

Diffuse Staubemissionen

Technische Grundlage - 2013

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort
Stubenring 1, 1010 Wien

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundeskanzleramtes und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an betriebsanlagentechnik@bmdw.gv.at.

Inhalt

Vorwort	1
1 Einleitung	2
1.1 Allgemeines.....	2
1.2 Definitionen	3
1.3 Formelzeichen.....	4
1.4 Änderungen in der Revision 1	6
2 Gesetzliche Grundlagen	7
3 Emissionsermittlung.....	8
3.1 Diffuse Staubemissionen durch den Verkehr	8
3.1.1 Straßen mit nichtstaubendem Belag	8
3.1.2 Straßen mit staubendem Belag	14
3.2 Lagerung von Schüttgütern, Winderosion	16
3.2.1 Abwehbarkeit von Partikeln	16
3.2.2 Winderosion im eigentlichen Sinn	17
3.2.3 Abwehung bereits freigesetzter Partikel	17
3.2.4 Emissionsermittlung.....	18
3.3 Manipulation staubender Güter	21
3.3.1 Allgemeines.....	21
3.3.2 Festlegung der Eingangsparameter für die Berechnung diffuser Staubemissionen.....	21
3.3.3 Ermittlung der Emissionsfaktoren und der Quellstärken	24
3.3.4 Emissionsfaktoren zur Plausibilitätsprüfung	25
3.4 Emissionen durch Sprengen.....	26
3.4.1 Grundlagen	26
3.4.2 Abschätzung von Sprengemissionen	27
3.5 Emissionen beim Schweißen von Metallen	28
4 Minderungsmaßnahmen	31
4.1 Befeuchtung.....	31

4.1.1 Verdunstung.....	31
4.1.2 Allgemeines zur Befeuchtung staubender Oberflächen	33
4.2 Fahrwege	33
4.2.1 Straßen mit staubendem Belag	33
4.2.2 Straßen mit nicht staubendem Belag	35
4.2.3 Recyclingasphalt	36
4.2.4 Einsatz von Kehrmaschinen.....	36
4.2.5 Auflagenformulierungen für die Befeuchtung von Fahrbahnen mit staubendem Belag.....	37
4.2.6 Einsatz von Reifenwaschanlagen	38
4.3 Lagerung staubender Güter	38
4.4 Manipulation staubender Güter	40
4.4.1 Aufbereitung und Herstellung staubender Güter	40
4.4.2 Transport sowie Be- und Entladung staubender Güter	41
4.5 Spezifische Emissionsminderungsmaßnahmen bei bestimmten Anlagen.....	43
4.5.1 Baustellen	43
4.5.2 Brecher	44
4.5.3 Schüttgutverladung.....	44
4.6 Spezifische Emissionsminderungstechniken	46
4.6.1 Befeuchtungsanlagen.....	46
4.6.2 Lüftungsanlagen	47
4.6.3 Emissionsminderung beim Schweißen	47
4.7 Abschirmungsmaßnahmen zur Immissionsminderung.....	47
4.8 Schutzabstände zu Wohnbereichen	49
5 Anmerkungen zur Ausbreitungs-rechnung.....	51
6 Beispiel zur Berechnung diffuser Staubemissionen	52
7 Anhang.....	57
7.1 Anteile unterschiedlicher Korngrößen am Gesamtstaub (TSP).....	57
7.2 Verdunstung - Datengrundlagen	59

7.3 Verdunstungsdaten.....	61
7.4 Mittlere Geschwindigkeit und Spitzenwindgeschwindigkeit	64
7.5 Winderosion – Ermittlung von Emissionsfaktoren	65
Tabellenverzeichnis	72
Abbildungsverzeichnis	74
Literaturverzeichnis	75

Vorwort

Die vorliegende Technische Grundlage wurde von den Technischen Amtssachverständigen auf Grund ihrer Erfahrungen in gewerbebehördlichen Genehmigungsverfahren erarbeitet. Wo es als zweckdienlich schien, wurden auch externe Experten gehört bzw. mit Detailfragen befasst.

Die Technische Grundlage bietet eine Zusammenfassung des für die Beurteilung des Sachgebietes notwendigen Basiswissens und gibt eine Übersicht über etwaig auftretende Gefahren, Emissionen oder Beeinträchtigungen und zeigt mögliche Abhilfemaßnahmen auf. Sie reflektiert die vielfältigen Erfahrungen einer langjährigen Verwaltungspraxis und dient dem Schutz von Personen und dem Schutz der Umwelt.

Die Technische Grundlage stellt die zu manchen Fragen zum Teil auch unterschiedlichen Auffassungen der Technischen Amtssachverständigen auf eine gemeinsame Basis und ist grundsätzlich als Maximalbetrachtung des gestellten Themas zu sehen. Die in der Technischen Grundlage enthaltenen Inhalte sind daher nicht unbedingt in jedem Fall gegeben und vorgeschlagene Abhilfemaßnahmen sind nicht überall im gesamten Umfang notwendig. Andererseits können im Einzelfall vorliegende Umstände andere als in der Technischen Grundlage vorgesehene bzw. zusätzliche Maßnahmen rechtfertigen. Es obliegt daher dem Technischen Amtssachverständigen im gewerbebehördlichen Genehmigungsverfahren, den jeweils konkret vorliegenden Sachverhalt nach den Erfordernissen des Einzelfalles zu beurteilen.

Der Technischen Grundlage kommt kein verbindlicher Charakter zu. Der Inhalt der Technischen Grundlage basiert auf dem zum Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung im Arbeitskreis verfügbaren Wissen.

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Verbesserte Produktionsverfahren und Fortschritte bei der Abgasreinigung haben Emissionen aus definierten Quellen in den vergangenen Jahren deutlich sinken lassen. Bei Emissionen aus diffusen Quellen konnten Reduktionen jedoch nicht in diesem Ausmaß erreicht werden. Staubemissionen aus bestimmten Betriebsanlagen (z.B. Schotter- und Kieswerke, Baustoffwerke, Lagerplätze von Bauunternehmen und dergleichen) sind geeignet, Staubbelastungen in der Nachbarschaft zu verursachen. Daher ist die Beurteilung und Reduktion dieser Emissionen von Bedeutung. Die vorliegende Technische Grundlage soll bei der Quantifizierung diffuser Emissionen und der Festlegung von Maßnahmen zu deren Minderung Hilfestellung leisten.

In der vorliegenden Technischen Grundlage werden folgende diffuse Staubquellen behandelt:

- Fahrbewegungen
- Winderosion aus Freilagerungen
- Manipulation von Schüttgütern
- Sprengungen
- Schweißen und Brennschneiden

Zur rechnerischen Ermittlung der von diesen Quellen ausgehenden diffusen Staubemissionen werden derzeit hauptsächlich zwei technische Regelwerke herangezogen:

- US-EPA, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42 1995 ff
- VDI 3790, Blatt 3, Umweltmeteorologie - Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern, Jänner 2010

Im Rahmen der Erstellung dieser Technischen Grundlage wurden die Berechnungsmethoden zur Abschätzung diffuser Staubemissionen in umfangreichen eigenen Untersuchungen überprüft, an die Ergebnisse der Messungen angepasst und mit Emissionsfaktoren aus der Literatur verglichen.

Festzuhalten ist, dass die Ermittlung von Staubemissionen aus diffusen Quellen mit wesentlich größeren Unsicherheiten behaftet ist, als jene aus gefassten Quellen, da die Emissionen maßgeblich von Einflussgrößen bestimmt werden, die entweder stark variieren können (z.B. Art des Abwurfes von einer Baggerschaufel, Feuchtegehalt eines Fahrwegs bei diskontinuierlicher Befeuchtung) oder da Einflussgrößen zur Anwendung kommen, die nur abgeschätzt werden können (z.B. Staubgehalt der Fahrbahnoberfläche). Umso wichtiger ist es, genau beschriebene Berechnungsvorschriften anzubieten, um bei der Beurteilung von Projekten vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Daher wird auch auf die Beschreibung und Diskussion von Minderungsmaßnahmen (siehe Kapitel 4) besonderer Wert gelegt und die Wirksamkeit diskutiert.

1.2 Definitionen

Diffuse Quellen: Als diffuse Quellen werden jene Quellen bezeichnet, aus welchen luftverunreinigende Stoffe oder Partikel freigesetzt und über einen nicht definierten oder nicht erfassbaren Luftvolumenstrom in die Umgebungsluft emittiert werden. Als typische Beispiele sind dabei Staubemissionen von Fahrbahnen oder nicht abgesaugte Staubemissionen, die durch die Manipulation von staubenden Gütern entstehen, zu nennen. Die Emissionskenngrößen diffuser Quellen sind von mehreren Faktoren wie beispielsweise den Materialeigenschaften, den Oberflächeneigenschaften oder der Art eines Manipulationsverfahrens abhängig.

mineralische Güter: Schüttgüter wie z.B. Schotter, Kies, Sand

Baurestmassen: Schüttgüter wie z.B. Bodenaushub, Bauschutt, Betonabbruch oder Asphaltbruch

Materialmanipulation: Aufnahme, kontinuierlicher und diskontinuierlicher Abwurf, Transport von Schüttmaterial

kontinuierliche Verfahren: Prozessschritte, die ohne Unterbrechung ablaufen

diskontinuierliche Verfahren: diskrete (mit Unterbrechungen ablaufende) Prozessschritte

staubfrei befestigter Fahrweg: Straße mit Asphalt- oder Betondecke bzw. Pflasterung, die durch Kehren gereinigt werden kann

Aufbereitung: Sortierung (z.B. Sieben), Zerkleinern (z.B. Brechen)

PM₁₀: (PM = Particulate Matter) Staubteilchen mit einem aerodynamischen Äquivalenzdurchmesser kleiner als 10 µm. Bei der Definition über die Staubsammlung werden als PM₁₀ jene Partikel bezeichnet, die einen gröbselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist. Analoge Definitionen gelten auch für andere Korngrößenfraktionen (z.B. PM₃₀, PM_{2,5} und PM₁)

TSP: Total Suspended Particulate; das Grenzkorn wird häufig über einen aerodynamischen Äquivalenzdurchmesser von 30 µm definiert [AP-42].

Qualitätsbewertung für Emissionsfaktoren nach [AP42]:

- A exzellent
- B überdurchschnittlich
- C durchschnittlich
- D unterdurchschnittlich
- E schlecht

1.3 Formelzeichen

Tabelle 1: Übersicht über die Formelzeichen

Zeichen	Einheit	Beschreibung	Verweis
ρ	[t/m ³]	Schüttdichte	Formel 4 Formel 5 Formel 6
a		Gewichtungsfaktor	Formel 4 Formel 5 Formel 6
E	[g/(km.Fzg)]	Emissionsfaktor für Fahrbewegungen	Formel 1 Formel 2 Formel 3
F	[%]	Feuchtigkeitsgehalt der Oberfläche	Formel 3
H _{Fdk}	[m]	mittlere Abwurfhöhe diskontinuierliches Verfahren	Formel 4
H _{Fk}	[m]	mittlere Abwurfhöhe kontinuierliches Verfahren	Formel 5

Zeichen	Einheit	Beschreibung	Verweis
H_{ges}	[m]	Höhe der Etage (Bruchwand) oder der Gebäudestruktur	Formel 6
k_M		Maßnahmenwirksamkeit	Formel 2
$k_{NB, PM}$		korngrößenabhängiger Faktor, nicht staubender Belag	Formel 1
$k_{SB, PM}$		korngrößenabhängiger Faktor, staubender Belag	Formel 2 Formel 3
$k_{U, PM}$		Anteil einer Partikelfraktion am Gesamtstaub	Formel 4 Formel 5 Formel 6
M	[t/Zeit]	bearbeitete Materialmenge pro Zeiteinheit	Formel 4 Formel 5
M_{dk}	[t/Hub]	Materialmenge bei diskontinuierlichen Verfahren	Formel 4
M_k	[t/h]	Materialmenge bei kontinuierlichen Verfahren	Formel 5
M_s	[t]	Gesteinsmasse pro Abschlag oder Gebäudemasse	Formel 6
N_{Tag}		Gesamtanzahl der Tage in der betrachteten Periode (mindestens 3 Monate)	Formel 1 Formel 2 Formel 3
P_E		Erosionspotential	Formel 8
P_{Tag}		Anzahl der Tage mit Niederschlag > 1 mm der betrachteten Periode	Formel 1 Formel 2 Formel 3
$Q_{S, PM}$	[g]	Emissionsmassenstrom einer Partikelfraktion bei Sprengungen	Formel 6
$Q_{U, dk, PM}$	[g/Zeit]	Emissionsmassenstrom einer Partikelfraktion bei diskontinuierlichen Verfahren	Formel 4
$Q_{U, k, PM}$	[g/Zeit]	Emissionsmassenstrom einer Partikelfraktion bei kontinuierlichen Verfahren	Formel 5
s	[%]	Staubanteil für Korngrößen bis 75 µm auf der Oberfläche (silt content)	Formel 2 Formel 3
S	[km/h]	Durchschnittsgeschwindigkeit	Formel 3
sL	[g/m ²]	Staubbelastung der Oberfläche für Korngrößen bis 75 µm (silt loading)	Formel 1
u	[m/s]	verminderte Anströmgeschwindigkeit	Abbildung 10
u_o	[m/s]	ursprüngliche Anströmgeschwindigkeit	Abbildung 10
u_{10}	[m/s]	Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe (Windspitzen)	Formel 7
u^*	[m/s]	friction velocity	Formel 7 Formel 8
u_s/u_r	[m/s]	normierte Windgeschwindigkeit an der Kegeloberfläche	Abbildung 19

Zeichen	Einheit	Beschreibung	Verweis
u_t^*	[m/s]	threshold friction velocity	Formel 8
W	[t]	durchschnittliches Fahrzeuggewicht der Flotte	Formel 1 Formel 2

1.4 Änderungen in der Revision 1

Seite 8: Sprachliche Klarstellung für die Anwendung der sL-Werte; Seite 12: in Formel 3 (Emissionsfaktor für öffentlich befahrene Straßen mit staubendem Belag (hoher Anteil von PKW und LNF)) wurde der Faktor für die Eingabe in km/h angepasst; Seite 13: in den Randbedingungen für Straßen mit staubendem Belag wurde ein Tippfehler ausgebessert; Seite 22/23: Korrektur des Emissionsfaktors nach [BROZELL 1993] (Übertragungsfehler) in Tabelle 12; Seite 58: Korrektur von Tippfehlern im Rechenbeispiel 2 a und b.

2 Gesetzliche Grundlagen

Die Anlagengesetzgebung in Österreich ist in viele Materiengesetze aufgegliedert. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Gewerbeordnung, die hinsichtlich der Bestimmungen zur Begrenzung der Auswirkungen von Anlagen Vorbild für verschiedene andere Rechtsvorschriften ist.

Nachbarn sind vor Auswirkungen von Anlagen und Tätigkeiten zu schützen, die sie in unzumutbarer Weise belästigen oder sogar in ihrer Gesundheit gefährden. Die Gewerbeordnung, die bezüglich des Nachbarschaftsschutzes wesentliche Richtlinien vorgibt, die auch in anderen Materiengesetzen Anwendung finden, sieht vor, dass Betriebsanlagen einer Genehmigung bedürfen, wenn sie wegen der Verwendung von Maschinen und Geräten, wegen ihrer Betriebsweise, ihrer Ausstattung oder sonst geeignet sind ... die Nachbarn durch Geruch, Lärm, Rauch, Staub, Erschütterung oder in anderer Weise zu belästigen... (§ 74 Abs. 2 Z 2 GewO 1994).

Eine Genehmigung darf nur dann erfolgen, wenn [...] Gefährdungen [...] vermieden und Belästigungen, Beeinträchtigungen oder nachteilige Einwirkungen [...] auf ein zumutbares Maß beschränkt werden (§ 77 Abs. 1 GewO 1994).

Zusätzlich wird vom Betrieb dieser Anlagen gefordert, dass die Emissionen von Luftschadstoffen jedenfalls nach dem Stand der Technik zu begrenzen sind (§ 77 Abs. 3 GewO 1994).

Verschiedene andere Materiengesetze zur Genehmigung von Anlagen unterscheiden sich zwar darin, welche Arten von Anlagen danach zu behandeln sind, hinsichtlich der Beurteilung der Auswirkungen sind jedoch sehr ähnliche Kriterien festgelegt. Daher können die hier vorgestellten Berechnungsvorschriften und Maßnahmenvorschläge nicht nur in Genehmigungsverfahren nach der Gewerbeordnung, sondern auch für Beurteilungen im Rahmen des Abfallrechtes, des Mineralrohstoffrechtes oder bei Umweltverträglichkeitsprüfungen herangezogen werden.

Die Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung diffuser Staubemissionen dienen in erster Linie dazu, Belästigungen für Nachbarn möglichst gering zu halten, zugleich sind diese aber auch zur Begrenzung diffuser Staubemissionen nach dem Stand der Technik erforderlich.

3 Emissionsermittlung

3.1 Diffuse Staubemissionen durch den Verkehr

3.1.1 Straßen mit nichtstaubendem Belag

Beim Befahren von befestigten Straßen mit asphaltierten, betonierten oder gepflasterten Fahrbahnen werden staubförmige Emissionen durch das auf der Oberfläche vorhandene Material und die Bewegung der Fahrzeuge (Sogwirkung) freigesetzt. Auf die Straßenoberfläche gelangt das Material durch verlorenes Ladegut, durch Deposition von Staub, durch Aufbringung von Streumaterial im Winter oder durch die Verschleppung von Material aus unbefestigten Bereichen.

Die Menge der Staubemissionen durch Wiederaufwirbelung kann mit folgender Gleichung abgeschätzt werden [AP42-13.2.1- 2011]:

Formel 1: Emissionsfaktor für Straßen mit nichtstaubendem Belag (ohne) Bremsen- und Reifenabrieb für Niederschlagsdaten auf täglicher Basis

$$E = k_{NB,PM} \cdot SL^{0,91} \cdot (1,1 \cdot W)^{1,02} \cdot \left(1 - \frac{P_{Tag}}{3 \cdot N_{Tag}}\right)$$

E : Emissionsfaktor

$k_{NB,PM}$: korngößenabhängiger Faktor (Tabelle 2)

SL : Staubbeladung der Oberfläche für Korngrößen bis 75 μm [g/m^2]

W : durchschnittliches Fahrzeuggewicht der Flotte [t]

Für die Umrechnung der amerikanischen Tonne in die metrische Tonne musste der Faktor 1,1 in die Originalgleichung eingefügt werden.

P_{Tag} : Anzahl an Tagen mit Niederschlag >1 mm in der betrachteten Periode

N_{Tag} : Gesamtanzahl an Tagen in der betrachteten Periode (mindestens 3 Monate)

Tabelle 2: Korngrößenabhängiger Faktor ($k_{NM, PM}$)

Partikelfraktion	Faktor $k_{NB, PM}$
PM _{2.5}	0,15
PM ₁₀	0,62
PM ₃₀ ^{*)}	3,23

^{*)} kann Gesamtstaub (TSP) gleich gesetzt werden. Die Deposition nach dem Berghoff-Verfahren kann nicht mit diesem Faktor berechnet werden.

Für eine Worst-Case-Abschätzung oder für kurze Perioden wird der Klammerausdruck $(1 - P_{\text{Tag}} / (3 \cdot N_{\text{Tag}}))$ weggelassen. Damit werden Emissionsminderungen durch Niederschlags-tage nicht berücksichtigt. In [AP42-13.2.1-2011] wird von einem Niederschlagstag bereits dann gesprochen, wenn 0,254 mm Niederschlag fallen. Dies bewirkt eine Emissionsmi- nderung von 25 % für diesen Tag (Faktor $\frac{1}{4}$). Da in österreichischen Datengrundlagen Tage mit Niederschlägen ab 1 mm/d ausgewiesen werden, wird von einer länger andauernden Wirkung ausgegangen. Die Reduktion wird aus diesem Grund mit $\frac{1}{3}$ festgelegt.

Zur Berechnung von Aktivitäten, die kürzer als 3 Monate andauern (z.B. Baustellen) ist Formel 1 ohne Klammerausdruck zu verwenden. Erforderliche Emissionsreduktionen sind durch die Umsetzung von Maßnahmen zu erreichen.

Formel 1 wurde aus Tests und Berechnungen für

- eine Staubbeladung sL von 0,03 bis 400 g/m² sowie
 - einem Durchschnittsgewicht der Fahrzeuge von 1,8 bis 38 t
- abgeleitet [AP42-13.2.1- 2011].

In Tabelle 3 und Tabelle 4 sind die anzuwendenden sL -Werte in Abhängigkeit des DTV und der Verschmutzung dargestellt. Die in Tabelle 3 angegebenen Werte entsprechen einer geringen Verschmutzung (kaum oder nicht sichtbar), die Werte in Tabelle 4 sind für typi- sche Betriebsstraßen anzuwenden. Die Staubbeladung sL bei der Anwendung von Maß- nahmen ist aus Tabelle 18 in Abschnitt 4.2.2 zu entnehmen.

Tabelle 3: Staubbelastung sL von öffentlichen Straßen [g/m²]

Täglicher durchschnittlicher Verkehr (DTV)	< 500	500-5.000	5.000-10.000	> 10.000
Straßen ohne Winterdienst	0,6	0,2	0,06	0,03
Autobahnen und Schnellstraßen ohne Winterdienst				0,015
Monate mit Winterdienst (abstumpfende Streumittel)	2,4	0,6 ^{~)}	0,12 ^{~)}	unverändert, wie oben

^{~)} Es ist anzumerken, dass an den Tagen, an denen abstumpfende Streumittel aufgebracht werden, mit höheren Staubbelastungen sL von 2 g/m² zu rechnen ist. Diese sinken aber in der Regel nach wenigen Tagen wieder auf ein normales Ausmaß.

Tabelle 4: Staubbelastung sL von Betriebsstraßen [STROBL 2011]

Verschmutzung	sL [g/m ²]	Beispiel
gering ^{*)}	1	-
mäßig	5	Abbildung 1
hoch	60	Abbildung 2

^{*)} Keine sichtbare Staubaufwirbelung durch Fahrzeuge

Abbildung 1: Beispiel für eine mäßig verschmutzte befestigte Betriebsstraße mit sichtbarer Staubaufwirbelung [Strobl 2011]



Abbildung 2: Beispiel für eine hoch verschmutzte befestigte Straße mit starker Staubaufwirbelung [Strobl 2011]



Unter Umständen kann es erforderlich sein, den Schmutzeintrag von einmündenden Fahrwegen bzw. Straßen mit staubenden Belägen auf eine befestigte Straße zu berücksichtigen. Hierzu wird vorgeschlagen, pro einmündender Seitenstraße die PM_{10} -Emissionen der öffentlichen Straße gemäß Tabelle 3 auf einer Länge von 2 km in eine Richtung (Schmutzeintrag in eine Richtung) oder je 1 km beidseits (Schmutzeintrag in beide Richtungen) der Einmündung auf das 6-fache der Emissionen der nicht verschmutzten öffentlichen Straße zu erhöhen. Für $PM_{2,5}$ hat die Erhöhung der Emissionen auf das Dreifache der unbeeinflussten öffentlichen Straße zu erfolgen.

Diese Festlegungen der durch Schmutzeintrag beeinträchtigten Strecke ergeben sich aus durchgeführten Messungen und Ausbreitungsrechnungen.

Es ist anzumerken, dass Formel 1 nicht geeignet ist, um Emissionsfaktoren für einzelne Fahrzeugkategorien (z.B. getrennt für LKW und PKW) zu berechnen. Vielmehr wird damit ein flottengemittelter Emissionsfaktor berechnet, daher ist auch ein durchschnittliches Fahrzeuggewicht über die gesamte Flotte heranzuziehen.

Die Emissionen aus dem Auspuff sowie aus dem Abrieb von Reifen und Bremsen werden in Formel 1 nicht berücksichtigt.

Tabelle 5: durchschnittliche Emissionsfaktoren für Straßenfahrzeuge [mg/km] (Literaturangaben)

Sektor/Emissionsquelle/Aspekt	TSP	PM ₁₀	PM _{2,5}	Literaturquelle
Pkw/Reifenabrieb	10,7	6,4	4,5	1
Pkw/Bremsabrieb	7,5	7,4	2,9	1
Pkw/Straßenabrieb	15,0	k.A.	k.A.	2
leichte Nutzfahrzeuge/Reifenabrieb	16,9	10,1	7,1	1
leichte Nutzfahrzeuge/Bremsabrieb	11,7	11,5	4,6	1
leichte Nutzfahrzeuge/Straßenabrieb	15,0	k.A.	k.A.	2
schwere Nutzfahrzeuge/Reifenabrieb	45,0	27,0	18,9	1
schwere Nutzfahrzeuge/Bremsabrieb	32,7	32,0	12,8	1
schwere Nutzfahrzeuge/Straßenabrieb	76,0	k.A.	k.A.	2
Motorräder/Reifenabrieb	4,6	2,8	1,9	1
Motorräder/Bremsabrieb	3,7	3,6	1,4	1
Motorräder/Straßenabrieb	6,0	k.A.	k.A.	2
Pkw (ohne Winterdienst)	150	50	k.A.	3
Pkw/diverse Straßenkategorien (ohne Winterdienst)	k.A.	22-90	k.A.	4
Lkw/diverse Straßenkategorien (ohne Winterdienst)	k.A.	200-800	k.A.	4
Kfz-Flottenmix/städtische Hauptverkehrsstraße (Klagenfurt)	k.A.	105	k.A.	4

1 [Schmidt 2011], a us [Emep/Corinair 2007]
2 [Schmidt 2011], a us [Lükewille 2001]
3 [Winiwarter 2007], a us [Gehrig 2004] und [Lohmeyer 2004]
4 [Winiwarter 2007], a us [Ketzler 2007]

Fallbeispiel 1:

Es werden Emissionsfaktoren für eine Betriebsstraße mit unterschiedlichem Verschmutzungsgrad ohne Berücksichtigung von Niederschlagstagen gegenübergestellt. Als durchschnittliches Fahrzeuggewicht werden 15 t angesetzt.

Tabelle 6: Emissionsfaktoren [g/(km.Fzg)] für Straßen mit nicht staubendem Belag (gemäß 1)

Korngröße	Verschmutzungsgrad		
	gering (sL = 1 g/m ²)	mäßig (sL = 5 g/m ²)	hoch (sL = 60 g/m ²)
PM ₁₀	11	47	449
PM _{2,5}	3	11	109

Fallbeispiel 2:

Es werden Emissionsfaktoren für eine öffentliche, befestigte Straße mit unterschiedlichem Verkehrsaufkommen mit und ohne Schmutzeintrag einer einmündenden, unbefestigten Straße gegenübergestellt. Es wurden durchschnittlich 100 Niederschlagstage pro Jahr ≥ 1 mm angenommen. Für die Flottenzusammensetzung auf der Straße wurde angenommen, dass 90 % der Fahrzeuge Pkw und leichte Nutzfahrzeuge mit einem durchschnittlichen Gewicht von 1,7 t und 10 % schwere Nutzfahrzeuge mit einem durchschnittlichen Gewicht von 15 t sind. Damit ergibt sich ein flottengemittelttes Fahrzeuggewicht von 3,0 t.

Tabelle 7: PM₁₀ Emissionsfaktoren [g/(km.Fzg)] für Straßen mit befestigter Oberfläche mit und ohne Schmutzeintrag durch eine einmündende, unbefestigte Seitenstraße (gemäß 1)

Seitenstraßen mit Schmutzeintrag	Durchschnittlicher täglicher Verkehr [Kfz/Tag]		
	< 500	5.000-10.000	> 10.000 (Autobahn)
Keine	1,20	0,15	0,04
1*)	7,18	0,88	Einmündende unbefestigte Seitenstraße nicht erlaubt

*) nur für eine Länge von ca. 2 km im Bereich der einmündenden unbefestigten Seitenstraße

3.1.2 Straßen mit staubendem Belag

Eine der wesentlichen Emissionsquellen ist das Befahren von nicht staubfrei befestigten Fahrwegen und Flächen. Einerseits werden Partikel durch die Bewegung der Räder und die Sogwirkung aufgewirbelt, andererseits wird das Material der Oberfläche zerkleinert, aber auch mit den Reifen verfrachtet.

Auf Betriebsstraßen ist von einem hohen Anteil an Schwerfahrzeugen auszugehen, woraus sich ein hohes durchschnittliches Flottengewicht ergibt. Auf öffentlichen Straßen hingegen überwiegt der PKW-Anteil.

Die Berechnungen der Emissionen folgen im Wesentlichen der [AP42-13.2.2-2006].

Formel 2: Emissionsfaktor für Straßen mit staubendem Belag im Betriebsgelände

$$E = k_{SB,PM} * \left(\frac{S}{12}\right)^a * \left(\frac{1,1 \cdot W}{3}\right)^b * \left(1 - \frac{P_{Tag}}{3 \cdot N_{Tag}}\right) * (1 - k_M)$$

Formel 3: Emissionsfaktor für öffentlich befahrene Straßen mit staubendem Belag (hoher Anteil von Pkw und LNF)

$$E = \left\{ k_{SB,PM} * \frac{\left(\frac{S}{12}\right)^a * \left(\frac{S}{48}\right)^d}{\left(\frac{F}{0,5}\right)^c} \right\} * \left(1 - \frac{P_{Tag}}{3 \cdot N_{Tag}}\right)$$

- E Emissionsfaktor [g/(km.Fzg)]
- $k_{SB, PM}$ korngößenabhängiger Faktor (Tabelle 8)
- s Staubanteil für Korngrößen bis 75 µm auf der Oberfläche (silt content) [%]
- W durchschnittliches Fahrzeuggewicht der Flotte [t]
- F Feuchtigkeitsgehalt der Oberfläche [%]
- S Durchschnittsgeschwindigkeit [km/h]
- k_M Faktor Maßnahmenwirksamkeit
0,5 für manuelle Befeuchtung
0,8 für automatische Befeuchtung (siehe Kapitel 4.2.1)
- P_{Tag} Anzahl der Tage in der betrachteten Periode mit Niederschlag > 1 mm/d
- N_{Tag} Gesamtanzahl der Tage in der betrachteten Periode (mindestens 3 Monate)

Tabelle 8: Straßen mit staubendem Belag; Parameter für Formel 2 und Formel 3

Parameter	Betriebsstraßen			Öffentliche Straßen		
	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM ₃₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM ₃₀
k_{SB, PM} [g/km]	42	423	1381	51	507	1691
a	0,9	0,9	0,7	1	1	1
b	0,45	0,45	0,45			
c				0,2	0,2	0,3
d				0,5	0,5	0,3

Ermittelt wurden die oben beschriebenen Zusammenhänge unter folgenden Randbedingungen [AP42-13.2.2-2006]:

	Betriebsstraßen	öffentliche Straßen
Staubanteil der Oberfläche [%]	1,8-25,2	1,8-35
Mittleres Fahrzeuggewicht [t]	1,8-260	1,4-2,7
Durchschnittsgeschwindigkeit [km/h]	8-69	16-88
Anzahl der Räder pro Fahrzeug	4-17	4-4,8
Feuchtigkeitsgehalt der Oberfläche [%]	0,03-13	0,03-13

Bezüglich der Berücksichtigung der Niederschlagstage wird auf Kapitel 3.1.1 verwiesen. Motoremissionen werden in diesen Formeln nicht berücksichtigt, da diese im Fall der unbefestigten Fahrwege quantitativ nur einen geringen Anteil haben. Sollte die Emission von Dieselruß von Interesse sein, wäre diese z.B. aus der aktuellen Ausgabe des HBEFA unter Berücksichtigung der Fahrsituation zu ermitteln.

Um die Gültigkeit der oben beschriebenen Zusammenhänge zu überprüfen, wurde eine Reihe von Messungen und Modellrechnungen an einer unbefestigten Straße durchgeführt. Aus der Anwendung der Formel 2 ergab sich für trockene Verhältnisse ein **Staubanteil s von 5,2 %**. Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen [Nachtnebel 2012] wird dieser Staubanteil für alle Berechnungen empfohlen.

Wie bereits bei den Ausführungen zu den staubfrei befestigten Straßen angeführt, sind Formel 2 und Formel 3 nicht geeignet, um Emissionsfaktoren für einzelne Fahrzeugkategorien (z.B. getrennt für Lkw und Pkw) zu berechnen.

Fallbeispiel 3

Im folgenden Beispiel werden Emissionsfaktoren für eine betriebliche und eine öffentliche (mit einem hohen Anteil an PKW) Straße mit staubendem Belag berechnet. Niederschlagstage wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle 9: Parameter und Emissionsfaktoren für eine betriebliche und eine öffentliche Straße mit staubendem Belag (gemäß Formel 2 und Formel 3)

Parameter		Betriebliche Straße mit staubendem Belag	Öffentliche Straße mit staubendem Belag
$k_{SB, PM_{10}}$		423	507
$k_{SB, (PM_{2,5})}$		42	51
s	%	5,2	5,2
W	t	15	
F	%		1
S	km/h		25
PM ₁₀	g/(km.Fzg)	429 ^{*)}	175
PM _{2,5}	g/(km.Fzg)	43	18

^{*)} Der Emissionsfaktor einer stark verschmutzten befestigten Straße (Tabelle 3) entspricht in etwa dem einer betrieblichen unbefestigten Straße

3.2 Lagerung von Schüttgütern, Winderosion

3.2.1 Abwehbarkeit von Partikeln

Unter dem Begriff Winderosion werden der Abtrag und die Verfrachtung von Material durch die angreifenden Windkräfte zusammengefasst. Die eigentliche Winderosion umfasst jene Partikel, die durch die Windkräfte vom Untergrund losgelöst werden. Davon zu unterscheiden sind häufig zu beobachtende Emissionen, die auf Grund mechanischer Vorgänge (Fahrbewegungen oder Manipulation) bereits losgelöste oder beeinflusste Materialteilchen umfassen.

3.2.2 Winderosion im eigentlichen Sinn

Die Freisetzung von Partikeln an der Oberfläche erfordert Windkräfte, die höher sind, als die entgegenwirkenden Haltekräfte der Körner in der Schüttung. Die Windkräfte sind von der Windgeschwindigkeit und dem Böschungswinkel, die Haltekräfte von den Materialeigenschaften (Feuchtigkeit, Korngrößenverteilung, Dichte und Oberflächenstruktur) abhängig.

Die durch den Wind losgelösten größeren Teilchen ($>70 \mu\text{m}$) weisen oft nur Flugweiten von wenigen Dezimetern auf (Saltation) und können beim Auftreffen auch aus verkrusteten (und daher nicht leicht erodierbaren) Flächen Material freisetzen (Abrasion), sodass in der Folge kleine Partikel losgelöst und mit dem Wind abtransportiert werden (Suspension). Relevante Emissionsbeiträge durch Winderosion sind nur bei Lagerplätzen gegeben, die eine hohe Umschlagfrequenz ($>10/a$) aufweisen und deren Oberfläche daher nicht verkrustet.

Unterhalb einer Spitzenwindgeschwindigkeit von 5 m/s (gemessen in 10 m Höhe) treten keine nennenswerten Winderosionen auf. Da hohe Windgeschwindigkeiten häufig mit Niederschlägen (Frontdurchgängen) verbunden sind, verringert sich der jahresdurchschnittlich emissionswirksame Anteil der Erosion. Bei Jahresmittelwerten der Windgeschwindigkeiten von unter 2 bis 3 m/s (in 10 m Höhe), kann der Anteil der Winderosion an der Gesamtemission vernachlässigt werden (siehe [VDI 3790-2]).

3.2.3 Abwehung bereits freigesetzter Partikel

Im Rahmen von Materialmanipulationen werden Partikel freigesetzt, die sich bei geringen Windgeschwindigkeiten im Nahbereich der Quellen ablagern und in der Folge im bereits losgelösten Zustand verbleiben. Solcherart abgelagerte Partikel weisen geringere Haltekräfte auf. Sie können z.B. durch Fahrbewegungen weiter zerkleinert und wieder aufgewirbelt werden.

Im Rahmen der Emissionsprognose wird die Freisetzung dieser Partikel bereits bei den jeweiligen Prozessen (Fahrbewegungen, Manipulation) berücksichtigt. Vor allem in windgeschützten Abbaubereichen können diese Partikel in Form von Feinmaterialablagerungen kumulieren und, wie häufig zu beobachten ist, bei Starkwindereignissen in kurzer Zeit ausgetragen werden. Für die Emissionsprognose der Winderosion (siehe Abschnitt 3.2.2) ist dieser Umstand daher nicht nochmals zu berücksichtigen.

3.2.4 Emissionsermittlung

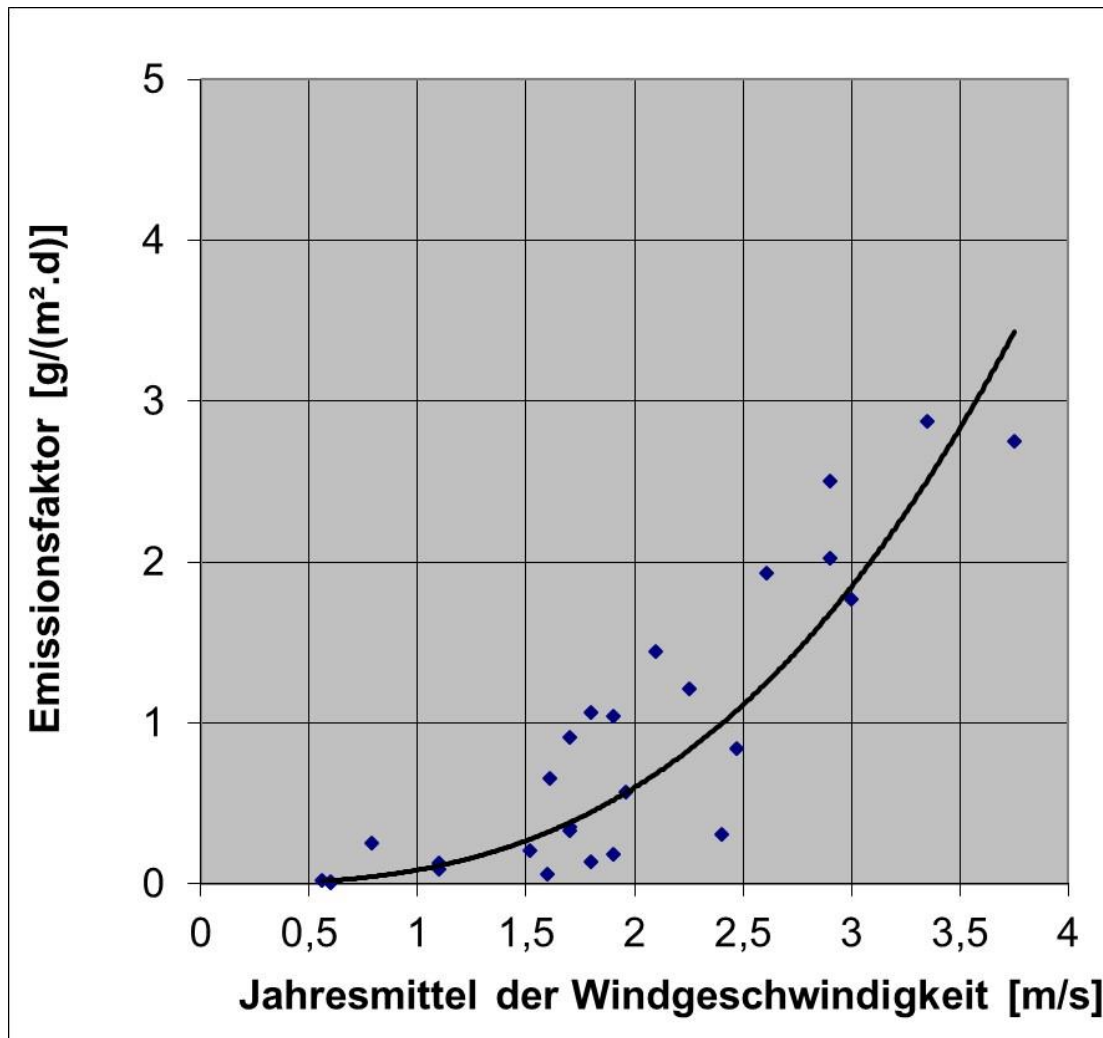
Die wesentlichste Einflussgröße bei der Abwehung von Teilchen ist die Windgeschwindigkeit. Dabei ist nicht die mittlere Windgeschwindigkeit, sondern es sind die kurzzeitigen Spitzen (Böen) ausschlaggebend. Weiters ist es erforderlich, dass genügend abwehbares Material an der Oberfläche vorhanden ist. Behandelt werden hier nur Freisetzungen von Lagerungen. Bereits aus anderen Prozessen freigesetzte Emissionen werden hier nicht noch einmal erfasst (siehe Kapitel 3.2.3).

Liegt der Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeiten über 3 m/s (in 10 m Höhe) und ist stets abwehbares Material an den Haldenoberflächen vorhanden (hohe Umschlagfrequenz), ist davon auszugehen, dass durch Winderosion ein Emissionsbeitrag zustande kommt, der in der Bewertung zu berücksichtigen ist. Gemäß VDI 3790 Blatt 3 ist bei einer jährlichen Umschlagfrequenz von mindestens 10 davon auszugehen, dass ausreichend abwehbares Material vorhanden ist. Bei einem Jahresmittel der Windgeschwindigkeit von unter 3 m/s kann der Beitrag der Winderosion vernachlässigt werden.

Auf Basis konkreter Windgeschwindigkeitsverteilungen von Spitzenwindgeschwindigkeiten und den damit in Zusammenhang stehenden Jahresmitteln der Windgeschwindigkeit wurden nach der in [AP42-13.2.5-2006] beschriebenen Methode Emissionsfaktoren berechnet.

Es zeigte sich folgender Zusammenhang:

Abbildung 3: Abschätzung von Emissionsfaktoren für die Winderosion in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit



Der in Abbildung 3 dargestellte Zusammenhang basiert auf Messdaten der Spitzenwindgeschwindigkeit und dem Jahresmittel der Windgeschwindigkeit der Luftgütemessnetze und anderen Messstationen aus Oberösterreich, Niederösterreich, Salzburg, der Steiermark und Tirol.

Zur Abschätzung von Emissionsfaktoren für die Winderosion kann, wenn keine genaueren Daten zur Verfügung stehen, folgende, in Tabelle 10 zusammengefasste Maximalabschätzung herangezogen werden.

Tabelle 10: Abschätzung von Emissionsfaktoren für TSP für die Winderosion in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

Windgeschwindigkeit Jahresmittel [m/s]	E [g/(m ² .d)]
3,0	2
3,5	3
4,0	4
4,5	6
5,0	8
5,5	10
6,0	13
6,5	16

Für die Abschätzung der PM₁₀-Emissionsfaktoren kann davon ausgegangen werden, dass 50 % der TSP-Menge als PM₁₀ auftreten.

Die Berücksichtigung der Winderosion in Ausbreitungsrechnungen führt ebenfalls zu Überschätzungen. Winderosionen treten in der Regel dann auf, wenn die Windgeschwindigkeit hoch, die Vorbelastung dadurch gering und die Ausbreitungsbedingungen günstig sind. In der Ausbreitungsrechnung liefert dieser Quellanteil jedoch auch bei ungünstigen Ausbreitungsbedingungen (niedrige Windgeschwindigkeiten) Immissionsbeiträge.

Fallbeispiel 4:

- Lagerung von Schüttgütern in zwei Kegeln mit einem Durchmesser von 20 m und einer Höhe von 10 m
- Mittlere Windgeschwindigkeit (Jahresmittelwert): 3 m/s

Diese Annahmen bringen folgendes Ergebnis:

Höhe der Schüttkegel (h)	10 m
Durchmesser der Schüttkegel (d)	20 m
Oberfläche (Kegelmantel, 2 Kegel)	888 m ²
Emissionsfaktor TSP (Tabelle 10)	2 g/(m ² .d)
durchschnittlicher stündlicher Emissionsmassenstrom TSP	74 g/h
durchschnittlicher stündlicher Emissionsmassenstrom PM ₁₀	37 g/h

Bei höheren Windgeschwindigkeiten ist mit Emissionen zu rechnen, die eine Umsetzung emissionsmindernder Maßnahmen erfordern (siehe Kapitel 4.3)

3.3 Manipulation staubender Güter

3.3.1 Allgemeines

Die Materialmanipulation umfasst die Aufnahme sowie den kontinuierlichen und den nichtkontinuierlichen Abwurf von Schüttgütern, wie beispielsweise Bodenaushub, Schotter, Kies, Sand, Bauschutt, Betonabbruch oder Asphaltbruch (in der Folge als mineralische Rohstoffe bzw. als Baurestmassen bezeichnet).

Die hier beschriebenen Zusammenhänge und Faktoren beruhen auf einer Vielzahl von Messungen und Modellierungen (z.B. [Strobl 2011, Öttl 2012]).

Die hier beschriebene Methodik wurde entwickelt, weil die Prognosemodelle und Emissionsansätze in [VDI 3790-3] für die beschriebenen Einsatzbereiche vielfach Mehrbefunde liefern, die messtechnisch nicht nachvollzogen werden konnten.

In den Abschnitten 3.3.2 und 3.3.3 ist der neue Emissionsansatz samt den benötigten Eingangsparametern beschrieben. In Abschnitt 7 ist ein Anwendungsbeispiel angeführt. Die Zusammenstellung von Emissionsfaktoren aus verschiedenen Literaturstellen in Abschnitt 3.3.4 soll eine Prüfung der Plausibilität der Berechnungsergebnisse ermöglichen.

3.3.2 Festlegung der Eingangsparameter für die Berechnung diffuser Staube-missionen

Korngrößenabhängiger Faktor $k_{U,PM}$:

Der korngrößenabhängige Faktor gibt das Massenverhältnis einer Korngrößenklasse zum Gesamtstaub an. Die Faktoren in Tabelle 11 sind für mineralische Rohstoffe und Baurestmassen repräsentativ.

Tabelle 11: Korngrößenabhängiger Faktor $k_{U, PM}$ (mineralische Rohstoffe, Baurestmassen)

Partikelfraktion	Faktor $k_{U, PM}$
TSP (PM ₃₀)	1
PM ₁₀	0,25
PM _{2,5}	0,053

Gewichtungsfaktor a:

Der Gewichtungsfaktor a ist ein Materialfaktor, welcher die Neigung zur Staubeentwicklung von Schüttgütern beschreibt. Gegenüber [VDI 3790-3] wurde die Bandbreite des Gewichtungsfaktors stark eingeschränkt und damit die Auswahl des Faktors vereinfacht. Anhand von Tabelle 12 ist die Auswahl des Gewichtungsfaktors über das zu bearbeitende Material möglich. In begründeten Ausnahmefällen (z.B. ofengetrocknetes Material) können höhere Werte erforderlich sein.

Tabelle 12: Gewichtungsfaktor a für mineralische Rohstoffe und Baurestmassen

Material	Faktor a	Materialeigenschaft
Bauschutt, Betonabbruch, Asphaltbruch, Kalkstein	10	stark staubend
Schotter, Kies oder Sand (zwischenlagert)	3,2	leicht bis deutlich staubend
Schotter, Kies, Sand, Bodenaushub oder Tunnelausbruch (erdfeucht bis nass verarbeitet)	1	schwach bis nicht wahrnehmbar staubende

Abbildung 4: Beispiel für die Materialeigenschaft $a=1$ schwach bis nicht wahrnehmbar staubend



Abbildung 5: Beispiel für die Materialeigenschaft $a=3,2$ leicht bis deutlich staubend



Abbildung 6: Beispiele für Materialeigenschaft $a=10$ stark staubend



Schüttdichten:

Neben dem Gewichtungsfaktor ist die Schüttdichte eine wesentliche Eingangsgröße für die Berechnung diffuser Staubemissionen bei der Manipulation und der Aufbereitung staubender Güter. In [VDI 3790-3] Anhang A und Anhang B ist die Schüttdichte für eine breite Palette von Schüttmaterialien angeführt. Für die hier behandelten mineralischen Rohstoffe und Baurestmassen wird für die Schüttdichte ein Wert von $1,6 \text{ t/m}^3$ vorgeschlagen, sofern nicht auf Grund konkreter Angaben ein anderer Wert zur Verfügung steht.

3.3.3 Ermittlung der Emissionsfaktoren und der Quellstärken

Für die Berechnung der Quellstärke durch die Manipulation staubender Güter ist folgender Berechnungsansatz zu verwenden:

Diskontinuierliche Verfahren (Aufnahme und Abwurf von Material)

Formel 4: $Q_{U,dk,PM}$ Emissionsmassenstrom einer Partikelfraktion bei diskontinuierlichen Bearbeitungsvorgängen

$$Q_{U,dk,PM} = \frac{a \cdot 1,5 \cdot H_{Fdk} \cdot \rho \cdot M \cdot k_{U,PM}}{\sqrt{M_{dk}}} \left[\frac{g}{\text{Zeit}} \right]$$

- a Gewichtungsfaktor (Tabelle 12)
- H_{Fdk} mittlere Abwurfhöhe diskontinuierliches Verfahren [m]
- ρ Schüttdichte des Schüttmaterials [t/m^3]
- M bearbeitete Materialmenge pro Zeiteinheit [t/Zeit]
- $k_{U,PM}$ Anteil einer Partikelfraktion am Gesamtstaub (Tabelle 11)

M_{dk} Materialmenge bei diskontinuierlicher Manipulation [t/Hub]

Der Emissionsmassenstrom $Q_{U,dk,PM}$ umfasst die Staubemissionen durch die Aufnahme und den Abwurf. Im Bereich der Mineralrohstoff- und Baurestmassenmanipulation gehen die Aufnahme eines Gutes in etwa mit einem Anteil von $\frac{1}{4}$ und der Abwurf mit einem Anteil von $\frac{3}{4}$ der Gesamtemission ein. Liegen die Arbeitsschritte der Aufnahme und des Abwurfes örtlich so weit auseinander, dass diese als getrennte Quellen zu betrachten sind, so ist der Faktor $Q_{U,dk,PM}$ entsprechend dieser Anteile für jeden Vorgang getrennt zu berechnen.

Kontinuierliche Verfahren (kontinuierlicher Abwurf von Material):

Formel 5: $Q_{U,k,PM}$ Emissionsmassenstrom einer Partikelfraktion bei kontinuierlichen Bearbeitungsvorgängen

$$Q_{U,k,PM} = \frac{a \cdot 5 \cdot H_{Fk} \cdot \rho \cdot M \cdot k_{U,PM}}{\sqrt{M_k}} \left[\frac{g}{Zeit} \right]$$

- a Gewichtungsfaktor (Tabelle 12)
- H_{Fk} mittlere Abwurfhöhe kontinuierliches Verfahren [m]
- ρ Schüttdichte des Schüttmaterials [t/m³]
- M bearbeitete Materialmenge pro Zeiteinheit [t/Zeit]
- $k_{U,PM}$ Anteil einer Partikelfraktion am Gesamtstaub (Tabelle 11)
- M_k kontinuierlich bearbeitete Materialmenge pro Stunde [t/h]

3.3.4 Emissionsfaktoren zur Plausibilitätsprüfung

Zur Plausibilitätsprüfung der berechneten Emissionen sind in Tabelle 13 auf Messdaten basierende Emissionsfaktoren aus verschiedenen Literaturstellen zusammengefasst.

Tabelle 13: Emissionsfaktoren aus der Literatur

Emissionsfaktor PM ₁₀ [g/t]	Kurzbeschreibung	Literaturquelle
2 - 6	Manipulation durch Sieben und Brechen Schotter (a = 3,2) (kontinuierliche Verfahren)	[Strobl 2011]

Emissionsfaktor PM ₁₀ [g/t]	Kurzbeschreibung	Literaturquelle
0,5 - 2	Materialabwurf Schotter (a = 3,2) (diskontinuierliche Verfahren)	[Strobl 2011]
ca. 0,2	Lkw Abkippvorgänge, Bodenaushub (a = 1)	[Strobl 2011]
14 - 16 (Prallbecher) 4 - 6 (Backenbrecher)	Manipulation durch Sieben und Brechen Bauschutt (a = 10) (Summe aus kontinuierlichen und diskontinuierlichen Verfahren)	[Richter 2011]
0,03 - 0,2 (Zugentladung) 0,5 (Schaufellader)	Manipulation von Kohle (a = 1) (diskontinuierliche Verfahren)	[Braun 2011]
0,55	Manipulation von Dolomit (a = 3,2) (kontinuierliche Verfahren)	[Brozell 1993]

3.4 Emissionen durch Sprengen

3.4.1 Grundlagen

Beim Sprengen (z.B. zur Gewinnung mineralischer Rohstoffe, im Tunnelbau oder beim Gebäudeabriss) wird Staub emittiert, der primär aus der Zertrümmerung der Gesteine bzw. Baustoffe und zusätzlich aus der chemischen Umsetzung der Sprengstoffe stammt. Literaturdaten dazu sind nur spärlich vorhanden, daher ist das Ausmaß der Emissionen nur in Einzelfällen genauer quantifizierbar.

Für die Sprengtätigkeit in einem Kalksteinbruch werden in [Gronewäller 2009] Emissionsfaktoren auf Basis einer einzelnen Messung der Staubbiederschläge angegeben (d.h. nicht niedergeschlagene Feinstaubanteile blieben unberücksichtigt). Für eine Etagenhöhe von 13 m und eine Abschlagmasse von 2.290 t ergeben sich folgende Emissionsfrachten (sinngemäß Mindestwerte):

Tabelle 14: Staubbiederschlag nach Sprengabschlag von Kalkstein

Partikelfraktion	Emissionsfaktor	Anteil an PM ₁₀₀₀
PM ₅₀₀	26 g/t	56 %

Partikelfraktion	Emissionsfaktor	Anteil an PM ₁₀₀₀
PM ₇₅	12 g/t	26 %
PM ₁₀	7 g/t	15 %
PM _{2,5}	3 g/t	6 %

Aus orientierenden Konzentrationsmessungen des Schwebstaubes wurde ein PM₁₀-Anteil von 16 % der Masse an PM₇₅ ermittelt.

Im Jahr 2003 wurden bei einer Hochhaussprengung am Harter Plateau PM₁₀-Immissionsmessungen vom Amt der Oberösterreichischen Landesregierung in einer Entfernung von ca. 250 m durchgeführt [Danninger 2003]. Auf Basis der gemessenen meteorologischen Ausbreitungsbedingungen und der PM₁₀-Immissionskonzentrationen wurde mit dem Modell GRAL eine Gesamtemission von ca. 30 kg PM₁₀ für diese Sprengung abgeschätzt. Bezogen auf die durch Rückbau auf 40.000 t Stahlbeton reduzierte Baumasse der ca. 60 m hohen Stahlbetonskelette ergibt sich ein PM₁₀-Emissionsfaktor von ca. 1 g/t.

Bei Verwendung der Formel 6 unter Ansatz der bekannten Baumasse, der abgeschätzten Schüttdichte des Bauschutts (ca. 1,6 t/m³) und des Gewichtsfaktors $a = 10$ (aufgrund der beobachteten starken Staubungsneigung) ergibt sich ein Emissionsfaktor für PM₁₀ von ebenfalls ca. 1 g/t Baumasse.

Partikelemissionen stammen zwar auch aus der Umsetzung der Sprengstoffe, diese sind aber messtechnisch nicht von den hohen Partikelemissionen aus der Materialzertrümmerung zu unterscheiden. In [AP42] sind entsprechende Daten nur für primär militärisch verwendete Sprengstoffe angeführt [AP42-15.9-2009]. So wird z.B. für den Plastiksprengstoff vom Typ C-4 ein Emissionsfaktor für PM₁₀ von 2,1 % der Nettosprengstoffmasse angegeben. Insbesondere im zivilen Bereich können diese Emissionen in der Regel unberücksichtigt bleiben, sofern nicht stark staubende Sprengstoffe, wie z.B. Schwarzpulver eingesetzt werden, für das die PM₁₀-Emissionen auf Grund der entstehenden Reaktionsprodukte zumindest 35 % der Nettosprengstoffmasse betragen.

3.4.2 Abschätzung von Sprengemissionen

Da die Staubemissionen beim Sprengen primär beim Aufprall der abgelösten Gesteine oder kollabierenden Bauteile auf den Boden entstehen, lassen sich diese Vorgänge analog dem Abwurf von Schüttgut modellieren. Die in Abschnitt 3.3.3 vorgeschlagene Formel für

diskontinuierliche Verfahren kann so zu Formel 6 umgeformt werden. Die durch die wachsende Höhe des entstehenden Hauwerks bzw. Schutthaufens teilweise verminderte Fallhöhe ist vernachlässigbar (Abbildung 7).

Formel 6: Sprengabschlag von Festgestein oder Sprengabbruch von Gebäudestrukturen

$$Q_{S,PM} = 0,75 \cdot k_{U,PM} \cdot a \cdot H_{ges} \cdot \rho \cdot \sqrt{M_S} [g]$$

$Q_{S,PM}$ Emissionsmassenstrom einer Partikelfraktion [g]

$k_{U,PM}$ Anteil einer Partikelfraktion am Gesamtstaub (Tabelle 11)

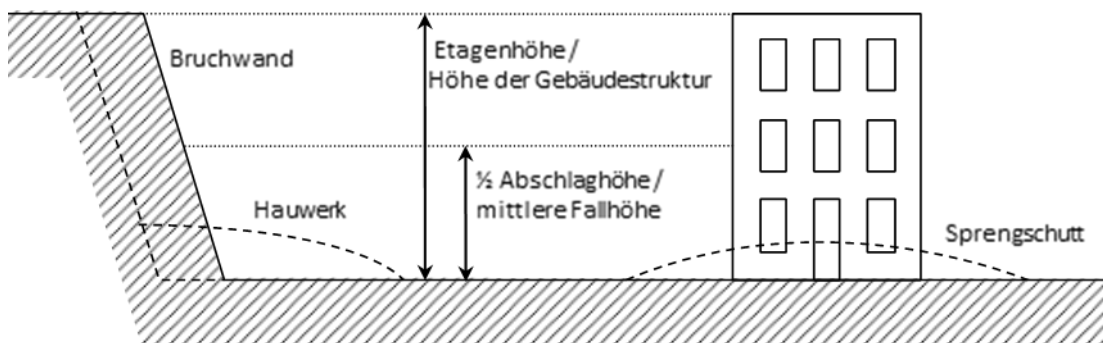
a Gewichtungsfaktor der Staubungsneigung (Tabelle 12)

H_{ges} Höhe der Etage (Bruchwand) oder der Gebäudestruktur [m]

ρ Schüttdichte des Hauwerks (Haufwerks) oder Sprengschutts [t/m³]

M_S Gesteinsmasse pro Abschlag oder Gebäudemasse [t]

Abbildung 7: Schema der für Sprengungen relevanten Höhenangaben



3.5 Emissionen beim Schweißen von Metallen

Beim Schweißen und Schneiden von Metallen sowie bei verwandten Arbeitsverfahren können gasförmige Schadstoffe (z.B. CO, NO_x, Ozon), partikelförmige Schadstoffe (z.B. Eisenoxide, Manganoxide, Chromverbindungen, Nickeloxide) sowie Schadstoffe aus Beschichtungsstoffen auf organischer Basis entstehen, die je nach Zusammensetzung, Konzentration und Expositionsdauer gesundheitsgefährdend sind. Die Menge der Schadstoffe und deren chemische Zusammensetzung hängen von der Kombination der eingesetzten Verfahren und Werkstoffe ab.

Eine ausführliche Darstellung der Wirkung spezifischer Schadstoffe, der Zuordnung der Schadstoffe zu den Verfahren und Werkstoffen der Schweißtechnik bzw. der Gefährdungsbeurteilung findet sich in den Literaturstellen BGI 593 „Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“ [Spiegel-Ciobanu 2008] und BGI 616 „Beurteilung der Gefährdung durch Schweißrauche“ [Spiegel-Ciobanu 2003].

Die beim Schweißen gebildeten Partikel sind sehr klein. Sie haben in der Regel eine Partikelgröße (aerodynamischer Durchmesser) kleiner als 1 µm und sind somit alveolengängig. Die Emissionen werden in der Praxis als „Schweißrauche“ bezeichnet.

Die Rauchemission beim Schweißen ist meist kleiner als die beim Schneiden. Etwa 95 % des Schweißrauches stammt aus den Schweißzusätzen und nur weniger als 5 % aus dem Grundwerkstoff. Die Menge und die Zusammensetzung der freigesetzten Schadstoffe hängen daher insbesondere vom Schweißzusatzwerkstoff ab und ist bei den verschiedenen Schweißverfahren unterschiedlich (Tabelle 15). Der Schweißrauch besteht immer aus mehreren Komponenten, wobei der jeweils dominierende Schadstoff als Leitkomponente bezeichnet wird.

Tabelle 15: Zuordnung von Leitkomponenten und - wo verfügbar - Emissionsraten [mg/s] zu unterschiedlichen Verfahren und Werkstoffen beim Schweißen [Spiegel-Ciobanu 2008], Auswahl

Verfahren	Schweißzusatzwerkstoff	Schweißrauch/Leitkomponenten	Emissionsraten für Partikel [mg/s]
Gasschweißen	Unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile <5 %)	Stickstoffdioxid	Nicht relevant (allenfalls bei Nichteisenmetallen)
	Unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile <5 %)	Schweißrauch, Manganoxid ¹	4-18
Lichtbogenhandschweißen	Chrom-Nickel Stahl (<20 % Cr und <30 % Ni)	Chrom-(VI)-Verbindungen oder Manganoxid ¹	2-16 (Verbindungsschweißen) 3-22 (Auftragschweißen)
	Nickel, Nickellegierungen (>30 % Ni)	Nickeloxid oder Kupferoxid ²	ca. 7
Metall-Aktivgas-schweißen mit CO ₂ (MAGM)	Unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile <5 %)	Schweißrauch, CO	2-12

Verfahren	Schweißzusatzwerkstoff	Schweißrauch/Leitkomponenten	Emissionsraten für Partikel [mg/s]
	Unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile <5 %)	Schweißrauch	
Metall-Aktivgas-schweißen mit Mischgas (MAGM)	Chrom-Nickel Stahl Masivdraht (<20 % Cr und <30 % Ni)	Nickeloxid oder Manganoxid ¹ ; Chrom-(III)-Verbindungen	2-12
	Chrom-Nickel Stahl Fülldraht (<20 % Cr und <30 % Ni)	Chrom-(VI)-Verbindungen oder Manganoxid ¹	6-54
Metall-Inertgas-schweißen (MIG)	Nickel, Nickellegierungen (>30 % Ni)	Nickeloxid oder Kupferoxid ² ; Ozon	2-6, davon Nickeloxide bis 5
	Rein-Aluminium, Al-Si-Legierungen	Schweißrauch, Ozon	
	Andere Al-Legierungen	Schweißrauch, Ozon	

¹ bei Mn in der Legierung oder in der Summe der Anteile >5 %
² je nach Legierungsart, mit/ohne Kupfer

Beim thermischen Schneiden bestimmt die Zusammensetzung des Grundwerkstoffes die chemische Zusammensetzung der partikelförmigen Stoffe (Rauche). Die Partikel weisen einen größeren Durchmesser auf als Schweißrauche (<10 µm).

Das Ausmaß der Emission hängt beim Brennschneiden von der Blechdicke, dem Brenngas, dem Schneidgasdruck und der Schneidgeschwindigkeit ab.

Tabelle 16: Zuordnung von Leitkomponenten und Emissionsraten [mg/s] zum Brennschneiden [Spiegel-Ciobanu 2008]

Verfahren	Grundwerkstoff	Schweißrauch/Leitkomponenten	Emissionsraten für Partikel [mg/s]
Brennschneiden	Unlegierter, niedriglegierter Stahl (Legierungsbestandteile <5 %)	Schweißrauch, Stickstoffdioxid	10-50

4 Minderungsmaßnahmen

4.1 Befeuchtung

4.1.1 Verdunstung

Benetzung bindet Staubpartikel an Staubpartikel und verhindert so die Aufwirbelung und Wiederaufwirbelung. Das Ausmaß der Erdfeuchte (Materialfeuchte) hängt vom Zusammenspiel zwischen Niederschlag (natürliche Benetzung) und Verdunstung ab. Im Laufe des Tages wird im Mittel das Dampfdruckdefizit (Unterschied zwischen Luft und Boden) größer, sodass Wasser vom Boden abgeführt wird. Daraus resultiert ein Wasserdampftransport von der Erdoberfläche zur atmosphärischen Grundschicht.

Benetzte Oberflächen werden im Sommerhalbjahr (April bis September) untertags bei Sonnenschein vermehrt Wasserdampf an die Grundschicht der Atmosphäre abgeben und die Materialfeuchte wird abnehmen. Wasserflächen stellen den Fall der maximalen Verdunstung dar, da eine stetige Quelle (Emittent) vorliegt. Daten zur Verdunstung können den Jahrbüchern des Hydrographischen Dienstes und den Klimatographien entnommen werden.

Anhaltswerte zur Abschätzung von Verdunstungsraten sind aus Tabelle 17 zu entnehmen [Geiger 1995].

Tabelle 17: Rate der Verdunstung von einer Oberfläche [l/m^2 in 3 h]

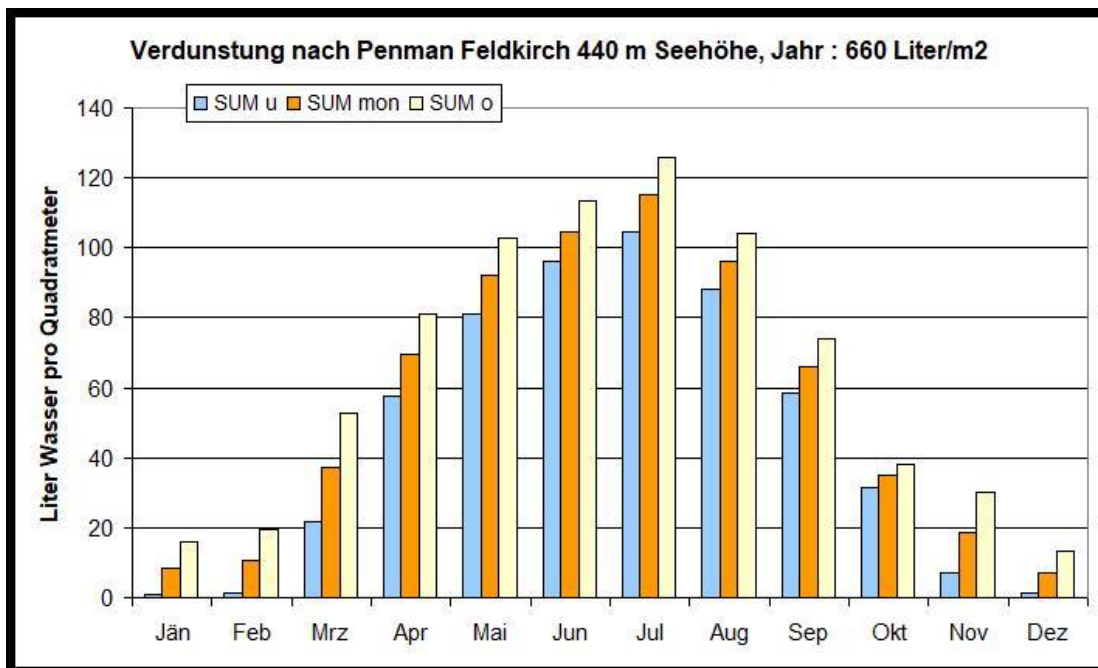
	RF=100 %	RF=80 %	RF=60 %	RF=40 %
T_L [°C]	$T_0=T_L-3^\circ$	$T_0=T_L-3^\circ$	$T_0=T_L-3^\circ$	$T_0=T_L-3^\circ$
10	Taubildung	0,03	0,18	0,36
20	Taubildung	0,06	0,39	0,72
30	Taubildung	0,12	0,72	1,35
T_L [°C]	$T_0=T_L$	$T_0=T_L$	$T_0=T_L$	$T_0=T_L$
10	0,00	0,18	0,36	0,54
20	0,00	0,33	0,66	1,02

	RF=100 %	RF=80 %	RF=60 %	RF=40 %
30	0,00	0,60	1,63	1,83
T_L [°C]	$T_0=T_L+3^\circ$	$T_0=T_L+3^\circ$	$T_0=T_L+3^\circ$	$T_0=T_L+3^\circ$
10	0,12	0,36	0,54	0,72
20	0,33	0,69	1,02	1,35
30	0,57	1,17	1,80	2,40
T_L [°C]	$T_0=T_L+6^\circ$	$T_0=T_L+6^\circ$	$T_0=T_L+6^\circ$	$T_0=T_L+6^\circ$
10	0,42	0,60	0,78	0,96
20	0,75	1,08	1,41	1,74
30	1,13	1,83	2,46	3,06

T_L ... Lufttemperatur, T_0 ... Oberflächentemperatur, RF ... relative Feuchte

Daten für die Verdunstung liegen in den Klimatographien von Burgenland, Oberösterreich, Salzburg, Steiermark, Vorarlberg und Wien vor. Ein Beispiel für den Jahrgang der Verdunstung ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Abbildung 8: Jahrgang der Verdunstung an der Station Feldkirch



SUM mon: langjähriges Monatsmittel der Verdunstung
SUM o = SUM mon + eine Standardabweichung (SD)
SUM u = SUM mon - eine Standardabweichung (SD)

Verdunstungsdaten werden in Österreich an rund 50 Orten erhoben. Dabei erfolgt eine tägliche Messung des verdunsteten Wassers in Millimeter (das entspricht Litern pro Quadratmeter). Aus den Messungen werden Monatssummen erstellt. Wenn Schnee liegt oder der Boden gefroren ist, gibt es einen sehr geringen Verdunstungsanteil zur Monatssumme. Schüttgutlagerungen, die im Winter nicht umgeschichtet werden, weisen dann keine Verdunstung auf.

4.1.2 Allgemeines zur Befeuchtung staubender Oberflächen

Untersuchungen in der Steiermark [Nachtnebel 2011] und in Tirol [Strobl 2011] haben ergeben, dass die Aufbringung einer spezifischen Wassermenge von mindestens $1 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ auf eine Fahrbahn erforderlich ist, um eine Reduktion von diffusen Staubemissionen zu erzielen (siehe 4.2.5). An einem sonnigen und heißen Tag verdunsten rund $5 \text{ l}/\text{m}^2$, an Spitzentagen rund $8 \text{ l}/\text{m}^2$. Somit ergibt sich an einem durchschnittlichen Tag eine Verdunstung von ca. $0,6 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ und an einem Spitzentag von rund $1 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Folglich wird durch die empfohlene spezifische Wassermenge von rund $1 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ die Verdunstungsrate an einem mittleren Tag abgedeckt und eine ausreichende Emissionsminderung erzielt. An einem Spitzentag kann zumindest die Verdunstungsrate abgedeckt werden.

Kurzzeitige starke Niederschläge oder einmalige Befeuchtungen mit mehr als $10 \text{ l}/\text{m}^2$ führen in der Regel zum Abfließen oder Versickern der überschüssigen Wassermenge und bewirken daher keine zusätzliche Staubminderung.

4.2 Fahrwege

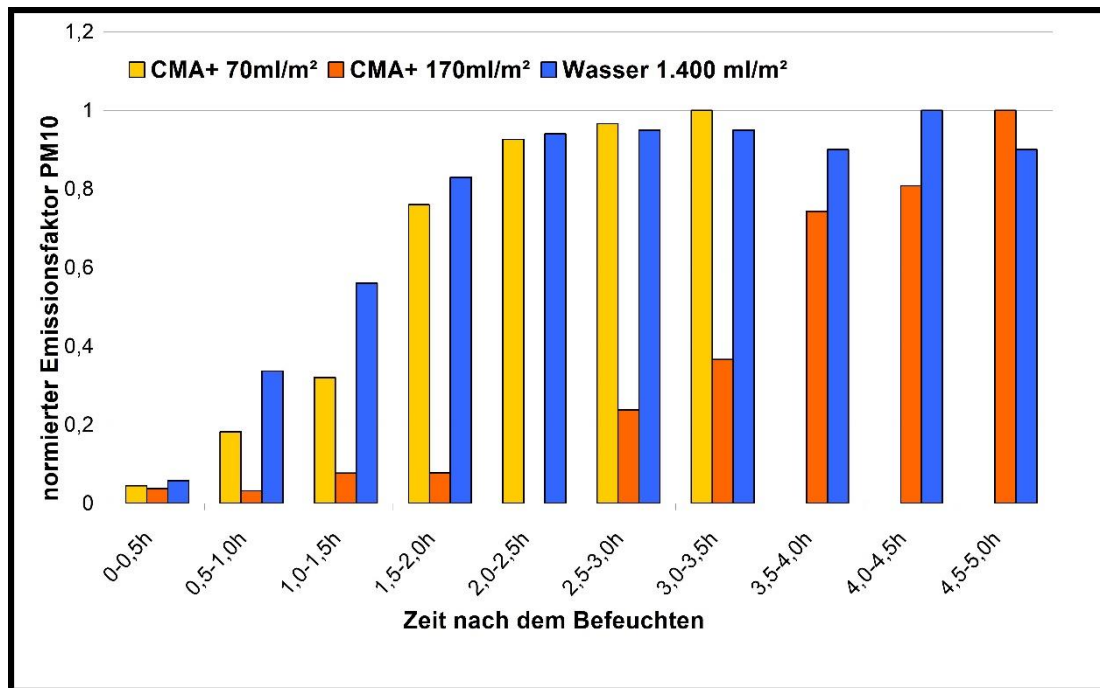
4.2.1 Straßen mit staubendem Belag

Bei trockenen Verhältnissen bringt bereits eine geringe Erhöhung des Feuchtigkeitsgehalts der Fahrbahnoberfläche eine deutliche Verringerung der Staubemissionen. Eine weitere Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes wirkt sich dagegen nur mehr in geringerem Ausmaß aus [Cowherd 1988].

Zur Staubbindung sind in der frostfreien Periode bei Trockenheit die Fahrwege und Manipulationsflächen feucht zu halten. Erfolgt die Emissionsminderung der Straßen mit staubendem Belag durch ein manuelles System (z.B. Tankfahrzeug, Vakuumpfass), so muss die Befeuchtung zumindest alle 3 Stunden (Richtwert 3 l pro m^2 alle 3 Stunden) von Betriebsbeginn bis zum Betriebsende wiederholt werden. Dadurch kann eine Emissionsminderung

nung gegenüber trockenen Verhältnissen von ca. 50 % erreicht werden [Öttl 2012], [Güthner 1980]. Bei Niederschlagsereignissen können die Befeuchtungsmaßnahmen ausgesetzt werden.

Abbildung 9: Gemessene Abhängigkeit der Staubemissionen von einer Schotterstraße von der Zeit ab dem Befeuchten (1=trockene Verhältnisse vor dem Befeuchten) [Öttl 2012]



Bei automatischen Systemen, das sind Beregnungsanlagen, die eine gleichmäßige Befeuchtung der Fahrwege sicherstellen, ist mit einer höheren Reduktionswirkung von bis zu 80 % zu rechnen. Hier kann die Aufzeichnung der verbrauchten Wassermenge als Nachweis für den ordnungsgemäßen Einsatz der Anlagen herangezogen werden.

Bei Außentemperaturen unter dem Gefrierpunkt kann Wasser als Befeuchtungsmittel nicht eingesetzt werden. Als Alternative steht CMA (eine ca. 25 %ige Lösung von Calciummagnesiumacetat) zur Verfügung, wobei die aufzubringenden Mengen deutlich geringer als bei Wasser ausfallen können (Richtwert: 150 ml/m² alle 5 Stunden für eine Minderung um ca. 50 %). Zu beachten ist, dass das Befeuchtungsmittel möglichst gleichmäßig aufgebracht werden muss, um die angegebenen Staubminderungen zu erreichen.

4.2.2 Straßen mit nicht staubendem Belag

Fahrbahnen mit nicht staubendem Belag haben den Vorteil, dass die Reinigung bei Verschmutzung leicht durchgeführt werden kann. Wenn diese unterbleibt, nähern sich die Emissionen denen einer Straße mit staubendem Belag an. Um ausreichende Emissionsminderungen zu erreichen, ist also Befeuchtung allein nicht ausreichend sondern auch das Sauberhalten der Oberfläche erforderlich.

Die Auswirkungen von Maßnahmen auf die Staubbelastung auf Betriebsstraßen mit nicht staubendem Belag werden in Tabelle 18 aufgelistet und können so in Formel 1 berücksichtigt werden.

Tabelle 18: Auswirkungen von Maßnahmen auf die Staubbelastung von Betriebsstraßen mit nicht staubendem Belag und starker Verschmutzung

Maßnahme	Staubbelastung sL [g/m ²]
Keine	60
Regelmäßiges Kehren	10
Reifenwaschanlage und regelmäßiges Kehren	5
Reifenwaschanlage, regelmäßiges Kehren und Waschen	1
Regelmäßiges Kehren und Waschen (kein Schmutzeintrag aus Fahrbereichen mit staubendem Belag)	1

Staubfrei befestigte Fahrwege sind jedenfalls dort vorzusehen, wo sonst Belästigungen der Nachbarn zu erwarten sind. Weiters sind ausreichend lange staubfrei befestigte Bereiche als Abrollstrecken vor der Einbindung in das öffentliche Straßennetz, z.B. nach Reifenwaschanlagen, vorzusehen.

Eine Trennung der innerbetrieblichen Fahrwege in einen Schmutz- und einen Sauberbereich durch entsprechende Planung und Organisation des Betriebes kann zu deutlicher Minderung der Staubemission führen.

Es ist jedenfalls sicherzustellen, dass Verschmutzungen der öffentlichen Straße durch Fahrzeuge nach Verlassen des Anlagenbereichs vermieden oder beseitigt werden (z.B. durch Reifenwaschanlagen, regelmäßiges Säubern der Fahrwege mit Kehrmaschinen, Überfahrroste) [TA Luft 2002].

4.2.3 Recyclingasphalt

Als kurzfristige Maßnahme zur Minderung von Staubemissionen und zur Vermeidung des Austrags von Verschmutzungen können Fahrbahnbeläge aus Recyclingasphalt eingesetzt werden. Der Vorteil besteht darin, dass diese Art der Befestigung recht kostengünstig herzustellen ist. Durch die Porosität der Oberfläche wird der für die Aufwirbelung verfügbare Feinanteil reduziert.

Allerdings können derartige Fahrbahnbeläge nicht gereinigt werden. Die Beläge sind erforderlichenfalls zu erneuern.

Untersuchungen des Emissionsverhaltens derartiger Beläge bringen widersprüchliche Ergebnisse [KOCH 2010]. Es werden Emissionsminderungen von 0-30 % dokumentiert.

Recyclingasphalt kann nur dort empfohlen werden, wo die Fahrfrequenzen gering sind oder wenn nur für kurze Zeiträume Befestigungen hergestellt werden (z.B. im Zuge von Bauarbeiten).

4.2.4 Einsatz vonkehrmaschinen

Umfangreiche Untersuchungen zur Staubentwicklung durch Kehrfahrzeuge liegen nicht vor. Aufgrund der bestehenden Unsicherheiten bezüglich des Emissionsbeitrags bzw. des Reduktionspotentials durch Kehrfahrzeuge wurden im Rahmen des EU-LIFE Projekts KAPA GS direkte Messungen an unterschiedlich ausgestatteten Kehrfahrzeugen durchgeführt [Koban 2005]. Dabei wurde ein mittlerer Emissionsfaktor von ca. 100 g/km ermittelt, wobei vor allem die Kehrvorgänge mit Frontsprüfung die geringste Staubentwicklung aufwiesen.

Messungen der Staubemissionen durch die ausgeblasene Luft bei einer im Umluft- und einer im Durchluftprinzip arbeitendenkehrmaschine ergaben Werte von ca. 3,6 g/h bzw. 14,4 g/h [FH Hamburg]. Bei einer angenommenen Geschwindigkeit von 3 km/h ergeben sich damit Emissionsfaktoren von 1,2 g/km bzw. 4,8 g/km. Im Vergleich zu den in [Koban 2005] angegebenen Emissionsfaktoren für die Aufwirbelung durch den Kehrvorgang sind diese Werte vernachlässigbar gering.

Untersuchungen zum Emissionsreduktionspotential durch intensives Kehren und Waschen von Straßen wurden in einer Vielzahl von Studien angestellt und erbrachten unterschiedliche Ergebnisse. Durchgehende Hinweise auf Emissionsreduktionen sind nicht zu finden, allerdings betrachten die Untersuchungen meist kurze Zeiträume.

Eine Untersuchung in den USA [Fitz 2000] ergab, dass die Staubemission durch das Kehren im Vergleich zur Reduktion der Staubbelastung durch die gereinigten Straßen vernachlässigbar ist. Diese Abschätzung erfolgte jedoch unter Anwendung der bekanntermaßen mit hohen Unsicherheiten behafteten alten Methodik nach U.S. EPA AP-42 (1993). Es werden Emissionsfaktoren für Kehrmaschinen mit und ohne Absaugung zwischen 5 und 100 g/km beim Kehren von Wüstensand von einer asphaltierten Straße angegeben.

Auf Basis der im Kapitel 3.1.1 beschriebenen Zusammenhänge lässt sich durch das Kehren einer befestigten Betriebsstraße die Staubbelastung (sL) deutlich reduzieren. Durch Kehren kann gemäß Tabelle 4 der Verschmutzungsgrad von "hoch" auf "mäßig" reduziert werden.

Verwendet man Formel 1, so ergibt sich für eine stark verschmutzte, befestigte Fahrbahn unter Annahme eines Durchschnittsgewichts der LKW von 15 t und trockenen Verhältnissen ein Emissionsfaktor von etwa 450 g/(km.Fzg). In diesem Fall zeigt sich also eindeutig, dass die Emissionen durch das Kehren mit einer Emission von etwa 100 g/km deutlich geringer sind. Nach der Reinigung ist mit einer wesentlich geringeren Staubbelastung und mit einer Emission im Bereich von 45 g/(km.Fzg). zu rechnen. Damit kann für verschmutzte Fahrwege gesagt werden, dass regelmäßige Reinigung zu einer signifikanten Reduktion der Feinstaubemissionen führt.

4.2.5 Auflagenformulierungen für die Befeuchtung von Fahrbahnen mit staubendem Belag

Zur Beschreibung der Durchführung von Befeuchtungen der Fahrwege wird folgende Formulierung vorgeschlagen:

Zur Staubbindung sind in den Monaten März bis Oktober bei Trockenheit (= kein Niederschlag innerhalb der letzten 24 Stunden) die Fahrwege und Manipulationsflächen feucht zu halten. Die Befeuchtung ist bei Betriebsbeginn im Falle der Verwendung eines manuellen Systems (z.B. Tankfahrzeug, Vakuum-fass) erstmals vorzunehmen oder bei Verwendung eines automatischen Systems aufzunehmen und zumindest alle 3 Stunden (Richtwert 3 l pro m² alle 3 Stunden) bis zum Betriebsende zu wiederholen bzw. fortzuführen.

Der Wassereinsatz soll dokumentiert werden. Bei automatischen Systemen kann als Nachweis die Aufzeichnung der verbrauchten Wassermenge oder ein Betriebsstundenzähler der Wasserpumpe für den ordnungsgemäßen Einsatz der Anlagen herangezogen werden.

4.2.6 Einsatz von Reifenwaschanlagen

Reifenwaschanlagen sind geeignete Einrichtungen, die verhindern, dass beim Übergang von staubenden zu nicht staubenden Belägen Schmutz verschleppt wird. Damit Reifenwaschanlagen erfolgreich eingesetzt werden können, sind einige Vorgaben zu beachten [Lang 2008].

Um anhaftenden Schmutz von Rädern und Radkästen effektiv entfernen zu können, müssen diese beim langsamen Durchfahren der Anlage mit Unterstützung von entsprechend angeordneten Düsen gereinigt werden. Dabei ist eine Verweilzeit von mindestens 30 s einzuhalten, die mit technischer Unterstützung (Ampel, Schranken) oder mit organisatorischen Maßnahmen (Betriebsanweisungen, Geschwindigkeitsbeschränkung) sicherzustellen ist. Reifenwaschanlagen sind in einer ausreichenden Länge zu dimensionieren und mit einem möglichst großen Absetzbecken auszustatten. Ein Umfahren der Reifenwaschanlage ist wirkungsvoll zu verhindern.

Das abtropfende Waschwasser ist mit feinen Partikeln verunreinigt, die zu einer Verschmutzung des Bereiches nach der Reifenwaschanlage führen. Dies kann nach dem Auftrocknen des Flüssigkeitsfilms zu Emissionen in diesem Bereich führen. Daher soll vor dem Verlassen des Betriebsgeländes eine Abrollstrecke von zumindest 100 m zur Verfügung stehen. Diese Abrollstrecke ist regelmäßig, zumindest einmal täglich nach Betriebsschluss unter Anwendung einer Kombination von Hochdruckdüsen und Bürsten, zu reinigen.

In der kalten Jahreszeit können Reifenwaschanlagen nur unter Anwendung zusätzlicher technischer Maßnahmen (z.B. Beheizung) eingesetzt werden.

Auf die Aspekte des Gewässerschutzes ist Bedacht zu nehmen (Verschmutzung durch Mineralöle).

4.3 Lagerung staubender Güter

Lagerungen staubender Güter sind vor Winderosion zu schützen. Dazu ist grundsätzlich geschlossene Bauweise (z.B. als Silo, Bunker, Speicher, Halle, Container, Schüttboxen) zu bevorzugen.

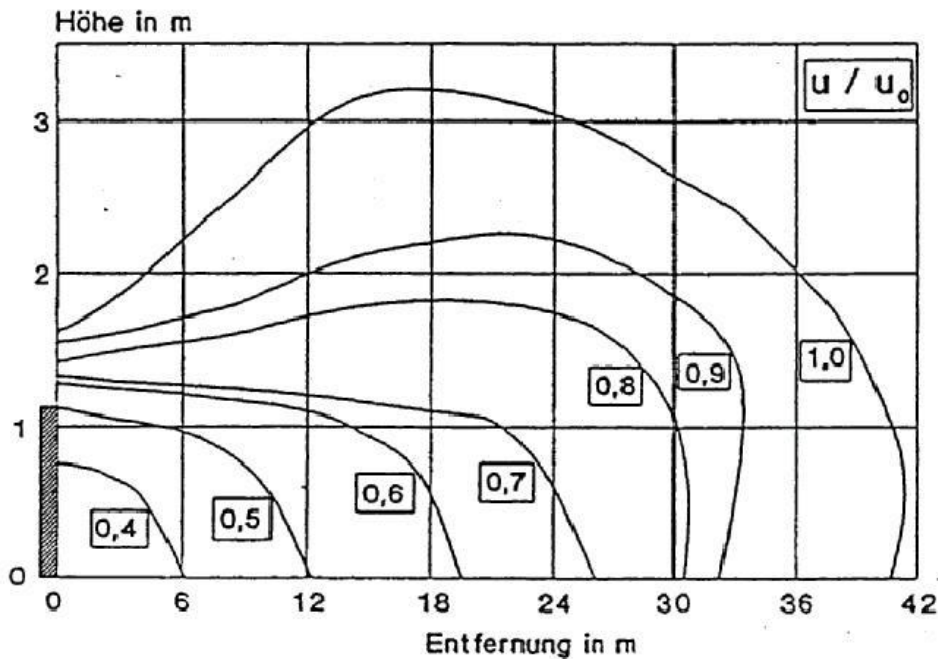
Für Freilagerungen kommen folgende Emissionsminderungsmaßnahmen in Betracht:

- Abdeckung der Oberfläche (z.B. mit Matten)
- Begrünung der Oberfläche

- Besprühung mit staubbindenden Mitteln beim Anlegen der Halde
- Verfestigung der Oberfläche
- ausreichende Befeuchtung der Halden und der Übergabe- und Abwurfstellen, ggf. unter Zusatz von Oberflächenentspannungsmitteln, soweit die Befeuchtung einer anschließenden Weiterbe- oder -verarbeitung, der Lagerfähigkeit oder der Produktqualität der gelagerten Stoffe nicht entgegensteht
- Schüttung oder Abbau hinter Wällen
- höhenverstellbare Förderbänder
- Windschutzbepflanzungen („Windschutzgürtel“, siehe [DIN 19706])
- Ausrichtung der Haldenlängsachse in Hauptwindrichtung
- Begrenzung der Höhe von Halden, weitgehender Verzicht auf Errichtungs- oder Abbauarbeiten bei Wetterlagen, die Emissionen besonders begünstigen (z.B. langanhaltende Trockenheit, Frostperioden, hohe Windgeschwindigkeiten) [TA Luft 2002]
- Nutzung des Geländeprofiles als Windschutz
- Optimierung der Prozessabläufe zur Minimierung der Umschlaghäufigkeit

Gesamtstaubemissionen können durch Herabsetzen der Windgeschwindigkeit im Bereich der Lagerung durch Errichtung von (bezogen auf die Hauptwindrichtung) luvseitigen Windhindernissen (z.B. Bepflanzungen) gemindert werden. Die beste Wirkung ist bei einer Hindernishöhe, die ungefähr der Haldenhöhe entspricht, erzielbar. Zu beachten ist jedoch, dass die Abwehung von Feinstaubpartikeln (PM₁₀) dadurch kaum verringert wird [Jockel 1992].

Abbildung 10: Einfluss von Windhindernissen mit 1,2 m Höhe und 50 % Porosität auf die Anströmgeschwindigkeit



u_0 ... ursprüngliche Anströmgeschwindigkeit
 u ... verminderte Anströmgeschwindigkeit

4.4 Manipulation staubender Güter

4.4.1 Aufbereitung und Herstellung staubender Güter

Maschinen, Geräte oder sonstige Einrichtungen zur Bearbeitung (z.B. zum Brechen, Mahlen, Sieben, Sichten, Mischen, Pelletieren, Brikettieren, Erwärmen, Trocknen, Abkühlen) von festen Stoffen sind zu kapseln oder mit in der Wirkung vergleichbaren Emissionsminderungstechniken auszurüsten.

Aufgabe- und Abwurfstellen sind zu kapseln; staubhaltige Luft ist einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen. Alternativ sind Aufgabe- und Abwurfstellen zu befeuchten, soweit die Befeuchtung einer anschließenden Weiterbe- oder -verarbeitung, der Lagerfähigkeit oder der Produktqualität der umgeschlagenen Stoffe nicht entgegensteht.

Staubhaltiges Abgas aus den Bearbeitungsaggregaten ist zu erfassen und zu reinigen [TA Luft 2002].

4.4.2 Transport sowie Be- und Entladung staubender Güter

Bei Transport mit Fahrzeugen sollen geschlossene Behältnisse (Silofahrzeuge, Container, Abdeckplanen) eingesetzt werden. Ansonsten sind bei Förderung und Transport auf dem Betriebsgelände geschlossene oder weitgehend geschlossene Einrichtungen (z.B. eingehauste Förderbänder, Becherwerke, Schnecken-, Schrauben- oder pneumatische Förderer) zu verwenden. Bei pneumatischer Förderung ist die staubhaltige Förderluft einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen oder im Kreislauf zu fahren.

Bei Befüllung von geschlossenen Transportbehältern mit festen Stoffen ist die Verdrängungsluft zu erfassen und einer Entstaubungseinrichtung zuzuführen.

Für die Be- und Entladung staubender Güter kommen folgende Maßnahmen in Betracht [TA LUFT 2002]:

Maßnahmen, bezogen auf das Umschlagverfahren:

- Minimierung der Fallstrecke beim Abwerfen (z.B. bei Schüttgossen durch Leitbleche oder Lamellen)
- selbsttätige Anpassung der Abwurfhöhe bei wechselnder Höhe der Schüttungen
- Anpassung von Geräten an das jeweilige Schüttgut (z.B. bei Greifern Vermeidung von Überladung und Zwischenabwurf)
- sanftes Anfahren von Greifern nach der Befüllung
- Rückführung von leeren Greifern in geschlossenem Zustand
- Minimierung von Zutrimm- und Reinigungsarbeiten, Automatisierung des Umschlagbetriebes

Maßnahmen, bezogen auf das Umschlaggerät:

- regelmäßige Wartung der Geräte (z.B. bei Greifern Prüfung der Schließkanten auf Dichtheit zur Verminderung von Rieserverlusten)
- vollständig oder weitgehend geschlossene Greifer zur Vermeidung oder Verminderung von Abwehungen von der Schüttgutoberfläche
- Minimierung von Anhaftungen (insbesondere bei Greifern oder z.B. Einsatz straffbarer Verladebälge bei Senkrechtbeladern/Teleskoprohren)
- Schüttrohr mit Beladepopf und Absaugung
- Konusaufsatz mit Absaugung bei Senkrechtbeladern
- Reduktion der Austrittsgeschwindigkeit bei Fallrohren durch Einbauten oder durch Einsatz von Kaskadenschurren

- weitgehender Verzicht auf den Einsatz von Schleuderbändern außerhalb geschlossener Räume
- Einsatz von Radladern möglichst nur bei befeuchteten oder nicht staubenden Gütern

Maßnahmen, bezogen auf den Umschlagort:

- vollständige oder weitgehend vollständige Einhausung (z.B. Tore oder Streifenvorhänge bei Ein- und Ausfahrten) von Einrichtungen zur Be- und Entladung von Fahrzeugen (z.B. von Füllstationen, Schüttgossen, Grabenbunkern und sonstigen Abwurfplätzen)
- Absaugung von Trichtern, Übergabestellen, Schüttgossen, Beladerohren (ausreichende Dimensionierung der Saugleistung)
- Verbesserung der Wirkung von Absaugungen (z.B. durch Leitbleche)
- Anwendung von Trichtern (z.B. mit Lamellenverschluss, Klappenboden, Pendelklappen, Deckel; siehe auch 4.5.3 Schüttgutverladung)
- Anwendung einer Wasservernebelung vor Austrittsöffnungen und Aufgabetrichern
- Windschutz bei Be- und Entladevorgängen im Freien
- Verlängerung der Verweilzeit des Greifers nach Abwurf am Abwurfort
- Umschlagbeschränkungen bei hohen Windgeschwindigkeiten
- Planung der Lage des Umschlagortes auf dem Betriebsgelände

Maßnahmen, bezogen auf das umgeschlagene Material:

- Erhöhung der Materialfeuchte, ggf. unter Zusatz von Oberflächenentspannungsmitteln, soweit die Befeuchtung einer anschließenden Weiterbe- oder -verarbeitung, der Lagerfähigkeit oder der Produktqualität der umgeschlagenen Stoffe nicht entgegensteht
- Einsatz von Staubbindemitteln
- Pelletierung
- Vereinheitlichung der Korngröße (Abtrennung des Feinstkornanteils)
- Verhinderung sperriger Verunreinigungen
- Reduktion der Umschlagvorgänge

4.5 Spezifische Emissionsminderungsmaßnahmen bei bestimmten Anlagen

4.5.1 Baustellen

Baustellen stellen eine erhebliche Quelle für diffuse Staubemissionen dar. Grundlegende Überlegungen betreffend Baustellenplanung und umweltkonforme Ausschreibung unter dem Aspekt der Emissionsminimierung sind zwar nicht Gegenstand dieser technischen Grundlage, können aber der Schweizer Richtlinie „Luftreinhaltung bei Bautransporten“ [Buwal 2001] und den „Richtlinien für eine umweltfreundliche Baustellenabwicklung – RUMBA“ der Stadt Wien entnommen werden [RUMBA 2004].

Umfangreiche technische Staubemissionsminderungsmaßnahmen finden sich in der Schweizer Richtlinie über betriebliche und technische Maßnahmen zur Begrenzung der Luftschadstoff-Emissionen von Baustellen („Luftreinhaltung auf Baustellen“ [BAFU 2009]). Grundsätzlich wird dort zwischen Basismaßnahmen für sämtliche Baustellen und weitergehenden Maßnahmen für Großbaustellen differenziert.

Tabelle 19: Definition von Großbaustellen

	Großbaustelle	Dauer	Art und Größe	
			Fläche	Kubatur
Lage	ländlich	>1,5 Jahr	>10.000 m ²	>20.000 m ³
	innerstädtisch	>1 Jahr	>4.000 m ²	>10.000 m ³

Folgende Basismaßnahmen sind zu nennen:

- die Staubbindung durch Feuchthalten aufzubereitenden und umgeschlagenen Materials, z.B. mittels gesteuerter Wasserbedüsung, und die Befeuchtung unbefestigter Verkehrsflächen
- Umschlagverfahren mit geringen Abwurfhöhen, kleinen Austrittsgeschwindigkeiten und geschlossenen Auffangbehältern
- das Beschränken der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten auf Fahrwegen
- die möglichst großstückige Zerlegung von Abbruchobjekten mit geeigneter Staubbindung
- das Verwenden von Bitumen und Gussasphalten mit geringer Rauchungsneigung

- das Verwenden emissionsarmer Sprengstoffe wie z.B. Emulsions-, Slurry- oder Wassergelsprengstoffe
- lokale Absaugungen oder Benetzungsmaßnahmen für staubintensive Geräte (z.B. Trennscheiben, Schleifmaschinen)
- Zusätzliche Maßnahmen für größere Baustellen sind:
- der Einsatz von Zerkleinerungsmaschinen, welche möglichst wenig Materialabrieb erzeugen, und welche das Aufgabegut durch Druck statt durch Aufprall zerkleinern
- die Bestückung von Feinzerkleinerungsanlagen mit Entstaubungsanlagen
- die Abdeckung von Förderbändern und die Kapselung von Übergabestellen
- die Minimalhaltung von Trimmarbeiten, d.h. das Zusammenschieben von Schüttgütern auf Umschlagplätzen oder Windschutzvorkehrungen für Trimmplätze
- Nassspritzverfahren für die Spritzbetonanwendung
- Schutz von Schüttgutlagerungen vor Windexponierung, z.B. durch Abdecken mit Matten oder Begrünen
- Befestigung von Transportwegen
- Radreinigungseinrichtungen an den Ausfahrten

4.5.2 Brecher

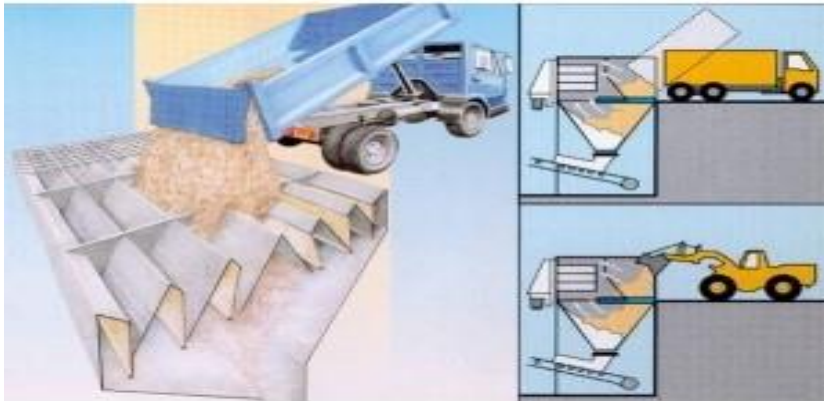
Durch die Verwendung von Zerkleinerungsmaschinen, in denen das Aufgabegut durch Druck zerkleinert wird (z.B. Backenbrecher, Kreiselbrecher), wird der Anteil an Feinkorn und damit die Staubentwicklung gegenüber schnell rotierenden Brechern (Prall- und Hammerbrecher) vermindert [VDI 2584].

Wie eine im Rahmen des deutschen Umweltforschungsplanes durchgeführte Studie zeigt [VDI-Berichte 2140], können bei mobilen Brechern die Staubemissionen durch Wasserbedüsung oder Schaumeinsatz um bis zu 90 % verringert werden. Eine Recherche über alternative umweltfreundliche Schäume steht allerdings noch aus.

4.5.3 Schüttgutverladung

Für die Befüllung von Bunkern und Einschüttgossen können Pendelklappen („Flex-Flap-Systeme“) eingesetzt werden:

Abbildung 11: Flex-Flap-System

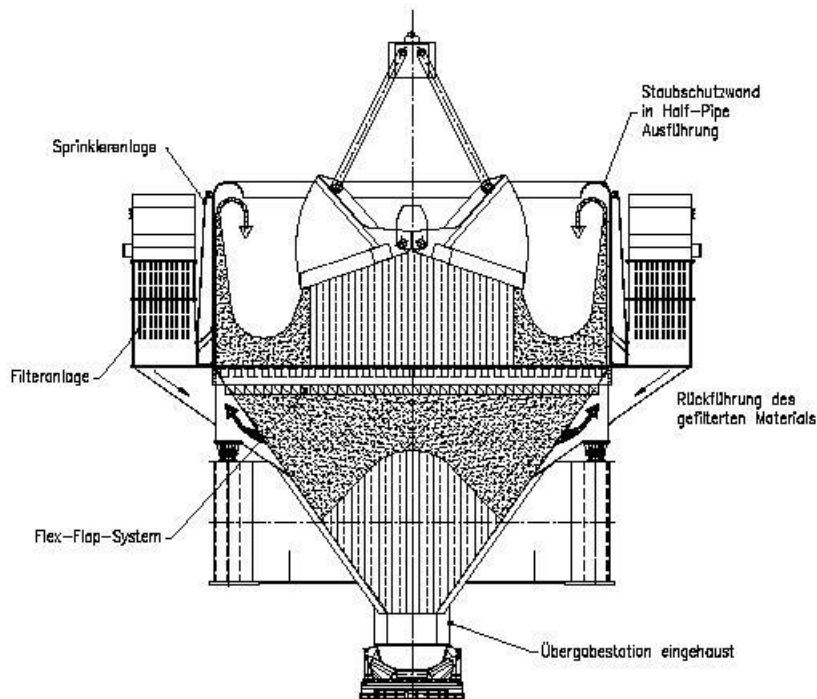


Stabile Stahlplatten sind im Einfülltrichter schräg angebracht, zwischen jeder Platte hängt vertikal eine Pendelklappe. Der Druck des Verladegutes schiebt die Klappe zur Seite, die Geschwindigkeit der einströmenden Luft verhindert das Entweichen von Staub. Der Staub im Bunker wird durch eine Absaugung erfasst und über Filter abgeschieden.

Bei der Schiffsentladung mittels Doppellenker-Wippdrehkran mit integriertem Bunker können folgende Maßnahmen im „Baukastenprinzip“ je nach der Staubungsneigung des umgeschlagenen Gutes und sonstigen Erfordernissen miteinander kombiniert werden:

- geschlossene Ausführung des Greifers
- Bunker mit Staubschutzwänden (Höhe ca. 3 m), die an der Spitze als eine Halbröhre ausgebildet sind. Der beim Abwurf entstehende Staub steigt an den Wänden auf und wird durch diese Form (Halbröhre) wieder zurück in den Bunker geleitet.
- Befeuchtung des Umschlaggutes mit Sprinkleranlage oder mittels Vernebelung
- Absaugung über ein Filtersystem
- Flex-Flap-System, um den Staub innerhalb des Bunkerkörpers zu binden

Abbildung 12: Kombination von Staubminderungstechniken



4.6 Spezifische Emissionsminderungstechniken

4.6.1 Befeuchtungsanlagen

Grundsätzlich wird bei staubbindenden Bedüsungssystemen zwischen

- Einstoffsystemen, bei denen das Wasser mit einem Druck von ca. 3-5 bar durch spezielle Düsen zerstäubt wird, und
- Zweistoffsystemen, bei denen Druckluft für die Zerstäubung eingesetzt wird, unterschieden [VDI E 2095].

Bei Einstoffsystemen sind die Tropfengrößen und der Wasserverbrauch höher. Ihr Anwendungsgebiet liegt in der Regel bei großen Materialfördermengen, Freilagerungen und höheren Korngrößen.

Zweistoffsysteme werden u. a. dann eingesetzt, wenn das Material oder die Umgebung nicht zu nass werden darf, der Materialdurchsatz nicht zu hoch ist, die Objekte eingehaust sind oder sehr feiner Staub gebunden werden soll. In den letzten Jahren werden in diesen

Fällen auch Ventilatoren zur Erzeugung von Feinstnebel (Schneekanonen) mit und ohne Adaptierungen für die Staubbindung verwendet [VDI-Berichte 2072].

In bestimmten Fällen kann zur besseren Bindung von Staubpartikeln die Benetzungsfähigkeit des Bedüsungsmediums durch die Beimischung eines geeigneten biologisch abbaubaren Oberflächenentspannungsmittels erhöht werden. Bedüsungsanlagen sind gegebenenfalls durch geeignete Maßnahmen, z.B. Zugabe geringer Mengen biologisch abbaubarer Frostschutzmittel, für den Betrieb bei Frosttemperaturen auszurüsten [VDI 2584].

4.6.2 Lüftungsanlagen

Das Durchsaugen eines Luftstromes durch einen Materialfluss ist zu vermeiden, da hierdurch der Staubgehalt in der Abluft wesentlich erhöht wird [VDI 2584].

4.6.3 Emissionsminderung beim Schweißen

Schweißarbeiten werden häufig nicht an fixen Arbeitsplätzen durchgeführt. Hier ist der Einsatz mobiler Absauganlagen mit nachgeschalteten Staubfiltern vorzusehen.

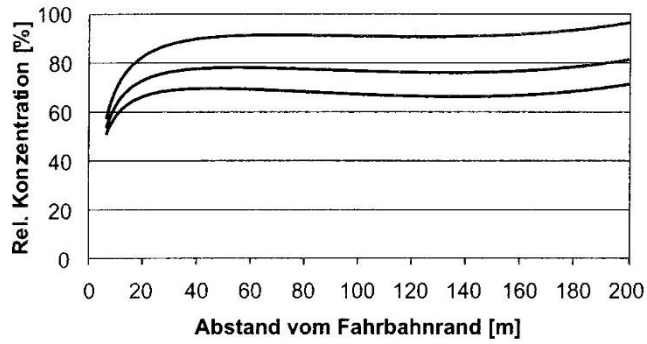
4.7 Abschirmungsmaßnahmen zur Immissionsminderung

Durch Gehölzpflanzungen, Wälle und Schutzwände kann eine Verbesserung der Immissionssituation erzielt werden. Umfangreiche Untersuchungen hierüber wurden für Straßen durchgeführt [MLuS], deren Ergebnis folgendermaßen verallgemeinert werden kann:

Bei Gehölzstreifen führt nicht jede Form der Anpflanzung zur Schadstoffminderung. Wesentlich ist neben der Tiefe einer Anpflanzung ihre Siebwirksamkeit (Durchlässigkeit, Belaubungszustand). In der Praxis kann es zu einem Zielkonflikt kommen, wenn eine Anpflanzung staub- und gasförmige Luftverunreinigungen gleichermaßen reduzieren soll. So können schmale Gehölzstreifen durch leeseitige Wirbelbildungen im Nahbereich zu einer Erhöhung der gasförmigen Immissionen gegenüber einer unbehinderten Ausbreitung führen. Um gleichzeitig positive Auswirkungen auf die Immissionskonzentrationen von Stäuben und Gasen – sowohl im Sommer als auch im Winter – zu erzielen, empfehlen sich breite Anpflanzungen von mindestens 10 m Tiefe mit sowohl Laub- als auch Nadelgehölzen.

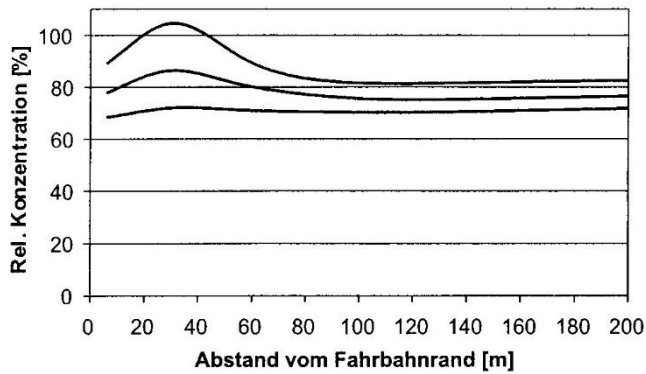
Bei Lärmschutzeinrichtungen geht das MLuS erst ab Höhen von mindestens 4 m von relevanten Wirkungen auf die Schadstoffimmission aus.

Abbildung 13: Einfluss der Wandhöhe auf die Schadstoffkonzentration



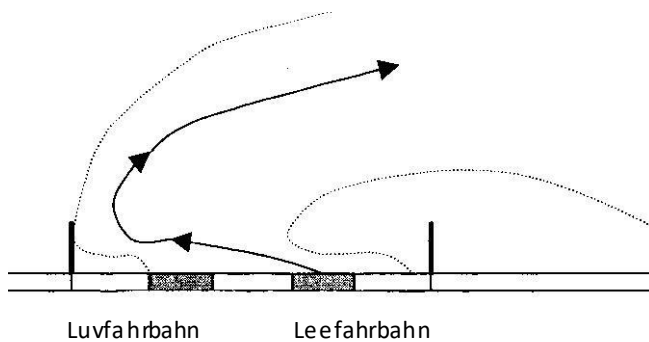
Abstand der Wand vom Fahrbahnrand 7 m, h=4/5/6 m (oben/Mitte/unten)

Abbildung 14: Einfluss der Wallhöhe auf die Schadstoffkonzentration



Abstand des Walles vom Fahrbahnrand 5,5 m, h=4/5/6 m (oben/Mitte/unten)

Abbildung 15: Darstellung des Strömungsverlaufes bei hohen Wänden



Zu beachten ist, dass das MLuS-Ausbreitungsmodell auf Windkanalmessungen für 30 m breite Straßenquerschnitte beruht [Romberg, 2000]. Bei größeren Breiten kann die Abschirmwirkung überschätzt werden, was insbesondere eine Anwendung auf ausgedehnte Flächenquellen - wie Kiesgruben - nur bedingt zulässt.

4.8 Schutzabstände zu Wohnbereichen

Mit einer Vergrößerung des Abstandes der Emissionsquelle zum Nachbarn verringern sich die projektbedingten Zusatzbelastungen, wobei dies im Besonderen für den Grobstaubanteil zutrifft. Als Richtwerte für Abstände zwischen Anlagen und Nachbarn, bei deren Beachtung erfahrungsgemäß keine Beschwerden zu erwarten sind, liefern folgende Regelwerke Grundlagen. Die Einhaltung der vorgegebenen Mindestabstände kann in der Regel eine Immissionsbeurteilung – im Besonderen in vorbelasteten Gebieten – nicht ersetzen.

Das Mineralrohstoffgesetz sieht für die obertägige Gewinnung grundeigener mineralischer Rohstoffe einen generellen Abstand zwischen dem Abbaugbiet und den benachbarten Wohngebieten oder anderen Gebieten mit schutzwürdiger Nutzung von 300 m vor (§ 82 Abs. 1 MinroG). Dieser Abstand kann verringert werden, wenn die Fläche als Abbaugbiet im Flächenwidmungsplan gekennzeichnet ist oder die Standortgemeinde die Zustimmung erteilt (§ 82 Abs. 2, Z. 1 und 2 MinroG). Es wird auch die Möglichkeit geboten, näher an die Nachbarn heranzurücken, wenn der Stand der Technik deutlich übertroffen wird (§ 82 Abs. 2, Z. 3 MinroG). Der absolute Mindestabstand beträgt 100 m (§ 82 Abs. 4 MinroG).

Der sogenannte „Abstandserlass“ des Landes Nordrhein-Westfalen [Abstandserlass 2007, Abstandserlass 2007a] verfolgt das Ziel, den Immissionsschutz im Bereich der Planung im Sinne der Vorsorge stärker zu berücksichtigen. Grundsätzlich ist ein Abgehen von den angeführten Mindestabständen möglich, dieses ist jedoch ausführlich zu begründen (z.B. durch den Nachweis von Luftreinhaltemaßnahmen, die deutlich über den Stand der Technik hinausgehen). Er sieht für bestimmte Anlagen folgende Schutzabstände zu Wohngebieten vor:

500 m für

- Anlagen zur Herstellung von Beton, Mörtel oder Straßenbaustoffen unter Verwendung von Zement
- Offene oder unvollständig geschlossene Anlagen zum Be- und Entladen von Schüttgütern, die im trockenen Zustand stauben können, soweit 400 t Schüttgüter oder

mehr je Tag bewegt werden; dies gilt auch für saisonal genutzte Getreideannahmestellen

- Deponien für Siedlungsabfälle und besonders überwachungsbedürftige Abfälle

300 m für

- Steinbrüche, in denen Sprengstoffe verwendet werden.
- Anlagen zum Brechen, Mahlen oder Klassieren von natürlichem oder künstlichem Gestein, ausgenommen Klassieranlagen für Sand oder Kies.
- Oberirdische Deponien für Inert- und Mineralstoffe.

5 Anmerkungen zur Ausbreitungsrechnung

Die Ermittlung der Auswirkungen der diffusen Staubemissionen auf die Nachbarn (Immissionsbetrachtung) ist nicht Gegenstand dieser technischen Grundlage. Entsprechende Berechnungsvorschriften und Modellbeschreibungen sind in der technischen Grundlage zur Berechnung und Beurteilung von Immissionen im Nahbereich kleiner Quellen (Technische Grundlage Ausbreitungsrechnung) – 2010 enthalten [BMWFJ 2010].

6 Beispiel zur Berechnung diffuser Staubemissionen

Auf einem Betriebsgelände befinden sich eine Brech- und Siebanlage (in der Folge Aufbereitungsanlage genannt), eine Betonmischanlage sowie ein Zwischenlager für das angelieferte Rohmaterial (Schotter als Betonzuschlagstoff). Die Zu- und Abfahrt erfolgt über eine Betriebsstraße mit einer Reifenwaschanlage. Als Schnittstelle für die Emissionsberechnung wird die Einmündung dieser Straße ins öffentliche Straßennetz festgelegt.

Die An- und Ablieferung stellt sich folgendermaßen dar:

Die Betriebsstraße weist von der Abzweigung der öffentlichen Straße bis zur Reifenwaschanlage eine Länge von 150 m auf und ist asphaltiert. Von hier bis zur geschotterten Betriebsfläche ist die Betriebsstraße als Schotterstraße ausgeführt. Dieses Straßenstück und die Fahrwege der Betriebsfläche werden vom Betreiber mittels Spritzwagen alle 3 Stunden mit Wasser im Ausmaß von ca. 3 l/m² befeuchtet. Das Rohmaterial wird mittels LKW über die Betriebszufahrt angeliefert und dort am Zwischenlagerplatz abgekippt. Der erzeugte Beton wird mittels Mischbetonwagen über dieselbe Betriebszufahrt abtransportiert. Die Länge beider Fahrtstrecken auf Schotterwegen beträgt jeweils 150 m pro Richtung.

Die Aufbereitung stellt sich folgendermaßen dar:

Ein Radlader (R1) entnimmt das überwiegend trockene Rohmaterial vom Zwischenlager und gibt es am Aufgabetrichter auf die Aufbereitungsanlage auf. Die einfache Wegstrecke vom Zwischenlager zur Aufbereitungsanlage beträgt 30 m. In der Aufbereitungsanlage wird das Material klassiert und an den entsprechenden Förderbandabwurfstellen deponiert. Ein zweiter Radlader (R2) entnimmt das klassierte Material und führt die entsprechenden Fraktionen den Lagerboxen der Betonmischanlage zu. Die einfache Wegstrecke zwischen Aufbereitungsanlage und Lagerboxen beträgt ebenfalls 30 m. An der Betonmischanlage wird der fertige Beton direkt in die Mischbetonwagen gefüllt.

Die emissionstechnisch maßgeblichen Verfahrensschritte sind die Fahrbewegungen der An- und Abtransporte sowie der beiden Radlader, das Abkippen des angelieferten Materials sowie die Aufgabe des Rohmaterials auf die Aufbereitungsanlage, die Abwürfe an

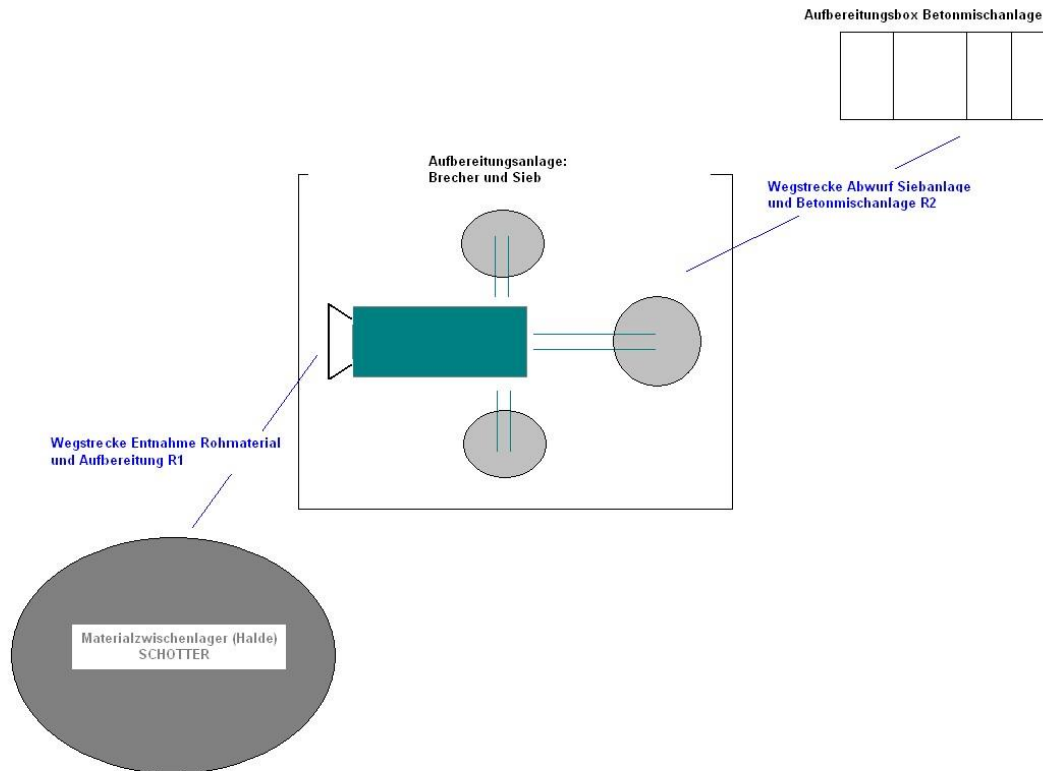
den Förderbändern und die Aufgabe des klassierten Materials in die Lagerboxen der Betonmischanlage.

Anhand des hier skizzierten Betriebsablaufes sind sämtliche diffuse Staubemissionen als PM₁₀ durch Fahrbewegungen und Materialmanipulation zu berechnen.

Tabelle 20: Eckdaten der Betriebsanlage und des Betriebsablaufes

Kurzbezeichnung		Einheit	Beschreibung
M	560	[t/Tag]	Vera rbeitete Materialmenge
M _{dk Lkw}	14	[t/Hub]	Ma terialmenge pro Abkippvorgang
ρ	1,6	[t/m ³]	Ma terialdichte Schotter
M _{dk R}	3,2	[t/Hub]	Ma terialmenge pro Radladerhub (2 m ³ Hubvolumen)
Fahrbewegungen	160	[Lkw/Tag]	5 Schottertransporte und 5 Betontransporte = 20 Fahrbewegungen pro Stunde (8 Stunden pro Tag)
M _k	70	[t/h]	Konti nuierlich bearbeitete Materialmenge pro Stunde
a	3,2	[-]	Gewichtungsfaktor; Schotter zwischengelagert bzw. trocken
H _{Fk}	2	[m]	mi ttlere Förderbandwurfhöhe
H _{Fdk}	2	[m]	mi ttlere Abwurfhöhe Radlader oder Lkw
W _{Lkw}	15	[t]	mi ttleres Gewicht der Lkw
W _R	20	[t]	mi ttleres Gewicht der Radlader
	250	[Tage]	Betri ebstage pro Jahr
	8	[h]	Betri ebsstunden pro Tag
N _{Tag}	365	[Tage]	(betra chtete Periode: Jahr)
P _{Tag}	100	[Tage]	Nie derschlagstage >1 mm pro Jahr
K _M	0,5	[-]	Mi nderungsfaktor für Befeuchtungsmaßnahme a uf Straßenstück mit stauben dem Belag
Schotterzwi- schenlager	Ø an der Grund- fläche: 44 m; max. Höhe 18 m		Ma ße der Schotterhalde am Zwischenlagerplatz; die Halde darf idealisiert als Kegel betrachtet wer- den; Volumen Halde ~9.000 m ³ ; Bösch ungswinkel beträgt ca. 38 °

Abbildung 16: Prinzipschema der Aufbereitungsanlage (ohne Zu-/Abfahrtsstraße)



1. Berechnung der diffusen Emissionen durch Fahrbewegungen:

- a) Straßenstück mit nicht staubendem Belag zwischen Abzweigung von der öffentlichen Straße und Reifenwaschanlage

$$E = k_{NB,PM} \cdot sL^{0,91} \cdot (1,1 \cdot W_{Lkw})^{1,02} \cdot \left(1 - \frac{P_{Tag}}{3 \cdot N_{Tag}}\right)$$

Formel 1

$k_{NB,PM10}$: 0,62 Tabelle 2

sL : 5 [g/m²] (mäßig) Tabelle 4 (sL = mäßig wegen der Reifenwaschanlage)

$E_{PM10} = 42,5$ g/km

$Q_{PM10} = E_{PM10} \times LBF$ LBF zurückgelegte Wegstrecke Lkw

$Q_{PM10} = 42,5$ g/km x 24 km/Tag = 1020 g/Tag

- b) Straßenstück mit staubendem Belag zwischen Reifenwaschanlage und Aufbereitungsanlage:

$$E_{Lkw} = k_{SB,PM} \cdot \left(\frac{S}{12}\right)^a \cdot \left(\frac{1,1 \cdot W_{Lkw}}{3}\right)^b \cdot \left(1 - \frac{P_{Tag}}{3 \cdot N_{Tag}}\right) \cdot (1 - k_M)$$

Formel 2

$k_{SB,PM10}$: 423 Tabelle 8
 a: 0,9 Tabelle 8
 b: 0,45 Tabelle 8
 s: 5,2 [%]
 k_M 0,5

$E_{PM10} = 195 \text{ g/km}$

$Q_{PM10} = E_{PM10} \times L_{UF}$ L_{UF} zurückgelegte Wegstrecke Lkw

$Q_{PM10} = 195 \text{ g/km} \times 24 \text{ km/Tag} = 4680 \text{ g/Tag}$

c) Radladerfahrbewegungen auf unbefestigtem Untergrund:

$$E_{Radlader} = k_{SB,PM} * \left(\frac{S}{12}\right)^a * \left(\frac{1,1 \cdot W_{RL}}{3}\right)^b * \left(1 - \frac{P_{Tag}}{3 \cdot N_{Tag}}\right) * (1 - k_M)$$

Formel 2

$k_{SB,PM10}$: 423 Tabelle 8
 a: 0,9 Tabelle 8
 b: 0,45 Tabelle 8
 s: 5,2 [%]
 k_M 0,5

$E_{PM10} = 222 \text{ g/km}$

$Q_{PM10} = E \times LRL$ LRL zurückgelegte Wegstrecke Radlader

$Q_{PM10} = 222 \text{ g/km} \times 21 \text{ km/Tag} = 4661 \text{ g/Tag}$

2. Berechnung der diffusen Emissionen durch Materialmanipulation:

a) diskontinuierliche Manipulation durch Lkw Abkippvorgänge:

$$Q_{U,dk,PM10} = \frac{a \cdot 1,5 \cdot H_{Fdk} \cdot \rho \cdot M \cdot k_{U,PM10}}{\sqrt{M_{dkLkw}}}$$

Formel 4

M_{dkLkw} 14 (aus Tabelle 20)

$k_{U,PM10} = 0,25$ (aus Tabelle 11)

a = 3,2 (aus Tabelle 20)

$Q_{U,dk,PM10} = 575 \text{ g/Tag}$

Hinweis: Da hier nur Abkippvorgänge zu berücksichtigen sind, kann der Anteil für die Aufnahme ($\frac{1}{4}$) abgezogen werden.

$Q_{U,dk,PM10} = 431 \text{ g/Tag}$

- b) diskontinuierliche Manipulation mit Radlader (Aufnahme und Beschickung der Aufbereitungsanlage und der Betonmischanlage):

$$Q_{U,dk,PM10} = \frac{a \cdot 1,5 \cdot H_{Fdk} \cdot \rho \cdot M \cdot k_{U,PM10}}{\sqrt{M_{dkRI}}}$$

Formel 4

M_{dkRI} aus Tabelle 20

$k_{U,PM10} = 0,25$ (aus Tabelle 11)

$a = 3,2$ (aus Tabelle 20)

$Q_{U,dk,PM10} = 1020$ g/(Tag Radlader)

$Q_{U,dk,PM10} = 2404$ g/Tag

- c) kontinuierliche Manipulation durch Förderbandabwürfe der Aufbereitungsanlage

$$Q_{U,k,PM10} = \frac{a \cdot 5 \cdot H_{Fk} \cdot \rho \cdot M \cdot k_{U,PM10}}{\sqrt{M_k}}$$

Formel 5

$M_k = 70$ t/h (aus Tabelle 20)

$k_{U,PM10} = 0,25$ (aus Tabelle 11)

$a = 3,2$ (aus Tabelle 20)

$Q_{U,k,PM10} = 857$ g/Tag

Tabelle 21: Zusammenstellung der Ergebnisse

	Q_{PM10} [kg/Tag]	Spezifische PM ₁₀ -Emission
Befestigte Straßen Lkw	1,0	43 g/km
Unbefestigte Straßen Lkw	4,7	200 g/km
Radladerfahrbewegungen	4,7	220 g/km
Diskontinuierliche Manipulation Radlader	2,4	2,1 g/t
Diskontinuierliche Manipulation Lkw	0,4	0,7 g/t
Kontinuierliche Manipulation Förderbänder	0,9	1,4 g/t
Summe	14	

7 Anhang

7.1 Anteile unterschiedlicher Korngrößen am Gesamtstaub (TSP)

In der folgenden Tabelle werden Verhältnisse zwischen den Korngrößenfraktionen in den Staubemissionen verschiedener Prozesse angegeben (Literaturlauswertung).

Tabelle 22: Korngrößenverteilungen (Literaturangaben)

Sektor/Emissionsquelle/ Aspekt	TSP*	PM ₃₀	PM ₁₀	PM _{2,5}	Literaturquelle
Straßen mit nicht staubendem Belag					
generell	k.A.	100 %	19 %	4,7 %	[AP-42 13.02.01 2011]
generell (ohne Winterdienst)	100 %	k.A.	33 %	10 %	[Winiwarter 2007]
Reifenabrieb	100 %	k.A.	60 %	42 %	[Schmidt 2011], a us [Emep/Corinair 2007]
Bremsabrieb	100 %	k.a.	98 %	39 %	[Schmidt 2011], a us [Emep/Corinair 2007]
Straßen mit staubendem Belag und off-road-Verkehr					
unbefestigte Straßen generell**	k.A.	100 %	30 %	3 %	[VDI 3790-3], [AP-42 13.02.02 2006]
off-road-Verkehr generell (Bau, Industrie, Landwirtschaft)	100 %	k.A.	45 %	12 %	[Umweltbundesamt 2011], a us [Winiwarter 2007], nach [AP-42 13.02 1999]
(Schienenverkehr (ohne Brems-sand))	100 %	k.A.	33 %	10 %	[Winiwarter 2007]
Materialumschlag und -lagerung allgemein					
Kalkstein, Dolomit, Basalt, Magnesit, Gips, Sand, Kies	100 %	k.A.	46,5 %	4,7 %	[Umweltbundesamt 2011], a us [Winiwarter 2007], a us [Klimont 2002]
Düngemittel	100 %	k.A.	58,6 %	30,9 %	[Winiwarter 2007]
Erze, Kohlen, Mehle, Getreide, Futtermittel	100 %	k.A.	47,3 %	14,9 %	[Umweltbundesamt 2011], a us [Winiwarter 2007]
Steinkohle/Absetzen, Abkratzen, Schiffsentladung	k.A.	k.A.	100 %	3,4-19 %	[Braun 2011]

Sektor/Emissionsquelle/ Aspekt	TSP*	PM ₃₀	PM ₁₀	PM _{2,5}	Literaturquelle
Braunkohle/Zugentladung, Schaufelradbagger	k.A.	k.A.	100 %	16-18 %	[Braun 2011]
Holzhackgut, Sägenebenpro- dukte	100 %	k.A.	40 %	16 %	[Umweltbundesamt 2011], aus [Winiwarter 2007]
Abwurf von (primär minerali- schem) Material auf Halde	k.A.	100 %	47 %	7,2 %	[AP42-13.02.04-2006]
Winderosion von Halden und offenen Flächen	k.A.	100 %	50 %	7,5 %	[AP42-13.02.05-2006]
Bergbau					
Kohletagbau/Sprengarbeit in Kohle und Abraum	k.A.	100 %	52 %	3 %	[AP42,11.09.02-1998]
Kohletagbau/Abraumabtrag, Abschieben, Grädereinsatz	k.A.	100 %	k.A.	1,7-10,5 %	[AP42-11.09.02-1998]
Kalkbergbau/Sprengabschlag	100 %	k.A.	16 %	k.A.	[Gronewäller 2009]
Basaltbergbau/Tiefbohrloch- sprengung	100 %	k.A.	20 %	k.A.	[Winiwarter 2007] aus [Schopper 2005]
Bauwirtschaft					
Erdaushub und Baumate- rial/Fahrbewegungen	100 %	k.A.	26 %	3 %	[Richter 2010]
Erdaushub und Baumate- rial/Materialumschlag und Winderosion	100 %	k.A.	20 %	10 %	[Richter2010]
Hoch- und Tiefbau (inkl. Ab- bruch)	100 %	k.A.	50 %	5 %	[Winiwarter 2007]
Abfallwirtschaft					
Bauschuttunzerkleinert, Bo- denmaterial/Aufbereitung	100 %	k.A.	25 %	k.A.	[Kummer 2010]
Bauschuttzerkleinert/Aufberei- tung	100 %	k.A.	20 %	k.A.	[Kummer 2010]
staubende Abfälle/Materialum- schlag auf Deponien	100 %	k.A.	47 %	15 %	[Umweltbundesamt 2011], aus [Winiwarter 2007]
Landwirtschaft					
Acker- und Grünland/Bearbei- tung in feuchtem Klima	100 %	k.A.	45 %	10 %	[Umweltbundesamt 2011], aus [Winiwarter 2007], aus [Klimont 2002]

Sektor/Emissionsquelle/ Aspekt	TSP*	PM ₃₀	PM ₁₀	PM _{2,5}	Literaturquelle
Tierstallungen generell	100 %	k.A.	45 %	10 %	[Umweltbundesamt 2011], aus [Winiwarter 2007], aus [Klimont 2002]
Abbrennen von Rückständen/ Stoppelfelder	100 %	k.A.	100 %	95 %	[Umweltbundesamt 2011], aus [Jenkins 1996]
Abbrennen von Rückständen/ Rebschnitt	100 %	k.A.	100 %	100 %	[Umweltbundesamt 2011], aus [Winiwarter 2007]
Sonstige Prozesse					
Pyrogene Prozesse generell: Brauchtumsfeuer, offene Feuerstellen, Grillfeuer, Feuerwerke, Zigaretten, Holzkohlemeiler	100 %	k.A.	100 %	100 %	[Winiwarter 2007], aus [Klimont 2002] und [Kupiainen 2004]
Sprengtätigkeit/Plastiksprengstoff	100 %	k.A.	81 %	58 %	[AP42-15.09-2009]
Sandstrahlen/Schmiedestahlplatten	100 %	k.A.	14-48 %	1,4-4,8 %	[AP42-13.02.06-1997]
* ggf. durch PM ₇₅ oder PM ₃₀ repräsentiert ** Korngrößenverteilung abhängig von weiteren Randbedingungen					

7.2 Verdunstung - Datengrundlagen

Tabelle 23: Verdunstungsraten der Periode 2000-2010 am Beispiel der Station Dornbirn [l/(m².d)]

Parameter	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Mittel
Juni												
MMW	2,5	2,7	2,3	3,0	2,0	2,9	2,7	2,2	2,6	2,3	2,3	2,5
TMWx	4,2	4,3	3,7	4,1	4,2	4,3	3,9	3,3	4,6	3,5	4,6	4,1
Peak/Mean	1,7	1,6	1,6	1,4	2,1	1,5	1,4	1,5	1,7	1,5	2,0	1,6
Juli												
MMW	2,0	2,7	2,2	2,8	2,5	2,2	3,6	2,6	2,8	2,5	3,2	2,6
TMWx	2,8	4,1	3,8	4,6	4,0	4,2	4,8	4,0	4,6	3,2	4,9	4,1
Peak/Mean	1,4	1,5	1,7	1,6	1,6	1,9	1,3	1,6	1,6	1,3	1,5	1,5

Parameter	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Mittel
August												
MMW	1,9	2,2	1,6	2,9	2,2	1,4	1,4	1,6	2,1	2,4	1,4	1,9
TMWx	2,5	4,2	2,3	3,9	3,6	2,8	2,6	3,3	3,0	3,1	2,8	3,1
Peak/Mean	1,3	1,9	1,5	1,3	1,6	2,0	1,9	2,0	1,4	1,3	2,0	1,7
MMW Monatsmittelwert TMWx höchster Tagewert Peak/Mean Verhältnis zwischen höchstem Tageswert und Monatsmittelwert												

Aus den 1012 Datensätzen lässt sich grob die realistische Abschätzung von 3 Promille Wahrscheinlichkeit für eine doppelte Tagessumme ermitteln.

Der gemessene Höchstwert liegt bei 4,8 l/m²; dies entspricht ca. 5 l/m² Tagesverdunstung auf den Pisten von Steinbrüchen und Kiesgruben.

Eine bundesweite Darstellung wird in der folgenden Tabelle skizziert. Die Messungen sind auf Einzugsgebiete zugeschnitten und beziehen sich auf das ganze Jahr 2008.

Aus der Tabelle über Österreich hinweg lässt sich auch ein extrem trockener Monat in Moosbrunn ablesen, der einen Tagesdurchschnitt von 6 l/m² hatte (Juli 1994). Langzeitige Spitzen können daher mit dem Faktor 2 auf 12 l/m² als Tagessumme geschätzt werden.

Eine Auswahl von [Klimadaten österreichischer Messstationen](#) bietet die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik an.

Klimatographien einzelner Bundesländer sind über Anfrage bei den Landesregierungen verfügbar.

7.3 Verdunstungsdaten

Tabelle 24: Monatssummen der potentiellen Verdunstung aus Messungen mit Wannen der Type GGI - 3000, Jahr 2008 [Lebensministerium 2010]

		Einzugsgebiet		April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Summe Messperiode	Größte beobachtete Monatssumme	
Z	Ort	Gewässer	Seehöhe	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		mm	Monat/Jahr
			m ü.A	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
1	Klösterle	Aflenz	1057		71,8	72,5	75,3	63,2	35,8	25,2		343,8	101	Jun 03
2	Frastanz	III	491	36,1	81,1	74,8	77,9	55,9	40,7	39,8		406,3	160	Jul 03
3	Dornbirn	Dornbirnerach	441	40,9	83,9	79,2	86,9	65,4	42,9	29,5		428,7	111	Jul 06
4	Schoppernau	Bregenzerach	835	27,9	66,5	55,5	61,8	62,6	46,5	20,8		341,6	91	Jun 03
5	Alberschwende	Bregenzerach	717		69,1	59,2	82,6	69,8	51,4	30,7		362,8	92	Jun 03
6	Vorderhornbach	Lech	960	38,2	76,6	68,5	61,9	71,6	53,0	32,4		402,2	112	Jul 83
7	Leutasch - Kirchplatzl	Leutascher-Ache	1135		75,6	76,4	69,4	82,4	56,9	39,2		399,9	115	Jul 06
12	St. Johann i.T. - Almdorf	Großache	756	28,1	77,2	75,6	79,9	82,0	53,8	32,2	18,8	447,6	114	Jul 06
13	Waidring	Loferbach	775	29,1	77,6	64,8	71,0	86,6	59,9	25,0	10,0	424,0	79	Jul 06

		Einzugsgebiet		April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Summe Mess- periode	Größte beobach- tete Monats- summe	
14	Almsee - Forsthaus	Alm	574		27,5	27,3	23,4	24,6	30,9	14,0		147,7	74	Aug 03
15	Reichenau	Große-Gusen	685		58,0	62,1	38,6	58,4	36,0	17,7		270,8	110	Aug 92
16	Enns	Donau	259		60,7	69,4	62,7	61,5	42,3	20,1		316,7	106	Jul 06
17	Lunz am See	Ybbs	612	44,7	73,2	60,7	60,7	60,5	41,8	24,3		365,9	108	Aug 92
18	Wolfsbach	Urlbach	336	43,2	68,4	63,6	64,4	64,8	50,9	41,1		396,4	112	Jul 01
19	Frankenfels	Pielach	465	45,6	65,0		73,1	64,2	43,5	32,2		KS	85	Jul 07
20	Ottenstein	Kamp	555	44,8	56,9	66,4	76,0	65,2	41,2	21,4		371,9	105	Aug 03
21	Sietzenberg-Reidling	Donau	212	46,2	65,5	66,8	77,7	66,9	50,1			373,2	132	Aug 03
22	Pyhra	Perschling	302	51,6	59,3	75,1	81,4	74,5	48,9	22,5	26,2	439,5	126	Jul 06
23	Hollabrunn	Göllersbach	241	55,4	88,5	93,3	88,8	94,7	55,9	25,7		502,3	143	Jul 07
24	Stetten	Donau	177	46,5	72,6	70,1	72,8	81,2	45,2	19,1	15,0	422,5	130	Aug 03
25	Wien - Kagran	Donau	150	95,4	111,9	123,2	125,8	129,1	81	37,4		703,8	178	Jul 06
26	Wien - Mauerbach	Wien	215	42,7	60,1	56,0	63,2	55,8	39,7	22,6		340,1	108	Jul 94
27	Wien - Neuessling	Donau	155	41,3	62,6	71,9	79,9	62,8	33,4	22,7		374,6	143	Jul 03
28	Moosbrunn	Piesting	187	101,0	138,8	142,6	156,7	123,6	92,2	43,0	34,0	831,9	186	Jul 94
29	Franzensdorf	Donau	153	39,2	67,3	70,5	67,5	64,5	43,5	25,0		377,5	120	Jul 07

		Einzugsgebiet		April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Summe Mess- periode	Größte beobach- tete Monats- summe	
30	Naglern	Rußbach	280	66,4	95,0	91,0	98,9	104,4	70,2	13,7		539,6	173	Aug 03
31	Litschau	Reißbach	564	31,7	58,9	62,3	64,1	60,0	32,7	18,5		328,2	107	Aug 92
32	Drasenhofen	Thaya	216	64,7	98,4	81,5	106,5	118,2	71,0			540,3	147	Jul 02
33	Naßwald	Naßbach	615		74,6	55,9	60,2	70,6				261,3	97	Aug 03
34	Hollenthon	Rabnitz	671	54,3	64,3	55,5	67,9	63,3	48,9	31,1		385,3	112	Jul 02
35	Frankenau	Stoob	208	43,6	62,4	56,0	62,3	67,5	43,3			335,1	105	Jul 03
36	Illmitz, Biol. Station	Neusiedler See	115	62,8	80,2	106,9	118,4	113	77,0	35,6	13,5	607,4	124	Jul 07
37	Pöllau Zentralstation	Safen	525		71,0	87,5	95,5	83,9	69,3			407,2	109	Mai 07
40	Matrai in Osttirol	Tauernbach	1040	45,4	62,4	59,3	67,5	68,7	44,3	16,3		363,9	105	Jul 06

Kennzahl **Median** 62,1 --> pro Tag 2 Liter/m²

Kennzahl **Maximum** 156,7 --> pro Tag 5 Liter/m²

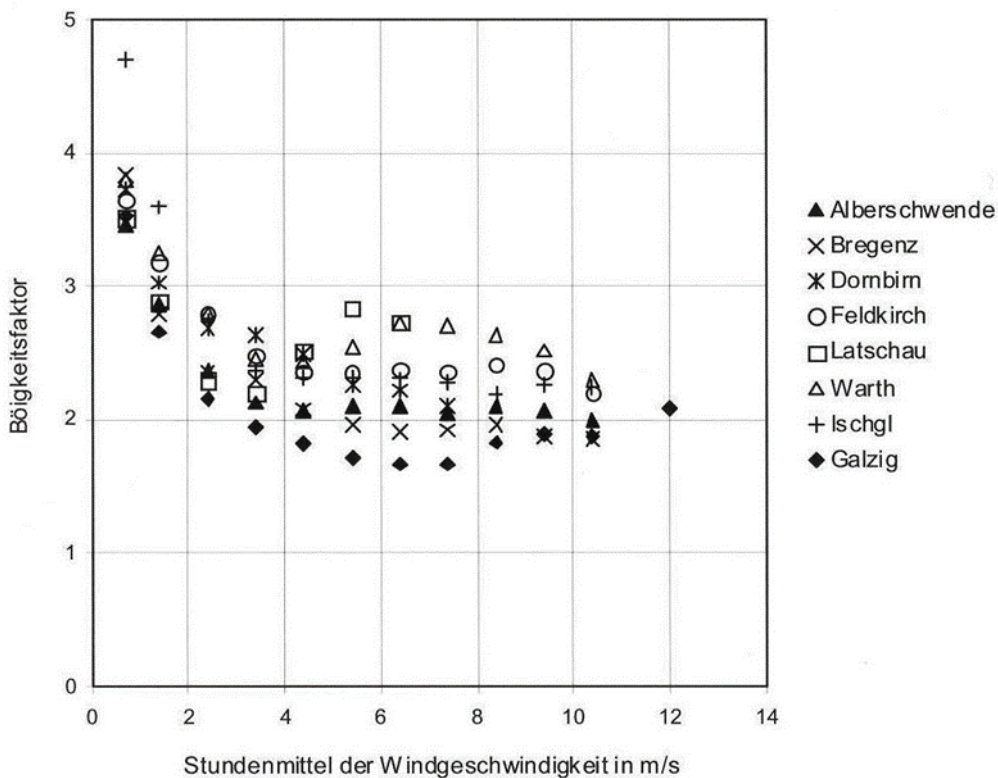
Kennzahl aller Jahre **Extremes Max** 186 --> pro Tag 6 Liter/m² Faktor 2

Das heißt: Spitzenwert aus der Langzeitreihe in ganz Österreich: 12 Liter/m² Spitzenwert pro Tag geschätzt

7.4 Mittlere Geschwindigkeit und Spitzenwindgeschwindigkeit

Zur Bewertung von Abwehungen sind nicht nur die mittleren Windgeschwindigkeiten, sondern auch die Spitzenwindgeschwindigkeiten (Böen) von Bedeutung. Der Zusammenhang dieser beiden Größen wird über den Böigkeitsfaktor als Quotient von Spitzen- und mittlerer Windgeschwindigkeit (Stundenmittel) definiert. Im Allgemeinen nimmt der Böigkeitsfaktor mit zunehmender Windgeschwindigkeit ab.

Abbildung 17: Mittlerer Böigkeitsfaktor in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit [Umweltinstitut 2001]



Wenn keine Daten aus Messungen im Projektgebiet vorhanden sind, wird zur Abschätzung der Spitzenwindgeschwindigkeit aus dem Halbstundenmittelwert ein Faktor von 2,3 empfohlen.

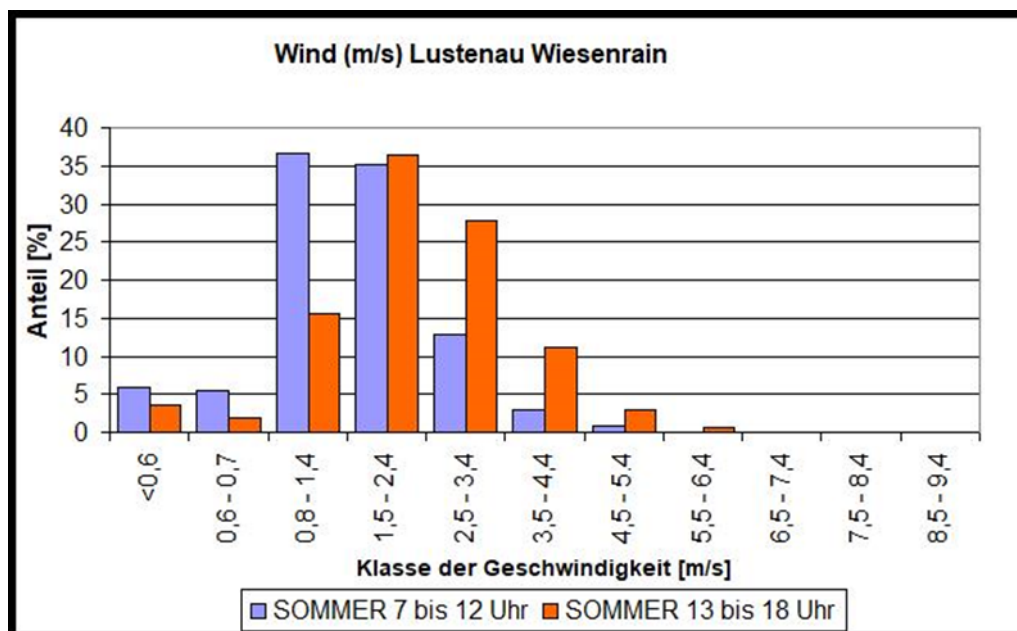
Die Abwehung von Lagerungen wird im Sommer zu höheren Emissionen führen als zu anderen Zeiten des Jahres. Die Abwehung spielt vor allem untertags eine Rolle, da hier ein Aufrocknen der Oberfläche eintritt und eine geringe Luftfeuchtigkeit (unter 50 %)

herrscht. Gleichzeitig findet ein Umschlag im Betrieb statt, der neue Oberflächen mit abtragsfähigem Material entstehen lässt. Ein wichtiger Faktor ist die Windgeschwindigkeit.

An Hand der Messdaten der Station Lustenau-Wiesenrain wird als Beispiel eine Häufigkeitsverteilung für die Monate Juni, Juli und August erstellt. Untersucht wurden die Tagesstunden des Vormittags von 7 bis 12 Uhr und der Nachmittag von 13 bis 18 Uhr - insgesamt 10 Stunden pro Tag. Im Zeitraum des Vormittags beträgt die mittlere Windgeschwindigkeit 1,7 m/s; am Nachmittag 2,4 m/s. Mittlere Windgeschwindigkeiten über 7 m/s wurden nur in den Nachmittagsstunden (0,1 % der Zeit) registriert.

Berücksichtigt man die Zusammenhänge zwischen der mittleren und der Spitzenwindgeschwindigkeit, so ergibt sich, dass Abwehungen ab Stundenmittelwerten von 3 m/s auftreten können. Damit zeigt sich, dass in 27% der Tagesstunden im Sommer (bzw. in 6,9 % der Jahresstunden) Situationen auftreten, in denen Abwehungen möglich sind.

Abbildung 18: Windgeschwindigkeitsklassen Lustenau - Wiesenrain

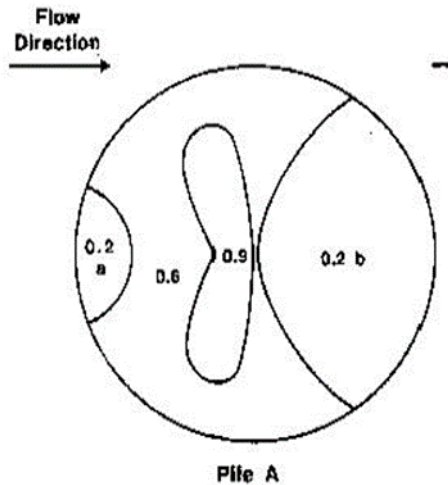


7.5 Winderosion – Ermittlung von Emissionsfaktoren

Die in Tabelle 10 enthaltenen Emissionsfaktoren wurden durch Anwendung des in [AP42-13.2.5-2006] beschriebenen Verfahrens abgeleitet.

Dazu wurde eine kegelförmige Lagerung mit einem Durchmesser von 20 m und einer Höhe von 8,4 m (entsprechend einem Böschungswinkel von 40 °) zur Ermittlung der auf der Oberfläche des Kegels auftretenden Geschwindigkeiten herangezogen. Andere Haldenformen können durch Aneinanderreihung von Einzelkegeln approximiert werden.

Abbildung 19: Kegeloberfläche: u_s/u_r -Verhältnisse



u_s/u_r normierte Windgeschwindigkeit an der Kegeloberfläche (Verhältnis von Windgeschwindigkeit an der Oberfläche zu unbeeinflusster Windgeschwindigkeit)

Tabelle 25: Flächenanteile für normierte Windgeschwindigkeiten

u_s/u_r	% der Oberfläche
0,2	40
0,6	48
0,9	12

Da für Erosionsereignisse nicht eine durchschnittliche Windgeschwindigkeit, sondern die Windspitzen ausschlaggebend sind, erfolgt eine Auswertung der täglichen Spitzenwindgeschwindigkeiten in zwölf Klassen. Für die Berechnung des Erosionspotentials wird das tägliche Maximum herangezogen. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass bei einer häufig umgeschlagenen Lagerung ein Mal täglich Material für die Abwehung zur Verfügung steht.

Die für die Abwehung ausschlaggebende Strömungsgeschwindigkeit an der Oberfläche wird als Schubspannungsgeschwindigkeit (friction velocity, u^*) bezeichnet. Diese errechnet sich aus der gemessenen Spitzenwindgeschwindigkeit im 10 m Höhe wie folgt:

Formel 7: Ermittlung von u^* (Schubspannungsgeschwindigkeit)

$$u^* = 0,053 \cdot u_{10}$$

u^* friction velocity

u_{10} Spitzengeschwindigkeit in 10 m Höhe

Unter einer bestimmten Strömungsgeschwindigkeit, die in der AP42 als threshold friction velocity (kritische Schubspannungsgeschwindigkeit, u_t^*) bezeichnet wird, sind die Haftkräfte höher als die Kräfte, die ein Lösen des Teilchens bewirken. Es findet also keine Abwehung statt. Für die Ermittlung der Emissionsfaktoren für Sand- und Schotterlagerungen wird u_t^* mit 0,5 m/s angesetzt. Dieser Schwellenwert ist damit deutlich niedriger, als er für die Lagerung von Kohle (0,7 m/s) anzusetzen wäre [AP42 13.2.5 2006], aber er liegt über den für aride Gebiete (0,3 m/s) ermittelten Werten.

Das Erosionspotential P wird nach folgender Formel bestimmt.

Formel 8: Ermittlung des Erosionspotentials

$$P_E = 58 \cdot (u^* - u_t^*)^2 + 25 \cdot (u^* - u_t^*) [g/m^2]$$

u^* friction velocity

u_t^* threshold friction velocity

P_E Erosionspotential

Unter den oben beschriebenen Annahmen treten erste Abwehungen ab Windspitzen von über 10 m/s auf. Entsprechend wurden in Tabelle 26 die Windgeschwindigkeitsklassen ausgewertet.

In Tabelle 27 wird an Hand der Windgeschwindigkeitsverteilung für das Tagesmaximum der Windgeschwindigkeit (3-Sekunden-Mittelwert) der Station Pöchlarn die Ermittlung des Emissionsfaktors dargestellt.

Tabelle 26: Verwendete Winddaten

Bundesland	Station	U ₁₀ (JMW) [m/s]	Emissionsfaktor [g/m ² .d]
NÖ	Neusiedl	2,9	2,50
NÖ	Hainburg	3,0	1,77
NÖ	Gänserndorf	3,8	2,75
NÖ	Dunkelsteiner Wald	3,4	2,88
NÖ	Pöchlarn	2,6	1,93
OÖ	Bad Ischl	0,8	0,26
OÖ	Lenzing	1,6	0,66
OÖ	Wels	2,3	1,21
OÖ	Magdalenaberg	2,5	0,84
OÖ	Asten	2,0	0,58
OÖ	Linz, Neue Welt	1,5	0,21
OÖ	Römerberg	0,6	0,02
S	Salzburg Flughafen	2,4	0,31
S	Hallein Eisenbahnbrücke	1,9	1,04
S	Hallein Winterstall	1,7	0,91
S	Zell am See	1,1	0,13
S	Zederhaus	1,7	0,33
S	Salzburg Gaisberg	2,9	2,03
St	Weinzöttl	1,8	0,14
St	Graz - Eurostar	1,1	0,09
St	Graz - Oeversee	0,6	0,02
St	Leibnitz	0,6	0,01
T	Innsbruck - Flughafen	2,1	1,45
T	Kufstein	1,6	0,06
T	Landeck	1,9	0,19
T	Lienz	1,8	1,07
T	Pfunds/Tösens	1,7	0,36

Tabelle 27: Berechnungsbeispiel (Pöchlarn, Niederösterreich)

Klassen [m/s]	Anzahl Werte	u_{10} [m/s]	u^* [m/s]	u_t^* [m/s]	P (0,2) [g/(m ² .d)]	P (0,6) [g/(m ² .d)]	Summe [g/(m ² .a)]	P (0,9) [g/(m ² .d)]
< 8	98							
8-9	36	8,5	0,4505	0,5	0	0,00	0,00	0,00
9-10	39	9,5	0,5035	0,5	0	0,00	0,00	0,00
10-11	42	10,5	0,5565	0,5	0	0,00	8,05	0,19
11-12	33	11,5	0,6095	0,5	0	0,00	13,59	0,41
12-13	26	12,5	0,6625	0,5	0	0,00	17,45	0,67
13-14	23	13,5	0,7155	0,5	0	0,00	22,30	0,97
14-15	14	14,5	0,7685	0,5	0	0,00	18,30	1,31
15-16	14	15,5	0,8215	0,5	0	0,00	23,57	1,68
16-17	15	16,5	0,8745	0,5	0	8,40	157,47	2,10
17-18	6	17,5	0,9275	0,5	0	10,22	76,63	2,55
18-19	5	18,5	0,9805	0,5	0	12,19	76,21	3,05
19-20	7	19,5	1,0335	0,5	0	14,33	125,35	3,58
> 20	8	20,5	1,0865	0,5	0	16,61	166,14	4,15
u (JMW)	2,6 m/s						E [g/m ² .a] E [g/m ² .d]	705,1 1,9

Die an Hand der gemessenen Winddaten erhaltenen Ergebnisse stimmen recht gut mit den theoretischen Überlegungen überein, die aussagen, dass die Erosionsmenge in Abhängigkeit von der Schubspannungsgeschwindigkeit mit der 3. Potenz ansteigt, wenn der Schwellenwert für die Mobilisierung (kritische Schubspannungsgeschwindigkeit) überschritten wird (z.B. [Schak-Kirchner 2005]).

Abbildung 20: Zusammenhang zwischen dem Jahresmittel der Windgeschwindigkeit und dem Emissionsfaktor für die Winderosion

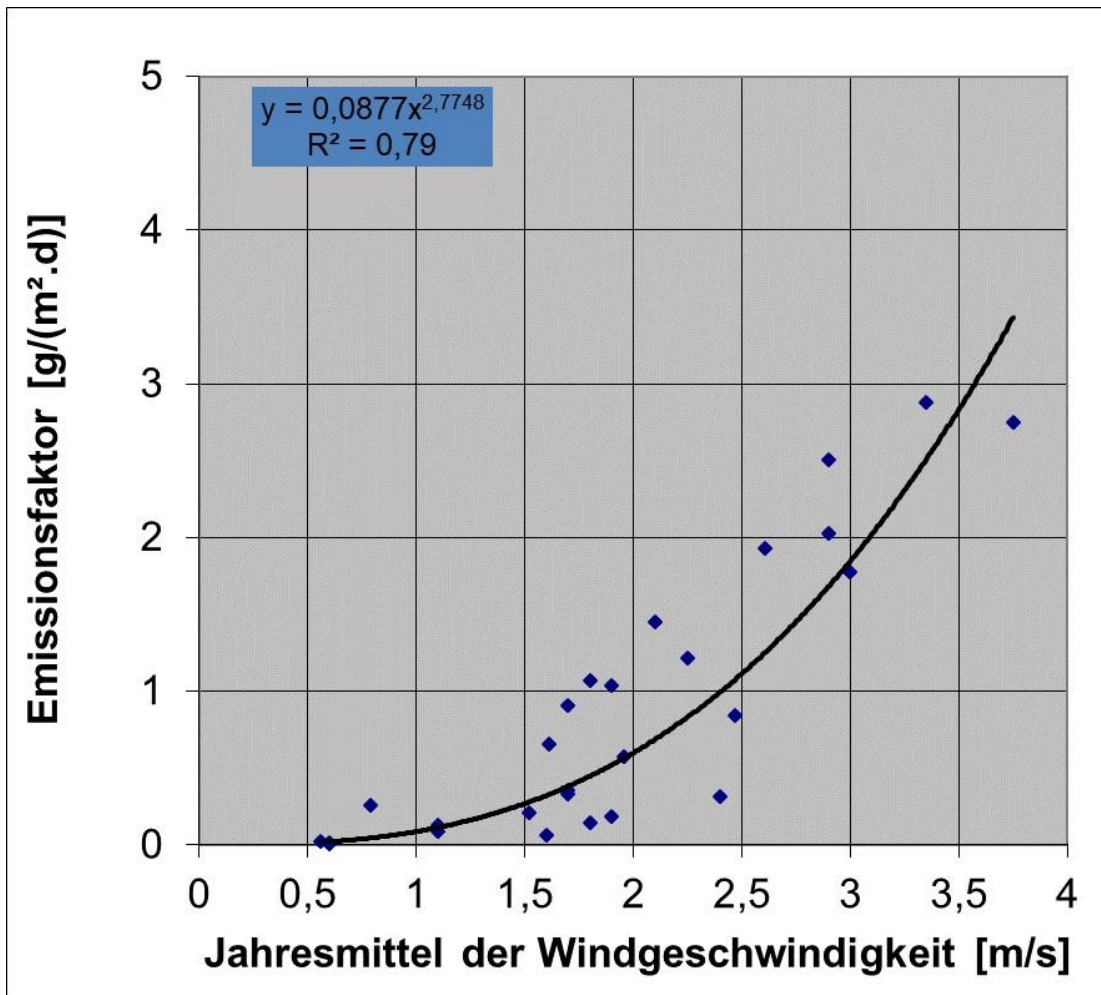
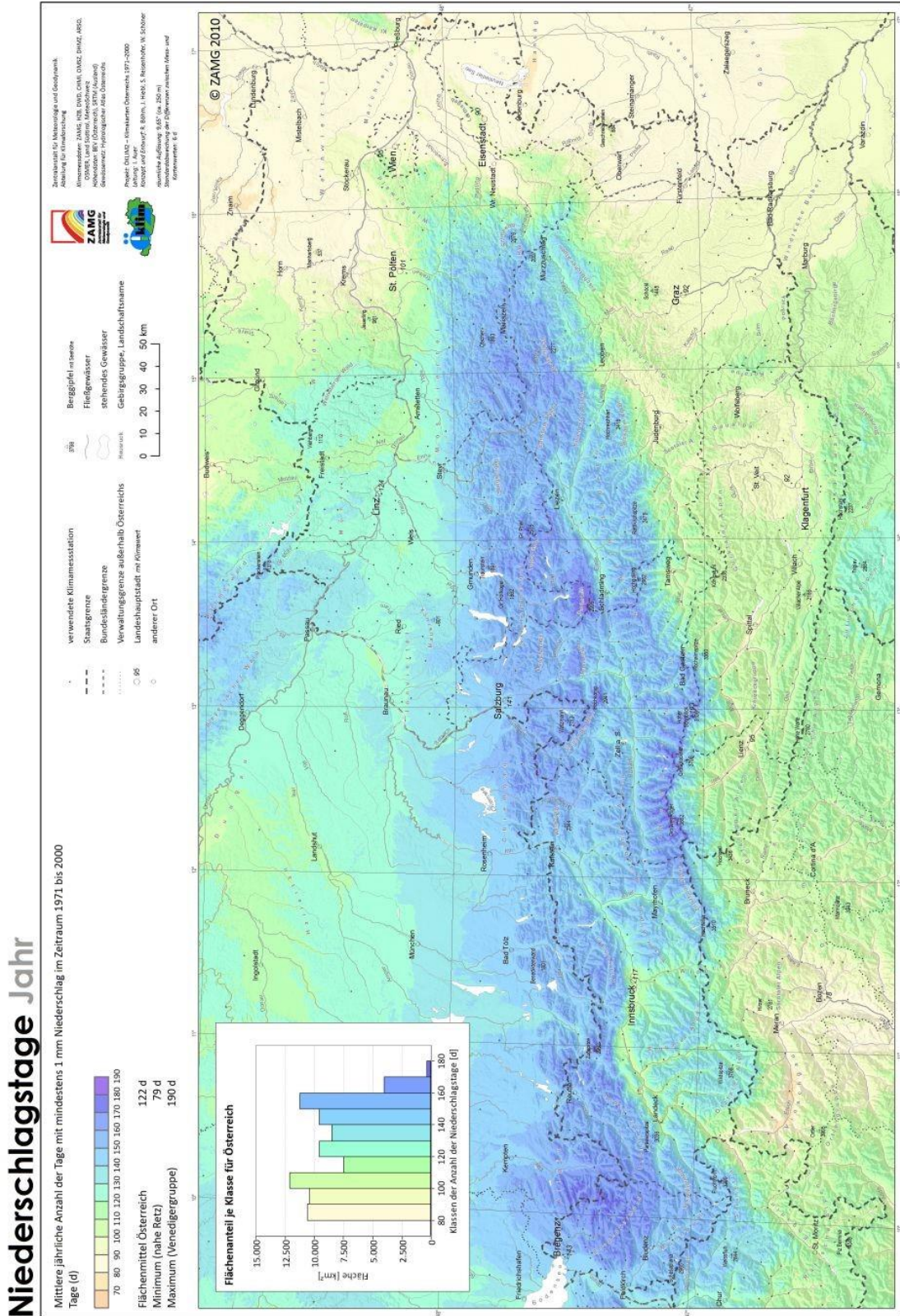


Abbildung 21: Mittlere jährliche Anzahl von Niederschlagstagen ≥ 1 mm



© Zentralanstalt Meteorologie und Geodynamik, Abteilung für Klimatologie [ZAMG 2010]

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Formelzeichen	4
Tabelle 2: Korngrößenabhängiger Faktor ($k_{NM, PM}$)	9
Tabelle 3: Staubbelastung s_L von öffentlichen Straßen [g/m^2]	10
Tabelle 4: Staubbelastung s_L von Betriebsstraßen [STROBL 2011]	10
Tabelle 5: durchschnittliche Emissionsfaktoren für Straßenfahrzeuge [mg/km] (Literaturangaben)	12
Tabelle 6: Emissionsfaktoren [$g/(km.Fzg)$] für Straßen mit nicht staubendem Belag (gemäß 1)	13
Tabelle 7: PM_{10} Emissionsfaktoren [$g/(km.Fzg)$] für Straßen mit befestigter Oberfläche mit und ohne Schmutzeintrag durch eine einmündende, unbefestigte Seitenstraße (gemäß 1)	13
Tabelle 8: Straßen mit staubendem Belag; Parameter für Formel 2 und Formel 3	15
Tabelle 9: Parameter und Emissionsfaktoren für eine betriebliche und eine öffentliche Straße mit staubendem Belag (gemäß Formel 2 und Formel 3)	16
Tabelle 10: Abschätzung von Emissionsfaktoren für TSP für die Winderosion in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit	20
Tabelle 11: Korngrößenabhängiger Faktor $k_{U, PM}$ (mineralische Rohstoffe, Baurestmassen)	22
Tabelle 12: Gewichtungsfaktor a für mineralische Rohstoffe und Baurestmassen	22
Tabelle 13: Emissionsfaktoren aus der Literatur	25
Tabelle 14: Staubbiederschlag nach Sprengabschlag von Kalkstein	26
Tabelle 15: Zuordnung von Leitkomponenten und - wo verfügbar - Emissionsraten [mg/s] zu unterschiedlichen Verfahren und Werkstoffen beim Schweißen [Spiegel- Ciobanu 2008], Auswahl	29
Tabelle 16: Zuordnung von Leitkomponenten und Emissionsraten [mg/s] zum Brennschneiden [Spiegel-Ciobanu 2008]	30
Tabelle 17: Rate der Verdunstung von einer Oberfläche [l/m^2 in 3 h]	31
Tabelle 18: Auswirkungen von Maßnahmen auf die Staubbelastung von Betriebsstraßen mit nicht staubendem Belag und starker Verschmutzung	35
Tabelle 19: Definition von Großbaustellen	43
Tabelle 20: Eckdaten der Betriebsanlage und des Betriebsablaufes	53
Tabelle 21: Zusammenstellung der Ergebnisse	56
Tabelle 22: Korngrößenverteilungen (Literaturangaben)	57
Tabelle 23: Verdunstungsraten der Periode 2000-2010 am Beispiel der Station Dornbirn [$l/(m^2.d)$]	59
Tabelle 24: Monatssummen der potentiellen Verdunstung aus Messungen mit Wannen der Type GGI - 3000, Jahr 2008 [Lebensministerium 2010]	61

Tabelle 25: Flächenanteile für normierte Windgeschwindigkeiten	66
Tabelle 26: Verwendete Winddaten	68
Tabelle 27: Berechnungsbeispiel (Pöchlarn, Niederösterreich)	69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für eine mäßig verschmutzte befestigte Betriebsstraße mit sichtbarer Staubaufwirbelung [Strobl 2011]	10
Abbildung 2: Beispiel für eine hoch verschmutzte befestigte Straße mit starker Staubaufwirbelung [Strobl 2011]	11
Abbildung 3: Abschätzung von Emissionsfaktoren für die Winderosion in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit	19
Abbildung 4: Beispiel für die Materialeigenschaft $a=1$ schwach bis nicht wahrnehmbar staubend	23
Abbildung 5: Beispiel für die Materialeigenschaft $a=3,2$ leicht bis deutlich staubend	23
Abbildung 6: Beispiele für Materialeigenschaft $a=10$ stark staubend	24
Abbildung 7: Schema der für Sprengungen relevanten Höhenangaben	28
Abbildung 8: Jahrgang der Verdunstung an der Station Feldkirch	32
Abbildung 9: Gemessene Abhängigkeit der Staubemissionen von einer Schotterstraße von der Zeit ab dem Befeuchten (1 =trockene Verhältnisse vor dem Befeuchten) [Öttl 2012]	34
Abbildung 10: Einfluss von Windhindernissen mit 1,2 m Höhe und 50 % Porosität auf die Anströmgeschwindigkeit	40
Abbildung 11: Flex-Flap-System	45
Abbildung 12: Kombination von Staubminderungstechniken	46
Abbildung 13: Einfluss der Wandhöhe auf die Schadstoffkonzentration	48
Abbildung 14: Einfluss der Wallhöhe auf die Schadstoffkonzentration	48
Abbildung 15: Darstellung des Strömungsverlaufes bei hohen Wänden	48
Abbildung 16: Prinzipschema der Aufbereitungsanlage (ohne Zu-/Abfahrtsstraße)	54
Abbildung 17: Mittlerer Böigkeitsfaktor in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit [Umweltinstitut 2001]	64
Abbildung 18: Windgeschwindigkeitsklassen Lustenau - Wiesenrain	65
Abbildung 19: Kegeloberfläche: u_s/u_r -Verhältnisse	66
Abbildung 20: Zusammenhang zwischen dem Jahresmittel der Windgeschwindigkeit und dem Emissionsfaktor für die Winderosion	70
Abbildung 21: Mittlere jährliche Anzahl von Niederschlagstagen ≥ 1 mm	71

Literaturverzeichnis

[AP42] U.S. Environmental Protection Agency AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources

[AP42-11.9-1998] Western surface coal Mining

[AP42-11.19.1-1995] Sand and gravel processing

[AP42-11.19.2.-2004] Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing

[AP42-13.2.1-2011] Paved roads

[AP42-13.2.2.-2006] Unpaved roads

[AP42-13.2.3-1995] Heavy Construction Operations

[AP42-13.2.4-2006] Aggregate handling and storage piles

[AP42-13.2.5.-2006] Industrial wind erosion

[AP42-13.2.6-1997] Abrasive Blasting

[AP42-13.2.X-2006] Background Document for Revisions to Fine Fraction Ratios Used for AP-42 Fugitive Dust Emission Factors

[AP42-15.9-2009] Blasting Caps, Demolition Charges, and Detonators

[BAFU 2009] Bundesamt für Umwelt (2009): Luftreinhaltung auf Baustellen. Richtlinie über betriebliche und technische Maßnahmen zur Begrenzung der Luftschadstoff-Emissionen von Baustellen (Baurichtlinie Luft), Bern

[BMWfJ 2010] Technische Grundlage zur Berechnung und Beurteilung von Immissionen im Nahbereich kleiner Quellen (Technische Grundlage Ausbreitungsrechnung) Hg.: Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, 2010

[Braun 2011] Braun, F.J., Hermsdörfer, K., Höfl, H.-C., Richter C.-J., Scherer, P., Beyer, M., Hugo, A., Jarzyna, D., Kuhlbusch, T.A.J. (2011): Ermittlung von Emissionsfaktoren für diffuse Staubemissionen beim Kohleumschlag, VDI-Berichte 2140, Fachtagung Diffuse Emissionen, Düsseldorf 2011, Seite 101 ff

[Brozell 1993] Brozell, Richards, PM10 Emission Factors for a Stone Crushing Plant Transfer Point, reference cited in AP42

[BUWAL 2001], Luftreinhaltung bei Bautransporten, Hg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 2001

[Cowherd 1988]: Cowherd, C., et al. (1988): Control Of Open Fugitive Dust Sources, EPA-450/3-88-008, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, September

[Danninger 2003] Danninger E., Überlegungen zur Verweilzeit von PM₁₀ aus Aufwirbelung anhand der PM₁₀-Staubentwicklung bei der Sprengung von zwei Hochhäusern, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Abteilung Umweltschutz, 05.08.2003

[DIN 19706] DIN 19706:2011-06 Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wind

[EMEP/CORINAIR 2007] EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2007. EEA (European Environment Agency). Publish date: 5 Dec 2007. In: Technical report No 16/2007

[FH Hamburg] Vorteile der Umluftmaschine in Bezug auf eine rein "saugende Kehrmaschine (Durchluft)", unveröff. Bericht

[Fitz 2000] Fitz, D.R., Bumiller K. (2000): Determination of PM₁₀ emission from street sweepers. Journal of the Air and Waste Management Association, 50, 181-187

[Gehrig 2004] Gehrig, R., M. Hill, B. Buchmann, D. Imhof, E. Weingartner, U. Baltensperger (2004): PM₁₀ Emissions of Road Traffic from Abrasion and Resuspension Processes. In: P. Dilara, M. Muntean and E. Angelino (ed.) Proceedings of the PM Emission Inventories Scientific Workshop. European Commission, Joint Research Centre, Ispra

[Geiger 1995] Geiger R., Aron R. H. Todhunter P., The Climate near the ground, 5th edition Vieweg, Wiesbaden 1995

[Gronewäller 2009] L. Gronewäller, Diffuse Emissionen aus Steinbrüchen – Messung diffuser Staubemissionen aus Emissionsmodellierung einer Sprengung im Steinbruch, VDI-Berichte Nr. 2072 (2009), Seite 39-50

[Güthner 1980] Güthner Gerhard, Minderung diffuser Staubemissionen stationärer Anlagen, Umwelt 2/80, 261 - 266

[Jenkins 1996] Jenkins, B.M. (1996): Atmospheric Pollutant Emission Factors from Open Burning of Agricultural and Forest Biomass by Wind Tunnel Simulations; Final Report (3 Vols.); CARB Project A932-126; California Air Resources Board, Sacramento, California

[Jockel 1992] Jockel Wolfgang, Entstehung, Quantifizierung und Bewertung sekundärer bzw. diffuser Emissionsquellen, Dissertation, Universität Kaiserslautern, Fachbereich Maschinenwesen, Kaiserslautern, 1992

[Ketzel 2007] Ketzel, M., G. Omstedt, C. Johansson, I. Düring, M. Pohjola, D. Öttl, L. Gidhagen, P. Wåhlin, A. Lohmeyer, M. Haakanaf, R. Berkowicz (2007): Estimation and validation of PM_{2.5}/PM₁₀ exhaust and non-exhaust emission factors for practical street pollution modelling. Atmos. Environ. 41, 9370-9385

[Klimont 2002] Klimont, Z., J. Cofala, I. Bertok, M. Amann, C. Heyes and F. Gyarmas (2002): Modelling Particulate Emissions in Europe. A Framework to Estimate Reduction Potential and Control Costs, Interim Report IR-02-076, IIASA, Laxenburg

[Koban 2005] Koban H. Öttl D. Straßenreinigung und PM₁₀ Vortrag im Rahmen des EU-Projektes KAPA-GS

[Koch 2010] S. Koch, K. Ksaibati, Performance of Recycled Asphalt Pavement in Gravel Roads, Department of Civil and Architectural Engineering, University of Wyoming, Laramie, Wyoming, 2010

[Kummer 2010] Kummer V., van der Pütten N., Schneble H., Winkels H.-J., Ermittlung des PM₁₀-Anteils an den Gesamtstaubemissionen von Bauschuttzubereitungsanlagen, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 70 (2010) Nr. 11/12, S 478 - 482

[Kupiainen 2004] Kupiainen K., Z. Klimont (2004): Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control. Interim Report IR-04-079, IIASA, Laxenburg.1

[Lang 2008] M. Lang, Zum Stand der Technik bei Reifenwaschanlagen für straßenzugelassene LKWs, Bergmännischer Verband Österreichs, Fachausschuss für Tagbau und Steinbruchtechnik, April 2008

[Lebensministerium 2010] Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2008, 116. Band, Hg.: Abteilung VII 3 - Wasserhaushalt im Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien 2010

[Lohmeyer 2004] Lohmeyer, A., W. Baechlin, I. Düring (2004): Modelling of vehicle induced non-exhaust PM₁₀ emissions. In: P. Dilara, M. Muntean and E. Angelino (ed.) Proceedings of the PM Emission Inventories Scientific Workshop. European Commission, Joint Research Centre, Ispra

[Lükewille 2001] Lükewille, A., Bertok, I., Amann, M., Cofala, J., Gyarmas, F., Heyes, C., Karvosenoja, N., Klimont, Z., Schöpp, W. (2002): A Framework to Estimate the Potential and

Costs for the Control of Fine Particulate Emissions in Europe. IIASA – International Institute for Applied Systems Analysis, Interim Report IR-01-023

[MLuS] Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen ohne und mit lockerer Randbebauung – MluS 02, geänderte Fassung 2005; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit, BRD

[Nachtnebel 2012] Nachtnebel, M., Ermittlung von Emissionsfaktoren für diffuse Staubemissionen von unbefestigten Fahrwegen und des Emissionsminderungspotentials des Mittels CMA+; Magisterarbeit an der Karl-Franzens-Univ. 2012, Graz, 61 S

[Öttl 2012] D. Öttl, M. Nachtnebel, R. Klingler, Messung und Modellierung diffuser Staubemissionen Hg.: Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 17C - Technische Umweltkontrolle, Bericht: Lu-04-2012, März 2012

[Richter 2010] C.-J. Richter, H.-C. Höfl, Prognose der Staubemissionen und -immissionen sowie Untersuchungen zum Kleinklima im Rahmen des Bebauungsplanverfahrens für eine Fläche zur "Lagerung und Wiederaufbereitung von Erdaushub und Baumaterial", 22. Februar 2010

[Richter 2011] Richter C.-J. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BVT, Minderung diffuser Staubemissionen bei mobilen Brechern, Nov. 2011

[Romberg, 2000] Romberg, E./INFU-Technik, Ableiten von Reduktionsfunktionen für Wände, Wälle und Bewuchs für das MLuS-Ausbreitungsmodell, FE 02.170/1996/LR, Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, April 2000

[RUMBA 2004] RUMBA - Richtlinien für eine umweltfreundliche Baustellenabwicklung, Magistrat der Stadt Wien, 2004

[Schak-Kirchner 2005] Schak-Kirchner H. Skriptum Bodenschutz WS 2005, Institut für Bodenkunde und Waldernährung, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

[Schmidt 2011] Schmidt, W., Düring, I., Lohmeyer, A. (2011): Einbindung des HBEFA 3.1 in das FIS Umwelt und Verkehr sowie Neufassung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb des Straßenverkehrs. Juni 2011, Karlsruhe

[Schopper 2005] Schopper, A. (2005): Umweltverträglichkeitsprüfung zur „Erweiterung Basaltsteinbruch Klöch“, Teilgutachten Luft, im Rahmen des UVP-Vorhabens der Klöcher Basaltwerke; Amt der Steiermärkischen Landesregierung, FA 13A, Graz

[Spiegel-Ciobanu 2003] Dipl.-Ing. Spiegel-Ciobanu V.E., Untersuchungen zur Charakterisierung der Emissionen beim Schweißen und Brennschneiden von beschichteten Blechen aus dem Schiffbau, Fachausschuss „Metall- und Oberflächenbehandlung“ Sachgebiet „Schadstoffe in der Schweißtechnik, Hannover 2003

[Spiegel-Ciobanu 2008] Spiegel-Ciobanu V.E., Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren, BG-Information 593, Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd, 2008

[Strobl 2011] A. Strobl, M. Kuntner, PM10 Emissionsmessprogramm diffuser Staubquellen Aufbereitungs- und Betonmischanlagen Amt der Tiroler Landesregierung Abteilung Emissionen-Sicherheitstechnik-Anlagen, September 2011

[TA Luft 2002] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 24. Juli 2002 (GMBL 2002, Heft 25-29, S. 511-605), BRD

[Umweltbundesamt 2011] Umweltbundesamt: Austria's Informative Inventory Report (IIR) 2011, Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, REP-0307, Wien 2011

[UMWELTINSTITUT 2001] Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, 2001: Klima von Vorarlberg – Eine anwendungsorientierte Klimatographie, in 3 Bänden.

[VDI 2095-1] VDI 2095 Blatt 1:2011-03 Emissionsminderung - Behandlung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen - Stationäre und mobile Bauschutttaufbereitungsanlagen

[VDI 2584] VDI 2584:1997-10 Emissionsminderung - Naturstein-Aufbereitungsanlagen in Steinbrüchen

[VDI 3790-3] VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3; Umweltmeteorologie – Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen – Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern; VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b: Umweltmeteorologie, Jänner 2010

[VDI-BERICHTE 2072] Diffuse Emissionen, Fachtagung Düsseldorf, 15.-16.9.2009, Düsseldorf, VDI-Berichte 2072, VDI-Verlag GmbH, 2009

[VDI-BERICHTE 2140] Diffuse Emissionen, Fachtagung Düsseldorf, 2011, VDI-Berichte 2140, VDI-Verlag GmbH, 2011

[Winiwarter 2007] Winiwarter, W., Schmidt-Stejskal, H., Windsperger, A. (2007): Aktualisierung und methodische Verbesserung der österreichischen Luftschadstoffinventur für Schwebstaub im Auftrag des Umweltbundesamtes. ARC-sys-0149, Wien

[ZAMG 2010] Auer et al. ÖKLIM2 – Klimakarten Österreichs 1971 – 2000, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Abteilung für Klimaforschung, Wien 2010]

Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort

Stubenring 1, 1010 Wien

+43 1 711 00-0

betriebsanlagentechnik@bmdw.gv.at

[bmdw.gv.at](https://www.bmdw.gv.at)