

Nachhaltiges Recycling von PAK-haltigem Straßenaufbruch

Uwe Neumann

1.	Randbedingungen für die Verfahrensentwicklung	405
2.	Verfahrensentwicklung und Untersuchungen an einer Anlage im Technikumsmaßstab	407
3.	Eignung des erzeugten Recyclingmaterials als Sekundärrohstoff	413
4.	Ausarbeitung des Anlagenkonzepts	414
5.	Wettbewerbssituation und politische Randbedingungen.....	417
6.	Fazit.....	417
7.	Quellen	418

1. Randbedingungen für die Verfahrensentwicklung

Die Entwicklung eines geeigneten thermischen Verfahrens für das Recycling von teerhaltigem Straßenaufbruch (Abfallschlüsselnummer 17 03 01) wurde bei Eisenmann, einem Lieferanten von kundenspezifischen thermischen Sonderanlagen, im Frühjahr 2007, ausgehend von einer konkreten Anfrage eines potentiellen Kunden für eine Anwendung in Deutschland begonnen. Hintergrund für die Anfrage war die langjährige Erfahrung mit Pyrolyseanlagen (Klärschlamm), denn das zum Zeitpunkt der Anfrage favorisierte Verfahren war die Pyrolyse von teerhaltigem Straßenaufbruch.

Kundenseitige Untersuchungen im Vorfeld der Anfrage hatten allerdings gezeigt, dass das bei der Pyrolyse von teerhaltigem Straßenaufbruch als Recyclingprodukt erzeugte Mineralgemisch immer noch Restanteile an Kohlenstoff(-verbindungen) enthielt, und dass dadurch nur ein minimaler farblicher Unterschied zwischen dem nahezu schwarzen Edukt und dem in der Pyrolyse erzeugten, thermisch behandeltem Produkt bestand, was auf keinerlei Akzeptanz stieß. Neben der allgemeinen Forderung des thermischen Recyclings des teerhaltigen Straßenaufbruchs wurde darüber hinaus auch die Anforderung nach einer möglichst großen optischen Ähnlichkeit zwischen erzeugtem Recyclingprodukt und Primär-Mineralgemisch definiert, so dass sich die ursprünglichen Hauptanforderungen an die Verfahrensentwicklung wie folgt zusammenfassen lassen:

- Thermische Behandlung von teer-(PAK)-haltigem Straßenaufbruch in einem kontinuierlichen Prozess zur Erzeugung von wieder nutzbarem Mineralgemisch,

- Minimierung der thermischen Belastung des Edukts/Produkts durch den Prozess; die max. Temperaturbelastung wurde mit $T < 650\text{ °C}$ vorgegeben,
- Rückgewinnung von im Prozess freiwerdender thermischer Energie zur direkten Verwendung in einer Asphaltmischanlage,
- Einhaltung der Vorgaben der 17. BImSchV.,
- Berücksichtigung der heterogenen Korngröße des Aufgabeguts (0 bis X mm; X kann definiert werden),
- Minimierung der Möglichkeit des Eintrags von Fremdmaterial in das zu erzeugende Mineralgemisch (z.B. Ausmauerung).

Die Betrachtung der jährlich anfallenden Mengen an kohleteerhaltigen Bitumengemischen, wie sie beispielhaft für einige Jahre in Bild 1 gezeigt ist, zeigt das Potential, welches sich einem geeigneten und entsprechenden thermischen Recyclingverfahren bietet. Immerhin zeigte der betrachtete Zeitraum einen jährlichen Anfall dieses Abfalls von über 16 Millionen Tonnen teerhaltigem Straßenaufbruch (Abfallschlüsselnummer 17 03 01) pro Jahr.

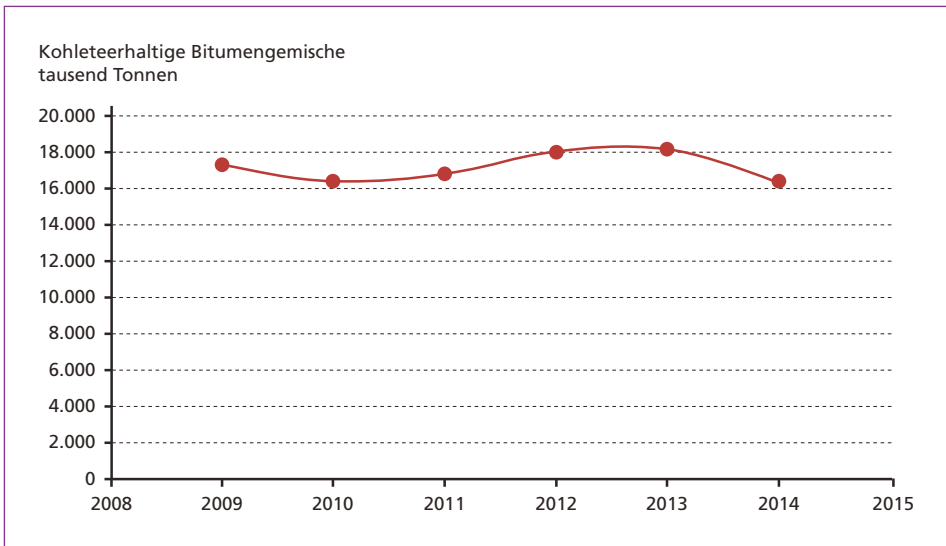


Bild 1: Aufkommen an kohleteerhaltigen Bitumengemischen in den Jahren 2009 bis 2014

Quelle: Umweltbundesamt

In einem im gleichen Zeitraum erarbeiteten Gutachten kommt [1] beim Vergleich der Entsorgungspfade

- Deponie,
- Straßenbau und
- Thermische Behandlung

zu der Aussage, dass die thermische Aufbereitung eine Abfallvermeidungsstrategie gemäß Abfallrahmenrichtlinie ist. Die Zusammenfassung der Bewertung der drei oben genannten Entsorgungspfade nach [2] ist im Bild 2 dargestellt.

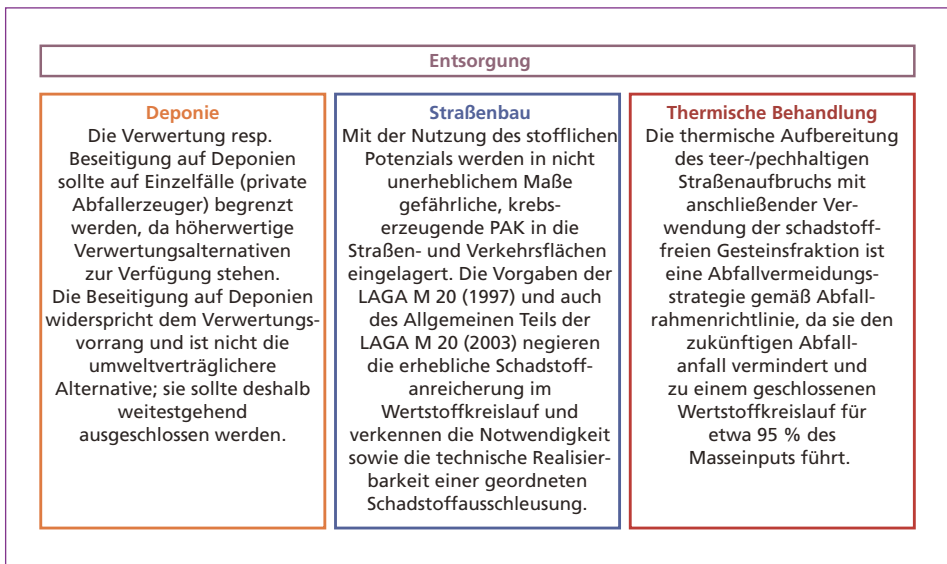


Bild 2: Gegenüberstellung der Entsorgungspfade Deponie, Straßenbau und thermische Behandlung

Quelle: Doetsch, P.; RWTH Aachen: Zukünftige Optionen der rechtskonformen, umweltverträglichen und ökonomischen Entsorgung (Verwertung und/oder Beseitigung) von teerhaltigem Straßenaufbruch in der Freien und Hansestadt Hamburg. Präsentation Hamburg am 09.11.2009

2. Verfahrensentwicklung und Untersuchungen an einer Anlage im Technikumsmaßstab

Basierend auf der kundenseitig definierten Anforderung, die thermische Belastung des Aufgabeguts auf $T_{\max} < 650 \text{ °C}$ zu beschränken, um den Umfang der möglichen thermischen Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften des zu erzeugenden Mineralgemischs zu minimieren sowie der Forderung nach einem kontinuierlichen Prozess für die Behandlung von kontaminiertem Schüttgut wurde als zu betrachtende Entsorgungseinheit für teerhaltigen Straßenaufbruch der Drehrohfen gewählt. Hierbei wurde jedoch nicht die klassische Sonderabfallverbrennungsanlage in Form eines ausgemauerten Drehrohfen mit direkt nachgeschalteter Nachbrennkammer abgebildet, sondern das Konzept des Vollstahl-Drehrohfens mit getrennt nachgeschalteter Nachbrennkammer verfolgt.

Das angedachte Konzept ließ sich durch die vorhandene Technikumsanlage abbilden, welche unter anderem über einen indirekt elektrisch beheizten Drehrohfen mit getrennt angeordneter Nachbrennkammer verfügt. Die für die Durchführung der Versuche genutzte Technikumsanlage ist in den Bildern 3 und 4 gezeigt.



Bild 3: Technikumsanlage zur Durchführung der beschriebenen Versuche



Bild 4: Indirekt elektrisch beheizter Drehrohrofen der zur Verfügung stehenden Technikumsanlage

Vor dem Hintergrund der Forderung nach einer maximal zulässigen Behandlungstemperatur für den teerhaltigen Straßenaufbruch von $T_{\max} < 650 \text{ }^{\circ}\text{C}$, um den Umfang der möglichen thermischen Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften des zu erzeugenden Mineralgemischs zu minimieren, wurde diese Temperatur mit TDRO = $630 \text{ }^{\circ}\text{C}$ als fester Prozessparameter definiert und zunächst die beiden anderen maßgeblichen Parameter

- Verweilzeit und
- Sauerstoff- bzw. Luftüberschuss

untersucht.

Im Vorfeld hierzu wurden theoretische Betrachtungen durchgeführt, in wieweit eine Sauerstoffanreicherung der Prozessluft zu Vorteilen bei dem zu entwickelnden Konzept führen könnte. Die naheliegenden Vorteile der besseren Oxidation der im Edukt vorhandenen organischen Verbindungen sowie die Reduzierung der entstehenden Abgasvolumenströme und damit die Möglichkeit der kleineren Baugröße aller sich im Abgasstrom befindlichen Anlagenkomponenten konnten jedoch nicht die zu erwartenden Kosten für die Bereitstellung/Erzeugung des erforderlichen Sauerstoffs kompensieren, so dass diese Prozessvariante aus wirtschaftlichen Gründen nicht weiter verfolgt wurde.

Diese Berechnungen wurden für eine hypothetische Anlage mit einem Durchsatz von etwa 5.500 kg/h bzw. 12.000 kg/h durchgeführt, für die entsprechenden Massen- und Energiebilanzen wurde dabei folgende Eduktzusammensetzung zugrunde gelegt.

Die Analyse einer typischen Probe des für die an der Technikumsanlage durchgeführten Untersuchungen eingesetzten, teerhaltigen Straßenaufbruchs ist nachfolgend aufgeführt.

Wie in Tabelle 2 zu erkennen ist, wurde der Benzo(a)pyrengehalt mit 72 mg/kgTS und der Summenwert an PAKs mit 1.035,5 mg/kg TS ermittelt.

Als Bewertungsmaßstab für die Effizienz des Verfahrens wurden die Zuordnungswerte für Boden der LAGA M 20 zugrunde gelegt, hier war es das Ziel, die Z0-Kriterien zu erfüllen.

Komponente	mol.-%	kmol/h	kg/h	Ma.-%
C ₁₄ H ₁₄ (gewählter KW)	0,58	1,133	206,3	3,75
CH ₄	0,00	0,000	0,0	0,00
CO ₂	0,00	0,000	0,0	0,00
Ca(OH) ₂	0,00	0,000	0,0	0,00
H ₂ O	7,84	15,278	275,0	5,00
N ₂	0,00	0,000	0,0	0,00
O ₂	0,00	0,000	0,0	0,00
S	0,10	0,188	6,1	0,11
SO ₂	0,00	0,000	0,0	0,00
Inertmaterial	91,49	178,388	5.012,7	91,14
Summe	100	195	5.500	100

Tabelle 1:

Auszug aus der erstellten Massen- und Energiebilanz mit der den Berechnungen zugrunde gelegten Zusammensetzung des teerhaltigen Straßenaufbruchs

Tabelle 2: Analyse einer typischen, in den Untersuchungen genutzten Probe von teerhaltigem Straßenaufbruch

Parameter	Einheit	Probenbezeichnung: Asphalt Probe 5 Probe-Nr. 15-27465-001	Bestimmungsgrenze	Methode
Analyse der Originalprobe				
Trockenrückstand 105 °C	% OS	97,6	0,1	DIN EN 12880 (S2a); L
Analyse bez. auf den Trockenrückstand				
PAK				
Naphthalin	mg/kg TS	13	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Acenaphthylen	mg/kg TS	< 5	5	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Acenaphthen	mg/kg TS	13	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Fluoren	mg/kg TS	29	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Phenthren	mg/kg TS	100	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Antracen	mg/kg TS	40	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Fluoranthren	mg/kg TS	230	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Pyren	mg/kg TS	180	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Benzo[a]anthracen	mg/kg TS	96	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Chrysen	mg/kg TS	100	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Benzo[b]fluoranthen*	mg/kg TS	56	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Benzo[k]fluoranthen*	mg/kg TS	29	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Benzo[a]pyren	mg/kg TS	72	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Dibenz[ah]anthracen	mg/kg TS	7,5	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Benzo[ghi]perylen*	mg/kg TS	37	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Indeno[1,2,3-cd]pyren	mg/kg TS	33	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Summe best. PAK (EPA)	mg/kg TS	1035,50		LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
* best. PAK nach TVO	mg/kg TS	155,00		LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L

n.b. = nicht bestimmbar n.a. = nicht analysiert * = nicht akkreditiert FV = Fremdvergabe UA = Unterauftragvergabe
 AG = Auftraggeberdaten * = durchgeführt

Standortkennung (Der Norm nachgestellte Buchstabenkombination): H = Hannover, KI = Kiel, L = Lünen

Baubefälle

Tabelle 3: Auszug aus den Technischen Regeln Boden der LAGA M 20

	Einheit	Technische Regel Boden der LAGA M 20 ²⁰ Zuordnungswerte Boden						DepV Zuordnungswerte DepV			
		Z 0 ²¹ Sand	Z 0 ²¹ Lehm/ Schluff	Z 0 ²¹ Ton	Z 0* ²²	Z 1 ²³	Z 2 ²⁵	DK 0	DK I	DK II	DK III
Summe PAK nach EPA	mg/kg TM	3	3	3	3	3 (9) ³²	30 ³³	≤ 30	500 ^{36,37}	1.000 ^{36,37}	
Benzo(a)pyren	mq/kg TM	0,3	0,3	0,3	0,6	0,9	3 ³³				

Technische REgel Boden der LAGA M 20

21 Z0: Zuordnungswerte für den uneingeschränkten Einbau – Verwertung von Bodenmaterial in bodenähnlichen Anwendungen.

22 Z0*: Zuordnungswerte für Bodenmaterial, das für die Verfüllung von Abgrabungen unterhalb der durchwurzelten Bodenschicht verwertet wird.

23 Z1: Zuordnungswerte für den eingeschränkten offenen Einbau in technischen Bauwerken.

24 Z1.2: Zuordnungswerte für den eingeschränkten Einbau in technischen Bauwerken in hydrol. günstigen Gebieten.

25 Z2: Zuordnungswerte für den eingeschränkten Einbau mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen in technischen Bauwerken.

Quelle: Niedersächsische Gesellschaft zur Endablagerung von Sonderabfall mbH: Übersicht über die Zuordnungswerte. <http://www.ngs-mbh.de/bin/pdfs/Zuordnungswerte.pdf>

Der für die Untersuchungen zur Verfügung gestellte teerhaltige Straßenaufbruch hatte im Mittel einen Restfeuchtegehalt von < 3 % sowie einen Bindemittelgehalt von 3,5 bis 4 %. Wie die niedrige Betriebstemperatur im Drehrohrofen von TDRO = 630 °C sowie das sich zeigende Flammenbild innerhalb der Versuchs-Drehrohrofenanlage vermuten lässt, konnte von erhöhten CO-Werten im Abgas bei dieser ersten Prozessstufe ausgegangen werden.

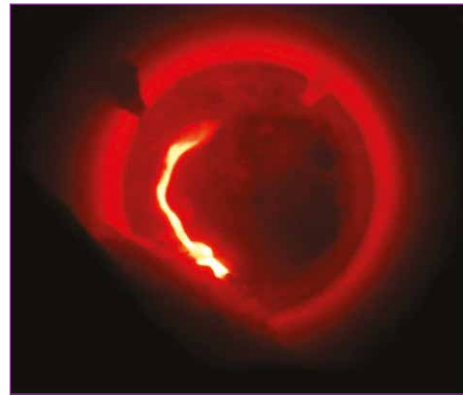


Bild 5: Blick in den Drehrohrofen der Versuchsanlage während der Versuchsdurchführung

Die entsprechend durchgeführten Messungen zeigten, dass für die Auslegung der Nachbrennkammer CO-Konzentrationen im Abgas ex Drehrohrofen (DRO) in Höhe von 2.000 mg/Nm³ zugrunde zu legen waren. Einer der gemessenen CO-Verläufe ist nachfolgend exemplarisch dargestellt.

Wie in Bild 6 deutlich zu erkennen ist, beginnt die CO-Konzentration etwa 10 Minuten nach Versuchsbeginn (Edukaufgabe) zu steigen, um sich dann nach etwa einer Stunde bei einem Wert von etwa 2.000 mg/Nm³ einzupendeln. Die nach diesem Zeitraum immer noch deutlich erkennbaren Schwankungen im Verlauf der Kurve der gemessenen CO-Konzentrationen sind der dem Versuchsbetrieb geschuldeten Form der Edukaufgabe sowie der diskontinuierlichen Produktprobennahme während des Versuchs geschuldet.

Nach der experimentellen Bestimmung von hinreichend großer Verweilzeit und Luftzahl λ durch Versuche und korrespondierender Rest-C-Gehalt-Untersuchung des jeweils erzeugten Produkts wurde abschließend das bei den ermittelten Prozessbedingungen aus teerhaltigem Straßenaufbruch erzeugte Produkt (Recycling-Mineralgemisch) in Bezug auf seinen Benzo(a)pyren und PAK-Gehalt in einem externen Labor untersucht. Die Untersuchungsergebnisse sind in der Tabelle 4 zusammengefasst.

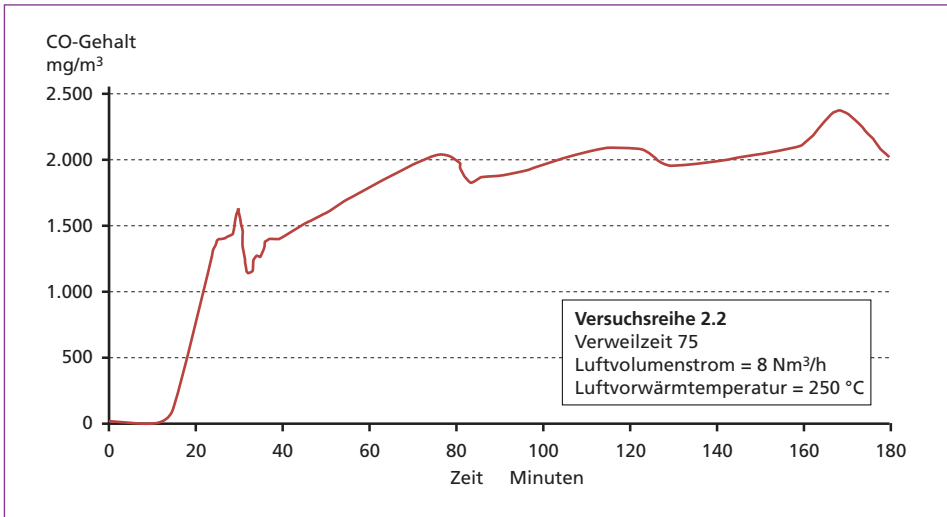


Bild 6: Gemessene CO-Konzentration während der Durchführung eines Versuchs

Tabelle 4: Analyse des aus teerhaltigem Straßenaufbruch erzeugten Recycling-Mineralgemischs

Parameter	Einheit	Probenbezeichnung: Asphalt Probe 7 Probe-Nr. 15-27465-003	Bestimmungs- grenze	Methode
Analyse der Originalprobe				
Trockenrückstand 105 °C	% OS	99,9	0,1	DIN EN 12880 (S2a); L
Analyse bez. auf den Trockenrückstand				
PAK				
Naphthalin	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Acenaphthylen	mg/kg TS	< 0,5	5	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Acenaphthen	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Fluoren	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Phenthren	mg/kg TS	0,30	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Antracen	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Fluoranthen	mg/kg TS	0,80	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Pyren	mg/kg TS	0,40	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Benzo[a]anthracen	mg/kg TS	0,30	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Chrysen	mg/kg TS	0,40	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Benzo[b]fluoranthen*	mg/kg TS	0,20	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Benzo[k]fluoranthen*	mg/kg TS	0,10	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Benzo[a]pyren	mg/kg TS	0,20	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Dibenz[ah]anthracen	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Benzo[ghi]perylen*	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Indeno[1,2,3-cd]pyren	mg/kg TS	< 0,05	0,05	LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
Summe best. PAK (EPA)	mg/kg TS	2,70		LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L
* best. PAK nach TVO	mg/kg TS	0,30		LUA Merkbl. Nr. 1 NRW; L

n.b. = nicht bestimmbar n.a. = nicht analysiert * = nicht akkreditiert FV = Fremdvergabe UA = Unterauftragvergabe
 AG = Auftraggeberdaten * = durchgeführt

Standortkennung (Der Norm nachgestellte Buchstabenkombination): H = Hannover, KI = Kiel, L = Lünen

Baubefälle

Wie in Tabelle 4 zu erkennen ist, wurde die Zielsetzung, bei Versuchen bei den gewählten Prozessbedingungen die Z0-Kriterien der LAGA M 20 einzuhalten, bzw. zu unterbieten, mit einem ermittelten Benzo(a)pyrengehalt von 0,2 mg/kg TS und einem Summenwert an PAKs mit 2,70 mg/kg TS sicher erreicht.

Aufbauend auf den erzielten Versuchsergebnissen und unter Berücksichtigung der Forderung der Rückgewinnung von im Prozess freiwerdender thermischer Energie zur direkten Verwendung in einer Asphaltmischanlage wurde das nachfolgend in Bild 7 gezeigte Verfahren entwickelt und patentiert.

Hierbei wird das teerhaltige Mineralgemisch in einem Vollstahl-Drehrohrofen thermisch rezykliert, die dabei anfallenden Abgase werden, bevor sie der Nachbrennkammer zugeführt werden, in einem Zyklon vorentstaubt und dann in Prozessrichtung gesehen nach der Nachbrennkammer durch mehrere Wärmetauscher geführt, um die Prozesswärme in Form von erhitztem Thermoöl nutzbar zu machen. Die Anordnung der einzelnen Apparate, ihre Ausrichtung sowie das Thermoölsystem erfolgten gemäß Kundenanforderungen und aus dem vorgesehenen Aufstellungsort resultierenden Randbedingungen. Aufgrund sich ändernder, kundenseitiger Randbedingungen wurde das Projekt in dieser Form jedoch nicht weiter verfolgt.

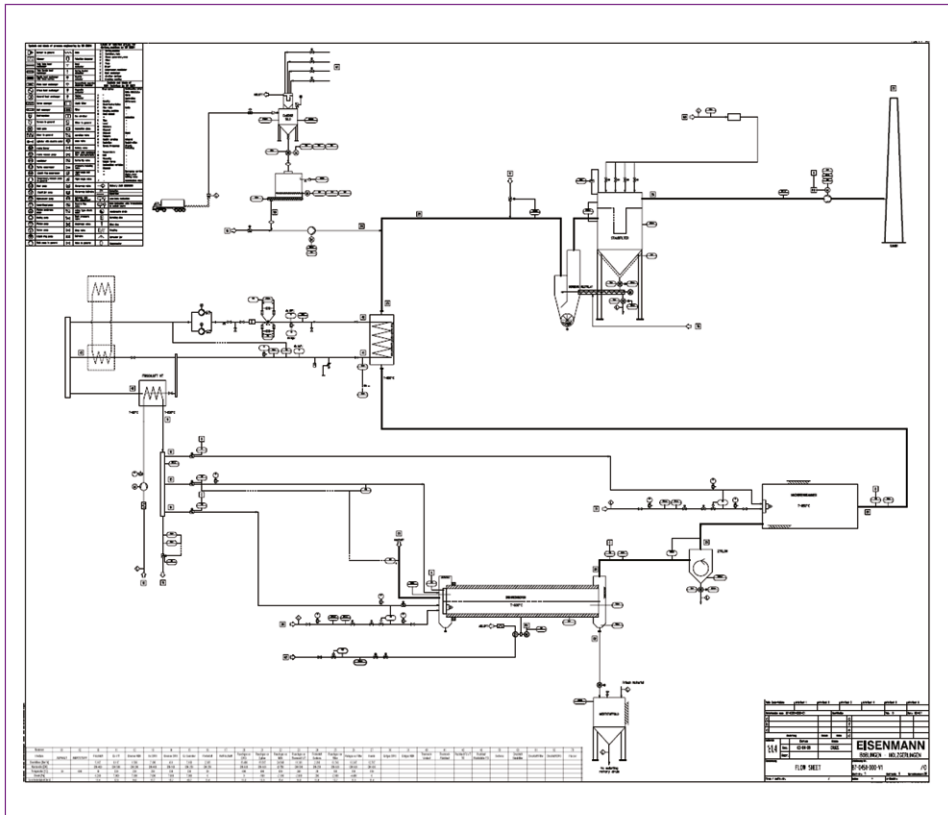


Bild 7: Grundfließbild des entwickelten Verfahrens

Baubefälle

3. Eignung des erzeugten Recyclingmaterials als Sekundärrohstoff

Neben dem Nachweis, dass das durch das entwickelte Verfahren aus teerhaltigem Straßenaufbruch erzeugte Mineralgemisch den Z0-Kriterien der LAGA M 20 entspricht, war es darüber hinaus von Interesse, eine Aussage über die Eignung des erzeugten Recycling-Materials in Hinblick auf seinen Einsatz z.B. im Straßenbau zu bekommen. Eine entsprechende Untersuchung eines beauftragten Landesamtes (Brandenburg) ergab, dass das thermisch behandelte Material gemäß BTR RC-StB 2004¹ für die Herstellung von Frostschutzschichten sowie Schottertragschichten geeignet ist. Darüber hinaus wurde bestätigt, dass das erzeugte Recyclingmaterial nach Anhang F der TL Gestein-StB 04/07² zur Herstellung von Asphalttragschichten geeignet ist.

Als weiteres Kriterium für die Eignung von Mineralgemisch für z.B. den Einsatz im Straßenbau gilt der sogenannte *Los-Angeles-Test*, bei dem es sich um ein mechanisches Prüfverfahren zur Ermittlung der Widerstandfestigkeit von Gesteinskörnungen handelt. Dabei wird unter definierten Bedingungen eine definierte Probenmenge an Mineralgemisch hinsichtlich seines Widerstands gegen Verschleiß und seines Widerstands gegen Zertrümmerung untersucht [4]. Eine hierzu nach [4] extern durchgeführte Untersuchung durch ein zugelassenes Prüfinstitut ergab das im Bild 8 als Zusammenfassung dargestellte Ergebnis.

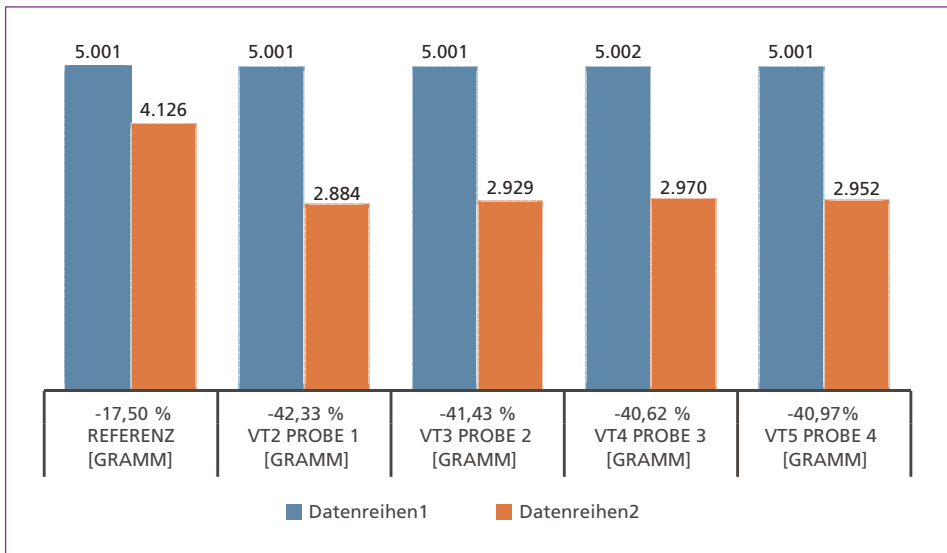


Bild 8: Gewichtsverlust durch Reibung bei dem erzeugten Recycling-Mineralgemisch (*Los-Angeles-Test*)

¹ Brandenburgische Technische Richtlinien für die Verwertung von Recycling-Baustoffen im Straßenbau; Herstellung, Prüfung, Auslieferung und Einbau (BTR RC-StB)

² Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau; TL Gestein-StB 04/07

Die Untersuchungen von vier unterschiedlichen Proben haben gezeigt, dass das thermisch erzeugte Recycling-Mineralgemisch bei den nach [4] definierten Prüfbedingungen im Schnitt einen Gewichtsverlust von etwa 41 % aufweist, während nicht thermisch behandeltes Referenzmaterial unter gleichen Bedingungen nur einen Gewichtsverlust von 17,5 % aufweist.

Es zeigt sich damit, dass das thermisch behandelte Material an seinen Partikelkanten im Vergleich zu unbehandeltem Material durch den Prozess eine Versprödung erfährt, die dazu führt, dass unter Prüfbedingungen ein im Vergleich zur Referenzsubstanz erhöhter Feinkornanteil und damit Gewichtsverlust erzeugt wird. Trotzdem ist das erzeugte Recycling-Mineralgemisch, wie oben dargestellt, für den Einsatz in Frostschuttschichten, Schottertragschichten sowie Asphalttragschichten geeignet (s.o.).

4. Ausarbeitung des Anlagenkonzepts

Diskussionen mit potentiellen Kunden sowie entsprechenden Landesämtern hatten gezeigt, dass das entwickelte und mit dem Umwelttechnikpreis-Baden-Württemberg ausgezeichnete Verfahren aufgrund der integrierten Wärmerückgewinnung und der daraus resultierenden hohen Investitionskosten keine Marktakzeptanz gefunden hatte. Andererseits wies der Bundesrechnungshof im Jahr 2014 darauf hin, dass es möglich ist, die organischen Bestandteile im teerhaltigen Straßenaufbruch nahezu rückstandsfrei zu verbrennen [5]. Zur Verdeutlichung dieser Aussage ist nachfolgend ein Auszug aus dieser Unterrichtung des Bundesrechnungshofs abgebildet.

5 Bund sollte keine krebserregenden Stoffe mehr in seine Straßen einbauen

Straßen enthalten teilweise krebserregende teer- oder pechhaltige Bindemittel. Diese werden bei Straßenerneuerungen wiederverwendet. Das ist weder ökologisch noch wirtschaftlich sinnvoll. Stattdessen wäre es möglich, die krebserregenden Substanzen nahezu rückstandsfrei zu verbrennen (thermisches Verfahren).

Die Wiederverwertung führt nicht nur dazu, dass die als gefährlicher Abfall eingestuft Substanzen im Wirtschaftskreislauf erhalten bleiben. Schon jetzt liegt die Gesamtmenge bei etwa 1 000 Millionen Tonnen. Bei jeder Wiederverwertung vermehrt sich die kontaminierte Menge, wenn sich der alte Straßenaufbau mit bisher unbelasteten Schichten vermischt um über 30 %.

Hinzu kommt, dass einige Länder ihren krebserregenden Abfall in Bundesstraßen einbauen. Dies führt zu künftigen finanziellen Belastungen des Bundes, weil der Bund für die spätere Wiederaufbereitung oder Entsorgung zuständig ist. Schon jetzt liegen diese Lasten bei etwa 1,1 Mio. Euro. Das BMVI wirkte dem bisher nicht hinreichend entgegen. So ließ es sich Statistiken der Länder über Aus- und Einbaumengen des gefährlichen Abfalls (sog. Mengenzuflüsse) nicht rechtzeitig und vollständig vorlegen.

Gegenwärtig droht, dass die kontaminierte Abfallmenge ständig steigt und den Bundeshaushalt in Zukunft immer höher belasten wird. Der Bundesrechnungshof hält es daher für sachgerecht, dass das BMVI künftig auf die Wiederverwertung des krebserregenden Abfalls verzichten will. Er hat das BMVI aufgefordert, seine Fachaufsicht über die Straßenbauverwaltungen der Länder mit dem gebotenen Nachdruck wahrzunehmen, um Lastenverschiebungen von den Ländern auf den Bund entgegenzuwirken oder diese auszugleichen.

Bild 9: Auszug aus der Unterrichtung des Bundesrechnungshofs, Drucksache 18/21220

Quelle: Unterrichtung durch den Bundesrechnungshof, Drucksache 18/1220 vom 29.04.2014

Damit zeigte sich, dass es grundsätzlich einen Bedarf an entsprechenden thermischen Anlagen gibt, woraufhin das ursprüngliche Verfahren in Bezug auf Kosten und Anlagenkomplexität optimiert wurde.

Das so weiter entwickelte Anlagenkonzept ist in Bild 10 als vereinfachtes Grundfließbild gezeigt.

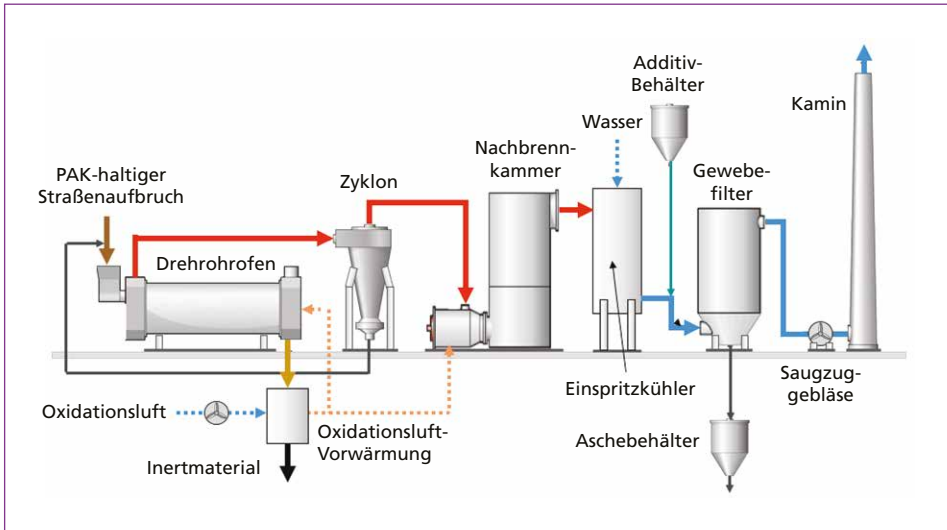


Bild 10: Vereinfachtes Grundfließbild des erarbeiteten Anlagenkonzepts

Die ursprüngliche Konzeption des direkt befeuerten Vollstahl-Drehrohrofens mit nachgeschaltetem Zyklon zur Vorentstaubung der Abgase vor ihrem Eintritt in die Nachbrennkammer wurde beibehalten, während in Prozessrichtung gesehen nach der Nachbrennkammer bei diesem Konzept auf eine Wärmerückgewinnung aus Kosten- und Akzeptanzgründen verzichtet wurde. Die aus der Nachbrennkammer austretenden Abgase werden in einem Einspritzkühler durch die Vollverdampfung von eingedüstem Wasser auf die Betriebstemperatur der vorgesehenen trockenen Abgasreinigung abgekühlt. Im Schlauchfilter erfolgt die Reduzierung der Staubfracht gemäß dem einzuhaltenden Grenzwert der 17. BImSchV, sowie die entsprechende Reduzierung der sich im Prozess bildenden sauren Abgasbestandteile. Wie in Tabelle 1 zu erkennen ist, stellt Schwefel als Bestandteil im Binder bei der in Abstimmung mit Fachfirmen definierten Referenzzusammensetzung von teerhaltigem Straßenaufbruch die einzige säurebildende Komponente im Edukt dar, die sich hieraus bildende Schwefelsäure bzw. schwefelige Säure lassen sich sehr gut durch den Einsatz von handelsüblichen kalkbasierten Sorbentien abscheiden.

Da davon auszugehen ist, dass das im zum Einsatz kommenden Straßenaufbruch enthaltene Mineralgemisch Kalkstein enthält, und dass das thermisch rezyklierte Mineralgemisch wieder im Straßenbau zu Einsatz kommen soll, wurde auf eine Produktkühlung in Form von Wasserberieselung verzichtet und stattdessen ein Schüttgutkühler projektiert. In diesem Schüttgutkühler erfolgt eine teilweise Abkühlung des erzeugten Produkts bei gleichzeitiger Erwärmung der für den Prozess benötigten Verbrennungs-/Oxidationsluft, um so trotz der geringen Feuerungswärmeleistung der Gesamtanlage von etwa 8 MW der Vorgabe von §13 der 17. BImSchV *Wärmenutzung* Genüge zu tun.

Das erarbeitete Anlagekonzept wurde für eine Durchsatzleistung von etwa 10 t/h entwickelt, gleichzeitig wurde bei der projektierten Betriebsdauer pro Jahr die Saisonalität des Straßenbaus dahingehend berücksichtigt, dass nur von einer Jahresbetriebszeit von etwa 5.000 h/a ausgegangen wurde.

Eine grundsätzliche Kostenabschätzung ohne Berücksichtigung möglicher kundenspezifischer Forderungen z.B. vor- und/oder nachgeschaltete Verfahrensschritte oder Infrastrukturmaßnahmen ergab ein erforderliches Investitionsvolumen für einen Anlage mit einem Durchsatz von max. 12 t/h bzw. 50.000 t/a an teerhaltigem Mineralgemisch von etwa 5 Millionen EUR_{netto}.

Die entsprechende Anlage ist in Form einer vereinfachten Layout-Darstellung in Bild 11 gezeigt. Bei dieser 3D-Skizze wurde unter anderem auf die Darstellung des den verfahrenstechnisch bedingten Stahlbau nach oben abschließende Schleppdachs verzichtet, um die einzelnen Komponenten der Anlage besser erkennen zu können.



Bild 11:

3D-Skizze des ausgearbeiteten Anlagenkonzepts

Im Vordergrund der gezeigten Anlage befindet sich die Beschickungseinheit, in welche das Mineralgemisch bauseitig aufgegeben wird, dahinter befinden sich Drehrohrföhrer, Zyklon, Nachbrennkammer, Einspritzkühler, Filter und Kamin. Es ist vorgesehen, dass auch der Bereich der Eduktaufgabe in die Anlage unter einem Schleppdach angeordnet wird, um einen zusätzlichen Wassereintrag durch Niederschläge in das System zu vermeiden.

Unter Berücksichtigung der bereits genannten Investitionskosten für die Anlage in Höhe von etwa 5 Millionen EUR_{netto} sowie angenommenen Kosten von zusätzlichen 750.000 EUR_{netto} für bauseitige Infrastrukturmaßnahmen sowie einer zehnjährigen linearen Abschreibung, fünf Prozent Kapitalkosten und Einrechnen der entsprechenden Betriebskosten ergeben sich

Entsorgungskosten pro Tonne teerhaltigem Straßenaufbruch in Höhe von etwa 30 EUR_{netto}.

Hierzu addieren sich noch die entsprechenden Kosten für den Antransport des in der Anlage zu entsorgenden Straßenaufbruchs.

Vergleicht man diese ermittelten Kosten mit den marktüblichen Kosten für die Entsorgung von teerhaltigem Straßenaufbruch (Abfallschlüsselnummer 17 03 01), welche in Deutschland durchaus bei 85 EUR/t [1] liegen können, ohne das eine Angabe über die Art des entsprechenden Entsorgungsverfahrens gemacht werden, so zeigt sich das Potential des entwickelten Verfahrens.

5. Wettbewerbssituation und politische Randbedingungen

Wie bei fast allen Abfälle betreffenden Entsorgungsverfahren obliegt es dem Gesetzgeber, die entsprechenden Randbedingungen zu schaffen, die es ermöglichen, Verfahren nach dem Stand der Technik zu etablieren. Wie bereits vor über acht Jahren in [2] ausführlich dargestellt und vor drei Jahren erneut auch in [5] geschrieben, stellt die thermische Entsorgung von teerhaltigem Straßenaufbruch eine geeignete Lösung zur Entsorgung dieses Abfallstroms dar. Sie ist der Deponierung oder der Wiederverwendung des kontaminierten Materials im Straßenbau, welches aus Sicht des Autors einer *versteckten* Deponierung bei gleichzeitiger Verdünnung der Schadstoffkonzentration einhergehend mit der Erhöhung der kontaminierten Menge entspricht, deren Entsorgung in die Zukunft verlagert wird, deutlich überlegen.

Durch Schaffung geeigneter politischer Randbedingungen konnte in den Niederlanden eine große Anlage zum thermischen Recycling von teerhaltigem Straßenaufbruch gebaut werden (Bentum-Recycling), in welcher es jedoch aufgrund der hohen Prozesstemperaturen zur einer thermischen Beeinträchtigung der Qualität des erzeugten Mineralgemischs kommt.

Zur Zeit kann davon ausgegangen werden, dass die Entsorgungskosten bei der Bentum-Anlage im Bereich von > 40 EUR/t liegen.

Aufgrund von noch verfügbaren Deponiekapazitäten sowie dem fehlenden Bann der Deponierung von teerhaltigem Straßenaufbruch haben die Deponien die Möglichkeit, entsprechendes Material zu *Marktpreisen* anzunehmen. Hier tritt der Nachteil von thermischen Verfahren deutlich auf, die spezifischen Entsorgungskosten eines thermischen Prozesses können in den seltensten Fällen eine unter Kostengesichtspunkten wettbewerbsfähige Alternative zur Deponierung darstellen.

6. Fazit

Wie durch zahlreiche im Betrieb befindliche thermische Bodenreinigungsanlagen bereits gezeigt, lassen sich PAK-Kontaminationen eines Mineralgemischs, denn als ein solches lässt sich Boden auch beschreiben, sicher thermisch zerstören. Bei dem hier beschriebenen Verfahren und dem daraus resultierend entwickelten Anlagenkonzept ging es darum, ein prozesstechnisch sicheres Verfahren zu entwickeln, welches die thermische Beanspruchung des eingesetzten Mineralgemischs möglichst gering hält, aber trotzdem ein Produkt erzeugt, welches den Z0-Kriterien der LAGA M 20 entspricht.

Die seit über zehn Jahren andauernden Diskussionen mit Fachfirmen und auch behördlichen Stellen zeigen nach wie vor das grundsätzliche Interesse an einem thermischen Verfahren zur Entsorgung von teerhaltigem Straßenaufbruch. Gleichzeitig zeigen jedoch der *Stillstand* in Deutschland in Bezug auf die Entsorgung von teerhaltigem Straßenaufbruch sowie der seit Jahren erfolgreiche Betrieb einer für dieses Edukt konzipierten thermischen Anlage in den Niederlanden, dass es notwendig ist, dass seitens der Politik die entsprechenden Randbedingungen definiert werden müssen, die es Anlagenbauer und Anlagenbetreiber erlauben, solche Anlagen zu realisieren.

7. Quellen

- [1] Die grünen Engel: Preisliste, Stand 01.01.2014. www.diegruenenengel.com/sites/default/files/downloads/dge_preisliste_01.01.14_0.pdf
- [2] Doetsch, P; RWTH Aachen: Zukünftige Optionen der rechtskonformen, umweltverträglichen und ökonomischen Entsorgung (Verwertung und/oder Beseitigung) von teerhaltigem Straßenaufbruch in der Freien und Hansestadt Hamburg. Präsentation Hamburg am 09.11.2009
- [3] Niedersächsische Gesellschaft zur Endablagerung von Sonderabfall mbH: Übersicht über die Zuordnungswerte. <http://www.ngs-mbh.de/bin/pdfs/Zuordnungswerte.pdf>
- [4] Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 2: Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Zertrümmerung; Deutsche Fassung EN 1097-2:2010
- [5] Unterrichtung durch den Bundesrechnungshof, Drucksache 18/1220 vom 29.04.2014