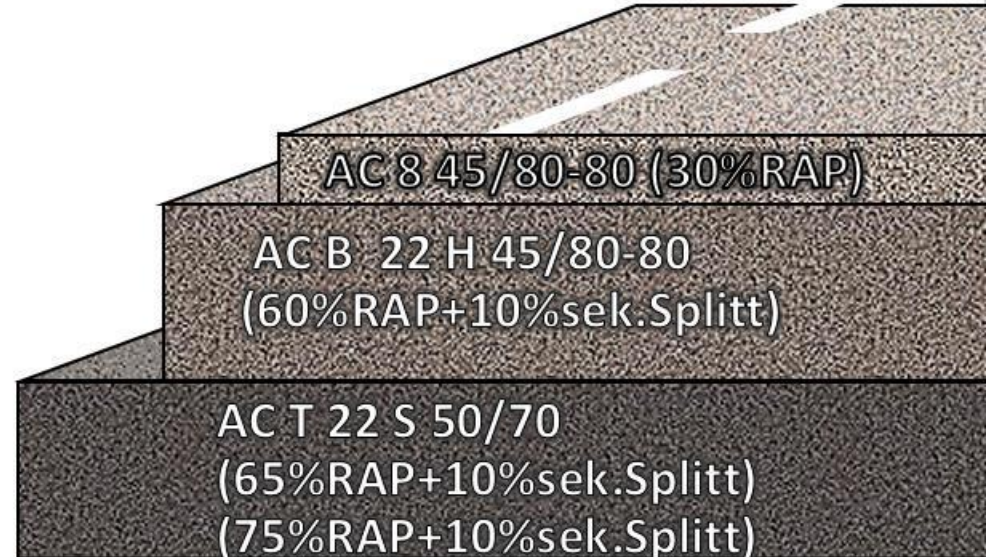


# Types d'enrobés

## Référence



## HighRAP



# Fabrication : BHZ AG

## Usine d'asphalte à Volketswil

Réjuvenateur ajouté dans le mélangeur

Le RAP est réchauffé à température de production dans l'usine d'asphalte Ammann.







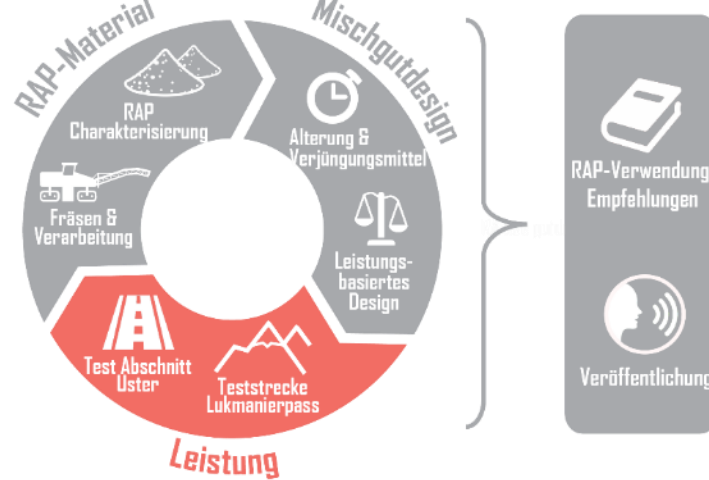
HighRAP research project, Martins Zaumanis, Empa

Les enrobés bitumineux produits se caractérisent fondamentalement par des tests de liants et d'enrobés.




## Résumé

- 30 % de RAP dans la couche de surface avec une bonne performance atteinte dans la classe PmB 45/80-80, mais impossible avec 60 % de RAP
- Avec 40-50 % de RAP, il est vraisemblablement possible d'atteindre la classe PmB 45/80-65
- 65 % de RAP dans la couche de liaison non modifiée ont donné une bonne performance

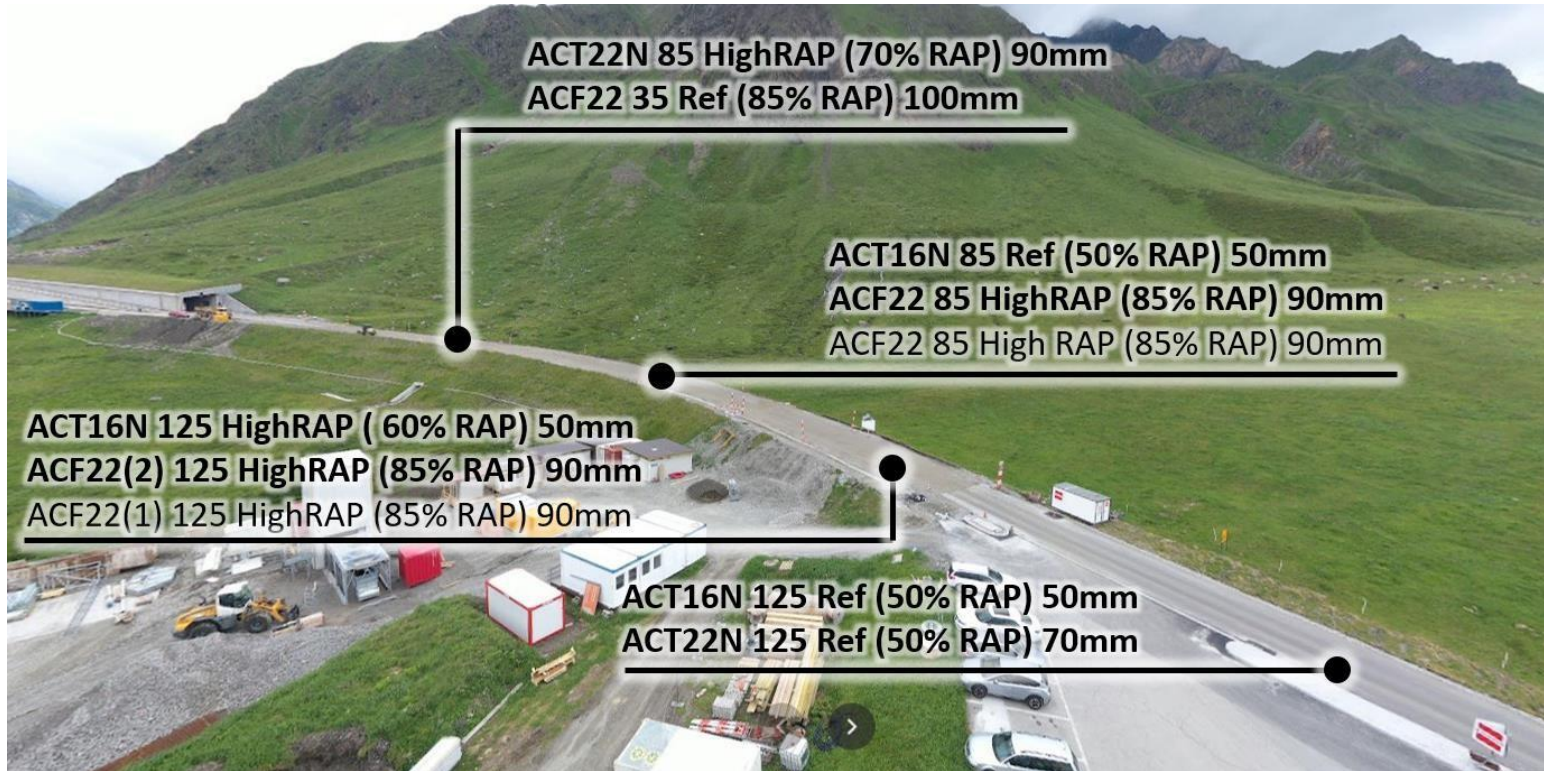


## Trajet de test : Col du Lukmanier

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



# Types d'enrobés



# Fabrication : Usine d'asphalte de Catram AG à Untervaz

Réjunérateur ajouté au  
RAP froid



RAP à la température de production  
Réchauffé chez Ammann - Contimix RAH  
100% et chez Ammann Universal 300





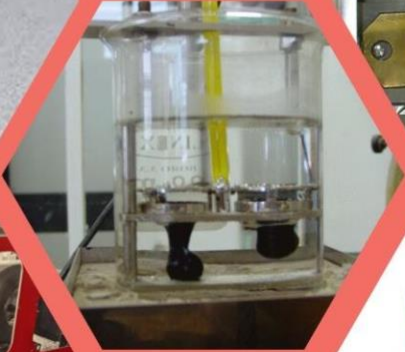




# 1 an après la construction : aucun problème

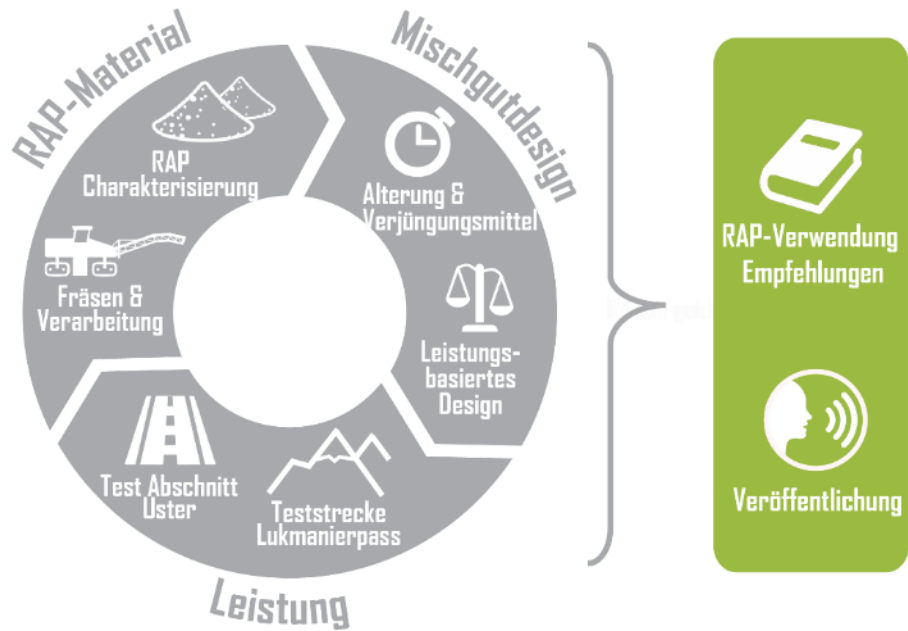


Les enrobés bitumineux produits se caractérisent fondamentalement par des tests de liants et d'enrobés.



## Résumé

- 85 % du RAP ont été utilisés dans les couches de fondation avec une bonne performance
- 60 -70 % du RAP ont été utilisés dans les couches de support avec une bonne performance
- Bonne résistance générale contre la constitution de fissures thermiques pour des enrobés bitumineux avec une haute teneur en RAP



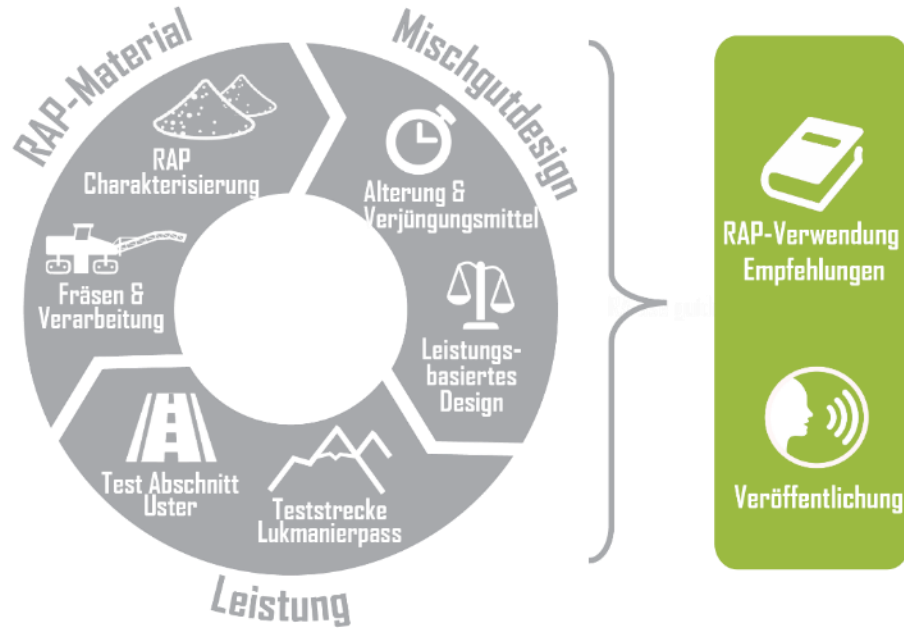
# RECOMMANDATIONS

# RECOMMANDATIONS

- Utilisation de RAP **≤30 % dans les couches de surface de PmB (PmB 45/80-80)** et **≤50 % dans les couches de support et de liaison (PmB 45/80-65)**
- Utilisation de RAP en **altitude : ≤ 70 %** dans les couches de support et de liaison et **≤85 %** dans les couches de fondation
- (Une teneur plus élevée en RAP peut être prise en considération en cas de preuve de la performance)
- L'**homogénéité du RAP** doit être garantie lorsqu'il y a une proportion élevée de RAP (en particulier la teneur et les caractéristiques du liant)
- Utilisation de la **conception de l'enrobé basée sur la performance** pour le premier test (la résistance à la fissuration est particulièrement importante)

# RECOMMANDATIONS

- Choix du dosage du réjuvenateur basé sur la **pénétration visée** dans l'enrobé recyclé
- Validation du réjuvenateur ou du liant mou rajouté par un contrôle de la **résistance au vieillissement** (RTFO+2xPAV) : Perte de masse et pénétration
- S'assurer que les **exigences conventionnelles** sont remplies sur le liant récupéré et l'enrobé.
- Utilisation de **l'indice CBF (Chunk Index, Breakdown Index, Filled Increase Index) pour l'optimisation** de la préparation du RAP
- Mise en œuvre de cette recommandation après propre validation



## Résultats complets



# Résultats du projet HighRAP

Rapport & résumé  
en DE, FR, EN

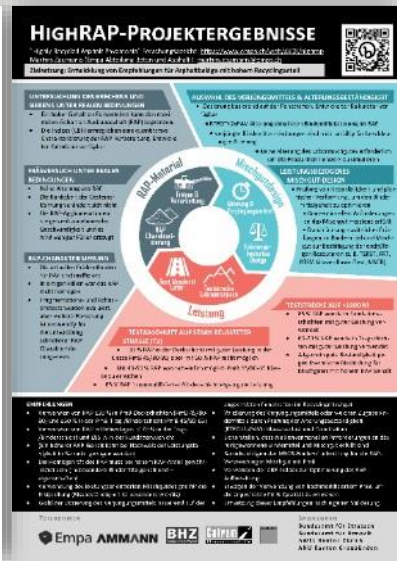
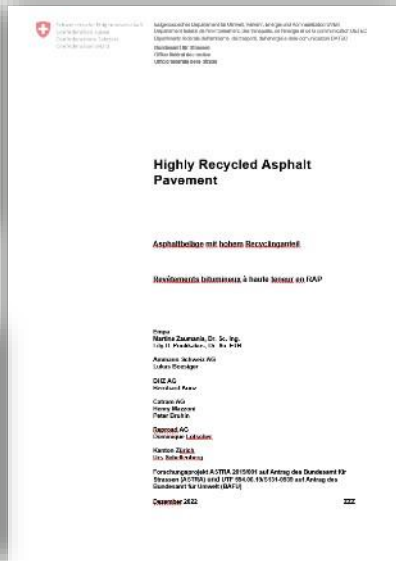
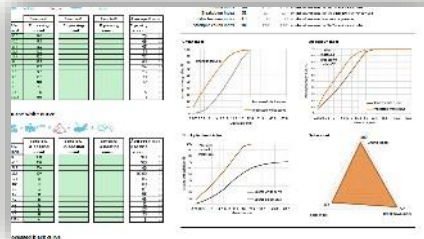
One-pager

Cette présentation

Télécharger



Tableaux Excel



Contact : [martins.zaumanis@empa.ch](mailto:martins.zaumanis@empa.ch)

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