



**Aufbereitung von Daten der Emissions-
erklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem
Jahre 2004 für die Verwendung bei der
UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung
Teilbericht Asphaltmischanlagen**

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 3707 42 103/ 01
UBA-FB 001332/1

**Aufbereitung von Daten der Emissions-
erklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem
Jahre 2004 für die Verwendung bei der
UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung**

Teilbericht Asphaltmischanlagen

von

Ludger Gronewäller
Müller-BBM GmbH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3883 verfügbar. Hier finden Sie auch die anderen Teilberichte dieses Forschungsvorhabens.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Email: info@umweltbundesamt.de
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet I 2.6 Emissionssituation
Robert Kludt

Dessau-Roßlau, Dezember 2009

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 0 0 1 3 3 2 / 1	2.	3.
4. Titel des Berichts Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung – Asphaltmischanlagen		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Gronewäller, Ludger		8. Abschlussdatum 13.02.2009
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Müller-BBM GmbH Robert-Koch-Straße 11 82152 Planegg		9. Veröffentlichungsdatum Dezember 2009
		10. UFOPLAN-Nr. 3707 42 103/ 01
		11. Seitenzahl 34+3 Seiten
		12. Literaturangaben 6
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau		13. Tabellen und Diagramme 24
		14. Abbildungen 6
		15. Zusätzliche Angaben Dieser Bericht entstand im Rahmen des F&E-Vorhabens „Aufbereitung von Daten der Emissionserklärungen gemäß 11. BImSchV aus dem Jahre 2004 für die Verwendung bei der UNFCCC- und UNECE-Berichterstattung“ (UFOPLAN FKZ 3707 42 103/ 01) und behandelt die Emissionen aus Asphaltmischanlagen. Die Ergebnisse zu anderen im selben Vorhaben untersuchten Quellgruppen / Industriebranchen werden in getrennten Berichten dargestellt.
16. Zusammenfassung Für Asphaltmischanlagen wurden Emissionsfaktoren (EF) für die Emissionsparameter Kohlenmonoxid (CO) und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) bestimmt. Aktivitätsrate ist die Produktionsmenge an Asphaltmischgut (in Tonnen Asphaltmischgut pro Jahr). Die Jahresproduktion in Deutschland liegt bei ca. 50-60 Mio. t Asphaltmischgut. Kohlenmonoxid aus Asphaltmischanlagen stammt aus der Gesteinstrocknung und Erwärmung in der Trockentrommel bzw. für Asphaltgranulat in der Paralleltrommel. Die genaue Ursache von geringfügigen PAH-Emissionen aus Asphaltmischanlagen in Deutschland ist derzeit nicht bekannt. Zur Bestimmung der Emissionsfaktoren wurden sowohl die Emissionserklärungen 2004 als auch Messergebnisse der Müller-BBM GmbH ausgewertet.		
17. Schlagwörter Emissionserklärungen, 11. BImSchV, Emissionen, Emissionsfaktoren, Asphaltmischanlagen, Kohlenmonoxid, PAH, PAK, Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Brennstoffeinsatz, Wärmebilanzrechnung		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 0 0 1 3 3 2 / 1	2.	3.
4. Report Title Evaluation of data from emissions declarations according to 11. BImSchV (11th ordinance to the German Federal Immission Control Act – BImSchG) of 2004 for use with UNFCCC and UNECE reports – Asphalt Mixing Plants		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Gronewäller, Ludger		8. Report Date 2009-02-13
6. Performing Organisation (Name, Address) Müller-BBM GmbH Robert-Koch-Straße 11 82152 Planegg Germany		9. Publication Date December 2009
		10. UFOPLAN-Ref. No. 3707 42 103/ 01
		11. No. of Pages 34+3 Pages
		12. No. of Reference 6
7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environment Agency) Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau Germany		13. No. of Tables, Diagrams 24
		14. No. of Figures 6
		15. Supplementary Notes This report is a product of the R&D project “Evaluation of data from emissions declarations according to 11. BImSchV (11th ordinance to the German Federal Immission Control Act – BImSchG) of 2004 for use with UNFCCC and UNECE reports” (UFOPLAN FKZ 3707 42 103/ 01) and covers emissions from asphalt mixing plants. Results on other source categories / industrial emissions covered in this same R&D project are presented in separate reports.
16. Abstract For asphalt mixing plants emission factors (EF) were determined for the emission parameters carbon monoxide (CO) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). The activity rate is accounted for the output of asphalt (asphalt in tons per year). The annual production in Germany is approximately 50-60 mio tons of asphalt. Carbon monoxide from asphalt mixing plants originates from rock desiccation and warming inside a drying drum or for asphalt granulate in parallel drums. The specific cause of insignificant PAH-emissions from asphalt mixing plants in Germany is currently not known. In order to determine the emission factors the Emissions Declarations 2004 as well as results of measurement carried out by Müller-BBM were analysed.		
17. Keywords Emissions Declarations, 11. BImSchV, emissions, 11th ordinance, Immission Control Act, emission factors, asphalt mixing plants, carbon monoxide, PHA, PAK, polycyclic aromatic hydrocarbons, fuel input, thermal balance calculation		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	2
2	Asphaltmischanlagen	3
2.1	Anzahl Anlagen in den Emissionserklärungen	3
2.2	Aktivitätsrate	5
2.3	Mittlere Mischleistung (Produktionsleistung)	5
2.4	Mittlerer Volumenstrom Kamin Asphaltmischanlage	7
2.5	Kohlenmonoxid	9
2.6	PAH	19
2.7	Weitere Detaillierungsmöglichkeiten	25
2.8	Brennstoffeinsatz in Asphaltmischanlagen	27
2.9	Prozessbedingte Emissionen	30
3	Zusammenfassung	33
4	Quellenverzeichnis	34

Anhang: Wärmebilanzrechnung Asphaltmischanlage

1 Aufgabenstellung

Zur Verbesserung der Emissionsberichterstattung sowie zur Verbesserung der Belastbarkeit und Überprüfbarkeit der Emissionsdaten wird seit dem Jahr 2003 die kontinuierliche Verbesserung über das Qualitätssystem Emissionen (QSE) betrieben.

Für einige Industrieprozesse (CRF Sektor 2) müssen Emissionen in das Inventar aufgenommen, modelliert, qualitätsgesichert und sowohl technisch als auch schriftlich berichtet werden, um den Anforderungen aus den internationalen Überprüfungsprozessen und dem Qualitätsmanagement zu genügen. Im Rahmen der internationalen Berichtspflichten müssen auf deutsche Verhältnisse zugeschnittene Emissionsfaktoren sowie Produktions-/ Aktivitätsraten mit den Unsicherheiten seit 1990 ermittelt und Emissionen berechnet werden.

Für folgende Unterkategorie sollten Emissionsfaktoren (EF) bestimmt werden:

Tabelle 1. Untersuchungsumfang AP3 weitere Quellgruppen

Kategorie / Bezeichnung	Parameter	Schadstoff	Bemerkung
2.A.5 Verwendung von Bitumen zur Dachdeckung	EF	CO, SO ₂ , PAH	Herstellungsprozess in Dachbahnenfabriken (Anlagen nach Nr. 5.4 der 4. BImSchV)
2.A.6 Straßenasphaltierung	EF	CO, PAH	Herstellungsprozess in Asphaltmischanlagen. (Anlagen nach Nr. 2.15, ggf. 10.4 der 4. BImSchV)
2.A.7 Keramik	EF	CO, Pb, Hg, Cd, Dioxine, PAH, HF, N ₂ O, CH ₄	(Anlagen nach Nr. 2.10 der 4. BImSchV)
2.D.1. Zellstoff- und Papierherstellung	EF	CO, SO ₂	(Anlagen nach Nr. 6.1, 6.2 der 4. BImSchV)
	EF, AR	alle relevanten Stoffe	Anlagen zur Tierkörperbeseitigung (Anlagen nach Nr. 7.12, ggf. 7.8, 7.9 der 4. BImSchV)
1.B.2 Öl- und Erdgas	EF	NMVOC, CH ₄	Lageranlagen (Anlagen nach Nr. 9.1, 9.2 der 4. BImSchV) ¹

¹ siehe auch Projekt "Inventarverbesserung 2008 – Verbesserung und Ergänzung der aktuellen Inventardaten IPCC-Kategorie 1.B.2 – Erdöl und Erdgas"

2 Asphaltmischanlagen

Für Asphaltmischanlagen² sind Emissionsfaktoren (EF) für die Emissionsparameter Kohlenmonoxid (CO) und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) zu bestimmen. Zugeordnete Unterkategorie im CRF ist hierbei:

2.A.6: Mineralische Produkte: Straßenasphaltierung

2.1 Anzahl Anlagen in den Emissionserklärungen

Für die Quellgruppe CRF 2 A 6 Herstellung von Asphaltmischgut wurden in den Emissionserklärungen 2004 folgende Anlagen nach 4. BImSchV abgefragt:

Tabelle 2: Abfrage nach 4. BImSchV für Asphaltmischgut

Nr. gemäß 4. BImSchV	CODE Nr. 4. BImSchV	Lang-Bezeichnung
2.15 Sp. 1	02.15.1	Anlagen zur Herstellung oder zum Schmelzen von Mischungen aus Bitumen oder Teer mit Mineralstoffen einschließlich Aufbereitungsanlagen für bituminöse Straßenbaustoffe und Teersplittanlagen mit einer Produktionsleistung von 200 Tonnen oder mehr je Stunde
2.15 Sp. 2	02.15.2	Anlagen zur Herstellung oder zum Schmelzen von Mischungen aus Bitumen oder Teer mit Mineralstoffen einschließlich Aufbereitungsanlagen für bituminöse Straßenbaustoffe und Teersplittanlagen mit einer Produktionsleistung von weniger als 200 Tonnen je Stunde
10.4 Sp. 2	10.4 Sp. 2	Anlagen zum Schmelzen oder Destillieren von Naturasphalt

Verwendet werden hier die Zuordnungen gemäß dem zum Zeitpunkt der Abgabe der Emissionserklärungen 2004 gültigen Stand der 4. BImSchV aus dem Jahre 2004³. Zwischenzeitlich wurde die 4. BImSchV novelliert (Neufassung vom 23.10.2007 (BGBl. I. S. 2470). Dabei sind die Anlagen nach Nr. 10.4 der 4. BImSchV weggefallen. Bei Anlagen nach Nr. 2.15 wurde die Aufteilung in Spalte 1 bzw. 2 mit einer Leistungsschwelle von 200 t/h fallen gelassen; nunmehr sind alle Asphaltmischanlagen der Spalte 2 zugeordnet.

Die Abfrage der Emissionserklärungen für die 16 Bundesländer ergab insgesamt 689 Anlagen oder Anlagenteile (AN). Die Verteilung auf die Nummern der 4. BImSchV sowie die einzelnen Bundesländer stellt sich wie folgt dar:

² Nummer 2.15 Spalte 2 des Anhangs zur 4. BImSchV : Anlagen zur Herstellung oder zum Schmelzen von Mischungen aus Bitumen oder Teer mit Mineralstoffen, ausgenommen Anlagen, die Mischungen in Kaltbauweise herstellen, einschließlich Aufbereitungsanlagen für bituminöse Straßenbaustoffe und Teersplittanlagen

³ 4. BImSchV in der Fassung vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 504), zuletzt geändert am 6. Januar 2004 (BGBl. I S. 2, 19)

Tabelle 3: Anzahl der Anlagen für Asphaltmischanlagen

Bundes- land	Nr. 4. BImSchV		
	0215.1	0215.2	1004.2
BB	14	33	
BE	1	3	
BW	11	55	
BY	17	127	
HB	1	2	
HE	11	42	
HH	3	1	
MV	5	12	
NI	9	38	
NW	18	74	
RP	7	40	1
SH	7	12	
SL	2	3	
SN	14	51	
ST	10	29	
TH	6	30	
Gesamt	136	552	1

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb,
 Abfragedatenbank Stand 13.02.2009: EE-Emissionserklärungen_2009.02.13.mdb;
 Abfrage: 2_Anlagen_Anzahl_relevante_Anlagen)

Dabei handelt es sich fast ausschließlich um Asphaltmischanlagen, wie sich auch aus der Einsicht in die Tabelle „Anlagen“ (Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb) ergibt. Als Anlagenteile werden lediglich ausgewiesen:

Tabelle 4: Anzahl der Anlagen für Asphaltmischanlagen (als Nebenanlage AN)

Bundes- land	Nr. 4. BImSchV		
	0215.1	0215.2	1004.2
Gesamt	2	4	1

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb,
 Abfragedatenbank Stand 13.02.2009: EE-Emissionserklärungen_2009.02.13.mdb;
 Abfrage: 2c_Anlagen_Anzahl_relevante_Anlagen_nur_AN)

Für die Anlagengruppe 1004.2 ergibt sich lediglich ein Treffer; aus der Tabelle „Anlagen“ (Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb) für einen Naturasphalt-Lagertank als Nebenanlage einer Asphaltmischanlage nach 0215.2.

2.2 Aktivitätsrate

Aktivitätsrate ist die Produktionsmenge an Asphaltmischgut (in Tonnen Asphaltmischgut pro Jahr). Die jährliche Asphaltproduktion kann beim Deutschen Asphaltverband DAV [1] erfragt werden.

2.3 Mittlere Mischleistung (Produktionsleistung)

Wesentliche Kenngröße einer Asphaltmischanlage ist die Mischleistung (Produktionsleistung an Asphaltmischgut), in t/h. Die mittlere Mischleistung lässt sich aus den Emissionserklärungsdaten bestimmen.

Die Verteilung der Produktionsleistungen (Mischleistung) in Tonnen Asphaltmischgut pro Stunde ist nachfolgend dargestellt:

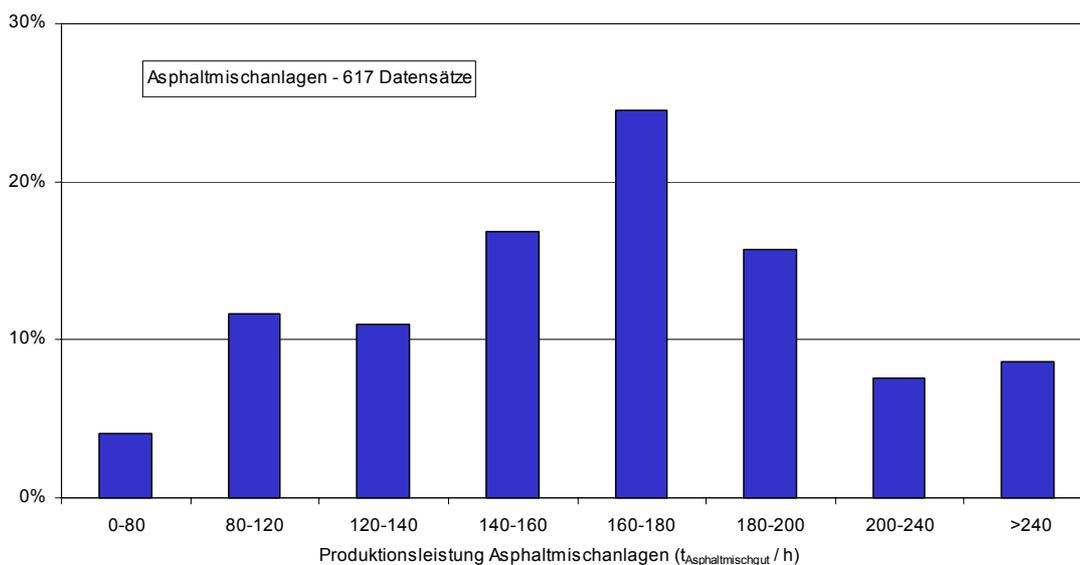


Abbildung 1. Produktionsleistung Asphaltmischanlagen

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb, Abfragedatenbank Stand 13.02.2009: EE-Emissionserklärungen_2009.02.13.mdb; Abfrage: 8a_Aspaltmischanlagen_Anlagen Auswertung: 1_Aspaltmischanlagen_Mischleistung_2009.02.13.xls)

Auf Basis von 617 validen ⁴ Datensätzen (von insgesamt 688) ergibt sich eine mittlere Mischleistung von 159 t/h als Mittelwert sowie ein Median von 160 t/h. Dieses entspricht

⁴ Bei der Bestimmung der mittleren Mischleistung aus den Emissionserklärungen sind ungültige Datensätze auszuschließen, z.B. mit der Eintragung einer Mischleistung = 0 t/h, einer anderen verwendeten Einheit, einer Anlagenbezeichnung z.B. als Gußasphaltnlage.

einer üblichen durchschnittlichen Mischleistung für Bestandsanlagen. Verwendet wird der Median mit 160 t/h ⁵.

Tabelle 5: Ermittlung der mittleren Produktionsleistung (Mischleistung) von Asphaltmischanlagen aus den Emissionserklärungen

Mischleistung Asphaltmischanlagen		Emissions- erklärungen 2004
Anzahl Datensätze in den Emissionserklärungen für Anlagen nach 0215.1, 0215.2		688
davon valide Datensätze (nach Ausschluss offensichtlich unrichtiger Eintragungen)		617
Mittelwert Mischleistung	$t_{\text{Asphalt}} / \text{h}$	159
Median Mischleistung	$t_{\text{Asphalt}} / \text{h}$	160
2,5 %-Perzentil	$t_{\text{Asphalt}} / \text{h}$	60
97,5 %-Perzentil	$t_{\text{Asphalt}} / \text{h}$	250
Standardabweichung	$t_{\text{Asphalt}} / \text{h}$	56
Berichtete Mischleistung	$t_{\text{Asphalt}} / \text{h}$	160

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb,
 Abfragedatenbank Stand 13.02.2009: EE-Emissionserklärungen_2009.02.13.mdb;
 Abfrage: 8a_Aspaltmischanlagen_Anlagen;
 Auswertung: 1_Aspaltmischanlagen_Mischleistung_2009.02.13.xls)

Ausschlusskriterien für Datensätze

Bei der Auswertung werden einzelne Datensätze nach Einzelprüfung ausgeschlossen nach folgenden Kriterien:

- Offensichtlich unrichtige Eintragungen im Feld „Leistung_Maßzahl“, insbesondere Eintragungen mit Maßzahl „0“.
- Relevant und gesucht ist die Leistungseinheit t/h, d.h. die Mischleistung der Anlage. Unplausible Eintragungen im Feld „Leistung_Einheit“, hier:
 - „0“
 - kg/h
 - (k.A.)
 - geheim
 - kW
 - t/a
 - t/d
 - MW
 werden daher ausgeschlossen.
- Relevant und gesucht ist die Mischleistung (Produktionsleistung). Ausgeschlossen werden daher ebenfalls andere Bezugsgrößen im Feld „Leistung_Bezug“ wie folgt:
 - geheim

⁵ Mittelwert nach Ausschluss nicht valider Datensätze: 159 t/h. Median 160 t/h.

- Bitumen
- Bitumenemulsion
- Brennerleistung
- Bitumenfolie
- Feuerungswärmeleistung

Insgesamt werden 71 Datensätze ausgeschlossen.

2.4 Mittlerer Volumenstrom Kamin Asphaltmischanlage

Eine weitere Kenngröße für die Ermittlung der Emissionsfaktoren ist der Volumenstrom der Hauptemissionsquelle einer Asphaltmischanlage (Kamin), in m^3/h (i.N.tr.).

Der mittlere Volumenstrom lässt sich aus den Emissionserklärungsdaten bestimmen.

Die Verteilung der Volumenströme für den Kamin der Asphaltmischanlage ist nachfolgend dargestellt:

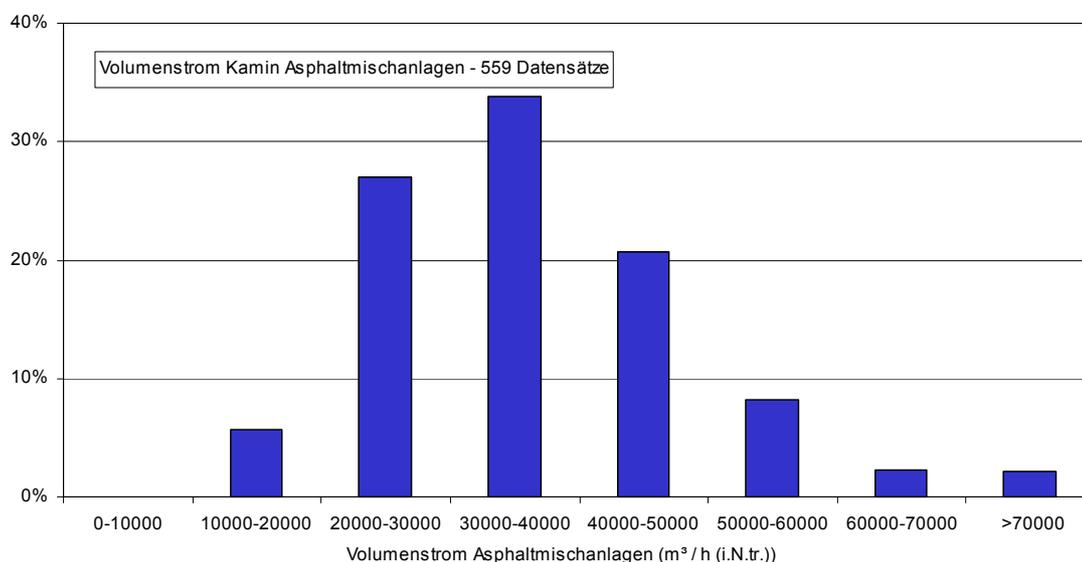


Abbildung 2. Volumenstrom Kamin Asphaltmischanlagen

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb,
Abfragedatenbank Stand 13.02.2009: EE-Emissionserklärungen_2009.02.13.mdb;
Abfrage: 8b_Aspaltmischanlagen_Emissionen_Kamin;
Benutzte Tabelle in Abfragedatenbank: Tabelle_0215_Quellgruppierungsliste
Auswertung: 2_Aspaltmischanlagen_Volumenstrom_2009.02.13.xls)

Typische Volumenströme bei Emissionsmessungen liegen bei $40.000 \text{ m}^3/\text{h}$ (i.N.tr.). Werte unter $10.000 \text{ m}^3/\text{h}$ sind höchstwahrscheinlich falsch eingetragen und werden ausgeschlossen. Volumenströme über $60.000 \text{ m}^3/\text{h}$ sind mit hoher Wahrscheinlichkeit Falscheintragungen, bei denen versehentlich der Betriebsvolumenstrom (i.B. in Betrieb) anstelle des trockenen Normvolumenstroms (i.N.tr. im Normzustand trocken) eingetragen wurde. Aufgrund der Verteilung fallen diese Ausreißer nach unten ($< 15.000 \text{ m}^3/\text{h}$) und oben ($> 60.000 \text{ m}^3/\text{h}$) allerdings nur wenig ins Gewicht.

Auf Basis von 559 validen ⁶ Datensätzen (von insgesamt 838 ⁷) für Emissionen aus dem Kamin der Mischanlage ergibt sich ein mittlerer Volumenstrom von 36.408 m³/h (i.N.tr.) als Mittelwert sowie ein Median von 34.956 m³/h (i.N.tr.). Dieses entspricht üblichen durchschnittlichen Volumenströmen für Bestandsanlagen. Verwendet wird ein gerundeter Volumenstrom von 36.000 m³/h (i.N.tr.).

Tabelle 6: Ermittlung des mittleren Volumenstroms von Asphaltmischanlagen

Volumenstrom		Emissions- erklärungen 2004
Anzahl Datensätze in den Emissionserklärungen für Anlagen nach 0215.1, 0215.2		838
davon valide Datensätze (nach Ausschluss offensichtlich unrichtiger Eintragungen, z.B. Volumenstrom 0)		559
Mittelwert Volumenstrom	m ³ /h (i.N.tr.)	36.408
Median Volumenstrom	m ³ /h (i.N.tr.)	34.956
2,5 %-Perzentil	m ³ /h (i.N.tr.)	15.723
97,5 %-Perzentil	m ³ /h (i.N.tr.)	68.112
Standardabweichung Volumenstrom	m ³ /h (i.N.tr.)	12.902
Berichteter Volumenstrom	m³/h (i.N.tr.)	36.000

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb,
Abfragedatenbank Stand 13.02.2009: EE-Emissionserklärungen_2009.02.13.mdb;
Abfrage: 8b_Aspaltmischanlagen_Emissionen_Kamin;
Benutzte Tabelle in Abfragedatenbank: Tabelle_0215_Quellgruppierungsliste
Auswertung: 2_Aspaltmischanlagen_Volumenstrom_2009.02.13.xls)

Ausschlusskriterien für Datensätze

Bei der Auswertung werden einzelne Datensätze nach Einzelprüfung ausgeschlossen nach folgenden Kriterien:

- Offensichtlich unrichtige Eintragungen im Feld „Volumenstrom“, hier Eintragungen mit Maßzahl „0“.
- Unplausibel niedrige Volumenströme < 10.000 m³/h
- Offensichtliche Falschzuordnungen

Insgesamt werden 279 Datensätze ausgeschlossen.

⁶ Bei der Bestimmung des mittleren Volumenstroms aus den Emissionserklärungen sind ungültige Datensätze auszuschließen, z.B. mit der Eintragung eines Volumenstroms = 0 m³/h. Weiter werden unplausibel niedrige Volumenströme < 10.000 m³/h sowie offensichtliche Falschzuordnungen (z.B. Verladung) ausgeschlossen.

⁷ Aufgrund von Fehlzuordnungen ergeben sich hier insgesamt mehr Treffer als für die mittlere Mischleistung.

2.5 Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid aus Asphaltmischanlagen stammt aus der Gesteinstrocknung und Erwärmung in der Trockentrommel bzw. für Asphaltgranulat in der Paralleltrommel.

2.5.1 Emissionserklärungen 2004

In den Emissionserklärungen 2004 sind für Asphaltmischanlagen (0215.1, 0215.2 sowie 1004.2) insgesamt 1103 Treffer für Kohlenmonoxid CO beinhaltet:

Tabelle 7: Anzahl der Emissionsmeldungen (Stoffgruppen) für CO aus Anlagen/Nebenanlagen nach Nr. 2.15

Gruppe_Stoff_Bez	Anzahl	0215_1	0215_2	1004_2
Kohlenmonoxid	1103	233	867	3

Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb,
Abfragedatenbank Stand 13.02.2009: EE-Emissionserklärungen_2009.02.13.mdb;
Abfrage: 3c_Anzahl_relevante_Stoffgruppen_für_relevante_Anlagen)

Die Zahl der Treffer (1103) korreliert mit der Anzahl der Asphaltmischanlagen (689 Asphaltmischanlagen, vgl. Kap. 2.1) unter Berücksichtigung des Sachverhaltes, dass ein Teil der Anlagen noch mit alten Thermalöl-Heizaggregaten ausgestattet ist. Für diese Anlagen mit Thermalöl-Heizaggregat sind jeweils für zwei EBV⁸ Emissionen an CO zu erwarten.

Die Auswertung erfolgt hier auf Basis der Jahresemission jeder Anlage (= Arbeitsstättennummer). Die Jahresemission an CO wird dann bezogen auf die Jahresproduktionsmenge an Asphaltmischgut. Bei Asphaltmischanlagen ist diese Größe in der Emissionserklärungstabelle GHS (Gehandhabte Stoffe) identifizierbar (Stoff-Nr. Kennung: 8254, sowie der Verwendungsart 3 als Produkt). Bei eindeutiger Zuordnung der Emissionswerte (Tabelle Emissionen) auf die Datensätze mit einer Produktionsmengenangabe (Tabelle GHS) resultieren 469 Datensätze.

Die auf Einzeldatenbasis gebildeten Emissionsfaktoren schwanken stark, einzelne Ausreißer streuen bis zu einem Wert von 16,69 kg/t. Emissionsfaktoren über 1,5 kg_{CO}/t_{Asphalt} sowie Datensätze mit einer Jahrefracht von weniger als 10 kg_{CO}/a wurden bei der Auswertung als unplausibel ausgeschlossen, so dass insgesamt 456 Datensätze verbleiben.

Die auf Basis dieser Einzeldaten gebildeten Emissionsfaktoren sind, klassiert in logarithmischer Skalierung, in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

⁸ Emissionsverursachender Betriebsvorgang

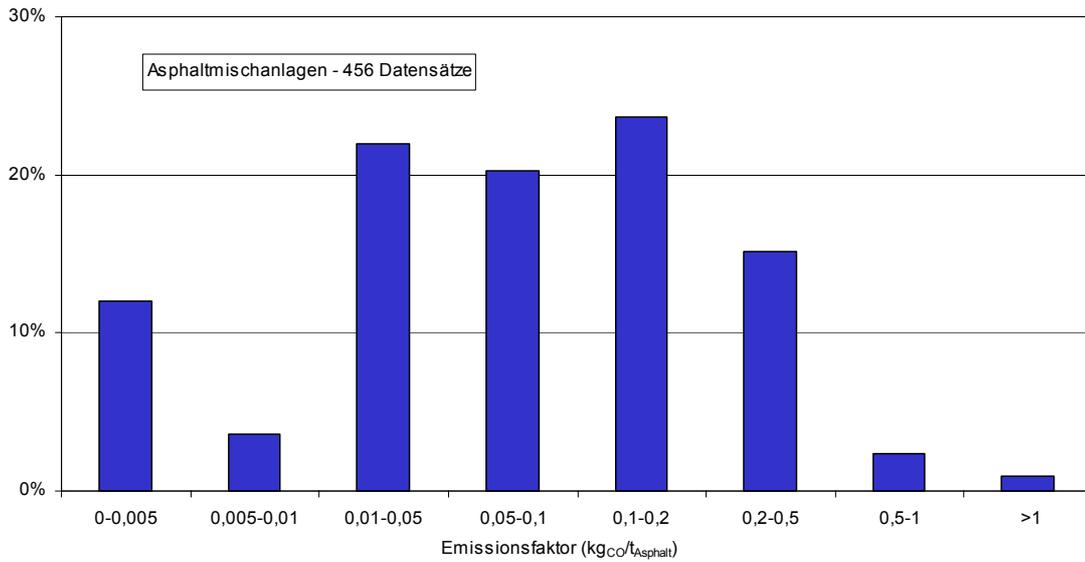


Abbildung 3. Emissionsfaktor CO aus den Datensätzen der Emissionserklärungen, gebildet aus der Jahresemission an CO sowie der Jahresproduktionsmenge an Asphaltmischgut, pro Anlage (3_Aspaltmischanlagen_CO_Emissionsfaktor_2009.02.13.xls)

Der relevante Bereich bis 0,2 kg/t ist in der nachfolgenden Grafik abgebildet:

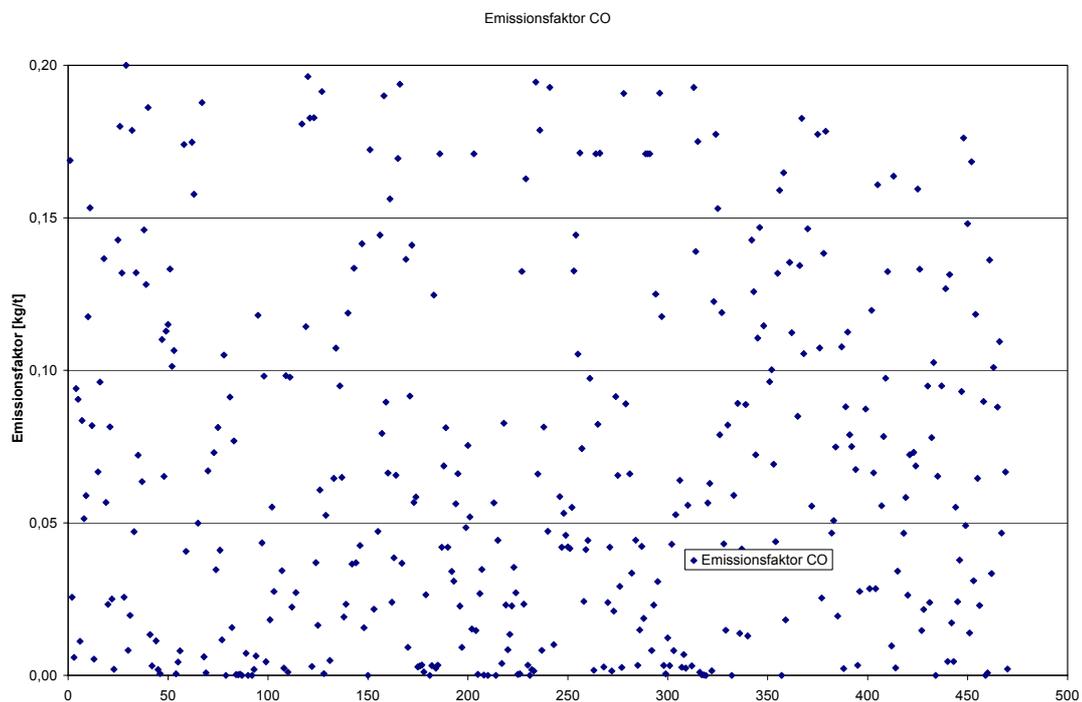


Abbildung 4. Emissionsfaktor CO aus den Datensätzen der Emissionserklärungen, gebildet aus der Jahresemission an CO sowie der Jahresproduktionsmenge an Asphaltmischgut, pro Anlage (Datei: 3_Aspaltmischanlagen_CO_Emissionsfaktor_2009.02.13.xls)

Als zusätzliche Informationen werden noch die mittlere Mischguttonnage pro Jahr (Jahresproduktion) sowie die mittlere Kohlenmonoxid-Jahresemissionen erfasst. Die ermittelte Jahresproduktion ist ein plausibler Wert für Asphaltmischanlagen.

Tabelle 8: Mittelwert Mischguttonnage sowie der Jahresemission CO aus den Emissionserklärungen, für Asphaltmischanlagen

	Emissions- erklärungen 2004
Anzahl Datensätze	456
Mittelwert Tonnage Asphaltmischgut pro Anlage t_{Asphalt} / a	73.613
Mittelwert Jahresemission CO pro Anlage kg_{CO} / a	8.398

(Datei: 3_Aspaltmischanlagen_CO_Emissionsfaktor_2009.02.13.xls)

In der Gesamtsumimation über alle 456 validen Datensätze ergibt sich für den Median bzw. den Mittelwert des CO-Emissionsfaktors:

Tabelle 9: Zusammenfassung der Emissionsfaktorbestimmung für CO aus den Emissionserklärungen, für Asphaltmischanlagen

Emissionsfaktor CO aus Emissionserklärungen	Emissions- erklärungen 2004
Anzahl Datensätze	456
Mittelwert Emissionsfaktor CO: $kg_{\text{CO}} / t_{\text{Asphalt}}$	0,13
Median Emissionsfaktor CO: $kg_{\text{CO}} / t_{\text{Asphalt}}$	0,08
2,5 %-Perzentil $kg_{\text{CO}} / t_{\text{Asphalt}}$	0,005
97,5 %-Perzentil $kg_{\text{CO}} / t_{\text{Asphalt}}$	0,55
Standardabweichung $kg_{\text{CO}} / t_{\text{Asphalt}}$	0,17

(Datei: 3_Aspaltmischanlagen_CO_Emissionsfaktor_2009.02.13.xls)

Die statistischen Größen 2,5 %-Perzentil, 97,5 %-Perzentil sowie Standardabweichung zeigen die starke Schwankung der die einzelnen Anlagen ermittelten Emissionsfaktoren, wie auch in der Abbildung 4 erkennbar. Hieraus erklärt sich auch die Abweichung von Median und Mittelwert. Ursächlich ist hier im wesentlichen die tatsächlich starke Schwankung messtechnisch ermittelter Konzentrationswerte für Kohlenmonoxid (vgl. auch das nachfolgende Kapitel).

2.5.2 Unsicherheit Emissionsfaktor CO aus Emissionserklärungen

Die statistischen Kenngrößen

- Mittelwert
- Median
- 2,5%-Perzentil

- 97,5%-Perzentil
- Standardabweichung

für die aus den Datensätzen der Emissionserklärungen abgeleiteten anlagenspezifischen Emissionsfaktoren sind in Kap. 2.5.1 enthalten. Hieraus lässt sich die Schwankung des 95%-Konfidenz-Intervalls in Bezug auf den jeweils berichteten Wert berechnen⁹.

Zusätzlich zur Streuung der anlagenspezifischen Emissionsfaktoren werden zur Abschätzung der Gesamt-Unsicherheit des CO-Emissionsfaktors für das Emissionsinventar weitere Dimensionen der Unsicherheit durch Abschätzung berücksichtigt:

- Repräsentativität der Messkampagnen für durchschnittliche, nicht maximale Emissionsverhältnisse
- Übertragung der Messwerte in die Emissionserklärung
- Messunsicherheit (schadstoffspezifisch)
- Zuordnung der Datensätze zur ZSE-Quellgruppe

Tabelle 10: Gesamtunsicherheit (95%-Konfidenzintervall) der Bestimmung des CO-Emissionsfaktors aus den Emissionserklärungen

		Emissions- erklärungen 2004
Streuung der anlagenspezifischen Emissionsfaktoren der Emissionserklärungen	%	- 99,5 % + 447,9 %
Repräsentativität der Messkampagnen (Schätzwert)	%	± 50 %
Übertragung der Messwerte in die Emissionserklärung (Schätzwert)	%	± 10 %
Messunsicherheit (schadstoffspezifisch) (Schätzwert)	%	± 5 %
Zuordnung der Datensätze zur ZSE-Quellgruppe (Schätzwert)	%	± 0 %
Gesamtunsicherheit^{*)} (Lognormal-Verteilung)	%	- 100,0 % + 450,8 %
<small>* Multiplikative Verknüpfung gemäß IPCC 2006 Guidelines [6], Gleichung 3.1 (Seite 3.28)</small>		

Details: 3_Aspaltmischanlagen_CO_Emissionsfaktor_2009.02.13.xls

⁹ Untere Grenze des 95%-Konfidenz-Intervalls, relativ zum berichteten Wert: (2,5%-Perzentil – berichteter Wert) / berichteter Wert
 Obere Grenze des 95%-Konfidenz-Intervalls, relativ zum berichteten Wert: (97,5%-Perzentil – berichteter Wert) / berichteter Wert

Die Gesamtunsicherheit wird dabei durch die starke Schwankung der Messwerte dominiert

2.5.3 Emissionsmessungen Müller-BBM

Für Kohlenmonoxid (CO) liegen Messdaten aus 777 Emissionsmessungen zwischen den Jahren 1995 und 2005 für die Hauptquelle (Kamin der Asphaltmischanlage) vor¹⁰.

Die Messergebnisse ergeben für CO einen Maximalwert von 4.000 mg/m³.

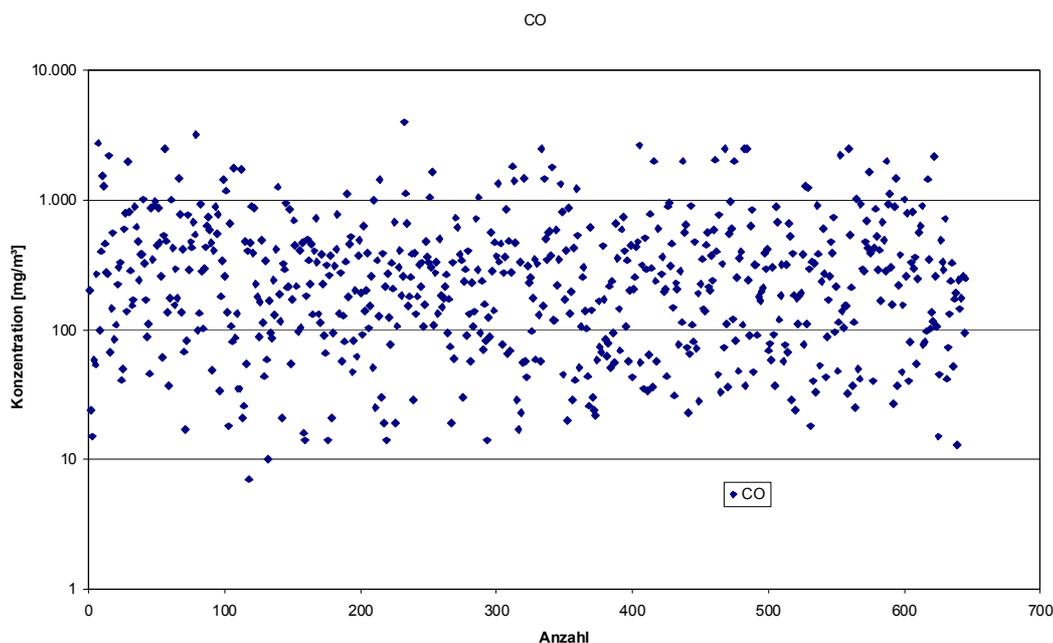


Abbildung 5. Kohlenmonoxid-Konzentration der Einzelwerte aus Messergebnissen der Müller-BBM GmbH, Auswertedatei: 5_Aspaltmischanlagen_CO_Konzentration_(MBBM)_2009.02.13.xls)

Die vorliegenden Konzentrationsdaten schwanken stark. Die meisten Daten liegen zwischen 10 mg/m³ und 1000 mg/m³. Als Folge der Schwankung ist die ermittelte Standard-Abweichung als Maß für die Unsicherheit höher als der Mittelwert.

Ein zeitlicher Trend ist aus den vorliegenden Datensätzen nicht zu erkennen.

Als Median ergibt sich eine Konzentration von 225 mg/m³. Der Mittelwert liegt aufgrund von Ausreißern¹¹ nach oben bei 377 mg/m³, unterscheidet sich aber nicht um Größenordnungen vom Median.

¹⁰ Messergebnisse für die CO-relevante Nebenquelle Thermalöl-Heizaggregat liegen ebenfalls vor, werden aber im folgenden vernachlässigt, da diese Emissionsquelle nur von untergeordneter Bedeutung ist.

¹¹ Bei diesen Ausreißern handelt es sich um tatsächlich gemessene sehr hohe Emissionskonzentrationen für CO

In der nachfolgenden Abbildung sind die Emissionswerte der beiden herangezogenen Datenquellen (Emissionserklärungen 2004, Messergebnisse Müller-BBM) zusammengefasst.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse zusammengefasst:

Tabelle 11: Zusammenfassung der Emissionswerte aus den Datenquellen (Kamin Mischanlage)

Konzentration CO	Emissions- erklärungen 2004	Mess- ergebnisse Müller-BBM
Anzahl Datensätze	542	777
davon valide Datensätze	487	777
Mittelwert Konzentration CO mg _{CO} /m ³	321	377
Median Konzentration CO mg _{CO} /m ³	231	225
Berichtete Konzentration CO mg_{CO}/m³		375
2,5 %-Perzentil mg _{CO} /m ³	1,7	19
97,5 %-Perzentil mg _{CO} /m ³	1.085	1.954
Standardabweichung mg _{CO} /m ³	396	476

Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb,
 Abfragedatenbank Stand 13.02.2009: EE-Emissionserklärungen_2009.02.13.mdb;
 Abfrage: 8d_Aspaltmischanlagen_Emissionen_Kamin
 Dateien: 5_Aspaltmischanlagen_CO_Konzentration_(MBBM)_2009.02.13.xls,
 4_Aspaltmischanlagen_CO_Konzentration_(EE)_2009.02.13.xls)

Für die Bestimmung des Emissionsfaktors wird der Mittelwert auf Basis der Messergebnisse der Müller-BBM GmbH zugrunde gelegt, gerundet zu **375 mg/m³**.

2.5.4 Unsicherheit Konzentration CO

Die statistischen Kenngrößen

- Mittelwert
- Median
- 2,5%-Perzentil
- 97,5%-Perzentil
- Standardabweichung

für die aus den Datensätzen der Emissionserklärungen abgeleiteten CO-Konzentrationen sind in Kap. 2.5.3 enthalten. Hieraus lässt sich die Schwankung des 95%-Konfidenz-Intervalls in Bezug auf den jeweils berichteten Wert berechnen ¹².

¹² Untere Grenze des 95%-Konfidenz-Intervalls, relativ zum berichteten Wert: (2,5%-Perzentil – berichteter Wert) / berichteter Wert
 Obere Grenze des 95%-Konfidenz-Intervalls, relativ zum berichteten Wert: (97,5%-Perzentil – berichteter Wert) / berichteter Wert

Zusätzlich zur Streuung der anlagenspezifischen CO-Konzentrationen werden zur Abschätzung der Gesamt-Unsicherheit der CO-Konzentrationen weitere Dimensionen der Unsicherheit durch Abschätzung berücksichtigt:

- Repräsentativität der Messkampagnen für durchschnittliche, nicht maximale Emissionsverhältnisse
- Übertragung der Messwerte in die Emissionserklärung
- Messunsicherheit (schadstoffspezifisch)
- Zuordnung der Datensätze zur ZSE-Quellgruppe

Tabelle 12: Gesamtunsicherheit (95%-Konfidenzintervall) der Bestimmung des CO-Konzentrationswertes

		Emissions- erklärungen 2004	Mess- ergebnisse Müller-BBM
Streuung der Messwerte der CO-Konzentrationen	%	- 99,5 % + 237,4 %	- 94,8 % + 421,0 %
Repräsentativität der Messkampagnen (Schätzwert)	%	± 50 %	± 30 %
Übertragung der Messwerte in die Emissionserklärung (Schätzwert)	%	± 10 %	± 0 %
Messunsicherheit (schadstoffspezifisch) (Schätzwert)	%	± 5 %	± 5 %
Zuordnung der Datensätze zur ZSE-Quellgruppe (Schätzwert)	%	± 0 %	± 0 %
Gesamtunsicherheit *) (Lognormal-Verteilung)	%	- 100,0 % + 242,9 %	- 99,6 % + 422,1 %
<small>* Multiplikative Verknüpfung gemäß IPCC 2006 Guidelines [6], Gleichung 3.1 (Seite 3.28)</small>			

Details: 4_Aspaltmischanlagen_CO_Konzentration_(EE)_2009.02.13.xls,
 5_Aspaltmischanlagen_CO_Konzentration_(MBBM)_2009.02.13.xls,

Die Gesamtunsicherheit wird dabei durch die starke Schwankung der Messwerte dominiert.

2.5.5 Emissionsfaktor CO

Auf Basis folgender Eckdaten

- $C_{CO} = 375 \text{ mg/m}^3$, Konzentration CO, Mittelwert Messwerte Müller-BBM
- $V = 36.000 \text{ m}^3/\text{h}$ (i.N.tr.), mittlerer Volumenstrom (vgl. Kap. 2.4)
- 160 t/h, mittlere Mischleistung einer Asphaltmischanlage (vgl. Kap. 2.3)

ergibt sich ein Emissionsfaktor von $0,08 \text{ kg}_{CO}/\text{t}$ bezogen auf eine Tonne Asphaltmischgut für die Emission von Kohlenmonoxid aus Asphaltmischanlagen.

Emissionsfaktor CO: $0,08 \text{ kg}_{CO} / \text{t}_{\text{Asphalt}}$

2.5.6 Unsicherheit Emissionsfaktor CO aus Konzentrationsbestimmung

Der Emissionsfaktor in Kapitel 2.5.5 berechnet sich aus

- 1) Konzentration (vgl. Kap. 2.5.3)
- 2) Volumenstrom (vgl. Kap. 2.4)
- 3) und mittlere Mischleistung (vgl. Kap. 2.3)

von Asphaltmischanlagen.

Als Gesamtunsicherheit ergibt sich aus den Unsicherheiten der multiplikativ verknüpften Einzelwerte:

Tabelle 13: Gesamtunsicherheit (95%-Konfidenzintervall) der Bestimmung des CO-Konzentrationswertes, Lognormal-Verteilungen

Unsicherheit Emissionsfaktor CO		Unterer Wert	Oberer Wert
Unsicherheit Konzentration CO (Kap. 2.5.4)	%	- 99,6 %	+ 422,1 %
Unsicherheit Volumenstrom (Kap. 2.4)	%	- 61,4 %	+ 92,5 %
Unsicherheit mittlere Mischleistung (Kap. 2.3)	%	- 63,5 %	+ 56,5 %
Gesamtunsicherheit ^{*)}	%	- 100,0 %	+ 435,8 %
* Multiplikative Verknüpfung gemäß IPCC 2006 Guidelines [6], Gleichung 3.1 (Seite 3.28)			

Details: 5_Aspaltmischanlagen_CO_Konzentration_(MBBM)_2009.02.13.xls

Bestimmend für die große Gesamt-Unsicherheit ist hierbei die Unsicherheit (Lognormal-Verteilung) der Konzentrationsbestimmung aufgrund der tatsächlich großen Schwankung von Messwerten.

2.5.7 Vergleich der Ermittlungsarten Emissionsfaktor CO

Der Emissionsfaktor wurde auf zwei unterschiedlichen Wegen ermittelt:

- *Jahresemission* (vgl. Kap. 2.5.1)
alleinig aus den Emissionserklärungen, auf Basis der Jahresemission jeder Anlage sowie der in Tabelle GHS enthaltenen Produktionsmenge an Asphaltmischgut
- *Konzentrationswerte* (vgl. Kap. 2.5.3)
berechnet aus Konzentration (aus Emissionsmessungen), mittlerer Anlagenleistung (aus Emissionserklärungen) sowie mittlerem Volumenstrom (aus Emissionserklärungen)

Beide Datensätze streuen in den Einzelwerten stark. Durch den großen Umfang beider Datensätze führen aber beide Berechnungswege zum annähernd gleichen Mittelwert.

Tabelle 14: Zusammenfassung der Emissionswerte aus den Datenquellen

		Jahresemission, Mittelwert	Jahresemission, Median	Konzentrationswerte
Emissionsfaktor	kg _{CO} / t _{Asphalt}	0,13	0,08	0,08

2.5.8 Emissionsfaktor CO

Die auf Basis der Emissionserklärungen und der Emissionsmessungen berechneten Emissionsfaktoren variieren nur wenig, die Ergebnisse sind in Kap. 2.5.7 gegenübergestellt.

Zur Charakterisierung von Asphaltmischanlagen insgesamt wird der Mittelwert der drei in Kap. 2.5.7 dargestellten Werte herangezogen:

Emissionsfaktor Kohlenmonoxid: 0,1 kg_{CO} / t_{Asphalt}

2.5.9 Unsicherheit Emissionsfaktor CO

Der Emissionsfaktor für CO wird in Kapitel 2.5.8 aus den Bestimmungswegen (Jahresemission, Konzentrationswerte) gemittelt.

Als Gesamtunsicherheit ergibt sich aus den Unsicherheiten der Einzelwerte:

Tabelle 15: Gesamtunsicherheit (95%-Konfidenzintervall) der Bestimmung des CO-Emissionsfaktors, Lognormal-Verteilungen

Unsicherheit Emissionsfaktor CO		Unterer Wert	Oberer Wert
Unsicherheit Emissionsfaktor CO aus Emissionserklärungen (Kap. 2.5.2)	%	- 100,0 %	+ 450,8 %
Unsicherheit Emissionsfaktor CO aus Konzentrations-Messergebnissen (Kap. 2.5.6)	%	- 100,0 %	+ 435,8 %
Berichtete Unsicherheit	%	- 100,0 %	+ 500 %

Bestimmend für die große Gesamt-Unsicherheit ist hierbei die Unsicherheit (Lognormal-Verteilung) der Konzentrationsbestimmung aufgrund der tatsächlich großen Schwankung von Messwerten.

2.5.10 Bewertung der Gültigkeit der ermittelten Emissionsfaktoren für die Zeitreihe 1990 bis 2010

Die zeitliche Entwicklung der Emissionsfaktoren hängt wesentlich von der Entwicklung des Anlagenparks von Asphaltmischanlagen ab (siehe dazu auch Kapitel 2.7).

Die zur Beheizung von Bitumentanks Anfang der 1990er Jahre noch überwiegend eingesetzten Thermalöl-Heizaggregate wurden im Rahmen von Anlagenerneuerungen in der Mehrzahl ersetzt durch elektrisch beheizte Bitumentanks. Hieraus ergibt sich eine kontinuierliche geringfügige Reduzierung von CO-Emissionen aus dem Anlagenbetrieb aller Asphaltmischanlagen. Die Größenordnung dieses Effektes ist allerdings vernachlässigbar.

Eine genauere Quantifizierung in Hinblick auf den CO-Emissionsfaktor der gegenläufigen Trends (Brennstoffumstellung auf Braunkohlenstaub, höhere Mischleistungen) kann derzeit nicht vorgenommen werden, da detaillierte Zahlenangaben (Statistiken) über diese Entwicklungen des Anlagenparks von Asphaltmischanlagen nicht vorliegen.

Unter Berücksichtigung der ermittelten Unsicherheit kann davon ausgegangen werden, dass die Änderungen des CO-Emissionsfaktors insgesamt statistisch nicht signifikant sind. Für Kohlenmonoxid wird daher empfohlen, für den Zeitraum 1990 bis 2010 den o.a. Emissionsfaktor unverändert anzusetzen.

2.6 PAH

Die Verwendung von Teer bei Asphaltmischanlagen und der Heiß-Produktion von Asphalt ist seit den 60er/70er Jahren in Deutschland eingestellt worden. PAH-Emissionen aus Asphaltmischanlagen waren in den 90er Jahren in der Diskussion, es gab umfangreiche Messungen, auch durch Müller BBM.

In der Folge der Umsetzung der TA Luft 86 wurden in einigen Bundesländern (unter anderem in Hessen) Messungen zur Ermittlung der Emission polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAH) an Asphaltmischanlagen durchgeführt. Zu dieser Stoffklasse zählt unter anderem Benzo(a)pyren, das als Leitkomponente dieser Stoffklasse der Klasse I nach Nr. 5.2.7.1.1. TA Luft zugeordnet ist. Die Ergebnisse der Untersuchungen haben belegt, dass mit entsprechenden Emissionen aus dem Betrieb von Asphaltmischanlagen nicht in nennenswertem Umfang zu rechnen ist.

Die Untersuchung von Benzo(a)pyren aus dem Betrieb von Asphaltmischanlagen geht auf den früheren Einsatz von pechhaltigen Bindemitteln bei der Asphaltherstellung zurück. Zuletzt wurden solche Bindemittel vor 1989 in den DDR eingesetzt. Das Recycling dieser Stoffe ist seit Jahren nur noch im Kaltmischverfahren in Anlagen mit entsprechendem Genehmigungsbestand zulässig.

Der Vergleich mit dem Grenzwert gemäß Ziffer 5.2.7.1.1 Klasse I TA Luft für krebserregende Stoffe von 0,05 mg/m³ (entsprechend 50 µg/m³) ergibt, dass die Emissionen von PAH und damit auch Benzo(a)pyren aus Asphaltmischanlagen als nicht relevant zu bewerten sind.

Die TA Luft gibt dementsprechend für diesen Anlagentyp keine spezifischen Emissionsbegrenzung für die Stoffe der Klasse I an.

Stoffe der Klasse I nach Nr. 5.2.7.1.1 TA Luft sind an Asphaltmischanlagen nicht relevant.

2.6.1 Emissionserklärungen 2004

In den Emissionserklärungen 2004 sind lediglich für 10 Anlagen Treffer für PAH beinhaltet:

Tabelle 16: Anzahl der Emissionsmeldungen (Stoffgruppen) für PAH aus Anlagen/ Nebenanlagen nach Nr. 2.15

Gruppe_Stoff_Bez	Anzahl	0215_1	0215_2	1004_2
Polycyclische Aromaten (PAH)	10	1	9	

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb, Abfragedatenbank Stand 13.02.2009: EE-Emissionserklärungen_2009.02.13.mdb; Abfrage: 3c_Anzahl_relevante_Stoffgruppen_für_relevante_Anlagen)

Die niedrige Anzahl der Treffer für PAH ist plausibel, da Messverpflichtungen für PAH inzwischen weitgehend aus den Genehmigungsbescheiden für Asphaltmischanlagen gestrichen wurden.

Tabelle 17: Anzahl der Emissionsmeldungen (Stoffgruppen) aus Anlagen/Nebenanlagen nach Nr. 2.15

Ifd. Nr.	Bundesland	Konzentration mg/m ³	Massenstrom kg/h	Massenstrom kg/a
1	BW	0,000000017921	0,000000000425	0,00000034
2	BY	0,00168	0,00005373144	0,034925436
3	BY	0,001	0,0000211	0,01477
4	BY	0,004	0,0000844	0,05908
5	BY	0,006	0,0001266	0,08862
6	BY	0,073	0,0015403	1,07821
7	BY	0,612	0,0200124	24,8554008
8	BY	0,05	0,00195	3,0732
9	HE	0,006	0,00005682	0,3272
10	NI	0	0,00006	0,06486

(Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb, Abfragedatenbank Stand 13.02.2009: EE-Emissionserklärungen_2009.02.13.mdb; Abfrage: 4d_Anlagen_Emissionen_für_relevante_Stoffgruppen)
 Details und Zuordnung Arbeitsstätten-Nr:
 6_Aspaltmischanlagen_PAH_Konzentration_(MBBM, EE)_2009.02.13.xls, Reiter Emissionserklärungen

Dabei sind allein für eine Arbeitsstättennummer 4 Einträge (hier die Ifd. Nr. 3-6) vorhanden, mit identischer Anlagennummer, Anlagenteilnummer, EV-Nr.

Eine Anlage aus Hessen (hier die Ifd. Nr. 9) ist als „Kalanderanlage“ bezeichnet, die Maßzahl ist in „m²/d“ angegeben. Hierbei handelt es sich nicht um eine Asphaltmischanlage.

Als Median aller 10 Datensätze ergibt sich hier eine Konzentration von 0,005 mg/m³.

2.6.2 Emissionsmessungen Müller-BBM

Für Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) liegen Messdaten aus 35 Emissionsmessungen zwischen den Jahren 1995 und 2003 vor, davon 20 Doppelbestimmungen. Der Schwerpunkt der Messdaten stammt dabei aus den Jahren 1995 bis 1997, da zum damaligen Zeitpunkt die Emission von PAH aus Asphaltmischanlagen genauer untersucht wurde.

Die Messergebnisse ergeben für PAH einen Maximalwert von 0,881 mg/m³.

Als Median ergibt sich hier eine Konzentration von 0,004 mg/m³. Der Mittelwert liegt aufgrund von Ausreißern nach oben bei 0,030 mg/m³, gerundet zu 0,03 mg/m³. Verwendet wird der Mittelwert.

2.6.3 Emissionsmessungen HLFU

Im Rahmen einer Messkampagne wurden in den Jahren 1990 bis 1992 durch die Hessische Landesanstalt für Umwelt HLfU ¹³ Emissionsmessungen an hessischen Asphaltmischanlagen durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Bericht

Emissionen luftverunreinigender Stoffe aus Asphaltmischanlagen beim Einsatz von Ausbauasphalt, Hessische Landesanstalt für Umwelt, Heft 190, 1995, ISBN 3-89026-199-X

zusammengefasst [3]. Untersucht wurden dabei insgesamt vier Asphaltmischanlagen unterschiedlicher Technologie.

Für PAH liegen dem HLfU-Bericht 7 Einzelmessungen an 3 Anlagen zugrunde. Weiter wird ausgeführt, dass die Emissionen an PAH beim Einsatz von Asphaltgranulat in einem hohen Maße von der Anlagentechnologie und den Verbrennungseigenschaften bzw. den Flammenverhältnissen abhängen. Sie werden also weniger vom Anteil und der Zusammensetzung des Ausbauasphalts bestimmt ([3] Seite 82).

Gemäß dem Bericht der HLfU 1995 [3] liegt der maximal ermittelte Summenwert für PAH unter $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und für Benzo(a)pyren unter $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ([5] Seite 57). Als Median ergibt sich aus dem HLfU-Bericht eine Konzentration von $0,237 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gerundet zu $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.6.4 Auswertung

In der nachfolgenden Abbildung sind die Emissionswerte der drei herangezogenen Datenquellen (Emissionserklärungen 2004, Messergebnisse Müller-BBM sowie HLfU) zusammengefasst.

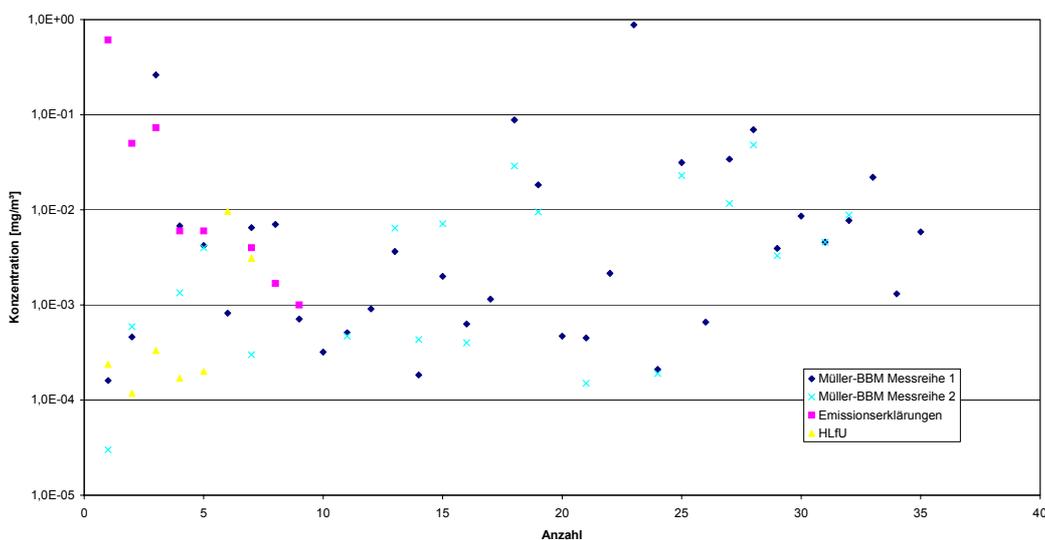


Abbildung 6. PAH-Konzentration der Einzelwerte aus den drei Datenquellen ¹⁴

¹³ zwischenzeitlich umbenannt in „Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie“

¹⁴ Messreihe 1 und 2 beziehen sich auf die Doppelbestimmungen

Die vorliegenden Konzentrationsdaten schwanken stark. Die meisten Daten liegen zwischen 10^{-4} mg/m³ und 10^{-2} mg/m³. Der Ausreißer nach unten aus den Emissions-erklärungen kann aus einer falschen Einheitenzuordnung bei der Erstellung der Emissionserklärung resultieren. Als Folge der Schwankung ist die ermittelte Standard-Abweichung als Maß für die Unsicherheit jeweils ca. doppelt so hoch wie der Mittelwert.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse zusammengefasst:

Tabelle 18: Zusammenfassung der Emissionswerte aus den Datenquellen

		Emissions- erklärungen 2004	Mess- ergebnisse Müller-BBM	Bericht HLfU 1995
Anzahl Datensätze		10	35 + 20 ¹⁵	7
Mittelwert Konzentration PAH	mg _{PAH} /m ³	0,075	0,03	0,0020
Median Konzentration PAH	mg _{PAH} /m ³	0,005	0,004	0,000237
Berichtete Konzentration PAH	mg_{PAH}/m³		0,03	
2,5 %-Perzentil	mg _{PAH} /m ³	0,00000	0,00015	0,00013
97,5 %-Perzentil	mg _{PAH} /m ³	0,491	0,201	0,009
Standardabweichung	mg _{PAH} /m ³	0,190	0,123	0,004

Details: 6_Aspaltmischanlagen_PAH_Konzentration_(MBBM, EE)_2009.02.13.xls

Für die Bestimmung des Emissionsfaktors wird der Mittelwert auf Basis der Messer-gebnisse der Müller-BBM GmbH¹⁶ zugrunde gelegt:

Konzentration PAH: 0,03 mg_{CO} / m³

Ein zeitlicher Trend ist aus den vorliegenden Datensätzen nicht zu erkennen.

2.6.5 Unsicherheit Konzentration PAH

Die statistischen Kenngrößen

- Mittelwert
- Median
- 2,5%-Perzentil
- 97,5%-Perzentil
- Standardabweichung

¹⁵ 20 Doppelbestimmungen

¹⁶ Für die Messergebnisse liegt das größte Datenkollektiv vor. Darüber hinaus erscheint die Verwendung von Messdaten (Originalliteratur) zuverlässiger als die Verwendung von Emissionserklärungsdaten (Sekundärliteratur)

für die Schwankungsbreite der PAH-Konzentrationen sind in Kap. 2.6.4 enthalten. Hieraus lässt sich die Schwankung des 95%-Konfidenz-Intervalls in Bezug auf den jeweils berichteten Wert berechnen ¹⁷.

Zur Abschätzung der Gesamt-Unsicherheit werden zusätzlich durch Abschätzung berücksichtigt:

- Repräsentativität der Messkampagnen für durchschnittliche, nicht maximale Emissionsverhältnisse
- Übertragung der Messwerte in die Emissionserklärung
- Messunsicherheit (schadstoffspezifisch)
- Zuordnung der Datensätze zur ZSE-Quellgruppe

Tabelle 19: Gesamtunsicherheit (95%-Konfidenzintervall) der Bestimmung des PAH-Konzentrationswertes

		Emissions- erklärungen 2004	Mess- ergebnisse Müller-BBM	Bericht HLfU 1995
Streuung der Messwerte der PAH-Konzentrationen	%	- 100,0 % + 551,1 %	- 99,5 % + 575,3 %	- 93,6 % + 339,5 %
Repräsentativität der Messkampagnen (Schätzwert)	%	± 50 %	± 50 %	± 50 %
Übertragung der Messwerte in die Emissionserklärung (Schätzwert)	%	± 50 %	± 0 %	± 0 %
Messunsicherheit (schadstoffspezifisch) (Schätzwert)	%	± 5 %	± 5 %	± 5 %
Zuordnung der Datensätze zur ZSE-Quellgruppe (Schätzwert)	%	± 0 %	± 0 %	± 0 %
Gesamtunsicherheit ^{*)} (Lognormal-Verteilung)	%	- 100,0 % + 555,5 %	- 100,0 % + 577,5 %	- 100,0 % + 343,2 %
<small>* Multiplikative Verknüpfung gemäß IPCC 2006 Guidelines [6], Gleichung 3.1 (Seite 3.28)</small>				

Details: 6_Aspaltmischanlagen_PAH_Konzentration_(MBBM, EE)_2009.02.13.xls

Die Gesamtunsicherheit wird dabei durch die starke Schwankung der Messwerte dominiert

¹⁷ Untere Grenze des 95%-Konfidenz-Intervalls, relativ zum berichteten Wert: (2,5%-Perzentil – berichteter Wert) / berichteter Wert
Obere Grenze des 95%-Konfidenz-Intervalls, relativ zum berichteten Wert: (97,5%-Perzentil – berichteter Wert) / berichteter Wert

2.6.6 Emissionsfaktor PAH

Auf Basis folgender Eckdaten

- $C_{PAH} = 0,03 \text{ mg/m}^3$, Konzentration PAH, Mittelwert Messwerte Müller-BBM
- $V = 36.000 \text{ m}^3/\text{h}$ (i.N.tr.), mittlerer Volumenstrom (vgl. Kap. 2.4)
- 160 t/h, mittlere Mischleistung einer Asphaltmischanlage (vgl. Kap. 2.3)

ergibt sich ein Emissionsfaktor von $7 \cdot 10^{-6} \text{ kg}_{PAH}/\text{t}$ bezogen auf eine Tonne Asphaltmischgut für die Emission von PAH aus Asphaltmischanlagen:

$$\text{Emissionsfaktor PAH: } 7 \cdot 10^{-6} \text{ kg}_{PAH} / \text{t}_{\text{Asphalt}}$$

2.6.7 Unsicherheit Emissionsfaktor PAH

Der Emissionsfaktor im vorigen Kapitel berechnet sich aus

- 4) Konzentration (vgl. Kap. 2.6.4)
 - 5) Volumenstrom (vgl. Kap. 2.4)
 - 6) und mittlere Mischleistung (vgl. Kap. 2.3)
- von Asphaltmischanlagen.

Als Gesamtunsicherheit ergibt sich aus den Unsicherheiten der multiplikativ verknüpften Einzelwerte:

Tabelle 20: Gesamtunsicherheit (95%-Konfidenzintervall) der Bestimmung des PAH-Konzentrationswertes, Lognormal-Verteilungen

Unsicherheit Emissionsfaktor PAH		Unterer Wert	Oberer Wert
Unsicherheit Konzentration PAH (Kap. 2.6.4)	%	- 100,0 %	+ 577,5 %
Unsicherheit Volumenstrom (Kap. 2.4)	%	- 61,4 %	+ 92,5 %
Unsicherheit mittlere Mischleistung (Kap. 2.3)	%	- 63,5 %	+ 56,5 %
Gesamtunsicherheit	%	- 100,0 %	+ 587,5 %
Berichtete Unsicherheit	%	- 100,0 %	+ 600 %

Details: 6_Aspaltmischanlagen_PAH_Konzentration_(MBBM, EE)_2009.02.13.xls

Bestimmend für die große Gesamt-Unsicherheit ist hierbei die Unsicherheit (Lognormal-Verteilung) der Konzentrationsbestimmung aufgrund der tatsächlich großen Schwankung von Messwerten.

2.6.8 Bewertung der Gültigkeit der ermittelten Emissionsfaktoren für die Zeitreihe 1990 bis 2010

Die möglichen Ursachen für PAH-Emissionen (eher Bitumen statt Verbrennung, insbesondere bei direkter thermischer Beanspruchung von Bitumen wie beim Einsatz von Paralleltrommeln) indizieren keine systematische zeitliche Abhängigkeit des Emissionsfaktors für PAH. Die absolute Größenordnung der PAH-Emission ist so niedrig, dass weitergehende Untersuchungen bisher nicht durchgeführt wurden und auch nicht notwendig erscheinen. Für PAH wird daher empfohlen, für den Zeitraum 1990 bis 2010 den o.a. Emissionsfaktor unverändert anzusetzen.

2.7 Weitere Detaillierungsmöglichkeiten

Die obengenannten Methoden und darauf aufbauend die Ergebnisse können wie folgt detailliert werden:

Thermalöl-Heizaggregate

Die Daten aus den Emissionsmessungen beziehen sich auf die Hauptquelle *Kamin der Asphaltmischanlage*, während die Daten aus den Emissionserklärungen grundsätzlich auch die Nebenquelle *Thermalöl-Heizaggregat*¹⁸ beinhalten.

Eine weitere Verbesserung der Berechnungssystematik ist durch die Auswertung vorliegender Emissionsmessungen an Thermalöl-Heizaggregaten möglich¹⁹.

Emissionsmessungen an Thermalöl-Heizaggregaten werden i.d.R. für die Emissionskomponenten Kohlenmonoxid CO und Stickoxide NOx durchgeführt. PAH sind hier nicht zu erwarten und werden wie bei allen Kleinf Feuerungsanlagen nicht messtechnisch ermittelt.

Entwicklung des Anlagenparks Asphaltmischanlagen

Bei den durchgeführten Emissionsmessungen ergibt sich bei allen statistischen Schwankungen eine Abhängigkeit der Emissionsparameter (hier Kohlenmonoxid CO) vom eingesetzten Brennstoff. Für Asphaltmischanlagen sind hier die Brennstoffe

- Heizöl EL,
- Erdgas und
- Braunkohlenstaub

mengenmäßig relevant²⁰.

¹⁸ Einsatz als Heizung zur Beheizung der Bitumentanks (Warmlagerung von Bitumen bei ca. 180 °C). Aufgrund der notwendigen Lagertemperatur bei ca. 180 °C kann kein Wasser als Wärmeträger verwendet werden; daher wird Thermalöl eingesetzt.

¹⁹ Durch den immer verbreiteteren Einsatz von elektrischen Heizanlagen reduziert sich das diesbezügliche Verbesserungspotential allerdings mit der Zeit.

Eine weitere Abhängigkeit ergibt sich aus dem Einsatzvarianten für Asphaltgranulat:

- Mischgutproduktion ohne Asphaltgranulat-Einsatz
- Asphaltgranulat-Kaltzugabe
- Asphaltgranulat-Warmzugabe (Paralleltrommel)

Emissionsdaten in Abhängigkeit dieser Einflussgrößen sind in der VDI-Richtlinie 2283 [2], basierend auf Messergebnissen der Müller-BBM GmbH, aufgeführt.

Eine weitere Detaillierung der berechneten Emissionsfaktoren ist somit möglich unter Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung des Anlagenparks in Hinblick auf die oben genannten Parameter (verwendeter Brennstoff, Zugabetechnik für Asphaltgranulat).

Während bis Anfang der 2000er Jahre hauptsächlich Heizöl EL und Erdgas eingesetzt wurden, erfolgt seitdem eine Umrüstung der Anlagen auf den Brennstoff Braunkohlenstaub²¹. Hier erfolgt derzeit eine schnelle Änderung des Anlagenparks.

Beim Einsatz von Asphaltgranulat geht ein langsamer Trend in Richtung Paralleltrommelanlagen (Asphaltgranulat-Warmzugabe).

Weiter wird in aller Regel bei Erneuerung von Asphaltmischanlagen die Mischleistung erhöht (z.B. Altanlage 120 t/h, Austausch des Mischturms verbunden mit einer Leistungserhöhung auf 240 t/h), so dass sich mit der Entwicklung des Anlagenparks eine Verschiebung in Richtung höherer Mischleistungen ergibt.

Detaillierte Zahlenangaben (Statistiken) über diese Entwicklung des Anlagenparks von Asphaltmischanlagen liegen allerdings derzeit nicht vor und müssten, evtl. in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Asphaltverband DAV, erhoben werden. Eine indirekte Bestandsaufnahme des Anlagenparks würde sich aber auch aus der genaueren Auswertung der durchgeführten Emissionsmessungen der Müller-BBM GmbH ergeben, da hier die oben genannten Parameter bei der Durchführung der Emissionsmessungen erfasst werden.

²⁰ Flüssiggas (Butan) kann unter Erdgas subsummiert werden. Weitere Brennstoffe wie z.B. Heizöl R-LS sind nicht mengenmäßig relevant.

²¹ Einsatz von Zwei- oder Dreistoffbrennern unter Beibehaltung des bisherigen Brennstoffs. Z.B. Zweistoffbrenner für BKS und Heizöl EL.

2.8 Brennstoffeinsatz in Asphaltmischanlagen

Die Produktion von Asphalt erfolgt bei Mischtemperaturen von typisch 180 °C, da Bitumen bei Umgebungstemperatur fest ist. Relevanter Prozess ist dabei die Trocknung von Gesteinskörnungen (Mineralstoffe) in der Trockentrommel.

Zur Erwärmung des eingesetzten Gesteinskörnungen sowie zur Warmlagerung des Bitumen muss Energie eingesetzt werden.

Für Asphaltmischanlagen sind die Brennstoffe

- Heizöl EL,
- Erdgas und
- Braunkohlenstaub

mengenmäßig relevant ²².

Die Warmlagerung von Bitumen durch die Verwendung von Thermalöl-Heizaggregaten kann beim Brennstoffeinsatz mengenmäßig vernachlässigt werden; derzeit noch vorhandene Thermalöl-Heizaggregate werden bei Ersatzbeschaffungen durch elektrische Beheizungen ausgetauscht. Dieselstromaggregate zur Stromerzeugung werden an Asphaltmischanlagen ebenfalls nicht in relevantem Umfang eingesetzt; die Stromversorgung erfolgt mehrheitlich über das allgemeine Stromnetz.

2.8.1 Wärmebilanzrechnung Asphaltmischanlage

Die theoretisch aufzubringende Wärmeenergie zur Produktion von Asphalt ist

$$Q_E = Q_S + Q_{Sp} + Q_F + Q_W + Q_L$$

mit

Q_E theoretisch aufzubringende Wärmemenge

Q_{Sp} , Q_S , Q_F , Q_{AG} Wärmemenge der Gesteinskörnungen (Splitte, Sand, Füller, Asphaltgranulat) ²³

Q_W Wärmemenge zur Verdampfung und Erhitzung der Feuchtigkeit im Mineral

Q_L Abgaswärme

Zusätzlich entstehen noch Wärmeverluste Q_V .

Eine detaillierte Wärmebilanzberechnung für eine Asphaltmischanlage ist in Anhang beinhaltet.

Der Energieeinsatz zur Produktion von 1 t Asphaltmischgut liegt bei gerundet:

²² Flüssiggas (Butan) kann unter Erdgas subsummiert werden. Weitere Brennstoffe wie z.B. Heizöl R-LS sind nicht mengenmäßig relevant.

²³ Der Einsatz von Asphaltgranulat ist hier ebenfalls subsummiert; die Asphaltgranulaterwärmung erfolgt entweder direkt in Paralleltrommeln oder indirekt bei der Kaltzugabe durch entsprechend höher erhitze Mineralstoffe

$$\begin{aligned} Q_{Sp, S, F, AG} &= 43 \text{ kWh/t (Mineralerwärmung)} \\ Q_L &= 9 \text{ kWh/t (Abgaserwärmung)} \\ Q_W &= 20 \text{ kWh/t (Erwärmung und Verdampfung Feuchte)} \end{aligned}$$

$$Q_E = Q_S + Q_{Sp} + Q_{AG} + Q_F + Q_W + Q_L = 72 \text{ kWh}$$

Zusätzlich entstehen Wärmeverluste in der Größenordnung von $Q_V = 4\text{-}8$ kWh pro Tonne Mischgut.

2.8.2 Spezifischer Energieverbrauch gemäß VDI-Richtlinie 2283

In der VDI-Richtlinie 2283 wird ein mittlerer spezifischer Wärmebedarf zur Trocknung der Gesteinskörnungen in der Trockentrommel von ca. 70 kWh/t bis 100 kWh/t Mischgut angegeben ([2], Kap. 3.2.3., Seite 12).

Abweichungen zur obigen Berechnung resultieren zum einen daraus, dass es sich bei der in der VDI 2283 angegebenen Spanne um die Auslegungsleistung der Trocken- und Paralleltrommeln handelt, zum anderen die Berechnung in Kap. 2.8.1 die theoretisch notwendige Wärmeenergie liefert.

2.8.3 Tendaussage zur Entwicklung des Energieverbrauchs

Bestandsanlagen liegen eher in der Mitte des nach VDI 2283 angegebenen Bereichs bei 80 kWh/t, wie auch die Berechnung in Anhang zeigt. Der angegebene untere Wert von 70 kWh/t entspricht dem theoretisch minimal notwendigen Energieeinsatz mit ca. 72 kWh/t und ist damit nur bei Vermeidung von Wärmeverlusten Q_V zu erzielen.

Theoretische Möglichkeiten der Reduzierung des Energieeinsatzes sind:

1. Reduzierung der Mischguttemperatur ($Q_{Sp, S, F, AG}, Q_L$)
2. Reduzierung der Mineralfeuchte (Q_W)
3. Reduzierung der Wärmeverluste (Q_V)

zu 1. Reduzierung der Mischguttemperatur ($Q_{Sp, S, F, AG}, Q_L$)

Das theoretische Potential ergibt sich aus der benötigten Wärmeenergie zur Erwärmung der Mineralstoffe sowie notwendigerweise der Abluft zu $Q_{Sp, S, F, AG} = 43$ kWh/t.

Eine Reduzierung der Mischguttemperatur (Niedrigtemperaturasphalt²⁴) ist derzeit nur in mengenmäßig nicht relevanten Ausnahmefällen möglich. Hauptgrund ist in Praxis die Ausschreibungspraxis der Kommunen; technisch aber auch die Temperaturabhängigkeit der Viskosität von Bitumen. Reduzierungen sind nur bei Einsatz von viskositätsverändertem Bitumen möglich.

²⁴ vgl. VDI 2283, Kap. 2 Seite 4)

zu 2. Reduzierung der Mineralfeuchte (Q_w)

Theoretisches Reduzierungspotential $Q_w = 20$ kWh/t

Der Einsatz trockener Mineralstoffe erfordert eine trockene Lagerung der Mineralstoffe, d.h. entweder überdacht oder in Silolagerung. Dieses ist aber kostenintensiv und wird bisher für Mineralstoffe nur in Ausnahmefällen durchgeführt. Weiter sind zur Vermeidung von Haldenabwehungen zudem teilweise Wasserbefeuchtungen notwendig bzw. sogar rechtlich gefordert.

Weiter müssten die Mineralstoffe trocken angeliefert werden; in Praxis erfolgt aber bei produzierenden Schotterwerken zur Vermeidung von Staubemissionen sogar eine Wasserbedüsung.

Der zur weiteren Energieeinsparung notwendige Einsatz von trockenen Mineralstoffen ist daher realistischerweise die nächsten Jahre nicht im relevanten Umfang zu erwarten.

zu 3. Reduzierung der Wärmeverluste (Q_v)

Theoretisches Reduzierungspotential: $Q_v = \text{ca. } 4\text{-}8$ kWh/t (Wärmeverluste)

Bei Neuanlagen kommen verstärkte Wärmedämmungen an Trockentrommeln zum Einsatz, die zukünftig zu einer Reduzierung der Wärmeverluste Q_v führen werden.

Insgesamt ist zu erwarten, dass der Energieverbrauchs bei der Asphaltmischgutproduktion bis 2020 nur geringfügig abnehmen wird. Basierend auf einem spezifischen Wärmebedarf von 80 kWh pro Tonne Asphaltmischgut ist insbesondere durch verstärkte Wärmedämmungen eine Reduzierung von Q_v zu erwarten.

Die tatsächliche Reduzierung aus den oben diskutierten Möglichkeiten 1. bis 3. wird auf 5 kWh/t geschätzt, so dass sich insgesamt eine Reduzierung bis 2020 von 80 kWh auf 75 kWh pro Tonne Asphaltmischgut ergibt.

2.8.4 Gesamtenergieverbrauch

Auf Basis der vorhandenen Daten wird konservativ ein spezifischer Wärmebedarf von 80 kWh pro Tonne Asphaltmischgut angesetzt.

Für eine Asphaltmischanlage mit der durchschnittlich Mischleistung von 160 t/h (vgl. Kap. 2.3) ergibt sich somit ein Wärmeenergieeinsatz von 12,8 MW pro Stunde.

Bei einer Jahresproduktion von Asphaltmischgut in Deutschland von ca. 60 Mio. t ergibt sich ein gesamter jährliche Energieeinsatz zur Produktion von Asphalt von 17,3 PJ.

2.9 Prozessbedingte Emissionen

Abschließend ist zu prüfen, ob die Emissionen an Kohlenmonoxid bzw. PAH prozess- oder brennstoffbedingt sind, d.h. ob die Emissionen dem Prozess zuzuordnen sind.

2.9.1 Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid aus Asphaltmischanlagen stammt aus der Gesteinstrocknung und Erwärmung in der Trockentrommel bzw. für Asphaltgranulat in der Paralleltrommel.

Im Emissionsfaktoren-Handbuch Emissionserklärung 2004 der UMEG, Bericht Nr. 4-02/2005 [5] werden im Kapitel 1.02/2 für Feuerungsanlagen < 50 MW für feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe folgende Emissionsfaktoren für Kohlenmonoxid angegeben:

Tabelle 21: Emissionsfaktoren Kohlenmonoxid aus dem Emissionsfaktoren-Handbuch Emissionserklärung 2004 der UMEG, Bericht Nr. 4-02/2005, Kapitel 1.02/2 für Feuerungsanlagen [5]

emittierter Stoff	Bezug-/Brennstoff	Wert	Einheit
Kohlenmonoxid	Heizöl EL	380	g/t Brennstoff
Kohlenmonoxid	Erdgas	180	g/t Brennstoff
Kohlenmonoxid	Butangas	180	g/t Brennstoff
Kohlenmonoxid	Propangas	180	g/t Brennstoff
Kohlenmonoxid	Steinkohle ²⁵	1454	g/t Brennstoff

Mit den spezifischen Heizwerten

Tabelle 22: spezifische Heizwerte

Brennstoff	Heizwert Hu
Heizöl EL	42.700 kJ/kg
Erdgas	45.300 kJ/kg
Propan	46.400 kJ/kg
Butan	46.000 kJ/kg
Braunkohle	21.400 kJ/kg

und dem in Kap. 2.8 ermittelten Wärmebedarf zur Asphaltmischgutproduktion von 100 kWh/t Mischgut ergeben sich folgende spezifische Emissionen:

²⁵ Für Braunkohle wird kein Emissionsfaktor angegeben, daher wird hier hilfsweise Steinkohle herangezogen.

Tabelle 23: spezifische Emissionsfaktoren für reine Feuerungsanlagen aus dem Brennstoff für die Emissionskomponente Kohlenmonoxid

Brennstoff	Brennstoffbedarf pro Tonne Mischgut	CO-Emissionswert in $\text{kg}_{\text{CO}} / \text{t}_{\text{Mischgut}}$
Heizöl EL	8,4 kg / t Mischgut	0,0032
Erdgas	7,9 kg / t Mischgut	0,0014
Butangas	7,8 kg / t Mischgut	0,0014
Propangas	7,8 kg / t Mischgut	0,0014
Braunkohle	16,8 kg / t Mischgut	0,017

Abweichend von den obigen Emissionsfaktoren für reine Feuerungsanlagen ergeben sich bei Asphaltmischanlagen mit 0,10 kg/t für Kohlenmonoxid CO um den Faktor 70 (für HEL, Erdgas, Propan, Butan) bzw. 6 (für BKS) deutlich höhere Emissionen.

Ursächlich ist, dass es sich nicht um reine (Kessel-)Feuerungen, sondern um Prozessfeuerungen handelt:

Die Räume für die Erzeugung und Nutzung der Wärme gehen in Trocken- und Asphaltgranulattrommeln fließend ineinander über, so dass durch den direkten Kontakt von Brennerflamme und Gesteinskörnung, insbesondere des Feinanteils, der Ausbrand des Brennstoffs beeinflusst wird. Ferner wird die Kohlenmonoxidemission stark beeinflusst vom Feinstoffgehalt des Gesteins, dem Wasserdampfgehalt in der Trommel und dem Einsatz von Asphaltgranulat, so dass sich höhere Kohlenmonoxid-Emissionen als bei klassischen Feuerungsanlagen ergeben. Im Gegensatz zu klassischen Feuerungen ist CO daher nicht als Leitsubstanz zur Beurteilung des Ausbrandes geeignet.

Die Emissionen an Kohlenmonoxid können vollständig dem Prozess zugeordnet werden.

2.9.2 PAH

Für die Emission von polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAH) aus Asphaltmischanlagen ergibt sich ein Emissionsfaktor von $7 \cdot 10^{-6}$ kg/t bezogen auf eine Tonne Asphaltmischgut und damit bei einer Jahresproduktion von Asphaltmischgut in Deutschland von ca. 60 Mio. t eine Gesamtemission von 420 kg/a PAH.

Die genaue Ursache von PAH-Emissionen aus Asphaltmischanlagen ist derzeit nicht bekannt, im HLFU-Bericht [3] wird eine Abhängigkeit vom Anteil an Asphaltgranulat vermutet (vgl. [3], Seite 73-74), insbesondere beim Einsatz in Paralleltrommelanlagen. Eine Abhängigkeit vom Brennstoff wird hier nicht diskutiert.

Mögliche Ursachen der PAH-Emissionen sind dabei

- PAH-Emissionen aus dem Bitumen
- PAH-Emissionen aus den Brennstoffen
- Entstehung von PAH im Verbrennungsprozess

Aus dem maximalen PAH-Gehalt im Bitumen von 25 mg/kg (vgl. Zwischenbericht Dachbahnenproduktion) und einem mittleren Bitumengehalt von 4 % im Asphalt ergibt sich ein maximaler PAH-Gehalt im Asphalt von 1.000 mg/t Asphalt²⁶. Die deutlich niedrigere Emission von $7 \cdot 10^{-6}$ kg/t = 7 mg/t Asphalt erklärt sich dabei aus dem sehr geringen Dampfdruck von PAH – die polyzyklischen Kohlenwasserstoffe verbleiben im Bitumen und werden nicht freigesetzt.

PAH-Emissionen aus den Brennstoffen

Emissionsfaktoren für PAH aus Brennstoffen sind dem Berichtersteller nicht bekannt, auch im Emissionsfaktoren-Handbuch Emissionserklärung 2004 der UMEG, Bericht Nr. 4-02/2005 [5] werden im Kapitel 1.02/2 für Feuerungsanlagen < 50 MW für feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe keine Emissionsfaktoren für PAH angegeben.

In Sicherheitsdatenblättern für Heizöl EL wird angegeben, dass PAH beinhaltet sein können, allerdings ohne Quantifizierung.

Auch in Braunkohle kann grundsätzlich PAH beinhaltet sein, für Erdgas werden dagegen keine relevanten PAH-Anteile angegeben.

Grundsätzlich kommen somit Emissionen aus den Brennstoffen in Frage, allerdings zeigen die (wenigen) vorliegenden Emissionsmessdaten keine erkennbare Abhängigkeit vom Brennstoff.

Entstehung von PAH-Emissionen im Verbrennungsprozess

Grundsätzlich ist auch die Entstehung von PAH im Verbrennungsprozess eine mögliche Ursache von PAH-Emissionen.

Bewertung

Eine fachlich abgesicherte Aussage, ob die Emissionen an PAH dem Prozess oder den Brennstoffen zuzuordnen sind, ist derzeit nicht möglich.

Ein eindeutige Entstehungsursache kann bei der vorliegenden knappen Datenlage nicht abschließend ermittelt werden, vorliegende Daten sprechen eher für Bitumen als PAH-Quelle, insbesondere bei direkter thermischer Beanspruchung von Bitumen wie beim Einsatz von Paralleltrommeln. Die absolute Größenordnung der PAH-Emission ist allerdings so niedrig, dass weitergehende Untersuchungen bisher nicht durchgeführt wurden und auch nicht notwendig erscheinen.

²⁶ 25 mg/kg PAH im Bitumen, 4 % Bitumenanteil im Asphalt, d.h. 40 kg Bitumen pro 1.000 kg Asphalt, $25 \text{ mg/kg} \cdot 40 \text{ kg} = 1.000 \text{ mg PAH pro Tonne Asphalt}$

3 Zusammenfassung

Für Asphaltmischanlagen sind Emissionsfaktoren (EF) für die Emissionsparameter Kohlenmonoxid (CO) und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) zu bestimmen. Zugeordnete Unterkategorie im CRF ist hierbei:

2.A.6: Mineralische Produkte: Straßenasphaltierung

Aktivitätsrate ist die Produktionsmenge an Asphaltmischgut (in Tonnen Asphaltmischgut pro Jahr). Die Jahresproduktion in Deutschland liegt bei ca. 60 Mio. t Asphaltmischgut.

Kohlenmonoxid aus Asphaltmischanlagen stammt aus der Gesteinstrocknung und Erwärmung in der Trockentrommel bzw. für Asphaltgranulat in der Paralleltrommel. Die genaue Ursache von PAH-Emissionen aus Asphaltmischanlagen ist derzeit nicht bekannt.

Zur Bestimmung der Emissionsfaktoren wurden sowohl die Emissionserklärungen 2004 als auch Messergebnisse der Müller-BBM GmbH ausgewertet.

Dabei wurden folgende Emissionsfaktoren und Unsicherheiten bestimmt:

Tabelle 24: Emissionsfaktoren und Unsicherheit

Emissionsfaktor	Emissionsfaktor	Emissionsfaktor	Unsicherheit (95%-Konfidenzintervall; Lognormal)
Kohlenmonoxid (CO)	$\text{kg}_{\text{CO}} / \text{t}_{\text{Asphalt}}$	0,1	- 100 % + 500 %
polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)	$\text{kg}_{\text{PAH}} / \text{t}_{\text{Asphalt}}$	$7 \cdot 10^{-6}$	- 100 % + 600 %

4 Quellenverzeichnis

Literatur

- [1] Deutscher Asphalt-Verband DAV, Schieffelingweg 6, 53123 Bonn, Tel. 0228 / 97965-0, Herr Reifig, Herr Dr. Els, Hr. Täube
- [2] VDI-Richtlinie 2283: Emissionsminderung Aufbereitungsanlagen für Asphaltmischgut (Asphalt-Mischanlagen), Juni 2008
- [3] Emissionen luftverunreinigender Stoffe aus Asphaltmischanlagen beim Einsatz von Ausbauasphalt, Hessische Landesanstalt für Umwelt, Heft 190, 1995, ISBN 3-89026-199-X
- [4] Daten aus Emissionsmessungen der Müller-BBM GmbH an Asphaltmischanlagen
- [5] Emissionsfaktoren-Handbuch Emissionserklärung 2004 der UMEG, Bericht Nr. 4-02/2005
- [6] IPCC 2006 Guidelines: Eggleston, H. S.; Buendia, L.; Miwa, K., et al. (Hg.) (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan

Verwendete Datenbanken:

- [7] Datenbank Emissionserklärungen Stand 23.01.2009: DB_EE2004_23012009.mdb
- [8] Abfragedatenbank Stand 13.02.2009: EE-Emissionserklärungen_2009.02.13.mdb
- [9] EE_Kodierungen.MDB

Verwendete Excel-Auswertungen:

- [10] 1_Aspaltmischanlagen_Mischleistung_2009.02.13.xls
- [11] 2_Aspaltmischanlagen_Volumenstrom_2009.02.13.xls
- [12] 3_Aspaltmischanlagen_CO_Emissionsfaktor_2009.02.13.xls
- [13] 4_Aspaltmischanlagen_CO_Konzentration_(EE)_2009.02.13.xls
- [14] 5_Aspaltmischanlagen_CO_Konzentration_(MBBM)_2009.02.13.xls
- [15] 6_Aspaltmischanlagen_PAH_Konzentration_(MBBM, EE)_2009.02.13.xls

Anhang

Wärmebilanzrechnung Asphaltmischanlage

Wärmebilanzrechnung Asphaltmischanlage

Ausgangsdaten:

Mischgutbezeichnung:	Tragschicht 0/32 C		
Mischgutzusammensetzung:	Splitt	2/32 mm	49,0 Gew. %
	Natursand	0/2 mm	14,0 Gew. %
	Füller		4,0 Gew. %
	Asphaltgranulat		30,0 Gew. %
	Bitumen B 80		3,0 Gew. %

Betriebsdaten

Anlagenleistung: 160 t/h
Trocknungsleistung: 100,8 t/h
Temperatur der Mineralstoffe
- vor Trockentrommel: 15 °C
- hinter Trockentrommel: 190 °C
Mittlerer Wassergehalt der Mineralstoffe : 3 %

Abgasrandbedingungen

Volumenstrom (N, tr): 44.800 m³/h
Abgastemperatur hinter Trockentrommel: 110 °C

Spezifische Wärmekapazitäten c_p

Mineralstoffe (Splitt, Natursand, Füller):	0,9 kJ / (K*kg)	(Dubbel ²⁷ , Seite 1346)
Asphaltgranulat:	0,92 kJ / (K*kg)	(Wikibooks ²⁸)
Luft, trocken (0 °C, 1013 mbar):	1,005 kJ / (K*kg)	(Dubbel ¹⁹ , Seite 1346)
Wasser flüssig (0 °C, 1013 mbar):	4,183 kJ / (K*kg)	(Dubbel ¹⁹ , Seite 1346)
Verdampfungswärme Wasser:	2257,1 kJ / (kg)	(Dubbel ¹⁹ , Seite 1346)
Wasserdampf (100 °C, 1013 mbar):	1,88 kJ / (K*kg)	(Dubbel ¹⁹ , Seite 1358)

Sonstige Eingangsgrößen

Dichte Luft (0 °C, 1013 mbar):	1,293 kg/m ³	(Dubbel ¹⁹ , Seite 1346)
Dichte Wasserdampf (100 °C, 1013 mbar):	0,578 kg/m ³	(Dubbel ¹⁹ , Seite 1358)

27 Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, 15. Auflage 1983, Springer-Verlag, ISBN 3-540-12418-7

28 www.wikibooks.de, Tabellensammlung Chemie / spezifische Wärmekapazitäten

Aufzubringende Wärmeenergie, bezogen auf 1000 kg Asphaltmischgut

- Mineralerwärmung von 15 °C auf 190 °C ($\Delta T = 175 \text{ °C}$)
- Verdampfung der Feuchte (Wassermenge) bei mittlerer Feuchte von 3 % $m_W = 28 \text{ kg}$
- Abgaserwärmung von 15 °C auf 110 °C ($\Delta T = 95 \text{ °C}$)

Erhitzung Mineralstoffe und Asphaltgranulat

Splitt $Q_{Sp} = 490 \text{ kg} * 0,000250 \text{ kWh/(K*kg)} * 175 \text{ °C} = \mathbf{21,4 \text{ kWh}}$

Sand $Q_S = 140 \text{ kg} * 0,000250 \text{ kWh/(K*kg)} * 175 \text{ °C} = \mathbf{6,1 \text{ kWh}}$

Asphaltgranulat $Q_{AG} = 300 \text{ kg} * 0,000256 \text{ kWh/(K*kg)} * 175 \text{ °C} = \mathbf{13,1 \text{ kWh}}$

Füller $Q_F = 40 \text{ kg} * 0,000250 \text{ kWh/(K*kg)} * 175 \text{ °C} = \mathbf{1,8 \text{ kWh}}$

Mineralstoffe insgesamt: 42,7 kWh

Erhitzen Wasser auf Abgastemperatur

Erhitzen Wasser auf 100 °C: $28 \text{ kg} * (100 \text{ °C} - 15 \text{ °C}) * 4,183 \text{ kJ/(K*kg)} = 9,92 \text{ MJ} = 2,8 \text{ kWh}$

Verdampfen Wasser: $28 \text{ kg} * 2257,1 \text{ kJ/kg} = 63,0 \text{ MJ} = 17,5 \text{ kWh}$

Erhitzen Dampf auf Abgastemperatur: $28 \text{ kg} * (110 \text{ °C} - 100 \text{ °C}) * 1,88 \text{ kJ / (K*kg)} = 0,52 \text{ MJ} = 0,1 \text{ kWh}$

Mineralfeuchte $Q_W = 2,8 \text{ kWh} + 17,5 \text{ kWh} + 0,1 \text{ kWh} = \mathbf{20,4 \text{ kWh}}$

Erhitzen Luft auf Abgastemperatur

Abgaswärme $Q_L = 334 \text{ kg} * 1,005 \text{ kJ/kg} * (110-15) = 31,9 \text{ MJ} = \mathbf{8,9 \text{ kWh}}$

Summe $Q_E = Q_S + Q_{Sp} + Q_{AG} + Q_F + Q_W + Q_L = \mathbf{72,0 \text{ kWh}}$