ILK Dresden

 $\mathbb{Z}$ 

Fachbericht ILK-B-33/03-1128 15.10.2003 Seitenzahl 79

# Bestimmung diffuser Emissionen in einem Asphaltmischwerk

Auftraggeber	LfUG		
Bearbeiter	Dipl Chem. J. Krusche, Dipl Ing. R. Heidenreich, Dipl Ing. A. Zschoppe		
Auftragsnummer	233002		
Arbeitskomponente	-		
Zur Forschungsaufgabe	-		
Forschungsrichtungs-Nr.	-		
Öffentliche Handhabung	Bericht Deckblatt Public Relations	AG intern offen keine Veröffentlichung	
Hinweise zu anderen FB	keine		
Deskriptoren	Emissionen, Messung, Partikelgrößenbestimmung		

#### Kurzreferat

Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie wurde eine Messeinrichtung zur Bestimmung der diffusen Emissionen für den Industriezweig Steine/ Erden entwickelt und erprobt. Die Erstmessung wurde an einer Asphaltmischanlage (AMA) durchgeführt. Die neue Messmethode zur Charakterisierung diffuser Emissionen erfasst sowohl die Staubkonzentration, als auch die Kornverteilung des Staubes an verschiedenen Punkten einer flächenhaften Emission. Die Erprobung der Messeinrichtung konnte erfolgreich durchgeführt werden. Die in vier Messkampagnen an dem Asphaltmischplatz Freital der Sächsischen Asphaltmischwerke gewonnenen Erkenntnisse erlauben es, die Gesamtemission des Mischplatzes und ihren Einfluss auf die Umgebung besser als bisher einzuschätzen.

HB Klima- und Energietechnik Bereich Luftreinhaltung

Bereich Luftreinhaltung i. A. der Bearbeiter

Dipl.-Ing. Manfred List

Verteiler: Bericht AG, 1, 33 Deckblatt 11, 2, 3, 4,91 Dipl.- Ing. Ralf Heidenreich



Fachbericht ILK-B-33/03-1128

Bestimmung diffuser Emissionen in einem Asphaltmischwerk

Dipl.- Ing. Ralf Heidenreich Dipl.- Ing. Andreas Zschoppe Dipl.- Chem. Jürgen Krusche

November 2003

# Inhaltsverzeichnis

1 Vorbemerkung	3
2 Aufgabenstellung	4
2.1 Leistungsgegenstand	4
2.2 Leistungsort	5
3 Messaufbau und eingesetzte Messtechnik	5
3.1 Probenahmeeinrichtung und Messaufbau	5
3.1.1 Konzeption und Aufbau der Probenahmeeinrichtung	5
3.1.2 Umsetzung und Messaufbau vor Ort	7
3.1.3 Inbetriebnahme und Kalibrierung	8
3.2 Partikelmesstechnik	9
3.2.1 Bestimmung der Partikelgrößenverteilung	9
3.2.2 Berechnung der Trennkorngröße für die Impaktorstufen	14
3.2.3 Partikelvisualisierung mittels Rasterelektronenmikroskop	15
3.2.4 Bestimmung des Gesamtstaubkonzentration	16
3.3 Messtechnische Erfassung der Randbedingungen	16
4 Messplanung und Messablauf	17
4.1 Allgemeines zur Messdurchführung und Begriffsbestimmung	17
4.2 Festlegung der Messpunkte	19
4.3 Messablauf	22
5 Charakterisierung der Emissionsquelle und der Einsatzstoffe	22
5.1 Mischanlage und Herstellungsverfahren von Asphalt	22
5.2 Einsatzstoffe und Rezepturen bei der Asphaltherstellung	25
5.3 Staubemissionen	26
5.4 Produktionsdaten an den Messtagen	27
6 Messergebnisse	28
6.1 Messverfahren und Messunsicherheit	28
6.2 Meteorologische Bedingungen	28
6.2.1 Wettertrend in der Messperiode	28
6.3 Datenaufbereitung und -archivierung	32
6.4 Partikelgrößenverteilung der Emissionen	33

	6.4.1 Bestimmung der Partikelgrößenverteilungen mit der Messeinrichtung	33
	6.4.2 Impaktormessungen	43
6.	5 Bestimmung der Partikelform mittels REM	47
6.	6 Staubkonzentration	48
	6.6.1 Kontinuierliche Messungen mit dem Beta- Staubmeter	48
	6.6.2 Quasikontinuierliche Messungen mit dem Partikelmonitor GRIMM 1.106	49
	6.6.3 Rechenwerte für die Konzentrationen aus den Partikelgrößenmessungen	50
	6.6.4 Konzentrationsbestimmung mittels Impaktor	57
	6.6.5 Vergleich der Messverfahren	58
6.	7 Emissionsmatrix	58
	6.7.1 Mittlere Emissionskonzentration an den einzelnen Messpunkten	58
	6.7.2 Modellierung der Emissionssituation in Abhängigkeit der Windverhältnisse	61
6.	8 Staubinhaltsstoffe	65
7 Be	rechung und Charakterisierung des Ausbreitungsverhaltens	65
7.	1 Begriffsbestimmung	65
7.	2 Berechnung der Ausbreitung und Deposition	66
8 Be	wertung der Messergebnisse	73
9 Zu	sammenfassung	75
10	Literatur	76
11	Anhang	77

# 1 Vorbemerkung

In den 70er und 80er Jahren dieses Jahrhunderts wurden die ersten wirkungsbezogenen, epidemiologischen Studien durchgeführt, die einen deutlichen Zusammenhang zwischen atmosphärischer Gesamtschwebstaubbelastung und Atemwegserkrankungen bzw. Sterblichkeitsraten zeigten.

Etwa zur gleichen Zeit erfolgten erste Messungen der Größenverteilung atmosphärischer, luftgetragener Partikel. Partikel in der Außenluft werden nach derzeitigem Verständnis in drei Klassen eingeteilt:

- Nukleationsklasse
- Akkumulationsklasse
- Grobstaubklasse.

Die Klasse mit einem medianen Partikeldurchmesser um 0,018  $\mu$ m (1  $\mu$ m = 1\*10<sup>-6</sup> m) wird als Nukleationsklasse bezeichnet. Diese entsteht hauptsächlich durch Gas-zu-Partikel-Umwandlungsprozesse (chemische Reaktionen und Kondensation) und anschließender Koagulation. Partikel dieser Größenklasse haben eine relativ kurze Verweilzeit in der Atmosphäre und werden z.B. in der Nähe von Verbrennungsquellen beobachtet. Partikel der Nukleationsklasse koagulieren meistens mit Partikeln der nächsten Größenklasse, der Akkumulationsklasse (0,21 µm medianer Durchmesser). Die letztere Klasse bildet sich auch mittels Gas-zu-Partikel-Umwandlungsprozessen oder durch Koagulation. Die Partikel der Akkumulationsklasse wachsen während ihrer atmosphärischen Verweilzeit durch Kondensation weiter an, bis eine trockene oder nasse Deposition erfolgt. Durch diesen Prozeß wird die Partikelgröße der Akkumulationsklasse auf wenige Mikrometer im Durchmesser beschränkt und kann somit klar von der nächst größeren Klasse, der Grobstaubklasse (~ 4,9 µm) unterschieden werden. Partikel der letzten Klasse gelangen hauptsächlich durch mechanische Prozesse wie Aufwirbelung von Erdkrustenmaterial, Seesalz und Pflanzenteilchen in die Atmosphäre. Auf Grund der Herkunft, Entstehungsprozesse und relativ kurzen Verweilzeit in der Atmosphäre ist der Grobstaub stark orts- und zeitabhängig [3].

Unter PM 10 ist Feinstaub mit einem Durchmesser bis 10 µm zu verstehen. Unter Staub versteht man die in der Atmosphäre verteilten festen Teichen; die Staubpartikel haben keine einheitliche Zusammensetzung. Staub ist ein natürlicher Bestandteil der Luft; durch anthropogene Aktivitäten wird die Staubbelastung der Atmosphäre direkt und indirekt erhöht. Unter direkter Emission wird die Freisetzung staubhaltiger Abluft verstanden. Industrie, Gebäudeheizung und Kfz-Verkehr sind zu etwa gleichen Teilen für die Staubemission verantwortlich. Daneben gibt es noch indirekte anthropogene Staubemissionen, die oft als sekundäre Staubquellen bezeichnet werden (z.B. Staubaufwirbelungen vom Boden durch Kraftfahrzeuge und Baustellen etc.). Die in der Luft verteilten Partikel stellen in höherer Konzentration eine potentielle gesundheitliche Gefährdung für die Bevölkerung im Hinblick auf Atemwegserkrankungen dar; davon können einzelne Risikogruppen in besonderem Maße betroffen sein. Dabei sind Feinstäube besonders gesundheitsschädlich, sowohl wegen der direkten (z.B. entzündungsauslösenden) Wirkung bei ihrer Ablagerung in den Lungenbläschen als auch aufgrund der Anlagerung von toxischen Stoffen vorzugsweise am Feinstaub.

# 2 Aufgabenstellung

Die qualitative und quantitative Charakterisierung diffuser Staubemissionen von Asphalt- und Betonmischanlagen, Aufbereitungsanlagen von Straßenbelag, sowie Bauschuttrecyclinganlagen ist auf Grund der vielen Einflussparameter, sowie der starken örtlichen und zeitlichen Schwankungen der Emissionen und Immissionen sehr aufwändig und schwierig. Herkömmliche Messmethoden und -konzepte sind hier nicht ohne weiteres anwendbar.

Im Rahmen dieses Vorhabens soll eine Messmethodik entwickelt und erprobt werden, mit der die Staubkonzentration und die Korngrößenverteilung im Lee diffuser Einzel- bzw. Flächenquellen zeitlich und örtlich differenziert ermittelt werden kann. Die Erstmessung soll an einer Asphaltmischanlage (AMA) durchgeführt werden.

#### 2.1 Leistungsgegenstand

Leistungsgegenstand ist die Entwicklung und Bau einer mobilen Probenahme- bzw. Messeinrichtung für das Abrastern der Abluftfahne

- senkrecht zur Hauptwindrichtung verfahrbar im Lee der Anlage

- mit mindestens 4 Probenahmehöhen bis mindestens 10 m.

Für die Messung ist die mobilen Messeinrichtung mit Partikelmesstechnik zur Bestimmung der anzahlbezogenen Korngrößenverteilung im Teilchendurchmesserbereich bis mindestens zur Feinheit 0,5 µm an den verschiedenen Messpunkten, sowie Ausrüstung mit einer gravimetrischen Staubmesseinrichtung zwecks stichprobenartiger Vergleichsmessung auszurüsten. Zur Abschätzung des Anteils und der Größenverteilung von Partikeln im Nanometerbereich ist die mobilen Messeinrichtung mit Partikelmesstechnik zur Bestimmung der anzahlbezogenen Korngrößenverteilung im Partikeldurchmesserbereich bis zur Feinheit 0,02µm auszurüsten und damit stichprobenartige Messungen durchzuführen.

Um die erforderlichen meteorologischen Parameter bewerten zu können wurde eine Basisstation zur Erfassung und Registrierung der Daten installiert.

Eine Kalibrierung und Erprobung der gesamten Messtechnik (einschließlich Datenerfassung) wurde durchgeführt. Bei den Messungen soll der bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage dokumentiert und die Produktions- Daten erfasst werden. Mit den Messungen sollte die diffuse Emission der Anlage an mindestens 10 Tagen jeweils 6 - 8 h bestimmt werden.

Bei Tagen mit ungünstigem - insbesondere sehr feuchtem - Wetter war operativ zu entscheiden, ob die Messung durchgeführt wird. Die Messebene sollte eine Breite von 40 - 50 m haben und mindestens 16 Rastermesspunkte aufweisen. Der Zeittakt für die Messung an einem Messpunkt sollte nicht länger als 5 min betragen. Die diffusen Partikelemissionen der Anlage sind unter Einbeziehung der meteorologischen Daten nachvollziehbar zu berechnen. Die Ergebnisse der Messungen sind einer Plausibilitätskontrolle zu unterziehen. Dabei sind ggf. besondere Bedingungen der Anlage und der Messung sowie die Reproduzierbarkeit und Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse zu bewerten.

# 2.2 Leistungsort

Betreiber:	Sächsische Asphaltmischwerke GmbH & Co. KG (SAM)
	Forststraße 2a
	D- 01099 Dresden
Betriebsstätte:	Asphaltmischwerk Freital
	Schachtstraße
	D- 01705 Freital

3 Messaufbau und eingesetzte Messtechnik

# 3.1 Probenahmeeinrichtung und Messaufbau

# 3.1.1 Konzeption und Aufbau der Probenahmeeinrichtung

Derzeit eingesetzte Messtechnik zur Bestimmung diffuser Emissionen orientiert sich an den intermittierenden Probenahmen an verschiedenen Messorten mittels gravimetrischer Messtechnik.

Um Emissionen von Abluftfahnen mit größerer räumlicher Ausdehnung zu erfassen, ist ein erheblicher Aufwand an Messtechnik erforderlich. Eine korngrößenaufgelöste Messung ist damit nicht möglich. Daher wurde im ILK Dresden der Ansatz verfolgt, mit einer Messeinrichtung, welche modernste Partikelgrößenmesstechnik nutzt, die diffusen Emissionen zu bestimmen.

Kernstück der Probenahmeeinrichtung ist eine Absaugeinheit, bestehend aus fünf einzelnen Röhren, welche in 2 bis 10 Metern in Zweimeter-Abständen über Grund enden. Die Absaugrohre werden in einem Behälter zusammengeführt, in dessen Mitte über eine Absaugeinheit ein Unterdruck angelegt wird.



Die Absaugeinheit erzeugt einen stufenlos einstellbaren Volumenstrom bis 200 m<sup>3</sup>/h bei einem Unterdruck von 5000 Pa. Damit können in den Absaugrohren mit DN 50 Luftgeschwindigkeiten bis 5 m/s realisiert werden. Vor der Absaugeinrichtung wurde eine Messstrecke montiert, um Absaugvolumenstrom und Luftparameter zu erfassen.

In einem Abstand von 500 mm über dem Mischbehälter wurden Mess- Stutzen an T-Stücken abgeschweißt, aus welchen die Probenahme für die Partikelgrößenbestimmung erfolgte.

Bild 3.1-1 zeigt die schematische Darstellung der Probenahmeinrichtung. Durch diesen Messaufbau werden minimale Probenahmewege erzielt.

Die in den Absaugrohren montierten Sonden wurden auf eine isokinetische Probenahme abgestimmt.

Für die hintereinander erfolgende Beprobung der einzelnen Absaugrohre wurden die Sonden über Klemmventile so abgesperrt, dass nur jeweils ein Gasweg für die Beprobung freigegeben wurde. Über ein T-Stück wird vor Öffnung des Gasweges für die Beprobung aufbereitete Druckluft (mit Feinfilter) für die Rückspülung der Sonde eingespeist. Die Steuerung dafür wurde mittels SPS- Baustein realisiert.

Alle Rohrleitungsbauteile der Probenahmeinrichtung wurden komplett aus Edelstahl (1.4301) gefertigt.

#### 3.1.2 Umsetzung und Messaufbau vor Ort

Bild 3.1-2 zeigt den Aufbau der Probenahmeinrichtung vor Ort. Im Bild links oben ist die Druckluftaufbereitung für die Sondenrückspülung, rechts das Flugzeitspektrometer, links unten das SMPS- System, dargestellt.



Bild 3.1-2: Aufbau der Probenahmeeinrichtung vor Ort

An der Mess- Stelle vor der Absaugeinheit wurde eine weitere Partikelmessung durchgeführt. Die hier vorliegende Mischluft aus den 5 verschiedenen Probenahmehöhen wurde mittels Beta- Staubmeter FH -62 und Aerosolspektrometer 1.106 der Fa. Grimm analysiert. Durch die Dimensionierung des Mischbehälters wurde eine Abscheidung der Grobstaubanteile > 10  $\mu$ m sichergestellt.

Bild 3.1-3 zeigt die am Messfahrzeug komplett montierte Probenahmeeinrichtung vor der Asphaltmischanlage in Freital.



Bild 3.1-3: Messfahrzeug mit montierter Probenahmeeinrichtung

# 3.1.3 Inbetriebnahme und Kalibrierung

Nach Fertigstellung der Einzelteile für die Probenahmeeinrichtung wurde die Apparatur im ILK montiert und einem Funktionstest unterzogen. Insbesondere wurden die Absaugleistung und die Geschwindigkeit in den einzelnen Absaugrohren bestimmt. Die Bestimmung der Absaugleistung erfolgt mittels Hitzdrahtanemometer in einer ausreichend dimensionierten Mess- Strecke der Nennweite 70 mit 15 D Einlauf und 10 D Auslauf.

Die gleichzeitig mit erfassten Werte für Temperatur, relative Luftfeuchte und Druck werden über einen Messwandler "Norm- Message" der Fa. Delphinsysteme auf PC abgespeichert. Die Einströmgeschwindigkeit in den einzelnen Rohren wurde mittels Flügelradanemometer bestimmmt. Die Strömungsgeschwindigkeiten in den Absaugrohren sind in der nachfolgen-

den Tabelle gegenübergestellt:

# Tabelle 3.1-1:Mess- und Berechnungsergebnisse bei der Inbetriebnahme der<br/>Probenahmeeinrichtung

Messwert	kalk. Wert	kalk. Wert	Messwei	ť				
Vl,gesamt	V <sub>I,teil</sub>		Rohrges	chwindigk	eit			
	Anteil je							Standard-
	Rohr	W <sub>Rohr</sub>	Rohr#1	Rohr#2	Rohr#3	Rohr#4	Rohr#5	abweichung
m³/h	m³/h	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
95	19	2,8	2,9	2,7	2,9	2,7	2,9	0,10
155	31	4,6	4,5	4,8	4,5	4,5	4,6	0,12
205	41	6	6	5,7	5,9	5,8	6	0,12

Die Absaugmenge des Flugzeitspektrometers beträgt 5 l/min. Die Gerätedaten wie:

- Luftdurchsätze (Spül- und Probenluft)
- Laserintensität
- Laserspannung
- Optik- Temperatur

wurden überprüft. Auch die Absaug- Parameter der übrigen Messgeräte wurden mittels Gasuhr überprüft. Die Prüfzertifikate der verwendeten Referenzen sind dem Anhang beigefügt.

# 3.2 Partikelmesstechnik

# 3.2.1 Bestimmung der Partikelgrößenverteilung

Zur Partikeldetektion, Aerosolcharakterisierung und Überwachung der Begleitparameter wurde unterschiedliche Messtechnik mit verschiedenen Messprinzipien eingesetzt. In Tabelle 3.2-1 ist die verwendete Staub- Messtechnik aufgeführt.

Tabelle 3.2-1: Eingesetzte Staub- Messtechnik

Größe	Messprinzip	Messbereich	Sensor / Messgerät	
Staubkonzentration	Absorption von ß- Strah- lung	Masse: 0-2400 µg Absaugleistung 1m³/h	Kugelfischer FH-62	
Staubkonzentration Patrikelgrössen- verteilung	Streulichtmessung	0,35 µm 6,5 µm	Modell 1.106 Fa. Grimm	
	Flugzeitmessung; Korrela- tion von Partikelgrösse und Massenträgheit	0,5 µm 20 µm	APS- System 3320 Fa. TSI Inc.	
	Elektroklassierer; Kondensationskernzähler	10nm 1000 nm	SMPS- System 3926 mit DMA 3081 CPC 3010; TSI Inc.	
	Fraktionierendes Impakti- onsverfahren – 11 Trenn- stufen davon 10 auswert- bar, Abscheidemedium: Al- folien	0,008 16,5 μm	Berner- Nieder- druck- Kaskadenim- paktor LPI 0,008/ 25 Fa. Haucke	
Masse der Impak- torstufen	Gravimetrisch	0 200 g; Auflö- sung 0,01 mg	Mettler Analysen- waage AT 261	

Mit dem Aerosolspektrometer 1.106 der Fa. Grimm ist es möglich, quasikontinuierlich Stäube in der Luft und deren Aerosolverteilung zu messen. Die Messwerte können über eine serielle Schnittstelle aller 6 Sekunden ausgelesen werden.

Das Messverfahren beruht auf der Streulichtmessung der Einzelpartikel. Dabei dient ein Halbleiterlaser als Lichtquelle. Die Staubpartikel, die den Laserstrahl passieren, streuen das Licht stochastisch. Das Licht, welches senkrecht zur Laserstrahlrichtung gestreut wird, wird von einem Spiegel auf eine Diode gelenkt. Das Signal der Diode wird verstärkt und in Größenklassen unterteilt, wodurch gleichzeitig eine Größenbestimmung der Partikel möglich wird. Die Unterteilung erfolgt in die nachstehenden 8 Größenklassen:

Tabelle 3.2-2: Detektierte Partikelkassen des Staubmonitors Grimm 1.106

Partikelklassen in µm							
>0,35	>0,5	>0,75	>1	>2	>3,5	>5	>6,5

Die Messwerte können dabei als Massenkonzentration [µg/m³] oder Partikelkonzentration [Partikel/Liter] ausgegeben werden. Die Massenkonzentration wird durch das Gerät berechnet. Dafür muss der Gravimetriefaktor des Aerosols oder Staubes bekannt sein.

Das Gerät ist werksseitig mit einem Prüfaerosol (Stearinsäure) kalibriert worden. Dem Prüfaerosol entspricht der Gravimetriefaktor 1. Soll die Messung anderer Stäube oder Aerosole erfolgen, ist zu beachten, dass dazu die Korrektur um den jeweiligen zugehörigen Gravimetriefaktor notwendig ist. Dieser ist über den im Gerät eingesetzten Absolutfilter problemlos ermittelbar. Das Absolutfilter aus Teflon wird mit der Probenluft während der Messung beaufschlagt. Alle Partikel, welche die Messzelle passiert haben werden auf dem Absolutfilter abgeschieden. Durch Wägung vor und nach der Messung kann der Massezuwachs auf dem Filter bestimmt werden. Die Software des Gerätes berechnet mit den Standard- Partikeleigenschaften einen theoretischen Massenzuwachs auf dem Filter, welcher mit dem tatsächlich ermittelten ins Verhältnis gesetzt wird. Dies ist der so genannte Gravimetriefaktor. Damit kann der massebezogene Messwert der Gesamtpartikelkonzentration korrigiert angegeben werden.

Die Partikelmessungen im Nanometerbereich wurden mit einem Kondensationspartikelzähler (CPC) in Verbindung mit einem Elektroklassierer (SMPS- System) der Firma TSI durchgeführt. Dieses Messgerät kann Partikel mit einer Größe unterhalb von 1 Mikrometer sicher detektieren. Nach dem Probeneinlass wird mit einer Impaktionsstufe die dem Gerät zugeführte Partikelgröße auf kleiner 1 µm begrenzt. Anschließend werden die Partikel durch einen Krypton- Strahler (74 MBq) neutralisiert. Damit besteht ein Ladungsgleichgewicht in der zugeführten Aerosolprobe. Die Probe wird anschließend dem DMA (Differentieller-Mobilitäts-Analysator) zugeführt. Hier wird durch Variation der Feldstärke jeweils eine definierte Partikelfraktion an der zentrisch angeordneten negativen Elektrode separiert. Die separierten Partikel werden dann im CPC gezählt.

Die Änderung der Feldstärke erfolgt durch Variation der angelegten Hochspannung im Bereich von 0 bis 10 kV. Ein kompletter Messvorgang erstreckt sich dabei über einen Zeitraum von etwa einer Minute. Im CPC werden die Partikel mit Butanol mittels Peltierkühler aufkondensiert. Die Detektion erfolgt durch einen Laserpartikelzähler.



Bild 3.2-1: Wirkungsprinzip von Elektroklassierer und Kondensationspartikelzähler

Das Flugzeitspektrometer APS 3320 (Aerosol Particle Sizer) der Fa. TSI misst die Geschwindigkeiten der durch eine Düse beschleunigten Partikel im Luftstrom. In der Messzelle werden die im Luftvolumenstrom befindlichen Partikel in der Schleierluft (Sheathflow) mitgeführt und passieren 2 fokussierte Laserstrahlen, dabei streuen diese das Licht. Das Streulicht wird durch einen elliptischen Spiegel aufgefangen und an einen Photodetektor weitergeleitet, welcher die Lichtimpulse in elektrische Impulse umwandelt. Über elektronische Verhältnisse zwischen den Impulsspitzen wird die Geschwindigkeit der einzelnen Partikel berechnet. Der Messbereich des APS liegt für die Erfassung des aerodynamischen Durchmesser und des Streulichtsignals zwischen 0,5  $\mu$ m und 20  $\mu$ m. Im Bereich von 0,3  $\mu$ m und 0,5  $\mu$ m ist nur die Streulichtmessung möglich. Die Probenahme erfolgt durch Aufteilung des Volumenstromes in die Probenluft durch eine innere Düse und einer (Spül)Luft durch eine äußere Düse. Die Aufnahme der (Spül)Luft ist durch eine Pumpe geregelt. Dabei wird der Volumenstrom durch einen Druckausgleich in einer Verjüngung kontrolliert. Dieser Druckausgleich wird durch einen Volumenstrom erzeugt, der eine Kompensation des absoluten Atmosphärendrucks bewirkt.

Die Probenluft und die (Spül)Luft werden nach dem Druckausgleich wieder zusammengeführt und durch eine Düse beschleunigt. Die Beschleunigung bewirkt eine erhöhte Geschwindigkeit des Luftstromes um die Probenpartikel. Dadurch erreichen kleine Partikel eine höhere Geschwindigkeit als größere Partikel (Trägheit).



#### Bild 3.2-2: Schematische Darstellung des APS

Die eigentliche Messung erfolgt in der optischen Kammer. Als Laserdiode kommt ein 625 nm – Laser zum Einsatz. Das von Laser ausgesendete Licht wird mit einer 45° rotierenden Platte vertikal polarisiert. Nach der Polarisation durchläuft der Laser eine positive und negative Linse und vereint den Strahl im Partikelstrom. Anschließend werden die horizontale und vertikale Ebene des Strahls getrennt. Das Strahlenpaar gelangt durch eine negative Linse wo der Abstand der Strahlen gemessen wird. Durch eine Blende gelangen die Strahlen auf optische Hindernisse. Der sogenannte Brewsterwinkel<sup>1</sup> bewirkt eine vertikale Polarisation, welches ein

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Trifft ein Lichtstrahl unter dem Brewsterwinkel (auch Polarisationswinkel) auf die Grenzfläche, dann ist der reflektierte Teil vollkommen linear polarisiert. Reflektierender und gebrochener Strahl bilden einen rechten Winkel. (Kuchling, Taschenbuch der Physik: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag München Wien 1996, 16.Auflage

Einfangen des vertikalen polarisierten und einen Großteil des horizontalen Lichtes bewirkt. In einem zweiten Brewsterwinkel werden die verbleibenden Anteile aufgefangen.

Für einen gravimetrischen Bezug wurden Kaskadenimpaktormessungen durchgeführt. Dabei erfolgt die Trennung der Partikel entsprechend ihrer Trägheit. Beim Kaskadenimpaktor wird die Luft mit den darin enthaltenen Partikeln angesaugt und strömt durch ein System von Trennstufen. In jeder dieser Stufen wird durch eine Düsenplatte eine Anzahl von Aerosoljets erzeugt. Die Jets strömen gegen eine Stauplatte und werden dort abgelenkt. Die Partikel werden entsprechend ihrer Trägheit auf den entsprechenden Stufen abgeschieden. Zur Ermittlung der Staubmassenkonzentration wird die Massendifferenz der Platten gravimetrisch bestimmt.

Impaktortyp: Hersteller: Ausführung: Abscheidemedium: BERNER-LPI-25/0,0085/2 Fa. Hauke, Gmunden (A) V4A Aluminiumfolien, 10 µm dick



#### Bild 3.2-3: Berner - Impaktor zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung

Der Impaktor arbeitet im Grobpartikelbereich bei atmosphärischem Druck. Im Feinstpartikelbereich wird die Abscheidung des Aerosols durch Absenken des Druckes in den Trennstufen erreicht. Jedoch erfolgt dieser Vorgang schrittweise von Stufe zu Stufe und ist für das Aerosol schonender als eine einmalige Druckerniederung durch eine überkritisch arbeitende Reduktionsdüse.

Dadurch und durch die Verwendung runder Präzisionsdüsenbohrungen bleiben die Strömungsgeschwindigkeiten klein und ein Minimum an Verblasen ist gewährleistet. Unter Verblasen versteht man das Wiederaufwirbeln von schon abgeschiedenen Partikeln. Die Strömungsführung verhindert auch bei trockenen Niederschlägen das unter Umständen verstärkt auftretende Verblasen von Partikeln so gut, dass der Durchtritt auf nachfolgende Stufen durch die Düsen gering ist.

Im Impaktor ist eine kritische Düse zur Begrenzung der Impaktorströmung eingebaut. Sie fixiert den Druckabfall sowie die Drücke in den Niederdruckstufen auf die benötigten Werte und unterbindet den Durchgriff schwankender oder pulsierender Pumpenleistungen auf die Impaktorströmung.

Die erforderliche Vakuumpumpe ist hinsichtlich Leistungsfähigkeit, Fördervolumen und Mindestdruck für Dauerbelastungen im Grobvakuumbereich ausgelegt.

Die Trocknung und Konditionierung des Abscheidemediums erfolgt vor und nach der Messung im klimatisierten Wägeraum. Mit einer Analysenwaage wird die Staubmasse bestimmt.



Bild 3.2-4: Impaktor und Analysenwaage

# 3.2.2 Berechnung der Trennkorngröße für die Impaktorstufen

Die Berechnung der Trennkorngröße für die jeweiligen Impaktorstufe in Abhängigkeit den vorherrschenden Messbedingungen wird nach der VDI 2066 BI. 5 Fraktionierende Staubmessung nach dem Impaktionsverfahren (Kaskadenimpaktor) vorgenommen. Dabei werden die gerätespezifischen Auslegungsdaten des verwendeten Impaktors BERNER-LPI-25/0,0085/2 für den entsprechenden Arbeitsbereich eingesetzt.

Der Impaktor erfüllt die Anforderungen der VDI 2066 BI. 5 hinsichtlich:

- Düsenform,
- Verhältnis Düsenlänge zu Düsenbreite,
- Verhältnis Düsenbreite zu Abstand zwischen Düse und Prallpatte und
- den auftretenden Stokes-Zahlen und der Reynolds-Zahlen.

Der verwendete Impaktor ist ein Niederdruck- Kaskadenimpaktor. Er arbeitet im gröberen Partikelbereich bei atmosphärischem Druck und im Feinstpartikelbereich wird der Druck stufenweise abgesenkt. Durch eine kritische Düse wird der Druckabfall in den Stufen fixiert, sodass er unabhängig von den Messbedingungen ist.

Impaktor-	Druckverhältnis	Düsen-	Düsen-
stufe	Stufendruck/ Be-	anzahl	weite
	triebsdruck		
i	F <sub>B</sub>	N	D [mm]
11	1,00	1	14,6
10	1,00	6	5,1
9	1,00	20	2,2
8	0,99	33	1,2
7	0,98	46	0,70
6	0,96	16	0,67
5	0,77	16	0,52
4	0,48	25	0,42
3	0,31	65	0,34
2	0,19	127	0,31
1	0,10	262	0,29
-1	0,05	462	0,30

Tabelle 3.2-3: Druckverhältnisse, Düsenanzahl und Düsenweite der Impaktorstufen

Für die temperaturabhängige Korrektur des Volumendurchsatzes wird folgende Gleichung angewendet:

 $\dot{V} = \dot{V}_0 * \sqrt{\frac{T}{T_0}}$ 

(3-1)

#### 3.2.3 Partikelvisualisierung mittels Rasterelektronenmikroskop

Für die Charakterisierung der Partikel wurde neben der Messung mit dem SMPS- Gerät und dem Aerosolspektrometer auch eine Visualisierung der Partikel unter dem Elektronenmikroskop durchgeführt. Die dafür notwendige Probenahme wurde an der Anlage mittels Kernporenfilter durchgeführt; Präperation und Visualisierung der Proben wurde am MDZ der TU Dresden nach folgender Verfahrensweise durchgeführt: Präparation der Proben:

- Herausschneiden eines ca. 1x1 cm großen Teilstückes aus dem Filter der entsprechenden Probenahmestufe und Aufkleben auf einen Kohlenstofftab
- Besputterung (Aufdampfen einer d
  ünnen Goldschicht) der Proben, um deren Aufladung w
  ährend des Betrachtens im Mikroskop zu minimieren

Visualisierung:

- Einsatz des Niederspannungselektronenmikroskops GEMINI 982 der Firma LEO
- Beschleunigungsspannung 1 bzw. 2 keV
- Vergrößerung und Arbeitsabstand sind der Bildunterschrift zu entnehmen und wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit untereinander angepasst (200x, 3000x, 2000x)

Anhand der erhaltenen Bilder kann eine Aussage zur Form der Partikel getroffen werden. So ist von Interesse ob es sich bei den detektierten Partikeln um Primär – oder Sekundärpartikel handelt bzw. ob sich Koagulate/Agglomerate bilden. Diese Unterscheidung ist mit den anderen Messverfahren nicht möglich.

Als Probenahmemedium dient ein goldbedampftes Membranfilter mit einer mittleren Porengröße von 0,8 µm. Dieser Filter ist in einem Filterkopf untergebracht. Durch diesen wird mittels einer Probenahmepumpe GSA dreißig Sekunden mit einem Volumenstrom von 3 I min<sup>-1</sup> das Aerosol gesaugt.

# 3.2.4 Bestimmung des Gesamtstaubkonzentration

Die Gesamtstaubkonzentration wurde über ein Beta- Staubmeter FH 62 der Fa. Kugelfischer bestimmt. Dieses Gerät ist im Bereich der Immissionsmessung eignungsgeprüft. Für die durchgeführten Messungen musste eine Auswertung im Masse-Modus erfolgen. Dabei wird der Masseanstieg je Zeiteinheit auf dem Filterfleck bewertet. Dabei reicht der auszuwertende Messbereich von 0 bis 2400 µg. Eine gesammelte Staubmasse von 2400 µg ist als Abbruch-kriterium im Mess-Modus fixiert, beim Erreichen dieses Wertes wird ein Filterwechsel durch-geführt.

#### 3.3 Messtechnische Erfassung der Randbedingungen

Für die Bewertung der Luftparameter wurde neben der Messung mittels Immissions- Container des LfUG auch direkt auf dem Messfahrzeug die Daten

- Lufttemperatur, relative Luftfeuchte
- Windrichtung und Windgeschwindigkeit
- Luftdruck

messtechnisch erfasst.

Bild 3.3-1 zweigt den aufgebauten Immissionsmess- Container auf dem Gelände des Asphaltmischwerkes. Zur Stromversorgung des Containers wurden 350 m Kabel über das Gelände verlegt.



Bild 3.3-1: Immissionsmess- Container auf dem Gelände des Asphaltmischwerkes

# 4 Messplanung und Messablauf

# 4.1 Allgemeines zur Messdurchführung und Begriffsbestimmung

Die Durchführung der Messungen zur Charakterisierung der diffusen Staubemission im Asphaltmischwerk Freital stellte sich auf Grund der Randbedingungen

- (volle) Produktion im Mischwerk
- trocken Wetterlage
- Windverhältnisse, die eine Messung ermöglichen (aus westlicher Richtung)

relativ schwierig dar. Bei den Planungen der Messungen war davon ausgegangen worden, dass die Messungen bei stabiler Wetterlage im Spätsommer (September) durchgeführt werden. Auf Grund von Abrissarbeiten auf dem Gelände des Asphaltmischwerkes war in diesem Zeitraum auf Grund der dabei entstehenden erheblichen Staubbelastung eine Messung unmöglich. Nach Abschluss der Abrissarbeiten Ende September stellte sich eine instabile Wetterlage mit erhöhter Regenwahrscheinlichkeit ein. Weiterhin war in der nun fixierten Messperiode vom 25.09.2003 bis zum 15.10.2003 eine ungünstige Auftragslage beim Betreiber des Mischwerkes, der Fa. SAM, vorherrschend. Die Aufträge waren in dieser Zeit nur von geringerem Umfang und wurden meist erst am betreffenden Tag von den jeweiligen Auftraggebern abgerufen. Damit war für die Messungen keine effektive Planung möglich. Es musste täglich nach Wettersituation und Auftragslage an der Mischanlage entschieden werden, ob gemessen werden kann. An einigen Tagen war bei optimaler Wetterlage am Morgen der Auftrag bei der Fa. SAM storniert worden, in anderen Fällen war Regenwetter vorherrschend bei voller Produktion der Mischanlage. Ab Mitte Oktober setzten erste Fröste mit hohen relativen Luftfeuchten eine. Damit war eine Fortführung der Messungen nicht mehr sinnvoll. Aus diesen objektiven Gründen konnten die Messungen im oben genannten Zeitraum nur an 4 Tagen durchgeführt werden.

Dies zeigt, dass die Charakterisierung diffuser Emissionsquellen auch mit moderner Messtechnik eine schwierige Problematik darstellt. Es kann aber auch festgestellt werden, dass durch den Einsatz der im Rahmen des Themas entwickelten Messvorrichtung eine Messung mit weitreichenden Aussagen innerhalb kurzer Messzeiten ermöglicht wird. Mit konventionellen Verfahren wäre innerhalb des kurzen zur Verfügung stehenden Zeitfensters keine der nachfolgend dargestellten Aussagen möglich gewesen.

Im Zusammenhang mit der Beschreibung der Messzeitpunkte und den Messorten auf dem Gelände des Mischwerkes werden folgende Begriffe definiert.

#### Messkampagne

Zeitraum in dem vor Ort Messungen der Staubemission durchgeführt wurden;

Messkampagnen wurden immer an einem ganzen Betriebstag des Asphaltmischwerkes durchgeführt. In Summe wurden 4 Messkampagnen durchgeführt:

- 1. Bestimmung der Hintergrundkonzentration ohne Produktion
- 2. Bestimmung der diffusen Staubemission bei Winden aus südöstlicher Richtung
- 3. Bestimmung der diffusen Staubemission bei Winden aus südwestlicher Richtung
- 4. Bestimmung der diffusen Staubemission bei geringer Windgeschwindigkeit.

#### Messpunkt

Lokaler Messort auf dem Gelände des Asphaltmischwerkes

Es wurden insgesamt 13 Messpunkte definiert, welche in Abhängigkeit der Windrichtung nicht immer alle Verwendung fanden. Die Messpunkte werden im nachfolgenden Abschnitt erläutert.

#### Messreihe

Zeitraum innerhalb einer Messkampagne, während der ein Emissionszustand messtechnisch an einem Messpunkt erfasst wurde

Auch bei intermittierender Betriebsweise des Asphaltmischwerkes wurde, außer bei der ersten Messkampagne ("Nullmessung"), nur bei bestimmungsgemäßem Betrieb der Mischanlage gemessen.

#### 4.2 Festlegung der Messpunkte

Für die Messung wurden in einer ersten Vor-Ort-Begehung die Messpunkte festgelegt. Entlang der Zufahrtsstraße wurden ausgehend von der Hauptwindrichtung SW insgesamt 13 Messpunkte in einem Abstand von 7,5 m zueinander fixiert. Ausgehend von den während der Messkampagnen vorherrschenden Windbedingungen wurden vorzugsweise die MP 1 bis 10 (Kampagne 1 und 3; Südwind) und die MP 11 bis 13 (Kampagne 2; Westwind) beprobt.

Der Messpunkt MPS wurde zusätzlich zur Charakterisierung der Emissionen bei der Befüllung der Fahrzeuge mit Asphalt- Produkten eingeführt und in der Messkampagne 2 und 4 in Form von Stichproben bemessen. Die Anordnung aller festgelegten Messpunkte auf dem Werksgelände der SAM ist in Bild 4.2-1 dargestellt. In Bild 4.2-2 bis Bild 4.2-5 ist die Zuordnung der Messpunkte während der einzelnen Messkampagnen dargestellt. Für die Fixierung der Messpunkte im Rahmen der Messkampagnen wurde die Windrichtung berücksichtigt und die Punkte mit direktem Bezug zur Emissionsquelle ausgewählt. Für die Auswahl der Messpunkte wurde auch eine Beprobung der Messpunkte als Einzelmessung durchgeführt, welche im Einzelfall zur Diskriminierung bestimmter Messpunkte führte, wenn keine höhere Belastung mit Staub als im Bereich des Hintergrundwertes vorlag.



Bild 4.2-1: Übersichtsplan der Asphaltmischanlage Freital mit den Messpunkten



Bild 4.2-2: Zuordnung der Messpunkte in Messkampagne 1



Bild 4.2-3: Zuordnung der Messpunkte in Messkampagne 2



Bild 4.2-4: Zuordnung der Messpunkte in Messkampagne 3



Bild 4.2-5: Zuordnung der Messpunkte in Messkampagne 4

Da die Messungen bei jeweils anderen Anströmbedingungen durchgeführt wurden kann in Auswertung der Messungen ein Darstellung der Bandbreite möglicher diffuser Staubemissionen erfolgen; eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse konnte allerdings resultierend aus den objektiven Gegebenheiten nicht nachgewiesen werden.

#### 4.3 Messablauf

Bei den durchgeführten Messungen wurde jeweils nach Aufbau und Inbetriebnahme der Messtechnik ein Funktionstest durchgeführt. Danach wurden nacheinander die einzelnen Messpunkte angefahren und die Partikelmessungen durchgeführt. Für den Kaskadenimpaktor wurde in der mittleren Windrichtung ein günstiger Standort mit möglichst großer Emission ausgewählt. Dort wurde dann die Staubsammlung über den gesamten Messtag durchgeführt. Während der Messung und am Ende jedes Produktionstages wurden die Produktionsdaten erfasst.

# 5 Charakterisierung der Emissionsquelle und der Einsatzstoffe

# 5.1 Mischanlage und Herstellungsverfahren von Asphalt

Dem verfahrenstechnischen Produktionsablauf in Asphaltmischanlagen liegt eine relativ große Palette an mechanischen und thermischen Verfahrensstufen zu Grunde. Dabei wird eine fast vollständige Rückführung von Produktionsrückständen in den Stoffstrom erreicht.



Bild 5.1-1: Verfahrensschema einer Asphaltmischanlage



Bild 5.1-2: Schematische Darstellung einer Asphaltmischanlage mit Kennzeichnung der Emissionsquellen (nach [ 1])

Von Fahrzeugen (Staubentwicklung durch Fahrzeugbewegungen!) angelieferte Mineralien (Sand: Körnung 0,09 bis < 2 mm; Splitte: Körnung 2 bis 32 mm; Schotter: Körnung > 32 mm)

werden ja nach ihrer Korngröße in verschiedene Doseure (1) gefüllt; das Befüllen ist je nach Körnung und Ausführung der Füllvorgänge mit Staubentwicklung verbunden.

Die Doseure können zur Herstellung von Kornklassenmischungen gewünschter Zusammensetzung nach unten entleert werden, wobei die abfließende Menge unter Staubentwicklung auf ein Förderband (2) gelangt und von dort in eine Trockentrommel (3).

Die Trockentrommel wird mit Heizöl EL beheizt. Dabei wird in der Trockentrommel die Gesteinsmischung auf eine Temperatur von 150 bis 180°C gebracht, um

- die Materialien im Gegenstrom zu trocknen und von Staub zu befreien und
- eine spätere gute Benetzung mit Bindemitteln im Mischprozess (s. u.) zu ermöglichen.

Die anfallenden staubhaltigen Verbrennungsabgase werden neben der Materialaufgabe mittels Absaughaube erfasst und einer Entstaubungsanlage zugeführt. Im Wesentlichen werden filternde Abscheider (5) zur Abscheidung feiner Partikeln (Füller, Überführung in ein Eigenfüllersilo (7) mit Vorabscheiderkühler (4) zur Abscheidung grober Partikeln (Sand) verwendet. Nach der Reinigung treten die staub-, S0<sub>2</sub>- und geruchsstoffhaltigen Abgase durch den Schornstein (6) in die freie Atmosphäre aus.

Die getrocknete Gesteinsmischung wird am Trommelende, wo sich auch der Brenner befindet, ausgeschleust und mit einem Heißgutelevator (Becherwerk) (8) auf eine Heißgutabsiebung (Mehrdeckersieb, Schwungsieb) gebracht, wo erneut eine Trennung in Kornklassen und eine separierte Zwischenlagerung in Heißmineraltaschen (Zwischensilos) vorgenommen wird.

Im Mischer (9) selbst findet ein so genanntes "Mischen ohne Kneten" statt. Bei diesem Mischprozess wird das mit Füller vermischte, aufgelockerte Gesteinsmaterial durch Wellen hoch gewirbelt und im Schwebezustand mit dem automatisch zugemessenen, durch Hochdruckdüsen zerstäubten Bindemittel benetzt. Dabei geschehen am Mischgut eine Reihe die Materialeigenschaften günstig beeinflussende Vorgänge:

- homogene Verteilung und innige Umhüllung des Gesteinsmaterials mit dem Bindemittel in dünnster Schicht durch Kapillarkräfte,
- optimale Ausnutzung der stabilisierenden Wirkung des Füllers.

Das Bindemittel wird unter Warmhaltung in Spezialfahrzeugen angeliefert und in 10 bis 80 t fassende Bindemittel- Lagerbehälter (12) umgepumpt. Die Lagerbehälter ihrerseits werden mittels Brenner (13) entweder direkt über ein Flammrohr oder indirekt über einen Thermalölkreislauf beheizt, wodurch das Bindemittel bei 170 bis 190 °C heiß gehalten und somit umgepumpt werden kann; so gelangt es zum Mischer. Die S0<sub>2</sub> - und geruchshaltigen Verbrennungsabgase treten über einen Schornstein (14) in die freie Atmosphäre aus.

Das geruchsintensive Mischgut gelangt mittels Schrägkübelaufzug (10) in ein Verladesilo (11) wo es - je nach Anlagentyp - maximal nur 10 bis 24 Stunden zwischengelagert werden

darf. Unter dem Verladesilo werden Lastkraftwagen mit dem Mischgut beladen, das auf kürzestem Wege zu den Einbaustellen befördert werden muss; es ist durch Abdecken möglichst warm zu halten [1].

# 5.2 Einsatzstoffe und Rezepturen bei der Asphaltherstellung

Die Einsatzstoffe für die einzelnen Asphaltprodukte sind in Tabelle 5.2-1 aufgeführt.

Tabelle 5.2-1: Beispiele der Zusammensetzung	von	Asphaltm	nischgut
--	-----	----------	----------

Mischgutart	Asphalt-	Kornanteil*	<sup>2</sup> )	Bitumen	
	Bezeichnung				
	[12; 11]	> 2mm	< 0,09	Gehalt	Handelsbezeichnung
			mm		
		Gew%	Gew%	Gew%	
Asphalttragschicht	A(0/22)	0 bis 35	6 bis 20	4,5 bis 5,0	B65 bis B200
	B(0/22; 0/32)	35 bis 60	4 bis 12	4,2 bis 4,6	B65 bis B200
	C(0/22;	60 bis 80	2 bis 10	4,0 bis 4,2	B65 bis B200
	0/32)				
Tragdeckschicht	0/16	50 bis 70	7 bis 12	5,0 bis 5,5	B65 bis 8200
Binderschicht	0/22	65 bis 80	1 bis 6	3,0 bis 5,5	B65 bis B80
	0/16	60 bis 75	1 bis 6	3,0 bis 5,5	B65 bis B80
Asphaltdeckschicht	0/11	45 bis 55	6 bis 12	5,8 bis 7,5	B65 bis B80
	0/8	40 bis 60	6 bis 12	5,8 bis 7,5	B65 bis B80
	0/5	35 bis 55	6 bis 12	5,8 bis 7,5	B65 bis B80
Gussasphalt	0/11	40 bis 55	20 bis 30	6,5 bis 8,5	B25 bis B45
(Straßenbau)	0/8	35 bis 50	22 bis 32	6,8 bis 8,8	B25 bis B45
	0/5	30 bis 45	24 bis 34	7,0 bis 9,0	B25 bis B45
Asphaltmastix	0/2	0 bis 15	30 bis 60	13,0 bis	B25 bis B45
				18,0	
Gussasphalt	0/8	35 bis 50	22 bis 32	8,0 bis	HVB
				15,0	
(Hochbau)	0/5	30 bis 45	24 bis 34	8,0 bis	HVB
				10,0	

\*) Rest = abgestufter Sand (Natursand und/oder Brechsand), Körnung 0,09/2,0 mm

# 5.3 Staubemissionen

Entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 5.1 kommt bei den Betrieb von Asphaltmischanlagen zu Staubemissionen. Bild 5.3-1 zeigt eine Auswahl von Emissionsquellen.



Bild 5.3-1: Fotodarstellung einer Auswahl von Quellen der diffusen Staubemission auf der Mischanlage Freital

#### 5.4 Produktionsdaten an den Messtagen

In den nachfolgenden Tabellen sind die Produktionsdaten an den Tagen der Mess-Kampagnen zusammengestellt. Dabei ist zu beachten dass im betrachteten Zeitraum keine Groß- Chargen auf der Anlage gefahren wurden. Die größte Produktion wurde während der Messkampagne 2 erreicht. Am Tag der Messkampage 1 (Bestimmung der Hintergrundkonzentration am 26.09.2003) wurde keine Produktion gefahren.

Tabelle 5.4-1: Produktionsdaten am 01.10.2003; Messkampagne 2

Mischprodukt	Produktionsmenge in Tonnen
Tragschicht	1135
Binder	108
Asphaltbeton	117
Obere/ Untere Tragschicht	210
Summe	1570

Tabelle 5.4-2: Produktionsdaten am 6.10.2003; Messkampagne 3

Mischprodukt	Produktionsmenge in Tonnen
Tragschicht	235
Binder	60
Deckschicht	333
Summe	628

#### Tabelle 5.4-3: Produktionsdaten am 14.10.2003; Messkampagne 4

Mischprodukt	Produktionsmenge in Tonnen
Tragschicht	162
Binder	932
Deckschicht	106
Summe	1200

# 6 Messergebnisse

#### 6.1 Messverfahren und Messunsicherheit

Die für die Messungen eingesetzte Partikelmesstechnik wurde in Abschnitt 3.2 beschrieben. Darüber hinaus wurde für die Erfassung der Anström- und Luftparameter nachfolgend aufgeführte Temperatur-, Feuchte-, und Luftgeschwindigkeitsmesstechnik eingesetzt. Die Messunsicherheiten für alle eingesetzten Messverfahren sind in Tabelle 6.1-1 zusammengefasst.

 Tabelle 6.1-1:
 Eingesetzte Messtechnik und Messunsicherheit

	1			1
Messaröße	Sensor/ Mess-	Hersteller	Messbereich	Messunsicherheit
	aarät			
	geral			
Lufttemperatur	THERM 8736	Ahlborn	035 °C	± 0,5 °C
Relative Luftfeuchte	THERM 8736	Ahlborn	0100 % r.H.	2 % r.H.
Windgeschwindigkeit	4.3155.21.002	Adolf Thies	0,535 m/s	± 0,5 m/s oder
		GmbH & Co.		± 2 % v. Messwert
Windrichtung	4.3155.21.002	Adolf Thies	0360 °	± 2° Dämpfungs-
		GmbH & Co.		grad > 0,3
Partikelkonzentration	FH 62	Frieseke&	Masse	± 10 µg
		Höpfner	02400 µg;	
	APS 3320	TSI	< 1000 ct/cm <sup>3</sup>	±2 % Koinzidenz
			bei 0,5 µm	
Partikelgröße/-	APS 3320	TSI	0,520 µm	± 4 % bei 2 µm
anzahl			aerodynamisch	± 5 % bei 5 µm

Für die Bestimmung der Partikelkonzentration wurde auf Grund der schnellen Konzentrationsänderungen am Gerät Betastaubmeter FH 62 Mess- Modus "Masse" eingesetzt. Die Konzentration ergibt sich dabei aus dem Bezug auf das abgesaugte Gasvolumen je Zeiteinheit. Die Messunsicherheit für die Staubkonzentration ergibt sich damit aus der Unsicherheiten des Gasdurchsatzes, der Massebestimmung und der Bestimmung des Masseanstieges in Auswertungszeitbereich. Die Messunsicherheit für die Staubkonzentration für die Staubmassenkonzentration wurde für den vorliegenden Einsatzfall mit  $\pm$  50 µg/m<sup>3</sup> abgeschätzt.

# 6.2 Meteorologische Bedingungen

#### 6.2.1 Wettertrend in der Messperiode

Die Messungen fanden in einer Wetterperiode unter Hochdruckeinfluss mit fallender Tendenz der Lufttemperatur statt. Vorherrschend waren Winde aus überwiegend westlicher Richtung mit stark variierender Luftgeschwindigkeit.

Die Trends sind in den nachfolgenden Bildern dargestellt. Auf Grund der stark variierenden Parameter können keine Aussagen zur Reproduzierbarkeit der Daten getroffen werden. Allerdings ist es dadurch möglich eine mögliche Bandbreite der Emissionscharakteristik in Be-



zug auf verschiedene Anströmbedingungen aufzuzeigen. Die Messtage der Messkampagnen 2 bis 4 sind durch die senkrechten Linien gekennzeichnet.

Bild 6.2-1: Trend 1 der Wetterentwicklung während der Messkampagnen



Bild 6.2-2: Trend 2 der Wetterentwicklung während der Messkampagne

Tabelle 6.2-1:	Lokale Luftdaten fü	r den Messort Freital

Datum	Messkampagne	Lufttemperatur in °C	Relative Luftfeuchte in %
			r.H.
26.09.2003	1	23,9	18,5
1.10.2003	2	16,9	45,3
06.10.2003	3	11,6	46,5
14.10.2003	4	8,7	60,3



Bild 6.2-3: Winddaten des Umweltmess- Containers während der Messkampagnen

#### 6.3 Datenaufbereitung und –archivierung

Im Ergebnis der 4 durchgeführten Messkampagnen liegen Datensätze der einzelnen Messgeräte zu den einzelnen Messpunkten und –höhen vor. Resultieren aus den 42 Messreihen liegt folgende Anzahl von Datensätzen vor:

APS:	661
SMPS:	216
Grimm:	42
Betastaubmeter:	42

Zur besseren Datenverarbeitung wurden sämtliche Partikelmessdatensätze in eine MySQL-Datenbank überführt. Dazu mussten sämtliche Daten der Geräte in ein Exportformat überführt und in die Datenbank importiert werden. Zur Ergebnisdarstellung wurde in mehreren Excel-Datenblättern eine Datenbankabfrage implementiert, welche eine einfachere Datendarstellung der Einzeldatensätze erlaubt (vgl. Bild 6.3-1).



Bild 6.3-1: Darstellung der Einzelmessergebnisse - Datenmatrix und bildliche Darstellung

Mittels der Excel-Datenblätter zur Datenbankabfrage wurden die Messdaten weiterverarbeitet, um eine Darstellung der Partikelgrößenverteilungen (graphisch erstellt mit Microcal Origin) und eine Berechnung der mittleren Partikelkonzentrationen zu ermöglichen. Die konkrete Datenbankstruktur und die Abfragesyntax kann der Anlage CDROM entnommen werden.

#### 6.4 Partikelgrößenverteilung der Emissionen

#### 6.4.1 Bestimmung der Partikelgrößenverteilungen mit der Messeinrichtung

Von besonderem Interesse für die Bewertung der Emission ist die Partikelgrößenverteilung der emittierten Stäube. Dabei galt es insbesondere eventuell vorhandene höhenabhängige Unterschiede zu bewerten. In den nachfolgenden Darstellungen werden die in einer ersten Messreihe aufgenommenen Grundpegel in der Luft ohne Produktion bei geringer Luftbewegung von 1,4 m/s dargestellt.

In Bild 6.4-1 und Bild 6.4-2 sind die Partikelgrößenverteilung des Grundpegels bei einer absoluten Konzentration von rund 40  $\mu$ g/m<sup>3</sup> (Messung mit Betastaubmeter im Immissionsmess-Container) dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Messkurven sehr gut übereinander liegen und es keine höhenbedingen Schichtungen gibt. Für den Partikelgrößenbereich oberhalb von 0,5  $\mu$ m (vgl. Bild 6.4-1) sind die Messkurven fast identisch. Im Partikelgrößenbereich unterhalb von 0,5  $\mu$ m (vgl. Bild 6.4-2) ist eine größere Schwankungsbreite zu verzeichnen, welche aber keine systematische Komponente auf den Bezug zur Messhöhe aufweist. Aus dem steilen Anstieg der Verteilungsfunktion im Bereich oberhalb von 500 nm wird weiterhin ersichtlich, dass in Bezug auf die Partikelgesamtanzahl hier kaum noch ein Zuwachs zu verzeichnen ist.



Bild 6.4-1: Anzahlverteilung der Partikelgrößen in Anhängigkeit von der Messhöhe APS- Messung im Messbereich 0,5 bis 20 µm



Bild 6.4-2: Anzahlverteilung der Partikelgrößen in Anhängigkeit von der Messhöhe SMPS- Messung im Messbereich 23 bis 660 nm

Die mittlere, anzahlbezogene Partikelgröße für die Grundbelastung liegt somit bei rund 100 Nanometern. Partikel in diesem Korngrößenbereich (Feinststäube) entstehen infolge von Verbrennungsprozessen und anschließenden Agglomerations- sowie Kondensationsprozessen (vgl. Abschnitt 1). Diese Feinststäube liegen typischerweise als Hintergrundkonzentration der Atmosphäre in industrialisierten Gebieten vor.

In Bezug auf die diffusen Emissionen von Asphaltmischwerken wird aber vor allem auf die Freisetzung von Gesteinsstäuben bei Verlade- und Umschlagprozessen, sowie Wiederaufwirbelungen von Stäuben durch Transportvorgänge reflektiert. Diese Partikel sind deutlich größer und liegen im Partikelgrößenbereich von 0,5 bis 20 µm (Feinstaub).

Feinstäube besitzen gegenüber von Feinststäuben eine größere Masse und sind somit von entscheidenderer Bedeutung für die Immissionskonzentration von Staub, welche mit 40 µg/m<sup>3</sup> reglementiert ist. Eine Ausnahme bildet hier die Problematik der Verladung von Fertigbitumen. Hier werden auch Feinst- Aerosole freigesetzt. Dies wird aber im folgenden separat betrachtet. Daher ist für die Bewertung der diffusen Emission inbesondere der Parti-kelgrößenbereich von 0,5 bis 20 µm interessant.

Bild 6.4-3 zeigt die Partikelgrößenverteilungen für die einzelnen Messpunkte MP 1 bis MP 10. Auch hier kann eine gute Übereinstimmung der Messkurven festgestellt werden.
Abweichungen ergeben sich bei MP 4, bei dem sich Aufwirbelungen von abgelagertem Staub durch vorbeifahrende LKW während der Messungen ergaben.



Bild 6.4-3: Vergleich Partikelgrößenverteilungen für die Messpunkte MP 1 bis 10 für die Hintergrundbelastung; APS- Messung im Messbereich 0,5 bis 20 µm

Die Darstellung verdeutlicht, dass bei einer ruhigen Wetterlage und keiner produktionsbedingten Beeinflussung von einer Gleichverteilung der Partikel ohne eine höhenbedingte Schichtung ausgegangen werden kann. Allerdings wird auch deutlich, dass geringe Veränderungen, wie das Wiederaufwirbeln von Staub, sehr empfindlich detektiert werden können und an Hand des Kurvenverlaufes der Verteilungsfunktion klar zu identifizieren sind.

Die Grafik in Bild 6.4-4 soll aufzeigen, welche Unterschiede sich bei einer Betrachtung von anzahl- und massebezogenen Verteilungsfunktionen in Bezug auf die Immissionssituation ergeben. Gegenübergestellt werden die Mittelwerte der Partikelgrößenverteilung für die Hintergrundkonzentration als anzahl- und massebezogene Kurven. Daraus kann entnommen werden, dass 50 Prozent Anzahl der Staubpartikel, bezogen auf einen Messbereich von 0,5 bis 20 µm, kleiner als 0,8 µm sind. Diese tragen aber nur 5 Prozent zur detektierten Gesamtstaubmasse bei. Im Umkehrschluss sind 50 Prozent der Partikel die eine Beitrag zur detektierten Gesamtmasse liefern größer als 2,5 µm, machen aber rund 5 % der Partikelgesamtanzahl aus. Das Hauptaugenmerk für die Quantifizierung der diffusen Emissionen des Asphaltmischwerkes, in Bezug auf einen Beitrag zur Erhöhung der Immissionskonzentration,

kommt auf Grund des Massenbeitrags und der geringen Sinkgeschwindigkeit vor allem der Partikelklasse zwischen 0,5 und 5 µm zu.



Bild 6.4-4: Vergleich der anzahl- und massebezogenen Verteilungsfunktionen für den Grundpegel – Mittelwerte; APS- Messung im Messbereich 0,5 bis 20 µm

Ausgehend von den Untersuchungen zur partikelseitigen Hintergrundbelastung am Messort werden nachfolgend die gemessen Partikelgrößenverteilungen betrachtet. In Bild 6.4-5 sind die in Messkampagne 2 ermittelten Partikelgrößenverteilungen in Abhängigkeit von der Messhöhe für eine Auswahl von Messpunkten dargestellt. Es wird deutlich, dass örtliche und zeitliche Unterschiede in den Partikelgrößenverteilungen feststellbar sind.

Insbesondere in einer Höhe von 4 Metern über dem Grundniveau konnten verstärkt grobe Partikel nachgewiesen werden (in den Diagrammen blauer Kurvenzug). Allerdings war auch die Streubreite der Einzelmessungen relativ groß, wie die Darstellung in Bild 6.4-6 für eine Messhöhe von 4 m exemplarisch zeigt. Der Vergleich mehrerer Messreihen zeigt, dass auch innerhalb einer Messhöhe die mittleren massebezogenen Partikeldurchmesser innerhalb eines Bereiches von 1,5 bis 3 µm liegen können.

Bild 6.4-6 zeigt deutlich, dass es bei der Emission der Doseure um keine statische Emission handelt. Viel mehr ist die Emissionscharakteristik durch die Windbewegung geprägt, so dass zwangsläufig Abweichungen der Einzelmesswerte entstehen.



Bild 6.4-5: Vergleich der massebezogenen Partikelgrößenverteilungen für Messpunkt 5 bei voller Produktion



#### Bild 6.4-6: Streuung der Einzelmesskurven für eine Messhöhe von 4 m

Durch Mittelwertbildung für die Messpunkte mit einer höheren Datenanzahl kann aber eine gute Charakterisierung der Emissionsquelle erfolgen.

In den nachfolgenden Bildern werden die Partikelgrößenverteilungen für den Nano- Bereich dargestellt. Es zeigte sich, dass die Verteilungen sehr eng beieinander liegen und eine sehr geringe Schwankungsbreite aufweisen; es kann keine Schichtung festgestellt werden (Bild 6.4-8). Hier kommt es nicht zu einer so stark intermittierenden Emission wie oben für das gröbere Partikelspektrum beschrieben. Es kann von einer relativ stabilen Grundbelastung über die Betriebszeit ausgegangen werden (vgl. Bild 6.4-9).

Emissionen im Feinststaubbereich werden durch die Arbeiten mit mineralischen Materialien nicht freigesetzt. Die mittlere anzahlbezogene Partikelgröße liegt auch bei Produktion bei 130 nm (vgl. Bild 6.4-8).

Eine Ausnahme stellt die Emission bei der Beladung der LKW (Bild 6.4-7) mit dem Mischprodukt dar; hier werden in besonderem Maße Nanopartikel, mit einer mittleren Partikelgröße von 55 Nanometern freigesetzt (vgl. Bild 6.4-10).

Bei den Messungen direkt neben der Verladerampe konnten während der Messkampagne die dafür typischen Partikelgrößenverteilung ermittelt werden.



Bild 6.4-7: Partikelemission bei der Beladung der Fahrzeuge mit Mischgut

Die Ergebnisse der Messungen mit dem Mobilitätsspektrometer in diesem Bereich sind in Bild 6.4-10 dargestellt.



Bild 6.4-8: Anzahlbezogene Partikelgrößenverteilung für die fünf Messhöhen bei MP 5 SMPS- Messung im Messbereich 23 bis 660 nm



100 Partikelgröße in nm

Bild 6.4-9: Zeitliches Verhalten der Partikelgrößenverteilungen bei Produktion im Mischwerk, SMPS- Messung im Messbereich 23 bis 660 nm

10



Bild 6.4-10: Partikelgrößenverteilung bei bei der LKW-Beladung mit Bitumen; Sondermesspunkt MPS; SMPS- Messung im Messbereich 23 bis 660 nm

Der Vergleich mit anderen Messwerten am Beispiel des Messpunktes MP 5 in Bild 6.4-11 zeigt, dass bei der LKW- Verladung des Bitumens eine große Anzahl von Feinstaerosolen freigesetzt wird.



Bild 6.4-11: Vergleich der Partikelgrößenverteilungen der Messpunkte MP 5 und MPS

Aus der Darstellung in Bild 6.4-11 kann weiterhin abgeleitet werden, dass die Grundbelastung mit Feinstaerosolen sehr stabil ist. Die Kurvezüge von Einzelmessung und Mittelwert sind quasi Deckungsgleich. Abweichungen von der Grundbelastung können durch das Mess-System sehr gut erkannt werden.

In Bezug auf den Beitrag zur emittierten Gesamtstaubmasse kann allerdings festgestellt werden, dass auch eine massive Emission von Partikel im Korngrößenbereich von 60 Nanometern kaum Auswirkung hat, da die Emissionen nur sehr kurz auftreten und eine relativ geringe Luftmenge betreffen. Der Vergleich der massenbezogenen Partikelgrößenverteilungen in Bild 6.4-12 zeigt auch hier, dass sich durch die freigesetzten Emissionen relativ starke Veränderungen in der Aerosolcharakteristik ergeben.

Eine Gesamtdarstellung des durch die beiden Messverfahren abgedeckten Partikelgrößenbereiches von 20 nm bis 20 µm zeigt Bild 6.4-13. Hier kommt noch einmal zum Ausdruck,



dass die Partikel im Feinstkornbereich nur einen geringen Beitrag zur emittierten Gesamtstaubmasse leisten.



Bild 6.4-12: Massebezogenen Partikelgrößenverteilungen der Messpunkte MP 5 und MPS



Bild 6.4-13: Gesamtdarstellung einer typischen Partikelgrößenverteilung über den gesamten Messbereich der Geräte SMPS und APS für Messpunkt MP 5

Für die Nano- Partikelemissionen bei der Verladung kann festgestellt werden, dass sie nur bei entsprechenden Windverhältnissen direkt in die Umgebung abgegeben werden. Bei schwachem Wind oder Wind aus nördlicher Richtung steigen die Emissionen in den Turm des Schrägaufzuges auf und sind messtechnisch außerhalb nicht mehr nachweisbar.

### 6.4.2 Impaktormessungen

Die Impaktormessungen wurden wie in 4.3 beschrieben als Integralwert über den gesamten Messtag bei einer möglichst hohen Staubbelastung bestimmt, um eine große Staubmenge für die Analytik zur Verfügung zu haben. Der Impaktor wurde dabei in einer Höhe von 4 m über Grund positioniert. Die aus den Messungen entstandenen Partikelgrößenverteilungen sind nachfolgend in Bild 6.4-16 bis Bild 6.4-18 dargestellt.

Die Messungen ergaben sehr unterschiedliche Partikelgrößenverteilungen, was aus den unterschiedlichen Anström- und Aufwirbelungsbedingungen an den einzelnen Messtagen resultiert. Die Position des Impaktors bei den jeweiligen Messkampagnen kann den Lageskizzen in Bild 4.2-2 bis Bild 4.2-5 entnommen werden. Die prinzipielle Aufstellung des Impaktors und Auswertung der Messungen ist in Bild 6.4-14 dokumentiert.

## Bestimmung diffuser Emissionen in einem Asphaltmischwerk



Bild 6.4-14: Aufstellung des Impaktors am Messpunkt MP 4; Auswertung der Folien

#### Bestimmung diffuser Emissionen in einem Asphaltmischwerk

Durch die bodennahe Positionierung des Impaktors kann auch davon ausgegangen werden, dass insbesondere Wiederaufwirbelungen, welche mit erfasst wurden, eine besondere Beeinflussung des Messergebnisses und damit der bestimmten Partikelgrößenverteilung verursachten. Diese Aussagen werden durch die Ergebnisse der Messungen mittels Aerosolspektrometer erhärtet (vgl. Bild 6.4-5). In einzelnen Fällen konnten Konzentrationsverläufe wie in Bild 6.4-15 ermittelt werden (Messung mit APS). Dies zeigt, dass bei Staub- Wiederaufwirbelungen in einer Höhe von 4 m über Grund das Konzentrationsmaximum liegt. Diese Verläufe stellten aber, auf die Betriebszeit bezogen, eine Ausnahme dar.



Bild 6.4-15: Extremer Verlauf eines Konzentrationsprofiles bei Wiederaufwirbelungen; 2. Messkampagne; MP 5; Messreihe 5

Die Ergebnisse der 3. und 4. Messkampagne decken sich im Wesentlichen mit den Ergebnissen der übrigen Partikelanalysen. Danach liegen die hauptsächlichen Emissionen im Partikelgrößenbereich von 1 bis 3 Mikrometer. Die Impaktor- Protokolle sind in Anhang 5 enthalten. Nach erfolgter gravimetrischer Auswertung wurden die Impaktorfolien der chemischen Analytik zugeführt.





Bild 6.4-16: Partikelgrößenverteilung aus den Impaktormessungen – 2. Messkampagne



Bild 6.4-17: Partikelgrößenverteilung aus den Impaktormessungen – 3. Messkampagne





Bild 6.4-18: Partikelgrößenverteilung aus den Impaktormessungen – 4. Messkampagne

### 6.5 Bestimmung der Partikelform mittels REM

Um eine Aussage bezüglich der Art und Form der Partikel treffen zu können, wurden in der Umgebung der Doseure Luftproben auf Kernporenfilter gezogen.

Die Ergebnisse der Visualisierung im MDZ der TU Dresden sind in den nachfolgenden Bildern dargestellt. Dabei zeigt sich, dass sowohl Gesteinspartikel (Feldspate) in einer Größe von 3 µm gefunden werden, als auch Agglomerate von Russpartikeln, bei denen die Primärpartikel einer Größe von etwa 60 nm noch erkennbar sind. In Bezug auf die Partikelform lassen sich dementsprechend keine generalisierten Aussagen treffen. Allerdings sind plattige Partikel auf den Proben eher selten zu finden, so dass idealisiert von Kugeln bei der Berechnung der Massenkonzentrationen aus den gemessenen Anzahlkonzentrationen ausgegangen werden kann. Weitere Ergebnisse der Visualisierung sind im Anhang 1 enthalten.

### Bestimmung diffuser Emissionen in einem Asphaltmischwerk



Bild 6.5-1: Visualisierung der Partikel 1. Probe

#### 6.6 Staubkonzentration

#### 6.6.1 Kontinuierliche Messungen mit dem Beta- Staubmeter

Die mittels Betastaubmeter durchgeführten Gesamtstaubmessungen in der Mischluft mit einer Partikelgröße unter 10 Mikrometer ergaben für die einzelnen Messkampagnen die in Tabelle 6.6-1 dargestellten Ergebnisse. Die Konzentrationswerte in den nachfolgenden Darstellungen jeweils für zur Messzeit vorliegenden Luftzustand angegeben.

### Tabelle 6.6-1:Ergebnisse der kontinuierlichen Staubmessungen mit dem FH 62Mittelwerte über die gesamte Messdauer der Messkampagnen

Kampagne Nr.	Messpunkte	Konzentration in µg/m <sup>3</sup>
1	UBG- Container	40
2	1 bis 10	350
3	7; 11 – 13	130
4	6 und 10	88

Die Untergrundbelastung im Zustrom der Mischanlage ist mit 40 µg/ m<sup>3</sup> relativ gering. Für die Betriebsweise der Asphaltmischanlage ergeben sich in Abhängigkeit von den äußeren Bedingungen und in der direkten Nähe der Anlage erhöhte Staubkonzentrationen im Bereich von 88 bis 350 mg/m<sup>3</sup>.

### 6.6.2 Quasikontinuierliche Messungen mit dem Partikelmonitor GRIMM 1.106

Parallel zu der Messung der Konzentration in der Mischluft mit dem Beta- Staubmeter wurde eine Beprobung mit einem Partikelmonitor 1.106 der Fa. Grimm durchgeführt. Die Erfassung der Daten erfolgte im 6 sec.- Takt. Damit kann das zeitliche Verhalten der Emission gut charakterisiert werden.



### Bild 6.6-1: Zeitlicher Verlauf der Emission - 2. Messkampagne, Messpunkt MP 5; Messreihen 2 bis 5; 6- Sekundenwerte

Bild 6.6-1 zeigt deutlich das intermittierende Verhalten der Emission. Das Gerät erlaubt darüber hinaus eine Spezifikation der Kornklassen in Gesamtstaub, PM 2,5 und PM 1. Damit können für die Messkampagnen folgende Werte angegeben werden:

Tabelle 6.6-2:Ergebnis- Spiegel der Messungen mit dem GRIMM- Gerät; Mittelwerte<br/>über die gesamte Messdauer der Messkampagnen

Messkampagne/ Messtag	Gesamtstaub	PM 2,5	PM 1
	µg/m³	µg/m³	µg/m³
(2) / 01.10.2003	340	220	200
(3) / 06.10.2003	120	70	60
(4) / 14.10.2003	98	50	40

6.6.3 Rechenwerte für die Konzentrationen aus den Partikelgrößenmessungen

Für eine Modellierung der Partikelausbreitung und eine Bestimmung der Emissionskonzentration in der Abluftfahne wurden aus den Einzelmesswerten der Partikelmessungen mit SMPS und APS mittlere Partikeldurchmesser in Abhängigkeit der Messhöhe und die zugehörigen Konzentrationen berechnet. Dazu wurde mit einem idealisierten Kugelvolumen gerechnet. Dies wird gestützt durch die Bestimmung der Partikelform gemäß Abschnitt 6.5 und Anhang 1. Die vom Aerosolspektrometer erhaltenen Partikelanzahlen eines bestimmten Partikeldurchmessers werden unter Verwendung der Staubdichte von 2,73 g/cm<sup>3</sup> (vgl. Anhang 2) einer Partikelmasse zugeordnet. Die Aufsummierung der einzelnen fraktionierten Staubmassen ergibt die Gesamtstaubkonzentration am jeweiligen Messpunkt für den erfassten Partikelgrößenbereich von 0,5 bis 20 μm.

Für die Bestimmung der Staubdichte wurde direkt neben dem Hauptgebäude der Mischanlage eine Staubprobe von eines während der Messkampagnen ausgelegten Edelstahlblechs entnommen. Parallel zur Dichtebestimmung wurde auch die Partikelgrößenverteilung des Staubniederschlages mit einem Laserbeugungsspektrometer HELOS ermittelt. Das zugehörige Messprotokoll ist im Anhang 3 enthalten.

Die Darstellungen in Bild 6.6-2 bis Bild 6.6-13 zeigen für die einzelnen Messkampagnen typische Messpunkte zur Charakterisierung der Emission. Es wurden an den dargestellten Messpunkten mehrere Messreihen durchgeführt, sodass eine Angabe der statistischen Abweichung möglich ist. Es zeigt sich, dass in Bezug auf die mittlere Partikelgröße keine größeren Unterschiede in Abhängigkeit von der Höhe über dem Grundniveau entstehen.

Auch in Bezug auf die Konzentration sind keine grundlegenden Unterschiede bei den gemittelten Datenreihen zu verzeichnen. Eine Ausnahme bilden die Messergebnisse bei geringer Windbewegung im Rahmen der Messkampagne 4 (vgl. Bild 6.4-11 und Bild 6.4-13). Hier sind doch deutliche Unterschiede in Bezug auf die Emissionskonzentration in Abhängigkeit von der Höhe feststellbar. Auf Grund der geringen Windgeschwindigkeiten fand hier keine intensive Durchmischung der Luftschichten statt. Am Messpunkt MP 13 legte sich die Strömung offensichtlich an das Haufwerk eines Gesteinslagers. Damit entstand ein Aufwind, welcher die Partikel mitführen konnte. Somit war hier in Höhe von 4 m über Grund eine Konzentration der Partikelemission festzustellen.



Bild 6.6-2: Mittlere Partikelgröße und Konzentration im Nano-Bereich, 1. Messkampagne



Bild 6.6-3: Mittlere Partikelgröße und Konzentration – APS-Messung, 1. Messkampagne



Bild 6.6-4: Mittlere Partikelgröße und Konzentration im Nano-Bereich, 1. Messkampagne



Bild 6.6-5: Mittlere Partikelgröße und Konzentration – APS-Messung, 1. Messkampagne



Bild 6.6-6: Mittlere Partikelgröße und Konzentration im Nano-Bereich, 2. Messkampagne Messpunkt MP 5



Bild 6.6-7: Mittlere Partikelgröße und Konzentration – APS-Messung, 2. Messkampagne Messpunkt MP 5



Bild 6.6-8: Mittlere Partikelgröße und Konzentration im Nano-Bereich, 2. Messkampagne Messpunkt MP 6



Bild 6.6-9: Mittlere Partikelgröße und Konzentration – APS-Messung, 2. Messkampagne, Messpunkt MP 6



Bild 6.6-10: Mittlere Partikelgröße und Konzentration im Nano-Bereich, 3. Messkampagne



Bild 6.6-11: Mittlere Partikelgröße und Konzentration – APS-Messung, 3. Messkampagne



Bild 6.6-12: Mittlere Partikelgröße und Konzentration im Nano-Bereich, 4. Messkampagne



Bild 6.6-13: Mittlere Partikelgröße und Konzentration – APS-Messung, 4. Messkampagne

Auf Basis der gewonnenen Ergebnisse kann die Emission mit einer gemittelten Partikelgrößenverteilung und einer mittleren Partikelkonzentration modelliert werden.

Als Tages- Mittelwerte für die durchgeführten Messkampagnen können folgende Werte angegeben werden:

Tabelle 6.6-3:Ergebnis- Spiegel der ermittelten Staubkonzentrationen aus den<br/>SMPS- und APS- Messungen

Messkampagne/ Messtag	$\Sigma$ APS+SMPS	APS	SMPS
	µg/m³	µg/m³	µg/m³
(1) / 26.09.2003	58	32	25
(2) / 0.1.10.2003	440	360	80
(3) / 06.10.2003	200	170	30
(4) / 14.10.2003	130	85	45

### 6.6.4 Konzentrationsbestimmung mittels Impaktor

Die bei den Impaktormessungen auf den Aluminiumfolien gesammelten Stäube wurden vor der chemischen Analytik gravimetrisch ausgewertet.

Daraus ergeben sich als Integralwerte für die jeweiligen Messtage die in Tabelle 6.6-4 aufgeführten Staub-Konzentrationen.

### Tabelle 6.6-4:Ergebnisspiegel für die Staubkonzentrationen aus den<br/>Impaktormessungen

Messkampagne/ Messtag	Staubkonzentration in mg/ Nm <sup>3</sup>
(2) / 01.10.2003	1,2
(3) / 06.10.2003	1
(4) / 14.10.2003	0,5

Im Verhältnis zu den mit den übrigen Messverfahren ermittelten Staub-Konzentrationswerte sind die mittels Impaktor bestimmten Staubgehalte relativ hoch. Dies resultiert aus folgenden Faktoren:

- Starke Beeinflussung des Messergebnisses durch Aufwirbelungen in der bodennahen Schicht von 4 m
- Lokaler Wert für eine jeweils extra gewählte hohe Exposition
- Keine Integrierung des Ergebnisses über die gesamte Höhe der Abgasfahne.

Damit können die Ergebnisse der Impaktormessungen als maximale Emission betrachtet werden. Praktisch konnten diese hohen Wert aber nur örtlich für eine maximale Exposition ermittelt werden.

### 6.6.5 Vergleich der Messverfahren

Bei einem Vergleich der Messergebnisse für die Messtage an denen vollständige Datensätze vorhanden sind, als der Messkampagnen 2 bis 4 ergibt sich die in Tabelle 6.6-5 dargestellte Übersicht.

Messkampagne/	FH 62	APS/SMPS	GRIMM	Impaktor	
Messtag	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	
(2) / 01.10.2003	350	440	340	1200	
(3) / 06.10.2003	130	200	120	1000	
(4) / 14.10.2003	88	130	98	500	

 Tabelle 6.6-5:
 Ergebnisvergleich der Staubkonzentrationsmessungen

Aus Tabelle 6.6-5 geht noch einmal deutlich hervor, dass die Ergebnisse der Integralwerte über die fünf einzelnen Messhöhen recht gut übereinstimmen, unabhängig der jeweils verschiedenen Messprinzipien. Die höchsten integralen Konzentrationswerte für die Abgasfahne ergeben sich aus der rechnerischen Bewertung der SMPS/ APS – Ergebnisse. Dies ist plausibel, da sich hier die geringsten Verluste durch Gastransport ergeben und das Messverfahren am umfassendsten ist. Die Ergebnisse der nachfolgend dargestellten Emissions- Matrix heben daher auf die Ergebnisse der APS/ SMPS – Messung an den einzelnen Messpunkten ab.

### 6.7 Emissionsmatrix

### 6.7.1 Mittlere Emissionskonzentration an den einzelnen Messpunkten

Die diffuse Emission der Asphaltmischanlagen setzt sich aus einer Vielzahl von einzelnen Punktquellen zusammen, welche aber im einzelnen nicht quantifizierbar sind. Eine Möglichkeit der Quantifizierung besteht in der Betrachtung als Flächenquelle. Für eine Charakterisierung der Flächenquelle und eine Bestimmung der Quellstärke ist es notwendig, typische mittlere Konzentrationen von Rasterpunkten, unter Beachtung der Anströmverhältnisse zu ermitteln. Damit kann der entstehenden Emissionsfront eine mittlere Konzentration zugeordnet werden. In Tabelle 6.7-1 bis Tabelle 6.7-3 sind die Emissionskonzentrationen der einzelnen Rasterpunkte, resultierend aus Messungen mit verschiedenen Ausbreitungsrichtungen angegeben. Dabei wurden die Messpunkte auf eine charakterisierende Aussage hin reduziert. Beispielsweise wurden bei der Messkampage 2 die Messpunkte 2 und 3 diskriminiert, da hier eine gleichartige Emissionsituation wie bei Messpunkt 1 zu verzeichnen war. Am Messpunkt MP 4 war in Messkampagne 2 der Kaskadenimpaktor aufgebaut. In Abhängigkeit von der Windsituation wurden die Messpunkte so ausgewählt, dass von einer direkten Beeinflussung der Staubkonzentration durch den Mischbetrieb mit den dafür notwendige Fahrzeugbewegungen (Radlader ) und nicht durch Wiederaufwirbelungen ausgegangen werden konnte. Die hier ausgewählten Messpunkte repräsentieren in ihrer Aussage ein Messraster mit insgesamt 14 Messpunkten im Abstand von 7,5 m untereinander. Die Messung der lokalen Anströmparameter erfolgte mit der unter Abschnitt 6.1 beschriebenen Messtechnik durchgeführt.

Tabelle 6.7-1:

Typische Emissionskonzentrationen und Anströmdaten für die 2. Messkampagne

Produktion	t	15	70
Lufttemperatur	С°	16	6,9
Luftfeuchte	% r.H.	45	i,3
Windrichtung	0	11	4
Windgeschwindigkeit	m s⁻¹	4	5
Messpunkt	APS+SMPS	WR	WG
	Mittel	local	local
	µg/m³	0	m/s
MP 1	217	98	6,3
MP 5	560	117	4,5
MP 6	841	116	4,6
MP 7	329	114	4,8
MP 8	119	112	4,7
MP 9	312	106	2,2
MP 10	204	118	4,2
MPS	340	115	4,2

Tabelle 6.7-2:Typische Emissionskonzentrationen und Anströmdaten<br/>für die 3. Messkampagne

Produktion	t	62	28
Lufttemperatur	С°	11	,6
Luftfeuchte	% r.H.	46	6,5
Windrichtung	0	26	2,8
Windgeschwindigkeit	m s⁻¹	5	,2
Messpunkt	APS+SMPS	WR	WG
	Mittel	local	local
	µg/m³	0	m/s
MP7	138	268	3,2
MP11	350	265	6,0
MP12	289	279	7,1
MP13	114	254	5,2





Tabelle 6.7-3:Typische Emissionskonzentrationen und Anströmdaten<br/>für die 4. Messkampagne

Produktion	t	12	00
Lufttemperatur	С°	8	,7
Luftfeuchte	% r.H.	60	),3
Windrichtung	0	26	65
Windgeschwindigkeit	m s⁻¹	0	,5
Messpunkt	APS+SMPS	WR	WG
	Mittel	local	local
	µg/m³	0	m/s
MP 6	173	321	0,2
MP 10	81	285	0,9
MPS	167	143	0,5

**6.7.2 Modellierung der Emissionssituation in Abhängigkeit der Windverhältnisse** Nachfolgend werden die ermittelten Ergebnisse im Zusammenhang dargestellt, um eine Übersicht zu den relevanten Ausbreitungsrichtungen zu ermöglichen.



Bild 6.7-1: Staubkonzentrations- und Windgeschwindigkeitsfeld bei der 2. Messkampagne, SO- Wind

Bild 6.7-1 zeigt die Konzentrations- und Windverhältnisse bei Mischplatzbetrieb und Wind aus südöstlicher Richtung. Es zeigt sich, dass die Konzentration von Stäuben über der Länge der Doseure in Windrichtung ansteigt (Konzentrationswerte E 1 und E 2).

## Tabelle 6.7-4:Zuordnung der Messdaten zu den Emissionsraserpunkten –<br/>2. Messkampagne

Emissionsrasterpunkt	Mittelwert aus den Messungen an Messpunkten
E 1	MP 10
E 2	MP 5 und MP 6
E 3	MPS
E4	MP 1

Die Quellstärke der als Flächenquelle aufzufassenden Emissionsquelle ergibt sich aus der mittleren Konzentration der Emissionsfront und dem Transportvolumenstrom. Die Fläche der Emissionsfront wird aus der abströmseitig unbeeinflusst verfügbaren Breite von 20 m und der Fronthöhe von 10 m gebildet. Entsprechend der Daten in Tabelle 6.7-5 ergibt sich damit für die gegebenen Bedingungen eine Quellstärke von 0,42 g/s.

 Tabelle 6.7-5:
 Daten zur Ermittlung der Quellstärke für eine SO- Anströmrichtung

mittlere Konzentration	420	µg/m³
mittlere Windgeschwindigkeit	5	m/s
Fläche	200	m²
Volumenstrom	1000	m³/s
Quellstärke	0,42	g/s



Bild 6.7-2: Staubkonzentrations- und Windgeschwindigkeitsfeld bei der 3. Messkampagne, SW- Wind

Tabelle 6.7-6:	Zuordnung der Messdaten zu den Emissionsraserpunkten -
	3. Messkampagne

Emissionsrasterpunkt	Mittelwert aus den Messungen an Messpunkten
E 1	MP 7
E 5	MP 11
E 6	MP 12
Ε7	MP 13

Bei den lokal relativ häufig vorkommenden Winden aus südwestlicher Richtung ergibt sich eine Emissionssituation gemäß Bild 6.7-2. Maßgebend für die hier entstehende Emissionssituation ist das überstreichen des Windes von Mischplatz und Mineralstofflagern. Den Doseuren kommt hier keine so große Bedeutung zu, da diese durch die Beladerampe vor Windangriff geschützt sind. Die hier angesetzte Fläche der Emissionsfront ergibt sich aus einer Querschnittsbreite von 50 m und der Höhe von 10 m. Für die mittlere Konzentration in der Emissionsfront werden die Konzentrationen am Rand es Querschnitts nur jeweils zur Hälfte gewichtet. Dabei wird angenommen, dass die Konzentrationen in den fehlenden und aus Gründen der Zugänglichkeit nicht zu beprobenden Rasterpunkten in der Größenordnung der Rasterpunkte E 5 und E 6 liegt. Tabelle 6.7-7 enthält die Daten zur Quellstärkeermittlung.

 Tabelle 6.7-7:
 Daten zur Ermittlung der Quellstärke für eine SW- Anströmrichtung

mittlere Konzentration	260	µg/m³
mittlere Windgeschwindigkeit	6	m/s
Fläche	500	m²
Volumenstrom	3000	m³/s
Quellstärke	0,78	g/s

Für die Emissionssituation im Rahmen der vierten Messkampagne kann auf Grund der wechselnden Windverhältnisse und der geringen Windgeschwindigkeiten keine Emissionsfont und damit keine ummittelbare Quellstärke angegeben werden. Die Daten können aber im Vergleich mit den Werten aus der zweiten Messkampagne zur Darstellung des Windeinflusses auf die Emission genutzt werden. Insbesondere wird das an den Daten der Impaktormessungen deutlich. Entsprechend der vorliegenden Daten kann festgestellt werden, dass sich die Emissionskonzentrationen bei Windeinfluss mehr als verdoppeln können.

Tabelle 6.7-8:	Zuordnung der Messdaten zu den Emissionsraserpunkten –
	4. Messkampagne

Emissionsrasterpunkt	Mittelwert aus den Messun- gen an Messpunkten	Wert in µg/m³
E 1	MP 10	81
E 2	MP 6	173
E 3	MPS	167



Bild 6.7-3: Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Emissionskonzentration

### 6.8 Staubinhaltsstoffe

Die bei den Impaktormessungen auf den Folien abgeschiedenen Stäube wurden im chemischen Labor des ILK Dresden auf Inhaltsstoffe analysiert. Die Analytik der Kationen erfolgte nach Aufschluss über ICP. Der Gehalt an Anionen wurde mittels Ionenchromatographie bestimmt. Im Ergebnis wurden keine Schwermetallanteile gefunden. Signifikante Gehalte konnten für Kalzium, Eisen, Magnesium und Zink, sowie für Chlorid und Sulfat bestimmt werden. Allerdings liegen die Anteile unter 10 % der gesammelten Staubmasse. Der Hauptanteile der Stäube kann demnach silikatischen Anteilen zugerechnet werden. Die Analysenprotokolle sind im Anhang 4 enthalten. Eine direkte Analyse des silikatischen Anteils konnte mittels ICP- Verfahren nicht erfolgen. Für die quantitative Bestimmung des SiO<sub>2</sub>- Gehaltes ist ein anderes Analyseverfahren anzuwenden. Dafür reichten die gewonnen Proben allerdings nicht aus. Es kann aber auf Grund der geringen Schwermetall- und Anionenkonzentration und den Ergebnissen der Visualisierung gemäß Abschnitt 6.5 davon ausgegangen werden, dass es sich bei den Stäuben um mineralische Anteile aus der Asphaltmischanlage handelt und nicht um sekundäre Partikel aus Verbrennungsprozessen oder der nahe gelegenen Stahlindustrie in Freital. Die Impaktorfolien der Messkampagne 2 wurden auf Schwermetalle, die der Messkampagne 3 auf Anionen untersucht. Die Gesamtmassen der auf den Aluminiumfolien der Impaktorstufen gesammelten Stäube können aus Anhang 5 entnommen werden. Innerhalb der verschiedenen Korngrößen der Impaktorstufen konnten keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Staubinhaltsstoffe festgestellt werden.

### 7 Berechung und Charakterisierung des Ausbreitungsverhaltens

### 7.1 Begriffsbestimmung

Die Gravitation wirkt mit einer nachweisbaren Wirkung nur auf Teilchen mit einem Durchmesser größer etwa 5 µm. Diese atmosphärischen Aerosolteilchen werden daher auch als Sedimentationsstaub bezeichnet. Die der Sedimentation zugrunde liegende Gravitation ist auch das für die Ablagerung von Hydrometeoren (Niederschlag) verantwortliche physikalische Prinzip. Allerdings wird der Substanzaustrag durch Regen, Schnee u.a. feste Hydrometeore als nasse Deposition bezeichnet. Ein Regentropfen fällt zwar infolge der Gravitation zur Erdoberfläche, er entfernt aber während des Fallens außerdem gasförmige Spurenstoffe und Aerosolpartikel aus der Atmosphäre durch Sorption und Anlagerung. Deposition bedeutet Austrag von Substanz aus der Atmosphäre. Damit ist ein logischer Gegensatz zur Emission als Eintrag von Substanz in die Atmosphäre hergestellt und mit der Spurenstoffkette Emission/ Ausbreitung/ Deposition ist der gesamten atmosphärischen Pfad erfasst, der wiederum in einen größeren Zusammenhang des biogeochemischen Stoffkreislaufes gestellt werden

(7-2)

kann. Allgemein handelt es sich um einen Stoffübergang aus der Atmosphäre an die Erdoberfläche und schließlich in das die Erdoberfläche darstellende Reservoir (Wasser, Boden, Pflanze, Tier, Mensch, sonstige Materialien)[2].

### 7.2 Berechnung der Ausbreitung und Deposition

Betrachtet wird hier nur die trockene Deposition. Grundsätzlich muss bei der trockenen Deposition zwischen der Sinkgeschwindigkeit von Partikeln und der Depositionsgeschwindigkeit unterschieden werden. Die Sinkgeschwindigkeit v, beschreibt im Wesentlichen die Sedimentation aufgrund der Gravitationswirkung (Gewichtskraft) und wird für sphärische Partikeln nach Stokes berechnet:

$$v_{st} = \frac{\left(\rho_{p} - \rho_{g}\right) d_{p}^{2}g}{18 \eta}$$
  
mit  
$$\rho_{p} = Partikeldichte in kg/m^{3}$$
  
$$\rho_{g} = Luftdichte in kg/m^{3};$$
 (7-1)

d = Durchmesser des Partikels in m

Die Sinkgeschwindigkeit wird in dieser Form auch für viele technische Prozesse verwendet. Bei atmosphärischen Prozessen ist die Sinkgeschwindigkeit allein nicht geeignet, das Absinken von Partikeln mit geringen Durchmessern in geeigneter Weise zu beschreiben. Dies geschieht mittels der Depositionsgeschwindigkeit. Die Depositionsgeschwindigkeit v<sub>d</sub> ergibt sich dabei als rechnerische Größe aus dem Verhältnis einer Massenstromdichte N einer Komponente zur Konzentration c der Komponente in der Gasphase in einer Referenzhöhe z:

$$v_{\rm d} = \frac{N(z)}{c(z)}$$

mit

v<sub>d</sub> = Depositionsgeschwindigkeit in cm/s

N = Massenstromdichte der Komponente in  $g/(cm^2s)$ 

c = Konzentration der Komponente in g/cm<sup>3</sup>

z = Höhe in m

Bei der Ausbreitungsrechnung werden Gauß-, Euler- oder Lagrange- Modelle verwendet, mittels derer die räumliche Verteilung des Staubniederschlags als Deposition von Stäuben, sowie der Schwebstaubkonzentration berechnet werden können. Die in den Modellen zu verwendenden Depositionsgeschwindigkeiten werden ausgehend von den Partikeldurchmessern festgelegt. Partikelform und -dichte werden dabei über den aerodynamischen Durchmesser berücksichtigt. In der Ausbreitungsrechnung nach TA Luft wird einzelnen Partikeldurchmesserklassen jeweils eine Depositionsgeschwindigkeit zugeordnet (vgl. Tabelle 7.2-1). Somit werden die PM10- und PM2,5-Fraktionen formal berücksichtig.

Als Berechnungsprogramm, welches die neuen Vorgaben der TA Luft erfüllt, wurde das Programm AUSTAL2000 eingesetzt. Das Programm realisiert ein Lagrange-Modell nach VDI 3945 Blatt 3.

Bei der Ausbreitungsrechnung für Stäube werden trockene Deposition und Sedimentation berücksichtigt. Die Berechnung kann für folgende Größenklassen der Korngrößenverteilung, angegeben als aerodynamischer Durchmesser da, des Emissionsmassenstromes durchgeführt werden, wobei jeweils die angegebenen Werte von Depositionsgeschwindigkeit vd und Sedimentationsgeschwindigkeit vs Verwendung finden:

Tabelle 7.2-1:Zuordnung von Partikelklassen, Sink- und<br/>Depositionsgeschwindigkeiten

Klasse	$d_{\rm a}$ in $\mu{\rm m}$	$v_{\rm d}$ in m/s	$v_{\rm s}$ in m/s
1	kleiner 2,5	0,001	0,00
2	2,5  bis  10	0,01	0,00
3	10  bis  50	0,05	0,04
4	größer 50	0,20	0,15

Die Geländerauhigkeit ist in einer Datenmatrix für das Bundesgebiet fixiert und kann über die Eingabe des Emissionsortes mit Rechts- und Hochwert einem konkreten Wert zugeordnet werden.

 Tabelle 7.2-2:
 Zuordung von Geländerauhigkeiten

Anhang 11

$z_0$ in m	CORINE-Klasse
0,01	Strände, Dünen und Sandflächen (331); Wasserflächen (512)
0,02	Deponien und Abraumhalden (132); Wiesen und Weiden (231); Natürliches Grünland (321); Flächen mit spärlicher Vegetation (333); Salzwiesen (421); In der Gezeitenzone liegende Flächen (423); Gewässerläufe (511); Mündungsgebiete (522)
0,05	Abbauflächen (131); Sport- und Freizeitanlagen (142); Nicht bewässertes Ackerland (211); Gletscher und Dauerschneegebiete (335); Lagunen (521)
0,10	Flughäfen (124); Sümpfe (411); Torfmoore (412); Meere und Ozeane (523)
0,20	Straßen, Eisenbahn (122); Städtische Grünflächen (141); Weinbauflächen (221); Komplexe Parzellenstrukturen (242); Landwirtschaft und natürliche Bodenbedeckung (243); Heiden und Moorheiden (322); Felsflächen ohne Vegetation (332)
0,50	Hafengebiete (123); Obst- und Beeren obstbestände (222); Wald-Strauch-Übergangsstadien (324)
1,00	Nicht durchgängig städtische Prägung (112); Industrie- und Gewerbeflächen (121); Baustellen (133); Nadelwälder (312)
1,50	Laubwälder (311); Mischwälder (313)
2,00	Durchgängig städtische Prägung (111)
Die Berech	nung wurde mit der aktuellen Version 1.1 durchgeführt.

# Die folgende Auflistung enthält die Erklärung in die Start- Datei eingegebenen Parameter und ihre Standardwerte.

- aq  $(n_q)$  Ausdehnung der Quelle in x-Richtung, wenn keine Drehung vorliegt (Standardwert 0). Eine Quelle wird als Quader definiert, der um die vertikale Achse gedreht sein kann. Ohne Drehung bezeichnen xq und yq in der Aufsicht die linke untere Ecke des Quaders und hq ist sein Abstand vom Erdboden. aq, bq und cq sind seine Ausdehnungen in x-, y- und z-Richtung. Der Winkel wq bezeichnet eine Drehung um die linke untere Ecke gegen den Uhrzeigersinn (in Grad).
- az (1) Name der meteorologischen Zeitreihe (AKTerm)
- cq  $(n_q)$  Vertikale Ausdehnung der Quelle (Standardwert 0), vgl. aq.
- b<br/>q $(n_{\rm q})$ Ausdehnung der Quelle in  $y\mbox{-}{\rm Richtung},$ wenn keine Drehung vorliegt (Standardwert 0), vgl. aq.

- gx (1) Rechtswert des Koordinaten-Nullpunktes in Gauß-Krüger-Koordinaten. Die angegebenen Koordinaten werden bei Bedarf, z.B. zur Berechnung von  $z_0$ , auf den dritten Streifen umgerechnet (wird in der Protokoll-Datei vermerkt). Zulässiger Wertebereich bei Darstellung im dritten Streifen:  $3279000 \le gx \le 3957000$ .
- gy (1) Hochwert des Koordinaten-Nullpunktes in Gauß-Krüger-Koordinaten (vgl. gx). Zulässiger Wertebereich bei Darstellung im dritten Streifen: 5229000  $\leq$  gy  $\leq$  6120000.
- ha (1) Anemometerhöhe  $h_a$  über Grund (Standardwert 10 m +  $d_0$ ). Wird eine AK-Term verwendet, die Angaben zur Anemometerhöhe für alle Rauhigkeitsklassen enthält, dann wird standardmäßig hieraus der zum verwendeten  $z_0$  gehörige Wert genommen.<sup>10</sup>
- hq  $(n_q)$  Höhe der Quelle (Unterkante) über dem Erdboden (Standardwert nicht vorhanden, dieser Parameter muß gesetzt werden), vgl. aq.
- qs (1) Qualitätsstufe zur Festlegung der Freisetzungsrate von Partikeln (Standardwert 0). Eine Erhöhung um 1 bewirkt jeweils eine Verdoppelung der Partikelzahl und damit eine Verringerung der statistischen Unsicherheit (Streuung) um den Faktor  $1/\sqrt{2}$ . Allerdings verdoppelt sich damit auch die Rechenzeit. Entsprechendes gilt für eine Verringerung des Wertes. Standardmäßig wird eine AKS mit mindestens 43 000 000 Partikeln gerechnet, eine AKTerm mit mindestens 63 000 000 Partikeln.

Schwebstaub (PM-10) wird durch die beiden Komponenten pm-1 und pm-2 repräsentiert.

Mit dem Programm wurde die Ausbreitung für die beiden in 6.7.2 dargestellten Emissionssituationen gerechnet; dabei wurden folgende Eingabewerte zu Gunde gelegt:

======================================
> ti "Ausbreitung SAM 3 PM 2"
> az "anno99.akt"
> gx 5404500
> gy 5652720
> aq 20
> cq 10
> hq 10
> ha 10
> qs -2
> pm-2 0.42
======================= Ende der Eingabe

### Bild 7.2-1: Eingabedaten für die Berechnung der Emissionslage SO- Wind

Aus diesen Eingabewerten wurden mit dem Programm AUSTAL die Werte für die Ausbreitung ermittelt. Die Geländedaten werden über den Rauhigkeitswert aus einer mit im Programm implementierten Datenbank mit einbezogen. Die Identifikation den Ortbereiches erfolgt dabei über die Eingabeparameter Rechts- und Hochwert. Das Ergebnis wird automatisch generiert. Die Rechenzeit je Variante mit einem P4- Prozessor betrug dabei 6 Stunden.

Bild 7.2-2: Eingabedaten für die Berechnung der Emissionslage SW- Wind

Die Berechung ergab folgende Ergebnisse:

Darstellung im 3. Meridianstreifen: gx=3825532, gy=5662091 Festlegung des Rechennetzes: dd 15 x0 -990 nx 134 y0 -1005 ny 134
CORINE: Mittlerer Wert von z0 ist 1.001 m.
Der Wert von z0 wird auf 1.00 m gerundet.
AKTerm c:/austal2000/sam4/anno99.akt mit 8760 Zeilen, Format 2
Verfügbarkeit der AKTerm-Daten: 99.2 %
Auswertung der Ergebnisse:
DEP: Jahresmittel der Deposition J00: Jahresmittel der Konzentration Tnn: Höchstes Tagesmittel der Konzentration mit nn Überschreitungen Snn: Höchstes Stundenmittel der Konzentration mit nn Überschreitungen
Maximalwerte, Deposition
PM DEP : 0.0267 g/(m <sup>2</sup> *d) (+/- 0.5%) bei x= 23 m, y= 8 m ( 68, 68)
Maximalwerte, Konzentration bei z=1.5 m
PM J00 : 31.4 μg/m³ (+/- 0.4%) bei x= 23 m, y= 8 m ( 68, 68) PM T35 : 58.7 μg/m³ (+/- 3.9%) bei x= 38 m, y= -8 m ( 69, 67) PM T00 : 159.3 μg/m³ (+/- 4.3%) bei x= 23 m, y= -38 m ( 68, 65)

Bild 7.2-3: Ergebnisse für die Berechnung der Immissionslage SO- Wind
Ausbreitungs-Modell AUSTAL2000, Version 1.1.11-W2 Copyright (c) Umweltbundesamt, Berlin, 2002, 2003 Copyright (c) Janicke Consulting, Dunum, 1989-2003 Arbeitsverzeichnis: c:/austal2000/sam5 Erstellungsdatum des Programms: Oct 3 2003, 11:18:50 Das Programm läuft auf dem Rechner NB-HB33HP
Darstellung im 3. Meridianstreifen: gx=3825532, gy=5662091 Festlegung des Rechennetzes: dd 15 x0 -975 nx 134 y0 -1005 ny 134
CORINE: Mittlerer Wert von z0 ist 1.000 m. Datei im DWD-Format ab 01.04.1998.
AKTerm c:/austal2000/sam5/anno99.akt mit 8760 Zeilen, Format 2 Verfügbarkeit der AKTerm-Daten: 99.2 %
Auswertung der Ergebnisse: ===================================
DEP: Jahresmittel der Deposition J00: Jahresmittel der Konzentration Tnn: Höchstes Tagesmittel der Konzentration mit nn Überschreitungen Snn: Höchstes Stundenmittel der Konzentration mit nn Überschreitungen
Maximalwerte, Deposition
PM DEP : 0.0459 g/(m <sup>2</sup> *d) (+/- 0.5%) bei x= 38 m, y= 8 m ( 68, 68)
Maximalwerte, Konzentration bei z=1.5 m
PM J00 : 54.2 μg/m <sup>3</sup> (+/- 0.4%) bei x= 38 m, y= 8 m (68, 68) PM T35 : 99.5 μg/m <sup>3</sup> (+/- 4.5%) bei x= 53 m, y= -8 m (69, 67) PM T00 : 241.9 μg/m <sup>3</sup> (+/- 4.3%) bei x= 38 m, y= -38 m (68, 65)

Bild 7.2-4: Ergebnisse für die Berechnung der Immissionslage SW- Wind

Die Ergebnisse zeigen geringe Depositionsraten in einem relativ kleinen Umkreis der Mischanlage; bedingt durch die geringen Partikelgrößen werden nur minimale Anteile der Staubfracht in direkter Umgebung der Mischanlage deponiert. Die Werte vor die Immissionskonzentration zeigen deutliche Überschreitungen der nach EU- Kriterien vorgegebnen Grenzwerte in der direkten Umgebung der Emissionsquelle, wenn von den ermittelten Quellstärken ausgegangen wird. Allerdings kann zum Jahresgang der Quellstärke keine Abgabe gemacht werden, so dass die Immissionsprognose sehr unscharf ist. Die Eingabe- und Ergebnisdatei-

en, sowie das Programm AUSTRAL2000 sind in der Anlage CDROM enthalten.

## 8 Bewertung der Messergebnisse

Mit der Verschärfung der Immissionsgrenzwerte für Staub steht verstärkt die Frage der Bewertung von diffusen Emissionen, die insbesondere im Industriezweig Steine/Erden oder in der Bauindustrie auftreten können. In der vorliegenden Arbeit wurde eine Messmethode entwickelt und am Beispiel Asphaltmischwerk Freital erprobt, die es erlaubt, die diffusen Emissionen hinsichtlich der Konzentrationen und der Korngrößenverteilung des Staubes zu quantifizieren. Im Einzelnen lassen sich die Ergebnisse wie folgt bewerten:

- Die Abrasterung der flächigen Abluftfahne im Lee einer diffusen Quelle konnte mit Hilfe der entwickelten Messtechnik bis zur Höhe von 10 m durchgeführt werden.
- Die Zeit für die Charakterisierung der Staubparameter an den einzelnen Messpunkten konnte durch den Einsatz moderner Partikelzähler auf wenige Minuten abgesenkt werden.
- Die mit dem β-Staubmeter gemessenen Staubkonzentrationen zeigten bei Stillstand des Mischwertes keine überhöhten Werte.
- Beim Betrieb des Werkes wurden in Abhängigkeit von den meteorologischen Parametern im Lee des Werkes (Ost-Südost) erhebliche Staubkonzentrationen bis zu k =700 µg/m<sup>3</sup> ermittelt.
- Die gemessenen Staubkonzentrationen zeigten bis zur Höhe der technologischen Einrichtungen (ca. 10 m) keine signifikanten Gradienten, für die Ausbreitungsbetrachtungen kann mit einer mittleren Konzentration gearbeitet werden.
- Die Korngrößenverteilungen wurden sowohl im Grobstaub- als auch im Feinstaubbereich und im Nanobereich (ausgewählte Messpunkte) ermittelt; auch hier wurden unter den Bedingungen des Mischbetriebes keine signifikanten Veränderungen des Kornspektrums festgestellt; Ausbreitungsrechnungen können also mit einer mittleren Kornverteilung erfolgen.
- Hinsichtlich der Partikelkonzentration im Korngrößenbereich von 20 bis 600 Nanometer liegt eine stabile Hintergrundbelastung vor, die sich sowohl in Bezug auf Korngrößenspektrum und Konzentration kaum verändert. Der Betrieb der Mischanlage hat auf diese Partikelklasse kaum Einfluss. Eine Ausnahme bildet hier die LKW- Verladung des Fertigbitumens. Hier konnten Emissionen von nanoskaligen Aerosolen, mit einem Anzahlmaximum bei 60 nm, nachgewiesen werden

- Von entscheidender Bedeutung f
  ür die Beurteilung der diffusen Emission der mineralischen St
  äube ist der Partikelgr
  ö
  ßenbereich zwischen 1 und 3 μm. Eine Charakterisierung und Quantifizierung der Partikel erfolgte durch ein Flugzeitspektrometer.
- Die Untersuchungen zeigten, dass die diffusen Emissionen stark vom Windeinfluss abhängen. So konnten in Anhängigkeit der Windrichtung verschiedene Szenarien einwickelt werden. Bei Winden aus Südost entsteht eine Emissionsfront mit einer mittleren Konzentration von 420 µg/m<sup>3</sup>; dies entspricht bei den örtlichen Gegebenheiten des Mischplatzes einer Quellstärke von 0,42 g/s. Bei Wind um Südwest kommt es zu einer breiteren Emissionsfront, mit einer Quellstärke von 0,78 g/s.
- Auf Grund der zeitlichen Rahmenbedingungen konnte keine gezielte Auswahl von Witterungsparametern erfolgen. Ingesamt konnten vor Einbuch einer Frostperiode nur 4 Messkampagnen durchgeführt werden.
- Da die Messungen bei jeweils anderen Anströmbedingungen durchgeführt wurden, konnte eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse nicht nachgewiesen werden. Damit kann auch keine Aussage zur statistischen Absicherung der Ergebnisse gemacht werden.
- Nach Aussage des Anlagenbetreibers können die Wind- und Produktionsverhältnisse, wie sie während der durchgeführten Messungen, insbesondere bei Messkampagne 2, vorgefunden wurden, als repräsentativ eingestuft werden.
- Zur Darstellung der Kornform wurden elektronenmikroskopische Aufnahmen angefertigt. Gefunden wurden im Bereich des gröberen Staubes von 2 bis 15 µm typische Gesteinsbestandteile und im Bereich der feinsten Partikeln vor allem Ruß. Die Analyse der chemischen Zusammensetzung ergab signifikante Gehalte für Kalzium, Eisen, Magnesium und Zink, sowie für Chlorid und Sulfat. Allerdings liegen die Anteile unter 10 % der gesammelten Staubmasse. Der Hauptanteile der Stäube kann demnach silikatischen Anteilen zugerechnet werden.
- Mit Hilfe der Software AUSTAL2000 wurden für die zwei charakteristischen Ausbreitungssituationen Berechnungen zur Ausbreitung und Deposition durchgeführt. Es ergeben sich durch die Programmroutinen Beurteilungsstützstellen in der unmittelbaren Umgebung der Emissionsquelle. Es wurden Jahresmittelkonzentrationen von 31 und 54 µg/ m<sup>3</sup> in unmittelbarer Entfernung (38 m, 8 m) von der Emissionsquelle ermittelt.
- Auf Grund der guten Übereinstimmung der Messergebnisse bezüglich der Emissionskonzentration erscheinen die ermittelten Ergebnisse plausibel. Fehler bei der Bewertung der Emissionen ergeben sich vor allem durch die Unterstellung einer Kugelform der Partikel. Der Fehler der berechneten Emissionskonzentrationen wird mit 25 % abgeschätzt.

## 9 Zusammenfassung

Staub ist ein natürlicher Bestandteil der Luft; durch anthropogene Aktivitäten wird die Staubbelastung der Atmosphäre direkt und indirekt erhöht. Unter direkter Emission wird die Freisetzung staubhaltiger Abluft verstanden. Die in der Luft verteilten Partikel stellen in höherer Konzentration eine potentielle gesundheitliche Gefährdung für die Bevölkerung im Hinblick auf Atemwegserkrankungen dar; dabei sind Feinstäube besonders gesundheitsschädlich.

Gegenstand des durchgeführten Forschungsvorhabens war die Entwicklung und der Bau einer mobilen Probenahme- bzw. Messeinrichtung zur Charakterisierung diffuser Staubemissionen von Asphalt- und Betonmischanlagen, Aufbereitungsanlagen von Straßenbelag, sowie Bauschuttrecyclinganlagen. In diesem Industriezweig ist auf Grund der vielen Einflussparameter sowie der starken örtlichen und zeitlichen Schwankungen der Emissionen und Immissionen sehr aufwändig und schwierig. Im Rahmen dieses Vorhabens war eine Messmethodik zu entwickeln und zu erproben, mit der die Staubkonzentration und die Korngrößenverteilung im Lee diffuser Einzel- bzw. Flächenquellen zeitlich und örtlich differenziert ermittelt werden kann. Die Erstmessung wurde an einer Asphaltmischanlage (AMA) durchgeführt.

Die neue Messmethode zur Charakterisierung diffuser Emissionen erfasst sowohl die Staubkonzentration, als auch die Kornverteilung des Staubes an verschiedenen Punkten einer flächenhaften Emission. Die Erprobung der Messeinrichtung konnte erfolgreich durchgeführt werden. Die in einer ersten Messkampagne an dem Asphaltmischplatz Freital der Sächsischen Asphaltmischwerke gewonnenen Erkenntnisse erlauben es, die Gesamtemission des Mischplatzes und ihren Einfluss auf die Umgebung besser als bisher einzuschätzen.

Die Untersuchungen zeigten, dass die diffusen Emissionen stark vom Windeinfluss abhängen. So konnten in Anhängigkeit der Windrichtung verschiedene Szenarien einwickelt werden. Bei Winden aus Südost entsteht eine Emissionsfront mit einer mittleren Konzentration von 420  $\mu$ g/m<sup>3</sup>; dies entspricht bei den örtlichen Gegebenheiten des Mischplatzes einer Quellstärke von 0,42 g/s. Bei Wind um Südwest kommt es zu einer breiteren Emissionsfront, mit einer Quellstärke von 0,78 g/s. Die entscheidende zu beurteilende Partikelgröße der diffusen Emissionen liegt zwischen 1 und 3  $\mu$ m.

Die Messkampagne fand September/ Oktober statt. Die Ergebnisse können nicht ohne weiteres auf den Jahresverlauf übertragen werden. Um zu belastbaren Werten für die gesamte Betriebszeit eines Asphaltmischwerkes zu kommen, sind ergänzende, möglichst über das ganze Jahr verteilte Messkampagnen erforderlich.

- 10 Literatur
- [1] Baum, F.: Luftreinhaltung in der Praxis, R. Oldenburg Verlag, München 1988
- [2] <u>http://www.luft.tu-cottbus.de/scripts/pdf020415/dm\_air\_ch3p1.pdf</u>
- [3] <u>http://www.uni-duisburg.de/FB9/AMT/reports/AB\_MURL.PDF</u>
- [4] <u>http://www.umeg.de/berichte/ausgewaehlte/InterregII/Berichte/3natur\_herkunft\_und\_t</u> \_\_\_\_\_\_oxikologie.pdf
- [5] D. Möller: Luft, Verlag DeGruyter, Berlin 2003
- [6] <u>http://www.austal2000.de/austal2000.htm</u>
- [7] Hugo, A. et.al.: Einfluss der materialbezogenen und umgebungsspezifischen Größen auf das Depositionsverhalten von Partikeln, Gefahrstoffe- Reinhaltung der Luft 62 (2002), Nr. 11/12
- [8] <u>http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/index.html</u>
- [9] http://www.wien.gv.at/ma22/pool/doc/staubemissionen1.pdf
- [ 10]

## 11 Anhang

- Anhang 1: Bilder der REM- Visualisierung
- Anhang 2: Messprotokoll Staubdichtebestimmung
- Anhang 3: Protokoll der Partikelgrößenverteilung des Staubniederschlages
- Anhang 4: Messprotokoll Staubinhaltsstoffe
- Anhang 5: Messprotokolle Impaktormessungen
- Anhang 6: Messprotokolle Partikelgrößenmessungen Band 1 – SMPS - Messungen
- Anhang 7: Messprotokolle Partikelgrößenmessungen Band 2 – APS – Messungen – Messkampagne 1
- Anhang 8: Messprotokolle Partikelgrößenmessungen) Band 3 – APS – Messungen – Messkampagne 2
- Anhang 9: Messprotokolle Partikelgrößenmessungen Band 4 – APS – Messungen – Messkampagne 3
- Anhang 10: Messprotokolle Partikelgrößenmessungen Band 5 – APS – Messungen – Messkampagne 4
- Anhang 11: Kalibrierprotokoll Klassifiziergenauigkeit Partikelzähler

Der Anhang ist aus Platzgründen nicht mit enthalten. Bei Interesse senden wir ihn gern zu.