



Nach umfangreichen Laboruntersuchungen belegt eine Teststrecke die Richtigkeit des neuen Ansatzes

Fotos: EMPA

# 100-Prozent-Recycling für verkehrsarme Straßen

Im Forschungsprojekt „ORRAP – Optimales Recycling für die Oberrheinregion“ wurde untersucht, was bei einer 100-prozentigen Wiederverwendung von Asphalt beachtet werden muss.

CHRISTIANE RAAB UND HARTMUT HERB

**A**us Gründen des Umweltschutzes ist die Wiederverwendung von Ausbauphase (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP) mittlerweile in vielen Ländern und Regionen der Welt obligatorisch. Trotzdem wächst der Anteil an zu lagerndem Ausbauphase weiterhin stark, insbesondere in Regionen mit hochwertiger Infrastruktur, dichter Besiedlung und stark befahrenen regionalen Straßennetzen, in denen die Sanierung den Neubau bei weitem übersteigt, was die lokalen Behörden nicht nur hinsichtlich begrenzter Lagerplätze vor große Herausforderungen stellt. Eine dieser Regionen ist das Oberrheingebiet, das Teile Deutschlands, Frankreichs und der Schweiz zwischen den Städten Karlsruhe, Straßburg und Basel umfasst.

Heutzutage wird RAP sowohl in Heiß- als auch in Niedertemperatur-Asphaltemischungen wieder-

50

**PROZENT** des Straßennetzes bestehen aus kommunalen Straßen

verwendet, indem neues Material hinzugefügt wird, entweder als einzelne Materialkomponenten oder in bestimmten Prozentsätzen der neuen Asphaltmischung [1], [2]. Beim Heißrecycling werden bitumenhaltige Bindemittel und/oder Rejuvenatoren zugegeben, während beim Niedertemperaturrecycling Emulsionen, Schaumbitumen und andere Komponenten verwendet werden [3], [4]. Die Zugabe von neuem Material bedeutet jedoch, dass man nur einen bestimmten Prozentsatz des Ausbaumaterials verwenden und nie wirklich 100 % Recycling erreichen kann.

Durch die Anwendung einer 100%-Recyclingtechnologie für Straßen mit geringem Volumen unter Verwendung von Ausbauphase bei Umgebungstemperatur ohne Zugabe von neuem bitumenhaltigen Bindemittel oder anderen Komponenten



Bild 1: Ausbauspalthaufen mit Brech-/Siebeinheit

kann die derzeitige Recyclingrate weiter erhöht werden, wodurch die Kosten für die Sanierung gesenkt und Umweltauswirkungen wie CO<sub>2</sub>-Emissionen, Energieverbrauch und Verbrauch natürlicher Materialressourcen minimiert werden. Dadurch könnten erhebliche ökologische und ökonomische Vorteile für die Verwaltungen von kommunalen Straßen mit geringem Verkehrsaufkommen realisiert werden, die vielerorts, wie auch in der Oberrheinregion etwa 50 % des Straßennetzes ausmachen. Die Anwendung eines solchen Verfahrens durch Kaltrecycling von Ausbauspalt ohne Bindemittelzusatz war das Ziel des von EFRE - Interreg V (3.1 ORRAP), dem Kanton Aargau und der Schweizerischen Eidgenossenschaft geförderten Projekts ORRAP „Optimal Recycling of Reclaimed Asphalt for low-traffic Pavements“ [5].

Das Projekt ORRAP basierte auf erfolgreichen Erfahrungen in Schweden, wo die Methode vor einigen Jahren in Feldversuchen auf kommunalen Straßen und auf verkehrsarmen Verbindungsstraßen durchgeführt wurde [6], [7]. Hier wurden 100 % Ausbauspalt bei Umgebungstemperatur für Tragschichten verwendet, die später mit Heißasphaltdeckschichten überbaut wurden. Nach schwedischen Erfahrungen benötigen die bei Umgebungstemperatur (bis 10 °C) hergestellten Tragschichten eine Nachverdichtung durch den Verkehr sowie eine Aushärtung, um sich zu setzen und ihre Endfestigkeit zu erreichen. Deshalb wurden sie mindestens 6 Monate lang unbedeckt gelassen. Da dieser lange Nachverdichtungsprozess für die 3 am ORRAP beteiligten Länder keine praktikable Strategie war, wurde die schwedische Recyclingtechnik neu überarbeitet

## 2

### TESTSTRECKEN

wurden gebaut. Eine in der Schweiz, eine in Frankreich.

und eine verbesserte Recycling- und Bautechnik vorgeschlagen. Um eine homogenere Lastverteilung zu erreichen und Verkehrseinschränkungen zu vermeiden, wurde entschieden, die 100prozentige Recyclingtragschicht der zu realisierenden In-situ-Teststrecken direkt nach dem Einbau mit einer Deckschicht aus Heißmischgut zu überbauen.

### Vorgehen

Das ORRAP-Projekt beinhaltete eine umfassende Untersuchung der vorgeschlagenen Recyclingtechnik und ihrer Anwendung. Es bestand aus verschiedenen unter den Projektpartnern aufgeteilten Arbeitspaketen und gliederte sich grundsätzlich in folgende Schritte:

- Analyse der Recyclingpraktiken und -techniken in der Oberrheinregion,
- Materialuntersuchung und -auswahl anhand von Laboruntersuchungen im kleinen und mittleren Maßstab,
- Konstruktion von 2 Teststrecken in der Schweiz und in Frankreich,
- ökonomische und ökologische Bewertung
- sowie Erstellung eines technischen Leitfadens für Anwendung und Konstruktion [5].

Die Materialuntersuchungen umfassten neben einer genauen Analyse des Recyclingmaterials auch dessen Bindemittleigenschaften und erfolgten vorwiegend an der Hochschule Karlsruhe und bei der Firma Cerema in Strasbourg.

Die Laboruntersuchungen waren in 2 Phasen unterteilt: In der ersten Phase wurden Laborversuche im kleinen Maßstab an der Insa in Stras- ▶

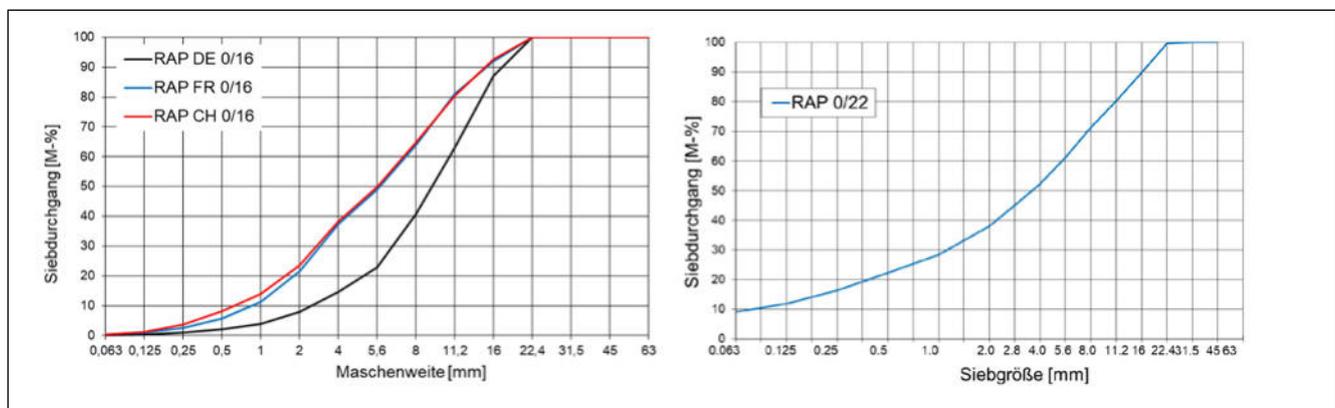


Abbildung 1: Korngrößenverteilung: Labormischgut aus Schweiz, Frankreich und Deutschland (links) und Mischgut der Teststrecke in der Schweiz (rechts)

Tab. 1: Kennwerte der untersuchten RAP-Materialien

KENNWERT	EINHEIT	DE	FR	CH
Bindemittelgehalt	%	4,5	4,5	4,1
Fremdbestandteile	%	0	0,2	0
mod. Proctordichte	g/cm <sup>3</sup>	1,92	1,79	1,81
Proctor, opt. Wassergehalt	%	5,6	5,5	4,3
CBR-Wert (frisch)	%	14	12	14
CBR-Wert (28 d)	%	19	21	24

Tab. 2: Kennwerte des auf der Teststrecke in der Schweiz eingebauten Recyclingmischguts 0/22

KENNWERT	EINHEIT	
Bindemittelgehalt	M.-%	4,0
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	2,378
Wassergehalt	%	4,4

Tab. 3: Erweichungspunkte Ring und Kugel und Nadelpenetration

Kennwert	Einheit	DE	FR	CH
RuK	°C	66,6	67,8	68,6
PEN	1/10 mm	20	17	16

bourg [8] und an der Empa in Dübendorf durchgeführt [9]. Die zweite Phase an der Empa bestand aus einer Verkehrssimulation im Labormaßstab, die die Verbindung zur Praxis herstellen sollte und darauf abzielte, Voraussetzungen für den Einbau einer in-situ-Teststrecke zu schaffen.

In diesem Artikel werden vor allem auf die an der Hochschule Karlsruhe durchgeführten Material- und Bindemitteluntersuchungen und die Verkehrssimulation der Empa eingegangen sowie der Bau der Teststrecke in der Schweiz beschrieben.

## Materialauswahl

Das Material für die Laboruntersuchungen wurde von den Partnern der verschiedenen Länder zur Verfügung gestellt, wobei jeweils ein Recyclingmaterial aus jedem der 3 Länder ausgewählt wurde. Es wurde von bestehenden ungeschützten Freilanddeponien, wie in Bild 1 dargestellt, entnommen, auf die Größe von 0/16 mm gebrochen und in Big Bags zu den verschiedenen Laboren transportiert.

Die Entscheidung für ein Recyclingmaterial der Korngröße 0/16 mm wurde unter Berücksichtigung einer möglichst guten Verdichtbarkeit des Materials getroffen. Für die Teststrecke musste wegen der benötigten Schichtdicken allerdings

auf ein Recyclingmaterial der Korngröße 0/22 mm zurückgegriffen werden.

Vor der Laboruntersuchung und -prüfung wurde das Recyclingmaterial 0/16 mm homogenisiert und portioniert, indem es durch einen Riffelteiler, wie in der europäischen Norm [EN 932-1, 1996] beschrieben, gegeben wurde. Für die schweizerische Teststrecke zwischen Wahlen und Büsserach wurde das Schweizer Recyclingmaterial 0/22 mm ohne weitere Vorbehandlung verwendet.

## Materialuntersuchung

Die Materialuntersuchung an der Hochschule Karlsruhe umfasste 2 Aspekte: Einerseits wurde das angelieferte Asphaltgranulat insbesondere hinsichtlich seiner Verdichtungseigenschaften untersucht. Andererseits erfolgte die Charakterisierung der Bindemittel nach Extraktion und Rückgewinnung. An der Empa wurden zusätzlich Kenndaten des in situ eingebauten Asphaltgranulats ermittelt.

## Untersuchung von Asphaltgranulat

Abbildung 1 zeigt die Korngrößenverteilung der im Labor untersuchten Recyclingmischungen 0/16 der 3 verschiedenen Länder sowie diejenige der Teststrecke. Auffallend sind höhere Gehalte in den groben Kornklassen im deutschen Labormischgut im Vergleich zu dem Material aus Frankreich und der Schweiz.

Neben den Verfahren zur Bestimmung von Verdichtungsfähigkeit mittels Proctor- und CBR-Versuch wurden Bindemittelgehalt und Fremdstoffgehalt bestimmt. Die Untersuchung des RAP auf grobe Fremdstoffe erfolgte durch Sichtprüfung des Siebrückstandes nach Siebung mit einem 8 mm Sieb [EN 12697-42]. In einem Asphaltanalysator wurde der RAP einer Heißextraktion mit Trichlorethen unterzogen. Das im Lösungsmittel gelöste Bitumen wurde dadurch vom Gestein getrennt [EN 12697-3]. Die Rückgewinnung des Bindemittels erfolgte durch Evaporation des Lösungsmittels im Rotationsverdampfer. Der Bindemittelgehalt wurde danach gravimetrisch bestimmt [EN 12697-1].

Zur Ermittlung der Proctordichte des RAP, welche die maximale unter definierter Verdichtungsarbeit bei optimalem Wassergehalt erreichbare Dichte eines Baumaterials bezeichnet, wurde der genormte Proctorversuch mit modifizierter Verdichtungsarbeit eingesetzt [EN 13286-2]. Der CBR (California Bearing Ratio)-Wert wird als Verhältnis der für eine bestimmte Eindringtiefe gemessenen Kraft zu einer Bezugskraft in Prozent berechnet. 100 % entsprechen dabei einem genormten kalifornischen Kalkstein. Die Beziehung zwischen Kraft und Eindringtiefe wird ermittelt, indem ein zylindrischer Stempel mit genormter Querschnittsfläche

# 2

**ASPEKTE** umfasste die Materialuntersuchung: die Verdichtungseigenschaften des Asphaltgranulats sowie die Charakterisierung der Bindemittel

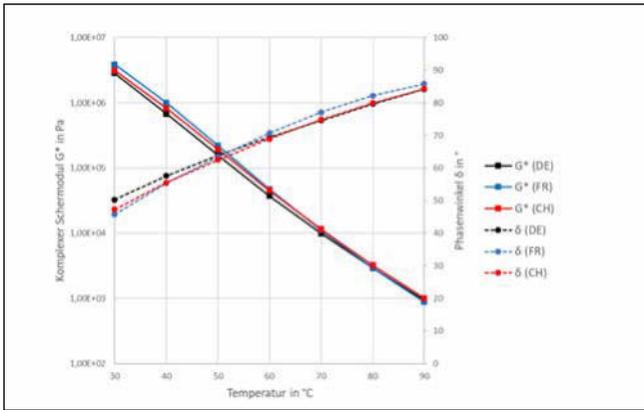


Abbildung 2: Isochronen des komplexen Schermoduls  $G^*$  und des Phasenwinkels  $\delta$

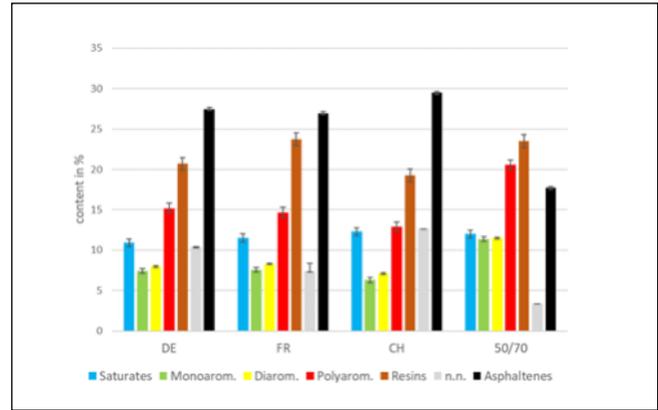


Abbildung 3: Gehalte der SARA-Fractionen

Abbildungen: EMIPA

mit einer bestimmten Eindringgeschwindigkeit in einen Probekörper aus dem zu prüfenden Gemisch, das sich in einer Form befindet, eingedrückt wird [EN 13286-47]. Der zu messende Probekörper wird durch modifizierte Verdichtungsarbeit im Proctoropf hergestellt. Die Versuche wurden an frisch verdichteten Probekörpern und an 28 Tage alten Probekörpern, die hier bei Raumtemperatur im Proctoropf getrocknet wurden, durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Bezüglich des Vorhandenseins von Fremdstoffen konnten nur im RAP-Material aus Frankreich geringfügige Mengen (Metallteil) festgestellt werden. Entsprechend sind alle 3 Materialien der Kategorie FM1/0,1 zuzuordnen [TL AG-StB]. Die Ermittlung des Bindemittelgehalts ergab bei den RAP aus Deutschland und Frankreich einen Bindemittelgehalt von 4,5 %. Das Material aus der Schweiz wies mit 4,1 % einen geringeren Bindemittelgehalt auf. Zum Vergleich beträgt der Mindestbindemittelgehalt für Asphalttragschichten AC 16 T 4,0 % (für S und N) bzw. 4,2 (für L) [TL Asphalt StB].

Die Ergebnisse der optimalen Wassergehalte des modifizierten Proctorversuchs von ca. 1,8 bis 1,9 % können zur Einstellung der Wassergehalte beim Einbau des Materials auf der Baustelle verwendet werden. Der Vergleich zwischen den CBR-Werten der frisch hergestellten und 28 Tage alten Probekörpern zeigt eine Zunahme der CBR-Werte im Bereich von 5 bis 10 % (absolut). Im Hinblick auf den Zeitpunkt des Einbaus der Materialien auf einer Straße ist somit zu erwarten, dass während einer trockenen Periode, z.B. während des Sommers, eine Zunahme der Tragfähigkeit erfolgen wird. Tabelle 2 gibt die Kennwerte des auf der Teststrecke eingebauten Recyclingmischguts 0/22 wieder.

#### Untersuchung der extrahierten Bindemittel

Die extrahierten und rückgewonnenen Bitumen wurden verschiedenen physikalisch-mechanischen und chemischen Untersuchungsmethoden unterzogen. Zur Charakterisierung des Fließverhaltens der Bitumen bei hohen Temperaturen wurde der Erweichungspunkt durch die Ring-und-Kugel-

## 5

**BIS** 10 Prozent weniger Aromaten sind im Bitumen der RAP-Materialien enthalten

Methode (RuK) bestimmt [DIN 1427]. Durch die Bestimmung der Nadelpenetration (PEN) wurde die Konsistenz bei mittlerer Temperatur (25 °C) gemessen [DIN 1426].

Die erhaltenen Werte (Tabelle 3) für den Erweichungspunkt liegen alle unter dem Grenzwert für die Wiederverwendung von Asphaltgranulat im Heißasphalt von 70 °C. Entsprechend weisen die Ergebnisse der Nadelpenetration Werte über dem Grenzwert von 15/10 mm auf [TL AG-StB]. Zur Ermittlung des Verformungs- und Fließverhaltens der Bitumen bei mittleren und hohen Gebrauchstemperaturen wurde das Dynamische Scherrheometer im T-Sweep-Modus [EN 14770] eingesetzt. Die Ergebnisse in Form von Isochronen sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Werte der 3 Bitumen unterscheiden sich nicht signifikant.

Bei der SARA-Analyse [ASTM D-2007-19], [11] geht es um eine chemische Auftrennung von Bitumen in verschiedene Komponenten nach ihrer Polarität in einem zweistufigen Verfahren: Zunächst erfolgt die Abtrennung der Asphaltene von den Maltenen durch Lösemittelfällung in Anlehnung an die Versuchsvorschrift DIN 51595 [12]. Anschließend werden durch Normalphasen-Säulenchromatographie die Maltene präparativ aufgetrennt. Damit werden folgende Komponenten ermittelt: ▶

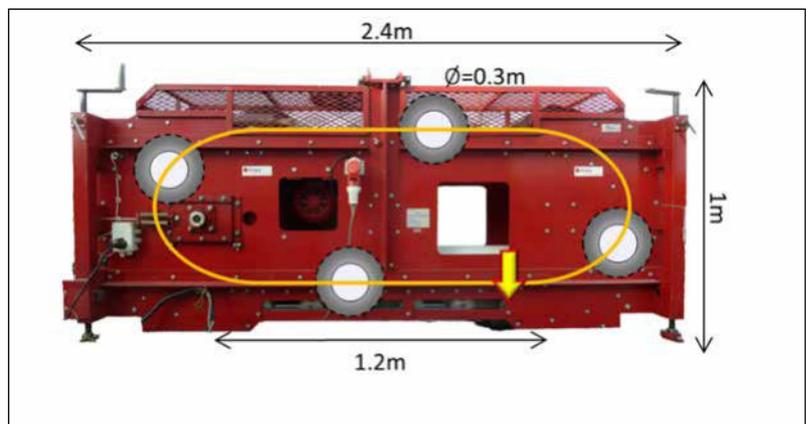


Abbildung 4: Verkehrslastsimulator MMLS3

Abbildungen: EMPA

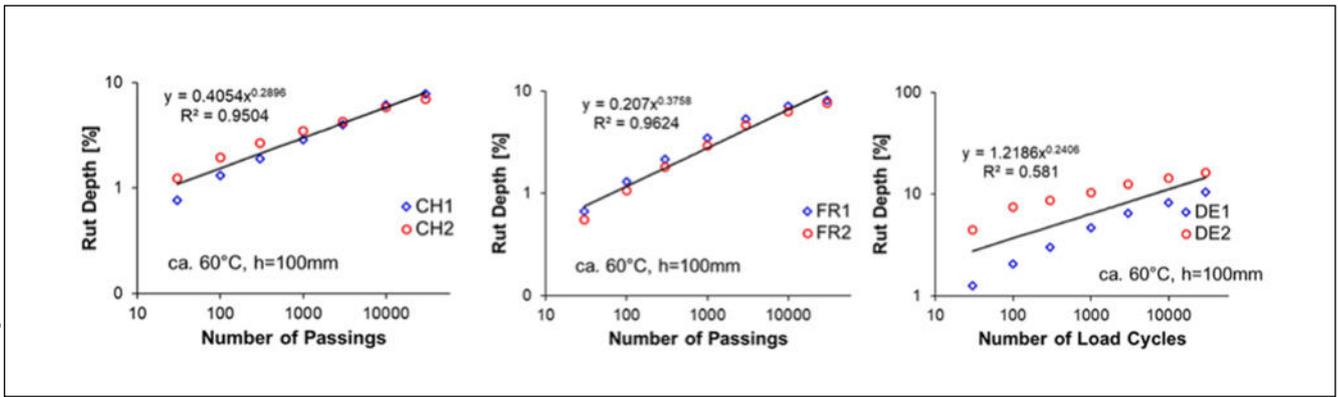


Abbildung 5: Ergebnisse Spurbildungsprüfung mit großem Rad für das Schweizer Material (links), das französische (Mitte) und das deutsche (rechts)

- Saturates (gesättigte Kohlenwasserstoffe),
- Aromatics (Aromaten mit Unterfraktionen: Mono-, Di-, Poly-),
- Resins (Harze) sowie
- Asphaltene (Asphaltene).

Die Ergebnisse der Auftrennung der untersuchten Bitumen in diese Fraktionen durch Lösemittelfällung und Säulenchromatographie sind in Abbildung 3 dargestellt. Neben den 3 RAP-Materialien aus Deutschland, Frankreich und der Schweiz wurde zum Vergleich auch ein frisches Bitumen der Sorte 50/70 untersucht. Im Vergleich zu dem frischen Bitumen ist deutlich erkennbar, dass die Fraktionen der Aromaten (Mono-, Di-, Poly-) aus den Bitumen der RAP-Materialien mit ca. 5-10 % (absolut) signifikant geringere Werte aufweisen. Noch höhere Differenzen treten bei der Asphaltfraktion auf. Der Wert des RAP-Materials aus der Schweiz ist hier mit einem Wert ca. 29 % um mehr als die Hälfte (relativ) höher als der des frischen Bitumens. Die Gehalte der Fraktion der gesättigten Kohlenwasserstoffe zeigen bei frischem und gealtertem Bitumen ähnliche Werte. Der Alterungsprozess der Bitumen während der vorherigen Nutzungsdauer kann somit bezüglich der gemessenen SARA-Fractionen so interpretiert werden, dass die Fraktionen der Aromaten durch Oxidation und Vergrößerung der Molekülgrößen abnehmen, und dadurch die Fraktion der höhermolekularen und höheroxidierten Asphaltene zunimmt.

## 2

**SCHRITTE** umfassen die Laboruntersuchungen der Empa: Zuerst wurde die Verdichtbarkeit von kleinen Laborprobekörpern untersucht, anschließend an mittelgroßen Probekörpern.

### Laboruntersuchungen an der Empa

Die Laboruntersuchung an der Empa wurde in 2 Schritten durchgeführt: Zuerst wurde die Verdichtbarkeit von kleinen Laborprobekörpern untersucht. Basierend auf den Ergebnissen erfolgte anschließend die Verdichtung an mittelgroßen Probekörpern. Diese mittelgroßen Probekörper wurden für eine Untersuchung mit dem Spurbildungstester mit großem Rad (EN 12697- 22) und einem Labor-Verkehrssimulator im Maßstab 1:3, dem so genannten Modell-Mobilen-Last-Simulator MMLS3, zur Bestimmung der Standfestigkeit und des Spurbildungsverhaltens verwendet.

### Verdichtung kleiner Laborprobekörper

Für die Verdichtung von mittelgroßen Laborproben wurde folgende Methode angewandt, bei denen das RAP-Material auf  $60^\circ C$  erhitzt wurde [9], [10]:

- Mittelgroße Probekörper (500 mm x 180 mm, Höhe 100 mm) für den Spurbildungstester mit großem Rad wurden mit der für dieses Gerät erforderlichen Verdichtung hergestellt, wobei allerdings eine Stahlwalze anstelle des pneumatischen Rads verwendet wurde.
- Mittelgroße Probekörper (1300 mm x 430 mm x 65 mm) für den MMLS3-Verkehrssimulator wurden mit einem speziellen Verdichter hergestellt, der aus einer Stahlwalze mit einer Breite von 90 mm und einem Durchmesser von 35 mm besteht. Die Stahlwalze ist auf einem Metallrahmen mit Schienen für die horizontale Verschie-

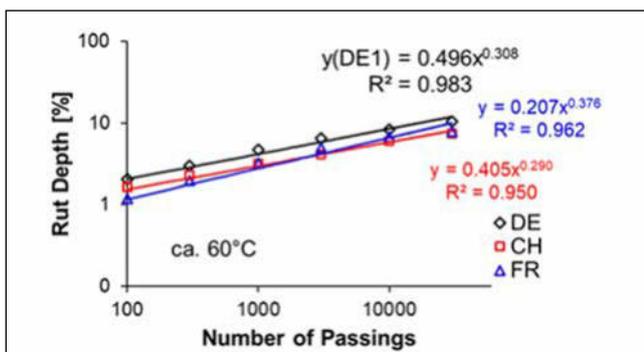


Abbildung 6: Ergebnisse Spurbildungsprüfung mit großem Rad

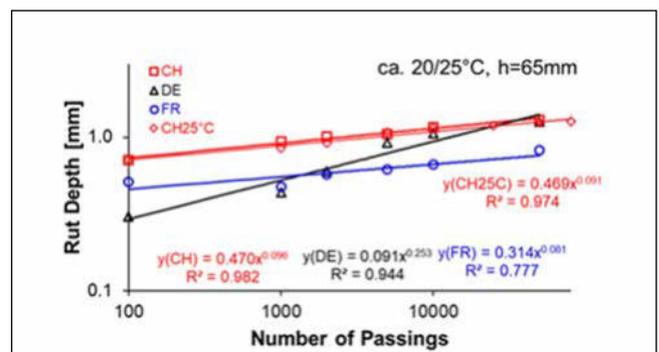


Abbildung 7: Ergebnisse Spurbildungsprüfung mit Verkehrslastsimulator MMLS3

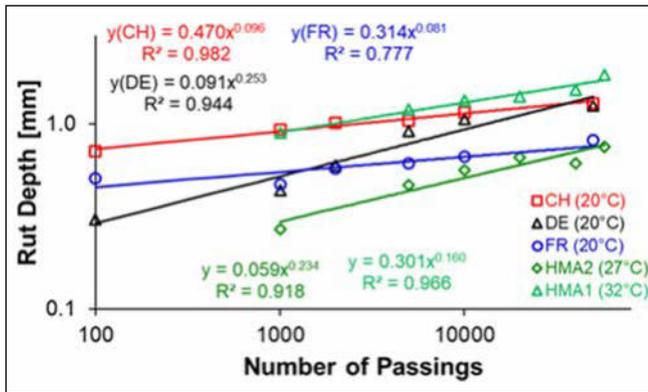


Abbildung 8: Vergleich der Spurrinnenbildung unter MMLS3 mit Heiasphaltbelgen in situ

bung montiert [9]. Eine Kurbel ermöglicht die Bewegung der Stahlwalze in vertikaler Richtung. Während der Verdichtung wird die Stahlwalze mit Wasser besprüht. Die Verdichtung erfolgte manuell durch Hin- und Herschieben der Stahlwalze in Längsrichtung im statischen Verdichtungsmodus ohne Vibration, wobei ein Betonboden als Unterlage und ein Holzrahmen als seitliche Begrenzung dienen. Diese Methode führte zu gut verdichteten Probekörpern mit ebener Oberfläche und mit einem Materialverlust von nur etwa 0,1 Gew.-% [9].

Obwohl es sich bei dem ORRAP-Material um ein Mischgut für schwachbelastete Straßen mit Mischgut der Kategorie L handelt, wurden die Spurbildungsprfungen mit großen Rad bei 60 °C mit bis zu 30.000 Zyklen durchgeführt, wie es in der Schweizer Norm eigentlich nur für sehr stark befahrene Straßen für Mischgut der Kategorie H erforderlich ist (SN 40420). Für die Verkehrssimulation wurde der Verkehrslastsimulator MMLS3 verwendet [13], der eine skalierte Reifenlast von 2,1 kN in einer Fahrtrichtung mit 4 pneumatischen 300 mm Rädern, aufbringt (Abbildung 4). Diese Maschine (Länge x Breite x Höhe = 2,4 x 0,6 x 1,2 m) ermöglicht ca. 7.200 Ladevorgänge pro Stunde bei einer Geschwindigkeit von 2,6 m/s.

Die erste Prüfung für das Recyclingmaterial 0/16 mm aus der Schweiz wurde im Sommer bei Umgebungstemperatur (25 °C) mit bis zu 80.000 Lastberfahrten durchgeführt [9]. Später wurde eine weitere Prfkampagne für Recyclingmaterial aus der Schweiz, Frankreich und Deutschland bei einer Temperatur von 20 °C und mit bis zu 50.000 Lastberfahrten durchgeführt. Pro Recyclingmaterial wurden je 2 Probekörper getestet. Die Spurrinnenbildung wurde mit einem automatischen Profilometer an 3 verschiedenen Punkten innerhalb der Radspur der MMLS3 gemessen und gemittelt.

**Ergebnisse Spurbildungstester mit großen Rad**

Die Ergebnisse der Spurrinnenprfung aller Probekörper sind in den Abbildung 5 dargestellt.

Während die Ergebnisse für beide Prüfkörper beim Recyclingmaterial aus Frankreich und der

Schweiz gut bei einander liegen, sind die Abweichungen für das deutsche RAP recht hoch. Während ein Probekörper relativ stabil ist, versagt der andere plötzlich. Der Grund für dieses Verhalten ist nicht ganz klar. Es könnte jedoch auf eine plötzliche Neuausrichtung von großen, auf einer Seite der Probe konzentrierten Gesteinsbrocken zurückzuführen sein, sodass es unter der knetenden Gummiradverdichtung zu einer unsymmetrisch erzeugten Spurrinne kam. Diese Beobachtung verdeutlicht eindeutig, die Wichtigkeit einer guten Aufbereitung und Siebung dieser Art von Recyclingmaterial.

Ignoriert man diesen Prüfkörper als nicht repräsentativ, wird der Vergleich des Spurrinnenverhaltens des Recyclingmaterials aus den verschiedenen Ländern in Abbildung 6 dargestellt. In diesem Fall liegen nun alle Recyclingmaterialien recht nahe beieinander. Allerdings ist die Steigung bei dem französischen Material höher als bei den Recyclingmaterialien aus der Schweiz und Deutschland. Das französische Material hat vor allem zu Beginn eine höhere Spurrinnengeschwindigkeit. Die Steigung des deutschen Materials ist vergleichbar mit demjenigen aus der Schweiz. Insgesamt ist die deutsche Mischung aber weniger spurrinnenbestndig.

Im Vergleich zu den Anforderungen für Asphaltbetonbelge der Schweizer Norm [Annex SN 640431 zu EN 13108-1] erfüllt nur das Schweizer Material die Anforderungen für den Mischungs-Typ S für schweren Verkehr ( $\leq 10\%$  nach 10.000 Überfahrten) und sehr schweren Verkehr H ( $\leq 7,5\%$  nach 30.000 Überfahrten), während das französische Material nur die Anforderung für den Typ S erfüllt.

**Ergebnisse Verkehrslastsimulator MMLS3**

Abbildung 7 zeigt das Ergebnis der Spurbildungsprüfung mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3 für alle Recyclingmaterialien, wobei jeweils der Mittelwert aus 3 Profilmessungen an 2 Probekörpern dargestellt ist. Um zu zeigen, dass die Temperaturdifferenz von 20 bzw. 25 °C vernachlässigt werden kann, ist zusätzlich der Mittelwert der ersten beiden bei 25 °C geprüften Schweizer Probekörper dargestellt.

Man sieht, dass das Schweizer Recyclingmaterial bei Belastung mit dem MMLS3 eine größere Spurrinnenbildung zeigte als das französische Material, aber eine ähnliche Spurrinnenbildungsgeschwindigkeit. Das deutsche Material besitzt dagegen eine deutlich höhere Spurrinnenbildungsgeschwindigkeit ausgehend von der niedrigsten Anfangsspurrinne. Die Einbeziehung des bei 25 °C getesteten Schweizer Materials zeigt, dass der Temperatureinfluss hier marginal ist. Auch wenn die Spurrinnen des deutschen Materials zu Beginn deutlich geringer waren, ergeben sich aber am Ende der Prüfung aufgrund der deutlich höheren

380

METER lang war die ORRAP-Teststrecke in der Schweiz lang. Ihre durchschnittliche Breite lag bei 5,5 m.



Bild 2: Wasserzufuhr in die Fertigerschnecke und hinter der Einbaubohle



Bild 3: Durch Walze hervorgerufene Querrisse



Bild 4: Kantenabbrüche aufgrund mangelnder Schulterstabilität



Bild 5: Fertig eingebaute Schicht aus Recyclingmaterial



Bild 6: Teststrecke 1 Jahr nach Einbau

Fotos: EMPA

Spurrinnenbildungsgeschwindigkeit Spurrinnen in der gleichen Größenordnung wie bei den anderen beiden Materialien.

Im Vergleich zu den Ergebnissen des Spurbildungstesters mit großem Rad bei 60 °C (Abbildung 6) ändert sich die Rangfolge zwischen den verschiedenen Recyclingmaterialien. Sowohl die deutschen als auch die französischen Materialien zeigen einen höheren Spurrinnenwiderstand im MMLS<sub>3</sub>-Test bei 20 °C, aber einen niedrigeren und fast gleichen Spurrinnenwiderstand im Spurbildungstest mit großem Rad bei 60 °C. Es scheint, dass das deutsche Material stärker temperaturabhängig ist als das Schweizer Material. Man kann auch feststellen, dass von allen 3 Mischungen das französische Material die am wenigsten spurrinnenanfällige Mischung war.

Diese Temperaturabhängigkeit kann auf die RAP-Korngrößenverteilungskurve und die Größe der RAP-Cluster zurückzuführen sein. Es kann durchaus sein, dass große RAP-Cluster während der MMLS<sub>3</sub>-Prüfung bei 20 °C stabil sind, aber bei höheren Temperaturen wie 60 °C leichter auseinanderfallen. Das deutsche Material könnte ein Beispiel dafür sein.

In der Praxis würde dies bedeuten, dass die thermische Stabilität der RAP-Cluster für diese Art von Material in Bezug auf die Verdichtung und Verarbeitbarkeit entscheidend ist. Ein Vergleich der MMLS<sub>3</sub>-Ergebnisse mit 2 Asphaltbeton-Belägen aus Heißmischgut HMA<sub>1</sub> (kein Recyclinganteil) und HMA<sub>2</sub> (80 % RAP) für verkehrsarmen Straßen AC 8 L, die mit dem MMLS<sub>3</sub> im Feld im Rahmen eines anderen Projekts bei ca. 32 und ca. 27 °C getestet wurden, zeigt, dass die Spurrinnenbildung der Recyclingmaterialien aller 3 Länder mit 100 % RAP als gering einzustufen ist (Abbildung 8). Die Temperaturen während der Belastung, insbesondere von HMA<sub>1</sub> waren allerdings höher als bei den Materialien im Labor.

Die unterschiedlichen Temperaturgradienten zwischen den Feld- und Laborversuchen sowie die unterschiedliche Verdichtung und Art des Mischguts haben sicherlich die Spurrinnenbildung der Feldversuche im Vergleich zu den Mischungen aus den 3 Ländern beeinflusst. Man sollte auch nicht außer Acht lassen, dass HMA<sub>1</sub> und HMA<sub>2</sub> eine kleinere maximale Gesteinskörnung von 8 mm im Vergleich zu den Mischungen mit 16 mm hatten.

### Die In-situ-Teststrecke

Bei der zwischen den Schweizer Dörfern Wahlen und Büsserach eingebauten In-Situ-Teststrecke handelt es sich um eine Straße mit einem geringen durchschnittlich täglichen Verkehrsaufkommen von 200 Fahrzeugen pro Tag. Die Länge der ORRAP-Teststrecke betrug 380 m. Die durchschnittliche Breite der Straße lag bei ca. 5,5 m mit einer Schulterbreite von 1,5 m.

Für den Bau wurde der vorhandene Asphaltbelagsaufbau um 3 bis 5 cm abgefräst und das ORRAP-Recyclingmaterial RAP 0/22 mit einer Dicke von 10 cm auf einen Haftkleber aufgebracht. Am nächsten Tag erfolgte dann der Einbau einer 4 cm dicken Deckschicht aus Heißmischgut AC 11 N mit 11 mm Größtkorn und einem Bitumen der Sorte 70/100. Da das eingebaute RAP-Material keine seitliche Abstützung hatte, wurden die Schultern als Schwachstellen betrachtet und auf jeder Seite 20 cm breiter als die Deckschicht ausgeführt. Nach dem Bau der Deckschicht wurden diese 20 cm dann mit Erde verfüllt.

Der Einbau des ORRAP Materials fand an einem sehr heißen, trockenen Sommertag mit einer Höchsttemperatur von 36 °C statt. Das Material wurde mit Lkw von der Deponie transportiert, die sich in ca. 35 km Entfernung von der Baustelle befand.

Der Wassergehalt des Recyclingmaterials RAP 0/22 mm lag zwischen 4,2 und 4,6 %. Zur besseren Verarbeitbarkeit und Verdichtung unter den herrschenden Temperaturen und um ein schnelles Austrocknen der Oberfläche zu verhindern, wurde das Material in der Fertigerschnecke und nach der Einbaubohle mit Wasser besprüht (Bild 2).

Zur Verdichtung kamen 3 verschiedenen Walzen zum Einsatz: Eine Stahlwalze mit einem Gewicht von 2,5 t zur Vorverdichtung und Nivellierung und 2 Gummiradwalzen mit einem Gewicht von 4,5 und 24 t. Die Verdichtung mit einer schweren Stahlwalze (12,5 t) im Vibrationsmodus führte, wie Bild 3 zeigt, zu Querrissen, und musste daher abgebrochen werden. Wie vorausgesehen, erwies sich die mangelnde Schulterstabilität als problematisch, und es kam wie in Bild 4 dargestellt, zu Kantenausbrüchen.

Weiterhin wurden während des Einbaus weitere Feststellungen gemacht, die Probleme und Unterschiede beim Einbau des Recyclingmaterials im Vergleich zu konventionellen Heißmischasphalt verdeutlichen: So war der Anteil an runden Mineralstoffen im Recyclingmaterial beträchtlich, die Bindemittelumhüllung der Mineralstoffe dagegen sehr niedrig. Der Verdichtungsaufwand war ebenfalls hoch, d.h. etwa doppelt so hoch wie bei konventionellem Heißmischgut. Im Recyclingmaterial fanden sich auch häufig große Gesteine (bis zu 12 cm) und Materialbrocken (Cluster), die von der Einbaumannschaft mit Schaufeln wieder von der Einbaufäche entfernt und diese Stellen dann nachverfüllt werden mussten. Außerdem blockierten große RAP-Cluster von Zeit zu Zeit die Einbaubohle und der Einbau musste teilweise für mehr als eine halbe Stunde unterbrochen werden. Zusätzlich zu diesen Bauunterbrechungen kam es zu weiteren Verzögerungen, als die Transportfahrzeuge durch Staus aufgehalten wurden oder die Wasserversorgung wieder aufgefüllt werden musste.

Bild 7: Die Randbereiche nach einem Jahr



Foto: EMPA

Trotz aller Schwierigkeiten war das ORRAP-Material am Ende des Tages gut verdichtet, stabil und eben, wie in Bild 5 dargestellt, und bildete eine gute Tragschicht für die Heißmischdeckschicht am darauffolgenden Tag der Belag wird auch weiterhin beobachtet und verschiedene Material- und Belageigenschaften wie Spurrinnenbildung und Ebenheit werden in verschiedenen Zeitintervallen bestimmt.

## Performance und Fazit

Wie eine Begehung im September 2020, also rund 1 Jahr nach Fertigstellung, ergab, zeigt die Deckschicht und damit auch der Recyclingbelag, trotz des recht großen Schwerverkehrsanteils aufgrund der sich in der direkten Umgebung befindlichen Industriebetriebe, weder Spurrinnen noch sonstige Verformungen. Auch sind auf der Deckschicht keine Risse oder andere Schäden zu erkennen (Bild 6).

Bedingt durch die Corona-Pandemie und damit verbundenen Reisebeschränkungen wird eine genaue messtechnische Bestandsaufnahme erst in der zweiten Jahreshälfte 2021 erfolgen.

In den Randbereichen ist, wie Bild 7 zeigt, der Schichtaufbau gut zu erkennen, wobei es durch die reduzierte Deckschichtbreite nicht zu Problemen mit der Schulterstabilität kam. Das Recyclingmaterial scheint sich auch weitgehend verfestigt zu haben, allerdings lassen sich mit der Hand seitlich Körner herauslösen.

Auch wenn aufgrund der kurzen Liege- und Beanspruchungsdauer sowie der fehlenden messtechnischen Untersuchungen noch keine abschließende Beurteilung und Empfehlung gegeben werden kann, liegen die Vorteile dieses Verfahrens auf der Hand. Der Asphalt muss nicht erhitzt werden, was zu erheblichen CO<sub>2</sub>-Einsparungen führt.

Zudem können große Anteile des auf Halde liegenden Recyclingmaterials benutzt werden, was wiederum eine Ressourcenersparnis zur Folge hat. Auch lässt sich vorstellen, dass in Zukunft Transportwege vermieden werden, indem bei der Sanierung einer Straße der ausgebaute Asphalt direkt an Ort und Stelle wieder eingebracht werden kann. ■

## Literatur:

Das umfangreiche Literaturverzeichnis kann gerne bei der Redaktion oder den Autoren angefordert werden.



## Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr.  
Christiane Raab  
Empa  
Abteilung Beton  
und Asphalt  
Überlandstrasse  
129  
CH-8600  
Dübendorf  
christiane.raab@  
empa.ch

Dr.-Ing.  
Hartmut Herb  
Hochschule  
Karlsruhe  
Institut für  
Verkehr und  
Infrastruktur  
Moltkestraße 30  
D-76133  
Karlsruhe  
hartmut.herb@  
h-ka.de