



Recycling- potenzial von Bitumenbahnen

Ökologische und ökonomische
Vorteile für Bitumenbahnen-
hersteller

Tess Sigwarth
Dr.-Ing. Johannes Büchner
Konstantin Tumakov

30 % Recyclingmaterial
in neuen Bitumenbahnen
möglich

Innovative rheologische
Prüfmethoden für
zuverlässige
Charakterisierung

Thermisches
Trennverfahren
für Bitumenbahnen

Kurzfassung

In Europa werden circa 62 % aller neuen Flachdächer mit Bitumenbahnen abgedichtet. Alle anderen erhalten Kunststoff- oder Elastomerbahnen (Das Dachdecker-Handwerk 2023). Bitumenbahnen bestehen typischerweise aus einem Trägermaterial – einem Glas- oder Kunststoffvlies. Dieses ist beidseitig mit Bitumen(massen) beschichtet. Diese Bitumenmassen bestehen zu einem großen Anteil aus erdölbasiertem Bitumen, dessen Herstellung viel Energie verbraucht und somit einen hohen Emissionsausstoß aufweist.

Am Ende der Nutzungsdauer von Bitumenbahnen werden diese aufgrund ihres Heizwerts meist thermisch verwertet. Grundsätzlich ließe sich der Dachbahnenabfall aufgrund des bitumenhaltigen Bindemittels stofflich in der Dachbahnen-Industrie oder im Asphaltstraßenbau verwerten. In den USA ist das Recycling von Bitumenbahnen durch „asphalt shingles“ in einem fortgeschrittenen Stadium. In Europa führten Projekte vor allem in Dänemark, Schweden und Belgien zu ersten Ansätzen. In Deutschland findet jedoch bislang eine stoffliche Verwertung nicht statt.

Mit diesem Forschungsprojekt wurden sowohl die wissenschaftlichen als auch die technischen Hindernisse für die stoffliche Verwertung und das kontinuierliche Recycling von bituminösem Abdichtungs- und Dachbahnenabfall in Deutschland eruiert. Dazu wurden alle Verarbeitungsschritte zur Gewinnung und Aufbereitung von wiedergewonnenen Bitumenbahnen aus Bauabfällen als wertvolle Ressource für Anwendungen im Hochbau in Form neuer Bitumenbahnen betrachtet.

Hierzu wurden zunächst unterschiedliche Aufbereitungstechniken erprobt, um die Bitumenmasse von den Trägereinlagen zu trennen. Vielversprechend erscheint dabei vor allem die thermische Trennung der Bitumenmassen von den Trägereinlagen in einem Abtropfverfahren.

Zur Charakterisierung der Bitumenmassen und deren Alterungsverhalten wurden rheologische Prüfverfahren im Dynamischen Scherrheometer (DSR) durchgeführt. Diese erlauben die Beurteilung der viskoelastischen Eigenschaften und des Gebrauchsverhaltens bei Wärme und bei Kälte. Anhand der rheologischen Prüfungen wurde das Alterungsverhalten von Bitumenmassen umfassend untersucht, um daraus die Grundlage für die Rezepturentwicklung von rezyklierten Bitumenmassen zu erstellen.

Aus den zerkleinerten Rezyklaten konnten Prototypen von Bitumenbahnen mit Recycling-Anteilen von bis zu 37 % hergestellt werden. Für die großtechnische Umsetzung des Recyclingverfahrens ist die Abtrennung der Trägereinlagen und einer mineralischen Abstreifungen anzustreben.

Gemäß den Abschätzungen für einen theoretisch realisierbaren Recyclingprozess konnte über eine Ökobilanzierung gezeigt werden, dass ein maximales Einsparpotenzial bei den Treibhausemissionen (GWP) während des Herstellungsprozesses von 33 % möglich ist. Theoretisch ist unter Einbindung erneuerbarer Energien sogar eine Reduktion von bis zu 43,1 % denkbar. Im Bereich der nicht erneuerbaren Primärenergie (PENRT) – die sich bei Bitumendachbahnen hauptsächlich aus fossilen materiellen und energetischen Stoffen zusammensetzen – kann etwa die Hälfte davon eingespart werden. Das ist den 80 % des Bitumenmaterials zuzuschreiben, die maximal prozesstechnisch substituiert werden können, was schließlich deutlich höher ausfällt, als die theoretischen Einsparpotenziale im Treibhauspotenzial.

1.1 Aufbereitung von Abdichtungs- und Dachbahnenabfall

Die Literaturrecherche zur Aufbereitung von Abdichtungs- und Dachbahnen-Abfällen ergab, dass es dazu nur wenige wissenschaftlich fundierte Arbeiten gibt und stattdessen Patente dominieren. Daher stand die Versuchstechnik im Vordergrund des Projekts, um eine solide Datenbasis zu schaffen.

Untersucht wurden vier Bitumenbahnen (BB): drei ungenutzte (BB 1 bis 3) und eine gebrauchte (BB 4), die sich in den verwendeten Materialien unterschieden. Dies betraf die Bestreuung, die Zusammensetzung der Bitumenmasse sowie das Material der Trägereinlagen. Zunächst erfolgte eine manuelle Trennung in die einzelnen Bestandteile. Anschließend folgte die Bestimmung des Aufbaus und der Materialanteile. Alle Proben enthielten 50 bis 60 % Bitumen und 30 bis 40 % Trägereinlagen. Beim verbleibenden Materialanteil handelte es sich um die Bestreuung.

Die Analysen umfassten Dichtebestimmungen, thermogravimetrische Analysen (TGA) und Messungen der dynamischen Differenzkalorimetrie (DSC). Dabei zeigte sich, dass Dichtentrennverfahren zur Anreicherung aufgeschlossener Komponenten der BB ungeeignet sind. Bitumen verliert ab einer Temperatur von etwa 210 °C deutlich an Masse. Gegenüber getesteten Salz-, Säure- und Laugelösungen erwiesen sich die Bitumenbahnen als weitgehend chemisch stabil.

Die mechanische Zerkleinerung erfolgte unter kryogenen Bedingungen, also bei stark abgesenkten Temperaturen unter Verwendung von Trockeneis beziehungsweise flüssigem Stickstoff, was zur gezielten Versprödung des Materials führte. Dabei wurden verschiedene Zerkleinerungsgeräte eingesetzt:

- eine Rotorschere (Eigenkonstruktion) mit überwiegend schneidender Beanspruchung
- eine Messermühle GRINDOMIX GM 300 (Firma Retsch)
- eine Schneidmühle Pulverisette 15 (Firma Fritsch)
- eine Schwingmühle CryoMill (Firma Retsch)

Die Messer- sowie die Schwingmühle arbeiten mit Schlag- und Scherbeanspruchung, die Schwingmühle mit Prall, Druck und Scherung.

Keines der Verfahren führte zu einem vollständigen Materialaufschluss oder einer vollständigen Zerkleinerung: Mit der Rotorschere gelang bei BB 2 und BB 3 eine deutliche Delaminierung der Bitumenoberschicht sowie eine Verringerung der Partikelgröße, was aber bei BB 1 und BB 4 nicht gelang. Mit der Messermühle konnten BB 2 und BB 3 gleichmäßig und feinkörnig zerkleinert werden, BB 1 und BB 4 zerfielen hingegen in eine Mischung aus groben und feinen Partikeln. Eine Siebanalyse unter kryogenen Bedingungen verdeutlichte diese Ergebnisse (vgl. bimodale Verteilung in Abbildung 1). Sowohl im 1,6-mm-Siebchnitt als auch auf dem Siebboden zeigten die Partikel eine starke Neigung zur Agglomeration. Das faserige Trägermaterial verhakte sich. Vibrationen beim Sieben verstärkten diesen Effekt. Zusätzlich förderte die gefrierende Luftfeuchtigkeit (durch den Kontakt mit Trockeneis) die Partikelagglomeration.

Materialaufschluss

Gebrauchte Bitumenbahnen bestehen aus Bitumen, Trägereinlage und Bestreuung, die fest miteinander verbunden sind. Die Rückgewinnung der einzelnen Materialien erfordert eine mechanische Zerkleinerung mit anschließender Trennung. Die stofflichen Verbindungen begrenzen den Trennungserfolg und lassen sich nur durch intensiven Aufschluss verringern. Mit zunehmender Zerkleinerung steigt zwar der Aufschluss, gleichzeitig nimmt bei zu feinem Material die Selektivität der Sortierung ab. Die optimale Aufgabekörnung liegt daher in einem Kompromiss zwischen hohem Aufschluss und ausreichender Trennschärfe (Leißner 2015).

Verteilungssumme

Die Verteilungssumme beschreibt die kumulative Aufteilung der Partikelgrößen in einer Probe. Sie gibt an, welcher Anteil der Partikel, bezogen auf Anzahl, Masse oder Volumen, kleiner oder gleich einer definierten Partikelgröße (x) ist. Die resultierende Kurve steigt kontinuierlich zwischen 0 und 100 % an. Aus ihr lassen sich charakteristische Kennwerte wie x_{10} , x_{50} oder x_{90} unmittelbar ablesen. Diese Größen kennzeichnen den Fein- beziehungsweise Grobanteil einer Probe und erlauben eine quantitative Beschreibung der Partikelgrößenverteilung (Stieß 2009).

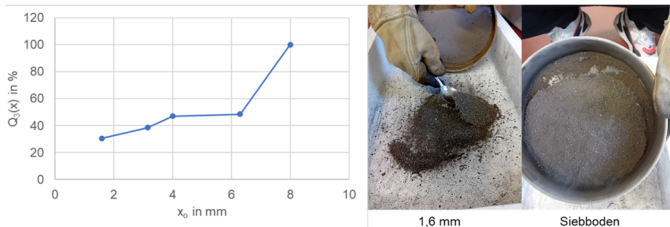


Abb. 1: Verteilungssumme (Masse) der Bitumenbahn BB 4 Fraktion 2 (links) und Agglomeration der Partikel (rechts); Quelle: TU Freiberg, MVTAT

Agglomeration

Agglomeration bezeichnet die lockere Zusammenlagerung einzelner Partikel zu größeren Verbänden. Physikalische Kräfte wie Van-der-Waals-Kräfte, elektrostatische Anziehung oder Flüssigkeitsbrücken halten diese Verbände zusammen. Die Primärpartikel bleiben dabei unterscheidbar und verschmelzen nicht fest miteinander. Agglomeration wirkt sich direkt auf die Fließeigenschaften, die Rieselfähigkeit, die Sedimentation und die gemessene Partikelgrößenverteilung eines Pulvers oder einer Suspension aus (Pietsch 2001).

Unter den gewählten Versuchsbedingungen erwies sich die Schneidmühle als ungeeignet. Die Schwingmühle war das einzige Gerät, das mit flüssigem Stickstoff anstelle von Trockeneis betrieben wurde. Bei BB 2 ließen sich damit die Fasern der Trägereinlage nach der Zerkleinerung optisch nicht mehr unterscheiden. Bei BB 1 gelang die

Freilegung der Fasern, während bei BB 3 auch die Aluminium-Trägereinlage zerkleinert wurde.

In weiteren Versuchen zur stofflichen Trennung der Materialien erfolgte eine thermische Behandlung in einem Muffelofen. Die zugeschnittenen Proben wurden in horizontaler und vertikaler Ausrichtung über Gittern mit Maschenweiten von 1 mm beziehungsweise 5 mm platziert. Zusätzlich wurden Proben getestet, die zuvor in der Messermühle zerkleinert wurden. Die entstehenden Schmelzprodukte wurden in Aluminiumschalen aufgefangen und anschließend analysiert.

Verteilungsdichte

Die Verteilungsdichte beschreibt die Häufigkeitsverteilung der Partikelgrößen innerhalb einer Probe. Sie gibt an, wie stark die einzelnen Größenklassen zum Gesamtanteil beitragen, bezogen auf Anzahl, Masse oder Volumen. Die resultierende Kurve weist charakteristische Maxima auf, welche die am häufigsten vorkommenden Partikelgrößen markieren. Im Gegensatz zur stetig ansteigenden Verteilungssumme kann die Verteilungsdichte sowohl ansteigen als auch abfallen. Aus ihr lassen sich Schwerpunkte und Breiten der Partikelgrößenverteilung unmittelbar erkennen, wodurch eine detaillierte Analyse der Struktur und Homogenität einer Probe möglich wird. Eine bimodale Verteilung zeigt dabei zwei Maxima beziehungsweise Minima und weist auf das Vorhandensein zweier dominanter Partikelfractionen hin (Stieß 2009).

Die Ergebnisse zeigten, dass bereits nach 30 Minuten bei 180 °C sehr gute Trennresultate vorlagen (Abbildung 2). Proben mit einer Ausgangsmasse von 12 g in horizontaler oder vertikaler Ausrichtung lieferten vergleichbare, aber bessere Ergebnisse als die zuvor zerkleinerten Proben. Ein ergänzender Walzversuch zeigte, dass durch eine zusätzliche Krafteinwirkung die Behandlungszeit im Muffelofen von 30 auf 20 Minuten verkürzt werden kann. Gleichzeitig erhöhte sich die Menge des aufgefangenen Schmelzmaterials.

Die anschließende Glühverlustbestimmung des aufgefangenen Schmelzprodukts ergab, dass circa 37 % aus flüchtigen Bestandteilen (einschließlich Bitumen) bestanden, etwa 4 % aus Bestreuung (Schiefer) und circa 53 %

aus nicht flüchtigen Komponenten (überwiegend Kalksteinmehl). Der Massenverlust betrug etwa 6 %.

Zusätzlich wurden zum Aufschluss und zur Trennung der Komponenten der BB Ultraschallbehandlungen sowie Versuche in heißem Wasser, jeweils mit und ohne Rühren, durchgeführt. Keines dieser Verfahren zeigte einen positiven Effekt für die stoffliche Trennung von Bitumen und Trägereinlagen.

1.2 Rheologische Charakterisierung von Bitumenmassen für Dachbahnen

Rheologie

Der Begriff kommt aus dem altgriechischen *rhein* für fließen und *logos* für Lehre und steht für Fließkunde. Es ist eine Werkstoffwissenschaft, die das Fließverhalten beziehungsweise das Verformungsverhalten von zähflüssigen Stoffen unter Krafteinwirkung behandelt. Zur Messung von rheologischen Größen wird ein Rheometer genutzt (Wistuba 2024).

Für die rheologischen Untersuchungen mithilfe des Dynamischen Scherrheometers (DSR) mit dem Platte-Platte-Messsystem wurden vier unterschiedliche Bitumenmassen ausgewählt. Die Varianten V1 bis V4 unterschieden sich durch ihre abnehmende Polymermodifizierung, wobei V1 die höchste Modifizierung aufwies. Je nach Temperaturbereich wurden unterschiedliche Platten mit Durchmessern von 4 mm, 8 mm und 25 mm gewählt. Das DSR und die unterschiedlichen Messgeometrien sind in Abbildung 3 dargestellt.

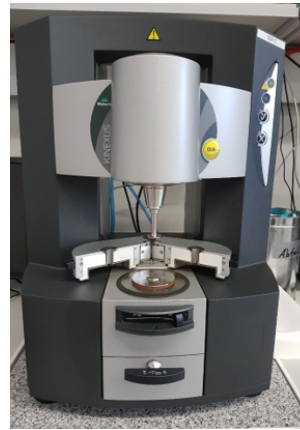


Abb. 3: Links: Das Prüfgerät Dynamisches Scherrheometer (DSR) und rechts: 4 mm, 8 mm und 25 mm Platte-Platte Messgeometrien; Quelle: TU Braunschweig, ISBS

Es kamen drei rheologische Prüfverfahren zur Anwendung, um die Bitumenmassen im gesamten Temperatur- und Frequenzbereich umfassend zu charakterisieren:

Zunächst wurde ein Temperatur-Frequenz-Sweep (T-f-Sweep) durchgeführt, bei dem im Bereich von -30 bis 150 °C der komplexe Schermodul G^* als Maß für die Steifigkeit und der Phasenwinkel δ als Maß für das viskoelastische Verhalten erfasst wurden. Variante V1 (höchste Polymermodifizierung) wies zwischen -30 °C und etwa 70 °C die geringste Steifigkeit auf, während V2 in diesem Bereich am steifsten war; ab 70 °C kehrte sich dieses Verhältnis um. Diese Unterschiede ließen sich durch Art und Umfang der Polymermodifizierung erklären. Beim Phasenwinkel stieg V4 kontinuierlich an, was auf die fortschreitende Verflüssigung des Bitumens hindeutete. Dagegen hielten die Polymere in V1 bis V3 den Phasenwinkel zwischen 30 °C und circa 140 °C vergleichsweise niedrig und sorgten so für ein elastischeres Verhalten.

Anschließend folgte eine Kriechprüfung bei 80 °C, bei der die Kriechrate als Kennwert für die Verformungsstabilität ermittelt wurde. Je stärker das Bitumen modifiziert war, desto geringer fiel die Kriechrate aus. Folgerichtig zeigte

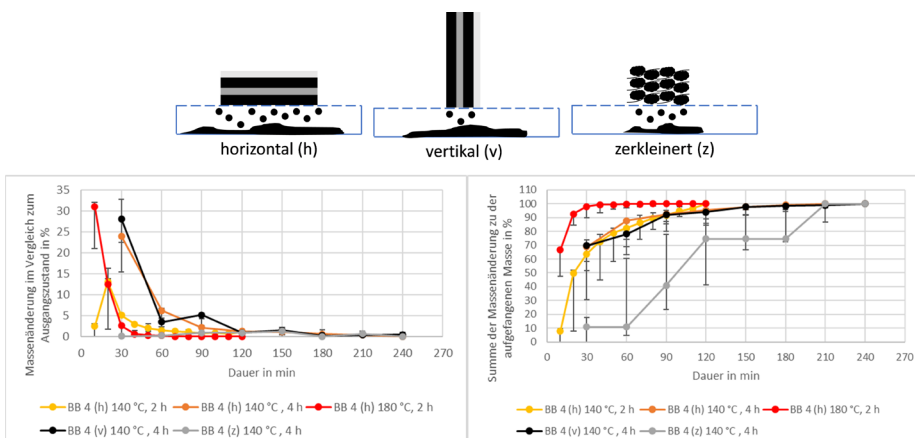


Abb. 2: Ergebnisse der thermischen Experimente an der Bitumenbahn BB 4 in drei Zuständen: horizontal (h), vertikal (v) und zerkleinert (z); Quelle: TU Freiberg, MVTAT

V1 (höchste Polymermodifikation) die niedrigste und V4 (geringste Polymermodifikation) die höchste Kriechrate.

Zur Beurteilung des Risswiderstands bei tiefen Temperaturen wurde eine Relaxationsprüfung bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ durchgeführt, bei der die Spannungsrelaxation nach 60 Minuten ermittelt wurde. Ein hoher Relaxationswert deutet auf gute Kälteeigenschaften hin. V4 wies erwartungsgemäß die geringste Spannungsrelaxation auf, da es sich um eine Mauersperrbahn mit geringem Kaltbiegeverhalten handelte. Auffällig war Variante V1, die im Vergleich eine niedrigere Spannungsrelaxation nach 60 Minuten aufwies als V2 und V3. Hier zeigte sich, dass Bitumenmassen infolge Alterung vorteilhaftere Kälteeigenschaften annehmen, wie aus der Praxisbeobachtung bekannt ist.

Insgesamt ermöglichten die Prüfungen im Dynamischen Scherrheometer eine deutlich präzisere rheologische Analyse sowohl frischer als auch recycelter Bitumenmassen aus Dachbahnen im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren (wie dem Erweichungspunkt nach Ring und Kugel).

1.3 Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit

Für Trägermaterialien sind (belastbare) ökologische Datensätze kaum verfügbar beziehungsweise ist die Datenlage diffus. Die Bewertung ihrer ökologischen Nachhaltigkeit erfolgte daher auf der Grundlage eigener Berechnungen. Der massenbezogene GWP-Wert diente als Referenzwert, an dem alle Untersuchungsergebnisse unabhängig von Trägereinlage, Bestreuung und Bitumeneinsatz bewertet wurden.

Das eigens geschaffene Berechnungsmodell für die G200 S4 Dachbahn zeigte plausible Ergebnisse, die (charakteristisch für den Datenhintergrund aus ecoinvent) etwas erhöht ausfallen (Liebich et al. 2023). Die Substituierung von Altbitumen führt unter Berücksichtigung des Recyclingprozesses zu einem theoretisch maximalen Einsparpotenzial im GWP von 33 %. Dies entspricht etwa dem Massenanteil an Bitumen in der Dachbahnrezeptur. Werden außerdem erneuerbare Energien in den Prozess eingebunden, ist eine Einsparung von bis zu 43 % möglich. Obwohl alleine anhand des GWP keine allgemeingültige Aussage über Umweltverträglichkeit, Klimafolgen oder die Einhaltung von Klimazielen gemacht werden kann (Ridoutt 2024) – wegen des insgesamt hohen Anteils an den Gesamtemissionen am Herstellungsprozess der Bitumenbahn ist die Reduzierung des GWP mit einer Ressourceneinsparung und einer niedrigeren Umweltbelas-

tung verbunden (Tulus/Pérez-Ramírez/Guillén-Gosálbez 2021).

Betrachtet man die energetisch bilanzierten Materialeinsätze, fallen die Einsparpotenziale im Vergleich noch höher aus. So sind etwa 80 % des primären materiellen Energieeinsatzes rezyklierbar, was etwa der Hälfte des gesamten PENRT-Anteils an den Umweltindikatoren entspricht. Übrig bleiben energetische Prozessaufwendungen und additive Stoffe, die für den Produktionsprozess und auch als Regenerationsmittel (Verjüngungsmittel) besonders bei Verwendung von Altbitumenbahnen von großer Bedeutung sind (Radenberg et al. 2016).

Ein Prognosemodell für das GWP ließe sich unter Verwendung der eingesetzten Bitumen- und Kalksteinmengen sowie eventueller Zusatzstoffe bei der Dachbahnherstellung sinnvoll umsetzen. Je höher der Anteil an Zusatzstoffen ist – also je niedriger die Gesamtmasseanteile an Bitumen und Mineralien sind – umso höher fällt das GWP aus. Weil die Inhaltsstoffe in den EPDs nicht deklariert werden, konnten im Projekt nur Annahmen dazu getroffen werden.

Das Unternehmen Phønix Tag Materialer aus Dänemark sticht bei der Ergebnisbetrachtung vorteilhaft hervor. Seine niedrigen Emissionswerte lassen sich vermutlich der Firmen- und Klimapolitik Dänemarks der vergangenen Dekaden zuschreiben und könnten möglicherweise eine Folge der Verwendung von nachhaltigen Filtersystemen, umweltfreundlichen Zusatzstoffen und energiesparenden Prozesszyklen sein (Umweltdialog 2023).

1.4 Alterungs- und Verjüngungsverhalten

Die frischen Bitumenmassen wurden im Labor im Pressure Aging Vessel (PAV, Druckalterungstopf) (gemäß EN 2023) unter dem Einfluss von heißer Druckluft gealtert. Gemäß Regelwerk dauert ein Alterungszyklus 20 Stunden. Alle Varianten V1 bis V4 durchliefen je drei solcher Zyklen und wurden danach mit dem festgelegten Prüfprogramm untersucht.

Neben der simulierten Laboralterung wurde auch eine Feldalterung betrachtet: Dazu wurden vier Bitumenproben aus drei unterschiedlichen Dachbahnabfällen (DA) entnommen. Bei der Variante DA1 wurden zwei Proben aus verschiedenen Ecken desselben Bauteils verwendet, um mögliche Materialunterschiede zu prüfen.

Die Ergebnisse der Kriechprüfung (Abbildung 4) und der Relaxationsprüfung (Abbildung 5) zeigen, dass die Varianten V1 und V2 bei zunehmender Alterung höhere Kriechraten aufweisen. Das deutet darauf hin, dass die

zugesetzten Polymere allmählich abgebaut werden. Bei den Varianten V3 und V4, die mit weniger Polymeren modifiziert wurden, nimmt die Kriechrate ab – die Bitumenmasse wird spröder.

Die Relaxationsprüfung bestätigt diesen Effekt: Bei V1 und V2 bauen sich die Polymere ab (die Bitumenmasse wird weicher und kann besser relaxieren), bei V3 und V4 werden die Bitumenmassen dagegen spröder und die Relaxationsfähigkeit nimmt ab.

Die Proben der Dachbahnen ordnen sich folgendermaßen ein: Die beiden Proben von DA1 bewegen sich in ihrem Verhalten zwischen V1 und V2, zeigen aber eine etwas schlechtere Relaxation. DA2 erweist sich nach seiner Einsatzzeit als vergleichbar mit V2, wenn dieses ein- bis zweimal im PAV gealtert ist. Selbst nach rund 30 Jahren Einsatz entspricht DA3 beim Hochtemperaturverhalten noch in etwa der Bitumenmasse V1, die ein- bis zweimal PAV-gealtert ist, und zeigt sogar leicht bessere Relaxationseigenschaften.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass die Art der Modifizierung einen großen Einfluss auf die Alterungsbeständigkeit hat und dass bei stark polymermodifizierten Bitumenmassen deren gute rheologische Eigenschaften selbst nach langer Liegedauer weitgehend erhalten bleiben. Gleichzeitig zeigt sich, dass jede Bitumenmasse unterschiedlich altert und sich daher keine allgemeingültige Alterungsfunktion ableiten lässt.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass eine Verjüngung (Regeneration) des Materials mit drei der eingesetzten Verjüngungsmittel (auch Rejuvenatoren, Regenerationsmittel oder Regeneratoren genannt) prinzipiell möglich ist. Eine 100 % Recyclingquote ist allerdings für die Praxis nicht zielführend, daher werden zukünftig die Recyclingquoten reduziert.

1.5 Erprobung und Prototypen

Aus den zerkleinerten Rezyklaten konnten 14 Prototypen von Bitumenbahnen mit Recycling-Anteilen von bis zu 37 % hergestellt werden. Durch systematische Anpassung der Rezeptur (unter Verwendung von Regenerationsmitteln) konnten neue Bitumenmassen entwickelt werden, die gleichwertige oder höherwertige Eigenschaften als eine Referenzvariante aufwiesen.

Durch die vorhandenen Fasern und Mineralien im Rezyklat kam es zu hohen Abnutzungen bei der Herstellung der Bitumenmassen im Hochschermischer. Am vielversprechendsten erscheint deshalb der Einsatz des thermisch extrahierten Bitumens aus Dachbahnenabfall (DA).

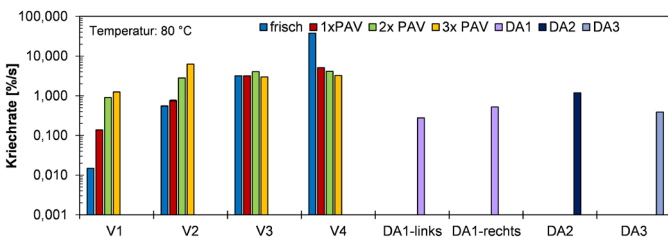


Abb. 4: Ergebnisse der Kriechprüfungen im DSR von den vier Bitumenmassen V1 bis V4 im frischen und im gealterten Zustand sowie die extrahierten Bitumen aus Dachbahnenabfall DA1 bis DA3: Kriechrate bei 80 °C; Quelle: TU Braunschweig, ISBS

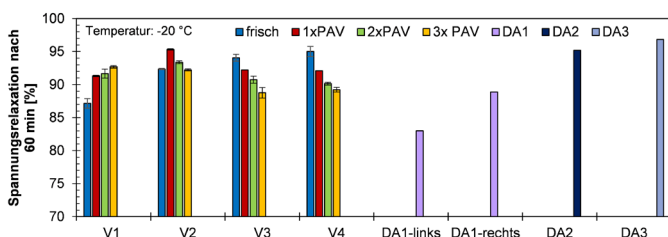


Abb. 5: Ergebnisse der Relaxationsprüfungen im DSR von den vier Bitumenmassen V1 bis V4 im frischen und im gealterten Zustand sowie die extrahierten Bitumen aus Dachbahnenabfall DA1 bis DA3: prozentuale Spannungsrelaxation bei 20 °C; Quelle: TU Braunschweig, ISBS

Nutzen für die Praxis

2.1 Baupraktischer Nutzen

Die Projektergebnisse werden ab sofort von der Baustoffindustrie zur Herstellung von Bitumenbahnen genutzt. Die neuen Charakterisierungsmethoden werden zur Produktentwicklung und zur Qualitätsüberwachung eingesetzt und sollten langfristig die konventionellen und teilweise zeitaufwändigen empirischen Prüfverfahren (wie z. B. Erweichungspunkt Ring und Kugel, Kaltbiegeverhalten) ersetzen. Sie verbessern das Verständnis für Rohstoffkompatibilitäten, Materialverhalten und Schadensmechanismen und ermöglichen die Verbesserung von Produktqualitäten insbesondere hinsichtlich Gebrauchsverhalten und Langlebigkeit. Mit den erstellten Arbeitsanleitungen können die neuen Charakterisierungsmethoden in die nationale und internationale Normung überführt werden. Langfristig können Baustoffanforderungen definiert werden, die sich am Gebrauchsverhalten orientieren.

Bisher werden Abfälle von Bitumenbahnen hauptsächlich der energetischen Verwertung zugeführt. In Zukunft ist eine stoffliche Verwertung aus ökologischer und ökonomischer Sicht anzustreben. Ein Projektergebnis ist der in Abbildung 6 skizzierte Vorschlag für die schrittweise Aufbereitung von gebrauchten Bitumenbahnen (BB): Diese werden zusammen mit Zuschnittresten aus privaten Haushalten, analog zu Kunststoff- oder Glasflaschen, an öffentlich zugänglichen Sammelstellen wie Baumärkten erfasst, von wo die Materialien (idealerweise nach einer

groben manuellen Vorsortierung) an zentrale Sammelstellen oder Recyclinghöfe weitergeleitet werden. Gewerbliche BB-Abfälle werden direkt am Entstehungsort vorsortiert und anschließend zu den Sammelstellen transportiert.

In den Sammelstellen werden die BB mithilfe von Sägen in handliches Stückgut geschnitten. Auf Gitterförderbändern aufgelegt, durchlaufen die Stücke eine Art „Waschstraße“, auf der sie – nach dem Stand der Technik – gereinigt und von Störstoffen und Bestreuungen befreit werden. Gleichzeitig fließt unter thermischer Behandlung und unter dem Druck von beweglichen Walzen das Bitumen, ähnlich wie beim Abtropfversuch, durch ein Gitter ab und wird aufgefangen. Das gesammelte Bitumen wird aufbereitet, veredelt und für die Herstellung neuer Bitumenbahnen genutzt. Das verbleibende Restmaterial gelangt in eine erste Zerkleinerungsstufe mit Schneidbeanspruchung, die kryogen betrieben wird (zur Versprödung des Materials). Das zerkleinerte Material wird anschließend einer Metallabtrennung unterzogen, um Störstoffe zu entfernen. Bei Bedarf folgen weitere Zerkleinerungsschritte, abhängig von den Anforderungen der Asphaltindustrie, die das Material als Sekundärrohstoff einsetzen kann.

Neben der Wasseraufbereitung muss der hohe Energiebedarf der kryogenen Verfahren berücksichtigt werden. Für den realen, kontinuierlichen Betrieb muss geprüft werden, ob nach der ersten Zerkleinerungsstufe auf Kryotechnik verzichtet werden kann. Dies erscheint plau-

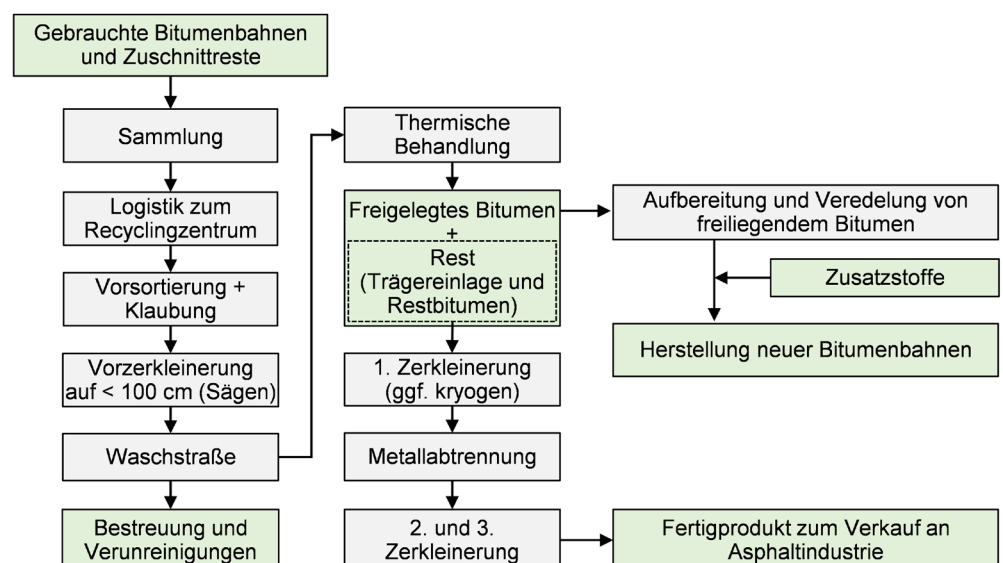


Abb. 6: Möglicher Prozessablauf die Aufbereitung von gebrauchten Bitumenbahnen; Quelle: TU Freiberg, MVTAT

sibel, da der Bitumenanteil nach der thermischen Behandlung bereits um rund 60 % reduziert ist.

Im Weiteren erscheint das thermische Trennverfahren von Trägereinlage und Bitumenmasse für die weitere Verwertung vielversprechend. Es wird vorgeschlagen, einen Prototyp für eine entsprechende Industrieanlage zu entwickeln, um die großtechnische Umsetzung des Verfahrens voranzutreiben.

2.2 Verwertungsoptionen

Die grundsätzliche Eignung von Bitumenabfällen als Ausgangsmaterial für neue Bitumenbahnen wurde im Projekt nachgewiesen. Die vorgeschlagene Technologie kann von Bitumenbahnherstellenden genutzt werden, um neue markttaugliche Produkte zu entwickeln. Dabei stellen die im Projekt erprobten Charakterisierungsmethoden ein hilfreiches Werkzeug für die Produktentwicklung dar – vor allem zur Beurteilung von Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit. Beispielsweise können damit mögliche Recyclingquoten ausgelotet und notwendige flüssige Zugabemittel (Regenerationsmittel) ausgewählt und deren Dosierung berechnet werden. Marktreife Bitumenbahnen mit Recyclinganteilen wären in Deutschland einzigartig. Mit solchen Produkten könnte ein neuer Markt erschlossen und nachhaltigkeitsorientierte Kunden bedient werden.

Der Einsatz von Bitumenabfällen in der Bitumenbahnenproduktion bietet außerdem ökologische und ökonomische Vorteile. So können Herstellende Rohstoffkosten einsparen und die Umweltbilanz ihrer Bauprodukte verbessern. Gleichzeitig entstehen wirtschaftliche Vorteile für Baufirmen und Abbruchunternehmen infolge der Einsparung von Entsorgungskosten.

Erstmals wurden im Projekt die Umwelteinflüsse von Bitumenbahnen quantifiziert. Das entwickelte Umweltmodell beleuchtet die Einflussfaktoren im Herstellungsprozess einer Bitumenbahn auf die unterschiedlichen Umweltindikatoren. Das Modell kann nun von Herstellenden von Bitumenbahnen implementiert werden, um ihre Produkte nachhaltiger zu gestalten. So trägt das Modell zusammen mit der Recyclingtechnologie langfristig zur Ressourcenschonung, zur Senkung der Emissionen, zum Klimaschutz und zu einer nachhaltigeren Gesellschaft bei. Das entwickelte Modell und die zugrundeliegende Datenbasis können zukünftig in internationale Datenbanken überführt werden, um damit eine Standardisierung zur Berechnung der Umwelteinflüsse von Bitumenbahnen zu erreichen.

Zur weiteren Verbreitung der Erkenntnisse werden die Ergebnisse aus dem Projekt in nationalen und internationalen Fachzeitschriften unterschiedlicher Branchen veröffentlicht (z. B. dach+holzbau, Das Dachdecker-Handwerk, Asphalt & Bitumen, Recycling-Magazin, MÜLL und ABFALL, EURecycling). Neben den Bitumenbahnherstellenden werden dadurch auch alle am Einbau beteiligten Baufirmen informiert und sensibilisiert. Darüber hinaus werden mit den Veröffentlichungen auch spezielle Recycling-, Entsorgungs- und Verwertungsunternehmen sowie die auf Umwelt und Abfall ausgerichteten Landesbehörden angesprochen. Außerdem werden die Ergebnisse über diverse Fachverbände, unter anderem vom Industrieverband der Dach- und Dichtungsbahnen e. V. (vdd), in die entsprechenden Interessentenkreise getragen.

Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben finden zudem Eingang in die universitäre Lehre des Bauingenieurwesens und artverwandter Studiengänge und sollten die zukünftigen BauingenieurInnen zum kreislaufgerechten Bauen ermutigen. So wurden im Jahr 2024 bereits eine projektbegleitende Masterarbeit mit dem Titel „Entsorgung und Recycling von Bitumenbahnen“ und eine projektbegleitende Bachelorarbeit mit dem Titel „Rheologische Charakterisierung des Kälteverhaltens, der Wärmestandfestigkeit und der Alterungsbeständigkeit von Bitumenmassen für Bitumenbahnen“ an der TU Braunschweig erfolgreich abgeschlossen.

Methodik und Projektverlauf

3.1 Methodik

Methodisch umfasste das Projekt die Erarbeitung der umweltrelevanten Grundlagen, die Zusammenstellung von effizienten Laborprüfverfahren und die baupraktische Umsetzung der Erkenntnisse für das Recycling und eine effiziente Wiederverwendung von Dachbahnenabfall.

Umweltrelevante Grundlagen

Um die Umweltwirkungen von Bitumenbahnen zu quantifizieren, wurden verschiedene Umweltindikatoren herangezogen (Abiotic Depletion Potential Fossil, Acidification Potential, Eutrophication Potential, Global Warming Potential, Primary Energy Renewable Total, Primary Energy Non-Renewable Total, Photochemical Ozone Creation Potential und Water Depletion Potential). All diese Indikatoren ermöglichen eine ganzheitliche Betrachtung der Umweltwirkungen von Baustoffen und Bauprozessen und bilden die Grundlage für fundierte Entscheidungen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit im Herstellungsprozess von Bitumendachbahnen.

Charakterisierung von Bitumenbahnen im Labor

Im Labor lag der Fokus auf der physikalisch einwandfreien Charakterisierung der Bitumenmassen hinsichtlich Gebrauchsverhalten, Alterungsverhalten und Regenerierungsmethoden (Verjüngung). Da es für die Charakterisierung von Bitumenbahnen bislang keine aussagekräftigen Prüfverfahren gab, wurden im Rahmen dieses Forschungsprojekts vielversprechende rheologische Prüfverfahren aus der Asphaltbranche adaptiert, weiterentwickelt und optimiert. Mit den weiterentwickelten Prüfungen wurden anschließend die rheologischen Materialeigenschaften frischer, gealterter und regenerierter Bitumenmassen charakterisiert und bewertet, wodurch die Grundlage für eine stoffliche Wiederverwendung geschaffen wurde.

Baupraktische Umsetzung

Mit dem Projekt wurden die praktischen Grundlagen für die systematische Aufbereitung und Wiederverwendung von Dachbahnenabfällen geschaffen. Dies umfasste die Sammlung von Abdichtungs- und Dachbahnenabfällen und deren mechanische Aufbereitung für den Einsatz als

Recyclingmaterial. Unterschiedliche Verfahren der Aufbereitung wurden systematisch erprobt und die daraus gewonnenen Materialkomponenten partikeltechnologisch und stofflich mit den neu entwickelten Prüfverfahren analysiert. Darauf aufbauend wurden die Produktrezepturen für die Verwendung von Recyclingmaterial angepasst und im Kleinmaßstab im Labor erprobt. So wurden alle notwendigen Prozessschritte und Voraussetzungen für ein flächendeckendes Recycling von Abdichtungs- und Dachbahnenabfall erprobt. Eine großtechnische Umsetzung erfolgte nicht.

3.2 Projektverlauf

Abbildung 7 gibt eine Übersicht über den Projektverlauf. Das Institut für Straßenwesen an der TU Braunschweig (ISBS) konzentrierte sich auf die materialtechnologischen Fragestellungen zur Materialcharakterisierung, dem Alterungs- und Regenerationsverhalten (Verjüngungsverhalten) sowie der Kompatibilität mithilfe von empirischen, physikalischen und gebrauchsverhaltensorientierten Prüfmethoden.

Die Firma C. Hasse & Sohn Inh. E. Räddecke GmbH & Co. KG trug die wesentlichen Informationen zur Marktlage, den Voraussetzungen, der großtechnischen Umsetzbarkeit, den möglichen Einsatzzwecken sowie den Materialzusammensetzungen von rezyklierten Dachbahnen zusammen. Außerdem stellte das Unternehmen die Materialien für die Projektbearbeitung zur Verfügung und erprobte die großtechnische Realisierbarkeit durch Produktion von Prototypen.

Die Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg (OTH) beschäftigte sich mit der Bearbeitung der umweltrelevanten Fragestellungen mittels Ökobilanzierung.

Das Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik der TU Bergakademie Freiberg (MVTAT) verantwortete die mechanische Aufbereitung der Dachbahnenabfälle (Sammlung, Zerkleinerung und die mögliche Abtrennung der Trägereinlage).

Zusätzlich wurden drei Meilensteine definiert, um den Projekterfolg zu festgelegten Zeitpunkten zu überprüfen.

→ Meilenstein 1 sah nach sieben Monaten des Projekts die Trennung der Trägereinlage von den Bitumen-

bahnenabfällen durch mechanische oder nasschemische Verfahren vor (anderenfalls wäre die Trägereinlage in geschredderter Form mitverwertet worden).

- Meilenstein 2 umfasste nach 13 Monaten die Quantifizierung des Alterungsverhaltens über rheologische Funktionen, alternativ über konventionelle Prüfungen.
- Meilenstein 3 zielte nach 19 Monaten auf die Entwicklung einer geeigneten Rezeptur für Bitumenmassen ab (anderenfalls wären Anpassungen im Aufbereitungsverfahren erforderlich gewesen).

Alle Meilensteine im Rahmen des Projekts wurden termingerecht und erfolgreich erreicht.

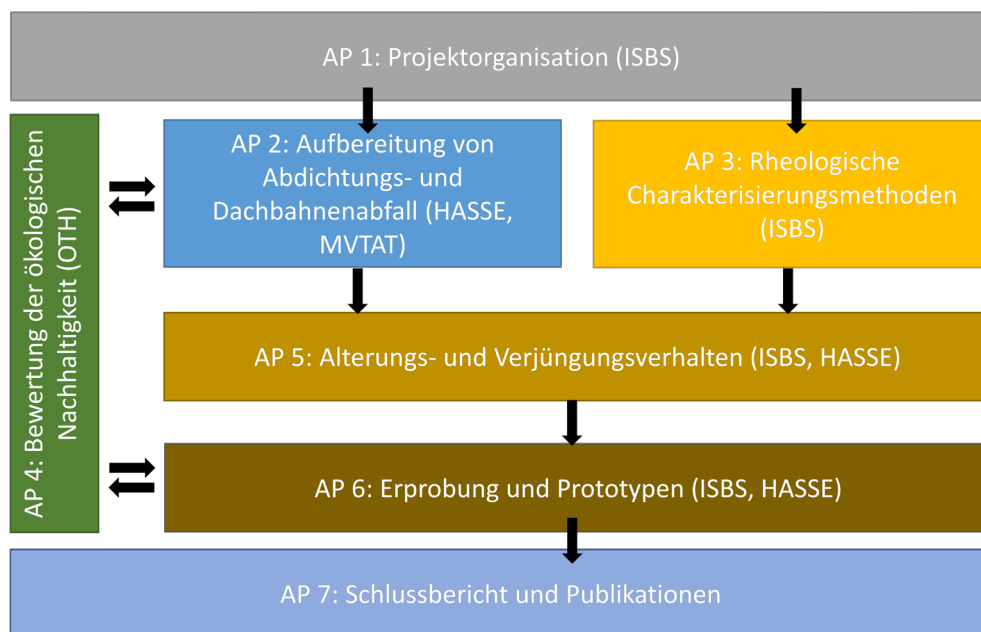


Abb. 7: Übersicht über den Projektablauf;
Quelle: TU Braunschweig, ISBS

Literaturverzeichnis

EN 14769, 2023: Bitumen und Bitumenhaltige Bindemittel - Beschleunigte Langzeit-Alterung mit einem Druckalterungsbehälter (PAV). Brüssel.

Das Dachdecker-Handwerk, 2023: Marktzahlen Abdichtungsbahnen 2022: Verhalten positiver Ausblick. Zugriff: <https://www.ddh.de/marktzahlen-abdichtungsbahnen-2022-verhalten-positiver-ausblick-03042023> [abgerufen am 16.10.2025].

Leißner, T., 2015: Beitrag zur Kennzeichnung von Aufschluss- und Trennerfolg am Beispiel der Magnetscheidung. Dissertation. Freiberg

Liebich, A.; Müller, J.; Münter, D.; Wingenbach, C.; Vogt, R., 2023: LCAst – Prospektive Ökobilanzen auf Basis der ecoinvent-Datenbank. ifeu paper 03/2023. Heidelberg.

Pietsch, W., 2001: Agglomeration Processes. Phenomena, technologies, equipment. Weinheim.

Radenberg, M.; Boetcher, S.; Sedaghat, N.; Wistuba, M. P.; Walther, A.; Büchler, S.; Schmidt, H.; Çetinkaya, R., 2016: Einsatz von Rejuvenatoren bei der Wiederverwendung von Asphalt. Schlussbericht zum FE 07.0250/2011/LRB. Bergisch-Gladbach.

Ridoutt, B., 2024: Complacency in the quantification and reporting of climate impacts as carbon dioxide equivalent emissions. The International Journal of Life Cycle Assessment, 29. Jg. (11): 2008–2012. <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02379-7>

Umweltdialog, 2023: Dänemark und sein grüner Pfad: Vorreiter für nachhaltige Entwicklung. Zugriff: <https://www.umweltdialog.de/de/verbraucher/freizeit/2023/Daenemark-und-sein-gruener-Pfad-Vorreiter-fuer-nachhaltige-Entwicklung.php> [abgerufen am 08.09.2025].

Stieß, M., 2009: Mechanische Verfahrenstechnik – Partikeltechnologie 1. Berlin, Heidelberg.

Tulus, V.; Pérez-Ramírez, J.; Guillén-Gosálbez, G., 2021: Planetary metrics for the absolute environmental sustainability assessment of chemicals. Green chemistry: an international journal and green chemistry resource: Green Chemistry, 23. Jg. (24): 9881–9893. <https://doi.org/10.1039/d1gc02623b>

Wistuba, M. P., 2024: Straßenbaustoff Asphalt. Bonn.

Projektbeteiligung

Technische Universität
Braunschweig
Institut für Straßenwesen (ISBS)
Tess Sigwarth
Johannes Büchner
Michael P. Wistuba



C. Hasse & Sohn Inh. E. Räddecke
GmbH & Co. KG
Lydia Geiger
Christian Knittlmayer
Christoph Räddecke
Karsten Seelig



Ostbayerische Technische
Hochschule Regensburg
Lehrgebiet „Werkstoffe des Bauwesens“
Michael Schmid
Charlotte Thiel



Technische Universität
Bergakademie Freiberg
Institut für Mechanische Verfahrenstechnik
und Aufbereitungstechnik
Konstantin Tumakov
Lisa Ditscherlein
Urs Alexander Peuker



Impressum

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-23.14
Projektlaufzeit: 11.23 bis 10.25
Bundesmittel in €: 399.463,24

Zuwendungsempfängende:
Technische Universität Braunschweig;
Ostbayerische Technische Hochschule
Regensburg; TU Bergakademie Freiberg;
C. Hasse & Sohn Inh. E. Räddecke GmbH &
Co. KG

Über Zukunft Bau

Mit dem Innovationsprogramm Zukunft Bau stärkt das BMWSB gemeinsam mit dem BBSR die Zukunfts- und Innovationsfähigkeit des Bausektors. Die Zukunft Bau Forschungsförderung schafft Vorbilder, die die Machbarkeit von neuen Ideen ausloten und die Baupraxis weiterentwickeln. Gefördert werden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die einen Gebäudebezug als Schwerpunkt haben und einen substantiellen Beitrag zur Bewältigung aktueller und künftiger Herausforderungen im Baubereich erwarten lassen.

zukunftbau.de

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
Daniel Wöffen
daniel.woeffen@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Tess Sigwarth
Technische Universität Braunschweig
Institut für Straßenwesen (ISBS),
Braunschweig
t.sigwarth@tu-braunschweig.de

Dr.-Ing. Johannes Büchner
Technische Universität Braunschweig
Institut für Straßenwesen (ISBS),
Braunschweig

Konstantin Tumakov 
Technische Universität Bergakademie
Freiberg Institut für Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik, Freiberg

Redaktion

Michael P. Wistuba
Technische Universität Braunschweig
Institut für Straßenwesen (ISBS),
Braunschweig

Stand

September 2025

Grafisches Konzept

www.sans-serif.de

Satz und Barrierefreiheit

www.sans-serif.de
www.satzweiss.com

Bildnachweis

Titelbild: TU Braunschweig, ISBS

Vervielfältigung



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons-Lizenz Attribution – Share Alike 4.0 (CC BY-SA 4.0). Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers und der Weitergabe unter gleichen Bedingungen die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell. Nähere Informationen zu dieser Lizenz finden sich unter: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de/>.

Die Bedingungen der Creative Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Sigwarth, T.; Büchner, J.; Tumakov, K., 2026: Recyclingpotenzial von Bitumenbahnen: Ökologische und ökonomische Vorteile für Bitumenbahnenhersteller. Herausgeber: BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Zukunft Bau – Forschung KOMPAKT 12/2025. Bonn.
<https://doi.org/10.58007/kgcq-1g97>



Bonn 2026
ISSN 2944-067X

Dieses Werk ging aus folgendem Forschungsbericht hervor:

Sigwarth, T.; Büchner, J.; Wistuba, M. P.; Geiger, L.; Knittlmayer, C.; Räddecke, C.; Seelig, K.; Schmid, M.; Thiel, C.; Tumakov, K.; Ditscherlein, L.; Peuker, U. A., 2025: Recycling von Bitumenbahnen für Bauwerksabdichtungen: Baustofftechnologische Grundlagen und Voraussetzungen, Materialcharakterisierung, Verfahrenstechnik, Prozesssicherheit. Braunschweig.

Hier geht es zum kostenfreien Forschungsbericht:



<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202510301114-0>