

Wolf-Michael Feldbach

Uwe Amreihn

**Verfahren zur exakten Ermittlung der Emission einzelner Staubquellen,
um Staubminderungsmaßnahmen mit dem größtmöglichen Erfolg und
dem effizientesten Kosteneinsatz durchführen zu können**

Bericht über die wichtigsten Projektergebnisse

(Februar 2019)

öko-control GmbH
Burgwall 13a
39218 Schönebeck

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung IFF
Sandtorstraße 22
39106 Magdeburg

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	Staubemissionsbestimmung in der Praxis	3
3	Experimentelle Bestimmung der Staubneigung	4
3.1	Vorgehensweise	4
3.2	Labora Aufbau zum Abwurf von Materialproben	5
3.3	Versuchsdurchführung zur Ermittlung des Gewichtungsfaktors a	7
3.4	Berechnungsvorschrift für den Gewichtungsfaktor a.....	8
4	Praktische Anwendung der Labormethode	9
4.1	Gewichtungsfaktor a von Kohle bei unterschiedlichem Feuchtegehalt.....	9
4.2	Vergleich der Ergebnisse mit anderen Verfahren	10
5	Ermittlung des Gewichtungsfaktors a für weitere Schüttgüter	11
5.1	Untersuchungsumfang	11
5.2	Getreide	11
5.3	Düngemittel.....	12
5.4	Sonstige Stoffe	12
6	Erfassung und Auswertung von PM ₁₀ -Staub und PM _{2,5} -Staub	13
6.1	Bedeutung von PM ₁₀ -Staub und PM _{2,5} -Staub	13
6.2	Ergebnisse	14
7	Fazit.....	15

1 Einführung

Die Thematik der Auswirkung von Staubimmissionen, speziell von Feinstaubimmissionen, ist ein weltweit immer mehr in den Fokus der Aufmerksamkeit rückendes Problem, das für viele Menschen ernste gesundheitliche Folgen hat.

Es gibt in der Praxis eine Vielzahl von Arbeitsvorgängen, bei denen Staub emittiert wird. Vor allem in Steinbrüchen, Häfen mit Schüttgutumschlag, bei Stein- und Bauschuttbrecheranlagen, Siebanlagen, Recyclinganlagen und Lagerstätten für Schüttgüter entstehen Staubsituationen. Im Bundesimmissionsschutzgesetz ist geregelt, wie schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverschmutzung zu begrenzen sind. Danach sind die Staubimmissionen zu berechnen, um die Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Höchstwerte der Staubkonzentration und -deposition nachzuweisen. Dafür ist die genaue Kenntnis aller Staubquellen erforderlich, die in einem zu betrachtenden Gebiet auftreten.

Kommt es zu einer Überschreitung gesetzlicher Richtwerte, sind Maßnahmen wie Einhausungen, Absaugungen u. ä. zur Emissionsminderung an den Staubquellen durchzuführen. Diese sind häufig sehr aufwendig.

Effektive Staubminderungsmaßnahmen bei effizientem Kosteneinsatz erfordern die exakte Emissionsermittlung der einzelnen Staubquellen. Meist liegen jedoch keine exakten Angaben der Staubneigung der umgeschlagenen Materialien vor.

Von der öko-control GmbH und dem Fraunhofer IFF wurde deshalb ein Forschungsvorhaben mit dem Ziel durchgeführt, ein Verfahren zur Charakterisierung staubender Materialien zu entwickeln.

2 Staubemissionsbestimmung in der Praxis

Die Staubemission einer Quelle wird mit Hilfe der VDI 3790 [10] berechnet. Die festgestellten Staubemissionen gehen dann unter Berücksichtigung örtlicher Klimadaten in eine Prognoserechnung ein, um die Staubimmissionen an schutzwürdigen Orten (z.B. Wohnbebauung) zu ermitteln. Die Ergebnisse werden mit den nach TA Luft zulässigen Immissionswerten verglichen und bewertet.

Mit Hilfe der VDI 3790 wird für jede zu betrachtende Staubquelle ein individueller, vom Stoff und Verfahren abhängiger Emissionsfaktor q bestimmt.

Die dafür erforderlichen Parameter können relativ genau angegeben werden. Schwierig ist aber die Festlegung des Gewichtungsfaktors a , der die Neigung des Schüttgutes zum Stauben beschreibt. Dieser Wert wird in eine von fünf Stufen eingeordnet:

- $a = \sqrt{10^5}$, stark staubend
- $a = \sqrt{10^4}$, (mittel) staubend
- $a = \sqrt{10^3}$, schwach staubend
- $a = \sqrt{10^2}$, Staub nicht wahrnehmbar
- $a = \sqrt{10^0}$, außergewöhnlich feuchtes, staubarmes Gut.

Die Festlegung des Gewichtungsfaktors hat einen großen Einfluss auf den Emissionswert, da sich die einzelnen Staubklassen mindestens um den Faktor 3 unterscheiden.

Diese Materialeigenschaft hängt jedoch von vielen Parametern ab, beispielsweise von der Feuchtigkeit des Stoffes an der Emissionsquelle oder dessen Feinheit. Vermeintlich ähnliche Materialien unterscheiden sich häufig deutlich in der Staubneigung.

Bei der Anwendung der VDI 3790 ist der Gewichtungsfaktor a oft nicht bekannt und wird geschätzt. [2] Die Emissionsprognose wird dadurch ungenau. In [6] wurde der Hinweis gegeben, dass bei der Erarbeitung der VDI 3790 nur Daten von einzelnen Betrieben der Eisen- und Stahlerzeugung als Datenbasis herangezogen. Weitere Daten wurden geschätzt bzw. angenommen.

Aus diesen Unsicherheiten hinsichtlich der Staubneigung von Stoffen leitet sich die Motivation für ein Vorhaben zur genauen Ermittlung dieser Eigenschaft ab.

3 Experimentelle Bestimmung der Staubneigung

3.1 Vorgehensweise

Auf der Basis von Materialproben soll die Staubneigung für an einer Emissionsquelle verwendete Materialien ermittelt werden. Dieses ist in einem Laborversuch möglich, bei dem die Probe zur Staubabgabe angeregt und die entstehende Staubkonzentration gemessen wird. In einer Versuchsreihe konnte nachgewiesen werden, dass unter gleichen Bedingungen beim Schütten einer Probe in eine Versuchskammer reproduzierbare Staubkonzentrationen gemessen werden können. Diese sind repräsentativ für die Staubneigung des Stoffes. In der Literatur ([1], [3], [4]) wurden solche Anordnungen ebenfalls beschrieben, jedoch nicht in die Praxis der Emissionsmessung überführt.

Ein wesentlicher Punkt ist dabei, dass die Staubneigung des Probenmaterials so bestimmt wird, dass das Ergebnis in die Prognoserechnungen nach der VDI 3790 einfließen kann. Der Laborversuch muss also entsprechend den Bedingungen der Norm gestaltet werden. Die Werte aus den Versuchen müssen auf einen Wert zurückgeführt werden, der als Gewichtungsfaktor a , konform zur VDI 3790, verwendet werden kann.

Der Staubfaktor a fließt in der Norm in die Berechnung der Emission einer Staubquelle ein. Der Emissionsfaktor q_{Ab} einer Staubquelle wird in $[g/t_{Gut}]$ angegeben.

Er berechnet sich wie folgt (VDI 3790):

$$q_{Ab} = q_{norm} * k_H * 0,5 * k_G * q_s * k_U \quad [g/t_{Gut}] \quad (1)$$

Dabei bedeuten:

q_{norm} ... normierter Emissionsfaktor

k_H ... Auswirkungsfaktor (Berücksichtigung der Fallhöhe)

k_G ... gerätespezifischer Korrekturfaktor (Berücksichtigung der Abwurftechnik)

k_U ... Umfeldfaktor (Emissionsminderungen durch vorhandene Einrichtungen)

q_s ... Schüttdichte in $[t/m^3]$

Bei diskontinuierlichen Abwurfverfahren wird der normierte Emissionsfaktor q_{norm} mit Hilfe der Gleichung (2) abgeschätzt:

$$q_{\text{norm}} = a * k * M^{-0,5} \quad (2)$$

Es bedeuten:

- a ... Gewichtungsfaktor (dimensionslos)
- k ... Verfahrensfaktor (z.B. Greifer / diskontinuierlich $k = 2,7$)
- M ... Abwurfmasse je Hub in [t]

Der Gewichtungsfaktor a ist hierbei die Materialcharakteristik, die im Vorhaben bestimmt werden soll und hier als Unbekannte gilt.

Bei der experimentellen Methode wird die Emission einer Staubquelle gemessen. Danach kann die Berechnung des unbekannten Gewichtungsfaktors a nach dem o.g. Zusammenhang erfolgen.

3.2 Laboraufbau zum Abwurf von Materialproben

Im Rahmen des Entwicklungsvorhabens wurde eine experimentelle Methode zur exakten Bestimmung des Gewichtungsfaktors a entwickelt, die auf der Basis von Materialproben eine stufenlose Einordnung von deren Staubneigung ermöglicht.

Diese experimentelle Labormethode beruht auf der Aufzeichnung der Staubkonzentration in einer Messkabine nach dem Abwurf einer Materialprobe. Die Abwurfteinrichtung ist so gestaltet, dass sie einer Abwurfmethode aus der VDI 3790 nahe kommt, um eine Korrelation zwischen dem Versuchsaufbau und den realen Bedingungen im Schüttgutumschlag zu ermöglichen. Konkret wurde ein diskontinuierlicher Probenabwurf mittels Greifer nachgebildet.

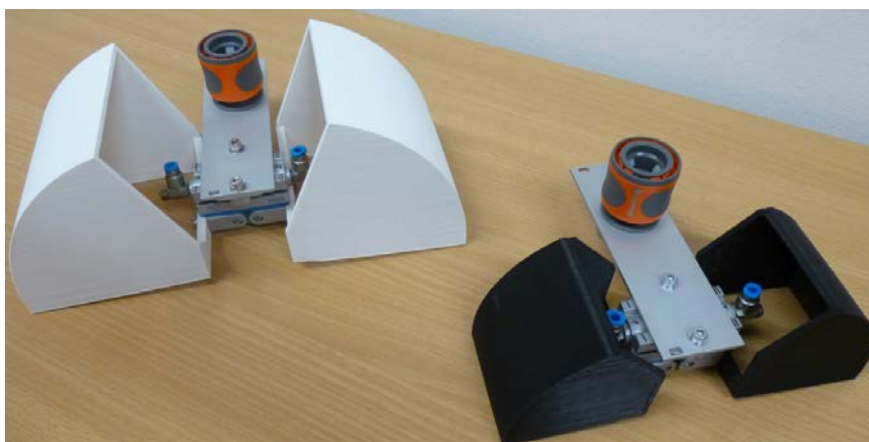


Bild 1: Greifer unterschiedlicher Größe für den Probenabwurf

Bei der Versuchsdurchführung werden unterschiedlich große Greifer (Bild 1) verwendet. Je nach Stärke der Staubneigung der Proben kann so die abzuwerfende Materialmenge variiert werden, ohne die Ab-

wurfcharakteristik zu ändern. Dieses wäre beim Abwurf aus einem nur teilweise gefüllten Greifer der Fall.



Bild 2 und 3: Typischer Verlauf eines Greiferabwurfes

In den Bildern 2 und 3 ist der Verlauf eines Abwurfs aus einem vollen Greifer zu sehen. Die Ausbildung von zwei Abwurfsäulen ist für diese Abwurfart typisch und wichtig für Annäherung des Versuches an die Bedingungen der VDI 3790.

Der Abwurf des Probenmaterials muss unter gleichbleibenden Bedingungen erfolgen. Deshalb wird dafür eine Messkabine verwendet, die den Ablauf von unerwünschten äußeren Einflüssen (z.B. Zugluft, starke Temperaturschwankungen, Eingriffe von Personen) schützt. Das Volumen der Messkabine ist für die spätere Umrechnung der Staubkonzentration in die emittierte Staubmenge von Bedeutung. Zur Anpassung des Versuches in die Staubneigung der Materialien können die Abwurfhöhe und die Greifergöße variiert werden. Die Versuchskabine ist im Bild 4 dargestellt.



Bild 4: Versuchskabine für Probenabwürfe

Der Greifer wird für den Probenabwurf von außen pneumatisch betätigt. Die Messung des Staubgehalts in der Versuchskammer erfolgt über ein Staubmessgerät mit integrierter Probenansaugung.

3.3 Versuchsdurchführung zur Ermittlung des Gewichtungsfaktors a

Mit Hilfe der beschriebenen Versuchsanordnung kann die Staubneigung einer Probe zuverlässig bestimmt werden. Dabei ist eine sorgfältige Versuchsdurchführung erforderlich. Beispielsweise muss die Befüllung des Greifers außerhalb der Versuchskabine erfolgen. Dabei ist unnötige Staubentwicklung zu vermeiden. Beim Reinigen der Versuchskabine dürfen ebenfalls keine Stäube entstehen, die nachfolgende Versuche beeinflussen könnten.

Der eigentliche Versuch startet bei geschlossener Messkabine mit dem Abwurf des Probenmaterials. Der Greifer ist in einer Höhe von einem Meter positioniert. Der Verlauf der Staubentwicklung der Probe wird dabei kontinuierlich über einen definierten Zeitraum aufgezeichnet, wobei eine gleichmäßige Staubverteilung in der Messkabine Voraussetzung für die Bestimmung des Ergebnisses ist. Während der Messung erfolgt bereits die Sedimentation des Staubes. Es stellt sich ein bestimmter Staubkonzentrationsverlauf ein, der von anfänglichen Verwirbelungen und vom Abklingen der Staubkonzentration geprägt ist.

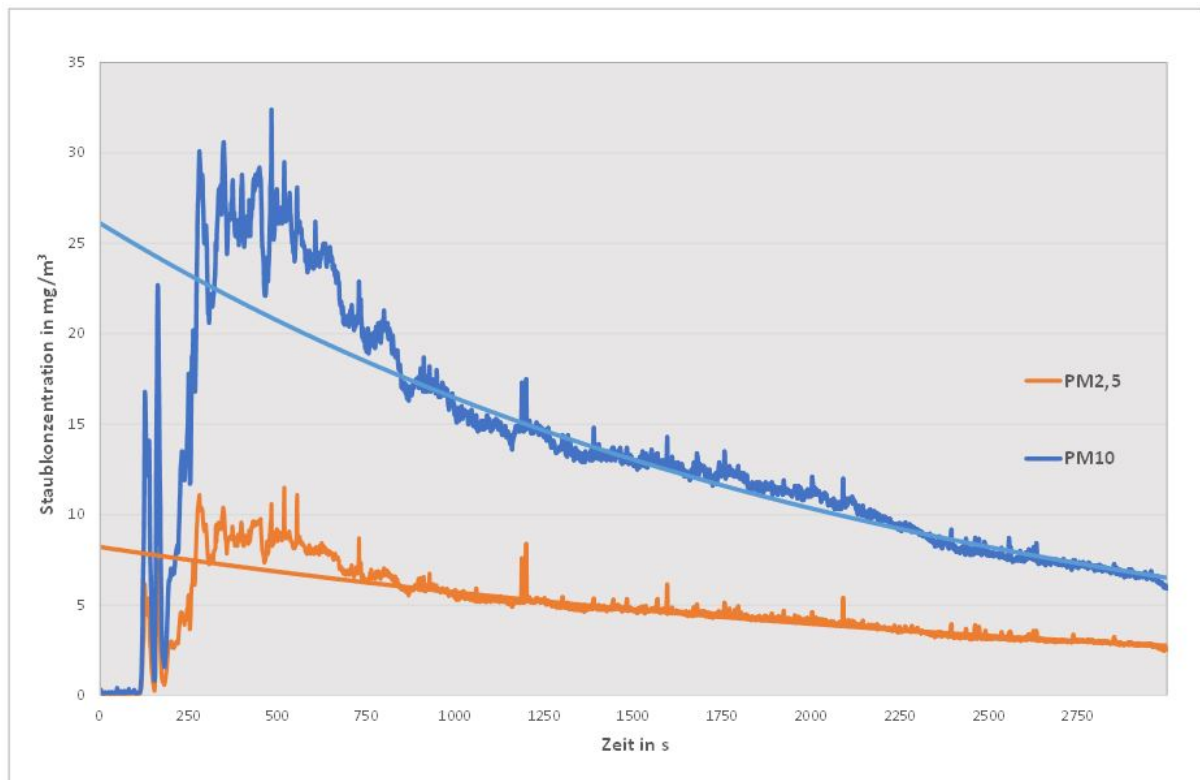


Bild 5: Typischer Staubkonzentrationsverlauf beim Probenabwurf

Für die Ermittlung der Staubneigung des Stoffes ist nun die Staubentwicklung unmittelbar nach dem Abwurf von Interesse. Die am Anfang emittierte Staubmenge würde in der Praxis des Schüttgutumschlags freigesetzt werden.

Die Anfangsstaubkonzentration ergibt sich aus der Approximation der Abklingkurve.

3.4 Berechnungsvorschrift für den Gewichtungsfaktor a

Aus der Anfangsstaubkonzentration des Abwurfversuchs lässt sich mit Hilfe der Abwurfmenge und des Kabinenvolumens ein für die Materialprobe individueller Emissionsfaktor berechnen. Dieser kann für die Ermittlung des Gewichtungsfaktors a verwendet werden, der dann stufenlos mit individuellen Zwischenwerten für die betrachteten Materialien vorliegt.

Setzt man die Gleichung (2) in die Gleichung (1) ein, so erhält man:

$$q_{Ab} = a \cdot 2,7 \cdot M^{-0,5} \cdot k_H \cdot 0,5 \cdot k_G \cdot \rho_s \cdot k_U \quad [g/t_{Gut}] \quad (3)$$

Nach a umgestellt ergibt sich diese Bestimmungsgleichung für den Gewichtungsfaktor:

$$a = q_{Ab} / 2,7 \cdot M^{-0,5} \cdot k_H \cdot 0,5 \cdot k_G \cdot \rho_s \cdot k_U \quad (4)$$

Der Rechenweg zur Bestimmung von a soll an Hand eines Beispiels erläutert werden:

Beispiel Abwurfversuch mit Kohle:

Abwurfmaterial: Steinkohle

Abwurfmenge: 150 g

Volumen Messkabine: 1,38 m³

PM₁₀ – Anfangsstaubkonzentration nach dem Abwurfversuch: 2,2 mg/m³

Bezieht man das Messergebnis auf den Messraum, so erhält man eine emittierte Staubmenge von 3,04 mg.

Rechnet man diese Staubmengen entsprechend der Versuchsabwurfmenge um auf eine Abwurfmenge von einer Tonne, so erhält man den individuellen Emissionsfaktor q_{Ab} in g/t_{Gut}. Damit ergibt sich:

$$q_{AB} = 20,27 \text{ g/t}_{Gut}$$

Ermittlung des Auswirkungsfaktors k_H :

Der Auswirkungsfaktor k_H berücksichtigt die Wurfhöhe und ergibt sich aus der Gleichung:

$$k_H = (H_{frei}/2)^{1,25}$$

H_{frei} - freie Fallhöhe des Schüttgutes in m

Bei einer Abwurfhöhe von 1,3 m ergibt sich für den Auswirkungsfaktor ein Wert von

$$k_H = 0,58$$

Ermittlung von k_G :

Der empirische Korrekturfaktor k_G berücksichtigt die Besonderheit des Greiferabwurfes, bei dem sich nach dem Öffnen zwei Abwurfsäulen bilden, also zwei staubaufwirbelnde Laufwalzen gegenüber anderen Verfahren. Damit ergibt sich:

$$k_G = 2 \text{ (Greifer)}$$

Ermittlung von ρ_s :

Die Schüttdichte ρ_s wird der Tabelle im Anhang B der VDI 3790 entnommen:

$$\rho_s = 1,0 \text{ t/m}^3 \text{ (Steinkohle).}$$

Ermittlung von k_U :

Der Umfeldfaktor k_U berücksichtigt emissionsmindernde Einflüsse durch Einhausungen oder ähnliches. Im vorliegenden Fall ist

$$K_U = 1,0.$$

Gibt man die vorstehenden Größen in die Gleichung (4) ein, so kann man den Gewichtungsfaktor a für einen konkreten Praxisfall, beispielsweise für einen Greiferabwurf von $M = 10 \text{ t/Hub}$, berechnen:

$$a = 20,27 \text{ g/t}_{\text{Gut}} / 2,7 \cdot 0,316 \cdot \text{m}^3/\text{t} \cdot 0,58 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 1,0 \text{ t/m}^3 \cdot 1,0$$

$$a = 41,4$$

Das bedeutet, dass der ermittelte Gewichtungsfaktor a entsprechend der VDI 3790 in der Nähe der Klasse „schwach staubend“ ($\sqrt[2]{10^3} = 31,6$) liegt.

Damit kann in dem Beispiel mit dem Wert für $a = 41,4$ die Emission der Quelle „Greiferabwurf“ berechnet werden.

4 Praktische Anwendung der Labormethode

4.1 Gewichtungsfaktor a von Kohle bei unterschiedlichem Feuchtegehalt

Der Gewichtungsfaktor a hängt stark von der Materialfeuchte ab. Das wurde am Beispiel von Steinkohle untersucht. Durch unterschiedlich langes Trocknen wurden die verschiedenen Feuchtigkeitszustände der Steinkohle erreicht.

Es wurden vier Materialproben (Feuchte 2%, 4%, 8% und 12%) mit Hilfe der Staubmesskammer untersucht. Dabei wurden die Versuche jeweils dreimal durchgeführt. Die Abwurfmenge betrug immer 150 g Steinkohle.

Im Ergebnis wurden die folgenden über drei Abwurfversuche gemittelten Staubkonzentrationen für den PM₁₀-Staub bestimmt und in den individuellen Emissionsfaktor umgerechnet:

Materialprobe	Messergebnisse PM ₁₀	Berechnung
	Staubkonzentration	Emissionsfaktor q _{Ab}
Steinkohle 2 % Feuchte	3,59 mg/m ³	33,04 g/t _{Gut}
Steinkohle 4 % Feuchte	2,93 mg/m ³	26,94 g/t _{Gut}
Steinkohle 8 % Feuchte	0,41 mg/m ³	3,47 g/t _{Gut}
Steinkohle 12 % Feuchte	0,11 mg/m ³	1,09 g/t _{Gut}

Für einen Greiferabwurf von 10 t/Hub, eine Abwurfhöhe von 1,3 m, eine Schüttdichte von 1,0 t/m³ ergeben sich die folgenden Gewichtungsfaktoren für PM₁₀-Staub:

Materialprobe	Gewichtungsfaktor a	Staubneigung
Steinkohle 2 % Feuchte	66,7	zwischen mittel und schwach
Steinkohle 4 % Feuchte	54,4	zwischen mittel und schwach
Steinkohle 8 % Feuchte	7,0	nicht wahrnehmbar
Steinkohle 12 % Feuchte	2,3	außergewöhnlich feucht

Die Ergebnisse zeigen, dass die Materialfeuchte einen großen Einfluss auf den Gewichtungsfaktor a hat. Es ist deshalb bei den Berechnungen der Staubemission einzelner Quellen unerlässlich, die jeweilige Materialfeuchte zu ermitteln und zu beachten.

4.2 Vergleich der Ergebnisse mit anderen Verfahren

Um das Messverfahren validieren zu können, müssen die Ergebnisse mit anderen Verfahren verglichen werden.

Eine Vergleichsmöglichkeit bietet die VDI 3790. Auf der Seite 56 wird für Steinkohle ein Gewichtungsfaktor zwischen a = 10 („Staub nicht wahrnehmbar“) und a = 31,6 („schwach staubend“) angegeben.

In einem Projektbericht der Firma iMA [5] werden für Steinkohle je nach Feuchte ebenfalls Werte für a zwischen 10 und 31,6 genannt.

In der Dissertation von Tao Xu [8] wurden ebenfalls Werte angegeben, die das hier vorgestellte experimentelle Verfahren bestätigen.

Es zeigt sich, dass die von uns ermittelten Werte für a in den Größenordnungen der Literaturwerte liegen.

5 Ermittlung des Gewichtungsfaktors a für weitere Schüttgüter

In der VDI 3790 wird in den Anhängen A und B Klassifizierungen organischer und anorganischer Schüttgüter nach optischen Aspekten beim Umschlagvorgang gemacht. Das heißt, dass für einzelne Materialien die zu erwartende Staubentwicklung durch Angabe von Gewichtungsfaktoren prognostiziert wird. Allerdings wird nicht für jedes aufgeführte Schüttgut eine Angabe gemacht oder es wird nur ein weiter Bereich genannt, der bis zu drei Einstufungen für a umfassen kann. Es besteht die Möglichkeit, mit Hilfe des hier vorgestellten Verfahrens zur Ermittlung des Gewichtungsfaktors für bestimmte Stoffe den exakten Gewichtungsfaktor zu bestimmen.

5.1 Untersuchungsumfang

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden, soweit Materialproben verfügbar waren, Schüttgutumschläge in verschiedenen Gewerbebetrieben betrachtet. Die Gewichtungsfaktoren wurden für folgende Stoffarten bestimmt:

- Getreide
- Düngemittel
- Sonstige Stoffe

Im Einzelnen wurden untersucht:

- Weizen
- Roggen
- Ammoniumsulfat Harnstoff
- Diammoniumhydrogenphosphat
- Bauxit
- Eisenoxid

5.2 Getreide

Für Weizen und Roggen wurden jeweils drei Abwurfversuche durchgeführt. Die in der Messkabine ermittelten Staubkonzentrationen wurden gemittelt und mit Hilfe von Gleichung (3) in individuelle Emissionsfaktoren umgerechnet.

Materialprobe	Messergebnisse PM_{10}	Berechnung
	Staubkonzentration	Emissionsfaktor q_{Ab}
Roggen	14,3 mg/m ³	16,8 g/t _{Gut}
Weizen	15,7 mg/m ³	18,7 g/t _{Gut}

Für einen LKW-Abwurf in die Schüttgasse (15 t), eine Abwurfhöhe von 2,0 m, eine Schüttdichte von 0,5 t/m³ (Roggen) und 0,6 t/m³ (Weizen) ergeben sich nach Gleichung (4) die folgenden Gewichtungsfaktoren a :

Materialprobe	Gewichtungsfaktor a	Staubneigung
Roggen	127,3	mittel staubend
Weizen	118,3	mittel staubend

5.3 Düngemittel

Es ergaben sich die folgenden über drei Versuche gemittelten Staubkonzentrationen für den PM₁₀-Staub. Hieraus errechnen sich mit Hilfe der Gleichung (3) die individuellen Emissionsfaktoren.

Materialprobe	Messergebnisse PM ₁₀	Berechnung
	Staubkonzentration	Emissionsfaktor q _{Ab}
Ammoniumsulfat	7,5 mg/m ³	5,4 g/t _{Gut}
Diammoniumhydrogenphosphat	0,38 mg/m ³	0,53 g/t _{Gut}

Für einen Greiferabwurf (10 t), eine Abwurfhöhe von 2,0 m, eine Schüttdichte von 1,0 t/m³ (Ammoniumsulfat) und 0,83 t/m³ (Diammoniumhydrogenphosphat) ergeben sich die folgenden Gewichtungsfaktoren a:

Stoff	Gewichtungsfaktor a	Staubneigung
Ammoniumsulfat	6,3	zwischen außergewöhnlich feucht und nicht wahrnehmbar
Diammoniumhydrogenphosphat	1,7	außergewöhnlich feucht

5.4 Sonstige Stoffe

Es wurden Proben der auf einem Betriebsgelände lagernden Schüttstoffe Bauxit und Eisenoxid gewonnen und die Staubkonzentrationen für die vorgefundene Materialfeuchte und für die nach einer Materialtrocknung (entspricht beispielsweise der Oberfläche der Halde bei Trockenheit und Sonnenschein) ermittelt.

Es ergaben sich die folgenden Staubkonzentrationen für den PM₁₀-Staub. Nach Gleichung (3) wurden die individuellen Emissionsfaktoren berechnet.

Materialprobe	Messergebnisse PM ₁₀	Berechnung
	Staubkonzentration	Emissionsfaktor q _{Ab}
Bauxit 10% Feuchte	0,055 mg/m ³	0,15 g/t _{Gut}
Bauxit 6,7% Feuchte	0,11 mg/m ³	0,30 g/t _{Gut}
Bauxit 2,6% Feuchte	1,97 mg/m ³	5,29 g/t _{Gut}
Eisenoxid 7,8% Feuchte	0,10 mg/m ³	0,28 g/t _{Gut}
Eisenoxid 0,8% Feuchte	29,46 mg/m ³	82,75 g/t _{Gut}

Für einen Greiferabwurf (10 t), eine Abwurfhöhe von 2,0 m, eine Schüttdichte von 1,2 t/m³ (Bauxit) und 1,4 t/m³ (Eisenoxid) ergeben sich die folgenden Gewichtungsfaktoren a:

Stoff	Gewichtungsfaktor a	Staubneigung
Bauxit, Feuchte 10 %	0,2	außergewöhnlich feucht
Bauxit, Feuchte 6,7 %	0,4	außergewöhnlich feucht
Bauxit, Feuchte 2,6 %	7,1	zwischen Staub nicht wahrnehmbar und außergewöhnlich feucht
Eisenoxid, Feuchte 7,8 %	0,2	außergewöhnlich feucht
Eisenoxid, Feuchte 0,8 %	65,7	zwischen Staub nicht wahrnehmbar und schwach staubend

6 Erfassung und Auswertung von PM₁₀-Staub und PM_{2,5}-Staub

6.1 Bedeutung von PM₁₀-Staub und PM_{2,5}-Staub

„Feinstaub besteht aus einem komplexen Gemisch fester und flüssiger Partikel und wird abhängig von deren Größe in unterschiedliche Fraktionen eingeteilt. Unterschieden werden PM₁₀ (PM, particulate matter) mit einem maximalen Durchmesser von 10 Mikrometer (µm), PM_{2,5} und ultrafeine Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 0,1 µm.

PM₁₀ kann beim Menschen in die Nasenhöhle, PM_{2,5} bis in die Bronchien und Lungenbläschen und ultrafeine Partikel bis in das Lungengewebe und sogar in den Blutkreislauf eindringen. Je nach Größe und Eindringtiefe der Teilchen sind die gesundheitlichen Wirkungen von Feinstaub verschieden.

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit gelten seit dem 1. Januar 2005 europaweit Grenzwerte für die Feinstaubfraktion PM₁₀. Der Tagesgrenzwert beträgt 50 µg/m³ und darf nicht öfter als 35mal im Jahr überschritten werden. Der zulässige Jahresmittelwert beträgt 40 µg/m³. Für die noch kleineren Partikel PM_{2,5} gilt seit 2008 europaweit ein Zielwert von 25 µg/m³ im Jahresmittel, der bereits seit dem 1. Januar 2010 eingehalten werden soll. Seit 1. Januar 2015 ist dieser Wert verbindlich einzuhalten

und ab dem 1. Januar 2020 dürfen die $PM_{2,5}$ -Jahresmittelwerte den Wert von $20 \mu g/m^3$ nicht mehr überschreiten.“ (Umweltbundesamt [9])

Mit Hilfe der VDI 3790 werden bisher nur die Emissionen für den Feinstaub (meist PM_{10} -Staub) errechnet und anschließende die Ausbreitung mit Hilfe entsprechender Programme zu den Immissionsorten ermittelt. Dabei wird von einem einheitlichen Gewichtungsfaktor a ausgegangen (Ausnahme sind die Emissionen von Fahrwegen).

Das vorliegende Verfahren bietet die Möglichkeit, Gewichtungsfaktoren gleichzeitig für den PM_{10} -Staub und den $PM_{2,5}$ -Staub zu bestimmen. Damit ist die Möglichkeit gegeben, sowohl die Einhaltung der Grenzwerte für den PM_{10} -Staub als auch für den $PM_{2,5}$ -Staub zu überprüfen.

6.2 Ergebnisse

Wenn das Verhältnis der Emissionsfaktoren des PM_{10} -Staubes und des $PM_{2,5}$ -Staubes bekannt ist, kann man aus den Ergebnissen der Ausbreitungsrechnungen für den PM_{10} -Staub auch die Immissionen des $PM_{2,5}$ -Staubes berechnen und mit den entsprechenden Grenzwerten vergleichen. Aus diesem Grund wurden für die untersuchten Stoffe neben dem Emissionsfaktor für den PM_{10} -Staub auch der Emissionsfaktor für den $PM_{2,5}$ -Staub messtechnisch ermittelt. Es ergaben sich die folgenden Ergebnisse:

Stoff	Emissionsfaktor PM_{10} -Staub [g/t _{Gut}]	Emissionsfaktor $PM_{2,5}$ -Staub [g/t _{Gut}]	Anteil des $PM_{2,5}$ - Emissionsfaktors am PM_{10} - Emissionsfaktor
Steinkohle 1%-Feuchte	42,49	13,57	32,3 %
Roggen	1,98	0,72	36,6 %
Weizen	3,26	1,00	30,8 %
Ammoniumsulfat	0,28	0,11	39,3 %
Diammoniumhydrogenphosphat	0,06	0,03	50,0 %
Bauxit, Feuchte 2,6 %	0,61	0,19	31,1 %
Eisenoxid, Feuchte 0,8 %	6,80	3,00	44,1 %

In der Literatur findet man einige Vergleiche des Verhältnisses des $PM_{2,5}$ -Staubes zu dem PM_{10} -Staub. In [7] werden für Stoffe, die in der oberen Tabelle aufgeführt sind, die folgenden Verhältnisse angegeben:

- Eisengießerei (Eisenoxid): 51,5 %
(industrielle Produktionsanlagen mit Abgasreinigung)
- Getreide und Futtermittel: 28,6 %.

7 Fazit

In Laboruntersuchungen sowie bei der praktischen Erprobung konnte der Nachweis geführt werden, dass die Vorgehensweise zur Ermittlung der Staubneigung eines Stoffes (Gewichtungsfaktors a) praktikabel ist und nicht im Widerspruch zur Vorgehensweise nach der VDI 3790 steht. Vielmehr kann mit dem Verfahren der Gewichtungsfaktor a präzise angegeben werden und führt zusammen mit der Vorgehensweise nach der Norm zu Ergebnissen, die, insbesondere für die Durchführung von Emissionsminderungsmaßnahmen, eine effektivere Minderung von Belastungen ermöglichen.

Ein weiterer großer Vorteil des dargestellten Verfahrens ist die Bestimmung des Staubfaktors a für den lungengängigen Staub bzw. des Verhältnisses zwischen PM₁₀- und PM_{2,5}-Staub, wodurch es exakter möglich ist, die Ausbreitung des lungengängigen Staubes in die Umgebung zu berechnen.

Literatur

- [1] Dahmann, Dirk; Hartfiel Gerd-Dieter; Möcklinghof, Klemens (1997): Ein Verfahren zur wirklichkeitsnahen Bestimmung von Schüttgütern. In: *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* (57).
- [2] Düring, I.; Sörgel, C. (2014): Anwendung der Richtlinie VDI 3790 Blatt 3 in der Praxis. In: *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* (74), S. 45–48.
- [3] Eickelpasch, Dietrich: Methodik zur Bestimmung diffuser Staubemissionen beim Schüttgutumschlag. Dissertation.
- [4] Holzhauer, Ralf (1991): Beitrag zur Beurteilung und Weiterentwicklung von Emissionsminderungsmaßnahmen beim Umschlag staubender Schüttgüter. Universität Dortmund.
- [5] iMA Richter & Röckle: Ermittlung von Emissionsfaktoren für die Lagerung und den Umschlag von Kohle: Steinkohle. Projekt-Nr. 09-04_07-FR.
- [6] Pieper, H. (1995): Ein Verfahren zur Beurteilung der Staubentwicklung beim Umschlag von Schüttgütern. Teil 1 bis 3. In: *Staub-Reinhaltung der Luft* (55), S. 25–29, 71–73, 107–110.
- [7] Pregger, Thomas (2006): Ermittlung und Analyse der Emissionen und Potenziale zur Minderung primärer anthropogener Feinstäube in Deutschland. Universität Stuttgart.
- [8] Xu, Tao (2014): Ermittlung repräsentativer Emissionsfaktoren für Feinstaub aus diffusen Quellen beim Umschlag von mineralischen Rohstoffen. Diss. Techn. Univ. Clausthal
- [9] Umweltbundesamt 2016: Luftqualität 2015: Auswertung der Feinstaubwerte; Stand Dezember 2016
- [10] VDI 3790 Blatt 3:20110-01; Umweltmeteorologie - Emission von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern

Autoren

Dr. rer. nat. Wolf-Michael Feldbach

öko-control GmbH; Burgwall 13a; 39218 Schönebeck

Dipl.-Ing. Uwe Amreihn

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung IFF; Sandtorstraße 22; 39106 Magdeburg

Förderung

Das Projekt „Verfahren zur exakten Ermittlung der Emission einzelner Staubquellen, um Staubminderungsmaßnahmen mit dem größtmöglichen Erfolg und dem effizientesten Kosteneinsatz durchführen zu können“ wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes Sachsen-Anhalt finanziert. (Förderkennzeichen 1504/00008 und 1504/00009)



EUROPÄISCHE UNION
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung