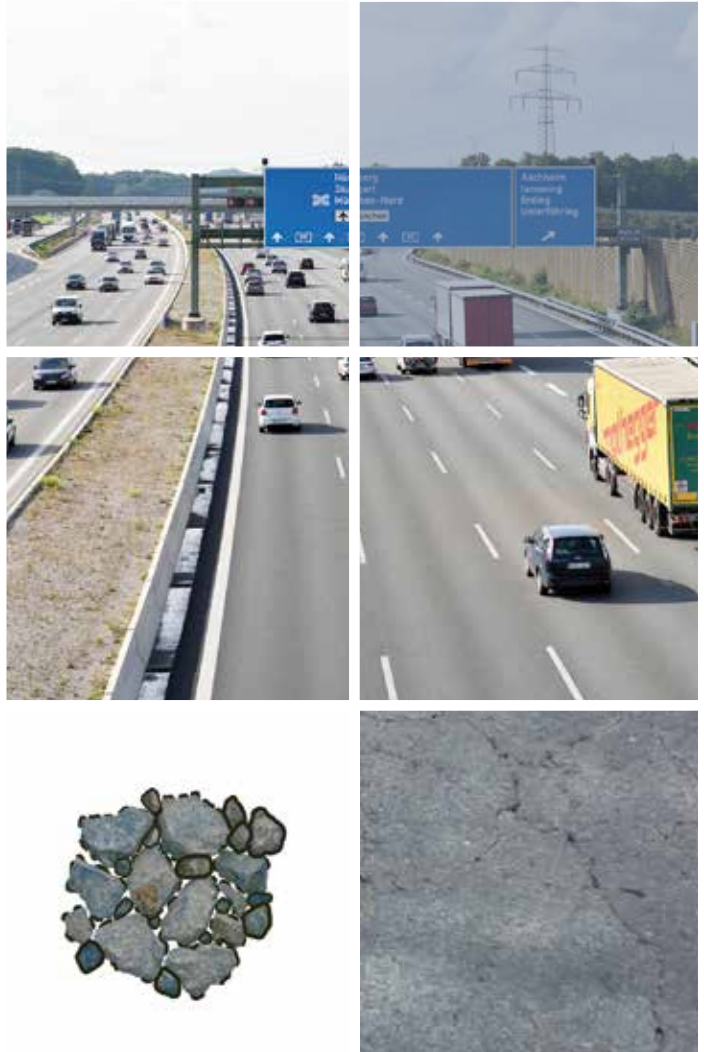


Whitepaper



André Greyling, Loudon International

Dauerhaftigkeit von bitumenstabilisiertem Material

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Typische Fahrbahnbefestigung mit dicken BSM-Schichten
- 3 Sanierung durch Recycling mit Zement und einer neuen ungebundenen Unterbauschicht
 - 3.1 Ermüdungsrisse
 - 3.2 Fahrbahnverformung
- 4 Sanierung durch Recycling für den Bau einer bitumenstabilisierten Tragschicht
- 5 Zusammenfassung
- Literaturverzeichnis

Impressum

©2023: Kirschbaum Verlag GmbH, Siegfriedstraße 28, 53179 Bonn, Tel: (02 28) 9 54 53-0, www.kirschbaum.de
V. i. S. d. P. Peter Strohbach, Verlagsleiter Fachzeitschriften print & digital, Tel: (02 28) 9 54 53-47, p.strohbach@kirschbaum.de

Verfasser: André Greyling, Loudon International

Nachdruck und Vervielfältigungen: Dieses Whitepaper ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

André Greyling, Loudon International

Dauerhaftigkeit von bitumenstabilisiertem Material

1 Einleitung

Der Anlass für die Erstellung dieses Beitrags waren Befragungen zur Dauerhaftigkeit von bitumenstabilisiertem Material (BSM). Eingangs sei betont, dass eine klare Vorstellung von der Bedeutung des Begriffs „Dauerhaftigkeit“ notwendig ist, wenn er im Zusammenhang mit Materialien verwendet wird, die beim Bau flexibler Fahrbahnbefestigungen zum Einsatz kommen. Für den englischen Begriff „durability“ führt das Oxford Dictionary eine lange Liste von Synonymen auf, darunter „toughness“ (Widerstandsfähigkeit), „permanency“ (Beständigkeit), ja sogar „indestructibility“ (Unverwüstlichkeit) – doch keine von ihnen ist auf Fahrbahnbefestigungen anwendbar, die dafür ausgelegt sind, eine bestimmte Zahl von Verkehrslasten zu tragen (strukturelle Kapazität), ehe der Versagenszustand eintritt. Dementsprechend ist der Begriff der Dauerhaftigkeit im Zusammenhang mit Fahrbahnbefestigungen mit dem Erreichen des besagten Ziels zu erreichen, ohne dass bis dahin allzu viele Instandhaltungsarbeiten anfallen.

Es gibt drei verschiedene Typen von Material, die zum Bau der Schichten von Fahrbahnbefestigungen zum Einsatz kommen:

- Ungebundenes Material, bei dem die Gesteinskörnungen lose und voneinander unabhängig sind. Dazu gehören Boden, natürlicher Kies und gebrochenes Gestein, aber auch Ausbauasphalt (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP), dessen Bindemittel gealtert bzw. spröde ist und nicht mehr „klebt“.
- Gebundenes Material, dessen Gesteinskörnungen miteinander verbunden sind. Dazu gehören Heißasphalt (HMA = Hot mix asphalt), Kaltasphalt, zementstabilisiertes Material und weitere Materialien, bei denen die Gesteinskörnungen anhand stabilisierender Mittel (z. B. Nanotechnologie) miteinander „verklebt“ sind.
- Ungleichmäßig gebundene Materialien, die in konventionellen Straßenbelägen noch relativ neu sind. Es handelt sich um ausgewählte, ungebundene Materialien, die mit einer geringen Menge entweder von Schaumbitumen oder Bitumenemulsion versetzt sind (bitumenstabilisierende Mittel). Das Bitumen in diesen Materialien wird zunächst mit den Feinanteilen vermischt, dadurch werden sie mit den größeren Gesteinskörnungen förmlich zu einer ungleichmäßig gebundenen Matrix „verschweißt“.

Es errascht nicht, dass sich Schichten aus ungebundenen Materialien bei Belastungen deutlich anders verhalten als solche aus gebundenem Material. Die Schädigung beider Arten von Material durch Achslastwechsel verläuft unterschiedlich und auch der Versagenszustand nach dem Verbrauch der strukturellen Kapazität unterscheidet sich grundlegend. Schichten aus ungebundenen und ungleichmäßig gebundenen Materialien reagieren hingegen ähnlich auf Belastung, deshalb folgt ihr Gebrauchsverhalten demselben Muster. Auch der Versagenszustand am Ende der vorgesehenen Lebensdauer ist gleich.

Am besten lassen sich die unterschiedlichen Modelle und deren Einbeziehung für die Dauerhaftigkeit anhand des Beispiels der typischen Struktur einer hochbelastbaren Fahrbahnbefestigung mit dicken Heißasphalt-Schichten erläutern. Wir sehen uns die Verschlechterung an, die im Verlauf ihrer vorgesehenen Lebensdauer auftritt. Sobald die strukturelle Kapazität verbraucht wurde, ist die Fahrbahnbefestigung nicht länger „haltbar“ im Sinne, dass sie nicht mehr befahrbar ist, ohne in zunehmendem Maße durch Instandhaltungsmaßnahmen steigende Kosten zu verursachen. Die Fahrbahnbefestigung muss letztendlich saniert werden. Nun werden drei verschiedene Sanierungsoptionen ausgewählt: Eine wird der Fahrbahnbefestigung anhand dicker Heißasphalt-Schichten ihre einstige Tragfähigkeit zurückgeben, bei den beiden anderen Optionen kommen Recyclingtechnologien mit verschiedenen Zusätzen und zusätzlichen Schichten zum Einsatz. Eine davon gibt uns Gelegenheit, das Gebrauchsverhalten eines ungebundenen Materials zu beschreiben.

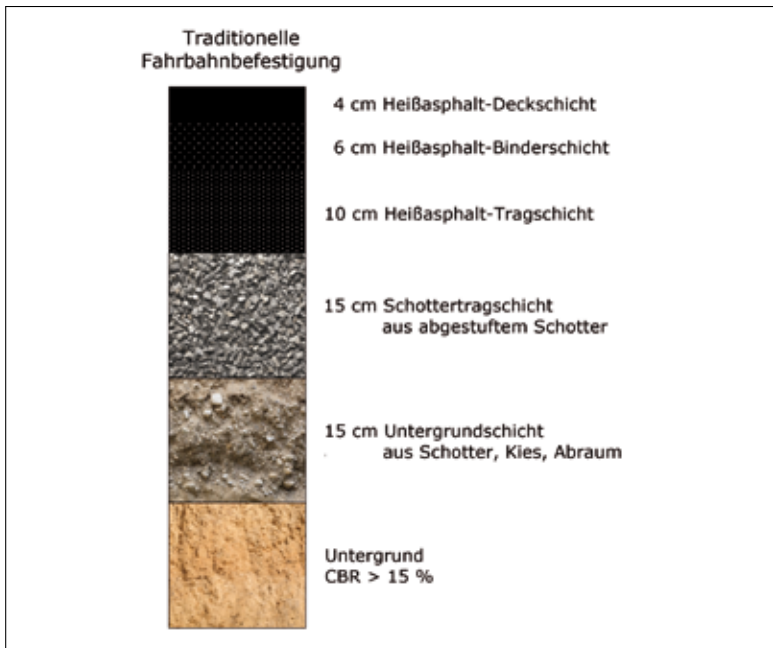


Bild 1: Typische Fahrbahnbefestigung mit drei Heißasphalt-Schichten

Anhand der anderen erklären wir, wie sich ungleichmäßig gebundenes Material verhält. Hervorgehoben wird anhand eines jeden dieser drei Optionen die relative „Dauerhaftigkeit“ der verschiedenen Materialien.

2 Typische Fahrbahnbefestigung mit dicken BSM-Schichten

Bei den meisten Fahrbahnbefestigungen wird mind. eine Heißasphalt-Schicht als Deckschicht aufgebracht (Fahrbahnoberfläche), die am stärksten durch den Verkehr belastet wird. Außerdem ist Heißasphalt dank seines geringen Porenvolumens ein ideales Oberflächenmaterial, denn es verhindert das Eindringen von Wasser in die darunterliegenden Schichten der Fahrbahnbefestigung.

Der Trend geht gegenwärtig dahin, eine zweite Heißasphalt-Schicht unter der Deckschicht vorzusehen, die als „Binderschicht“ fungiert, und dazu kommt oft noch eine dritte, dickere Heißasphalt-Unterbauschicht (Tragschicht).

Bild 1 zeigt eine typische Fahrbahnbefestigung mit drei Heißasphalt-Schichten, die es insgesamt auf eine Dicke von 20 cm bringen. Darunter liegen zwei ungebundene, jeweils 15 cm dicke Schichten: eine Schottertragschicht aus abgestuftem Schotter (GCS) und eine Untergrundsicht aus ausgewähltem „Abraum“. Auf einem Untergrund mit einem CBR-Wert von 15 % hat eine solche Fahrbahnbefestigung eine Kapazität von 25 Mio. quivalenten 80-kN-Achsbergngen (E80). Das gilt gemeinhin als „dauerhafte“ Fahrbahnbefestigung.

Es gibt zwei Abnutzungsmodelle für die Darstellung der Verschlechterung einer solchen Straenbelagsstruktur. Das erste gilt für alle Fahrbahn-

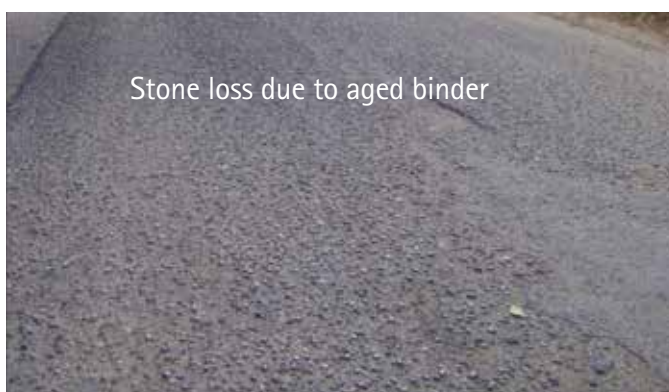


Bild 2: Ausmagerung durch gealtertes Bindemittel (links) und thermisch induzierte Rissbildung im fortgeschrittenen Stadium (rechts)

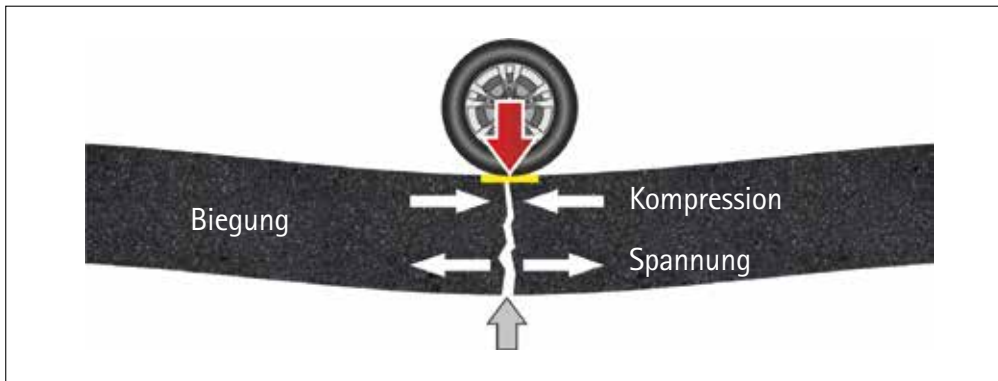


Bild 3: Biegung (vertikal) sowie Kompression und Spannung (horizontal)

befestigungen mit Asphalt, nicht nur für Heißasphalt. Dieses Alterungsmodell hat die unvermeidliche Verschlechterung des Bitumens zum Gegenstand, das der Atmosphäre ausgesetzt ist. Die Belastung durch UV-Strahlen und hohe Tagestemperaturen lassen das Bitumen hart werden (altern). So verliert es seine Flexibilität und darüber hinaus die Fähigkeit, das Gestein im Asphalt an der Fahrbahnoberfläche zu binden. Das Altern bewirkt, dass das Material die täglichen Ausdehnungs-/Kontraktionszyklen nicht mehr bewältigt und verursacht thermische Risse in den kühleren Nachtstunden. Bild 2 zeigt die Folgen, die sich einstellen, wenn man den Alterungsprozess zu lange voranschreiten lässt.

Zum Beheben einer solchen umweltbedingten Verschlechterung wird normalerweise die gealterte Fahrbahndecke abgefräst und durch eine neue Asphaltdeckschicht ersetzt. Dabei handelt es sich (oder sollte es zumindest) um eine regelmäßige Erhaltungsmaßnahme, die je nach den Umgebungsbedingungen (je heißer, trockener und höher, umso kürzer die Intervalle) alle 7 bis 12 Jahre ansteht.

Das zweite Abnutzungsmodell betrifft die Konsequenzen einer unausgewogenen Straenbelagsstruktur. Die Steifigkeit einer Asphaltschicht ergibt sich aus vielen Variablen (Zusammensetzung, Bindemittel, Dichte, Temperatur usw.) und sie liegt in der Regel im Bereich zwischen 2.500–5.000 MPa. Sie liegt damit deutlich höher als die Steifigkeit der darunterliegenden Schichten aus ungebundenem Material, dessen Steifigkeit selten über 500 MPa liegt. Das Verhältnis dieser Steifigkeitswerte nennt man das Modular-Verhältnis zwischen aneinandergrenzenden Schichten. Es errechnet sich, indem man die Steifigkeit der oberen durch die Steifigkeit der darunterliegenden Schicht teilt. Dem Ausmaß dieses Verhältnisses sind Grenzen gesetzt, einerseits durch den Typ des Materials der oberen Schicht und andererseits durch die Steifigkeits-Grenzwerte verschiedener Arten von Material. So ergibt sich normalerweise ein Modular-Verhältnis von 5, wenn die obere Schicht aus HMA besteht.

Wird dieses Modular-Verhältnis überschritten, wird die regelmäßige Belastung eine Reduzierung der Steifigkeit der oberen Schicht bewirken, wodurch das Gleichgewicht wiederhergestellt wird. Diese Verringerung der Steifigkeit der HMA-Schicht erfolgt durch Rissbildung (bekannt als das Syndrom der „Glasplatte auf Federbett“). Der Mechanismus wird in Bild 3 erläutert.

Bei Belastung einer Schicht aus einheitlich gebundenem Material (z. B. Heißasphalt) deflektiert die Schicht durch Biegung und bewirkt so eine Kompression der oberen Hälfte und Spannung in der unteren Hälfte. Das verursacht eine Zugverformung (Streckung) im unteren Bereich der Schicht. Dabei bestimmt die Stärke der Zugverformung, wie viele Belastungen erfolgen können, ehe an der Unterseite der Schicht Risse auftreten. Diese Risse nennt man „Ermüdungsrisse“. Sie sind das wichtigste Kriterium für die Dimensionierung solcher Schichten. Je dicker die Heißasphalt-Schicht ist, umso geringer ist die Zugverformung. Dadurch ist eine größere Anzahl an Belastungen erforderlich, bis die Rissbildung einsetzt.

Sobald die Rissbildung einsetzt, bewirken die nachfolgenden Belastungen, dass sich die Risse nach oben durch die Schicht hindurch ausbreiten. Sobald sie die Oberfläche erreichen, ist ein Versagenszustand gegeben. Bei einer 20 cm dicken Asphaltschicht eines kombinierten Aufbaus der Fahrbahnbefestigung ist davon auszugehen, dass die Rissbildung nach 5 bis 10 Mio. E80-Belastungen einsetzt. Nach weiteren 15 bis 20 Mio. Belastungen werden die Risse dann bis zur Oberfläche vorgedrungen sein.

Diese Risse verringern die Steifigkeit der Heißasphalt-Schicht deutlich, bringen aber dadurch die Fahrbahnbefestigung ins Gleichgewicht. Das bewirkt noch kein „Versagen“ der Fahrbahnbefestigung. Die Risse sind vielmehr die Vorboten eines Versagenszustands, denn sie lösen unvermeidliche Schäden aus, in erster Linie durch das Eindringen von Wasser, welches das ungebundene Material der unteren Schichten aufweicht und deren Tragfähigkeit reduziert, was dann zum Versagen der Fahrbahnbefestigung führt.

Die Bild 4 zeigt, wie das durch die Risse in die Fahrbahnbefestigung eindringende Wasser dann die Hauptursache für das Versagen des Straenbelags wird. Bei solchen wasserbedingten Schäden wirkt das in das ungebundene Material eingedrungene Wasser als Hydraulikflüssigkeit, wenn

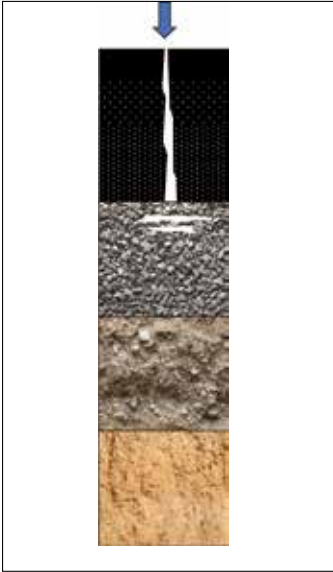


Bild 4: Rissbildung in der HMA-Schicht durch die Wasser in die Fahrbahnbefestigung dringt



Bild 5: Durch die Risse werden feinere Partikel herausgeschleudert

durch die Verkehrslast Druck ausgeübt wird. Diese Belastungen übertragen sich durch den gesamten Aufbau der Schicht und dadurch verschieben sich die einzelnen Partikel. Die Folge ist ein Verlust der Tragfähigkeit und dadurch die Bildung von Ermüdungsrissen, wegen ihres Musters auch Krokodilrisse genannt. Bild 5 zeigt, wie durch die Risse die feineren Partikel herausgeschleudert werden. Dieses Phänomen nennt man auch „Pumpen“ (hydraulisches Bewegen feiner Partikel). Diese Verschlechterung des Belags wirkt sich gravierend auf die Dauerhaftigkeit der Fahrbahnbefestigung aus. Es sind nicht mehr allzu viele Belastungswiederholungen erforderlich, bis Asphaltmaterial herausbricht und sich die ersten Schlaglöcher entwickeln.

Sofern beim Auftreten der ersten Risse an der Oberfläche Maßnahmen ergriffen werden, lässt sich die Lebensdauer verlängern, indem das Eindringen von Wasser in die Fahrbahnbefestigung verhindert wird. Das erreicht man am besten durch das Aufbringen einer wasserdichten Haut als zusätzliche Behandlung der Fahrbahnoberfläche (etwa eine Versiegelung mit einem Gemisch aus Bitumen und Gummi). Doch eine solche Behandlung bringt nur kurzfristige Abhilfe, denn die verringerte Steifigkeit des Asphalts bietet keinen ausreichenden Schutz der darunterliegenden Schichten mehr, die sich aufgrund der Überlastung verformen. Dadurch bricht die Asphalttschicht und sinkt dort ab, wo die Vertiefungen entstanden sind.

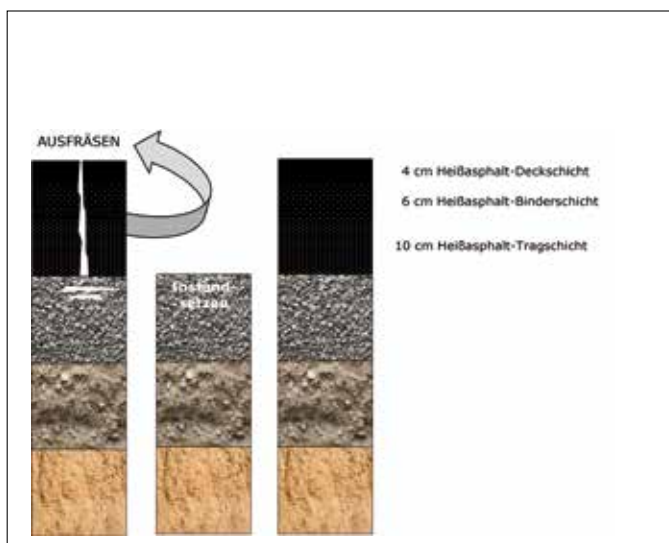


Bild 6: Die durch Risse beschädigte Asphalttschicht wird entfernt und durch eine neue ersetzt. Die darunter liegende Schottertragschicht wird aufbereitet.

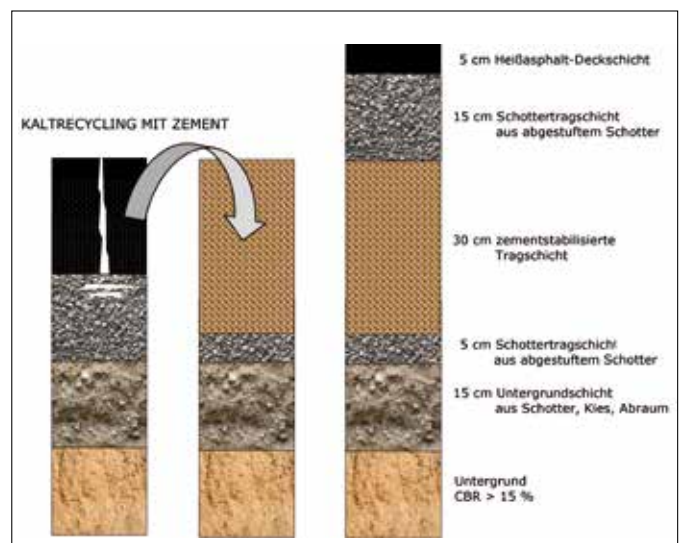


Bild 7: Instandsetzung in drei Schritten – Kaltrecycling mit Zement

Zur Sanierung dieser Fahrbahnbefestigung muss die Ursache des Schadens angegangen werden. Mit anderen Worten: Die vollständig von Rissen durchzogene Asphaltschicht muss entfernt, die darunterliegende Schicht aus ungebundenem Material muss repariert und aufbereitet werden, damit es die erforderliche Dichte erhält, um die darauf aufgebrachte Struktur der Fahrbahnbefestigung tragen zu können. Wie Bild 6 zeigt, lässt sich dieses Ziel z. B. durch das Entfernen des gesamten Asphalts erreichen, um dann den freiliegenden Unterbau aufzubereiten und nachfolgend die Asphaltschichten mit frischem HMA zu erneuern und so die strukturelle Kapazität und Dauerhaftigkeit wiederherzustellen.

Dieses Verfahren ist beliebt, weil die Bauzeit relativ kurz ist und die einzelnen Prozesse bekannt sind. Die Option ist jedoch wegen der hohen Kosten des Heißasphalts extrem teuer. Die Kosten lassen sich durch die Wiederverwertung eines Teils des abgefrästen Asphalts für den neuen Heißasphalt senken, doch die recycelbare Menge ist begrenzt (in der Regel < 40 %), wenn das Fräsmaterial sehr gleichförmig ausfällt. Es liegt in erster Linie an diesem Kostenfaktor, dass die Ingenieure die alternativen Sanierungslösungen entwickelt haben, die in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben werden. Beide Lösungen verwenden durch Recycling das bestehende Material der Fahrbahnbefestigung.

3 Sanierung durch Recycling mit Zement und einer neuen ungebundenen Unterbauschicht

Bild 7 zeigt einen Sanierungsprozess in drei Schritten. Dieser wurde erfolgreich bei Projekten angewendet, bei denen begrenzte finanzielle Mittel zur Verfügung standen. Die oberen 30 cm der bestehenden Fahrbahnbefestigung wird vor Ort mit Zement recycelt. Darauf folgt dann eine 15 cm dicke, hochverdichtete Schicht aus hochwertigem, abgestuftem Schotter. Danach wird eine geeignete Oberfläche aufgetragen. Dabei kann es sich um eine Oberflächenbehandlung oder wie in Bild 7 um eine Asphaltdeckschicht handeln.

Die strukturelle Kapazität dieser Fahrbahnbefestigung liegt bei 25 Mio. E80-Lastungen und damit in der Größenordnung der ursprünglichen Struktur. Ganz anders jedoch verläuft die Schadensentwicklung, und auch der Versagenszustand am Ende der Lebensdauer unterscheidet sich sehr.

Die neue 30 cm dicke zementstabilisierte Unterbauschicht ist das Rückgrat einer solchen Fahrbahnbefestigung. Auf dieser Grundlage kann die Schotterschicht auf über 100 % der Proctordichte verdichtet werden. Dadurch kann die Schicht der hohen Belastung an der Oberfläche der Fahrbahnbefestigung standhalten. Wie im weiteren Verlauf beschrieben, ist der Straßenbelag eine wichtige Komponente einer solchen Straßenbelagsstruktur, denn ihre Hauptaufgabe besteht darin, das Eindringen von Wasser zu verhindern, was für die Dauerhaftigkeit von größter Bedeutung ist. Das Versagensmodell für diese Fahrbahnbefestigung ist komplex und es umfasst zwei unterschiedliche Phasen.

3.1 Ermüdungsrisse

Das erste Modell bezieht sich auf den zementstabilisierten Unterbau, der aus einheitlich gebundenem Material besteht, das durch Rissbildung einen Verlust an Steifigkeit aufweisen wird, ähnlich wie oben für Heißasphalt beschrieben. Der Hauptunterschied zwischen Heißasphalt und einer zementstabilisierten Schicht liegt in der Steifigkeit des Zements. Diese reduziert die Zugverformung, die von der Struktur ausgeglichen werden kann, ehe die Rissbildung einsetzt. Der zweite Unterschied liegt im Auftreten von Schrumpfrissen in der Schicht. Grund ist die starke Reduktion im Hydrationsprozess. Beides trägt zu einer relativ kurzen Lebensdauer bei, wobei die intakte Schicht jedoch ein hohes Maß an Steifigkeit bietet.

Bild 8 zeigt den Verlust an Steifigkeit im Verhältnis zur Anzahl der Belastungen der Fahrbahnbefestigung. Obgleich das hohe Maß an Steifigkeit nur kurze Zeit vorhält, muss angemerkt werden, dass die Kurve in dem Maße abflacht, wie die Steifigkeit abnimmt. Sie stabilisiert sich auf einem Niveau, das deutlich höher liegt als die Steifigkeit, die sich mit einem nicht mit Zement behandelten Material erreichen ließe. Vier Faktoren wirken sich darauf aus, wie lange die Schicht ein relativ hohes Maß an Steifigkeit aufrechterhält:

- **Die Qualität des Materials, das mit dem Zement stabilisiert wird:** Das Maß der verbleibenden Steifigkeit durch die Stabilisierung mit Zement hängt von der Qualität des stabilisierten Materials ab. Wird Material niedriger Qualität verarbeitet (etwa mit CBR-Wert < 15 %), kann die anfängliche Festigkeit hoch sein, doch der Nutzen wird von kurzer Dauer sein, denn die Steifigkeit der Schicht wird sich bis auf ein Maß reduzieren, das der einer unstabilisierten Schicht aus demselben Material gleicht.

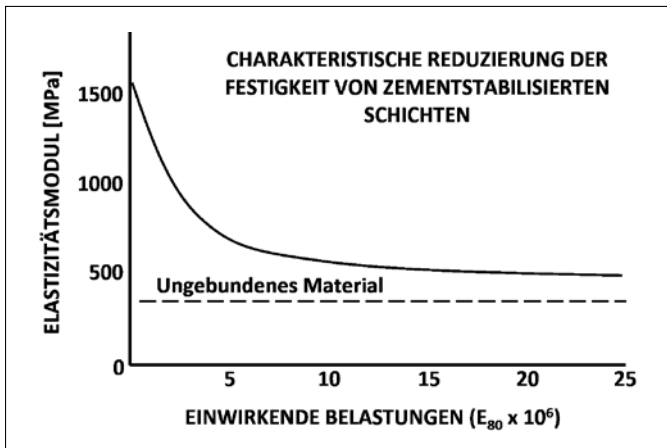


Bild 8: Typischer Verlust der Steifigkeit von zementstabilisierten Schichten

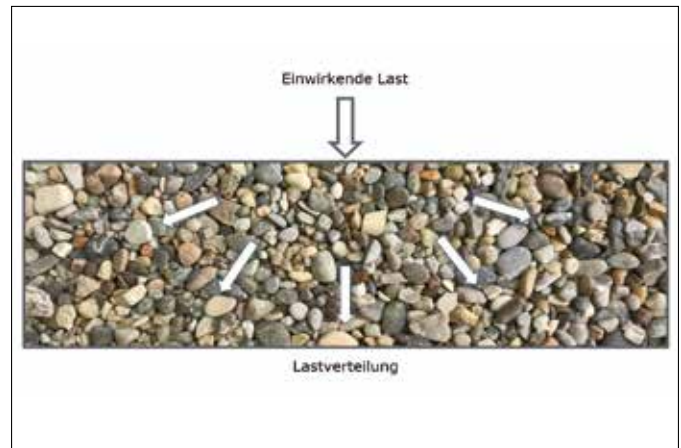


Bild 9: Belastungsverteilung

- **Die Menge des zur Stabilisierung verwendeten Zements:** Leider führt das Streben nach Festigkeit oft zur Verwendung von viel Zement (etwa 6 M.-%). Doch das ist ein Trugschluss, denn übermäßige Härte befördert die Rissbildung. Idealerweise begrenzt man die Zementzugabe auf das Erreichen einer ausreichenden Festigkeit.
- **Die Dicke der Schicht:** Die „t³“-Regel gilt für alle Schichten gebundenen Materials. Das bedeutet für alle diese Schichten, dass der Betrag, der unten in der Schicht entwickelten Zugverformung, der Schichtdicke hoch drei entspricht. Dementsprechend reduziert eine 15 % dickere Schicht die Größe der Zugverformung um rund 50 %.
- **Lage innerhalb des Aufbaus der Fahrbahnbefestigung:** Je tiefer die Schicht in der Struktur der Fahrbahnbefestigung liegt, umso geringer der Druck bei Belastung. Verlegt man die zementstabilisierte Schicht also als Unterbau, verlängert sich dadurch die Phase relativ hoher Steifigkeit.

Die meisten erfahrenen Straßenbauingenieure neigen dazu, die ursprünglich hohe Steifigkeit außer Acht zu lassen, wenn sie Fahrbahnbefestigungen mit einer zementstabilisierten Schicht planen. Stattdessen zielen sie bei der Dimensionierung auf die Nutzung des stabilen Zustands ab, wenn die Steifigkeitskurve abgeflacht ist. Doch hat die anfänglich hohe Steifigkeit noch einen versteckten Vorteil: Sie macht die Schicht zu einem Amboss, auf dem sich die darüberliegende Schicht in sonst nicht erreichbarem Maße verdichten lässt. Den Vorteil dieser hohen Verdichtung erläutern wir im folgenden Abschnitt.

3.2 Fahrbahnverformung

Das zweite Modell bezieht sich auf die Schotter-Tragschicht, die auf der zementstabilisierten Unterbauschicht liegt. Mit Blick auf die Dauerhaftigkeit ist eine solche Schicht deshalb ausgesprochen nützlich, weil sich die in der zementstabilisierten Schicht entstehenden Risse nicht durch die Schicht aus ungebundenem Material hindurch ausbreiten können, wie das bei einer Asphalttragschicht der Fall wäre.

Für das Modell für Schichten aus ungebundenem Material braucht man etwas geotechnisches Basiswissen. Auf die Oberfläche einer Schicht aus körnigem Material ausgeübter Druck wird von den einzelnen Partikeln an die jeweils angrenzenden weitergeleitet. Da Größe und Form der Partikel völlig unterschiedlich sind, verläuft die Druckverteilung in alle Richtungen, nicht nur vertikal nach unten.

Bild 9 zeigt die Druckverteilung. Hat das Material keine ausreichende Festigkeit, um dem Druck zu widerstehen, zerfällt es entweder (es bricht) oder es verformt sich, wenn die Partikel sich relativ zueinander verschieben können. Folgendes sind also die zwei wichtigsten Anforderungen an solche Schichten, damit sie den einwirkenden Kräften widerstehen können:

- **Widerstand gegen Zerfall:** Hier geht es im Wesentlichen um die physikalische Festigkeit der Partikel des Materials. Die oberen Schichten der Fahrbahnbefestigung sind hohen Belastungen ausgesetzt und müssen daher aus festem Material bestehen (z. B. Schotter).

- **Beständigkeit gegen interne Partikelverschiebungen:** Hier kommen Kohäsion und Reibung zwischen den einzelnen Partikeln zum Tragen und man spricht hier von den Schereigenschaften des Materials. Doch es gibt noch die folgenden weiteren Faktoren:
 - **Dichte des Materials in der Schicht:** Je dichter das Material, umso geringer der Luftporengehalt und damit auch die Möglichkeit der Partikel, sich gegeneinander zu verschieben.
 - **Verteilung der unterschiedlichen Partikelgrößen:** Ganz ähnlich wie beim ersten Faktor sorgt ein gut abgestuftes Material für einen geringen Luftporengehalt, wenn es verdichtet ist.
 - **Partikelform:** Je verwinkelter die Partikel, umso stärker die Reibung zwischen den Partikeln. Schwemm Kies mit glatten Steinen eignen sich nicht für Fahrbahnbelagsschichten, da die Reibung zwischen ihnen gering ist.
 - **Wassergehalt:** Wasser wirkt als Gleitmittel zwischen den Partikeln. Erhöht man den Wasseranteil, verringert man die Reibung zwischen den Partikeln.

Eine gut verdichtete Schicht mit festem ungebundenem Material (Schotter) widersteht Belastungen deshalb gut, weil sich die Partikel nicht umlagern können. Dieser Einschluss der Partikel sorgt für den erforderlichen inneren Druck, der notwendig ist, um Verformungen zu verhindern. Bild 10 zeigt dieses Phänomen.

Wie in Bild 11 zu sehen, deformieren Belastungen das Material sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung, doch wenn die Belastung endet, bleibt keine Verformung zurück. Man nennt das die „elastische Antwort“ auf Belastungen. Mit zunehmendem Belastungsdruck steigt jedoch auch das Ausmaß der Deformation und es wird ein Punkt erreicht, an dem das Elastizitätslimit überschritten wird und die Partikel näher zusammenrücken. Das verursacht eine plastische (oder permanente) Verformung (gemessen in Mikrometern). Dies ist das Versagensmodell für Schichten aus ungebundenem Material und der Versagenszustand ist definiert als die kumulative Verformung, wie in Bild 12 gezeigt. Bei Hauptstraßen z. B. tritt der Versagenszustand ein, wenn in der Rollspur eine plastische Verformung von 10 mm gemessen wird. Nebenstraßen sind für eine Spurrinne von bis zu 20 mm ausgelegt, dann gilt die strukturelle Kapazität als verbraucht.

Es sei unbedingt darauf hingewiesen, dass dieser Versagenszustand nicht mit einer Sperrung der Straße für den Verkehr einhergeht, und er wirkt sich auch nicht negativ auf den Fahrkomfort aus. Folge der Deformation und das eigentliche Problem ist, dass sich in den Spurrinnen bei Regen Wasser ansammelt, das dann von den Reifen insbesondere von schweren Lastwagen unter Druck gesetzt wird, der bis zu 1.000 kPa erreichen kann. Durch den hohen Druck wird Wasser noch in die kleinsten Risse oder sonstigen Schwachstellen der Oberfläche gepresst. Dadurch saugt sich das körnige Material der darunterliegenden Tragschicht voll, dessen Zustand sich nun schnell verschlechtert (wie in Abschnitt 2 erläutert). Das beeinträchtigt die Dauerhaftigkeit einer solchen Fahrbahnbefestigung, die daher nicht für Gegenden mit mittleren bis hohen Niederschlagsmengen geeignet ist.

Unter der Voraussetzung jedoch, dass sie durch regelmäßige Oberflächenbehandlungen zur Vorbeugung gegen eindringendes Wasser gut instandgehalten werden, haben sich solche Fahrbahnbefestigungen in halbtrockenen bis trockenen Gegenden als bemerkenswert langlebig erwiesen.

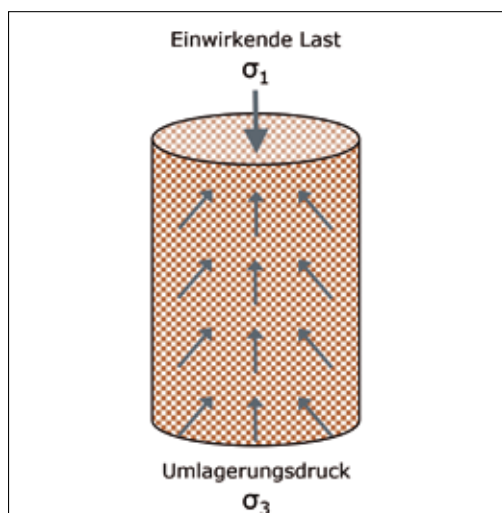


Bild 10: Umlagerungsdruck

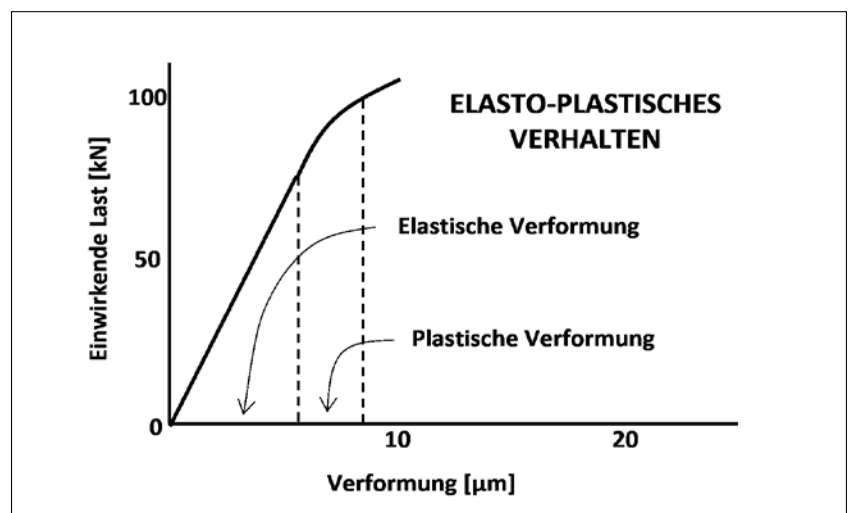


Bild 11: Elasto-plastisches Verhalten



Bild 12:
Kumulative Verformung

4 Sanierung durch Recycling für den Bau einer bitumenstabilisierten Tragschicht

Bilder 13 und 14 zeigen zwei Optionen für die Sanierung der Fahrbahnbefestigung durch das Recycling der bestehenden Asphaltschichten und durch Stabilisierung durch Schaumbitumen. Bei dem Prozess in Bild 13 wird das Material vor Ort recycelt und stabilisiert, wohingegen beim Beispiel in Bild 14 der Asphalt abgefräst, im Werk verarbeitet (im Prallbrecher gebrochen und dann mit Schaumbitumen in einer Wirtgen Kaltrecyclingmischanlage KMA 240 vermischt) und anschließend als neue Tragschicht eingebaut wird.

Die Option des Recyclings vor Ort (Bild 13) kommt nur in Frage, wenn die Tragschicht unter der Heißasphalt-Schicht dafür geeignet ist, eventuelle Feuchtigkeitsschäden müssen minimal sein. Wenn der Unterbau erneuert werden muss, wird wie in Bild 14 Asphalt abgetragen, und so können die erforderlichen Ausbesserungsarbeiten an der Tragschicht ausgeführt werden.

Die erreichte strukturelle Kapazität bei Recycling vor Ort oder im Werk ist mit derjenigen vergleichbar, die mit den zwei oben beschriebenen alternativen Sanierungsmethoden erzielt werden (25 Mio. E80-Belastungen). Man sollte jedoch unbedingt darauf hinweisen, dass die strukturelle Kapazität dieser Fahrbahnbefestigung auf > 50 Mio. E80-Belastungen gesteigert werden kann, wenn man die 30 cm dicken Schotterschichten unter der bestehenden HMA-Schicht zementstabilisiert. (Das geht selbstverständlich nur mit der Option des Recyclings im Werk (Bild 14). Sobald der Asphalt abgefräst ist, können die beiden 15 cm starken Schotterschichten vor Ort mit einem Recycler zementstabilisiert werden.)

Bitumenstabilisiertes Material (BSM) wird hergestellt, indem man ein Schottermaterial bei Umgebungstemperatur mit einer kleinen Menge Bitumenemulsion versetzt, in der Regel ein Masseanteil von 1,8–2,4 % (residual/zurückbleibend) Bitumen. Die Qualität des behandelten Materials (das Ausgangsmaterial) ist ausschlaggebend für die Qualität des stabilisierten Produkts. Eine hohe Qualität des BSM wird also erreicht, wenn abgestufter Schotter oder wiedergewonnener Asphalt verarbeitet wird, wohingegen die Qualität abnimmt, wenn Kies oder Schotter geringerer Qualität verwendet wird (CBR < 45 %). Daher ist es wichtig sich klarzumachen, dass der Begriff BSM nicht für ein Material mit vorgegeben hohen Leistungseigenschaften steht, sondern vielmehr für eines mit spezifischem Materialverhalten.

Insofern ist der Terminus grundverschieden von der Bezeichnung HMA für Heißasphalt (Hot mix asphalt). Denn zwar deckt der Begriff HMA ein ganzes Spektrum verschiedener Mischungen ab. Doch sie alle werden bei hoher Temperatur gemäß fester Rezepturen hergestellt. Gemischt wird ein hochwertiges Produkt mit spezifischen Anforderungen hinsichtlich Festigkeit und Abstufung, das anschließend mit einer präzisen Menge Bitumen vermischt und im heißen Zustand aufgetragen wird. Der Begriff HMA setzt also eine bestimmte Qualität voraus. Nur beste Gesteinskörnungen werden verwendet. Der Herstellungsprozess gewährleistet, dass die verschiedenen Komponenten (Gestein, Bitumen und Füller) präzise vermischt werden, um die Vorgaben der Rezeptur zu erfüllen.

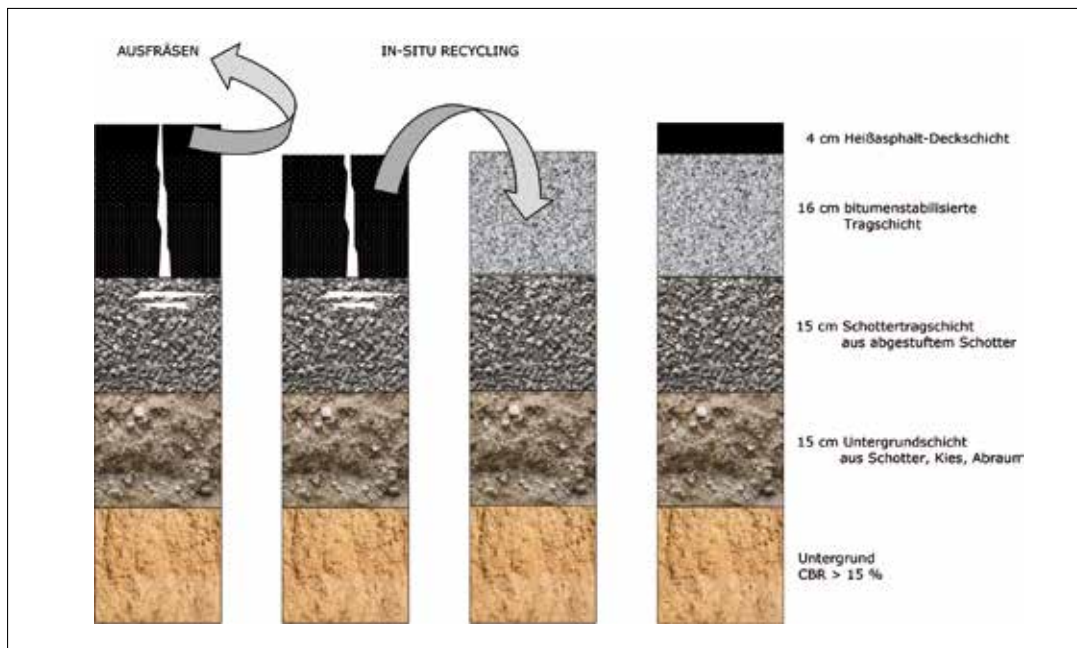


Bild 13:
Recycling vor Ort

BSM ist etwas ganz Anderes. Diese Baumaterialien werden bei Umgebungstemperatur aus Schottermaterial hergestellt, das oftmals durch das Recycling des bestehenden Fahrbahnbelags gewonnen wird. Daher können hier hinsichtlich Qualität und Abstufung sehr unterschiedliche Materialien stabilisiert werden, insbesondere dann, wenn vor Ort recycelt wird. Entsprechend der Entfernung zwischen anfallendem Ausbaumaterial und einem Recyclingwerk ist eine Auswahl des Verarbeitungsverfahrens sowie einer Aufbereitung des zu verarbeiteten Materials, etwa mit einem Prallbrecher, wo übergroße Ausbaustcke gebrochen werden, möglich.

Um die Vorzüge eines mit Bitumen stabilisierten Materials zu erzielen, ist nicht die Präzision erforderlich, die man bei Heißasphalt erreichen muss. Darüber hinaus wird das Bitumen willkürlich im Material verteilt, wohingegen bei Heißasphalt das gesamte Gestein mit einem dünnen Bitumenfilm überzogen wird. Bild 15 zeigt einen geologischen Querschnitt (40-fach vergrößert) aus äolischem Dünensand, der mit 3 % Schaumbitumen und 1 % aktivem Füller (Zement) versetzt wurde. Die max. Partikelgröße beträgt 0,5 mm. Das gesprenkelte Aussehen ist darauf zurückzuführen, dass das Bitumen in feiner Form punktuell verteilt ist, jeweils an einem Partikel < 0,5 mm Größe haftend (oder, im Fall größerer Flecken, verbunden mit weiteren Bitumenpartikeln). Jeder Bitumenfleck ist unabhängig von den anderen (sie sind nicht verbunden). Die gr-

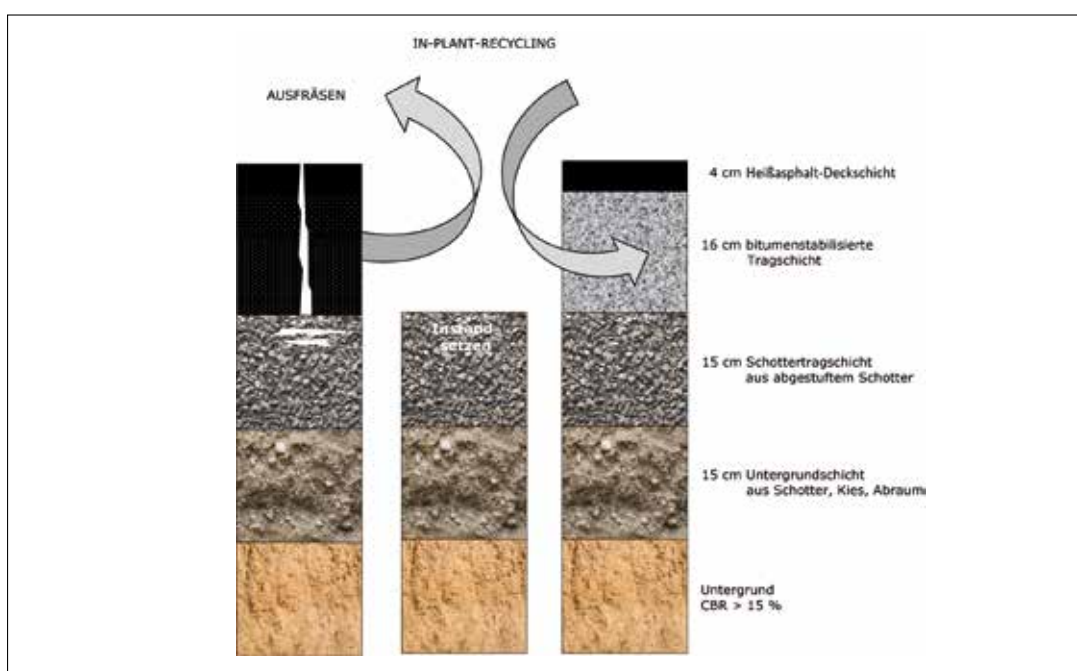


Bild 14: Recycling im Werk



Bild 15: Schaumbitumen-Verteilung (schwarze Flecken)/ Unterbrochene Verbindungen („punktverschweiß“)

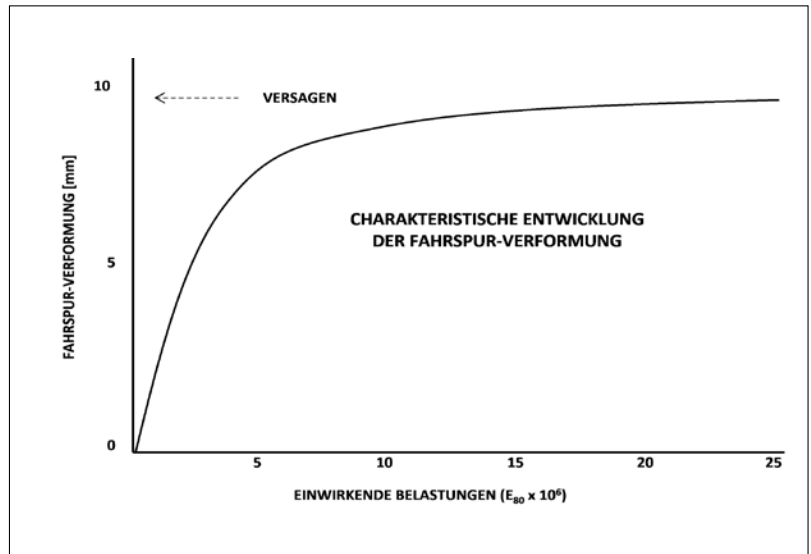


Bild 16: Typische Entwicklung von Spurrillen

ßeren Sandkörner sind nicht mit Bitumen überzogen. Ein solches Material ist einfach zu handhaben und lässt sich schütten, als sei es gar nicht stabilisiert. Sobald es jedoch verdichtet wird, werden die feinen Bitumenpartikel ungeachtet der Größe an die benachbarten Sandkörner gepresst und bilden Millionen individueller „Schweißpunkte“, die das Material zusammenhalten. Da sie isoliert sind, nennt man das so gebundene Material ein „ungleichmäßig gebundenes Material“.

Das Verhalten einer Schicht aus einem solchen Material im Aufbau einer Fahrbahnbefestigung ist dank der Schweißpunkte vergleichbar mit einer Gesteinskörnung mit erhöhter Kohäsion. Die inneren Reibungseigenschaften werden durch das so verteilte Bitumen nicht verändert. Das Material verteilt den Belastungsdruck also auf dieselbe Art und Weise wie körniges Schottermaterial. Darüber hinaus findet die verdichtete Schicht in der Struktur der Fahrbahnbefestigung ihr Gleichgewicht hinsichtlich ihrer Steifigkeit im Verhältnis zur Steifigkeit der darunterliegenden Schicht, doch bei höherem Modular-Verhältnis und max. Steifigkeitspotenzial dank der erhöhten Kohäsion. Es ist eine wirklich bemerkenswerte Art von Material.

Die Dauerhaftigkeit einer BSM-Schicht hängt von mehreren Faktoren ab. Hier die wichtigsten:

- **Qualität des Ausgangsmaterials vor der Behandlung:** Wie bei allen Stabilisierungsmitteln gilt: Die Leistungsfähigkeit des Endprodukts hängt von der Qualität des Materials ab, das verarbeitet wird. Laut den AASHTO-Richtlinien kann für Schichten aus hochwertigem Schottermaterial ein Strukturkoeffizient von 0,15 pro Zoll angenommen werden. Studien haben gezeigt, dass durch die Stabilisierung mit Schaumbitumen ein Koeffizient von über 0,32 erzielt werden kann. Ähnliches gilt auch bei einem Material mit einem CBR von 50 %. Hier liegt der Koeffizient für unbehandeltes Material bei nur 0,1 pro Zoll, nach der Stabilisierung mit Bitumen werden > 0,2 pro Zoll erreicht.
- **Qualität des Mischens:** Bei einer fachgerechten Mischung müssen Bitumen und aktiver Füller (Hydratkalk oder Zement) gleichmäßig im gesamten Material verteilt werden. Die folgenden beiden Faktoren beeinflussen die Qualität der Mischung:
 - Die Menge des dem Material beigemischten Bitumens und aktiven Füllers ist von entscheidender Bedeutung und ist stets im Voraus durch Laborversuche an Proben der Mischungsrezeptur zu ermitteln.
 - Die Schäumungseigenschaften des Bitumens (sofern mit Schaumbitumen stabilisiert wird) oder die Verträglichkeit des Gesteins mit der Emulsion, sofern Bitumenemulsion verwendet wird.
 - Temperatur des aufzubereitenden Materials: Je kälter das Material, umso niedriger die Qualität der Mischung. Idealerweise sollte Schaumbitumen nicht unterhalb einer Materialtemperatur von 15 °C verarbeitet werden, bei Bitumenemulsion sind es 10 °C.
 - Für Schaumbitumen braucht man eine fachgerechte Ausrüstung, die das Gefahrenpotenzial beseitigt, das durch die Verbindung zweier inkompatibler Flüssigkeiten entstehen kann (Wasser und Bitumen). Darüber hinaus ist Erfahrung erforderlich, um diese Ausrüstung kompetent zu bedienen, die über mehrere Expansionskammern verfügt, wo das Schaumbitumen auf einer Sprühleiste vorbereitet wird (besonders dann, wenn mit Recyclern vor Ort gearbeitet wird).
 - Bitumenemulsion muss auf jedes spezifische Material „zugeschnitten“ werden, um ein geeignetes Zeitintervall zu gewährleisten, ehe das Bitumen aus der Wassersuspension ausfällt. Ist es zu kurz, verstopft das ausfallende Material die Anlage. Ist es zu lang, verlängert

sich der Zeitraum, bis die Schicht durch Verkehr belastet werden kann.

Die Mixqualität ist von vorrangiger Bedeutung für die Wasserempfindlichkeit des Materials. Bitumen ist von Natur aus hydrophob und wenn das Material korrekt mit Bitumen stabilisiert wurde, kann Wasser nur schwer in eine Schicht aus gut gemischtem BSM eindringen.

- **Dichte des Materials in der Schicht:** BSM wird auch als „körniges Material auf Steroid“ bezeichnet, denn es verhält sich ähnlich wie ungebundenes Schottermaterial, jedoch mit gesteigerter Kohäsion. Wenn Belastungsdruck auf die BSM-Schicht ausgeübt wird, verteilt sich dieser ähnlich wie bei Schotterschichten, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben.

Das Versagensmodell ist dasselbe und der Versagenszustand ist ebenfalls auf die plastische Verformung zurückzuführen. Je höher also die Dichte ist, die bei der Herstellung der Schicht erzielt wird, umso geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie vorzeitig versagt. Parameter für das Versagen ist die Messung der plastischen Verformung in der Rollspur.

Bild 16 zeigt die typische zunehmende Bildung von Spurrinnen im Verhältnis zur Anzahl wiederholter Belastungen durch Achsübergänge. Diese Deformation ist das Ergebnis eines Konsolidierungsprozesses, bei dem bei allen körnigen Materialien die Materialdichte unter den Rollspuren zunimmt. Diese Verdichtung wird sich fortsetzen, bis eine „Versagensdichte“ erreicht ist. Dementsprechend gilt: Je niedriger die Einbaudichte, umso stärker die potenzielle Verformungswahrscheinlichkeit.

- **Die Leistungsfähigkeit der Oberflächenschicht (Deckschicht):** Da die einzelnen Partikel (Stücke) lediglich „punktverschleißt“ sind, muss eine BSM-Tragschicht grundsätzlich immer durch eine geeignete Oberflächenschicht vor dem Verschleiß durch die Reifen der Fahrzeuge geschützt werden. Darüber hinaus ist die Deckschicht ein entscheidender Faktor für den Schutz der Fahrbahnbefestigung gegen das Eindringen von Wasser. Bei Straßen mit geringem Verkehrsaufkommen wird in der Regel eine Oberflächenbehandlung verwendet, wohingegen bei Straßen mit mehr Verkehr eine relativ dünne (4 cm) Asphaltdeckschicht ausreichend ist.

Wie bereits in Abschnitt 2 erläutert, ist die Lebensdauer aller Materialien für Fahrbahnoberflächen mit Bitumen begrenzt, wofür Umwelteinflüsse (Alterung) und Abnutzung durch den Verkehr verantwortlich sind.

- **Die verwendeten Typen für die Bitumenstabilisierung:** Die meisten ungebundenen Materialien sind mehr oder weniger gleich geeignet für die Behandlung entweder mit Schaumbitumen oder Bitumenemulsion, denn die Endprodukte sind in Sachen Leistungsfähigkeit vergleichbar. Beim Einsatz von Schaumbitumen muss bei der Stückgrößenverteilung des zu recycelnden Materials der Durchgang durch ein 0,075-mm-Sieb mind. 4 % betragen, wenn die Verteilung den Ansprüchen genügen soll. Diese Einschränkung gilt nicht für Bitumenemulsion, da die Verteilungsmechanismen nicht von der Abstufung abhängen. Hier wird das gesamte Material benetzt, wobei jedoch die feineren Stücke den größten Anteil davontragen und sich im Bereich der Oberfläche konzentrieren.
- **Asphaltgranulat (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP)** ist ideal für die Behandlung mit Schaumbitumen, denn die winzigen Bitumenpartikel haften gut an dem gealterten Bitumen der RAP-Stücke, was für eine gute Verteilung und eine homogene Mischung sorgt. Bei der Behandlung von RAP mit Bitumenemulsion ist Vorsicht geboten, denn die Emulsion hat die Eigenschaft, das gealterte Bitumen zu „verjüngen“. Dadurch können zusammenhängende Bindungen entstehen, die den punktuellen Bindungen entgegenwirken, die die BSM kennzeichnen.
- **Voraussetzungen für eine Sanierung:** Die plastische Verformung ist ein Versagenszustand, kein Materialfehler. Wie in Abschnitt 3.2 erläutert, sind Verformungen in den Rollspuren bedenklich, weil das sich hier ansammelnde Wasser durch den Verkehr in den darunterliegenden

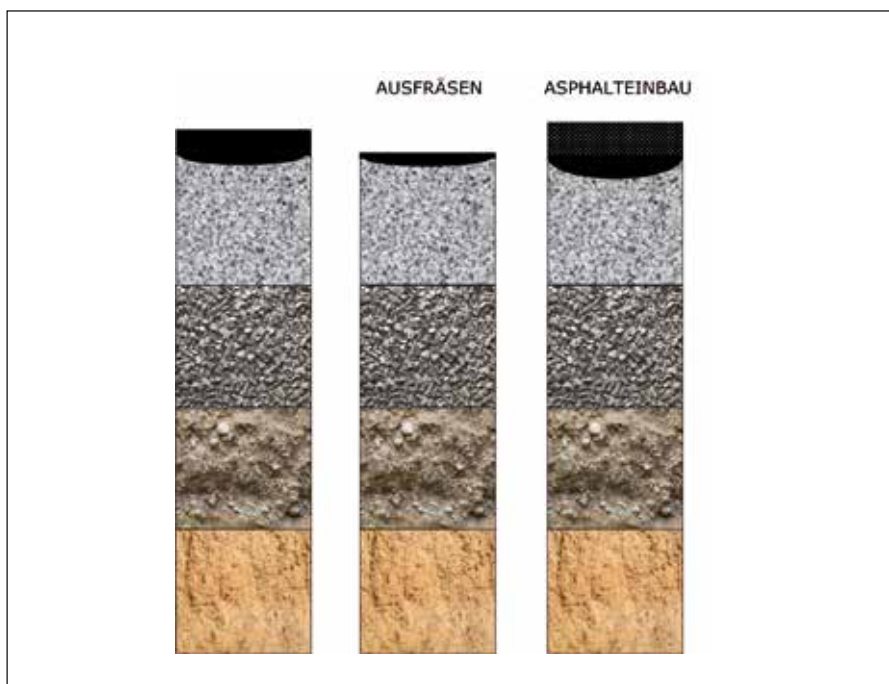


Bild 17: Sanierung von plastischen Verformungen

Aufbau der Fahrbahnbefestigung gepresst wird. BSM ist ein bemerkenswert widerstandsfähiges Material. Die Erfahrung hat gezeigt, dass es besagtes Einpressen von Wasser, das tendenziell die Oberflächenschicht von der darunterliegenden BSM-Schicht abtrennt (Lösung des Schichtenverbunds) verhindert und für eine geringe Erosion der Oberfläche der Tragschicht sorgt. Dadurch wird verhindert, dass durch die Oberflächenschicht durchdringendes Wasser in die Tragschicht eindringt. Da die Asphaltoberfläche wahrscheinlich bereits abgefräst und erneuert wird, wenn die strukturelle Kapazität der Tragschicht noch längst nicht verbraucht ist, wird der Sanierungsprozess in der Praxis so aussehen, wie in Bild 17 dargestellt.

5 Zusammenfassung

Fahrbahnbefestigungen sind dafür ausgelegt, das geplante Verkehrsaufkommen über einen festgelegten Zeitraum hinweg tragen zu können (Lebensdauer um die 20 Jahre). Das Konzept sieht vor, dass zum Ende der Lebensdauer ein Versagenszustand eintreten wird, in Form von Rissen durch alle Schichten gebundenen Materials oder durch ein bestimmtes Maß an Verformung in den Rollspuren aufgrund der Schichten aus ungebundenen und ungleichmäßig gebundenen Materialien (wie etwa BSM). Aus diesen Versagenszuständen ergibt sich die Nutzungsdauer. Sie bewirken eine permanente Verformung in den Rollspuren (Zunahme der Dichte). Aufgrund dieser Versagensmechanismen bestehen kaum Zweifel, dass BSM ein sehr dauerhaftes Material in Verbindung mit einer geringen Wasserempfindlichkeit ist.

Es gibt weltweit zahlreiche Beispiele für die bemerkenswerte Dauerhaftigkeit, die BSM erzielt hat. Hier einige Beispiele aus der Praxis:

- Ein 700 m langer Abschnitt der MR 504 bei Durban in Südafrika. Hier wurde 1995 eine 150 mm starke BSM-Tragschicht mit einer Oberflächenbehandlung gebaut. Dieser Abschnitt ist eine Passstraße mit einem Gefälle über 11 %. Zwei Unterabschnitte wurden gebaut. Dazu wurden zwei verschiedene Ausgangsmaterialien verwendet: RAP für einen 200 m langen Abschnitt und Granit für weitere 500 m. Beide wurden im Werk mit Schaumbitumen und gelöschtem Kalk verarbeitet. Danach wurde das Material über einen längeren Zeitraum hinweg gelagert, ehe es auf die Straße ausgebracht wurde, wo es verteilt und nachfolgend verdichtet wurde.

Täglich benutzen diesen Straßenabschnitt rund 200 Lkw, die aus einem großen Steinbruch, einem Asphaltwerk und einem Fertigbetonwerk kommen und über diese Straße das Tal verlassen. Heute ist diese Straße nach 25 Jahren mit minimalen Instandhaltungsmaßnahmen nach wie vor in einem guten Zustand. [1]

- Ein 21 km langer Abschnitt der sechsspurigen Autobahn zwischen Korinth, Athen und Lamia in Griechenland. Der Abschnitt wurde 2003 durch Recycling vor Ort und Stabilisierung mit Schaumbitumen saniert. Die bestehende 10 cm dicke HMA-Schicht auf einer 38 cm starken Schicht aus zementstabilisiertem Schotter wurde zunächst gebrochen, um vor der Stabilisierung vor Ort eine korrekte Abstufung zu erzielen. Die abschließend mit Schaumbitumen behandelte Materialmischung bestand zu 30 % aus RAP und zu 70 % aus vorab stabilisiertem Schotter.

Trotz 130 kN Normalachsübergängen waren bis 2018 keinerlei Instandhaltungsmaßnahmen erforderlich. Erst dann wurde ein 4 cm dicker Teil der Asphaltauflage abgefräst und ersetzt. Die 2015 festgestellten Spurrinnen lagen in allen Bereichen unter 8 mm. [9]

- Lastwagenspuren auf der 48 km langen Ayrton-Senna-Autobahn zwischen Sao Paulo und Rio de Janeiro (Brasilens meistbefahrene Autobahn). Die bestehende Fahrbahnbefestigung bildeten 10 cm Heißasphalt auf 25 cm abgestuftem Schotter, der mit 6 % Zement hochgradig stabilisiert wurde, damit das Material in 1 x 1 m große Blöcke bricht, die einen „wiegenden“ Unterbau für den Schwerlastverkehr bilden. Es wurden die oberen 35 cm der bestehenden Fahrbahnbefestigung aufgebrochen. Dies erfolgte in zwei Durchgängen, um den RAP getrennt vom stabilisierten Schottermaterial rückzugewinnen. Dort wo Beschädigungen aufgetreten waren, wurde die darunterliegende Tragschicht ausgebessert.

Auf Halden gelagertes RAP-Material aus früheren Instandhaltungsarbeiten wurde im Werk mit einem Prallbrecher zerkleinert und dann mit Schaumbitumen und gelöschtem Kalk behandelt. Dieses Material wurde dann zwischengelagert und anschließend zum Auffüllen der herausgefrästen Blöcke verwendet. Dies erfolgte in zwei Schichten (20 cm und weitere 13 cm), um ein hohes Maß an Dichte zu erzielen. Als nächstes wurde eine 2 cm dicke HMA-Schicht mit Ausfallkörnung aufgebracht. Diese diente als provisorische Fahrbahn, um die Straße nach einem siebenstündigen Zeitfenster wieder für den Verkehr öffnen zu können. Im November 2011 wurde ein Testabschnitt gebaut und nach dreimonatiger, genauer Überwachung (in diesem Zeitraum wurde keine Verschlechterung festgestellt) wurde entschieden, die übrigen Abschnitte der Lastwagenspuren mit demselben Verfahren zu reparieren. [4] [7]

- Ein 5,8 km langer Abschnitt der stark befahrenen Fahrbahn der Interstate I-81 bei Staunton in Virginia, USA, wurde im April 2011 mit drei verschiedenen Recyclingverfahren saniert. Zwei davon kamen auf der Lastspur (für Lkw) zur Anwendung, eines der Verfahren auf der Überholspur.

Lastspur: Die 30 cm dicke Asphaltschicht wurde zunächst abgefräst und vor Ort neben der Baustelle zwischengelagert. Danach wurde die freiliegende Tragschicht vor Ort bis zu einer Tiefe von 30 cm recycelt. Das zwischengelagerte RAP-Material wurde dann im Werk mit Schaum-

bitumen und einem aktiven Füllstoff (Zement) behandelt, ehe damit auf dem neuen zementstabilisierten Unterbau eine 20 cm dicke BSM-Tragschicht aufgebracht wurde. Nach dem Aufbringen einer 5 cm dicken Asphaltschicht wurde der Abschnitt für den Verkehr freigegeben.

Überholspur: Hier wurden die oberen 12,5 cm Asphalt der bestehenden Fahrbahnbefestigung recycelt und mit Schaumbitumen behandelt. Zum Einsatz kam dabei eine hochmoderne, raupenmobile Maschine. Darauf wurde eine 5 cm dicke Asphaltschicht aufgelegt, ehe der Abschnitt für den Verkehr freigegeben wurde.

Nach Abschluss der gesamten Sanierungsarbeiten wurde auf beiden Fahrspuren noch eine weitere 5 cm dicke Schicht aufgebracht. Bis heute waren an der sanierten Fahrbahnbefestigung in diesem Autobahnabschnitt keinerlei Wartungsarbeiten notwendig. [6] [11]

Literaturverzeichnis

- [1] Collings D.C., Lindsay R and Shumnugam R., LTPP Exercise on a Foamed bitumen Treated Base – Evaluation of Almost 10 Years of Heavy Trafficking on MR501 in KwaZulu-Natal. 8th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA), Sun City, South Africa, September 2004
- [2] Collings D.C. Bitumen stabilized materials – a new dimension in flexible pavements. Paper 09-3733, Annual Transportation Research Board (TRB) Meeting, Washington DC, January 2009
- [3] Collings, D.C., and Jenkins, K.J., The Long-Term Behaviour of Bitumen Stabilised Materials (BSMs). 10th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA), Drakensberg Sun, South Africa, August 2011
- [4] Collings D.C., Jenkins K.J. and Sousa E. Utilising recycled material stabilised with bitumen to rehabilitate a major highway within stringent time constraints. 11th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA), Sun City, South Africa, August 2015
- [5] Diaz-Sanchez M.A., Timm D.H. and Diefenderfer B.K., Structural coefficients of cold central-plant recycled asphalt mixes. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 2017.
- [6] Diefenderfer B.K., Timm D.H., Boz I. and Bowers B.F., Structural Study of Cold Central Plant Recycling Sections at the National Centre for Asphalt Technology (NCAT) Test Track: Phase III. Report No. FHWA/VTRC 21-R22, March 2021.
- [7] Guatimosim F.V., Vasconcellos K.L., Bernucci L.B. and Jenkins K.J.J, Laboratory and Field Evaluation of Cold Recycling Mixture with Foamed Asphalt. Road Materials and Pavement Design (RMPD) Journal, 2016. (DOI: 10.1080/14680629.2016.1261726)
- [8] Jenkins, K.J. and Collings, D.C.: Mix Design of Bitumen Stabilised Materials BSMs – South Africa and Abroad. International Journal on Road Materials and Pavement Design RMPD Vol 18:2 ISSN 1468-0629 Print, 2017.
- [9] Loizos A. and Papavasiliou V., Evaluation of foamed asphalt cold in-place pavement recycling using nondestructive techniques. Journal of Transportation Engineering, ASCE, 2006.
- [10] South African Bitumen Association. Technical Guidelines TG2, Bitumen Stabilised Materials: A guideline for the design and construction of bitumen emulsion and foamed bitumen stabilised materials. 3rd Edition, 2020. ISBN 978-1- 874968-77-1. Cape Town, South Africa.
- [11] Virginia Department of Transportation (VDOT), I-81 pavement recycled in place performs well after three years of Interstate Freight Corridor. Research Brief VCTIR 15-R1RB, October 2014
- [12] Wirtgen GmbH, Cold Recycling. Wirtgen Cold Recycling Technology. 1st Edition, 2012

