

**Diffuse Staubemissionen aus Tagebauen
Immissionsmessungen und
Bodenuntersuchungen im Bereich von Lausitzer
Tagebauen zur Ermittlung und Verifikation von
Emissionsfaktoren zur Modellierung von
Staubquellen**

Dipl.-Ing. Bernd Hör

Inhalt

- Einleitung (Grundlagen, Erläuterungen)
- Immissionsmessprogramm
- Bodenuntersuchungen
- Ergebnisse der Immissionsmessungen
- Ergebnisse der Bodenuntersuchungen
- Ermittlung der Emissionsfaktoren
- Verifikation der Emissionsfaktoren

Einleitung

Tagebaue

- unterliegen gemäß BBergG einer UVP-Vorprüfungspflicht.
- Erstellung von Rahmenbetriebspläne für die geplante Laufzeit.
- Im Rahmen dieser Prüfungen sind Immissionsprognosen für Staub durchzuführen.
 - bis ca. 2010 nur Staubniederschlag ab 2010 auch Schwebstaub

Bis 2014 wurde für den Emissionsansatz ein Modell verwendet, das aus Windkanalversuchen an der TU in Dresden hergeleitet worden ist.

Dieses Modell ergab

- sehr hohe Immissionszusatzbelastungen (IZ) Immissionsgesamtbelastungen (IG)
 - insbesondere an Schwebstaub,

Einleitung

- Stammt vorwiegend aus der Abwehung von Oberflächen,
- während der Beitrag der aktiven Prozesse modellbedingt vergleichsweise gering war.
- Es wurden bei der Abwehung keine zeitlichen Variationen berücksichtigt

Resultat

- Diskrepanz zu Immissionsmessungen im Bereich der Tagebaue (die gemessene IG war deutlich niedriger als die prognostizierte IG)
- Daher: Notwendigkeit der Ermittlung neuer Emissionsfaktoren (EF)

Einleitung

Wobei/Wodurch entstehen die Emissionen im Tagebau?

passive Quellen wie Abwehung von

- devastierten Flächen
- Kippen
- Böschungen
- ruhenden Flächen

aktive Quellen wie

- Baggern (Vorschnitt, Abraum)
- Schürfen (Oberflözkohle, Flöz)
- Abwerfen von Abraum, Kohle
- Transport auf Bändern, Bandübergabe



alle Fotos: B. Hör

Einleitung

Aufgrund der v. g. Tatsachen wurde zur Ermittlung neuer Emissionsfaktoren folgendes Untersuchungsprogramm erstellt

- Durchführen von Immissionsmessungen im Umfeld eines Tagebaus
- Durchführung von Bodenuntersuchungen (u. a. Abwehversuche)
- Ermittlung der Emissionsfaktoren
- Durchführung von Immissionsprognosen nach Anhang 3 TA Luft mit den ermittelten Emissionsfaktoren
- Verifikation der Emissionsfaktoren anhand der Messdaten

Immissions-Messprogramm

Immissionsmessprogramm

Im Zeitraum 03/2014 – 03/2015 wurden in der Umgebung des Tagebaus sowie am Tagebaurand Immissionsmessungen durchgeführt. Es wurden insgesamt 4 Messpunkte beprobt, wobei ein Messpunkt von der LEAG (vormals VEM) betrieben wurde.

Messpunkt	Beschreibung	Messgrößen
MP1	ca. 4,5 km westlich der Tagebaukante, im Wesentlichen vom Tagebau unbeeinflusst, ländlicher Hintergrund	PM10, PM2.5
MP2	am nördlichen Tagebaurand stark vom Tagebau beeinflusst, hier erfolgt auch die Erfassung der meteorologischen Daten	PM10, PM2.5
MP3	ca. 3,5 km nordwestlich der Tagebaukante, ländlicher Hintergrund + ggf. Immissionen aus Gemeindeverkehr, Hausbrand, etc. + teilweise Beeinflussung durch Tagebau; hier ist eine meteorologische Station vorhanden [4]	PM10, PM2.5
LEAG	am östlichen Ortsrand der Gemeinde Weißwasser (Entfernung zu Tagebaurand etwa 300 m)	PM10



Immissions-Messprogramm

Immissionsmessprogramm

- Lage der Messpunkte



Immissions-Messprogramm

Immissionsmessprogramm

- Lage Messpunkt MP2 (am Tagebaurand)



Bodenuntersuchungen

- Begleitend zu den Immissionsmessungen wurden Bodenproben an unterschiedlichen Stellen des Tagebaus

Die Untersuchungen wurden vom Institut für Bodenlandschaftsforschung, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V. (ZALF), in Müncheberg vorgenommen.

In der folgenden Tabelle ist ein Auszug aus der Liste Proben dokumentiert.

Probennr.	Tagebau	Arbeitsebene	HW	RW	m NHN	Fazies Stratigraphie
P1	No	AE Absetzer (aus VS1)	547.017.813	570.604.073	124,76	Flaschenton 4 (Strati. Nr. 3620)
P2	No	AE Vorschnitt 1 Mischprobe	547.007.729	570.586.867	119,91	Kohle 1. LF (Strati. 3730)
			546.994.006	570.561.554	113,08	Sande GWL 253/254 (Strati. 3750, 3790)
P3	No	AE Vorschnitt 2	547.026.682	570.569.975	119,69	Kohle 1. LF (Strati. 3730)
P4	No	OAE F60	547.035.534	570.487.909	95,98	Sande GWL 31/25-Komplex (Strati. Nr. 3920, 3870)
			547.056.861	570.496.332	74,72	P5.1: Sande GWL 41 (Strati. Nr. 4110) P5.2: kohlig-bindiges Material
P5	No	HAE F60 Mischprobe	547.156.163	570.663.914	68,14	Oberbegleiter 2. LF (Strati. Nr. 4030, 4040)
			547.044.621	570.460.644	44,1	Kohle 2. LF (Strati. Nr. 4382)
P6	No	Gruben AE	547.044.621	570.460.644	44,1	Kohle 2. LF (Strati. Nr. 4382)

Bodenuntersuchungen

Die Untersuchung der Proben erfolgte u. a. auf

- Stratigrafie (Schichtungen)
- Bodenstruktur
- Bodenfeuchte
- Korngrößenverteilung
- Abwehbarkeit (im Windkanal)
- Emissionspotential (im Windkanal)

Bodenuntersuchungen

In die Ermittlung der Emissionsfaktoren flossen als Basiskenngrößen die Abwehbarkeit, das Emissionspotential und die Korngrößenverteilung ein.

Die Abwehversuche am Windkanal (des ZALF) wurden je einmal

- mit konstanter Windgeschwindigkeit (mehrere hintereinandergeschaltete Versuchsläufe mit der gleichen Windgeschwindigkeit) zur Bestimmung des maximalen Emissionspotential bei konstanter Windgeschwindigkeit und
- mit ansteigender Windgeschwindigkeit (mehrere hintereinandergeschaltete Versuchsläufe mit Windgeschwindigkeit von 4, 6, 7, 8, 10 m/s) durchgeführt

Ergebnisse der Immissionsmessungen

Die ermittelten Immissionsgesamtbelastungen sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

	MP1 (Hintergr.)		MP2 (Tagebau)		MP3 (Trebendorf)		LEAG (WW)
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10
	Konzentration	Konzentration	Konzentration	Konzentration	Konzentration	Konzentration	Konzentration
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
Mittelwert 3/2014-3/2015	18,9	13,8	30,9	19,3	19,4	14,2	23,2

- Die Messwerte an MP1 entsprechen der ländlichen Hintergrundkonzentration (Landesmessnetze BB und Sachsen)
- Daher: MP1 als Referenz zur Berechnung der IZ

Ergebnisse der Immissionsmessungen

Die aus den Messungen berechneten Werte der IZ sind nachstehend aufgeführt.

Zusatzbelastung	MP2		MP3		LEAG
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10 ^{*)}
März14-März15	11,9 µg/m ³	5,3 µg/m ³	0,3 µg/m ³	0,4 µg/m ³	4,1 µg/m ³

^{*)} Mittelwerte ab 10.06.2014

Bestätigung, das die bisherigen Ansätze zu überarbeiten sind:

- Die IZ nimmt bereits in sehr geringer Entfernung vom Tagebau stark ab
- Im Gegensatz zum bisherigen Modell bei dem in Tagebaunähe 30 – 50 µg/m³ Zusatzbelastung und selbst in 1.000 m Entfernung noch bis zu 8 µg/m³ prognostiziert wurden

Ergebnisse der Immissionsmessungen

Das PM_{2,5}/PM₁₀ – Verhältnis der ländlichen Hintergrundkonzentration beträgt ca. 70% - 80%.

Dies entspricht auch dem PM_{2,5}/PM₁₀ – Verhältnis an MP1. Mit zunehmender Nähe zum Tagebau dominiert der PM₁₀-Anteil d. h., dass der PM₁₀-Anteil des gemessenen Schwebstaubs über dem Tagebau zunimmt.

Monat	Verhältnis PM _{2,5} /PM ₁₀			Verhältnis PM _{2,5} /PM ₁₀ Zusatzbelastung	
	MP1	MP2	MP3	MP2	MP3
Mrz 14	73,9%	54,1%	75,5%	29,7%	84,5%
Apr 14	73,0%	51,7%	71,2%	25,7%	48,2%
Mai 14	75,3%	55,6%	67,2%	39,7%	15,2%
Jun 14	62,8%	52,9%	61,9%	33,9%	-
Jul 14	68,1%	61,7%	69,4%	52,6%	92,9%
Aug 14	66,9%	61,6%	53,7%	57,5%	-
Sep 14	69,1%	64,9%	72,3%	42,5%	-
Okt 14	71,7%	65,1%	73,2%	56,8%	-
Nov 14	77,6%	68,8%	83,4%	35,5%	-
Dez 14	79,7%	66,5%	81,8%	40,2%	-
Jan 15	77,2%	58,6%	79,1%	34,4%	-
Feb 15	78,8%	65,0%	80,2%	45,4%	-
Mrz 15	73,1%	77,1%	77,0%	82,1%	-
Mittelwerte	72,9%	61,8%	72,8%	44,3%	60,2%



Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

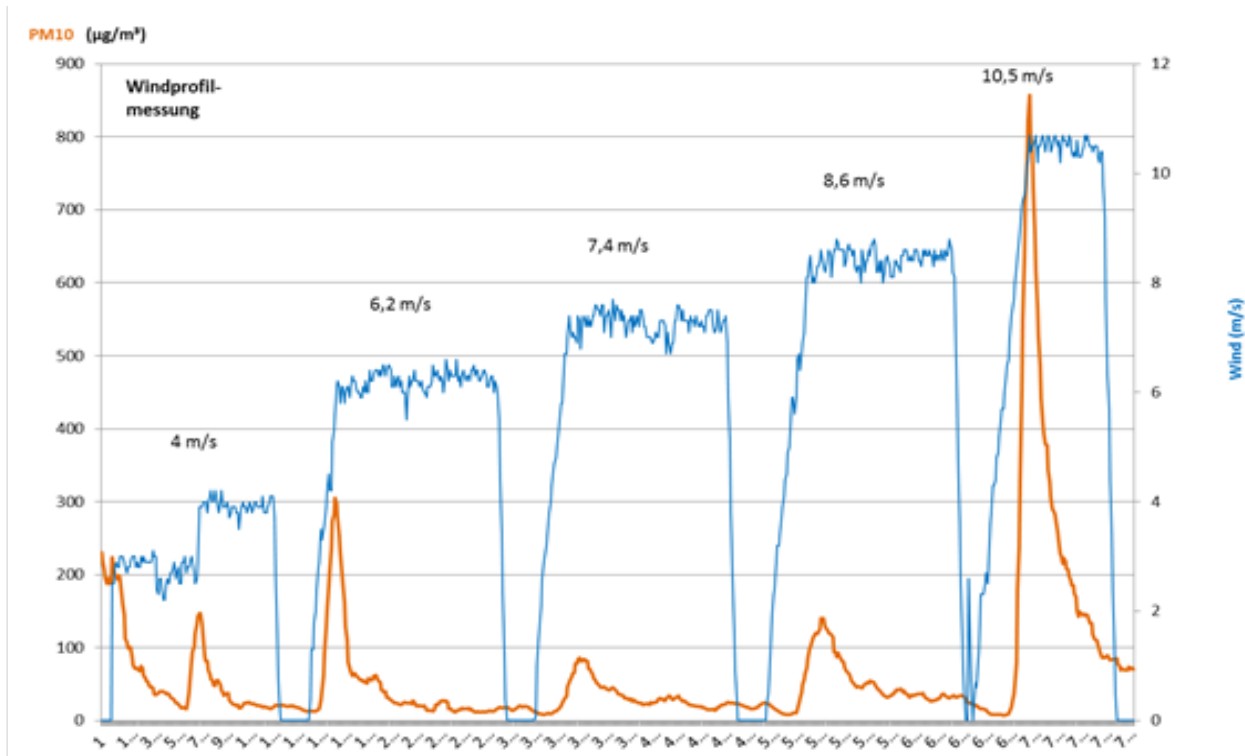
Abwehversuche (Quelle ZALF)

Die Abwehversuche mit steigender Windgeschwindigkeit ergaben,

- dass beim ersten Versuchslauf nach einigen Minuten keine abwehbaren Partikel (PM_{2,5}, PM₁₀) mehr nachgewiesen wurden. Nach einer Steigerung der Windgeschwindigkeiten wurden erneut für kurze Zeit Partikel emittiert.
- Für die Partikelkonzentration bei der *i*'ten Windgeschwindigkeit wurde die kumulierte Partikelkonzentration von der Ausgangsgeschwindigkeit i_0 bis zur Windgeschwindigkeit i als abgewehrte Partikelmasse $m_{v(i)}$ angesetzt: $m_{v(i)} = \sum_{i=i_0}^i m_i$ [μg].
- Gegenüber den bisherigen Ansätzen von mehr oder weniger konstanter Abwehruung bedeutet dieses Ergebnis eine Reduzierung der Staubentstehung auf die Zeiten von Windgeschwindigkeiten ab 3 – 4 m/s, je nach Bodentyp.

Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

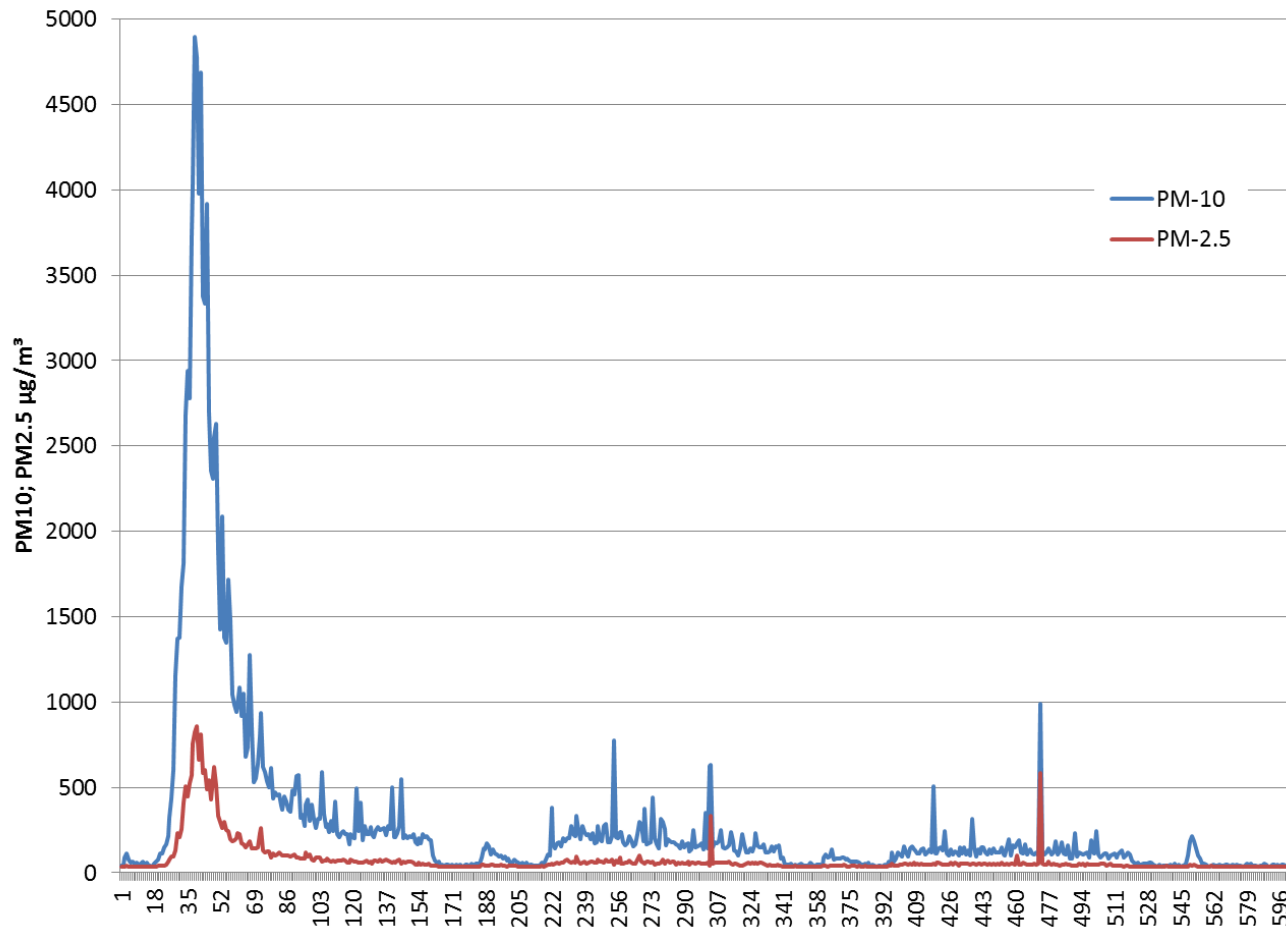
Abwehversuche (Quelle ZALF)



- PM10
- Windgeschwindigkeit

Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

Abwehversuche (Quelle ZALF) bei ca. 8,5 m/s konstant



Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

Abwehversuche (Quelle ZALF)

Die mittels Querstromsichtungen (VDI 66118) ermittelten Emissionspotentiale der Tagebauproben sind nachstehend dokumentiert.

Für weitere Berechnungen wurde als konservativer Ansatz ein Emissionspotential von 0,6 % PM10-Anteil zu Grunde gelegt.

Messung	1	2
Feuchte	lufttrocken	lufttrocken
Masse-%	0,29	0,23
P2 PM10-Potential	0,08%	0,05%
P3 PM10-Potential	0,18%	0,14%
P4 PM10-Potential	0,14%	0,08%
P5 PM10-Potential	0,007%	0,013%
P6 PM10-Potential	0,67%	0,72%
Mittelwerte	0,22%	0,20%

Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

Korngrößenermittlung (Quelle ZALF)

Nachstehend ist das Korngrößenspektrum aus der Trockensiebung dokumentiert.

Durchmesser	Nochten P2	Nochten P3	Nochten P4	Nochten P5	Nochten P6
> 0,63mm	14,96 %	50,92 %	7,69 %	14,55 %	52,98 %
> 0,2mm	54,77 %	28,77 %	12,20 %	50,37 %	23,30 %
> 0,125mm	20,29 %	5,20 %	14,19 %	20,75 %	6,69 %
> 0,063mm	8,28 %	9,09 %	56,42 %	11,84 %	9,60 %
< 0,063mm	1,70 %	6,02 %	9,50 %	2,50 %	7,43 %
Mittelwert < 0,063 mm	5,43 %				

Dies sind bei den vorliegenden Proben auf Basis der Trockensiebung im Wesentlichen alle Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 63 μm (0,063 mm) aus der vorliegenden Sieblinie.

Der Ansatz dieser Korngröße als abwehbar, stützt sich auf Untersuchungen zu Abwehungen von diversen Böden.

Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

Korngrößenermittlung (Quelle ZALF)

Dabei wurden für abwehbare und weitertragende Teilchen Korngrößen zwischen 20 und 70 μm bestimmt. Aus den o. g. Anteilen dieser Korngröße für die einzelnen Bodenproben ergeben sich somit die Emissionspotentiale für alle abwehbaren Partikel.

Ermittlung der Emissionsfaktoren

Ausgehend von den Abwehversuchen wurden Emissionsfaktoren für PM10 und PMU für die freiliegenden Oberflächen bestimmt.



Die Zusammenfassung am Beispiel des Tagebau Nochten ist in den nachstehenden Tabellen dokumentiert.

Ermittlung der Emissionsfaktoren

PM10: Flächenbezogene Emissionsfaktoren

Nochten	Klasse 0 4 - 6 m/s	Klasse 1 6 - 7 m/s	Klasse 2 7 - 8 m/s	Klasse 3 8 - 10 m/s	Klasse 4 >10 m/s
Rekultivierte Flächen	0,0004 g/(m ² h)	0,0007 g/(m ² h)	0,0013 g/(m ² h)	0,0054 g/(m ² h)	0,0078 g/(m ² h)
Böschungen, Kippflächen, HAE	0,0030 g/(m ² h)	0,0182 g/(m ² h)	0,0309 g/(m ² h)	0,0578 g/(m ² h)	0,1099 g/(m ² h)
Vorschnitt	0,0030 g/(m ² h)	0,0329 g/(m ² h)	0,0481 g/(m ² h)	0,0833 g/(m ² h)	0,1673 g/(m ² h)

PMU: Flächenbezogene Emissionsfaktoren

Nochten	Klasse 0 4 - 6 m/s	Klasse 1 6 - 7 m/s	Klasse 2 7 - 8 m/s	Klasse 3 8 - 10 m/s	Klasse 4 >10 m/s
Rekultivierte Flächen	0,0767 g/(m ² h)	0,1386 g/(m ² h)	0,2464 g/(m ² h)	1,0383 g/(m ² h)	1,5000 g/(m ² h)
Böschungen, Kippflächen, HAE	0,0617 g/(m ² h)	0,6760 g/(m ² h)	0,9897 g/(m ² h)	1,7126 g/(m ² h)	3,4400 g/(m ² h)
Vorschnitt	0,0000 g/(m ² h)	2,2073 g/(m ² h)	3,7596 g/(m ² h)	6,3031 g/(m ² h)	12,2700 g/(m ² h)

Die Oberflächen emittieren nur, wenn die Schwellenwindgeschwindigkeiten überschritten werden (3 – 4 m/s). Die Windgeschwindigkeitshäufigkeiten im Untersuchungsgebiet sind nachstehend aufgeführt.

	Klasse 0 4 - 6 m/s	Klasse 1 6 - 7 m/s	Klasse 2 7 - 8 m/s	Klasse 3 8 - 10 m/s	Klasse 4 > 10 m/s
Vorkommnisse	1067	136	66	20	1
Anteil	12,2%	1,6%	0,8%	0,2%	0,01%

Ermittlung der Emissionsfaktoren

Als aktive Quellen im Tagebau werden alle Vorgänge bezeichnet, die mit Materialtransport und –Umschlag in Zusammenhang stehen. Dazu zählen u. a. die Bänder, Bandübergaben, Bagger sowie alle Abwurfvorgänge.

Die Herleitung der Emissionsfaktoren stützt sich auf empirische Prognosen auf Basis der Ergebnisse der Immissionsmessungen sowie auf die Auswertung der Bodenuntersuchungen. Die Ermittlung der Staubungsneigung erfolgte zunächst angelehnt an VDI Richtlinie 3790 Blatt 3



Ermittlung der Emissionsfaktoren

In den nachstehenden Tabellen sind die EF für PM10/PMU am Beispiel des Tagebau Nochten dokumentiert.

Aufnahme

Ort	Dichte [Mg/m ³]	spez. Emissionen PM10 [g/t]	spez. Emissionen PMU [g/t]
Aufnahme Vorschnitt 1	1,8	0,03	0,24
Aufnahme Vorschnitt 2	1,8	0,03	0,24
Aufnahme Oberflöz			
Grube Oberflöz	1,2	0,03	0,16
Aufnahme Hauptflöz			
Grube Hauptflöz -	1,2	0,03	0,16
Aufnahme Hauptflöz			
Grube Hauptflöz -	1,2	0,03	0,16
Aufnahme AFB			
AFB Bagger	1,8	0,03	0,24

Abwurf

Ort	Abwurf Höhe [m]	spez. Emissionen PM10 [g/t]	spez. Emissionen PMU [g/t]
Abwurf Vorschnitt			
Vorschnitt 1 - Bagger	2	0,1	0,3
Vorschnitt 2 - Bagger	2	0,1	0,6
Abwurf Flöz			
Grube Oberflöz	2	0,1	0,7
Grube Hauptflöz	2	0,1	0,5
Grube Hauptflöz	2	0,1	0,6
Abwurf AFB			
AFB - 33 F 60 : 30 m	30	1,2	10,5
AFB - 33 F 60 : 25 m	25	1,2	8,4
AFB - 33 F 60 : 10 m	10	1,2	2,7
Absetzer			
Absetzer 1102 A2RsB	20	0,6	5,6
Bandübergabe			
Vorschnitt 1	0,5	0,01	0,1
Vorschnitt 2	0,5	0,01	0,1
Oberflözkohle	0,5	0,01	0,1
Hauptflöz	0,5	0,01	0,1

Verifikation der Emissionsfaktoren

Eingangsdaten der Ausbreitungsrechnungen

- Modellierung der aktiven Quellen als Volumenquellen über den gesamte Arbeitsbereich der Maschinen, der passiven Quellen als Flächenquellen
- Einsatz eines Geländemodells für den Tagebau, insbesondere unter Berücksichtigung der steilen Abbruchkante im Osten des Tagebaus
- Berücksichtigung der Häufigkeit der Windgeschwindigkeiten und Abbildung in einer Emissionszeitreihe
- Einsatz der meteorologischen Daten der repräsentativen Wetterstation in Cottbus sowie der etwa 4 km vom östlichen Tagebaurand entfernten Station Trebendorf
- Die Rauigkeitslänge wurde auf 5 cm festgelegt
- Es wurde ohne Berücksichtigung von Niederschlägen gerechnet

Verifikation der Emissionsfaktoren

Ergebnisse der letzten Ausbreitungsrechnungen am Beispiel des Tagebau Nochten

Zusatzbelastung	MP2		MP3		LEAG
	PM10	PM2,5	PM10	PM2,5	PM10
Immissionsprognosen im Mittel	11,6 µg/m ³	5,1 µg/m ³	0,4 µg/m ³	0,2 µg/m ³	5,7 µg/m ³
Immissionsmessungen	11,9 µg/m ³	5,3 µg/m ³	0,3 µg/m ³	0,4 µg/m ³	4,1 µg/m ³
Wiederfindung	97%	96%	115%	54%	140%

- Die beschriebenen Ansätze zur Ermittlung Emissionsfaktoren im Tagebau Nochten werden/wurden auf weitere Tagebaue angewandt um ein regionales Modell für Lausitzer Tagebaue bzw. Tagebaue mit ähnlicher Bodenstruktur zu schaffen.
- Es wurden inzwischen zahlreiche Immissionsprognosen mit den v. g. Ansätzen durchgeführt, die im Bereich der im Umfeld von Tagebauen gemessenen IZ/IG liegen
- Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf dem Schwebstaub
- Die Staubbiederschlagskonzentrationen werden durch das Modell in der Regel etwas überschätzt.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



www.MuellerBBM.de