

# Instant BioBitumen: Das «erste CO<sub>2</sub>-negative Bitumen»

## Second Opinion und Ökobilanzierung

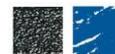


### Autoren des vorliegenden Berichtes

Tina Stürzinger und Thomas Pohl  
Umtec Technologie AG  
Eichtalstrasse 54  
8634 Hombrechtikon

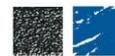
Hombrechtikon, 28. November 2024

Im Auftrag von CTS Bitumen GmbH, Geschäftsführer Otto Vogel



## Inhalt

<b>1. Einleitung</b> .....	2
<b>2. Hintergrund</b> .....	2
<b>3. Geprüfte Dokumente</b> .....	3
<b>4. Diskussion der Dokumente</b> .....	3
<b>5. Weiterführende Studie</b> .....	8
<b>6. Fazit des Reviews</b> .....	15



# 1. Einleitung

Der vorliegende Bericht dient als Second Opinion. Er überprüft die Leistungsmerkmale von Biobitumen auf Grundlage der Produktinformationen auf inhaltliche Korrektheit. Das vorliegende Review wurde unabhängig und nach Abschluss des untersuchten Gutachtens erstellt. Die Inhaber und Mitarbeitenden der Umtec Technologie AG (UTech) stehen in keiner persönlichen, finanziellen oder sonstigen Verpflichtung gegenüber den Herausgebern und Auftraggebern. Sie sind ausschliesslich der wissenschaftlichen Neutralität verpflichtet. Im Folgenden werden die Leistungsmerkmale des BioBitumens des Herstellers B2Square einer kritischen Analyse unterzogen. Dieser Bericht analysiert kritisch die Leistungsmerkmale des BioBitumens des Herstellers B2Square, die auf dessen Website [1] sowie im Product Carbon Footprint (PCF)-Gutachten zu Instant BioBitumen von FORLIANCE [2] veröffentlicht wurden.

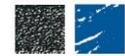
Im Rahmen einer weiterführenden Studie wurde eine Ökobilanz erstellt, die den ökologischen Fussabdruck von BioBitumen sowohl als Bindemittel als auch im eingebauten Asphalt mit konventionellem Bitumen, polymermodifiziertem Bitumen (PmB) und gummimodifiziertem Bitumen (RmB) vergleicht.

## 2. Hintergrund

Bitumen, ein Produkt aus der Rohöldestillation, ist das weltweit wichtigste Bindemittel für den Strassenbau. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Erdöl als fossiler Ressource und Energiequelle besteht ein wachsender Bedarf an nachhaltigen und ökologischen Alternativen zu konventionellem Bitumen. Es wird prognostiziert, dass die Erdölvorräte innerhalb der nächsten 50 Jahre erschöpft sein könnten [3]. Das Ziel ist die Entwicklung leistungsfähiger Ersatzprodukte, um eine langfristige Versorgung mit Bindemitteln sicherzustellen. Neben Standardbitumen sind heute auf dem Markt bereits gummimodifiziertes Bitumen (RmB) und polymermodifiziertes Bitumen (PmB) verfügbar. Neu eingeführt wurde das BioBitumen, das auf natürlichen Rohstoffen basiert [1].

Die Firma B2Square hat ein innovatives Asphaltmischgut entwickelt, das sowohl CO<sub>2</sub>-negativ als auch besonders langlebig ist [1]. Dabei werden Polymere aus natürlichen Harzen mit Naturbitumen zu einem Bitumenersatz kombiniert. Dieses BioBitumen ist darauf ausgelegt, sowohl konventionelles als auch polymermodifiziertes Bitumen zu ersetzen. Die BioBitumen-Mischung besteht aus einer Maltenphase und einer Asphaltphase: Die flüssige Maltenphase wird aus Cashew-Nussschalen-Öl (CNSL) gewonnen [4], [5], während die Asphalt-Donatoren, das Naturbitumen, im Bergbau untertage oder im Tagebau in den USA, Iran, China oder Kolumbien abgebaut werden können [6]. Die Mischung zum BioBitumen erfolgt direkt im Asphaltwerk. Dabei werden das Malten und das Asphalt separat und in kaltem Zustand angeliefert und vor Ort vermischt.

Die Herstellung des BioBitumens stellt eine potenzielle Negativemissionstechnologie (NET) dar [1], [2]. Das anteilig im CNSL gebundene CO<sub>2</sub> wird in der Maltenphase sequestriert und dann im Bitumen und nachgeschaltet dem Asphalt langfristig gebunden [4]. Auf diese Weise bleibt das im BioBitumen gebundene CO<sub>2</sub> der Atmosphäre entzogen, was zur Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz des Asphalts beitragen kann.



### 3. Geprüfte Dokumente

Folgende Dokumente und Websites wurden im vorliegenden Review untersucht:

- *Leistungsmerkmale laut Angaben auf der Herstellerwebsite B2Square: bitumen beyond oil* [1]
- *Product Carbon Footprint Gutachten zu Instant Biotumen, Ausgabe 18.10.2022, erstellt von FORLIANCE* [2]

### 4. Diskussion der Dokumente

Im Folgenden werden alle Aussagen der untersuchten Produktdokumenten, die hinsichtlich ihrer Aussagekraft kritisch zu bewerten sind, näher beleuchtet und analysiert. Die Aussage und Referenz beziehen sich jeweils auf die untersuchten Unterlagen [1], [2].

#### C-Senken Potential von CNSL

Aussage: *1.561 kg CO<sub>2</sub> removed per 1.000 kg BioBitumen (Deutsch: 1.561 kg CO<sub>2</sub> entfernt pro 1.000 kg BioBitumen).* [1], [2]

Das CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial des BioBitumens ergibt sich aus dem im CNSL gebundenen CO<sub>2</sub>. Technisch aufbereitetes CNSL besteht aus den phenolischen Verbindungen Cardanol C<sub>21</sub>H<sub>30</sub>O (63 Gew.-%), Cardol C<sub>21</sub>H<sub>30</sub>O<sub>2</sub> (11 Gew.-%), 2-Methyl-Cardol C<sub>22</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub> (2 Gew.-%) und Polymeren aus phenolischen Verbindungen (24 Gew.-%) [7]. Der Kohlenstoffgehalt berechnet sich zu 83,3 % (siehe nachfolgende Berechnung), was 833 kg C pro Tonne CNSL ergibt. Kohlenstoff hat eine molare Masse von 12 Gramm pro Mol und CO<sub>2</sub> 44 Gramm pro Mol. Somit ergibt sich ein Massenverhältnis von CO<sub>2</sub> zu Kohlenstoff von 44/12. Über dieses Verhältnis wird das CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial auf 3.055,1 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne Malten berechnet. Bei einer Dosierung von 50% Malten, bzw. CNSL, in einer Tonne BioBitumen werden dementsprechend 500 kg Malten zugegeben, was einer Speicherung von 1.527,5 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne BioBitumen entspricht.

Berechnung:

*C-Gehalt der phenolischen Verbindungen [%]:*

$$\text{Cardanol: } \frac{252 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{298 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} * 100 = 84,6\% \text{ C}$$

$$\text{Cardol: } \frac{252 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{314 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} * 100 = 80,3\% \text{ C}$$

$$\text{2 - Methyl Cardol: } \frac{264 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{328 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} * 100 = 80,5\% \text{ C}$$

*Polymere: Annahme Mittelwert aus Cardanol, Cardol und*

$$\text{2 - Methyl Cardol} = 81,8\% \text{ C}$$

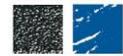
*C-Gehalt von CNSL [%] =*

$$(0,63 * 84,6) + (0,11 * 80,3) + (0,02 * 80,5) + (0,24 * 81,8) = \mathbf{83,3\%}$$

$$\text{CO}_2\text{-Speicherpotential CNSL} = 1.000 \text{ kg} * 83,3\% * \frac{44}{12} = 3.055,1 \text{ kg CO}_2\text{-eq pro Tonne CNSL}$$

$$\text{C-Senken Potential} = 3.055,1 \text{ kg CO}_2\text{-eq} * 0,5 = \mathbf{1.527,5 \text{ kg CO}_2\text{-eq/t BioBitumen}}$$

Das vom Hersteller angegebene C-Senken Potential von 1.561 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne BioBitumen befindet sich in der gleichen Grössenordnung wie das berechnete Potential und scheint plausibel zu sein. Das



berechnete CO<sub>2</sub>-Senkenpotenzial von 1.527,5 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne BioBitumen zeigt ein signifikantes CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial, das durch den hohen Kohlenstoffanteil im CNSL ermöglicht wird. Werden zusätzlich die Treibhausgasemissionen der Herstellung von BioBitumen (710,5 kg CO<sub>2</sub>-eq pro Tonne BioBitumen (siehe Resultate in Kapitel 5.3)) von dem CO<sub>2</sub>-Speicherpotential abgezogen, so erhält man das Netto C-Senken Potential von 817 kg CO<sub>2</sub>-eq pro Tonne BioBitumen. Als Vergleich dazu: Interne Berechnungen der UTech haben das C-Senken Potential für Pflanzkohle ermittelt. Mit einem Kohlenstoffgehalt von 57,1% der Pflanzkohle ergibt sich ein CO<sub>2</sub>-Speicherpotential von 2.094 kg CO<sub>2</sub>-eq pro Tonne Pflanzkohle. Werden auch hier zusätzlich die Treibhausgasemissionen der Herstellung der Pflanzkohle von dem CO<sub>2</sub>-Speicherpotential abgezogen, so erhält man das Netto C-Senken Potential von 1.794 kg CO<sub>2</sub>-eq pro Tonne Pflanzkohle.

### **Permanenz von Kohlenstoff im Asphalt**

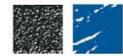
Aussage: *«We are the first and only provider of CO<sub>2</sub> negative bitumen» (Deutsch: Wir sind die ersten und einzigen Hersteller von CO<sub>2</sub> negativem Bitumen).* [1]

Ein negativer CO<sub>2</sub>-Fussabdruck kann nur dann entstehen, wenn es sich bei der Anwendung von BioBitumen im Asphaltmischgut um eine permanente Speicherung von Kohlenstoff handelt und diese als Kohlenstoffsenke betrachtet werden kann. Bei einem negativen CO<sub>2</sub>-Fussabdruck übersteigt das Senken-Potenzial den CO<sub>2</sub>-Fussabdruck des Produkts und die Ökobilanz fällt negativ aus. Doch diese Annahme wirft mehrere Fragen auf: Wie lange ist das im Malten sequestrierte CO<sub>2</sub> tatsächlich gebunden und wie lange muss der Kohlenstoff gebunden sein, damit man von einer permanenten Bindung und somit von einer Senke sprechen kann?

Asphalt wird in der Regel recycelt und als Fräsgut wiederverwendet. Eine Verbrennung erfolgt selten, wobei eine Deponierung in der Regel nur bis zu einer bestimmten Menge erfolgt. Auf diese Weise bleibt das im BioBitumen gebundene CO<sub>2</sub> der Atmosphäre langfristig (> 100 Jahre) entzogen [4]. Diese Annahme ist bislang unbestätigt, da derzeit keine belastbaren Nachweise vorliegen, die zeigen, dass kein Kohlenstoff entweicht. Da das Produkt BioBitumen erst seit 2021 auf dem Markt ist, können Langzeitstudien zum Materialverhalten noch nicht verfügbar sein. Zur weiteren Klärung wären Laborversuche und Pilotprojekte in Form von Langzeitstudien hilfreich, um die potenzielle Dauerhaftigkeit und das Verhalten von BioBitumen im Asphaltmischgut bei Aufbereitung und Entsorgung besser zu verstehen. Es gilt zu beachten, dass Asphalt häufig recycelt wird, was eine thermische Aufbereitung bei hohen Temperaturen erfordert. Dieser Prozess kann dazu führen, dass ein erheblicher Teil der Kohlenstoffverbindungen thermisch zersetzt und als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre abgegeben wird. Dies hat zur Folge, dass die ursprünglich angenommene Langzeitspeicherung des Kohlenstoffs aufgehoben wird, was die Ökobilanz des Biobitumens weiter belastet.

Die zweite Frage zielt darauf ab, das Projekt in einen grösseren Kontext zu stellen. In der Fachwelt besteht noch keine Einigkeit darüber, welche Angaben zur Dauer der Kohlenstoffbindung erforderlich sind, damit eine nachhaltige und wirksame Senke zur Bekämpfung der Klimaerwärmung gewährleistet werden kann. Forschende der ETH Zürich und das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) gehen von Halbwertszeiten von 3.000-8.000 Jahren aus, welche nötig sind, damit die Speicherung von CO<sub>2</sub> einen nachhaltigen und langfristigen Effekt aufweist [8], [9].

Die Frage der Kohlenstoffpermanenz im Asphalt steht in engem Zusammenhang mit verschiedenen Umwelteinflüssen und mechanischen Belastungen, die das Material über seinen Lebenszyklus hinweg beeinflussen. Asphalt ist kontinuierlich Witterungseinflüssen wie Regen, UV-Strahlung und starken Temperaturwechseln ausgesetzt. Diese Bedingungen fördern chemische und physikalische Prozesse,



wie die oxidative Degradation, die dazu führen können, dass gebundener Kohlenstoff schrittweise freigesetzt wird.

Zudem spielt der mechanische Abrieb durch den Fahrzeugverkehr eine entscheidende Rolle. Der konstante Druck und die Reibung, die durch darüber rollende Fahrzeuge entstehen, führen zur Abnutzung der Asphaltoberfläche. Dabei entstehen kleine Partikel, die Kohlenstoffverbindungen enthalten können. Diese Partikel gelangen in die Umwelt, etwa in die Luft oder ins Grundwasser, was potenziell die Stabilität des gespeicherten Kohlenstoffs gefährdet und die Anrechnung als Kohlenstoffsenke infrage stellt.

### **Dauerhaftigkeit von BioBitumen**

Aussagen: *10x More durable than classical bitumen (Deutsch: 10x mehr dauerhaft als Standardbitumen).* [1]

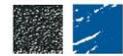
Diese Aussage wird kritisch betrachtet, da unklar bleibt, auf welche genaue Dauer sich die Information auf der Website des BioBitumen-Herstellers B2Square bezieht. Rückfragen bei einem Vertreter der Firma B2Square ergaben, dass sich diese Angabe auf die Deformationsbeständigkeit des BioBitumen-basierten Asphalts bezieht [4]. Ein genormter Belastungstest gemäss TP A-StB Teil 22 wurde durchgeführt. Der Test fand auf einer zweispurigen Teststrecke in der Nähe von Bremen statt. Laut den Testergebnissen von B2Square zeigte BioBitumen eine deutlich bessere Leistung als herkömmliches Bitumen. Während das Referenzmaterial nach 760 Zyklen aufgrund von Materialversagen abbrach, hielt BioBitumen den Test bis zu 10.000 Zyklen durch. Die Anwendung der Prüfnorm TP A-StB Teil 22, die speziell für das Spurbildungsverhalten von Asphaltmischungen entwickelt wurde, verleiht den Ergebnissen zusätzliche Verlässlichkeit und Akzeptanz. Diese Norm ist in Deutschland anerkannt und dient zur Prüfung der Belastbarkeit von Asphalt unter wiederholten Überrollungen. Die verbesserte Performance von BioBitumen führt jedoch nicht automatisch zu einer 10-fach längeren Liegezeit. Stattdessen wird sie laut einem Vertreter des Herstellers B2Square als Indikator für eine verlängerte Lebensdauer von BioBitumen-basierten Asphalten im Vergleich zu Standardbitumen betrachtet. Der Hersteller erwartet eine um den Faktor 1,5 bis 2,0 verlängerte Liegezeit im Vergleich zu konventionellen Strecken. Genaue Angaben zur tatsächlichen Liegezeit hat der Hersteller jedoch nicht veröffentlicht. Hierfür sind auch noch Langzeitstudien sowie Ergebnisse aus ersten Pilotprojekten erforderlich.

### **Ökobilanz von einer Tonne BioBitumen**

Aussagen:

- *Bis zum Lager Krefeld wurden 355 kg CO<sub>2</sub>-eq pro Tonne Instant Biotumen HCR-150 ausgestossen.*
- *Laut dieser Ökobilanz wurden bis zum Lager Breda 216 kg CO<sub>2</sub>-eq pro Tonne Instant Biotumen MTF-10M ausgestossen.*
- *Die Gesamtemissionen (cradle-to-gate) des bilanzierten Produkts summieren sich auf 285 kg CO<sub>2</sub>-eq.* [2]

Die Treibhausgasemissionen für die Herstellung von einer Tonne BioBitumen wurden mit der weltweit führenden Ökobilanzsoftware SimaPro und der Datenbank Ecoinvent nachmodelliert (Details im nachfolgenden Kapitel 5). Abbildung 1 zeigt die Systemgrenzen für die Modellierung einer Tonne Asphalten, Malten und BioBitumen, die sich an den Systemgrenzen des PCF-Gutachtens orientieren. Das PCF-Gutachten betrachtet zwei separate «Cradle-to-Gate»-Ökobilanzen: eine für Malten, von der



Herstellung bis zum Lager Breda, und eine für Asphalt, von der Herstellung bis zum Lager Krefeld. Die Ökobilanz des BioBitumens setzt sich zu jeweils 50% aus den Gesamtemissionen von Malten und Asphalt zusammen. Zusätzliche Transportstrecken oder Mischprozesse zur Kombination der beiden BioBitumen-Komponenten werden innerhalb dieser Systemgrenze nicht berücksichtigt.

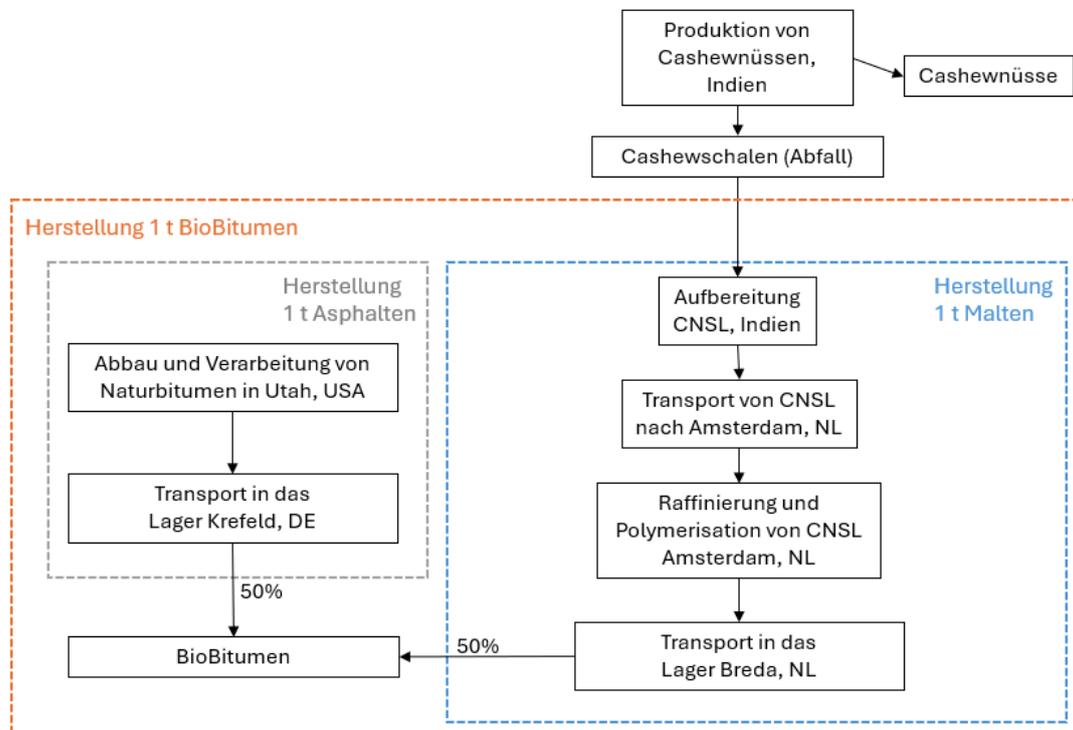


Abbildung 1: Systemgrenzen der Ökobilanzen für die Herstellung einer Tonne Asphalt, Malten und BioBitumen. Die Herstellung von Malten und Asphalt umfasst jeweils die Betrachtung von der Rohstoffgewinnung bis zum jeweiligen Lager. Das BioBitumen setzt sich aus 50% der Gesamtemissionen von Malten und 50% der Gesamtemissionen von Asphalt zusammen. Die Produktion der Cashewnüsse ist ausserhalb der Systemgrenze, während die Cashewschalen als Abfallprodukt in die Systemgrenze für Malten fallen.

Für das Malten wurde im PCF-Gutachten die Ökobilanz von Rheofalt HP-AM verwendet. Laut Herstellerangaben von B2Square handelt es sich bei dem im BioBitumen verwendeten Malten um ein Schwesterprodukt von Rheofalt, das denselben Herstellungsprozess durchläuft und eine identische Ökobilanz aufweist [4]. Rheofalt ist eine Produktreihe von Additiven zur Modifikation von Asphalt und Bitumen, entwickelt vom Ventraco Innovation Center in den Niederlanden. Die Ökobilanz von Rheofalt wurde von Advieslab VOF berechnet und bereitgestellt, weist jedoch unklare Systemgrenzen auf. Es bleibt unklar, wo die einzelnen Zwischenprodukte hergestellt werden und welche Prozesse genau einbezogen wurden. Darüber hinaus erschwert die eingeschränkte Verfügbarkeit der Hintergrunddaten, bedingt durch Geschäftsgeheimnisse, eine genaue Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse und macht eine fundierte Bewertung schwierig. Diese fehlende Transparenz erschwert den Vergleich und die Bewertung der Ergebnisse erheblich.

Die Resultate in Tabelle 1 und Abbildung 2 zeigen erhebliche Abweichungen, insbesondere in der Berechnung des Treibhausgaspotenzials bei der Herstellung des Malten aus CNSL. Hier wird ein bis zu viermal höheres Treibhausgaspotenzial pro Tonne Malten festgestellt. Der Vergleich in Abbildung 2 verdeutlicht, dass allein die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Transport und Energieaufwand in der CNSL-Aufbereitung in Indien den berechneten CO<sub>2</sub>-Fussabdruck für Malten in der Ökobilanz übersteigen.

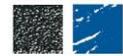


Tabelle 1: Vergleich der Ökobilanzergebnisse des PCF-Gutachtens und der Nachmodellierung in SimaPro. Es handelt sich um "cradle-to-gate"-Ökobilanzen für Asphalten und Malten. Die Gesamtemissionen des BioBitumens setzen sich zu jeweils 50% aus den Emissionen des Malten und des Asphaltens zusammen.

Pro Tonne Material	Gesamtemissionen PCF-Gutachten [kg CO <sub>2</sub> -eq] [2]	Gesamtemissionen Nachmodellierung UTech [kg CO <sub>2</sub> -eq]
Malten	216	956
Asphalten	355	509
BioBitumen (50% Malten, 50% Asphalten)	285	733

Auch beim Asphalten zeigt die Modellierung höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen. Vor allem für den Abbau und die Verarbeitung von Naturbitumen ergibt die Nachmodellierung ca. 290 kg CO<sub>2</sub>-eq pro Tonne Asphalten, während im PCF-Gutachten nur 7,682 kg CO<sub>2</sub>-eq pro Tonne Asphalten für die Materialbeschaffung und Vorverarbeitung angegeben werden.

Folglich ergibt die Nachmodellierung der Mischung aus Asphalten und Malten zu BioBitumen einen deutlich höheren CO<sub>2</sub>-Fussabdruck pro Tonne BioBitumen im Vergleich zum PCF-Gutachten. Das BioBitumen weist bei dem im PCF-Gutachten angegebenen Mischverhältnis (50% Malten aus dem Lager Breda, 50% Asphalten aus dem Lager Krefeld) in der Nachmodellierung 733 kg CO<sub>2</sub>-eq pro Tonne auf.

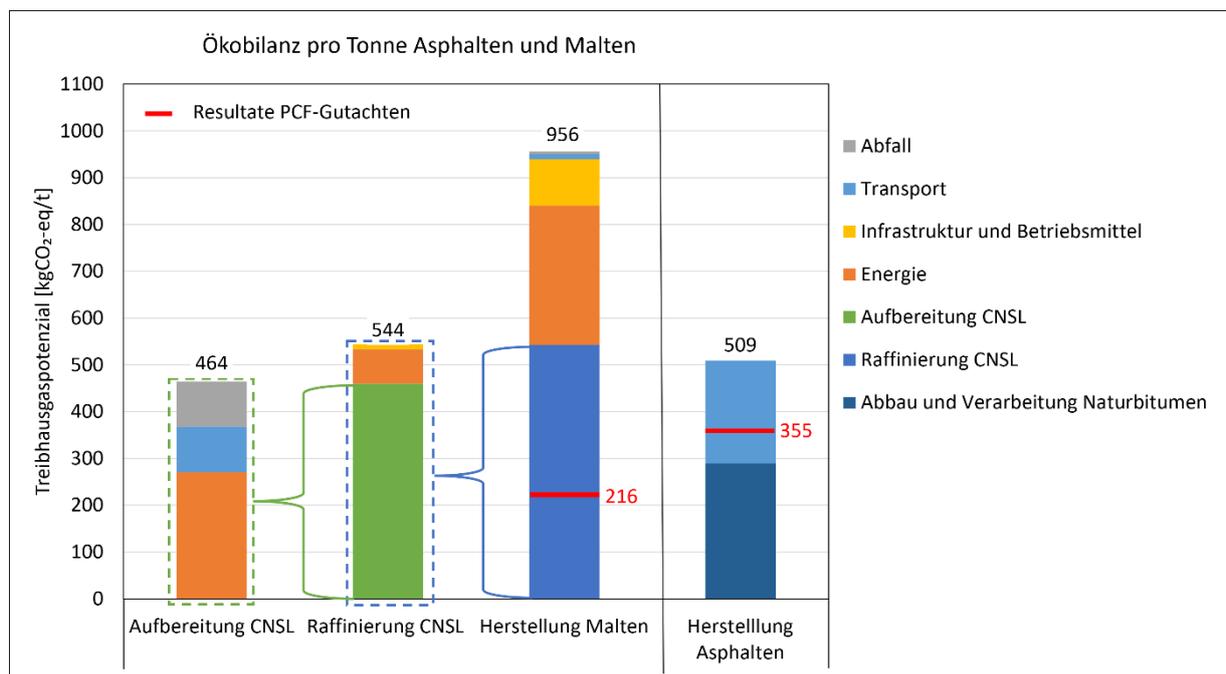
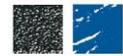


Abbildung 2: Gesamte CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Herstellung von einer Tonne Malten und einer Tonne Asphalten (Cradle-to-Gate Ökobilanz). Die Herstellung von Malten wird in drei Stufen dargestellt: Zunächst wird CNSL aus den Schalen der Cashewnüsse gewonnen. Anschliessend erfolgt die Raffinierung und schliesslich die Polymerisation, um die gewünschten Eigenschaften für den Einsatz im Bitumen zu erzielen.



## Die Herkunft natürlicher Kohlenwasserstoffharze

*Kann man von „Bio“-Bitumen sprechen, wenn das Asphalten auf Naturbitumen fossilen Ursprungs basiert?*

Naturbitumen ist eine natürliche Form von Asphalt, die nicht durch menschliche Aktivitäten, wie in Raffinerien oder Mischgutproduktionen, entsteht. Stattdessen bildet es sich über Millionen von Jahren auf natürliche Weise aus organischen Materialien tief in der Erde. Der Entstehungsprozess beginnt mit abgestorbenen Pflanzen und Tieren, die unter hohem Druck und Hitze eingebettet werden. Im Laufe der Zeit werden diese organischen Materialien zersetzt und in Bitumen umgewandelt. Durch geologische Prozesse kann dieses Bitumen an die Erdoberfläche gelangen und enthält dabei verschiedene Feststoffe. Natürliche Kohlenwasserstoffharze, wie sie in Naturbitumen vorkommen, haben somit fossilen und nicht biogenen Ursprung. Aufgrund ihres fossilen Ursprungs handelt es sich bei Naturbitumen nicht um erneuerbare oder biogene Materialien, sondern um eine Ressource, deren Kohlenstoff über Millionen von Jahren gebunden wurde und ausserhalb des aktiven Kohlenstoffkreislaufs liegt. [10]

Der Begriff "BioBitumen" bezieht sich in diesem Fall auf eine Mischung aus fossilem Bitumen (Asphalt) und einem biogenen Additiv (Malten aus CNSL). Dies kann irreführend sein, da eine Hauptkomponente – das Naturbitumen – nicht biogen ist. Die Bezeichnung erweckt den Eindruck eines nachhaltigeren Produkts, obwohl der fossile Anteil nach wie vor eine dominierende Komponente darstellt.

## 5. Weiterführende Studie

### 5.1 Ökobilanzierung

Im Rahmen dieses Reviews wurde die UTech beauftragt, eine vergleichende Ökobilanz zu erstellen. Diese bilanziert den Einsatz von BioBitumen als Bindemittel im Mischgut und im verbauten Asphalt im Vergleich zu Standardbitumen, PmB und RmB. Für die Modellierung von BioBitumen wurden die Ökobilanzsoftware SimaPro und die Datenbank Ecoinvent verwendet. Das zuvor diskutierte CO<sub>2</sub>-Speicherpotenzial von Malten wird in der nachfolgenden Ökobilanz nicht berücksichtigt.

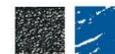
Die Erstellung der Ökobilanz erfolgte in 3 Stufen:

Stufe 1: Vergleich auf Stufe Bindemittel.

Stufe 2: Asphaltproduktion. Die Asphaltart AC 11 D S wird verglichen. Für das Bindemittel BioBitumen wird das Rezept für AC 11 D S mit Standardbitumen kopiert und mit dem Rohstoff BioBitumen ersetzt.

Stufe 3: Ökobilanz/Umweltwirkung des gesamten Lebenszyklus der betrachteten Asphaltarten inkl. Varianz der Bindemittelsorten. Dabei wird die Ökobilanz auf Basis folgender funktioneller Einheit erstellt: Eine Tonne eingebauter Asphalt pro Jahr. Folgende Aspekte der Lebenszyklusphasen wurde dabei berücksichtigt:

- Rohstoffgewinnung für die Asphaltproduktion
- Einbau des Asphalts
- Nutzungsphase
- Ausbau des Asphalts / Rückbau
- Entsorgung / Recycling des Asphaltgranulats



Da speziell modifizierte Asphalte auch einen positiven Einfluss auf die Nutzungsdauer von Asphalt haben, wurden die Liegezeiten ebenfalls berücksichtigt. Die Dauer der Liegezeit basiert auf interner Expertise und Erfahrungen der UTech. Da verlängerte Liegezeiten für BioBitumen seitens der Hersteller bislang weder bestätigt noch veröffentlicht wurden, wird für BioBitumen die gleiche Liegezeit wie für Standardbitumen angenommen.

*Tabelle 2: Liegezeiten der betrachteten Asphalte in der Deckschicht in Jahre (Daten stammen von der CTS Bitumen GmbH und der Umtec Technologie AG)*

<b>Bindemittel</b>	<b>Lebensdauer</b>
RmB G (mit 22% GRM und 78% Bitumen)	21 Jahre
PmB (mit 2.5% SBS)	16 Jahre
Standardbitumen	14 Jahre
BioBitumen	14 Jahre

Für die Kalkulation der Ökobilanz wurde die Umweltwirkungskategorie Treibhauspotenzial (kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente) nach IPCC 2021 mit Zeithorizont von 100 Jahren verwendet. Die Methode zur Berechnung des Treibhauspotenzials bewertet klimaschädliche Emissionen anhand eines Charakterisierungsfaktors, wobei beispielsweise 1 kg Methan etwa 28 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten entspricht. Nicht-klimawirksame Schadstoffemissionen werden jedoch nicht abgebildet.

## 5.2 SimaPro-Modellierungsansatz

Die Rezeptur des BioBitumens steht unter „Geschäftsgeheimnis“ und es ist kein öffentlicher Zugang zu detaillierten Daten vorhanden. Aus diesem Grund basiert die Modellierung auf Vereinfachungen und Annahmen. Für diese Ökobilanz wird die folgende Systemgrenze betrachtet:

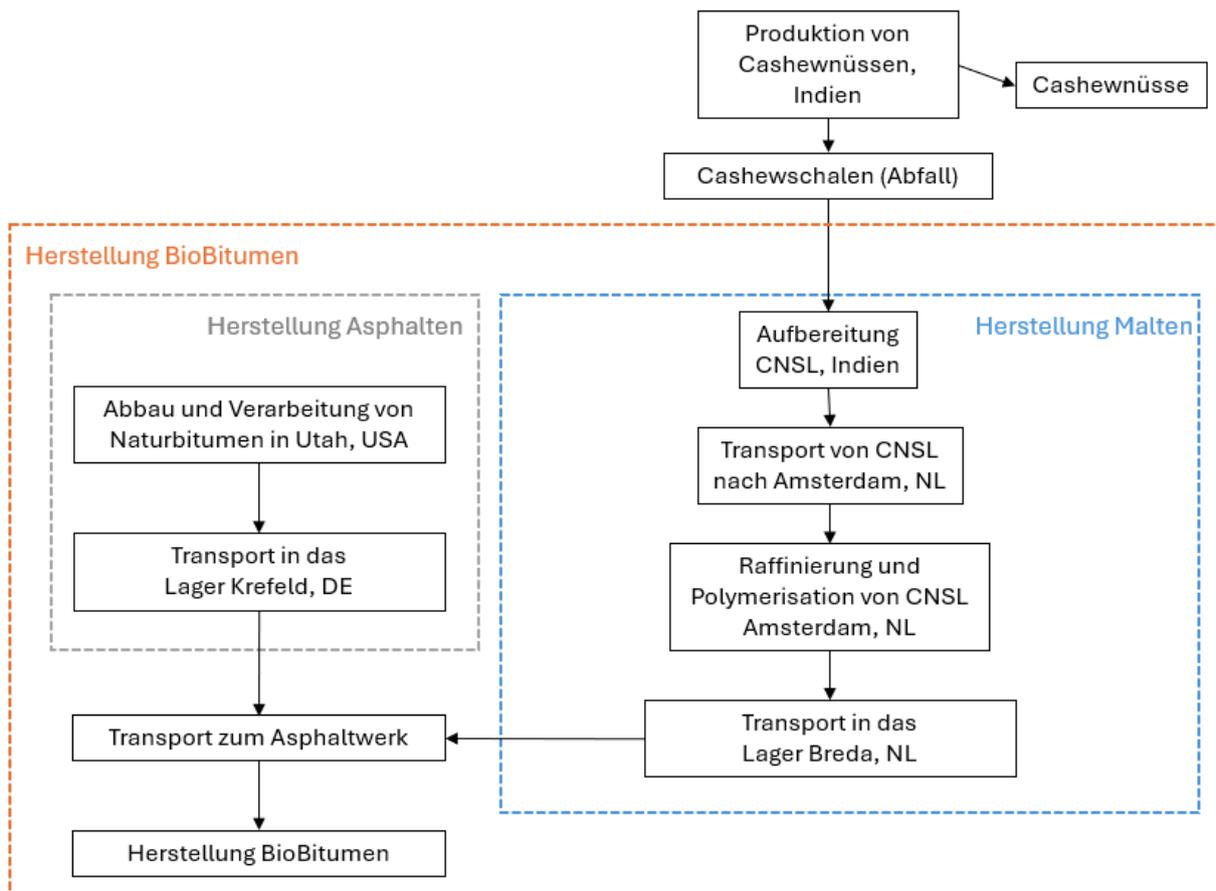
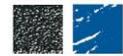
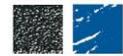


Abbildung 3: Systemgrenze der Ökobilanz der Herstellung von BioBitumen. Betrachtung von Rohstoffgewinnung bis zum Asphaltwerk. Es handelt sich um eine «Cradle-to-Gate»-Ökobilanz. Die Produktion der Cashewnüsse ist ausserhalb der Systemgrenze und die Cashewschalen fallen als Abfallprodukt in die neue Systemgrenze.

Die Herstellung von Malten, Asphalten und BioBitumen wurde auf Basis der folgenden Prozesse modelliert:

#### Asphalten:

- Herstellerinformationen gaben in der E-Mail-Korrespondenz an, dass es sich um natürlich vorkommende Kohlenwasserstoff-Harze handelt, die üblicherweise im Bergbau unter Tage oder im Tagebau abgebaut werden [4].
- Herkunftsinformationen wurden zu den Asphalten-Donatoren wurden aus geschäftlichen Gründen nicht genannt [4].
  - Basierend auf externen Vermutungen und Erfahrungen wurde angenommen, dass es sich um ein bergmännisch gewonnenes Naturbitumen aus Utah, USA handelt (ähnlich zum Naturasphalt von American Gilsonite [11]).
- SimaPro Modellierungsansatz:
  - SimaPro verfügt über keine Prozesse zur Modellierung der Gewinnung von Naturbitumen.
  - Zur Annäherung wurde ein globaler Steinkohleprozess für den Abbau unter Tage in Kombination mit einem Prozess zur Gesteinszerkleinerung verwendet.
  - Die Transportstrecke verläuft per LKW und Bahn von Utah nach Los Angeles, wo das Material per Schiff nach Rotterdam und von dort per LKW nach Krefeld transportiert wird (gleicher Endpunkt wie im PCF-Gutachten).



#### **Malten:**

- **Material:** Wie zuvor erwähnt, handelt es sich beim Malten um ein Schwesterprodukt von Rheofalt [4]. Rheofalt HP-AM ist ein zu 100 % natürliches Harz auf Basis von Cashewnüssen [12].
- **Herkunft:** Gemäss der Ökobilanz von Rheofalt HP-AM werden die Grundstoffe in Indien produziert, die Materialien in die Niederlande transportiert und vom Rheofalt-Lager in Hazeldonk (Breda) per Tankwagen oder IBC (Intermediate Bulk Container) verteilt.
  - Die genaue Definition der Grundstoffe ist unklar. Es wurde angenommen, dass die CNSL-Aufbereitung in Indien stattfindet und die Raffinierung sowie Polymerisation in den Niederlanden erfolgen.
  - Das Rheofalt HP-AM wird direkt polymerisiert. Detaillierte Informationen zur Reinigung und Polymerisierung sind nicht öffentlich verfügbar.
- **SimaPro Modellierungsansatz:**
  - Die Ecoinvent-Datenbank enthält keine Prozesse zur CNSL-Herstellung, Raffinierung und Polymerisation.
  - Zur Annäherung wurde die Herstellung von Kokosnussöl (thermische Produktion) verwendet. Das Öl wird anschliessend raffiniert und polymerisiert. Für die Raffination wurde ein bestehender Raffinationsprozess für Kokosnussöl verwendet, der die notwendigen Eigenschaften für die Raffination von CNSL aufweist. Für die direkte Polymerisation wurde der Prozess zur Polymerisation von Polyvinylchlorid (PVC) verwendet, der ohne zusätzliche Lösungsmittel ähnlich wie CNSL direkt polymerisiert wird.

#### **BioBitumen:**

- Für die Mischung des BioBitumens wird ein Verhältnis von 45:55 flüssig/fest angenommen.
- Das BioBitumen kann kalt gemischt werden [13]. Für den Modellierungsprozess zur Herstellung des BioBitumens bedeutet dies, dass der Wärme-Input im Vergleich zum Mischgut von Standardbitumen auf null gesetzt werden kann.

## **5.3 Resultate und Diskussion**

#### Vergleich pro Tonne Bindemittel:

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der Ökobilanz pro Tonne Bindemittel. Diese Analyse entspricht einer «Cradle-to-Gate»-Ökobilanz, da sie die Umweltauswirkungen von der Rohstoffgewinnung bis zum Fabrikator des Bindemittels bilanziert. Die für die Produktion von Malten benötigten Cashewnusschalen sowie die für das Gummimehl verwendeten Altreifen werden als «burden-free» bilanziert, da ihre Herstellung dem ersten Lebenszyklus der Cashewnuss bzw. des Reifens zugerechnet wird (Cut-Off-Ansatz in der Ökobilanzmodellierung). Lediglich die Weiterverarbeitung dieser „Abfallressourcen“ wird in der Ökobilanz berücksichtigt.

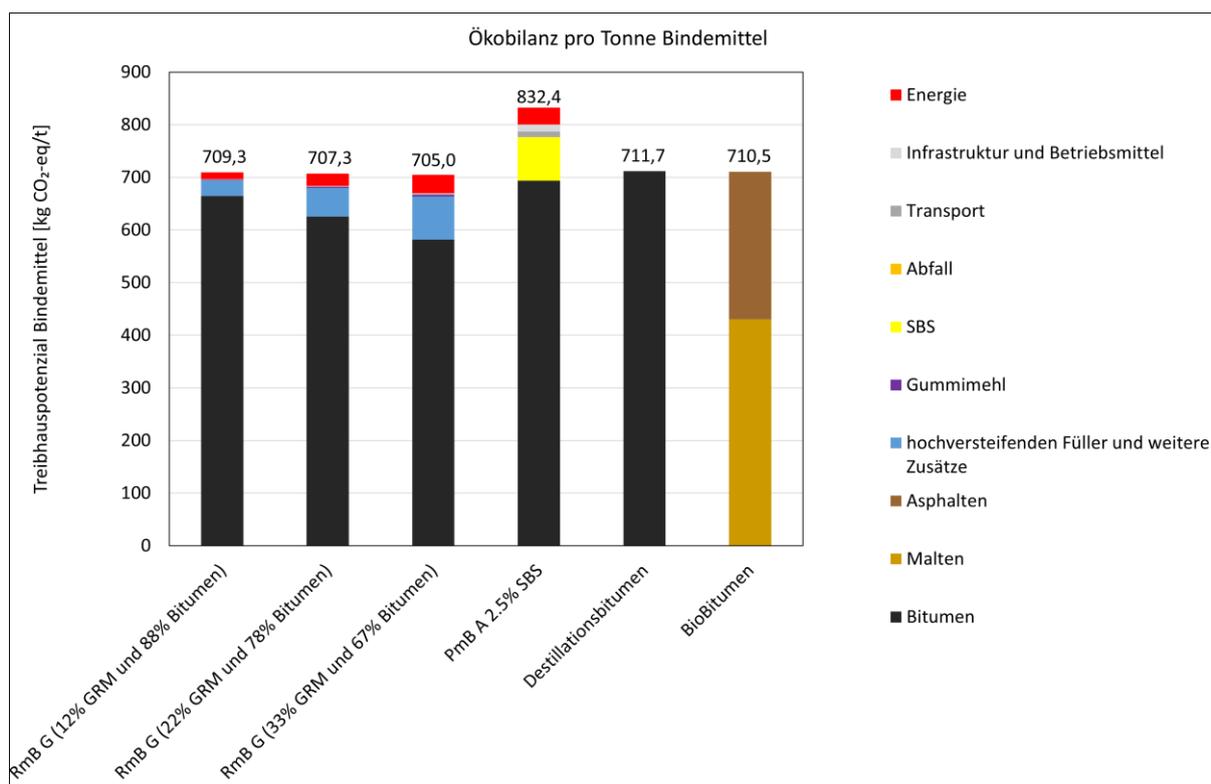
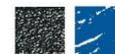
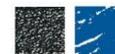


Abbildung 4: Ökobilanzvergleich verschiedener Bindemittel. Auswertung mittels der Methode der Treibhauspotenziale (Klimagase) CO<sub>2</sub>. Funktionelle Einheit: Produktion von 1 Tonne Bindemittel, RmB G, RmB A 2,5% SBS, Destillationsbitumen (B 50/70) und BioBitumen.

Alle Varianten des RmB-Bindemittels schneiden ökologisch vorteilhafter ab als BioBitumen und Standardbitumen. PmB weist die höchste Umweltbelastung auf und hat im Vergleich zu den anderen Bindemittelalternativen durchschnittlich einen ökologischen Nachteil von etwa 17%. Bei den bituminösen Bindemitteln RmB und PmB entstehen die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen durch das Bitumen selbst, gefolgt von den Umweltbelastungen durch den Strom- und Energiebedarf sowie den Zusätzen wie Gummimehl, synthetische hochversteifende Füllstoffe und SBS.

Der CO<sub>2</sub>-Fussabdruck des BioBitumens setzt sich zu 40% aus der Herstellung von Asphalten und zu 60% aus der Herstellung von Malten zusammen. Nach der Produktion werden die beiden Komponenten jeweils separat direkt von den Lagern in Breda (Malten) und Krefeld (Asphalten) zum Asphaltwerk transportiert und dort vor Ort verarbeitet. Im Vergleich zu RmB und PmB entfallen dadurch zusätzliche Energie- und Transportemissionen bei der Herstellung des Bitumens.

Wie bereits erwähnt, wird die Vorkette der Cashewnussproduktion aufgrund des Cut-Off Ansatzes nicht in die Ökobilanz einbezogen. Dies geschieht auf der Grundlage, dass angenommen wird, dass die Cashewnussschalen nur als «Abfallprodukt» anfallen und für den Cashewproduzenten keinen wirtschaftlichen Nutzen erzielen. Da der Markt von Cashewschalen-Produkten aus CNSL aber immer grösser wird und die Produzenten einen wirtschaftlichen Nutzen aus der Cashewnussschale erzielen können, muss über eine Allokation der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Cashewproduktion diskutiert werden. Als Beispiel könnte mit einer wirtschaftlichen Allokation der Ertrag aus dem Verkauf der Cashewschalen dem Ertrag der Cashewernte gegenübergestellt werden. Der prozentuale Anteil des Cashewschalen-Ertrags würde gleichermassen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Cashewproduktion anfallen und in die Ökobilanzierung von CNSL und BioBitumen miteinbezogen werden.



### Vergleich pro Tonne Asphalt:

Abbildung 5 zeigt die Auswertung der Ökobilanz auf der zweiten Stufe mit der Systemgrenze: Von der Rohstoffgewinnung bis zur Asphaltproduktion. Als Vergleich wurde die Asphaltrezeptur für Asphalt AC 11 D S für Deckschichten verwendet. Die Analyse entspricht weiterhin einer «Cradle-to-Gate»-Ökobilanz, da sie nur bis zum Asphaltwerk reicht.

Das Bindemittel dominiert in jeder Variante die Ökobilanz. Die mineralischen Hauptkomponenten, der Abfall sowie die Infrastruktur und Betriebsmittel spielen eine untergeordnete Rolle, während der Transport der Rohstoffe einen erheblichen Anteil zur Gesamtökobilanz beiträgt. Laut Herstellerangaben von B2Square ist die Produktion des Mischguts mit BioBitumen in einem Kaltverfahren möglich. Das bedeutet, dass bei der Kaltproduktion des Mischguts keine Wärmeenergie erforderlich ist, was die Energieemissionen und damit die Gesamtemissionen im Vergleich zur Heissproduktion signifikant reduziert. Die Variante «BioBitumen – Kaltproduktion» weist das niedrigste Treibhauspotential auf.

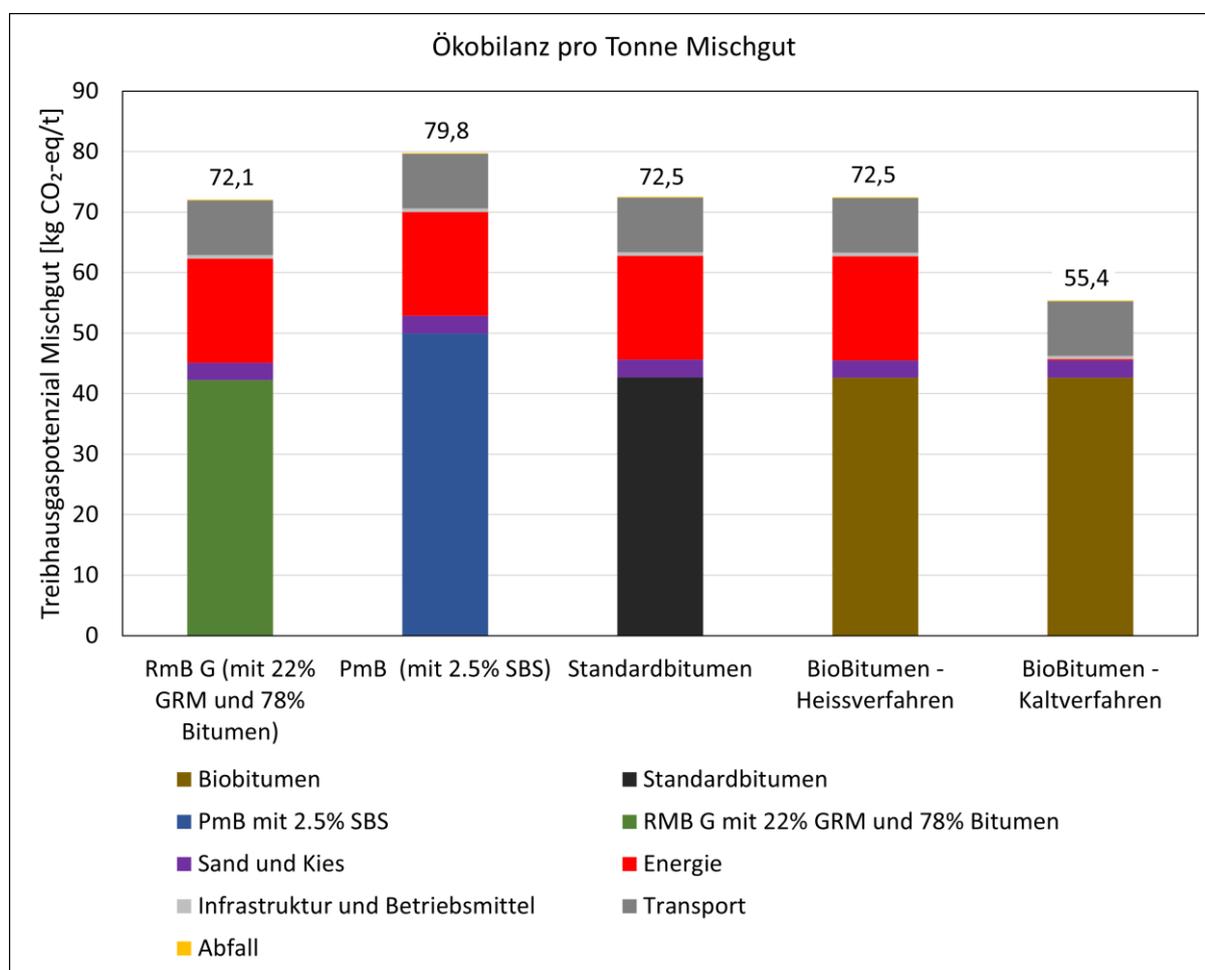
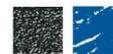


Abbildung 5: Ökobilanzergebnisse Stufe 2: Umweltbelastung Asphaltproduktion ohne RC-Anteile und variablem Bindemittel. Auswertung nach dem Treibhausgaspotenzial. Für das Bindemittel RmB G wurde als Referenz die Variante mit 22% GRM und 78% Bitumen verwendet.

### Ökobilanzergebnis pro eingebaute Tonne Asphalt pro Nutzungsjahr:

Abbildung 6 zeigt die Auswertung der Ökobilanz auf der dritten Stufe mit der entsprechenden Systemgrenze: Von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung / Recycling. Diese Auswertung entspricht einer «Cradle-to-Grave»-Ökobilanz, da die Auswertung alle Lebenszyklusphasen berücksichtigt. Die



Ökobilanzergebnisse wurden durch die in Tabelle 2 angegebenen Liegezeiten dividiert, sodass das Ergebnis als eingebaute Tonne pro Nutzungsjahr dargestellt wird. Abbildung 6 verdeutlicht, dass sich die Ökobilanz mit zunehmender Liegezeit verbessert.

Basierend auf den Ergebnissen in Abbildung 6 zeigt sich, dass die Lebenszyklusphase „Rohstoffgewinnung“ bei allen Bindemittelvarianten den grössten Beitrag zum Treibhauspotenzial aufweist. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Produktion des Mischguts unterscheiden sich deutlich zwischen den Bindemitteln im Heissverfahren und dem BioBitumen im Kaltverfahren, was auf die unterschiedliche Wärmezufuhr zurückzuführen ist. Auch die Transporte, die alle Transportvorgänge während des Lebenszyklus umfassen, tragen in erheblichem Masse zu den Umweltbelastungen bei. Die Phasen „Einbau“ sowie „Entsorgung und Recycling“ sind ebenfalls relevant, wenn auch in geringerem Umfang. Die Lebenszyklusphase „Nutzung und Unterhalt“ fällt hingegen im Vergleich zu den anderen Phasen weniger ins Gewicht und hat eine geringere ökobilanzielle Bedeutung.

Im Variantenvergleich zeigt der Asphalt mit RmB das geringste Treibhauspotenzial pro Jahr, gefolgt vom BioBitumen im Kaltverfahren.

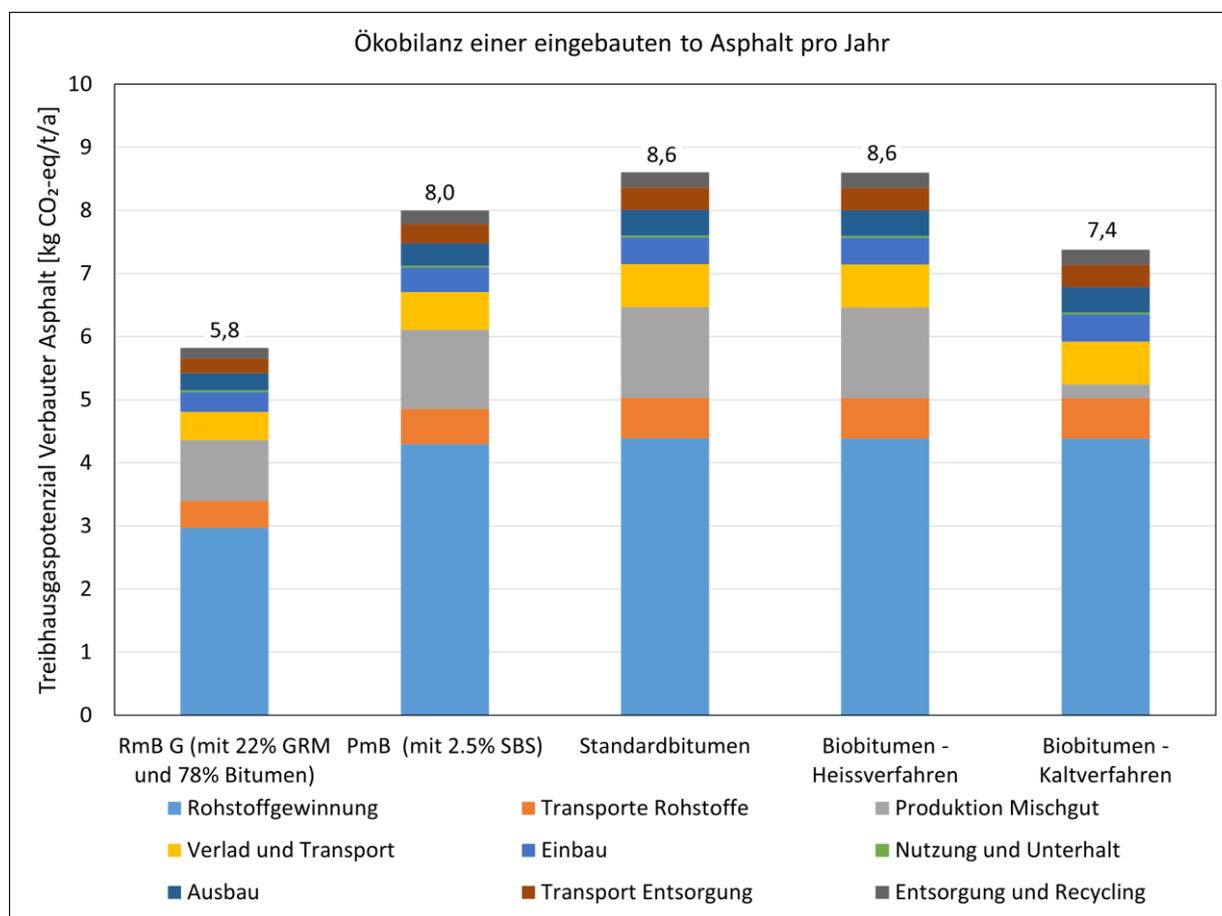
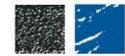


Abbildung 6: Ökobilanzergebnisse Stufe 3: Umweltbelastungen pro eingebauter Tonne Asphalt ohne RC-Anteile und variablem Bindemittel, bezogen auf die durchschnittliche Nutzungsdauer. Auswertung nach dem Treibhausgaspotenzial pro Jahr.



## 6. Fazit des Reviews

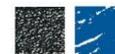
Die Berechnungen des C-Senken Potenzials von BioBitumen können nachvollzogen werden. Ob man die durch die CO<sub>2</sub>-Speicherung entstehenden Negativemissionen dem BioBitumen anrechnen kann, muss in einem grösseren Rahmen geklärt werden, da dies in einem direkten Zusammenhang mit der Permanenz von Kohlenstoff im Asphalt steht. Die Herkunft der Biomasse darf nicht vernachlässigt werden, falls sich BioBitumen-Asphalt zu einem Massenprodukt etabliert und die Herstellung von Cashewnussschalen wirtschaftlich attraktiv wird.

Die Ergebnisse der Ökobilanzen zeigen, dass BioBitumen trotz konservativer Modellierung ein vielversprechendes Potenzial aufweist, insbesondere wenn die Asphaltproduktion im Kaltverfahren erfolgt. Die Möglichkeit, erhebliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch Kaltproduktion zu erzielen, bietet einen deutlichen ökologischen Vorteil gegenüber herkömmlichem Bitumen. Dennoch bleibt gummimodifiziertes Bitumen (RmB) aufgrund seiner niedrigeren CO<sub>2</sub>-Bilanz die ökologisch stärkste Alternative.

Die wichtigsten Erkenntnisse der Studie lassen sich wie folgt verdichten:

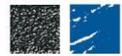
- **Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Reduktion:** BioBitumen zeigt theoretische Vorteile hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Bilanz, insbesondere durch die Nutzung biogener Rohstoffe und das mögliche Kaltmischverfahren, das Energieeinsparungen ermöglicht.
- **Fragwürdige Kohlenstoffpermanenz:** Die langfristige Bindung von Kohlenstoff im Asphalt unterliegt wesentlichen Unsicherheiten, da weder Langzeitstudien vorliegen noch der Einfluss von Umwelteinflüssen und Recyclingprozessen ausreichend untersucht wurde.
- **Hohe Vorkettenemissionen:** Die Herstellung biogener Bestandteile, wie Malten, verursacht erhebliche CO<sub>2</sub>-Emissionen, vor allem durch energieintensive Prozesse und lange Transportwege, was die Gesamtökobilanz von BioBitumen belastet.
- **Unklare „Bio“-Definition:** Die fossilen Bestandteile im Naturbitumen relativieren die Nachhaltigkeitsansprüche des Produkts und lassen die Bezeichnung „bio“ hinterfragbar erscheinen.
- **Fehlende empirische Langzeitdaten:** Die Haltbarkeit von BioBitumen und sein ökologischer Nutzen beruhen aktuell auf Labortests und Modellierungen; praktische Erfahrungen und Langzeitstudien stehen noch aus.
- **Wettbewerb mit Alternativen:** Die Nachmodellierungen zeigen, dass gummimodifiziertes Bitumen (RmB) derzeit eine bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz aufweist, wodurch BioBitumen in seiner ökologischen Positionierung hinterfragt werden kann.
- **Zukunftsperspektiven und Optimierungspotenzial:** BioBitumen bleibt ein vielversprechender Ansatz, insbesondere bei konsequenter Nutzung der Kaltmischverfahren und verbesserter Transparenz der Herstellungsprozesse. Langzeitstudien könnten die Grundlage für eine bessere Bewertung liefern.

Diese Punkte verdeutlichen, dass BioBitumen zwar interessante Ansätze bietet, jedoch noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht, um die tatsächliche Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit langfristig zu sichern.



## 7. Literaturverzeichnis

- [1] B2Square GmbH, «Bitumen. Reinvented.,» B2Square GmbH, [Online]. Available: <https://bitumenbeyondoil.com/>. [Zugriff am 12 November 2024].
- [2] FORLIANCE, «Product Carbon Footprint - Instant Biotumen,» FORLIANCE GmbH, Bonn, Deutschland, 2022.
- [3] J. Bleier, «Biobitumen Bitumen-Ersatzprodukt auf nachwachsender Rohstoffbasis und darauf basierender Asphalt,» Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Österreich, 2012.
- [4] V. d. F. B2Square, Interviewee, *Email-Austausch*. [Interview]. 12 11 2024.
- [5] B2Square, «Technisches Datenblatt: MTF-10 M Instant Bitumen,» B2Square , <https://bitumenbeyondoil.com/useful/>, 2023.
- [6] Albrecht Supply Concepts, «New bitumen does not need refineries,» *World Highways*, 2021.
- [7] Kumar Metal Industries, «Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) - Properties And Manufacture,» Kumar Metal Industries, [Online]. Available: <https://kumarmetal.com/cashew-nut-shell-liquid-cnsl-properties-and-manufacture/>. [Zugriff am 13 11 2024].
- [8] IPCC, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2013.
- [9] C. Brunner, *Climate effect of temporarily stored CO2 within building materials*, Zürich: LCA Discussion Forum 80 – Biogenic carbon and climate change mitigation: silver bullet or flash in the pan?, 17.06.2022.
- [10] asphaltstuisse, «Bitumen - das schwarze Gold,» asphaltstuisse, [Online]. Available: <https://asphaltstuisse.ch/2023/10/05/bitumenartikel-doppelinterview/>. [Zugriff am 20 November 2024].
- [11] American Gilsonite, «What is Gilsonite?,» American Gilsonite, [Online]. Available: <https://www.americangilsonite.com/about-us/what-is-gilsonite/>. [Zugriff am 13 11 2024].
- [12] Rheofalt, «Rheofalt HP-AM - The advantages,» Ventraco Innovation Center, [Online]. Available: <https://rheofalt.com/rheofalt-hp-am/the-advantages>. [Zugriff am 14 11 2024].
- [13] B2Square, «Read our case study,» B2Square, [Online]. Available: <https://bitumenbeyondoil.com/case-study/>. [Zugriff am 15 11 2024].
- [14] Basel-Stadt, ViaTec Basel AG und Tiefbauamt des Kantons, Technischer Kurzbericht: «Grüner Asphalt»: ein Meilenstein zum klimaverträglichen Strassenbau - Version 1.02, Basel, 2023.
- [15] X. Yang, K. Kang, L. Qiu, L. Zhao und R. Sun, «Effects of carbonization conditions on the yield and fixed carbon content of biochar from pruned apple tree branches,» *Renewable Energy*, 2020.



- [16] D. Winters, K. Boakye und S. Simske, «Toward Carbon-Neutral Concrete through Biochar–Cement–Calcium Carbonate Composites: A Critical Review,» Sustainability, 2022.
- [17] M. Kaltschmitt, H. Hartmann und H. Hofbauer, «Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren, 2. Auflage,» Springer-Verlag, Berlin, 2009.
- [18] Bundesamt für Statistik (BFS), «Forstwirtschaft der Schweiz - Taschenstatistik 2022,» Statistik der Schweiz, 07 Land- und Forstwirtschaft, Neuchâtel, 2022.
- [19] KBOB, ecobau, IPB, «Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz, Version 6.0,» Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich, Bern, 2022.
- [20] «Technisches Datenblatt: Instant Bitumen HCR-150,» B2Square, <https://bitumenbeyondoil.com/useful/>, 2023.