



Bau- und Verkehrsdepartement des Kantons Basel-Stadt

**Tiefbauamt**

**VIA TEC**  
Institut für Baustofftechnologie

Technischer Kurzbericht

## **«Grüner Asphalt»: ein Meilenstein zum klimaverträglichen Strassenbau**

Ausgabe 18.10.2023  
Version 1.02

Herausgebende: **ViaTec Basel AG**  
**Tiefbauamt des Kantons Basel-Stadt**



## **Herausgebende**

ViaTec Basel AG  
Hochbergerstrasse 50  
CH-4057 Basel  
<https://viatec.ch/>

Bau- und Verkehrsdepartement des Kantons  
Basel-Stadt - Tiefbauamt  
Dufourstrasse 40/50  
CH-4001 Basel  
<https://www.tiefbauamt.bs.ch/>

## **Kontakt**

Dipl. Ing. Kai Teschner  
([kai.teschner@viatec.ch](mailto:kai.teschner@viatec.ch))

Dipl. Ing. HTL Michael Schweizer  
([michael.schweizer@bs.ch](mailto:michael.schweizer@bs.ch))

B.A. Ronja Teschner  
([ronja.teschner@viatec.ch](mailto:ronja.teschner@viatec.ch))

**Dieses Dokument wird laufend mit unseren aktuellen Erfahrungen zu Pflanzkohle-Asphalt ergänzt. Ergänzungen werden im Bericht mit einer Fussnote kenntlich gemacht.**

© ViaTec Basel AG, TBA BS, Oktober 2023

Nachdruck – auch nur auszugsweise - nur unter Quellenangabe



# Inhaltsverzeichnis

<b>Management Summary</b> .....	<b>7</b>
<b>Funktionsweise</b> .....	<b>9</b>
Pflanzkohle .....	9
Form und Zusammensetzung von Pflanzkohle.....	9
Zugabe im Mischwerk.....	10
Anwendbarkeit für AC B und AC T ab 16er Grösstkorn .....	11
Dimensionierung .....	11
Transport .....	11
Einbau und Verdichtung auf der Baustelle .....	11
Rezyklieren und stabiler Kohlenstoff .....	12
Eingesetzte Prüfmethode.....	12
Detailliert untersuchte Mischgute.....	13
<b>Stand der Technik</b> .....	<b>14</b>
<b>Pflanzkohle - Asphalt: CO<sub>2</sub>eq -Potential und Einflussfaktoren</b> .....	<b>15</b>
Dosierung und Einbaumenge Pflanzkohle – Asphalt.....	16
RC - Asphalt / Ausbaupasphalt .....	16
Kohlenstoffgehalt in Pflanzkohle .....	17
Analyse des effektiven Kohlenstoffgehaltes im Mischgut und dessen Verteilung in der Mastix .....	17
<b>Pilotprojekte</b> .....	<b>18</b>
Testeinbau Umschlagplatz habö AG .....	18
St. Alban – Vorstadt .....	20
Reservoirstrasse.....	22
<b>Pflanzkohle als Pyrogene Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (PyCCS)</b> .....	<b>24</b>
<b>Schlussfolgerung</b> .....	<b>25</b>
<b>Verzeichnisse</b> .....	<b>26</b>
Literaturverzeichnis .....	26
Tabellenverzeichnis.....	27
Abbildungsverzeichnis .....	27
Anhangsverzeichnis .....	28
<b>Anhang</b> .....	<b>29</b>



## Management Summary

Basel-Stadt möchte eine Vorreiterrolle im Klimaschutz einnehmen und klimaneutral werden. Das bedeutet, dass der Kanton Basel-Stadt bis zum Jahr 2037 nur so viele Treibhausgase ausstossen darf, wie von natürlichen und technischen Senken absorbiert werden können. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es notwendig, eine Kombination aus Reduktion von Emissionen und Entfernung von  $CO_2eq$  aus der Atmosphäre mittels Negativemissionstechnologien (NET) zu verwenden. Das wegweisende Projekt «Grüner Asphalt» konzentriert sich auf die Entwicklung eines klimafreundlichen Asphaltmischguts, das sowohl die normierten mechanischen Anforderungen moderner Beläge erfüllt als auch langlebig ist. Dabei wird das nachhaltige Material Pflanzenkohle aus Biomasse als teilweiser Ersatz für natürliche Gesteinskörnungen (Füller) verwendet. Es zeigt, dass innovative Lösungen im Strassenbau eine wichtige Rolle bei der Bewältigung zukünftiger Herausforderungen spielen und eine nachhaltige Entwicklung fördern können.

### Pflanzenkohle im Asphalt: Ein Schritt zu nachhaltiger Infrastruktur

Die Einbindung von Pflanzenkohle in die standardisierten Strassenbeläge nach Schweizer Norm (AC B / AC T und AC F) stellt einen vielversprechenden Schritt in Richtung nachhaltiger Infrastruktur dar. Pflanzenkohle als Baustoff trägt dazu bei, den  $CO_2eq$ -Gehalt in der Atmosphäre zu reduzieren. Die Verwendung von Pflanzenkohle als Füllstoff in Asphalt verbessert gemäss den durchgeführten Testreihen die mechanischen Eigenschaften des Materials, insbesondere die Widerstandsfähigkeit gegen Spurrinnen, was zu einer längeren Lebensdauer der Strassen und damit zu Ressourcen- und Energieeinsparungen im städtischen Umfeld führen kann. Die Frost- und Tausalzbeständigkeit wird sich durch praktische Anwendung auf Dauer zeigen.

Der Einsatz von Pflanzenkohle in Asphalt ermöglicht eine verbesserte  $CO_2eq$ -Bilanz. Bei genügender Dosierung kann es als Negativemissionstechnologie eingesetzt werden. Das bedeutet, dass der Atmosphäre entzogenes  $CO_2$  als Kohlenstoff gebunden wird. Das durchschnittliche C – Senken - Potential von Pflanzenkohle in Asphalt für den Kanton Basel - Stadt wird bis zum Jahr 2037 auf etwa 13'000 – 14'000 Tonnen  $CO_2eq$  geschätzt (siehe Anhang 1).

Eine typische Schicht für den Einbau von Pflanzenkohle-Asphalt im Kanton Basel - Stadt soll ein AC T 22 N mit 60 % Ausbausphalt und 3 % Pflanzenkohle (Trockenmasse) werden. Es handelt sich dabei um eine Tragschicht, wie sie in Basel-Stadt standardisiert häufig eingebaut wird. Bei der Herstellung dieses Belags fallen etwa 31 kg  $CO_2eq$  pro Tonne Belag an. Jedoch können durch die

Verwendung von Pflanzenkohle etwa 54 kg  $CO_2$  gespeichert werden, was zu einer negativen Bilanz von etwa -23 kg  $CO_2eq$  führt (siehe Tabelle 1).

Die Anstrengungen zum "Grünen Asphalt" sind nur ein Puzzlestück von zahlreichen Massnahmen, welche zur Reduktion des  $CO_2$ -Ausstosses ergriffen werden.

### Gemeinsame Anstrengungen für nachhaltigen Strassenbau: Partnerschaftlicher Erfolg

Der vorliegende Bericht ist das Ergebnis einer gemeinsamen Zusammenarbeit des Tiefbauamtes des Kantons Basel-Stadt und der ViaTec Basel AG, sowie der Industriellen Werke Basel (IWB), welche die Pflanzenkohle bereitstellen. Durch die Zusammenarbeit von privater und öffentlicher Hand konnte dieses Projekt erfolgreich vorangetrieben werden.

## Funktionsweise

### Pflanzenkohle

Pflanzen entnehmen durch die Photosynthese  $CO_2$  aus der Luft und lagern es im Laufe ihres Lebens in Form von Kohlenstoff ein. Wenn die Pflanzen verrotten oder verbrennen, wird dieser Kohlenstoff wieder in die Atmosphäre freigesetzt und bildet unter anderem wieder  $CO_2$ .<sup>1-3</sup> Damit der Kohlenstoff nicht wieder in die Atmosphäre gelangt, können Pflanzen zu festem Kohlenstoff verkohlt werden.<sup>1-3</sup> Dies geschieht durch Pyrolyse. Diese so genannte Pflanzenkohle besteht dann zum grössten Teil aus organischen Kohlenstoffverbindungen. Der langzeitstabile<sup>4</sup> und im Asphalt eingebundene Kohlenstoff wird also für sehr lange Zeit dem Kohlenstoffkreislauf entzogen.<sup>1-4</sup>

Pyrolyse beschreibt den Umwandlungsprozess organischer Stoffe wie Holz und Pflanzenreste bei üblichen Temperaturen von 400 - 700 °C unter weitgehendem Sauerstoffabschluss.<sup>3</sup> Der exotherme Prozess erfordert zunächst die Zufuhr von Energie, setzt aber anschliessend wieder Energie frei. Die überschüssige Wärme der Anlage kann, wie in Basel praktiziert, in Fernwärmenetze eingespeist werden. Die Nutzung der Pyrolyse ist also doppelt sinnvoll: Es wird Energie z.B. für Fernwärme erzeugt und es entsteht Pflanzenkohle.

Die Pflanzenkohle der IWB besteht zu rund 60 % aus reinem Kohlenstoff und hat ein C-Senken Potential von rund 50 % Trockenmasse bezüglich dem ursprünglich in der Pflanze gebundenen  $CO_2$ .<sup>5</sup> Aus einem Kilogramm Biomasse entstehen eine Kilowattstunde Fernwärme und 170 Gramm Pflanzenkohle.<sup>6</sup> Die Pyrolyse zu Pflanzenkohle ist also ein Verfahren, das der Atmosphäre langfristig  $CO_2$  entzieht.

### Form und Zusammensetzung von Pflanzenkohle

Pflanzenkohle weist optisch ähnliche Strukturen auf wie das Ausgangsmaterial aus dem sie gewonnen wurde, jedoch verändern sich die chemischen Eigenschaften grundlegend durch die Pyrolyse.<sup>3,7</sup> Der Kohlenstoffgehalt in der Pflanzenkohle ist abhängig vom Ausgangsmaterial und der Temperatur sowie Verweilzeit im Pyrolysereaktor. Holzige Ausgangsmaterialien weisen mehr Gehalt an Kohlenstoff auf als z.B. Stroh, Trester oder Laub. Der Kohlenstoffgehalt nimmt zu mit steigender Temperatur und Verweilzeit im Pyrolysereaktor.<sup>3</sup> Pflanzenkohle kann je nach Ausgangsmaterial und Herstellungsprozess Schadstoffe erzeugen. Zum Beispiel können durch zu hohe Temperaturen im Pyrolysereaktor aus relativ harmlosen Stoffen wie Chrom III Schadstoffe wie Chromat (Cr VI) entstehen. Dabei können unterschiedliche Qualitäten von Pflanzenkohle entstehen.

---

<sup>4</sup> Der international anerkannte Schwellenwert zwischen temporärer und permanenter Kohlenstoffspeicherung beträgt 100 Jahre (Artikel 6.4 Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change Dec. 12, 2015, T.I.A.S. No. 16-1104).



*Abbildung 1 Zertifizierte IWB-Pflanzenkohle in Rohform.*

Die Pflanzenkohle der IWB weist mehrheitlich eine Körnung von 0 – 8 mm auf (siehe Abbildung 1). Die IWB-Pflanzenkohle wird aus Landschaftspflegeholz aus einem Umkreis von 40 km um Basel gewonnen. Sie wird bei einer Pyrolysetemperatur von rund 680°C hergestellt und weist eine Schüttdichte von 207 kg / m<sup>3</sup> (Trockensubstanz) Korngrösse < 3 mm auf. Der Wassergehalt der verwendeten Pflanzenkohle beträgt etwa 15 - 20 %. Die Dosierung erfolgt jedoch auf Basis der Trockenmasse, da das Wasser während des Mischprozesses im Asphaltmischwerk verdampft.

### Zugabe im Mischwerk

Der Mischprozess im Asphaltmischwerk muss für die Herstellung von Pflanzenkohle - Asphalt angepasst werden. Derzeit wird die Pflanzenkohle noch manuell als Sackware direkt in den Mischer gegeben. Durch die Verlängerung der Mischzeit resultiert eine relativ homogene Zerkleinerung der Pflanzenkohle zu Füller. Aus Sicherheitsgründen wird die Pflanzenkohle nicht in pulverisierter Form zugesetzt, um das Risiko einer Dampfdruckreaktion oder Staubexplosion zu vermeiden.

Die manuelle Zugabe von Pflanzenkohle in den Mischer ist derzeit eine praktikable Methode zur Herstellung von hochwertigem Pflanzenkohle - Asphalt im Pilotbetrieb. Es ist jedoch das Ziel, effizientere Zugabemethoden zu entwickeln.

Die Pflanzenkohle wird bei Lieferung an den Mischanlagen aktuell aus Sicherheitsgründen mit einem Wassergehalt von etwa 15 – 20 % angeliefert. Bei der Dosierung im Mischwerk ist der Wassergehalt zu berücksichtigen, da sich die Menge der Pflanzenkohle von 2 – 4 % auf die Trockenmasse bezieht.

## **Anwendbarkeit für AC B und AC T ab 16er Grösstkorn**

Die Verwendung von Pflanzenkohle - Asphalt erfüllt gemäss aktuellen Erfahrungen nur bestimmte Anforderungen bezüglich Gesteinskörnungen und sollte daher gezielt eingesetzt werden. Im Kanton Basel - Stadt werden für den Einsatz von Pflanzenkohle - Asphalt die Schweizer Normbeläge (SN-Beläge) AC B, AC T und AC F verwendet. Diese Erkenntnisse legen nahe, dass Pflanzenkohle - Asphalt in seiner derzeitigen Form vor allem für Mischungen mit einem Grösstkorn von 16 mm oder grösser geeignet ist. Dies ist besonders wichtig, da bei feiner Gesteinskörnung aktuell nicht garantiert werden kann, dass eine homogene Mischung erreicht wird. Dies ergibt sich aus den begrenzten Möglichkeiten, die Pflanzenkohle in solchen Mischungen ausreichend zu zerkleinern und zu vermahlen.

Die Verwendung von Pflanzenkohle in der Deckschicht ist aufgrund der geringen Korngrösse und der spezifischen Funktionen, die die Deckschicht erfüllen muss, wie z. B. Lärminderung und semidichten Eigenschaften, aktuell noch nicht geplant. Aus diesem Grund wurde auf die Verwendung von Pflanzenkohle in Deckschichten bisher verzichtet.

## **Dimensionierung**

In den Pilotflächen wurden dieselben Strukturwerte angenommen, wie für den jeweiligen Standardbelag. Der Strukturwert beträgt für die getesteten Asphalte 4 [1]. Es ist künftig zu prüfen, ob durch die erhöhte Standfestigkeit eine leichte Reduktion der Schichtstärke erfolgen kann. Beispielsweise ist es vorstellbar, bei erfolgreichen Versuchen die AC T 32 H PmB mit 10, anstatt 12 cm einzubauen.

## **Transport**

Der Transport von Asphalt mit Pflanzenkohle unterscheidet sich nicht von normalem Walzasphalt. Es sind die üblichen Massnahmen zu ergreifen, wie beispielsweise Abdecken gegen Oxidation und Thermosilo bei kalter Witterung.

## **Einbau und Verdichtung auf der Baustelle**

Die Pilotflächen wurden weitgehend maschinell mit Belagsfertigern eingebaut. Beim Einbau von Asphalt mit Pflanzenkohle ist eine Anpassung der Verdichtung erforderlich. Basierend auf Erfahrungen und Erkenntnissen aus bereits durchgeführten Projekten konnte festgestellt werden, dass für die Verdichtung von Pflanzenkohle - Asphalt im Vergleich zu herkömmlichen Asphaltmischungen etwa 25% mehr Verdichtungsenergie erforderlich ist. Diese Erkenntnis betont die Wichtigkeit einer genauen und angepassten Vorgehensweise beim Einbau von Pflanzenkohle - Asphalt.

## Rezyklieren und stabiler Kohlenstoff

Recyclingasphalt hat eine deutlich bessere Ökobilanz als konventioneller Asphalt. Je höher die Recyclingquote, desto besser die Ökobilanz des Asphalts. Die Verbesserung der Treibhausgasbilanz von Recyclingasphalt gegenüber konventionellem Asphalt ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass beim Recycling von Asphalt Primärenergie und Primärmaterial eingespart wird. Der bereits vorhandene Asphaltbelag dient als Basis für den neuen Belag, wodurch der Bedarf an neuem Gestein und dessen Aufbereitung entfällt. Diese Methode schont somit wertvolle natürliche Ressourcen wie Gestein und Bitumen und führt zu einer deutlichen Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und der Emissionen bei der Herstellung.<sup>8</sup> Die Verwendung von Recyclingasphalt bei der Produktion ermöglicht nicht nur eine Reduktion der  $CO_2eq$ -Emissionen, sondern wirkt sich auch positiv auf den Energieverbrauch und den Gesteinsabbau aus. Zudem wird mit der Anwendung des Materialkreislaufprinzips die Entsorgung von Asphalt vermieden bzw. reduziert und Ressourcen sinnvoll genutzt, wodurch zusätzlich Emissionen eingespart werden.

Pflanzenkohle - Asphalt lässt sich ausserdem problemlos recyceln, ohne dass dabei die im Asphalt gespeicherten  $CO_2eq$  (in Form von Pflanzenkohle, Bitumen etc.) freigesetzt wird. Grund dafür ist, dass das Asphaltrecycling ein rein mechanischer Prozess ist, der bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen von 120 – 200 °C stattfindet. Im Gegensatz dazu erfolgt die Pyrolyse zur Herstellung der Pflanzenkohle bei weitaus höheren Temperaturen ab rund 400 °C.<sup>9</sup> Somit verbleiben Pflanzenkohle und Kohlenstoff auch nach dem Recycling im Asphalt. Es wird folglich in Zukunft auch Asphaltrecycling mit Pflanzenkohle geben. In Baustoffen bleibt Kohlenstoff stabil und unterliegt keinem Abbau.<sup>10</sup> Aus diesem Grund kann der in Pflanzenkohle gebundene Kohlenstoff zu 100 % als Kohlenstoffsenke betrachtet werden.

## Eingesetzte Prüfmethoden

Zur Ermittlung der technischen Eigenschaften von Pflanzenkohle - Asphalt wurden auf der Versuchsfläche Prüfungen durchgeführt. Der Prüfumfang orientierte sich an den Anforderungen einer Typenprüfung. Zusätzlich wurden an den Asphalten AC T 22 N dynamische Prüfungen ("Spurbildungstest") durchgeführt, obwohl dies in den Schweizer Normen nicht gefordert ist. Damit konnte die Eignung für den Einbau im Strassenbau erfolgreich nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass das Mischgut auf seine Eignung für den Einsatz im Infrastrukturbau geprüft wurde. Also auf Bindemittleigenschaften, Bindemittelmengen, Korngrössenverteilungen, Wasserempfindlichkeit und vor allem auf dynamische Prüfungen, also Verkehrssimulation im Labor im Zeitraffer, um die Langzeitstabilität des Mischgutes zu prüfen, unter klimatisch schwierigen Bedingungen wird diese

Prüfung bei 60 °C durchgeführt. Zur Überprüfung dieser Eigenschaften wurden durch die ViaTec Basel AG folgende Prüfungen durchgeführt (siehe Anhang 3):

- Löslicher Bindemittelgehalt inkl. Siebanalyse (SN EN 12697-1 / SN EN 933-1)
- Bestimmung der Rohdichte (Pyknometer und rechnerisch) (SN EN 12697-5)
- Marshall-Prüfung, Stabilität und Fließen mit Raumdichte, Hohlraumgehalt und Hohlraumfüllungsgrad (inkl. Herstellung der Prüfkörper) (SN EN 12697-6/8/30/34)
- Bestimmung der Wasserempfindlichkeit (SN EN 12697-12)
- Spurbildungstest LCPC (SN EN 12697-22 / SN EN 12697-33)
- Bindemittelrückgewinnung (SN EN 12697-3)
- Bestimmung des Erweichungspunktes Ring und Kugel (SN EN 1427)
- Bestimmung der Nadelpenetration (SN EN 1426)
- Berechnung des Penetrationsindex (SN EN 12591)
- Elastische Rückstellung (SN EN 13398)
- Bestimmung PAK, Quantifizierung mit GC-MS (BAFU F-13/2017)
- Bestimmung des Schermoduls und Phasenwinkels mit dem DSR (DIN 52050 BTSV)

### Detailliert untersuchte Mischgute

Folgende Mischungen wurden typenprüfungsähnlich untersucht und die wichtigsten Messwerte im Anhang 3 zusammengestellt.

- 2 % Pflanzenkohle AC B 16 S B50/70 (50 % RC) Probe-Nr.: B10094ff
- 2 % Pflanzenkohle AC T 22 N B50/70 (50 % RC) Probe-Nr.: B8655 / B8656 (Beispiel im Anh. 5)
- 2 % Pflanzenkohle AC T 22 H B50/70 (50 % RC) Probe-Nr.: B9159-1-2-3-4
- 3 % Pflanzenkohle AC T 22 S PmB-E 25/55-65 (50 % RC) Probe-Nr.: B8938
- 4 % Pflanzenkohle AC T 22 H B50/70 (50 % RC) Probe-Nr.: B8691 / B8692
- 4 % Pflanzenkohle AC T 22 S PmB-E 25/55-65 (50 % RC) Probe-Nr.: B8852
- 4 % Pflanzenkohle AC T 22 H PmB-E 25/55-65 (50 % RC) Probe-Nr.: B8751 / B8752

## Stand der Technik

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden verschiedene Mischgutrezepturen mit Zugabe - Mengen von 2 %, 3 % und 4 % Pflanzenkohle in unterschiedlichen Mischgutsorten (16er / 22er Grösstkorn) hergestellt, beprobt und mehrere (erweiterte) Typenprüfungen durchgeführt. Alle Ergebnisse zeigen gute technische Eigenschaften, liegen innerhalb der Anforderungen der Norm und sind mindestens gleichwertig mit konventionellem Asphalt. Teilweise zeigen die Ergebnisse bessere qualitative Eigenschaften (siehe Anhang für Details).

Es ist ein nachhaltiger und wirtschaftlicher Ansatz, Strassen so langlebig wie möglich zu gestalten, wodurch die Notwendigkeit, die Strasse zu erneuern, verzögert wird. Durch die Zugabe von Pflanzenkohle als Asphaltfüllstoff werden voraussichtlich technische Vorteile erzielt, und der Belag wird stabiler.<sup>11</sup> Dazu gehören eine verbesserte Wärmestandfestigkeit und Spurrinnenbeständigkeit (durch Erhöhung des komplexen Moduls, des Spurrinnenfaktors und des Viskositäts-Temperatur-Index).<sup>12-15</sup> Zur langfristigen Haltbarkeit und Rissbeständigkeit können derzeit noch keine endgültigen Aussagen getroffen werden. Allerdings wird eine Verbesserung in diesem Bereich erwartet. Eine genaue Abschätzung ist erst durch praktische Erfahrung möglich. Für Deckbelagsmischgutsorgen wird aktuell keine Pflanzenkohle eingesetzt. Der Deckbelag schützt die Belagsschicht mit Pflanzenkohle vor Witterungseinflüssen wie Frost und Wasser sowie anderen schädlichen Einflüssen.

- **Erfolgreiche Forschung:** Es wurden verschiedene Pflanzenkohle - Mischungen (2 %, 3 %, 4 %) getestet. Die Ergebnisse zeigen gute technische Eigenschaften, erfüllen die aktuellen Normen und sind mindestens gleichwertig mit herkömmlichem Asphalt.
- **Technische Eigenschaften:** Pflanzenkohle verbessert die Asphalt - Stabilität, die Temperatur- und Spurrinnenbeständigkeit. Es besteht grosses Potential für eine verlängerte Nutzungsdauer.
- Die Auswirkungen von **Frost- und Tausalzeiwirkungen** sind aufgrund praktischer Erfahrungen zu bestimmen und können aktuell nur aufgrund von Expert\*innen Meinungen abgeschätzt werden.
- Sobald mehr Resultate aus Pilotflächen vorliegen, wird eine **Reduktion der Schichtdicke** für einige Belagstypen geprüft und vertieft untersucht.

## Pflanzenkohle - Asphalt: $CO_2eq$ -Potential und Einflussfaktoren

Das Potential von Pflanzenkohle - Asphalt als C - Senke hängt wesentlich von vier verschiedenen Faktoren ab, darunter die Menge an Asphalt, die mit Pflanzenkohle eingebaut werden kann, die Dosierung der Pflanzenkohle im Asphalt, der RC - Anteil im Pflanzenkohle - Asphalt und der Kohlenstoffgehalt, der in der Pflanzenkohle gebunden ist. Unter C - Senken wird die aktive Entnahme und Bindung von Treibhausgasen aus der Atmosphäre verstanden. Dabei handelt es sich um eine langfristige Speicherung von Kohlenstoff.

Für die Ökobilanz von Asphalt werden die Treibhausgasemissionen entlang der Produktionskette von der Rohstoffgewinnung über die Aufbereitung und den Transport bis zur Asphaltproduktion im Werk nach dem "cradle to gate" - Ansatz (von der Wiege zum Tor) aufsummiert. Dabei werden also die ersten beiden Phasen des Produktlebenszyklus betrachtet. Diese vereinfachte Ökobilanz ist sinnvoll, da die Stabilität des Pflanzenkohle - Asphalts und die damit verbundene Lebensdauer und Instandhaltung der Strasse noch weiter erforscht werden muss und erst in den nächsten Jahren abschliessend beurteilt werden kann. Eine Ökobilanz Betrachtung unter Berücksichtigung des Verschleisses des Belages und der Deponierung («cradle to grave») würde daher ein verzerrtes Bild ergeben.

Die Ökobilanz stützt sich auf wissenschaftliche Literatur als Referenzwerte.<sup>13-16</sup> Es wurde die Bilanz verschiedener Asphaltrecyclingquoten betrachtet und die fehlenden Recyclingquoten für dieses Projekt wurden anhand der Literatur interpoliert. Die Bilanzierung erfolgte nach der ISO - Norm 14040. Die Ergebnisse dienen als Referenz für das Reduktionspotential von Pflanzenkohle - Asphalt hinsichtlich  $CO_2eq$ . Die Ergebnisse basieren auf wissenschaftlicher Literatur und es wurden keine Einzeluntersuchungen von Asphaltmischwerken in der Region Basel durchgeführt. Um die genaue  $CO_2eq$  - Bilanz für ein Mischwerk zu ermitteln, ist eine Lebenszyklusanalyse für den Einzelfall erforderlich. In Tabelle 1 werden die bei der Herstellung von Asphalt entstehenden  $CO_2eq$  - Emissionen pro Tonne in Kilogramm  $CO_2eq$  angegeben. Die Werte liegen zwischen 30,9 und 53.8 kg  $CO_2eq$  / t Asphalt (siehe Tabelle 1).

Die  $CO_2eq$  - Bilanz von Pflanzenkohle - Asphalt ergibt sich aus den Emissionen der Rohstoffgewinnung und der Asphaltproduktion bis zum Werkstor, abzüglich des Netto – C – Senken - Potentials der eingesetzten Pflanzenkohle (siehe Tabelle 1). Eine gängige Tragschicht für die Anwendung von Pflanzenkohle - Asphalt im Kanton Basel - Stadt soll ein AC T 22 N mit einem Recycling - Anteil von 60 % und einem Pflanzenkohle - Anteil von 3 % (bezogen auf die Trockenmasse) sein. Die Produktion verursacht etwa 31 kg  $CO_2eq$  pro Tonne des Belags. Die Verwendung von Pflanzenkohle kann etwa 54 kg  $CO_2$  speichern und führt zu einer negativen Bilanz von etwa -23 kg  $CO_2eq$ . Es ist zu beachten, dass

es sich bei den gegebenen Werten lediglich um Referenzwerte handelt, die je nach Ökobilanzansatz und Mischwerk im Einzelfall stark variieren können.

Tabelle 1 CO<sub>2</sub>eq Bilanz in kg pro Tonne Pflanzkohle - Asphalt mit verschiedenen Recyclinganteilen von 0 % - 60 % und Pflanzkohle Dosierungen 2% - 4 %. "Cradle to gate"-Ansatz (ISO 14040).

Bezeichnung	RC-Anteil %	CO <sub>2</sub> eq emittiert / Tonne Asphalt <small>13-16</small>	Netto C- Senken Potential PK (2%) <sup>5</sup>	CO <sub>2</sub> eq Bilanz (2%)	Netto C- Senken Potential PK (2.5%) <sup>5</sup>	CO <sub>2</sub> eq Bilanz (2.5%)	Netto C- Senken Potential PK (3%) <sup>5</sup>	CO <sub>2</sub> eq Bilanz (3%)	Netto C- Senken Potential PK (4%) <sup>5</sup>	CO <sub>2</sub> eq Bilanz (4%)
RC0	0%	53.8	36	17.8	45	8.8	54	-0.2	72	-18.2
RC30	30%	38.3	36	2.3	45	-6.7	54	-15.7	72	-33.7
RC40	40%	35.9	36	-0.1	45	-9.1	54	-18.1	72	-36.1
RC45	45%	34.7	36	-1.3	45	-10.3	54	-19.3	72	-37.3
RC50	50%	33.5	36	-2.5	45	-11.5	54	-20.5	72	-38.5
RC60	60%	30.9	36	-5.1	45	-14.1	54	-23.1	72	-41.1

In der Studie von Gruber und Hofko (2023) wurde ein durchschnittlicher Gehalt an mineralischen Feuchtaggregaten von 3% angenommen.<sup>13</sup>

In der Studie von Mukherjee (2016) wurde eine Dichte von 2.4 Tonnen pro Kubik angenommen.<sup>16</sup>

## Dosierung und Einbaumenge Pflanzkohle – Asphalt

Die Dosierung und Menge der Pflanzkohle im Asphalt hängen von den technischen Anforderungen der Strasse ab. Abhängig von der Belastung der Strasse kann mehr oder weniger Pflanzkohle zugesetzt werden. Aktuell ist eine Zugabemenge von 2 - 4 M.-% Trockensubstanz geplant. In der Deckschicht wird keine Pflanzkohle eingesetzt. Ein Entscheid über den allfälligen Einsatz in der Deckschicht kann erst getroffen werden, sobald weitere Erfahrungen und Pilotstrecken ausreichend ausgewertet sind.

## RC- Asphalt / Ausbauasphalt

Recyclingasphalt hat insgesamt eine bessere Ökobilanz, da die Gewinnung der Ressourcen (insbesondere des Bitumens) einen grossen Einfluss darauf hat, wie stark die Umwelt durch Treibhausgasemissionen belastet wird.<sup>15,17</sup> Das wird deutlich anhand der Ökobilanzen von Asphalt mit verschiedenen Recyclingquoten (siehe Tabelle 1). Die Wirkungskategorie Treibhauseffekt ist bei einer Recyclingquote von 50 % im Mittel um ca. 20 kg CO<sub>2</sub>eq / t Asphalt geringer als ohne Recycling.<sup>13-16</sup> Für die Berechnung des C - Senken Potentials im Kanton Basel - Stadt wird eine durchschnittliche Recyclingquote von 45 % zugrunde gelegt, um den unterschiedlichen Rahmenbedingungen (wie Kleinmengen und Spezialeinbauten) Rechnung zu tragen. Es wird konservativ angenommen, dass die Recyclingquote für AC T und AC B maximal 60 % beträgt. Es besteht jedoch die Möglichkeit wie bei einer AC F, die Recyclingquote auf über 60 % zu erhöhen. Dies würde die CO<sub>2</sub>eq - Bilanz von Asphalt weiter verbessern.

## Kohlenstoffgehalt in Pflanzenkohle

Das C-Senken-Potential von Pflanzenkohle ergibt sich aus dem in der Pflanzenkohle gebundenen Kohlenstoff abzüglich der Treibhausgasemissionen, die zum Aufbau der C-Senke verursacht werden.<sup>10</sup> Im Einzelnen werden die Emissionen aus der Bereitstellung der Biomasse, die Emissionen aus der Lagerung der Biomasse und die Emissionen aus dem Pyrolyseprozess berücksichtigt. Die Daten für die Hochrechnung des Speicherpotentials von Pflanzenkohle basieren auf dem C - Senken Zertifikat der IWB (ID des C - Senken Zertifikat: cs-7gyc-tul4-bvek-2hfv).<sup>5</sup> IWB-Pflanzenkohle hat einen Kohlenstoffgehalt von 57,10 %, was einem  $CO_2eq$  - Gehalt von 2,1 Tonnen pro Tonne trockener Pflanzenkohle entspricht (Brutto – C - Senke). Abzüglich der  $CO_2eq$  aus Herstellung und Lagerung von 0.30 Tonnen ergibt sich ein Netto – C - Senken Potential von 1.80 t  $CO_2eq$  pro Tonne Pflanzenkohle.<sup>5</sup> Es ist zu beachten, dass der Kohlenstoffgehalt von Pflanzenkohle je nach Ausgangsmaterial schwanken kann.<sup>18</sup> Die Schwankungen bewegen sich in einem Bereich von +/- 10 %.

## Analyse des effektiven Kohlenstoffgehaltes im Mischgut und dessen Verteilung in der Mastix

Für eine künftige Mischgutanalyse und deren Beurteilung ist es hilfreich, die Zumischrate und die Verteilung der aus der Pflanzenkohle eingelagerte Kohlenstoff zu kennen. Entsprechende Prüfverfahren müssen noch entwickelt werden. Erste Ansätze werden geprüft.

## Pilotprojekte

### Testeinbau Umschlagplatz habö AG

Als erstes Pilotprojekt diente eine Versuchsfläche auf einem Umschlagplatz für Recyclingbaustoffe. Diese wurde im September 2022 durch die Tozzo AG auf einer Fläche von rund  $450 \text{ m}^2$  eingebaut. Die Tragschicht wurde mit der Asphaltmischgutsorte AC T 22 H mit dem angestrebten Zielbindemittel B 50/70 und einem Recyclinganteil von 50 % eingebaut (siehe Anhang 2).



*Abbildung 2 Belagseinbau Pflanzenkohle - Asphalt Versuchsfläche habö AG im September 2022.*

Das Mischgut wurde vom Belagswerk AMW Betriebs GmbH, Grenzach - Wyhlen hergestellt. Dem Asphalt wurden 2 % Pflanzenkohle, d. h. 20 kg pro Tonne, beigemischt. Auf einer  $450 \text{ m}^2$  grossen Fläche wurde der Pflanzenkohle - Asphalt eingebaut (entsprechend 86 t Pflanzenkohle - Asphalt). Die Mischgutergebnisse sind im Anhang 2 detailliert dargestellt. Der Umschlagplatz für Recyclingbaustoffe erwies sich aufgrund der hohen Verkehrs - Belastung als ideale Versuchsfläche. Es wurden ca. 3,1 t  $\text{CO}_2\text{eq}$  gebunden. Die Herstellung des Pflanzenkohle - Asphalts verursachte 2,9 t  $\text{CO}_2\text{eq}$ , so dass sich eine negative  $\text{CO}_2\text{eq}$ -Bilanz von -0,2 t  $\text{CO}_2\text{eq}$  ergibt (siehe Tabelle 2). Im Vergleich dazu beträgt die  $\text{CO}_2\text{eq}$  - Bilanz bei der Produktion von konventionellem Asphalt etwa 2,9 Tonnen.

Tabelle 2 CO<sub>2</sub>eq - Bilanz Pflanzkohle - Asphalt Umschlagplatz habö AG. Bilanzierung nach Tonnen Pflanzkohle - Asphalt. Basierend auf einem "cradle-to-gate" Ansatz. ISO - Norm 14040.

Belagsschicht	MG-Sorte	Asphalt t	RC-Anteil %	Dosierung PK %	PK t	CO <sub>2</sub> eq emittiert t	netto C-Senken Potential PK t	CO <sub>2</sub> eq - Bilanz t	Verbesserung CO <sub>2</sub> eq Bilanz (%)
Tragschicht	ACT 22 H	86	50	2%	1.7	2.9	3.1	-0.2	107%

Tabelle 3 Vergleich der CO<sub>2</sub>eq - Bilanz von Pflanzkohle - Asphalt und konventionellem Asphalt für den Umschlagplatz habö AG. Die Bilanz wird in Tonnen ausgewiesen und folgt einem "cradle-to-gate"-Ansatz. ISO - Norm 14040.

Belagsschicht	MG-Sorte	Asphalt t	RC-Anteil %	Dosierung PK %	PK t	CO <sub>2</sub> eq emittiert t	netto C-Senken Potential PK t	CO <sub>2</sub> eq - Bilanz t
Tragschicht	ACT 22 H	86	50	2.0%	1.7	2.9	3.1	-0.2
Tragschicht	ACT 22 H	86	50	0.0%	0.0	2.9	0.0	2.9

#### Qualitativer Vergleich des Pflanzkohle-Asphalts im Testeinbau

Der Pflanzkohle - Asphalt weist gute qualitative Eigenschaften und keine Schäden auf. Trotz erschwerter Einbaubedingungen sind die Prüfergebnisse gut.

Aufgrund der sehr schlechten Witterungsbedingungen (Starkregen) konnte eine eindeutige Aussage zum Schichtverbund bisher noch nicht getroffen werden konnte. Dies wird bei den folgenden Projekten genauer untersucht werden. Diese Ergebnisse können gegen Ende dieses Jahres durch weitere Versuchstrecken ermittelt werden.

## St. Alban – Vorstadt



Abbildung 3 Skizzierter Bereich der Strassenabschnitte mit Pflanzkohle-Asphalt



Abbildung 4 Belagseinbau Pflanzkohle -Asphalt in der St. Alban Vorstadt, Kanton Basel - Stadt im August 2023.

In der St. Alban - Vorstadt wurde im August 2023 die erste Strasse im Kanton Basel - Stadt mit Pflanzkohle - Asphalt eingebaut. Der Einbau der Tragschicht erfolgte mit dem Asphaltmischgut AC T 22 N mit dem angestrebten Zielbindemittel B 50/70 und einem Recyclinganteil von 50 % (siehe Anhang

4). Der Tragschicht wurden 2 % Pflanzenkohle, d.h. 20 kg pro Tonne beigemischt. Dadurch wurden ca. 1,2 t CO<sub>2</sub>eq gebunden. Die Herstellung des Pflanzenkohle - Asphalts verursachte 1,1 t CO<sub>2</sub>eq, so dass sich eine negative CO<sub>2</sub>eq -Bilanz von -0,1 t CO<sub>2</sub>eq ergibt (siehe Tabelle 4).

*Tabelle 4 CO<sub>2</sub>eq - Bilanz Pflanzenkohle - Asphalt St. Alban-Vorstadt (1. Teil). Bilanzierung nach Tonnen Pflanzenkohle-Asphalt. Basierend auf einem "cradle-to-gate" Ansatz. ISO - Norm 14040.*

Belagsschicht	MG-Sorte	Asphalt t	RC- Anteil %	Dosierung PK %	PK t	CO <sub>2</sub> eq emittiert t	netto C- Senken Potential PK t	CO <sub>2</sub> eq - Bilanz t	Verbesserung CO <sub>2</sub> eq Bilanz (%)
Tragschicht	ACT 22 N	32	50	2%	0.6	1.1	1.2	-0.1	107%

## Reservoirstrasse



Abbildung 5 Skizzierter Bereich der Strassenabschnitte mit Pflanzenkohle-Asphalt



Abbildung 6 Belageinbau Pflanzenkohle -Asphalt in der Reservoirstrasse, Kanton Basel - Stadt im Oktober 2023.

In der Reservoirstrasse wurde im Oktober 2023 die zweite Strasse im Kanton Basel - Stadt mit Pflanzkohle - Asphalt eingebaut. Der Einbau der Tragschicht erfolgte mit dem Asphaltmischgut AC T 22 S mit dem angestrebten Zielbindemittel B 50/70 und einem Recyclinganteil von 50 % (siehe Anhang 4). Der Tragschicht wurden 2 % Pflanzkohle, d.h. 20 kg pro Tonne beigemischt. Dadurch wurden ca. 9,4 t CO<sub>2</sub>eq gebunden. Die Herstellung des Pflanzkohle - Asphalts verursachte 8,8 t CO<sub>2</sub>eq, so dass sich eine negative CO<sub>2</sub>eq -Bilanz von -0,6 t CO<sub>2</sub>eq ergibt (siehe Tabelle 5).

*Tabelle 5 CO<sub>2</sub>eq - Bilanz Pflanzkohle - Asphalt Reservoirstrasse (1. Teil). Bilanzierung nach Tonnen Pflanzkohle-Asphalt. Basierend auf einem "cradle-to-gate" Ansatz. ISO - Norm 14040.*

Belagsschicht	MG-Sorte	Asphalt t	RC- Anteil %	Dosierung PK %	PK t	CO <sub>2</sub> eq emittiert t	netto C- Senken Potential PK t	CO <sub>2</sub> eq - Bilanz t	Verbesserung CO <sub>2</sub> eq Bilanz (%)
Tragschicht	ACT 22 S	260	50	2%	5.2	8.8	9.4	-0.6	107%

## Pflanzenkohle als Pyrogene Kohlenstoffabscheidung und-speicherung (PyCCS)

Pflanzenkohle wird als *Pyrogene Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (PyCCS)* Strategie angesehen. Dabei geht es darum Kohlenstoff aus der Atmosphäre abzuscheiden und dauerhaft zu binden, um die Treibhausgas - Emissionen auszugleichen, die sich nicht vermeiden lassen. Das bedeutet, dass diese Strategie dazu beitragen kann,  $CO_2eq$  - Emissionen aus der Atmosphäre zu entfernen und somit einen Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels zu leisten. PyCCS ist eine Ergänzung zum Vorsorgeprinzip, und stellt primär keinen Ersatz für Vermeidung von  $CO_2eq$  dar.<sup>19</sup> Das bedeutet, dass durch den Einbau von Pflanzenkohle - Asphalt nicht vorrangig  $CO_2eq$  vermieden werden, sondern bereits emittiertes  $CO_2$  der Atmosphäre entzogen wird. Er ergänzt klimapolitische Massnahmen, die auf die direkte Vermeidung von  $CO_2eq$  abzielen.

Pflanzenkohle sollte gezielt eingesetzt werden, um eine effektive Verbesserung der Qualität des Endprodukts zu erreichen, ohne dass eine Abwertung des Produkts erfolgt. Diese Art der PyCCS ist für den Kanton attraktiv, da dadurch die Qualität der C - Senke gesichert werden kann.

## Schlussfolgerung

Die Verwendung von Pflanzenkohle in Asphalt ist eine äusserst vielversprechende Technologie, die das Potential hat, den Strassenbau erheblich nachhaltiger zu gestalten. Durch den Einsatz von Pflanzenkohle wird der Asphalt nicht nur  $CO_2eq$ -neutral, sondern kann je nach Anwendung und Dosierung sogar zu einer C - Senke werden, die einen wertvollen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele des Kantons Basel-Stadt bis 2037 leisten kann.

Es ist zu beachten, dass die Massnahme des Einsatzes von Pflanzenkohle in Asphalt nicht unbegrenzt angewendet werden kann. Nach dem ersten Einbauzyklus von Pflanzenkohle-Asphalt verringert sich das  $CO_2eq$  - Speicherpotential. Dies liegt daran, dass nur eine begrenzte Menge an Pflanzenkohle im Asphalt eingesetzt werden kann, nach heutigem Stand der Forschung nicht mehr als 4 - 5 % im Asphalt. Bei den in Basel für Strassen üblichen technischen Lebensdauern ist davon auszugehen, dass der erste Einbauzyklus, d.h. bis das gesamte Netz einmal erneuert ist, rund 40 Jahre andauern wird.

Abschliessend ist für die erfolgreiche Etablierung von Pflanzenkohle - Asphalt die Gewährleistung der technischen Machbarkeit in den Lieferwerken und die kontinuierliche Erprobung der Einbau - Bedingungen vor Ort von entscheidender Bedeutung. Dabei spielen die Qualitätskontrolle beim Einbau, über die Verdichtungskontrolle bis hin zur qualitativen Auswertung der Prüfungen im Labor eine Entscheidende Rolle für den Erfolg des Projektes. Eine sorgfältige Planung, Forschung und Zusammenarbeit zwischen allen relevanten Akteur\*innen sind entscheidend, um diese vielversprechende Technologie im Strassenbau erfolgreich umzusetzen und einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und zur Nachhaltigkeit zu leisten.

# Verzeichnisse

## Literaturverzeichnis

- (1) Nitsch, H. *Einsatz von Pflanzenkohle in der Landwirtschaft: Chancen und Herausforderungen*; Institut für Ländliche Strukturforchung e.V. (IfLS) an der Goethe-Universität Frankfurt am Main: Frankfurt am Main, 2023. [https://www.ifls.de/fileadmin/user\\_upload/Pflanzenkohle\\_Bericht\\_IfLS\\_Rentenbank.pdf](https://www.ifls.de/fileadmin/user_upload/Pflanzenkohle_Bericht_IfLS_Rentenbank.pdf).
- (2) Bundesamt für Umwelt (BAFU); Bundesamt für Landwirtschaft (BLW). *Faktenblatt: Pflanzenkohle in Der Schweizer Landwirtschaft - Risiken Und Chancen Für Boden Und Klima*; Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Arbeitsgruppe Interventionswerte und Risikobeurteilung (AGIR) des Cercle Sol, 2023; p 14. [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/faktenblatt-pflanzenkohle-2022.pdf.download.pdf/D\\_Faktenblatt\\_Pflanzenkohle.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/faktenblatt-pflanzenkohle-2022.pdf.download.pdf/D_Faktenblatt_Pflanzenkohle.pdf).
- (3) Schmidt, H.-P.; Hagemann, N.; Abächerli, F.; Leifeld, J.; Bucheli, T. *Pflanzenkohle in der Landwirtschaft. Hintergründe zur Düngertilassung und Potentialabklärung für die Schaffung von Kohlenstoff-Senken*; Agroscope, 2021. <https://doi.org/10.34776/AS112G>.
- (4) UNFCCC. *Information Note - Removal Activities under the Article 6.4 Mechanism Version 03.0*; A6.4-SB004-AA-A04; United Nations Framework Convention on Climate Change, 2023. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/a64-sb004-aa-a04.pdf>.
- (5) European Biochar Certificate (EBC); q.inspecta. *Carbon Sink Certificate – for CO<sub>2</sub>e Potential*; Biochar Based Carbon Sinks; ID of C-sink certificate: cs-7gyc-tul4-bvek-2hfv; Industrielle Werke Basel (IWB): Frick, Schweiz, 2022.
- (6) IWB. *Pressebild IWB Pyrolyse Infografik - Bilddatenbank*. WIB. <https://www.iwb.ch/ueberuns/newsroom/bilddatenbank?search=infografik> (accessed 2023-09-05).
- (7) *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*, Second Edition.; Lehmann, J., Joseph, S., Eds.; earthscan from Routledge: London New York, 2015.
- (8) Füssler, J.; Honegger, M.; Poralla, M.; Michaelowa, A.; Kessler, S. *Negative Emissionen und Treibhausgas-Zertifikatehandel Potenziale, Kosten und mögliche Handlungsoptionen*; Kanton Zürich / Stadt Zürich / Persoectives / INFRAS: Zürich, Schweiz, 2020; pp 1–88.
- (9) IWB. *Pflanzenkohle als Klimaretterin und Multitalent im Garten*. IWB - Industrielle Werke Basel. <https://www.iwb.ch/klimadreh/ratgeber/co2-einsparen/pflanzenkohle#:~:text=Unsere%20IWB%20Pflanzenkohle%20stellen%20wir,beziehen%20k%C3%B6nnen%2C%20erfahren%20sie%20hier>. (accessed 2023-08-29).
- (10) EBC. EBC (2012-2022) “European Biochar Certificate – Richtlinien Für Die Zertifizierung von Pflanzenkohle”; Version 10.2G; Ithaka Institute: Arbaz, Switzerland, 2022. <http://www.european-biochar.org>.
- (11) European Asphalt Pavement Association (EAPA). *The Circular Economy of Asphalt EAPA Technical Review*; Brussel Belgien, 2022; p 34. <https://eapa.org/the-circular-economy-of-asphalt-view/>.
- (12) Giani, M. I.; Dotelli, G.; Brandini, N.; Zampori, L. Comparative Life Cycle Assessment of Asphalt Pavements Using Reclaimed Asphalt, Warm Mix Technology and Cold in-Place Recycling. *Resour. Conserv. Recycl.* **2015**, *104*, 224–238. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.08.006>.
- (13) Gruber, M. R.; Hofko, B. Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Recycled Asphalt Pavement Production. *Sustainability* **2023**, *15* (5), 4629. <https://doi.org/10.3390/su15054629>.
- (14) Mantalovas, K.; Jiménez del Barco Carrión, A.; Blanc, J.; Chailleux, E.; Hornych, P.; Planche, J. P.; Porot, L.; Pouget, S.; Williams, C.; Presti, D. L. Interpreting Life Cycle Assessment Results of Bio-Recycled Asphalt Pavements for More Informed Decision-Making. In *Pavement, Roadway, and Bridge Life Cycle Assessment 2020*; Harvey, J., Al-Qadi, I. L., Ozer, H., Flintsch, G., Eds.; CRC Press, 2020; pp 313–323. <https://doi.org/10.1201/9781003092278-33>.
- (15) Kytzia, S.; Pohl, T. Ökobilanz der Herstellung von Asphaltbelägen. **2021**, *8.2021*, 641–652.
- (16) Mukherjee, A. Life Cycle Assessment of Asphalt Mixtures in Support of an Environmental Product Declaration, Michigan Technological University, Houghton, USA, 2016.
- (17) Pohl, T. Ökobilanz Mischgut - Studie HSR, 2019. <https://asphaltswisse.ch/wp-content/uploads/2019/09/Oekobilanz-Mischgut.pdf> (accessed 2023-01-24).
- (18) *Engineered Biochar: Fundamentals, Preparation, Characterization and Applications*; Ramola, S., Mohan, D., Masek, O., Méndez, A., Tsubota, T., Eds.; Springer Nature Singapore: Singapore, 2022. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-2488-0>.

- (19) BAFU. *CO<sub>2</sub>-Entnahme und -Speicherung*. Bundesamt für Umwelt BAFU.  
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/co2-entnahme-und-speicherung.html> (accessed 2023-08-08).

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 CO <sub>2</sub> eq Bilanz in kg pro Tonne Pflanzkohle - Asphalt mit verschiedenen Recyclinganteilen von 0 % - 60 % und Pflanzkohle Dosierungen 2% - 4 %. "Cradle to gate"-Ansatz (ISO 14040). .....	16
Tabelle 2 CO <sub>2</sub> eq - Bilanz Pflanzkohle - Asphalt Umschlagplatz habö AG. Bilanzierung nach Tonnen Pflanzkohle - Asphalt. Basierend auf einem "cradle-to-gate" Ansatz. ISO - Norm 14040.....	19
Tabelle 3 Vergleich der CO <sub>2</sub> eq - Bilanz von Pflanzkohle - Asphalt und konventionellem Asphalt für den Umschlagplatz habö AG. Die Bilanz wird in Tonnen ausgewiesen und folgt einem "cradle-to-gate"-Ansatz. ISO - Norm 14040.....	19
Tabelle 4 CO <sub>2</sub> eq - Bilanz Pflanzkohle - Asphalt St. Alban-Vorstadt (1. Teil). Bilanzierung nach Tonnen Pflanzkohle-Asphalt. Basierend auf einem "cradle-to-gate" Ansatz. ISO - Norm 14040. ....	21
Tabelle 5 CO <sub>2</sub> eq - Bilanz Pflanzkohle - Asphalt Reservoirstrasse (1. Teil). Bilanzierung nach Tonnen Pflanzkohle-Asphalt. Basierend auf einem "cradle-to-gate" Ansatz. ISO - Norm 14040. ....	23

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Zertifizierte IWB-Pflanzkohle in Rohform.....	10
Abbildung 2 Belagseinbau Pflanzkohle - Asphalt Versuchsfläche habö AG im September 2022.....	18
Abbildung 3 Skizzierter Bereich der Strassenabschnitte mit Pflanzkohle-Asphalt.....	20
Abbildung 4 Belagseinbau Pflanzkohle -Asphalt in der St. Alban Vorstadt, Kanton Basel - Stadt im August 2023. ....	20
Abbildung 5 Skizzierter Bereich der Strassenabschnitte mit Pflanzkohle-Asphalt.....	22
Abbildung 6 Belagseinbau Pflanzkohle -Asphalt in der Reservoirstrasse, Kanton Basel - Stadt im Oktober 2023. ....	22

## Anhangsverzeichnis

<b>Anhang 1</b> CO <sub>2</sub> eq Bilanz Pflanzkohle - Asphalt. Durchschnittliches Szenario für den Einbau von Pflanzkohle - Asphalt im Kanton Basel – Stadt für die Jahre 2023 - 2037. Basierend auf einem "cradle-to-gate" Ansatz. ISO - Norm 14040. 45% RC -Anteil, 2 – 3.5 % Pflanzkohle dosiert...	29
<b>Anhang 2</b> Mischgutergebnisse Versuchsfläche habö AG AC T 22 H, B50/70, RC - Anteil 50%, 2 % Pflanzkohle dosiert. Vergleich Pflanzkohle - Asphalt und Konventioneller Asphalt. Sollwerte gemäss Erstprüfung AMW Grenzach – Wyhlen vom Mai 2020. Toleranzbereiche gemäss SN – EN – 13108 - 1, VSS - 40 430. ....	30
<b>Anhang 3</b> Mischgutergebnisse Pflanzkohle - Asphalt Mischungen 2 %, 3 % und 4 %. Sowie Anforderungen der in der Schweiz geltenden Normen (SN – EN – 13108 - 1 und VSS - 40 430). ....	31
<b>Anhang 4</b> Mischgutergebnisse Pflanzkohle - Asphalt Einbau St. Alban Vorstadt MP 1767. Sowie Anforderungen der in der Schweiz geltenden Normen (SN – EN – 13108 - 1 und VSS – 40 430). ....	32
<b>Anhang 5</b> Mischgutergebnisse Pflanzkohle - Asphalt AC T 22 N, B 70 / 100, 2 % Pflanzkohle, 50 % RC – Anteil. Löslicher Bindemittelgehalt inkl. Siebanalyse (SN EN 12697-1 / SN EN 933-1), Bestimmung der Rohdichte (rechnerisch) (SN EN 12697-5), Marshall-Prüfung, Stabilität und Fliessen mit Raumdichte, Hohlraumgehalt und Hohlraumfüllungsgrad (inkl. Herstellung der Prüfkörper) (SN EN 12697-6/8/30/34), Bindemittelrückgewinnung (SN EN 12697-3), Bestimmung des Erweichungspunktes Ring und Kugel (SN EN 1427), Bestimmung der Nadelpenetration (SN EN 1426), Berechnung des Penetrationsindex (SN EN 12591), Elastische Rückstellung (SN EN 13398), Bestimmung des Schermoduls und Phasenwinkels mit dem DSR (DIN 52050 BTSV), Bestimmung der Wasserempfindlichkeit (SN EN 12697-12), Spurbildungstest LCPC (SN EN 12697-22 / SN EN 12697-33).....	33

## Anhang

**Anhang 1** CO<sub>2</sub>eq Bilanz Pflanzkohle - Asphalt. Durchschnittliches Szenario für den Einbau von Pflanzkohle - Asphalt im Kanton Basel – Stadt für die Jahre 2023 - 2037. Basierend auf einem "cradle-to-gate" Ansatz. ISO - Norm 14040. 45% RC -Anteil, 2 – 3.5 % Pflanzkohle dosiert.

Jahr	[Ma%] Ø PK-Asphalt Einbau Kanton Basel-Stadt	t Asphalt	RC- Anteil %	Dosierung PK %	t PK	t CO <sub>2</sub> eq emittiert	t netto C- Senken Potenzial PK	t CO <sub>2</sub> eq - Bilanz PK- Asphalt	t CO <sub>2</sub> -Bilanz kumuliert
2023	5	1175	45	2.0%	23.5	40.8	42.3	-1.5	-1.5
2024	5	1175	45	2.0%	23.5	40.8	42.3	-1.5	-3.1
2025	5	1175	45	2.0%	23.5	40.8	42.3	-1.5	-4.6
2026	60	14100	45	2.5%	352.5	489.3	634.5	-145.2	-149.8
2027	60	14100	45	2.5%	352.5	489.3	634.5	-145.2	-295.0
2028	80	18800	45	2.5%	470.0	652.4	846.0	-193.6	-488.7
2029	80	18800	45	2.5%	470.0	652.4	846.0	-193.6	-682.3
2030	80	18800	45	2.5%	470.0	652.4	846.0	-193.6	-876.0
2031	80	18800	45	2.5%	470.0	652.4	846.0	-193.6	-1069.6
2032	100	23500	45	3.5%	822.5	815.5	1480.5	-665.1	-1734.7
2033	100	23500	45	3.5%	822.5	815.5	1480.5	-665.1	-2399.7
2034	100	23500	45	3.5%	822.5	815.5	1480.5	-665.1	-3064.8
2035	100	23500	45	3.5%	822.5	815.5	1480.5	-665.1	-3729.8
2036	100	23500	45	3.5%	822.5	815.5	1480.5	-665.1	-4394.9
2037	100	23500	45	3.5%	822.5	815.5	1480.5	-665.1	-5059.9
		<b>247925</b>			<b>7591</b>	<b>8603</b>	<b>13663</b>	<b>-5060</b>	

**Anhang 2** Mischgutergebnisse Versuchsfläche habö AG AC T 22 H, B50/70, RC - Anteil 50%, 2 % Pflanzkohle dosiert. Vergleich Pflanzkohle - Asphalt und Konventioneller Asphalt. Sollwerte gemäss Erstprüfung AMW Grenzach – Wyhlen vom Mai 2020. Toleranzbereiche gemäss SN – EN – 13108 - 1, VSS - 40 430.

		Sollwerte	Pflanzkohle - Asphalt			Konventionelle Mischung		
			27.09.2022	27.09.2022	Mittelwert	27.09.2022	27.09.2022	Mittelwert
			Nr. 3	Nr. 4		Nr. 1	Nr. 2	
			B9159-3	B9159-4		B9159-1	B9159-2	
BM löslich	[M-%]	4.4	4.2	4.4	4.3	4.2	4.5	4.4
Siebdurchgang	[Masse-%]	0.063	6.9	6.8	6.9	6.9	7.4	7.2
		0.125	8.6	8.9	8.8	8.7	9.6	9.2
		0.25	11.3	12.0	11.7	11.8	13.1	12.5
		0.50	14.8	15.9	15.4	15.8	17.7	16.8
		1.00	18.8	20.5	19.7	20.5	23.0	21.8
		2.00	26.2	29.1	27.7	28.9	32.5	30.7
		4.00	39.3	43.2	41.3	42.3	47.9	45.1
		5.60	48.5	53.1	50.8	52.4	58.6	55.5
		8.00	58.5	63.6	61.1	62.3	68.3	65.3
		11.20	68.7	74.0	71.4	72.0	77.7	74.9
		16.00	78.6	85.1	81.9	80.4	86.8	83.6
		22.40	95.8	96.0	95.9	100.0	98.8	99.4
31.50	100.0	100.0	100.0	100.0	100.00	100.0		
Raum-dichte	[Mg/m <sup>3</sup> ]	2.346	2.303	2.296	2.300	2.371	2.39	2.379
Roh-dichte	[Mg/m <sup>3</sup> ]	2.492	2.462	2.452	2.457	2.501	2.49	2.495
Va	[Vol.%]	5.9	6.5	6.4	6.5	5.2	4	4.7
S	[kN]	11.3	12.4	12.9	12.7	11.1	12	11.8
F	[mm]	3.2	3.2	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2
VFB	[%]	63.2	59.0	60.6	59.8	64.9	71.6	68.3
RuK	[°C]	48 ... 65	58	57	58	56	58	57
Pen	[1/10 mm]	30 ... 55	35	33	34	36	32	34
PI	[-]		-0.2	-0.5	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5

**Anhang 3** Mischgutergebnisse Pflanzkohle - Asphalt Mischungen 2 %, 3 % und 4 %. Sowie Anforderungen der in der Schweiz geltenden Normen (SN – EN – 13108 - 1 und VSS - 40 430).

Merkmal / Kenngrösse	Pflanzkohle - Asphalt					Anforderungen SN - EN- 13108 - 1 VSS - 40 430				
	ACT 22 N B70/100	ACT 22 S PmB-E 25/55-65	ACT 22 H B50/70	ACT 22 H PmB-E 25/55-65	ACT 22 S PmB-E 25/55-65	ACT 22 N B70/100	ACT 22 S PmB-E 25/55-65	ACT 22 H B50/70	ACT 22 H PmB-E 25/55-65	ACT 22 S PmB-E 25/55-65
Pflanzkohle Dosierung [%]	2	3	4	4	4	-	-	-	-	-
Labornummer ViaTec Basel AG	B8656	B8938	B8692	B8751	B8852	-	-	-	-	-
Bindemittelgehalt [M.-%]	4.3	4.2	4.1	4.7	4.3	≥ 4.2	≥ 4.0	≥ 4.0	≥ 4.0	≥ 4.0
Hohlraumgehalt Va [Vol.-%]	5.5	4.8	6.4	5.8	4.6	3.0 – 6.0	4.0 – 7.0	4.0 – 7.0	4.0 – 7.0	4.0 – 7.0
Stabilität S [kN]	12.6	15.8	14.6	11.4	14.6	≥ 7.5	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen
VM – Füllungsgrad VFB [%]	64.1	66.2	58.7	64.2	67.5	≤ 80	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen
Fließwert F mm	2.7	3.2	2.8	1.7	2.4	1.5 – 3.5	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen
Spurinnentiefe %	2.46 <sup>1)</sup> 2.96 <sup>2)</sup>	-	1.47 <sup>1)</sup> 1.69 <sup>2)</sup>	1.79 <sup>2)</sup>	-	Keine Anforderungen	≤ 10.0	≤ 7.5	≤ 7.5	≤ 10.0
Ring und Kugel R.u.K [°C]	57.6	58.8	63.6	57.6	72.2	45 – 62	≥ 60	48 - 65	≥ 60	≥ 60
Penetration [1/10 mm]	34	33	30	32	31	40 – 75	15 – 50	30 - 55	15 – 50	15 – 50
Elast. Rückstellung [%]	-	54	-	31	-	-	≥ 50	-	≥ 50	≥ 50
BTSV	TBTSV [°C]	58.4	-	59.4	57.6	-	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen	Keine Anforderungen
	δ BTSV [°]	78	-	70.3	78.4	-				
Wasserempfindlichkeit Verhältnis der indirekten Zugfestigkeit ITSr [%]	79	72	82	63	74	≥ 70	≥ 70	≥ 70	≥ 70	≥ 70

1) bei 10'000 Zyklen 2) bei 30'000 Zyklen

**Anhang 4** Mischgutergebnisse Pflanzkohle - Asphalt Einbau St. Alban Vorstadt MP 1767. Sowie Anforderungen der in der Schweiz geltenden Normen (SN – EN – 13108 - 1 und VSS – 40 430).

Merkmal / Kenngrösse	Pflanzkohle - Asphalt				Anforderungen SN - EN – 13108 - 1, VSS - 40 430	
	ACT 22 N B50/70	ACT 22 N B50/70	ACT 22 N B50/70	ACT 22 N B50/70	ACT 22 N B50/70	
Pflanzkohle Dosierung [%]	2	2	2	2	-	
Labornummer ViaTec Basel AG	B10013-1	B10013-2	B10013-3	B10013-4	-	
Bindemittelgehalt [M.-%]	5.2	5.1	4.9	5.3	≥ 4.2	
Hohlraumgehalt Va [Vol.-%]	3.4	3.0	3.9	4.0	3.0 – 6.0	
Stabilität S [kN]	13.6	12.2	12.6	12.5	≥ 7.5	
VM – Füllungsgrad VFB [%]	77.7	79.6	74.1	74.8	≤ 80	
Fließwert F mm	2.9	3.1	2.8	2.7	1.5 – 3.5	
Spurinnentiefe %	in Bearbeitung	in Bearbeitung	in Bearbeitung	in Bearbeitung	Keine Anforderungen	
Ring und Kugel R.u.K [°C]	60.4	58.4	-	-	48 – 65	
Penetration [1/10 mm]	28	33	-	-	30 – 55	
BTSV	TBTSV [°C]	60.7	58.1	-	-	-
	δ BTSV [°]	76.1	76.9	-	-	
PAK am Feststoff [mg/kg TS]	-	-	13.8	14.9	≤ 250 mg/kg BAFU	
Wasserempfindlichkeit Verhältnis der indirekten Zugfestigkeit ITSr [%]			74		≥ 70	

**Anhang 5** Mischgutergebnisse Pflanzkohle - Asphalt AC T 22 N, B 70 / 100, 2 % Pflanzkohle, 50 % RC – Anteil. Löslicher Bindemittelgehalt inkl. Siebanalyse (SN EN 12697-1 / SN EN 933-1), Bestimmung der Rohdichte (rechnerisch) (SN EN 12697-5), Marshall-Prüfung, Stabilität und Fließen mit Raumdichte, Hohlraumgehalt und Hohlraumfüllungsgrad (inkl. Herstellung der Prüfkörper) (SN EN 12697-6/8/30/34), Bindemittelrückgewinnung (SN EN 12697-3), Bestimmung des Erweichungspunktes Ring und Kugel (SN EN 1427), Bestimmung der Nadelpenetration (SN EN 1426), Berechnung des Penetrationsindex (SN EN 12591), Elastische Rückstellung (SN EN 13398), Bestimmung des Schermoduls und Phasenwinkels mit dem DSR (DIN 52050 BTV), Bestimmung der Wasserempfindlichkeit (SN EN 12697-12), Spurbildungstest LCPC (SN EN 12697-22 / SN EN 12697-33).

# Prüfbericht

**Auftraggeber**

**Tiefbauamt Kanton Basel-Stadt**  
**Tiefbauamt / Infrastruktur / Ausführung**  
**Dufourstrasse 40**  
**4001 Basel**

**A-Nr.** 0235-22-KA\_1-05.2022  
**Probe-Nr.** B8656  
Baustelle\* Pflanzkohle im Mischgut (Zusatzstoff)  
Einbaufirma\*

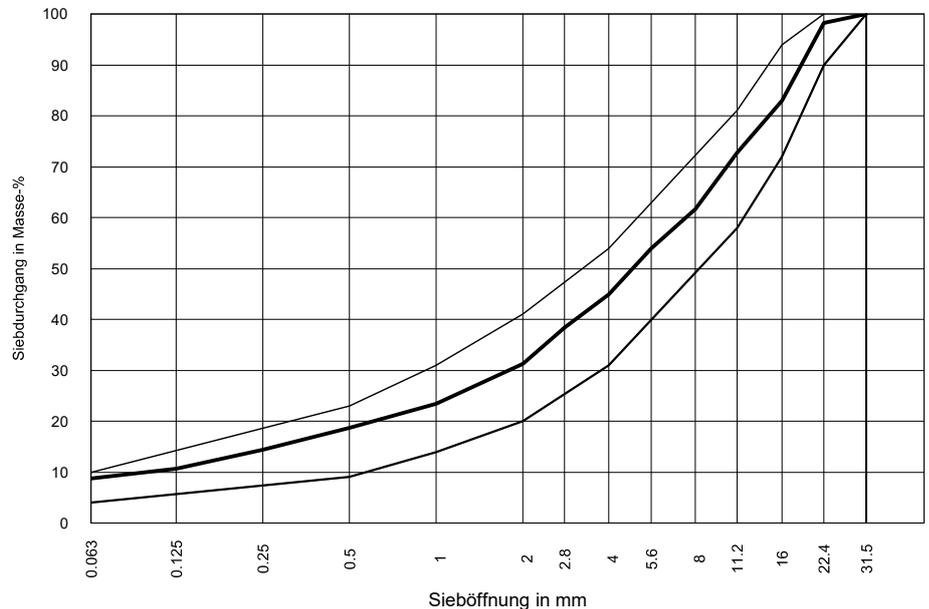
**Probeneingang** 18.05.2022

Probe	Probe 2	Probenahme durch: *	<b>Belagswerk</b>
Lage*	k.A.	Entnahme Datum/Zeit:*	<b>18.05.2022</b>
<b>Mischgutsorte: *</b>	<b>AC T 22 N</b>	Entnahmeort:*	<b>ab Werk</b>
<b>Mischwerk:*</b>	<b>AMW Grenzach-Wyhlen</b>	Lieferschein: *	<b>k.A.</b>
RC - Anteil in %:*	50	Mischguttemperatur: *	<b>k.A.</b> °C

<b>Bindemittel</b>	Art / Sorte: * <b>B 70/100</b>	löslicher Anteil	<b>4.3</b>	Masse-%
Extraktionsverfahren: Automat	Zusätze: * 2% Pflanzkohle	SN EN 12697-1:2020		
Lösungsmittel: Trichlor		Module de Richesse	2.6	* Angaben Dritter

**Korngrößenverteilung** SN EN 933-1:2012/SN EN 12697-2+A1:2020 Sollwertbereich SN 640 431-1-NA:2013 / -5a-NA:2008 / -7a-NA:2008

Prüfsieb [mm]	Durchgang [Masse-%]
31.5	100.0
22.4	98.2
16.0	83.0
11.2	72.7
8.0	61.6
5.6	54.0
4.0	44.9
2.8	38.3
2.0	31.2
1.0	23.4
0.5	18.6
0.25	14.3
0.125	10.7
0.063	8.8



<b>Marshall - Versuch</b>	SN EN 12697-5/-6/-8/-30/-34	Einstampftemperatur:	145.0 °C
Dichte Bindemittel:	1.025 Mg/m <sup>3</sup>	Dichte Mineral:	2.669 Mg/m <sup>3</sup>
(nicht bestimmt)		Stabilität S:	<b>12.6</b> kN
Raumdichte:	<b>2.361</b> Mg/m <sup>3</sup>	SN EN 12697-34:2020	
SN EN 12697-6:2020 / Verfahren D Ausmessen		Fließwert F:	<b>2.7</b> mm
Rohdichte:	<b>2)</b> <b>2.498</b> Mg/m <sup>3</sup>	SN EN 12697-34:2020	
SN EN 12697-5:2020 1)= Verfahren A, Wasser, 25° 2)= Verfahren C berechnet		Marshallquotient:	<b>4.7</b> kN/mm
Hohlraumgehalt Va:	<b>5.5</b> Vol-%	SN EN 12697-34:2020	
SN EN 12697-8:2020		Hohlraumgehalt Mineralstoffgerüst VMA	<b>15.3</b> Vol-%
VM - Füllungsgrad VFB:	<b>64.1</b> Vol-%	SN EN 12697-8:2020	
SN EN 12697-8:2020			

**Eigenschaften des rückgewonnenen Bindemittels** SN EN 12697-3+A1:2020, autom. Verfahren

Erweichungspunkt R. u. K.	<b>57.6</b> °C	Penetrationsindex PI	<b>-0.3</b>
SN EN 1427:2015, Automat		SN 670 202-NA:2010 EN 12591:2009	
Penetration bei 25 °C	<b>34</b> 10 <sup>-1</sup> mm	elast. Rückstellung	%
SN EN 1426:2015, Vollautomat		SN EN 13398:2018 Ausziehlänge:	mm

Bemerkungen: Prüfdatum / Unterschrift ViaTec Basel AG  
gedruckt am: 19.05.2022 19.05.2022 K. Teschner

## Bericht Bindemittelprüfungen

Bitumen - Typisierung - Schnell - Verfahren (BTSV)

DIN 52050:2018-12

Auftrags Nr.: 309-22 Auftraggeber: Tiefbauamt Kanton Basel-Stadt  
 Probe Nr.: 34264-1 Dufourstrasse 40  
 Externe Probe Nr.\*: B 8656 4001 Basel  
 Objekt\*: Pflanzkohle im Mischgut (Zusatzstoff)

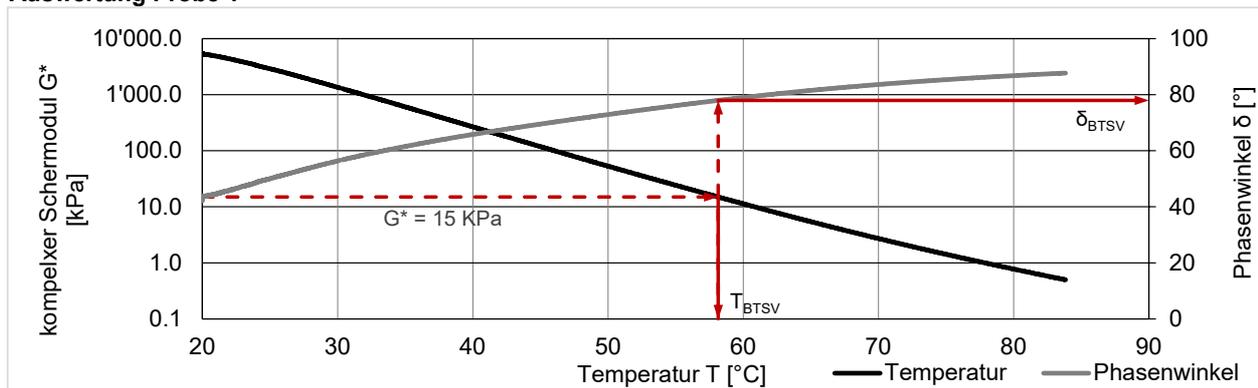
Mischgutsorte\*: AC T 22 N Probeneingang: 20.05.2022  
 Bindemittel\*: B 70/100 Entnahme Datum / Zeit\*: 18.05.2022  
 Lieferant\*: AMW Grenzach-Wyhlen Entnahme durch\*: Belagswerk  
 Raffinerie\*: k.A. Zustand Probe: in Ordnung  
 Lieferschein-Nr.\*: k.A. Geruch: typisch  
 Entnahmeort\*: Bindemittel aus Mischgut Fremdstoffe: keine  
 Alterungszustand: extrahiert

### Prüfparameter + Auswertung

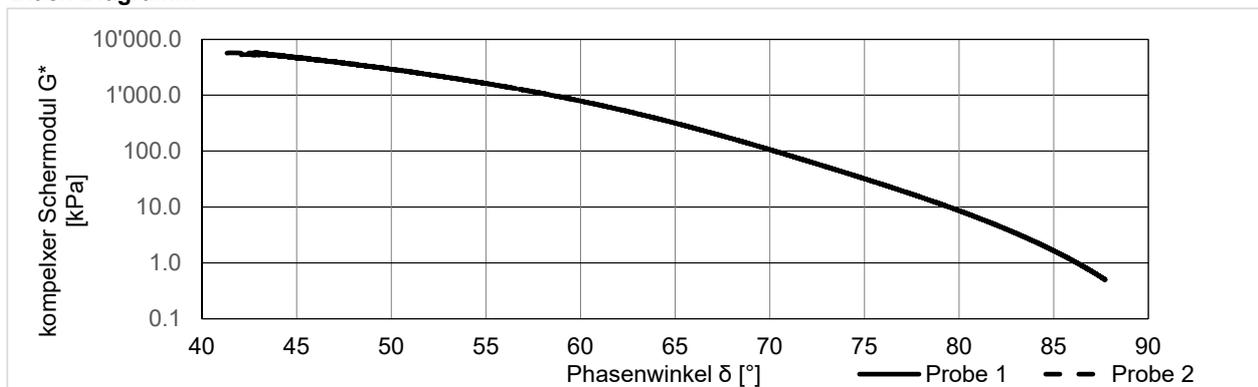
Prüfdatum: 31.05.2022 Prüffrequenz: 1.59 Hz  
 Prüfgerät: Malvern Kinexus Scherspannung: 500 Pa  
 Prüfgeometrie: Platte-Platte; 25 mm Temperaturbereich: 20 bis max. 90°C (1.2 K/min)  
 Spaltweite: 1 mm Abbruchkriterium:  $v > 100\%$   
 Belastungsart: oszillierend Erwärmung der Platten auf: 80°C (hochmod. PmB 90°C)

Prüfergebnisse	Werte bei 15 kPa	Probe 1	Probe 2	Mittelwert
	Temperatur [°C]		58.2	58.6
Phasenwinkel [°]		78.0	78.0	<b>78.0</b>

### Auswertung Probe 1



### Black-Diagramm



Bemerkungen: keine

Datum: 01.06.2022

Unterschrift: V. Krackler

Druckdatum: 01.06.2022

\* Angaben Dritter

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die in diesem Prüfbericht zugrunde liegenden Prüfgegenstände. Dieses Dokument wurde elektronisch erstellt und ist ohne Unterschrift gültig. Die rechtlich gültige Version ist auf unserem Server abgelegt. Der Prüfbericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden.

## Prüfbericht

Auftraggeber: TBA BS  
Dufourstrasse 40/50  
4001 Basel

**STS 0674**

Auftragsnr.: 0235-22  
Probe-Nr.: B8656

Baustelle:\* Pflanzkohle im Mischgut  
Unternehmer:\* k.A.  
Mischgutsorte:\* AC T 22 N + 2% Pflanzkohle  
Bindemittel:\* B 70/100  
Mischwerk:\* AMW Grenzach-Wyhlen  
Code/Rezept-Nr.:.:\* k.A.  
RC-Anteil in %:.\* 50

Probeeingang Datum: 18.05.2022  
Entnahme durch\*: AMW  
Entnahme Datum\*: 18.05.2022  
Entnahmeort\*: Ab Werk  
Temperatur Luft°C\*: k.A.  
Witterung\*: k.A.  
Zustand der Probe: k.A.  
Ext. Probe-Nr.:.:\* k.A.

## Bestimmung der Wasserempfindlichkeit von Asphaltprüfkörpern

SN EN 12697-12:2021-05 \_ SN EN 12697-23:2019-04\_SN EN 13108-20:2019-04

Prüfung nach SN EN 12697-12 **Verfahren A**

Art der Probekörper: EN 12697-30:2020-08  
Marshallkörper: 2x35 Schläge

Marshall Temperatur: 145 °C  
Lagerung Gemäss Norm 16 - 24 h

	Trocken	Nass
Durchmesser [mm]	101.5	101.6
Höhe [mm]	63.5	63.5
Raumdicke [Mg/m <sup>3</sup> ]* *(Verfahren B-SSD)	2'343	2'344

indirekte Zugfestigkeit in kPa:

Prüftemperatur: 22 ± 2 °C

	Trocken ITS <sub>d</sub>			Nass ITS <sub>w</sub>		
Nummer:	1	2	3	4	5	6
Höchstlast [kN]	23.790	22.450	22.560	17.760	18.810	17.580
Zugfestigkeit [kPa]	2348.074	2215.816	2226.673	1752.913	1856.548	1735.147
Mittelwert: [kPa]	2263.521			1781.536		

**Verhältnis der indirekten Zugfestigkeit ITSR in %: 79**

- Bruchart:**
- scharfe Bruchlinie
  - Verformungsbruch
  - Kombination der Beiden
- Gesteinskörnungen:**
- zum kleinen Teil gebrochen
  - zum grösseren Teil gebrochen

Bemerkungen: keine

Prüfdatum: 13.06.2022

Unterschrift ViaTec Basel AG: K. Teschner

Druckdatum: 14.06.2022

\* Angaben Dritter, wenn Probenahme nicht durch Firma ViaTec Basel AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die in diesem Prüfbericht zugrunde liegenden Prüfgegenstände. Dieses Dokument wurde elektronisch erstellt und ist ohne Unterschrift gültig. Die rechtlich gültige Version ist auf unserem Server abgelegt. Der Prüfbericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden.

# Prüfbericht Spurbildungstest

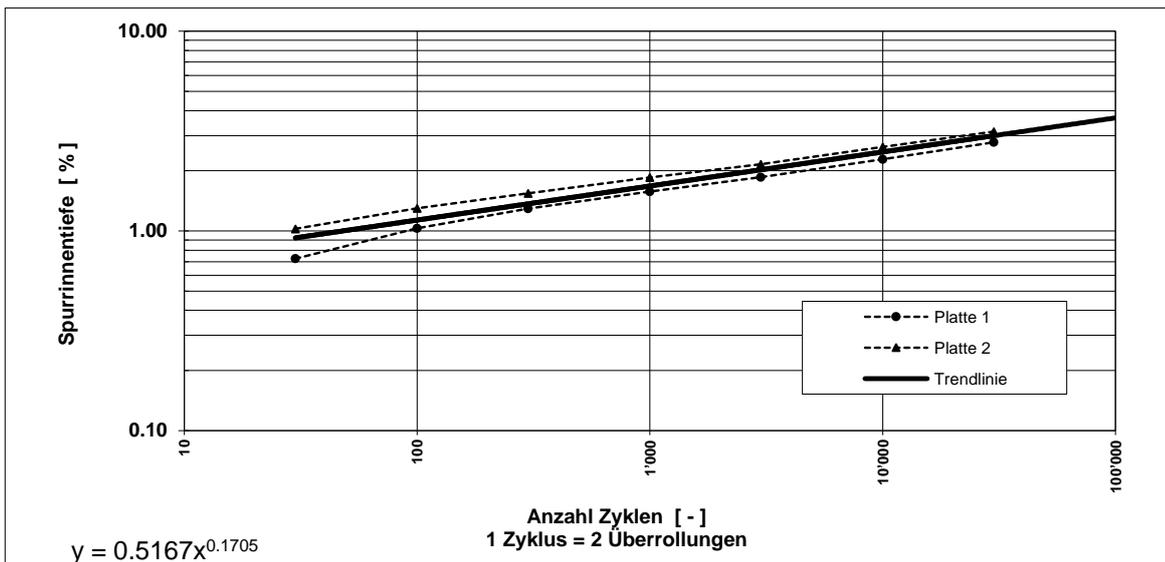
SN EN 12697-22:2020  
SN EN 12697-33:2020

A-Nr./P-Nr. 309-22 34265  
Auftraggeber: TBA Kt. Basel-Stadt  
Dufourstrasse 40  
4001 Basel

Aufbereitung* :	<b>AMW Grenzach-Wyhlen</b>		Probennummer extern:	<b>B8656</b>	
Mischgut* :	<b>AC T 22 N</b>		Probenahme Datum/Zeit*:	<b>18.05.2022</b>	k.A.
Art des Mischgutes:	<b>Werksprobe</b>		Herstellung der Platten:	<b>01.06.2022</b>	
Code/Rezept*:	<b>k.A.</b>		Probenahme durch*:	<b>Auftraggeber</b>	
Bindemittelsorte* :	<b>B 70/100</b>		Probeneingang Datum:	<b>20.05.2022</b>	
Zusätze* :	<b>RA-Granulat 50%</b>		Verdichtungstemp. [°C]	<b>145</b>	
Bindemittelgehalt* [Masse-%]:	<b>4.3</b>		Verdichtungsgrad Prüfplatte [%]:	<b>99.5</b>	<b>99.4</b>
Hersteller Prüfplatten:	<b>ViaTec AG</b>		Lagerung bei:	<b>Raumtemperatur</b>	
Prüfplatte Nr.:	<b>1</b>	<b>2</b>	Prüfplatte Nr.:	<b>1</b>	<b>2</b>
Gewicht Prüfplatte trocken in g	<b>21206</b>	<b>21239</b>	Prüfplattenhöhe [mm]:	<b>103.5</b>	<b>104.0</b>
Rohdichte* [Mg/m <sup>3</sup> ]:	<b>2.498</b>	<b>2.498</b>	Versuchstemperatur [°C]:	<b>60</b>	<b>60</b>
Raumdichte [Mg/m <sup>3</sup> ]:Verfahren B	<b>2.350</b>	<b>2.346</b>	Anpresskraft Prüfrad [N]:	<b>5'000</b>	<b>5000</b>
Hohlraumgehalt Prüfplatte [Vol.-%]:	<b>5.9</b>	<b>6.1</b>	Reifendruck Prüfrad [MPa]:	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>
Hohlraumgehalt Marshall* [Vol.-%]:	<b>5.5</b>	<b>5.5</b>	Verdichtungsgrad Prüfplatte [%]:	<b>99.5</b>	<b>99.4</b>
Vorwärmtemperatur Probenform [°C]:	<b>145</b>	<b>145</b>			

Prüfverfahren: Probekörper Schwere Verdichtung grosses Rad 500mm x 180mm mit dem Ziel eines bestimmten VM-Gehalt oder Verdichtungsgrad.

Anzahl Zyklen	Spurrinntiefe [ % ]				Anforderung	
	Platte 1	Platte 2	Mittelwert	Trendlinie		
30	0.73	1.02	0.88	0.92		
100	1.03	1.30	1.17	1.13		
300	1.29	1.54	1.42	1.37		
1'000	1.58	1.85	1.71	1.68		
3'000	1.86	2.15	2.01	2.02		
10'000	2.28	2.63	<b>2.46</b>	2.48	≤ k.A.	<b>Typ N</b>
30'000	2.78	3.14	<b>2.96</b>	3.00	≤ k.A.	<b>Typ N</b>
100'000				3.68		



Steigung der Trendlinie: 0.171  
Berechnete Spurrinntiefe nach 10'000 Zyklen [%]: 2.5  
Berechnete Spurrinntiefe nach 30'000 Zyklen [%]: 3.0

Bemerkungen: 2% Pflanzenkohle

Datum: 14.06.2022  
Druckdatum: 14.06.2022

Unterschrift Viatec AG: M. Vogelsanger

\* Angaben Dritter

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die in diesem Prüfbericht zugrunde liegenden Prüfgegenstände. Dieses Dokument wurde elektronisch erstellt und ist ohne Unterschrift gültig. Die rechtlich gültige Version ist auf unserem Server abgelegt. Der Prüfbericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden.