



HighRAP

Asphaltbeläge mit hohem Recyclinganteil

PROJEKTZUSAMMENFASSUNG

Vollständiger Bericht

Laden Sie den vollständigen Bericht, die Präsentation und die entwickelten Tools herunter:

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



Empa
Martins Zaumanis, Dr. Sc. Ing.
Lily D. Poulidakos, Dr. Sc. ETH

Ammann Schweiz AG
Lukas Boesiger

BHZ AG
Bernhard Kunz

Catram AG
Henry Mazzoni
Peter Bruhin

Reprod AG
Dominique Lötscher

Kanton Zürich
Urs Schellenberg

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Martins Zaumanis, Empa, Concrete and Asphalt Laboratory

Mitglieder

Lily Poulidakos, Empa, Concrete and Asphalt Laboratory

Lukas Boesiger, Ammann Schweiz AG

Bernhard Kunz, BHZ AG

Henry Mazzoni, Catram AG

Peter Bruhin, Catram AG

Dominique Lötscher, Reproad AG

Urs Schellenberg, Kanton Zürich

Begleitkommission

Präsident

Fabian Traber, Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Mitglieder

David Hiltbrunner, Bundesamt Für Umwelt (BAFU)

Remo Fehr, Amt für Natur und Umwelt - Kanton Graubünden

Dominik Oetiker, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft – Kanton Zürich

Christoph Gassmann, Baudirektion Kanton ZH Tiefbauamt

Nicolas Bueche, Bern University of Applied Sciences (BFH)

KO-Finanzierung des Forschungsprojekts

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft – Kanton Zürich

Amt für Natur und Umwelt - Kanton Graubünden

BHZ AG

Catram AG

Ammann Schweiz AG

Reproad AG

Antragsteller

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Einführung

Die Schweiz schöpft das Potenzial zur Wiederverwendung von Ausbausphalt für die Herstellung von neuem Asphaltmischgut nicht voll aus. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) schätzt, dass in der Schweiz jedes Jahr etwa 2.5 Millionen Tonnen Asphalt ausgebaut werden, was zu etwa 750000 Tonnen führt, die nicht verwertet werden.

Ein wesentlicher Grund für die grossen Reste von Ausbausphalt (RAP) ist, dass in der Schweiz nur sehr wenige neue Strassen gebaut werden. Um mehr Ausbausphalt zurück in die Strasse zu führen, muss daher der Anteil an Ausbausphalt in der Asphaltherstellung erhöht werden.

Die Einschränkungen zur Begrenzung des maximalen RAP-Gehalts haben gute Gründe. Die Zurückhaltung liegt vor allem darin, dass das RAP-Bindemittel gealtert und zu steif ist. Infolgedessen kann Mischgut mit hohem RAP-Gehalt anfällig für Risse sein (1–3), da ein Teil des RAP-Bindemittels sich wahrscheinlich nicht mit den eingebrachten neuen Materialien vermischt (4–6). Leider sind die herkömmlichen Ansätze für die Mischgutentwicklung und Qualitätskontrolle nicht immer für die Bewertung dieser Auswirkungen geeignet. Die verschiedenen hinzugefügten Materialien, einschliesslich Bindemittel mit unterschiedlichen Viskositäten, Verjüngungsmittel und RAP, haben komplexe Auswirkungen, die nicht immer charakterisiert werden können.

Ein weiteres Problem ist die oft unzureichende Homogenität von RAP, die kein Vertrauen in die Kontinuität des entwickelten Mischgutdesigns zulässt (7–9). Schliesslich stellt auch der Produktionsprozess ein Hindernis dar, da die Erhitzung von RAP eine technologisch fortschrittliche Asphaltanlage erfordert und der Prozess Abgasemissionen erzeugt.

Überblick über das HighRAP-Projekt

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

Das Projekt, das in Fig. 1 zusammengefasst ist, befasste sich mit drei Hauptforschungsthemen: 1) RAP-Materialien, 2) Mischgutdesign und 3) Leistung. Innerhalb dieser Themenbereiche befassten sich die einzelnen Studien mit der Charakterisierung von RAP, der Verbesserung der RAP-Zerkleinerung und -Siebung, der Prüfung der Alterungsbeständigkeit, der Auswahl von Verjüngungsmitteln, dem leistungsbasierten Mischgutdesign und dem Bau von zwei Teststrecken mit hohem RAP-Gehalt: eine auf einer stark befahrenen Strasse und eine in grosser Höhe (1900 m ü. M).

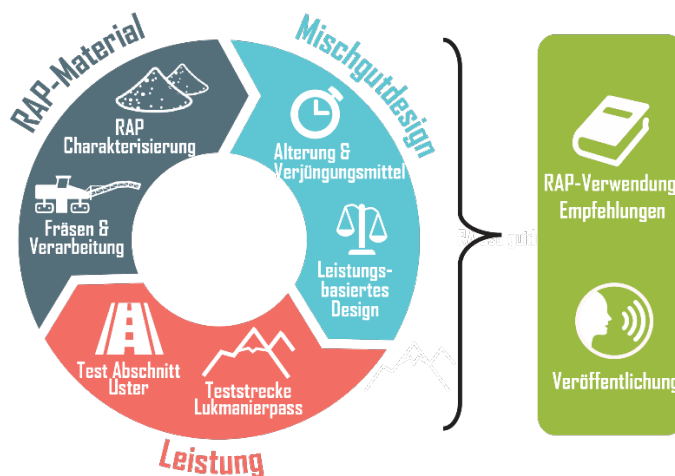








Fig. 1 Überblick über das HighRAP-Projekt

Die Aufgaben und Aktivitäten des HighRAP-Projekts für jede der drei Forschungsthemen sind in Tab. 1 kurz zusammengefasst.

Tab. 1 Zusammenfassung der HighRAP-Projektaktivitäten

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.
 RAP- Charakterisierung	Entwicklung vereinfachter Testmethoden zur schnellen Charakterisierung von RAP ohne Extraktion des Bindemittels.	<ul style="list-style-type: none"> • Ein Versuch unter realen Bedingungen zur Bewertung der Eignung von zwei Methoden zur Charakterisierung von RAP ohne Extraktion von Bindemitteln.
 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.
 Leistungsorientierte Mischgutsentwicklung	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.	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung eines leistungsbasierten Mischgutdesigns für die in Teststrecken eingebauten Mischgüter. • Entwicklung von Akzeptanzkriterien für die halbkreisförmige Biege- und zyklische Druckprüfung.
 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"> • Bau einer Versuchsstrecke in Uster zur Validierung der Leistungsfähigkeit von polymermodifiziertem Mischgut mit hohem RAP-Anteil.
 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"> • Bau einer Teststrecke auf dem Lukmanierpass zur Validierung der Leistungsfähigkeit von Trag- und Fundationsschichtmischgüter mit hohem RAP-Anteil.

Die Ergebnisse der einzelnen Studien und die Empfehlungen, die sich aus dem HighRAP-Projekt ergeben, werden im Folgenden beschrieben.

RAP-Material

Die Inhomogenität von RAP wird durch die Variabilität des gefrästen Belags, die Vermischung von RAP aus verschiedenen Quellen, verschiedene Alterungszustände des Belags, verschiedene Schadzustände, das Fräsen von mehreren Schichten usw. verursacht.

Ausserdem hat RAP oft einen hohen Füllergehalt. Dies ist teilweise auf das Fräsen und anschliessende Zerkleinern zurückzuführen, bei dem durch den mechanischen Aufprall Füller (Staub) entsteht. Ein hoher Füllergehalt begrenzt oft den maximalen RAP-Gehalt im Mischgut, da er die Anforderungen an die Kornverteilung von Asphaltmischgüter nicht erfüllt. Ein hoher Füllergehalt reduziert auch den Hohlraumgehalt des Mischguts auf ein unannehmbar niedriges Niveau.

In jedem der beiden Testabschnitte, die im Rahmen des Projekts asphaltiert wurden, wurde eines der HighRAP-Mischgüter mit RAP hergestellt, das entweder einen anderen Bindemittelgehalt oder andere Bindemittelleigenschaften aufwies als das Mischungsdesign. In beiden Fällen führte dies zu unerwarteten Mischguteigenschaften und verdeutlicht, wie wichtig es ist, eine hohe RAP-Homogenität sicherzustellen, insbesondere wenn ein sehr hoher RAP-Gehalt verwendet wird.

Aus diesen Gründen ist die Entwicklung von Methoden zur qualitativ hochstehenden Herstellung und korrekten Prüfung von RAP ein wichtiger Teil des HighRAP-Forschungsprojekts.

Verarbeitung

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 Bindemittelsextraktion bestimmt werden. Das Konzept hinter den Indizes und ein Beispiel für das Ergebnis sind in Fig. 2 dargestellt. Eine Excel-Tabelle zur Berechnung der drei Indizes kann hier heruntergeladen werden (10): <https://doi.org/10.5281/zenodo.5500154>.

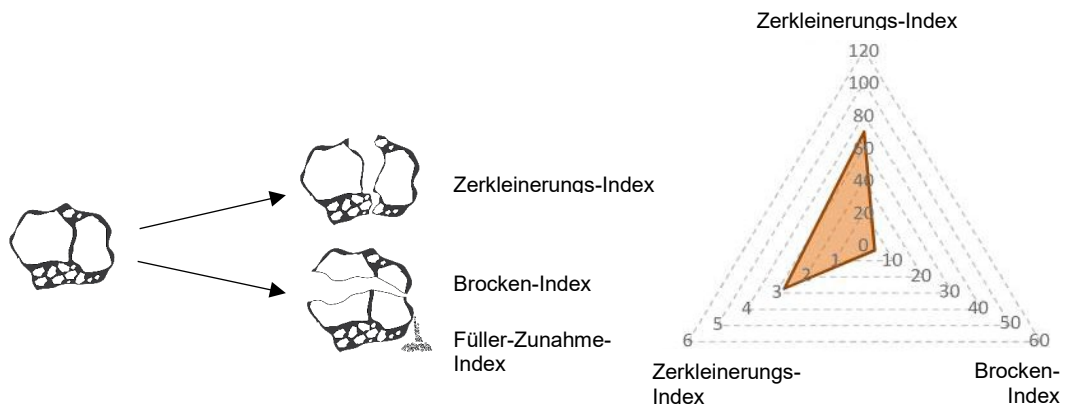


Fig. 2 Prinzip von Brocken-Index, Zerkleinerungs-Index und Füller-Zunahme-Index (links) und ein Ergebnis für ein verarbeitetes Material (rechts)

Um die Indizes zu validieren, wurde eine Fallstudie mit vier verschiedenen Brechern durchgeführt: GIPO, Ammann, Benninghoven und SBM. Diese Maschinen zerkleinerten fünf verschiedene RAP-Quellen, um insgesamt sieben verschiedene Materialien zu produzieren.

Die Ergebnisse zeigten, dass die drei Indizes ein nützliches quantitatives Mittel zur Charakterisierung von RAP sind. Sie ermöglichen die Optimierung des Zerkleinerungs- und Siebprozesses, den Vergleich verschiedener RAP-Brecher und die Auswahl von RAP-Bewirtschaftungstechniken, um das Recycling von RAP zu maximieren.



Fräsen

Das Fräsexperiment wurde unter Variation der Fräsparameter auf vier Baustellen im Massstab 1:1 durchgeführt. Die in Fig. 3 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Eigenschaften von gefrästem RAP mit den Fräsparametern beeinflusst werden können, insbesondere mit der Fahrgeschwindigkeit der Fräsmaschine. Eine Optimierung des Fräsprozesses zur Minimierung des Kornzerfalls und der Füllerbildung ist möglich, doch sind weitere Untersuchungen erforderlich, bevor Empfehlungen für Änderungen in der Fräspraxis ausgesprochen werden können. Der Brocken-Index, Zerkleinerungs-Index und der Füller-Zunahme-Index erwiesen sich als gut geeignet für die Bewertung des Fräsprozesses. Eine Excel-Tabelle zur Berechnung der drei Indizes kann hier heruntergeladen werden: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4450091> (11).

Es wurde festgestellt, dass das Fräsverfahren, trotz einer Temperatur von bis zu 1000 °C an den Fräszähnen, das RAP-Bindemittel nicht altert und dass sich die Eckigkeit der Gesteinskörnung während des Fräsens an der untersuchten Stelle nicht verändert.

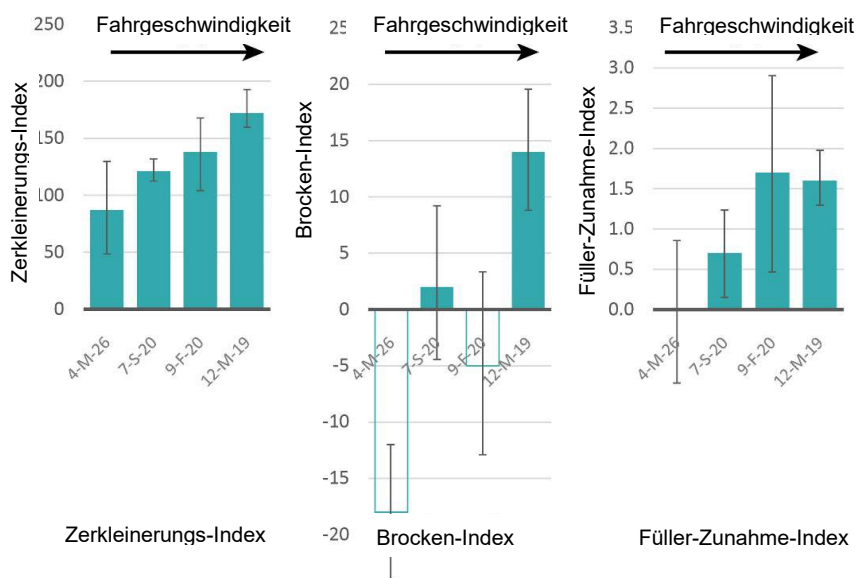


Fig. 3 Die Fahrgeschwindigkeit der Fräsmaschine beeinflusst den Zerkleinerungs-Index, Brocken-Index und Füller-Zunahme-Index



RAP-Charakterisierung

Ein wichtiger praktischer Faktor, der die Gewährleistung der RAP-Homogenität erschwert, ist der grosse Aufwand und die Zeit, die für die Prüfung der Eigenschaften von RAP erforderlich sind. Die Extraktion der Gesteinskörnungen und die Rückgewinnung des RAP-Bindemittels sind zeitaufwändig und erfordern den Umgang mit gefährlichen Lösungsmitteln. Die Auftrennung des RAP in seine Bestandteile ist möglicherweise nicht einmal der beste Ansatz für die Prüfung; bei der Herstellung werden nämlich nicht die Bestandteile einzeln eingesetzt sondern nur als RAP. Aus diesem Grund müssen neue Prüfverfahren zur schnellen Charakterisierung von RAP entwickelt werden.

Um zu versuchen, praktische und schnelle Charakterisierungsmethoden für die Prüfung von RAP zu entwickeln, wurden die Kohäsions- und Fragmentationstests untersucht (12) (siehe Fig. 4). Für beide Tests wurden die Verfahren vereinfacht und die Parameter, die die Ergebnisse beeinflussen, analysiert.

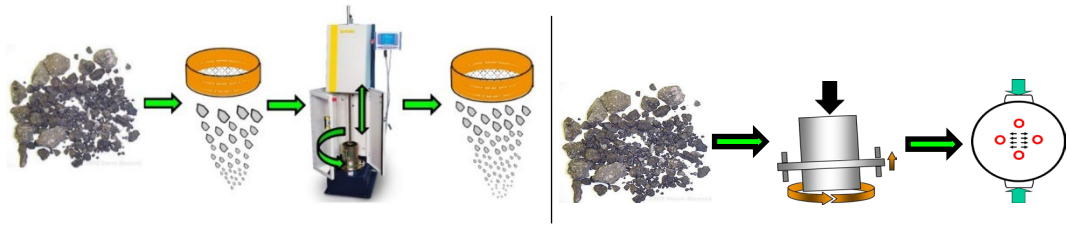


Fig. 4 Fragmentationstest (links) und Kohäsionstest (rechts) (12)

Der Fragmentationstest diente der Charakterisierung der RAP-Agglomeration und der Zähigkeit der RAP-Aggregate. Die Testergebnisse wiesen eine hohe Reproduzierbarkeit auf und zeigen ein Potenzial zur Charakterisierung des RAP in Abhängigkeit von der Verarbeitungsmethode, die für die Aufbereitung des RAP verwendet wurde. Die Beziehung zwischen dem Ergebnis des Fragmentierungstests und der Zähigkeit der RAP-Aggregate und der RAP-Agglomerationen konnte jedoch nicht eindeutig bewertet werden. Die Wechselwirkungen sind komplex und hängen auch von der dämpfenden Wirkung des RAP-Mörtels und wahrscheinlich von anderen Parametern ab, einschliesslich der Viskosität des RAP-Bindemittels.

Der Kohäsionstest war für die Charakterisierung des RAP-Bindemittelgehalts und der Bindemittleigenschaften vorgesehen. Die Testergebnisse waren empfindlich gegenüber dem Erweichungspunkt und der Alterung des Bindemittels, aber nicht gegenüber dem Bindemittelgehalt.

Weder der Kohäsions- noch der Fragmentationstest sind zum jetzigen Zeitpunkt für die Praxis geeignet. Es sind weitere Untersuchungen erforderlich, um festzustellen, ob die Fragmentierungs- und Kohäsionstests für eine schnelle Charakterisierung von RAP nützlich sind oder ob andere Methoden entwickelt werden sollten.

Empfehlungen zu RAP-Material

- Fortsetzung der Prüfung der RAP-Eigenschaften mit den herkömmlichen Tests: Bindemittelgehalt, Bindemittleigenschaften und Korngrößenverteilung der Zuschlagstoffe. Die Verwendung eines hohen RAP-Gehalts bei der Asphaltherstellung ist nur dann zulässig, wenn die Homogenität des RAP gewährleistet ist. Die Kontrolle der Homogenität des Bindemittelgehalts und der Bindemittleigenschaften ist deshalb besonders wichtig, weil die Korngrößenverteilung durch Zerkleinern und Sieben leichter festgelegt werden kann.
- Bestimmen der Grenzwerte für die zulässige Variabilität des RAP-Bindemittelgehalts und der Bindemittelpenetration in Abhängigkeit vom geplanten RAP-Gehalt. Eine Methode zur Berechnung der zulässigen RAP-Variabilität wird in dem Bericht vorgestellt. Eine Excel-Tabelle zur Berechnung der zulässigen RAP-Variabilität kann hier heruntergeladen werden: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7441805> (13).
- Befolgen der "Best Practice" für das RAP-Management und strenge Prüfung des RAP-Bindemittelgehalts und der Bindemittleigenschaften, um eine hohe Homogenität des RAP zu gewährleisten. Die spezifischen Verfahren für das RAP-Management (Fräsen, Sieben, Zerkleinern, Trennung der Quellen) hängen von den örtlichen Gegebenheiten ab.
- Verwenden des entwickelten Brocken-Index, Zerkleinerungs-Index und Füller-Zunahme-Index, um die Verarbeitung von RAP zu optimieren. Dadurch kann die Produktion von RAP eine maximale Verwertung erreichen.
- Erwägen der Trennung von RAP basierend auf der Quelle des Fräsens und/oder der Mischgutart.

Design von Mischgute mit hohem RAP-Gehalt

Das traditionelle Mischgutdesign berücksichtigt volumetrische Proportionen (Bitumen, Gehalt, Korngrößenverteilung, Porosität usw.) und bezieht teilweise auch die

Festigkeitseigenschaften von Mischgut ein (Marshall-Test, Spurbildungsprüfung). Das traditionelle Mischgutdesign wurde für die Charakterisierung von Mischgut aus neuen Materialien entwickelt und ermöglicht es nicht, die Herausforderungen zu erfassen, die mit Mischgut mit hohem RAP-Anteil verbunden sind:

- Die Verwendung eines hohen RAP-Gehalts erhöht das Rissbildungspotenzial aufgrund des Vorhandenseins von gealtertem Bindemittel. Um eine routinemässige Charakterisierung der Rissbildung bei Mischgut mit hohem RAP-Gehalt zu ermöglichen, sind Verfahren zur Mischgutsentwicklung und Qualitätskontrolle erforderlich.
- Die Steifigkeit des RAP-Bindemittels muss durch den Einsatz von Verjüngungsmitteln oder weichen Bindemitteln verringert werden. Eine Methode zur Bestimmung der optimalen Dosierung ist erforderlich um die Dauerhaftigkeit des hergestellten Asphalts sicherzustellen.
- Die Diffusion der Recyclingadditive und die unvollständige Aktivierung des RAP-Bindemittels werden beim Mischgutdesign nicht berücksichtigt.

Der Einsatz von leistungs-basierten Prüfmethoden kann es ermöglichen, die oben genannten Effekte zu erfassen und somit das Vertrauen in die Anwendung von Mischgut mit hohem RAP-Anteil zu erhöhen. Ein wichtiger Teil des HighRAP-Projekts ist daher die Bewertung des Potenzials, leistungs-basierte Mischgutprüfungen für die Entwicklung von Mischguten mit hohem RAP-Anteil zu verwenden.

Alterung und Auswahl von Verjüngungsmitteln

Idealerweise sollten die auf der Leistung basierenden Prüfverfahren die Bestimmung der Eigenschaften des endgültigen Mischgutes ermöglichen, ohne dass das RAP-Bindemittel extrahiert werden muss. Derzeit ist dies jedoch mit den verfügbaren Prüfmethoden nicht mit genügender Sicherheit möglich. Aus diesem Grund ist es wichtig, auch die Leistungsfähigkeit des Bindemittels zu prüfen.

Die Dosierung des Verjüngungsmittels für die Testabschnitte wurde bestimmt, indem drei Verjüngungsmittelgehalte getestet und zu der Dosierung interpoliert wurden, die die gewünschte Bindemittelklasse ergibt, wie in Fig. 5 dargestellt. Dieser Ansatz erwies sich als erfolgreich, da die Bindemittelleigenschaften der hergestellten Mischgute zumeist die Anforderungen an die Zielklasse erfüllten, einschliesslich der Erweichungspunktwerte. Ein ähnlicher Ansatz kann verwendet werden, wenn eine weiche Bindemittelsorte verwendet wird.

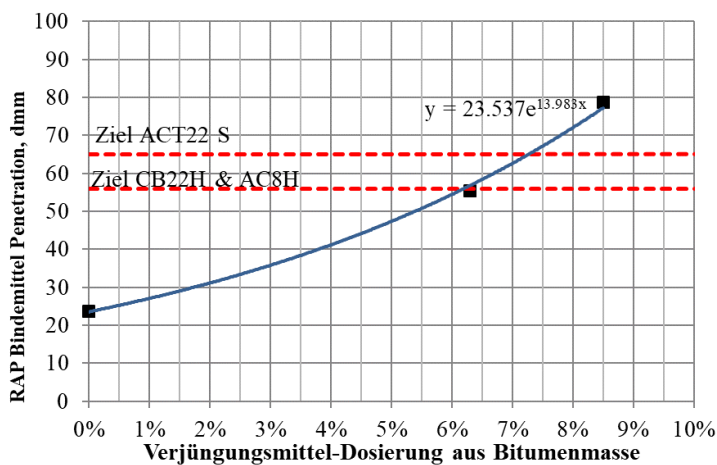


Fig. 5 Bestimmung der Verjüngungsmittel-Dosierung für die drei in der Teststrecke Uster verwendeten Mischgüter

Das mit einem Additiv auf Basis von rohem Tallöl verjüngte Bindemittel wurde auf seine Alterungsbeständigkeit geprüft. Die Ergebnisse zeigten, dass bei dem in dieser Forschung verwendeten Verjüngungsmittel im Vergleich zu den Bindemitteln ohne Verjüngungsmittel keine beschleunigte Alterung zu erwarten ist. Verschiedene Verjüngungsmittel und weiche Bindemittel können jedoch eine unterschiedliche Alterungsbeständigkeit aufweisen. Aus diesem Grund ist es wichtig, jeweils die Alterungsbeständigkeit für die Kombination der einzelnen bei der Asphaltherstellung verwendeten Materialien zu bestimmen.

Empfehlungen zur Auswahl von Alterungs- und Verjüngungsmitteln:

- Gewährleistung der Konformität bezüglich Anforderungen der konventionellen Bindemittelprüfungen auch für Mischgut mit hohem RAP-Gehalt.
- Bevor die Verwendung eines neuen Verjüngungsmittels oder einer weichen Bindemittelsorte genehmigt wird, muss die Alterungsbeständigkeit einer Bindemittelmischung bestimmt werden, die alle in der Mischgutsentwicklung verwendeten Bindemittel enthält. Die empfohlene Alterungsmethode umfasst einen RTFO-Zyklus (Kurzeitalterung), gefolgt von zwei PAV-Zyklen (Langzeitalterung). Es hat sich gezeigt, dass diese Methode ähnliche Bindemittelleigenschaften wie das RAP-Bindemittel aufweist und daher als realistische Simulation der Alterung im Feld angesehen werden kann.
- Als Minimum wird empfohlen, die Penetration vor und nach der Alterung, sowie den Massenverlust während des RTFOT zu prüfen. Andere Prüfverfahren können je nach den örtlichen Gegebenheiten hinzugefügt werden.
- Bestimmung der Verjüngungsmitteldosis basierend auf den Ergebnissen des Penetrationstests, um die Übereinstimmung mit der angestrebten Bindemittelsorte zu gewährleisten. Eine Excel-Tabelle zur Berechnung der Verjüngungsmitteldosis kann hier heruntergeladen werden: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7441761> (14).
- Evaluierung der Verwendung von MSCRT als Routineprüfverfahren für Bindemittel, insbesondere für polymerhaltige Bindemittel. Dieser Test kann schneller durchgeführt werden als die konventionellen Prüfungen und ermöglicht die Bewertung der Elastizität und Spurrinnenbeständigkeit.



Leistungsorientiertes Mischgutdesign

Das Mischgut für die Testabschnitte wurden nach der Methode des leistungsorientierten Mischgutdesigns entwickelt. Die Anwendung dieses Verfahrens ermöglichte die Entwicklung von Mischgut mit hohem RAP-Gehalt. Die folgenden Schritte wurden durchgeführt:

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

Die Auswahl der Prüfmethode für die Schritte 2 und 3 hängt von den örtlichen Gegebenheiten ab. In der Versuchsstrecke Uster wurde die Bindemitteloptimierung beispielsweise mittels Halbzylinder-Biegeversuch (SCB) zur Bestimmung der Rissbildung und zyklischen Druckschwellversuchen zur Bestimmung plastischen Verformung durchgeführt. Die Visualisierung des ausgewogenen Mischgutdesigns für die Wahl zwischen zwei Bindemittelsorten für ein Mischgut ist in Fig. 6 dargestellt.

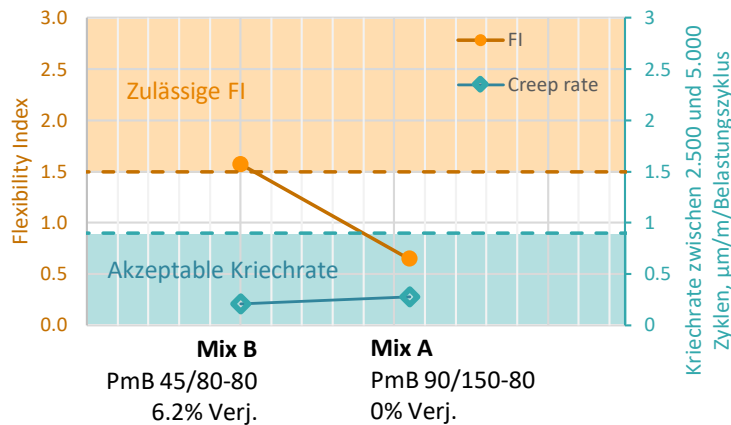


Fig. 6 Optimierung der Bitumenart und des Gehalts an Verjüngungsmitteln für das Mischgut AC B 22 H

Der SCB-Flexibilitätsindex hat sich als nützliche Methode für das Mischgutdesign und die Qualitätskontrolle erwiesen. Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, dass der Test empfindlich auf den Bindemittelgehalt und die Bindemittleigenschaften (einschliesslich der Alterung des Bindemittels) reagiert und daher für das ausgewogene Mischgutdesign verwendet werden kann. In einem Fall zeigte das Testergebnis jedoch nicht an, dass ein Mischgut ein hartes Bindemittel enthielt. Aus diesem Grund ist es zur Vermeidung falsch positiver Ergebnisse wichtig, auch die Eigenschaften am extrahierten Bindemittel zu prüfen.

Die Akzeptanzanforderungen für den SCB-Flexibilitätsindex wurden für das Design von HighRAP-Mischguten festgelegt. Für die Trag-, Binder- und Fundamentalschichten wurde die Mindestanforderung an den SCB-Flexibilitätsindex (FI) auf 1.5 festgelegt, während er für die AC 8-Mischgut 4.5 betrug.

Aufgrund des einfacheren Prüfverfahrens im Vergleich zum französischen Spurrinnenprüfgerätes wurde der zyklische Druckschwellversuch für den Entwurf und/oder die Prüfung von Mischgut verwendet, das in den Prüfabschnitten Uster und Lukmanierpass eingebaut wurde. Die Interpretation der Prüfergebnisse erwies sich in einigen Fällen als schwierig, da für verschiedene Versagensfälle unterschiedliche Messmethoden verwendet werden mussten. In einigen Fällen wies der Test auch eine hohe Variabilität auf.

Die maximal zulässige Kriechrate zwischen 2500 und 5000 Zyklen wurde für die Auslegung von HighRAP-Mischgut wie folgt festgelegt: 0.3 µm/m/Belastungszyklus für AC 8 H, 0.5 µm/m/Belastungszyklus für AC B 22 H und 0.9 µm/m/Belastungszyklus für AC 22 S und AC F 22 Mischgute. Diese Werte wurden basierend auf einer kleinen Stichprobe ermittelt und sollten nicht ohne Überprüfung übertragen werden.

Der Marshall-Test wurde für das balancierte Mischgutdesign beim Lukmanierpass verwendet. Der Test erwies sich als nützlich, aber in einigen Fällen lieferte er Ergebnisse, die angesichts der Änderungen im Rezept nicht erwartet wurden.

Basierend auf einem Alterungsversuch wurde beschlossen, das Mischgut für das Mischgutdesign nicht zu altern, da die Ergebnisse der ungealterten Proben den Ergebnissen von im Werk hergestelltem Asphalt und Strassenbohrkernen recht nahe kamen. Die Alterung würde auch die Möglichkeit einschränken, zwischen verschiedenen Mischgutrezepten zu unterscheiden.

Die SCB-, Steifigkeits- und Ermüdungsprüfungen konnten nicht zwischen Mischgut mit und ohne PmB unterscheiden. Zu diesem Zweck wird die Verwendung des MSCR-Tests für das zurückgewonnene Bindemittel empfohlen.

Empfehlungen zum leistungsbasierten Mischgutdesign:

- Ergänzen der Anforderungen an das Mischgutdesign mit leistungsbasierten Prüfverfahren. Die Prüfung der Rissbeständigkeit ist besonders wichtig für Mischgut mit hohem RAP-Anteil.
- Die Alterung von Mischgut vor der Prüfung mit den in dieser Untersuchung verwendeten Methoden wird nicht empfohlen. Stattdessen sollte die Alterungsbeständigkeit von Bindemittelmischungen, wie zuvor erläutert, bestimmt werden.
- Es wird empfohlen, die Methode des ausgewogenen Mischgutdesigns anzuwenden, um die Leistung des Mischgutes zu optimieren. Zum jetzigen Zeitpunkt wird jedoch nicht empfohlen, diese Prüfmethode als Ersatz für die herkömmlichen Anforderungen an die Eigenschaften des zurückgewonnenen Bindemittels und des Bindemittelgehalts der Mischgute zu verwenden.
- Um eine Alterung zu vermeiden, sollte die Zeit zwischen der Herstellung des Mischgutes und der Verdichtung und Prüfung der Proben so kurz wie möglich gehalten werden. Lange Verzögerungen führen zur Alterung der Proben und beeinträchtigen die Ergebnisse. Strassenbohrkerne erlauben im Vergleich zu losem Mischgut eine längere Lagerzeit, da ihr Luftporengehalt im Vergleich geringer ist.

Leistung von hochrezykliertem Mischgut

Der Herstellungsprozess von Mischgut mit hohem RAP-Gehalt ist komplexer, da mehr Materialien gemischt, das RAP erhitzt und die Emissionsgrenzwerte eingehalten werden müssen, während gleichzeitig die erforderliche Produktionsmenge und -qualität gewährleistet werden muss. Der Bau von Teststrecken mit hohem RAP-Gehalt bietet die Möglichkeit, die Produktions- und Einbauprozesse zu evaluieren und erlaubt Herausforderungen zu identifizieren.

Ein erfolgreicher Einbau einer Teststrecke dient auch als Beispiel für die technologischen Möglichkeiten, erlaubt die Überwachung des langfristigen Verhaltens und ist eine zwingende Grundlage, das Vertrauen in die Produktion von Mischguten mit hohem RAP-Gehalt zu erhöhen.

Aus diesen Gründen war der Bau von Teststrecken ein wichtiger Bestandteil des HighRAP-Projekts.

Einsatz von RAP auf Strassen mit hoher Verkehrslast

Vier HighRAP-Mischgute mit hohem RAP-Gehalt wurden in der Aathalstrasse in Uster eingebaut, darunter zwei mit polymermodifiziertem Bindemittel. Drei Referenzmischgut wurden ebenfalls eingebaut. Ein Video vom Bau der Teststrecke ist hier verfügbar: <https://youtu.be/MvyCwyrMNOs>.



Fig. 7 Bau der HighRAP-Teststrecke in Uster

Die Ergebnisse des Testabschnitts in Uster haben gezeigt, dass es mit einem leistungsorientierten Mischgutdesign möglich ist, Mischgut (einschliesslich Deckschicht) mit einem RAP-Gehalt von mindestens 30 % herzustellen, ohne die Leistungsfähigkeit des Mischgutes zu beeinträchtigen. Bei einem RAP-Gehalt von 30 % wird es als möglich angesehen, die Anforderungen der Bindemittelklasse PmB 45/80-80 zu erfüllen. Die Griffigkeit dieser Mischung wurde nicht bestimmt.

Mit dem in der Studie verwendeten RAP und einem RAP-Gehalt von 60 % war es nicht möglich, eine Bindemittelklasse von PmB 45/80-80 zu erreichen, mit dem HighRAP-Mischgut war es jedoch möglich, die Klasse PmB 45/80-65 zu erreichen. Die HighRAP-Mischung erfüllte die Anforderungen an die Riss- und Spurrinnenbeständigkeit, aber Infolge des niedrigeren Erweichungspunktes waren die Eigenschaften dieses HighRAP-Mischgutes in den meisten Tests etwas schlechter als die der Referenzmischung AC B 22 H mit PmB 45/80-80. Die Leistung im Verkehrslastsimulator MMLS3 war im Vergleich zur Referenz deutlich schlechter, was wahrscheinlich auf den niedrigeren Polymergehalt zurückzuführen ist.

Die Herstellung eines Mischgutes AC T 22 S mit 80 % RAP-Gehalt war im Labor möglich, aber aufgrund der geänderten Eigenschaften des RAP zum Zeitpunkt der Herstellung, war es nur möglich, ein Mischgut mit 65 % RAP herzustellen, die dem Referenzmischgut ähnlich war. Die Herstellung eines Mischgutes mit 75 % RAP führte zu einer schlechteren Leistung, was wahrscheinlich auf die geänderten Bindemittelleigenschaften des RAP zurückzuführen ist, das zum Zeitpunkt der Herstellung verfügbar war.

Es ist zu erwähnen, dass für AC T 22 S und AC B 22 H bis zu 15 % mehr Recyclingmaterial in Form von "sekundär Splitt" in den Mischguten verwendet wurde. Dieses Material wird durch Abstreifen des RAP vom größten Teil des Bindemittels (verbleibender Bindemittelgehalt <1 %) hergestellt und als Ersatz für neue Mineralstoffe verwendet.

Fig. 8 vergleicht die aussagekräftigsten, auf der Leistung basierenden Testergebnisse der HighRAP-Mischgüter mit den in der Teststrecke in Uster eingebauten Referenzmischgütern.

Mischgut	Bindemittelklasse	RAP-Gehalt	Widerstand gegen Rissbildung		Widerstandsfähigkeit gegen Spurrinnenbildung			Steifigkeit		Ermüdungswid erstand		Lärm Textur
			SCB	G-R	CC	FR	MSC	ITT	ITT	MMLS3		
AC 8 H (Uster)	AC 8 H HighRAP	45/80-80	30%	➔	➔	➔	➔	➔	➔	➔	-	➔
	AC 8 H reference	45/80-80	0%	●	●	●	●	●	●	●	-	●
AC B 22 H (Uster)	ACB 22 H HighRAP	45/80-65	60%	➔	➔	⬇	➔	➔	➔	➔	⬇	-
	AC B 22 H reference	45/80-80	30%	●	●	●	●	●	●	●	●	-
AC B 22 S(Uster)	ACT 22 S HighRAP 65%	50/70	65%	➔	➔	⬆	-	➔	➔	➔	-	-
	ACT 22 S HighRAP 75%	50/70	75%	⬇	⬇	⬆	-	➔	⬆	⬇	-	-
	ACT 22 S reference	50/70	65%	●	●	●	-	●	●	●	-	-

<p>Legend:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ergebnis der Referenzmischgut ⬆ deutlich bessere Leistung ➔ etwas bessere Leistung ➔ ähnliche Leistung ➔ etwas schlechtere Leistung ⬇ deutlich schlechtere Leistung 	<ul style="list-style-type: none"> SCB Halbzylinder-Biegeversuch (Mischgut) G-R Glover-Rowe Test (Bindemittel) CC Druckschwellversuch (Mischgut) FRT Französischer Spurrinntester (Mischgut) MSCR Multiple stress creep recovery test (Bindemittel) ITT Indirekter Zugversuch (Mischgut) MMLS3 Model mobile load simulator (Mischgut) Textur Laserscanner (Belagsoberfläche)
---	--

Fig. 8 Zusammenfassung der Leistung der Mischgüter der Uster-Teststrecke

Empfehlungen für die Verwendung von RAP für stark befahrene Strassen:

- Wenn die RAP-Eigenschaften es zulassen, ist die Verwendung von bis zu 30 % RAP in polymermodifiziertem Mischgut (einschliesslich Deckschichten) mit der Zielbindemittelsorte PmB 45/80-80, zulässig. Die Anforderungen an die konventionellen Bindemittelleigenschaften müssen ebenfalls gewährleistet sein.
- Die Herstellung von bis zu 40 oder 50 % RAP-Mischgut mit einer polymermodifizierten Bindemittelzielklasse von PmB 45/80-65 ist möglich. Die Anforderungen an die herkömmlichen Bindemittelprüfungen müssen gewährleistet sein.
- Die Anwendung eines leistungsorientierten Mischgutdesigns wird empfohlen, um ein höheres Mass an Sicherheit hinsichtlich der zu erwartenden Mischgutsleistung zu gewährleisten. Bis mehr Daten gesammelt werden, sollte dieses Verfahren als Ergänzung zu konventionellen Tests verwendet werden.
- Um einen zuverlässigen Einsatz von mehr als 30 % RAP in Mischgut mit PmB zu gewährleisten, sollte die Verwendung von hoch-polymermodifiziertem neuem Bindemittel in Betracht gezogen werden. Ein solches Bindemittel könnte es ermöglichen, den Mangel an Polymeren im RAP-Bindemittel auszugleichen und so den RAP-Gehalt im Mischgut zu erhöhen.
- Die Verwendung eines hohen RAP-Gehalts in Belägen für Strassen mit hohem Verkehrslast sollte nur dann zulässig sein, wenn eine hohe Homogenität des RAP gewährleistet werden kann.

Verwendung von RAP in Strassenbelägen für Höhenlagen

Fünf HighRAP-Mischgüter mit hohem RAP-Gehalt wurden auf dem Lukmanierpass in einer Höhe von über 1900 m zusammen mit den entsprechenden Referenzmischgütern (siehe Fig. 9) eingebaut. In dieser Höhenlage ist ein hoher RAP-Gehalt derzeit nicht zulässig und Mischgut vom Typ AC F wird nicht verwendet.

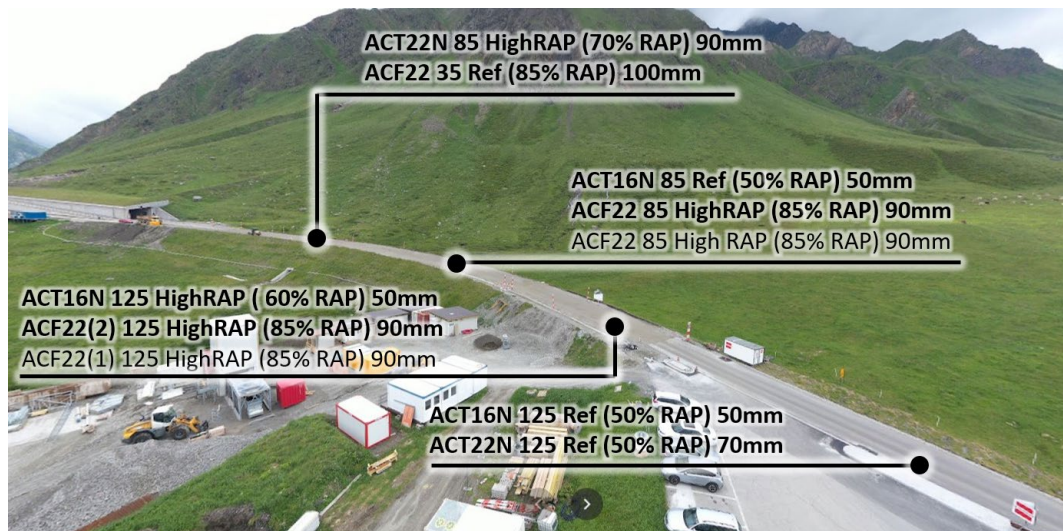


Fig. 9 Die Lage der Beläge der Lukmanierpass-Teststrecke. Die HighRAP-Abkürzungen zeigen an, dass das Mischgut als Teil des Projekts entwickelt wurde.

Aus den Ergebnissen der Lukmanierpass-Teststrecke kann geschlossen werden, dass es möglich ist, Mischgut AC F 22 mit einem RAP-Gehalt von 85 % herzustellen, das ähnliche Eigenschaften aufweist wie das konventionell eingebaute Mischgut in Höhenlagen über 1200 m. Der Widerstand gegenüber plastischen Verformungen des HighRAP Mischgutes AC F 22 ist aufgrund der Verwendung weniger kantiger Gesteinskörnungen schlechter als der von Referenz AC T 22 N und aufgrund der weicheren Bindemittel – schlechter als der Referenz AC F 22 mit 20/50-Bitumen. In grossen Höhen ist das Risiko plastischer

Verformungen jedoch geringer, wenn man zudem bedenkt, dass AC F 22 ein Fundationsmischgut ist.

Die Mischgutsorten AC T 16 N und AC T 22 N konnten mit einem um 10 % bis 20 % höheren RAP-Gehalt im Vergleich zu den Referenzmischgütern hergestellt werden, wobei sie dennoch ähnliche Eigenschaften wie die jeweiligen Referenzmischgüter aufwiesen.

Fig. 10 vergleicht die aussagekräftigsten leistungs-basierten Prüfergebnisse der HighRAP-Mischgüter mit den auf dem Lukmanierpass eingebauten Referenzmischgütern.

Mischgut	Bindemittelklasse	RAP-Gehalt	Widerstand gegen Rissbildung		Widerstandsfähigkeit gegen		Widerstand gegen Kälterisse	Steifigkeit	Ermüdungswid erstand	
			SCB	G-R	CC	BTSV			TSRST	ITT
ACT16 N (Lukmanierpass)	ACT16N 125 HighRAP	100/150	60%	➔ ➔	➔ ➔	➔	➔	↗	↗	-
	ACT16N 125 Reference	100/150	50%	● ●	● ●	●	●	●	●	-
	ACT16N 85 Reference	70/100	50%	↗ ➔	↘ ➔	➔	➔	↗	↗	-
ACT22 N (Lukm)	ACT22N 85 HighRAP	70/100	70%	➔ ➔	➔ ➔	➔	➔	↑	↗	-
	ACT22N 125 Reference	100/150	50%	● ●	● ●	●	●	●	●	-
ACF22 (Lukmanierpass)	ACF22 85 HighRAP	70/100	85%	↗ ↗	↑ ↘	↑	↑	↗	↘ ↗	-
	ACF22(2) 125 HighRAP	100/150	85%	↗ ↗	➔ ↓	↑	↑	➔	➔ ➔	-
	ACF22(1) 125 HighRAP	100/150	85%	↑ ↗	➔ ↓	-	-	-	-	-
	ACF22 35 Reference	20/50	85%	● ●	● ●	●	●	●	●	●

Legend:

- ergebnis der Referenzmischgut
- ↑ deutlich bessere Leistung
- ↗ etwas bessere Leistung
- ➔ ähnliche Leistung
- ↘ etwas schlechtere Leistung
- ↓ deutlich schlechtere Leistung
- SCB Halbzylinder-Biegeversuch (Mischgut)
- G-R Glover-Rowe Test (Bindemittel)
- CC Druckschwellversuch (Mischgut)
- BTSV BTSV-Temperatur (Bindemittel)
- TSRST Widerstand gegen Kälterisse (Mischgut)
- ITT Indirekter Zugversuch (Mischgut)
- MMLS3 Model mobile load simulator (Mischgut)

Fig. 10 Zusammenfassung der Leistung der Mischgüter der Lukmanierpass-Teststrecke

Empfehlungen für die Verwendung von RAP in Höhenlagen

- Zulassen der Verwendung von Mischgut AC F in Höhenlagen, wenn die Übereinstimmung mit den aktuellen Anforderungen an das Bindemittel und das Mischgut gewährleistet ist. Es muss nachgewiesen werden, dass das Bindemittel nicht für eine beschleunigte Alterung anfällig ist
- Die Anwendung eines leistungs-basierten Mischgutdesigns wird empfohlen, um ein höheres Mass an Sicherheit hinsichtlich der zu erwartenden Mischgutleistung zu gewährleisten. Dieses Verfahren sollte als Ergänzung zu konventionellen Tests verwendet werden.
- Wenn die Leistungseigenschaften nachgewiesen werden, ist die Verwendung von Mischgut des Typs AC T mit mindestens 70 % RAP zulässig. Für Mischgut des Typs AC F 22 ist die Verwendung von 85 % RAP möglich.
- Die Verwendung eines hohen RAP-Gehalts in Höhenlagen sollte nur zulässig sein, wenn eine hohe Homogenität des RAP gewährleistet werden kann.

Ein Hinweis zu den vorgeschlagenen Empfehlungen

Die gegebenen Empfehlungen sind die Meinung des Erstautors und basieren auf den Ergebnissen dieses Forschungsprojektes. Die Situationen können unterschiedlich sein, daher sollte vor der Entscheidung, diese Empfehlungen anzuwenden, ein fundiertes Expertenurteil eingeholt werden. Viele der Empfehlungen sind als ganzheitliche Lösungen gedacht. So sollte beispielsweise die Zulassung eines höheren RAP-Gehalts nur in Verbindung mit der Anpassung von Verfahren zur Sicherstellung einer hohen RAP-Homogenität in Betracht gezogen werden.

Vollständiger Bericht

Laden Sie den vollständigen Bericht, die Präsentation und die entwickelten Tools herunter:

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



Bibliography

1. You, Z.-P. and Goh, S.-W. (2008) Laboratory Evaluation of Warm Mix Asphalt: A Preliminary Study. *International Journal of Pavement Research and Technology*, **1**, 34–40. <http://www.airitilibrary.com/Publication/alDetailedMesh?docid=19971400-200801-201302260004-201302260004-34-40> (25 January 2019).
2. West, R., Michael, J., Turochu, R.E. and Maghsoodloo, S. (2011) Comparison of virgin and recycled asphalt pavements using long-term pavement performance SPS-5 data. In Transportation research board 90th annual meeting. Transportation Research Board, Washington, D.C.
3. Song, W., Huang, B. and Shu, X. (2018) Influence of warm-mix asphalt technology and rejuvenator on performance of asphalt mixtures containing 50% reclaimed asphalt pavement. *Journal of Cleaner Production*, **192**, 191–198. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618313118#bib43> (22 August 2018).
4. Bowers, B.F., Moore, J., Huang, B. and Shu, X. (2014) Blending efficiency of Reclaimed Asphalt Pavement: An approach utilizing rheological properties and molecular weight distributions. *Fuel*, **135**, 63–68. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236114005213?via%3Dihub> (22 August 2018).
5. Kriz, P., Grant, D.L., Veloza, B.A., Gale, M.J., Blahey, A.G., Brownie, J.H., et al. (2014) Blending and diffusion of reclaimed asphalt pavement and virgin asphalt binders. *Road Materials and Pavement Design*, **15**, 78–112. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14680629.2014.927411> (15 March 2018).
6. Sreeram, A., Leng, Z., Zhang, Y. and Padhan, R.K. (2018) Evaluation of RAP binder mobilisation and blending efficiency in bituminous mixtures: An approach using ATR-FTIR and artificial aggregate. *Construction and Building Materials*, **179**, 245–253. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818312315?via%3Dihub> (22 August 2018).
7. Valdés, G., Pérez-Jiménez, F., Miró, R., Martínez, A. and Botella, R. (2011) Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP). *Construction and Building Materials*, **25**, 1289–1297. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061810004496> (22 August 2018).
8. West, R. (2008) Summary of NCAT survey of RAP management practices and RAP variability. Auburn, AL.
9. Zaumanis, M., Oga, J. and Haritonovs, V. (2018) How to reduce reclaimed asphalt variability: A full-scale study. *Construction and Building Materials*, **188**, 546–554. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818320774> (28 August 2018).
10. Zaumanis, M. (2021) Chunk, Breakdown and Filler Increase calculator from paper 'Three indexes to characterize processing of reclaimed asphalt pavement'. January 19, 2021: 10.5281/zenodo.5500154.
11. Zaumanis, M. (2021) CBF milling calculator from paper 'Impact of milling machine parameters on the properties of reclaimed asphalt pavement'. January 19, 2021: 10.5281/ZENODO.4450091. <https://zenodo.org/record/4450091> (2 February 2021).
12. Tebaldi, G., Dave, E., Hugener, M., Falchetto, A.C., Perraton, D., Grilli, A., et al. (2018) Cold Recycling of Reclaimed Asphalt Pavements. In Partl, M.N., Porot, L., Di Benedetto, H., Canestrari, F., Marsac, P., Tebaldi, G. (eds), *Testing and Characterization of Sustainable Innovative Bituminous Materials and Systems*. Springer, Cham, pp. 239–296. http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-71023-5_6 (21 December 2018).
13. Zaumanis, M. (2022) Binder variability calculator based on reclaimed asphalt pavement (RAP) variability. December 15, 2022: 10.5281/zenodo.7441805. <https://zenodo.org/record/7441805> (15 December 2022).
14. Zaumanis, M. (2022) Rejuvenator dosage calculator for Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). December 15, 2022: 10.5281/ZENODO.7441761. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7441761> (15 December 2022).

HIGHRAP-PROJEKTERGEBNISSE

"Highly Recycled Asphalt Pavements" Forschungsbericht: <https://www.empa.ch/web/s308/highrap>
Martins Zaumanis (Empa Abteilung Beton und Asphalt): martins.zaumanis@empa.ch



Zielsetzung: Entwicklung von Empfehlungen für Asphaltbeläge mit hohem Recyclinganteil

UNTERSUCHUNG DES BRECHENS UND SIEBENS UNTER REALEN BEDINGUNGEN

- Ein hoher Gehalt an Feinanteilen kann den maximalen Gehalt an Ausbausphalt (RAP) begrenzen.
- Die Indizes (CBF) ermöglichen eine quantitative Charakterisierung der RAP-Aufbereitung. Entwickelter Kalkulator verfügbar

FRÄSVERSUCH UNTER REALEN BEDINGUNGEN

- Keine Alterung des RAP
- Die Kantigkeit der Gesteinskörnung verändert sich nicht
- Die RAP-Agglomerationen steigen mit zunehmender Geschwindigkeit und es wird weniger Füller erzeugt

RAP-CHARAKTERISIERUNG

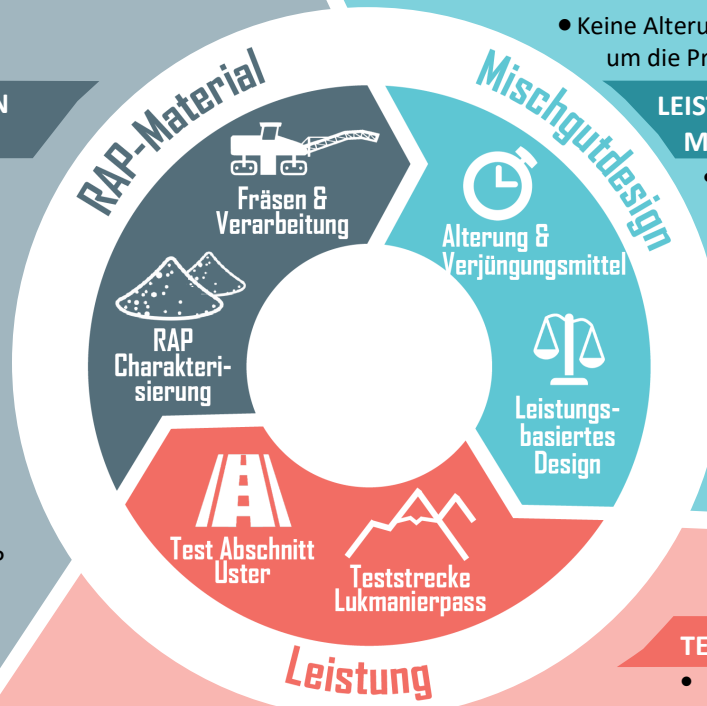
- Die aktuellen Prüfmethode für RAP sind ineffizient
- In einigen Fällen war das RAP nicht homogen
- Fragmentations- und Kohäsionstests wurden evaluiert, aber weitere Forschung ist notwendig für die Entwicklung schnellerer RAP-Charakterisierungstests

AUSWAHL DES VERJÜNGSMITTELS & ALTERUNGSBESTÄNDIGKEIT

- Dosierung basierend auf der Penetration. Entwickelter Kalkulator verfügbar
- RTFOT+2xPAV-Alterung simulieren Bindemittelalterung im RAP
- Verjüngte Bindemittelmischungen sind nicht anfällig für beschleunigte Alterung
- Keine Alterung des Labormischgutes erforderlich um die Produktion im Werk zu simulieren

LEISTUNGSBEZOGENES MISCHGUT-DESIGN

- Prüfung von Rissanfälligkeit und plastischer Verformung, um den Bindemittelgehalt zu optimieren
 - Konventionellen Anforderungen an das Mischgut meistens erfüllt
 - Durchführung zusätzlicher Prüfungen an Bindemittel und Mischgut zur Bestätigung der endgültigen Rezepturen (z. B. TSRST, FRT, BTSV, Glover-Rowe-Test, MSCR)



TESTABSCHNITT AUF STARK BELASTETER STRASSE (T3)

- 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 AUF >1900 M

- 85 % RAP wurde in Fundationschichten 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

- Verwenden von RAP $\leq 30\%$ in PmB-Deckschichten (PmB 45/80-80) und $\leq 50\%$ in der PmB-Trag-/Binderschicht (PmB 45/80-65)
- Verwenden von RAP in Höhenlagen: $\leq 70\%$ in der Trag-/Binderschicht und $\leq 85\%$ in der Fundationsschicht (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)
- 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
- Berücksichtigen der MSCR-Bindemittelprüfung für die RAP-Verwendung in Mischgut mit PmB
- Verwenden der CBF-Indizes zur Optimierung der RAP-Aufbereitung
- Erwägen der Verwendung von hochmodifiziertem PmB, um die angestrebte PmB-Qualität zu erreichen
- Umsetzung dieser Empfehlungen nach eigener Validerung

TEILNEHMER



SPONSOREN

Bundesamt für Strassen
Bundesamt für Umwelt
AWEL Kanton Zürich
ANU Kanton Graubünden