

ASPHALT & BITUMEN

3 | 2024

20,00 Euro
Mai | Juni
10. Jahrgang

DAS FACHMAGAZIN FÜR DIE HERSTELLUNG UND VERARBEITUNG VON ASPHALT UND BITUMEN

schlütersche

www.baunetzwerk.biz

PRAXIS
Software für die Branche
www.praxis-edv.de

Werkseigene Produktionskontrolle **WPK**

Durchführung EP / KP **KP**

BEN-Bestimmung **BEN**

Rezeptverwaltung

Überwachung Prüfintervalle

WDV2024 TEAM

Integriertes **Labor** mit optionaler **Rezeptverwaltung** und **Webplattform** sowie der Möglichkeit zum Versand **Digitaler Eignungsnachweis** für Asphaltmischgut.

Digitale Lösungen

Von Künstlicher Intelligenz, dem Einsatz von Drohnen bis zu digitalen Messungen | 14

Modifizierung von Bitumen

Mit natürlichen Rohstoffen oder Produkten aus Recyclingprozessen | 28

Aufbereitung von Teer

Neue Verfahren auf dem Weg in die Praxistauglichkeit hierzulande | 54



Foto: xxx

Kohlenstoff aus Biomasse pyrolysiert könnte auch in Baustoffen eingesetzt werden

Pflanzenkohle in Asphalt

Mehrwert oder nur Greenwashing?

ROLAND CHRISTEN

Vermehrt taucht in der öffentlichen Wahrnehmung der Begriff der Pflanzenkohle (Biochar) im Zusammenhang mit Baustoffen wie Asphalt oder Beton auf. Der Zweck: eine sogenannte C- oder Kohlenstoff-Senke zu schaffen. Gemeint ist damit, Kohlenstoff aus dem globalen CO₂-Kreislauf dauerhaft zu entfernen und für lange Zeit zu fixieren. So wird kein neues CO₂ mehr gebildet, da dem Sauerstoff der Kohlenstoffpartner fehlt. Zudem zeigt der Kohlenstoff in obigen Baustoffen – richtig und mit geeigneten Ausgangsstoffen gemischt – messbare funktionelle Verbesserungen.

Ursprünglich gelangte die Idee der Biochar-Verwendung in die Landwirtschaft. Studien zeigen, dass die Kohle aus pflanzlichen, holzigen Abfällen positive Effekte auf Humus und Tierhaltung hat. Hergestellt wird Biochar in einer Pyrolyseanlage (Pyro=Hitze und Lyse=Auflösen) und liefert auch Wärme, Gase und/oder Strom.

Das Trennprinzip ist einfach erklärt: Die hohen Temperaturen bringen die großen Moleküle des Ausgangsstoffes in Schwingung. Dadurch

2012
BEGANNEN erste Studien, die Einsatzmöglichkeiten des Biomasse-Kohlenstoffs aus der Pyrolyse zu untersuchen

brechen diese Moleküle auf und werden in immer kleinere Einheiten gespalten. Am Ende haben wir einen fast reinen Kohlenstoff, etwas Asche und Spuren von Metallen – je nach pyrolysiertem Ausgangsstoff (Bild 1).

Selbst das IPCC (Weltklimarat) griff die Pflanzenkohle als sinnvolle C-Senke auf. Auch immer mehr Studien ab ca. 2012 untersuchten weitere Einsatzmöglichkeiten des Biomasse-Kohlenstoffs aus der Pyrolyse. Neben Asphalt und Beton wurden auch positive Effekte auf Tonmineralien, Wasser- und Gasfilterung sowie kosmetische und medizinische Einsätze (Aktivkohle) untersucht.

Heute ist für Infratrace die reine Pflanzenkohle in Baustoffen nicht mehr unbedingt nötig. Warum? Pflanzenkohle ist zu wertvoll und sollte vorwiegend für biologische Kreisläufe reserviert sein. Es gibt als Alternative riesige Abfallströme, welche uns hochwertigen Kohlenstoff liefern können. Dieser extrahierte Kohlenstoff ist in Baustoffen nicht nur von technischer Bedeutung, die beachtliche C-Senkeleistung kann maßgeblich zur Korrektur der CO₂-Bilanz beitragen.

Fotos: Roland Christen



Bild 1: Pyrolyseanlage

Dies alles muss vor dem Hintergrund der reinen Verbrennung von Abfällen gesehen werden. Ob auf offenem Feld oder in einer Kehrichtverbrennung – der Ausstoß an unnötigem CO₂ ist bedenklich – und gelinde gesagt, eine Verschwendung von hochwertigen Rohstoffen! Ist doch die Verbrennung ein Exit und vernichtet zahllose, wertvolle Zwischenprodukte für immer.

Eine uralte Herkunft

Interessant ist auch, dass wir archäologische Fundstücke haben, welche mit Birkenpech behandelt, bereits in die Steinzeit zurückreichen. Sowohl das Verkleben von Pfeil- und Speerspitzen oder das Abdichten holziger Boote mit diesem Pech, erlauben die Schlussfolgerung, dass die Pyrolyse kein Zufall war, sondern eine gezielte Methode (Bild 2). Denn Pech würde sich bei einer reinen Verbrennung ebenfalls auflösen.

Auch in der Industrie gilt die Pyrolyse als Schlüsseltechnologie der Stofftrennung. So ist auch die Destillation von Erdöl eigentlich eine Pyrolyse

„Die Pyrolyse gilt auch in der Industrie als Schlüsseltechnologie der Stofftrennung.“

(Bild 3). In diesem Zusammenhang interessant: Lediglich 3,5 % der Erdölfractionen ist Bitumen. 84 % werden als Kraftstoffe direkt verbrannt und die 9 % für die Petrochemie erst mittel- bis langfristig (Kunststoffherstellung etc.) verarbeitet.

Heute ist der Pyrolyseprozess – im Unterschied zur Köhlerei – eine sehr schadstoffarme Vorgehensweise. Auch die Temperaturen werden viel besser kontrollierbar, als bei diesem ebenfalls sehr alten Handwerk der Holzkohleherstellung.

Eine enge Verwandtschaft

Vergleichen wir den chemischen Aufbau von Bitumen und einem durchschnittlichen Pyrolysat, ist die enge Verwandtschaft gegeben: Wir finden lediglich deutlich mehr Wasserstoff in Bitumen, da dieses ja aus Kohlenwasserstoffen aufgebaut ist. Beim Pyrolysat überwiegt im Unterschied der Sauerstoff mit 2,7 % gegenüber ca. max. 1,5 % im Bitumen (Bild 4). Dies gibt uns auch einen Hinweis auf die sehr geringe PAK-Konzentration im Pyrolysat, welche bei korrekter Pyrolyse praktisch unter der Nachweisgrenze liegt. Denn PAK-Verbindungen benötigen ausreichend Wasserstoff, um mit dem Kohlenstoff die entsprechenden Verbindungen aufzubauen.

Die Porenarchitektur der Pyrolystate

Je nach Ausgangsstoff sehr unterschiedlich, sehen wir im Elektronenmikroskop eine faszinierende Porenstruktur (Bild 5). Diese ist für viele Eigenschaften des Kohlenstoffs verantwortlich: Physika-



Bild 2: Pyrolyse ist eine uralte Methode

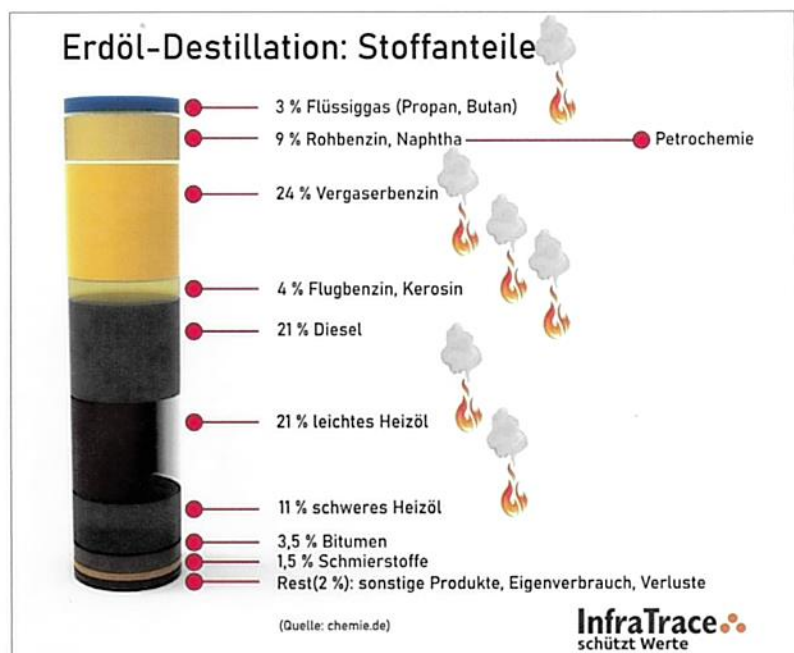


Bild 3: Auch die Destillation von Erdöl ist eigentlich eine Pyrolyse

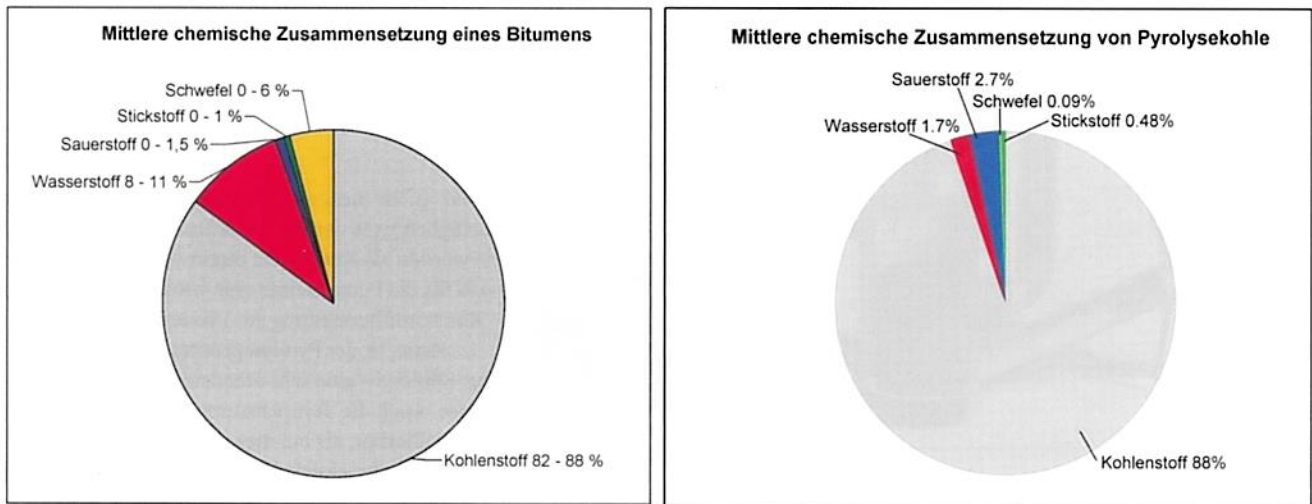


Bild 4: Vergleich der chemischen Zusammensetzung

lisch-mechanische, chemische und auch elektrische Phänomene ergeben sich aus diesen Milliarden von Poren unterschiedlicher Größe. Diese reichen von 50 nm bis unter 2 nm. Sie dienen als Transport-, Speicher- und Filterporen, vergleichbar einem Molekularfilter, welcher bestimmte Moleküle durchlässt, sie zum Anhaften bringt oder abstößt etc.

Im Zusammenhang mit den Baustoffen Asphalt und Beton sind die chemischen Eigenschaften noch weitgehend unbekannt, da gerade Bitumen, aber auch die Zementhydratation beim Beton ebenfalls sehr komplexe Stoffgemische darstellen, welche sowohl mit den Poren und Oberflächen der Kohlenstoffpartikel interagieren, als auch Verbindungen zu den sogenannten funktionellen Gruppen bilden können. (Funktionelle Gruppen im Pyrolysat sind Reste von Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff etc., welche an den aufgebrochenen Kohlenstoffmolekülen verbleiben können.)

In der Landwirtschaft zeigt die Pflanzenkohle – nebst der hohen Speicherkapazität von Wasser – eine verbesserte Kationenaustauschkapazität, also die gewünschte Nährstoffzuführung zu den Wurzeln via mit Mineralien geladener Kohlepartikel.

Effekte der Pyrolyse

Beim Pyrolysevorgang und der stetigen Erhöhung der Temperatur sehen wir folgende Veränderungen in den Ausgangsstoffen: Zunahme des pH's, Hydrophilie (Wasserliebend) wird zu Hydrophob (Wasserabstoßend), die Polarität wechselt zu Unpolar (Polarität: Reaktionsfähigkeit von chemischen Elementen), die stofflichen Eigenschaften gehen in Richtung amorphem Kohlenstoff (unstrukturiert) und eine Graphitierung in Richtung Graphene entwickelt sich.

Wenn wir dies mit den Eigenschaften von CarbonBlack, also Industrieruß vergleichen, ergeben sich ebenfalls Gemeinsamkeiten. CarbonBlack ist in Asphalt gut dokumentiert. Der einzige Unterschied zu den Biomasse-Pyrolysaten: CB besteht zu fast 98 % aus reinem Kohlenstoff und wird aus fossilen Stoffen gewonnen.

50

NANOMETER bis unter 2 nm sind die Poren der Pyrolysate groß und werden somit zu Transport-, Speicher und Filterporen

Aus rund 90 Studien zu Pyrolysaten in Asphalt lassen sich folgende gemeinsame Erkenntnisse feststellen:

- eine leichte Erhöhung der Viskosität (Zähheit, weniger flüssig),
- dadurch bessere Resistenz gegen Spurrillen und Verformungen im Sommer,
- Alterungsverzögerung (vermutlich bessere Haftung und Schutz der Maltene),
- Schutz vor Versprödung durch UV- und Sonnenlicht,
- verbesserte Haftzugfestigkeit,
- Wärmeleitfähigkeit/Wärmespeicherkapazität und
- Wichtig sind zudem Sieblinie, Ausgangsmaterial und Art der Pyrolyse.

Das Blending von verschiedenen Kohlenstoffen

Interessant ist auch, dass jeder Ausgangsstoff nach der Pyrolyse unterschiedliche Merkmale mitbringt. D.h. mit einem Blending von 2-3 unterschiedlichen Kohlenstoffarten können wir bestimmte Funktionen verstärken. Hier wartet noch einiges an Arbeit für Labor- und Feldeinsätze (Bild 6). Auch die entsprechende Vorbehandlung des Kohlenstoffs erhöht die Wirksamkeit der Asphaltmörtelmischung.

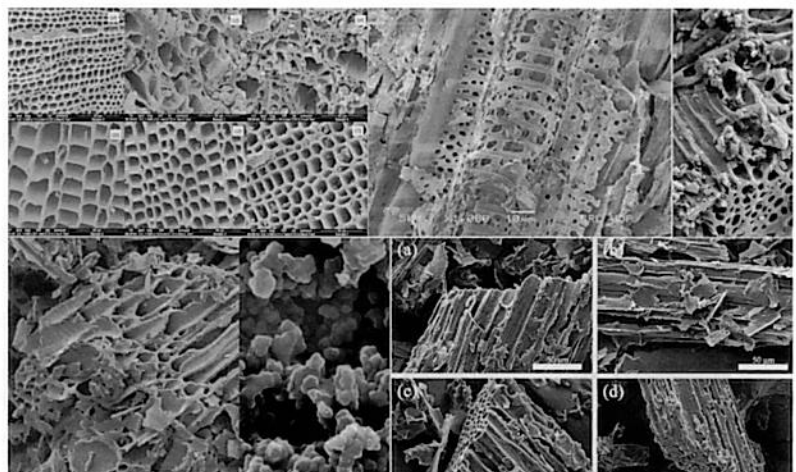


Bild 5: Verschiedenartige Porenstrukturen von Kohlenstoff

Die Motivation

Infratrace ist seit 8 Jahren auch in der Werterhaltung von Gemeindeinfrastrukturen aktiv. Gerade die lebensverlängernden Maßnahmen im Straßenunterhalt stehen dabei im Zentrum. Hier kamen kationische (saure) und anionische (basische) Bitumenemulsionen ins Spiel, welche der Autor während einem 12jährigen Beratungsmandat für die Schweizer Emulsionsbranche gut kennen lernte.

Bitumenemulsionen sind wesentlich einfacher in der situativen Handhabung als Heißmischgut: Rissverfüllungen, Ausbrüche, Schlaglöcher, also generelle Deckschichtschäden lassen sich mit Emulsionen so instand setzen, dass die Oberfläche wieder wasserdicht wird. So kam bei einer Recherche für die Verbesserung der Haftzugfestigkeit der Emulsionen CarbonBlack als Zusatz ins Spiel. Eine vertiefte Recherche führte dann zu Biochar in Asphalt.

In den letzten 5 Jahren machte so Infratrace bei 7 Gemeinden Workshops zu Emulsionen mit Kohlenstoff und kann heute auf Dutzende von Flickstellen referenzieren, welche dem Verkehr wie dem Klima ausgezeichnet standhalten.

Das vermutlich ambitionierteste Testprojekt war ein Streifen aus 5 % Kohlenstoff, 70 % Recyclingasphalt und einer anionischen Emulsion vor der Ausfahrt eines Kieswerkes (Bild 7). Der Teststreifen überlebte fast 1 Jahr Hunderte von schweren Achslasten ohne zu brechen. Dies zeigte die verbesserte Haftzugfestigkeit durch die Zugabe von Kohlenstoff. Nach fast einem Jahr wurde leider der Teststreifen durch eine Erneuerung des Belages vor dem Kieswerk entfernt.

Auch flächige Anwendungen, ähnlich einer kalten Dünnschicht DSK, wurden erfolgreich durchgeführt (Bild 8) und zeigen, dass der Kohlenstoff durchaus das Potenzial hat, die Lebensdauer von Straßen zu erhöhen, da sie besser gegen Wassereintritt und Frost-Tau-Sprengungen und Erosion geschützt sind.

Auch in Heißmischgut

Im Februar 2022 besuchte Infratrace das Tiefbauamt Basel Stadt und stellte Pflanzenkohle als Asphaltadditiv vor. Im Oktober des Jahres wurde dann durch das TBA Basel erstmalig in der Schweiz eine Tragschicht aus Heißmischgut als Testfläche eingebaut. Die damaligen Erfahrungswerte für das Projekt waren spärlich: Lediglich eine Anwendung aus dem Jahr 2020 in Dornbirn, Vorarlberg sowie Studien bildeten die Grundlagen.

Premiere einer Deckschicht: Für die comBau24 in Dornbirn sowie die Giardina in Zürich wurden in Zusammenarbeit mit einem luzernischen Asphaltwerk in Hüswil Heißmischgut-Muster als Deckschicht (Bild 9) so mit Kohlenstoff versetzt, ▶



Bild 6: Laborversuche



Bild 7: Unter Zugabe von Kohlenstoff reparierte Zufahrt eines Kieswerkes



Bild 8: Zu sanierende Fläche (links) und nachdem sie mit einer kalten Dünnschicht, die Kohlenstoff enthält, saniert wurde (rechts)

dass sie als klimaneutral gelten. Rechnet man mit ca. 50 kg CO₂-Ausstoß pro hergestellter Tonne Asphalt, reicht die Zumischung von 2 bis 3% Kohlenstoff, um rund 60 bis 80 kg CO_{2eq}, also die gewünschte C-Senkung zu erreichen. In dieser Formel ist zudem rund 10 % graue Energie eingerechnet.

Vermutlich sogar eine europaweite Premiere ist die Tragdeckschicht, welche am 12. März 2024 im luzernischen Hinterland verlegt wurde (Bild 10). Auch diese ist mit 2 % Kohlenstoff klimaneutral.

Und in Niedertemperaturasphalt?

Dies wird eine logische Weiterentwicklung beachtlicher C-Senken in Asphalt sein. NTA ist schon ohne Kohlenstoffzugabe gut 30 bis 35 % umweltfreundlicher, als traditionelles Heißmischgut. Mischen wir noch Kohlenstoff hinzu, wird jeder Quadratmeter Straße zu einer ausgezeichneten Verhinderung von neuem CO₂ und einem C-Speicherort! Aber auch kalte Dünnschichten DSK haben ein interessantes Potenzial für weitere C-Senken.

Die Wiederverwendung von Kohlenstoffasphalt

Nehmen wir eine Lebenserwartung einer Straße mit 15 bis 20 Jahren und geben dem Asphalt 2 % Kohlenstoff dazu – was geschieht dann am Ende mit dem Recyclingmaterial? Gilt es als Sondermüll für die Deponie oder Entsorgungsgut, wie bei stark PAK-belasteten Belagsausbrüchen? Keineswegs! Der Kohlenstoff ist inert fixiert und lässt sich mit den restlichen Feianteilen vergleichen.

Wird der Ausbruch nun als Recyclingmaterial erneut mit neuem Mineral und Bitumen gemischt, verdünnt sich ja die ursprüngliche Konzentration auf vielleicht 1 % oder sogar weniger. D.h. in der zweiten Lebensphase kommt erneut Kohlenstoff dazu. Wichtig hierbei ist, dass diese Etappen gut dokumentiert sind. Am besten wird ein geographisches Katastersystem eingeführt, in welchem diese C-Senken eingetragen werden. Bei einer dritten Lebensphase lässt



Bild 9: Klimaneutrale Deckschicht dank Kohlenstoff

85

PROZENT des Sonnenlichts verbleiben als Wärme in der Straße. Wenn nun durch den Kohlenstoff die Straße länger dunkler ist, weil wertvolle Stoffe erhalten bleiben und der Asphalt nicht so schnell versprödet, kann ein vorbehandelter Kohlenstoff sogar eine gewisse wärmeleitende Wirkung ausüben

sich der Kohlenstoffasphalt immer noch bis 5 % mit neuem Kohlenstoff versetzen und in die Binder- oder Tragschichten einbauen.

Klimataugliche Städte der Zukunft

Ungeachtet aller Anstrengungen, die CO₂-Emissionen in den Griff zu bekommen, werden wir in Zukunft deutlich wärmere Sommerphasen erleben. Dies hat besonders große Auswirkungen auf unsere Städte, sie werden zu unangenehmen bis gefährlichen Wärmeinseln.

Und gerade Asphalt trägt maßgeblich zu dieser Erwärmung bei. Seine Albedo (Rückstrahlvermögen des Sonnenlichts) liegt bei 0,15, d.h. lediglich 15 % der transportierten Wärme wird nicht absorbiert, 85 % verbleibt in der Straße. Diese Wärmespeicherung wird nachts nur ungenügend abgebaut, der Heizeffekt nimmt über heiße Sommertage immer mehr zu.

Die Wärmespeicherung ist jedoch nicht nur durch die Farbe verursacht, denn auch ältere, graue Straßen haben immer noch eine hohe Speicherfähigkeit mit entsprechend schlechter Albedo. Diese wird einerseits durch das Bitumen, aber auch durch die Speicherwirkung von Sand und Steinen verursacht. Wenn nun durch den Kohlenstoff die Straße länger dunkler ist, weil wertvolle Stoffe erhalten bleiben und der Asphalt nicht so schnell versprödet, kann ein vorbehandelter Kohlenstoff sogar eine gewisse wärmeleitende Wirkung ausüben (Bild 11).

Hier sind wir noch ganz am Anfang der Entwicklung, wissen aber, dass geeigneter Kohlenstoff durchaus zum Leiter werden kann. Gelingt es uns, diese Eigenschaft in einer Deckschicht einzubauen, kann die einstrahlende Wärme in tiefere Schichten abgeleitet werden. Gegebenenfalls müssen diese Deckschichten dünner werden, also nur um die 3 bis 4 cm betragen, damit dieser Kühlungseffekt wirken kann. Hier können auch kalte Dünnschichten mit ihren 15 bis 20 mm dicken Aufbau eine Lösung werden.

Bio-Bitumen

Es gibt durchaus sehr spannende Entwicklungen in diesem Bereich. Zu nennen ist einerseits Lignin, welches als Abfall der Papierindustrie durchaus den Bitumenanteil erheblich senken kann. Sein chemischer Aufbau und seine Wirkung als Stabilitätsgeber der Pflanzen machen Lignin zu einem sinnvollen Zusatz in Asphalt.



Bild 10: Klimaneutrale Tragdeckschicht

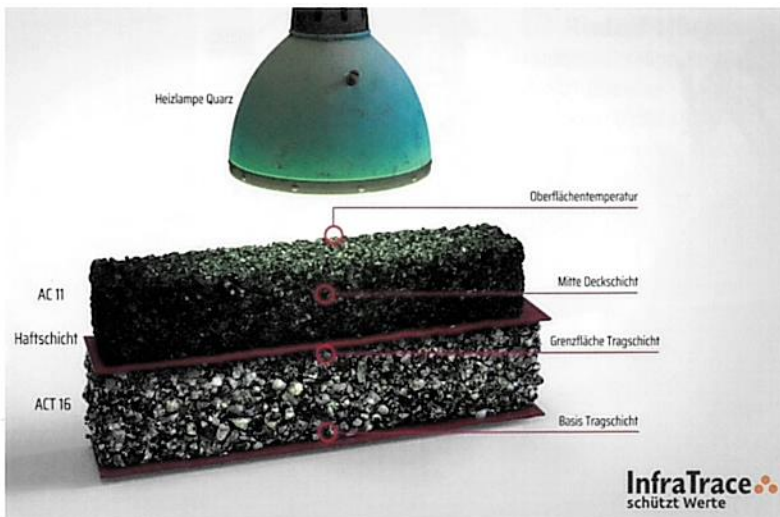


Bild 11: Asphaltflächen mit Kohlenstoff könnten eine gewisse wärmeleitende Wirkung ausüben

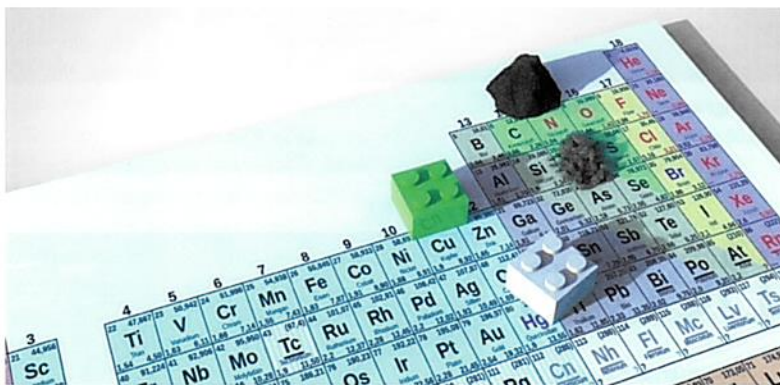


Bild 12: Kohlenstoff liegt in der 4. Hauptgruppe des PSE – den Gerüstbildnern

Eine andere Richtung wird mit den Schalen von Cashewnüssen eingeschlagen. Die Schalen enthalten Stoffe, welche mit den weichen, plastischen Maltenen des Bitumens verwandt sind. Zusammen mit natürlichen Harzen, welche den eher steifen, klebrigen Asphalteneanteil simulieren, erhält man ein ausgezeichnetes Bindemittel. Hier stellt sich lediglich die Frage, was mit den riesigen Mengen an Kernen gemacht wird, welche bei der Herstellung des Bindemittels anfallen werden?

Der lange Abschied aus den fossilen Stoffen

Etwas provokativ bleibt jedoch die Frage, wie lange unsere hoch entwickelte Gesellschaft noch auf Erdöl angewiesen sein wird? Ohne Frage muss der bereits erwähnte Anteil von 84 % an Verbrennungsstoffen des Erdöls deutlich und rasch reduziert werden. Trotzdem bietet uns das Erdöl noch für eine gewisse Zeit den Chemiebaukasten für unzählige Produkte aus der Petrochemie. Diese werden ja nicht unmittelbar verbrannt, sondern können, intelligent genutzt, durchaus sinnvoll sein. D.h. auch die 3,5 % Bitumen werden uns noch eine Weile erhalten bleiben – und da nicht verbrannt – bleibt lediglich die Asphaltherstellung ein CO₂-Emittent. Der Kohlenstoff aus Abfallströmen hilft dabei, diese Gesamtbilanz im CO₂-Fußabdruck auszugleichen!

„Der Kohlenstoff aus Abfallströmen hilft dabei, die Gesamtbilanz im CO₂-Fußabdruck auszugleichen!“

Aktuelle Beiträge zum Thema weltweit

Eine einfache Methode, um die Relevanz eines Themas zu messen, sind die Nennungen bei Google. Hier einige ausgewählte Stichworte und Treffer einer Suche:

- Biochar-Bitumen: 260.000
- Biochar-Asphalt: 258.000
- Biochar-Road pavement: 57.000
- Pflanzenkohle-Asphalt: 7.770
- Pflanzenkohle-Bitumen: 11.900
- Pflanzenkohle-Straßenbau: 11.800
- Biochar: 88.100.000
- Pflanzenkohle: 283.000

Schlussgedanken und Ausblick

Werfen wir zum Schluss noch einen Blick in die Kristallkugel. Hilfreich dabei ist ein spannender Umstand: Kohlenstoff liegt zusammen mit Silizium in der 4. Hauptgruppe im Periodensystem der Elemente (Bild 12). Diese Gruppe wird auch Gerüstbildner genannt, wobei Kohlenstoff der unangefochtene Weltmeister mit seinen Millionen von chemischen Verbindungen und Kombinationen darstellt. Silizium hat Ende der 1950iger Jahre das Zeitalter der Halbleiter eingeläutet. Dieser Artikel wäre sonst auf einer alten Schreibmaschine getippt und mittels Briefpost übermittelt worden!

Kohlenstoff ist der Träger alles Lebendigen. Entfernt man seine Verbindungen zu Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff etc. hin zu reinen C-Atomen, kann er, je nach Anordnung dieser Atome, als Diamant (nötig ist hier großer Druck), als Graphit, als Graphene vorliegen. Carbonfasern sind eine mögliche technische Richtung. Bei den Baustoffen stehen wir noch ganz am Anfang der Entwicklung. Durch Ausprobieren und Dazulernen, haben wir mit großer Sicherheit mit diesem, aus Biomasseabfällen zurückgewonnen, wertvollen Legostein Kohlenstoff einen Schlüssel für das zukünftige Klima und seine Auswirkungen in unserer Hand.

Fazit

Wenn wir die vielen Möglichkeiten und Einsatzfelder von Biomasse-Kohlenstoff aus der Pyrolyse in einem Baustoff wie Asphalt betrachten, können wir mit gutem Gewissen von einer sinnvollen und zielführenden Verwendung mit hohem Kreislaufwert sprechen. Ein Mehrwert durch verbesserte Funktionalität und einer verlängerten Lebensdauer von Straßen sowie ein nachweisbarer CO₂-Ausgleich sind gegeben. Nun liegt es an Industrie, Politik und Auftraggeber, diese Chance zu nutzen. ■

Anschrift des Verfassers:

Roland Christen
InfraTrace GmbH
Allmendstrasse 6
CH-3629 Kiesen
r.christen@infraTrace.ch