

HVG-Mitteilung Nr. 2149

Messungen der Korngröße von staubförmigen Emissionen im Abgas von Glasmelzwannen mit dem achtstufigen Andersen- MARK-III-Impaktor

A. Kasper , I. Ramrath, Saint Gobain Sekurit Deutschland, Herzogenrath

1. Einleitung

Staub gehört zu den klassischen Luftschadstoffen. Insbesondere die Feinstäube, d.h. Stäube mit einem aerodynamischen Durchmesser \varnothing bis 10 Mikrometer, werden und wurden in den letzten Jahren häufig öffentlich diskutiert. Die Umsetzung der EU-Richtlinie 1999/30/EG in nationales Recht hat dazu geführt, dass die Staub-Immisionen limitiert sind, und dass diese Grenzwerte, insbesondere in Ballungsgebieten, fast regelmäßig in unzulässiger Weise überschritten werden. Auch emissionsseitig gelten Grenzwerte, z.B. der TA Luft und der 13. und 17. BImSchVO.

Lt. TA Luft emittiert die Glasindustrie „überwiegend“ Feinstaub. Man differenziert dabei zwischen PM10 ($\varnothing \leq 10 \mu\text{m}$) und PM2.5 ($\varnothing \leq 2.5 \mu\text{m}$). Aus der Diskussion um atembare kristalline SiO₂-Stäube (Cristobalit, Quarz) stammt die PM4-Grenze ($\varnothing \leq 4 \mu\text{m}$). Diese Grenzen beziehen sich stets auf „aerodynamische“ Durchmesser, d.h. „Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von $x \mu\text{m}$ eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist“.

Die Messung der Partikeldurchmesser erfolgt gravimetrisch durch Impaktieren (s. Bild 1). Das partikelbeladene Gas durchströmt bei Rauchgastemperatur eine Serie von Düsen abnehmender Feinheit und wird danach jeweils in eine Kurve gezwungen. Dadurch erhöht sich die Gasgeschwindigkeit von Stufe zu Stufe. Partikel, die größer sind als der eingestellte aerodynamische Durchmesser der jeweiligen Stufe, prallen auf das „Substrat“ (ein filterähnliches Quarzfasermaterial) und werden dort impaktiert, d.h. sie dringen in das Substrat ein oder werden auf seiner Oberfläche durch Adsorption festgehalten. Aerodynamisch kleinere Partikel werden vom Gasstrom weitergetragen. Die abgeschiedenen Partikel werden daher von Stufe zu Stufe feiner. Als letzte Stufe des Impaktors dient ein Filter mit hohem Rückhaltevermögen, der auch die allerfeinsten Partikel quantitativ abscheidet.

Die jeweiligen Abscheidegrenzen des gegebenen Impaktors werden eingestellt durch Wahl der Eingangsdüse des Impaktors und die Absauggeschwindigkeit der nachgeschalteten Gaspumpe. Auch Abgastemperatur und –feuchte sowie die Gasdichte müssen berücksichtigt werden. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde ein achtstufiger Runddüsenimpaktor Mark III der Fa. ANDERSON (USA) verwendet (Bild 2). Der Zeitbedarf für die Messung kann sehr unterschiedlich sein, je nach Partikelbeladung 15 Minuten (Rohgas) bis 24 Stunden (sehr reines Reingas). Die Tabelle 1 zeigt ein Beispiel für eine solche Messung.

Man erkennt bereits ohne Auswertesoftware eine zweispitzige Verteilung mit einem hohen Peak bei Stufe 7/8 und einem kleineren Peak bei Stufe 3. Die Auswertung erfolgt durch Eingabe der Messergebnisse in ein Computerprogramm namens WINCIDRS. Dieses berechnet aus den impaktierten Massen, der Absaugrate, dem Eingangsdüsendurchmesser, der Gasdichte und der Temperatur eine Verteilungs-

kurve mit ca. 40 Punkten. Die Berechnung ist bei jeder Messung exakt gleich, so dass, trotz des nicht einsehbaren Algorithmus des Programms, die Ergebnisse, z.B. zwischen Roh- und Reingas, jedenfalls zumindest vergleichbar sind. Das Ergebnis ist aber auch qualitativ plausibel, weil die o.a. zweispitzige Verteilung „vernünftig“ wiedergegeben wird.

Tabelle 2 zeigt die Betriebsparameter einer untersuchten Floatanlage. Die Messergebnisse im Roh- und Reingas sind im Folgenden exemplarisch dargestellt. Jede Messung wurde 2x wiederholt, wobei jedoch niemals signifikante Unterschiede festgestellt wurden. Man sieht in Bild 3, dass in der Tat „überwiegend“ Feinstaub emittiert wird (Tabellen neben Grafiken). Im Beispiel war die Absorptionsrate im Elektrofilter (EF), ohne Berücksichtigung des zugesetzten Absorptionsmittels, 99.4%. In anderen Fällen wurden aber auch geringere Absorptionsraten von z.B. 90% gemessen.

Das extreme Beispiel wird hier gewählt, weil trotz des großen Unterschieds in der Absolutkonzentration nur ein geringfügiger Unterschied in der Größenverteilung der Stäube gemessen wird. Bild 4 zeigt die beiden Verteilungen im gleichen Maßstab, wobei das Reingasergebnis rot unterlegt wurde, weil es sonst gar nicht zu erkennen wäre.

Der Vergleich mit quantitativen Staubmessungen nach VDI 2066 zeigte im Rahmen der Messgenauigkeit keinen signifikanten Unterschied, aber eine höhere Streubreite der Impaktormessungen.

Die Grafiken in Bild 5 fassen alle im Rahmen unserer Studie erhaltenen Ergebnisse zusammen.

Man erkennt:

- keine signifikanten Unterschiede zwischen Roh- und Reingas (abgesehen von den Konzentrationen),
- keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Anlagen, obwohl deren Betriebsparameter (Brennstoff, Tonnage, Scherbensatz etc.) teilweise sehr unterschiedlich waren (Tabelle 3).

Die chemische Analyse der auf den unterschiedlichen Stufen abgeschiedenen Stäube ist im Rahmen der Messgenauigkeit (EDX) gleich. Je nach Absorptionsmittel finden wir aber unterschiedliche Zusammensetzungen der abgeschiedenen Stäube: Bei Bikarbonat ist CaSO_4 , nicht nachweisbar, bei Kalkhydrat sieht man einen deutlichen Ca-Peak im EDX-Spektrum.

Die chemischen Analysen von Reingasstaub, der nach VDI 2066 auf einem Quarzfaserfilter aufgefangen wurde, und dem vom Elektrofilter abgeschiedenen Filterstaub unterscheiden sich signifikant. Im Beispiel wurde mit Schweröl geheizt, und 15 kg/h Kalkhydrat als Absorptionsmittel wurden eingedüst. Es ist offensichtlich, dass der Reingasstaub im Wesentlichen aus nicht abgeschiedenem Rohgasstaub besteht (auch letzterer enthält ca. 2.4% CaO!), und nur in geringem Umfang aus Feinanteilen des (abreagierten) Absorptionsmittels.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen:

- Aufgrund der nicht einsehbaren Berechnungen kann der Algorithmus des Auswerteprogramms nicht überprüft werden, aber die Auswertemethode ist bei allen Messungen gleich, und sie ist plausibel,
- ca. $(80 \pm 10)\%$ des Staubanteils ist PM10, ca. $(60 \pm 10)\%$ PM2,5,
- innerhalb der Messgenauigkeit werden sehr feine Stäube genauso vermindert wie gröbere. Die Partikelgrößenverteilung in Roh- und Reingas sind sich fast immer sehr ähnlich,
- die chemische Zusammensetzung des Reingasstaubs ähnelt sehr dem Rohgasstaub, ist aber vom abgeschiedenen Filterstaub signifikant verschieden,
- die meisten feineren Partikel aus dem Rohgas werden vor dem Elektrofilter an den gröberen Partikeln des Absorptionsmittels absorbiert: → Der vom EF durchgelassene Staub ist zum größten Teil nicht absorbiertes Rohgasstaub und in geringerem Maße der Feinanteil des Absorptionsmittels.

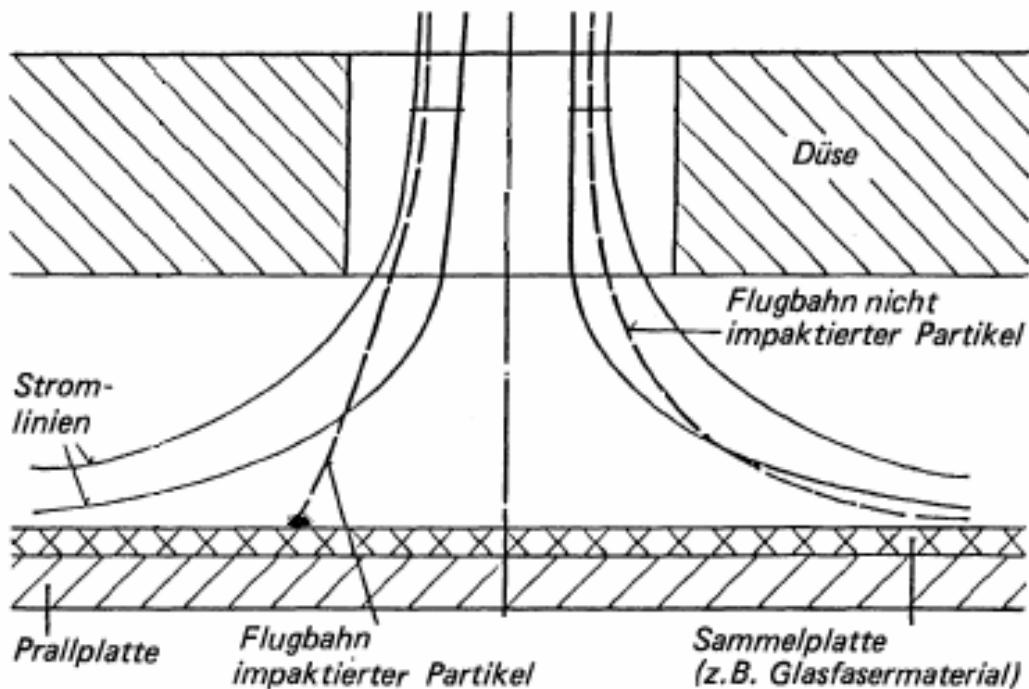


Bild 1: Prinzip der Impaktion von Partikeln → kein Filter.

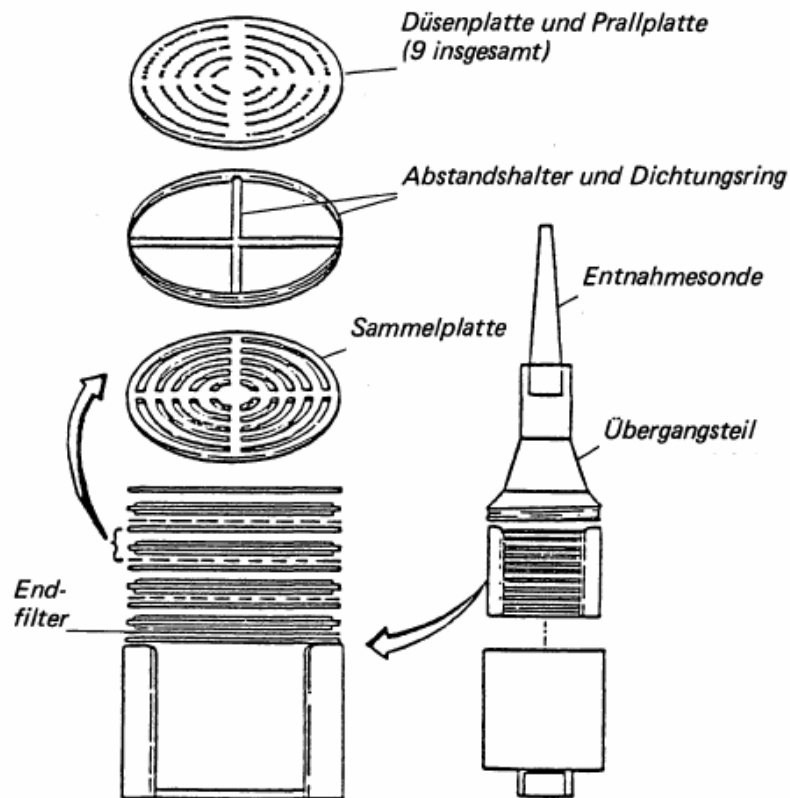


Bild 2: Runddüsenimpaktor mit kombinierten Düsen- und Prallplatte (Typ M III, Andersen Inc., Atlanta, Georgia 30220, USA).

Impaktorstufe	Partikelgrößenintervall		$d_{ae\ 50}$	Masse der Sammelplatte		Impaktierte Masse
	von μm	bis μm		vor g	nach g	
Nr. 1	10,99	und größer	10,9941	0,4474	0,4482	0,8
2	7,24	10,99	9,1148	0,4725	0,4735	1
3	4,64	7,24	5,9382	0,403	0,4041	1,1
4	3,23	4,64	3,9342	0,3994	0,4004	1
5	1,76	3,23	2,4954	0,4589	0,4592	0,3
6	0,77	1,76	1,2651	0,3888	0,3898	1
7	0,41	0,77	0,5866	0,4063	0,4175	11,2
8	0,27	0,41	0,3400	0,3657	0,3784	12,7
F	0,00	0,27	0,1368	0,4347	0,4428	8,1

F: Abschlussfilter

Tabelle 1: Beispiel einer Messung mit dem Impaktor Mark III.

Tonnage:	575	T/d
Glasart	klar	
Abgastemperatur		
Kanal	458	°C
Kamin	250	°C
Befuerung		
Öl	-	kg/h
Gas	ca. 4000	Nm³/h
ESP		
Felderzahl	3	
Absorptionsmittel	Bicarbonat	
	45 kg/h	

Tabelle 2: Betriebsparameter einer Floatanlage (Anlage „8“).

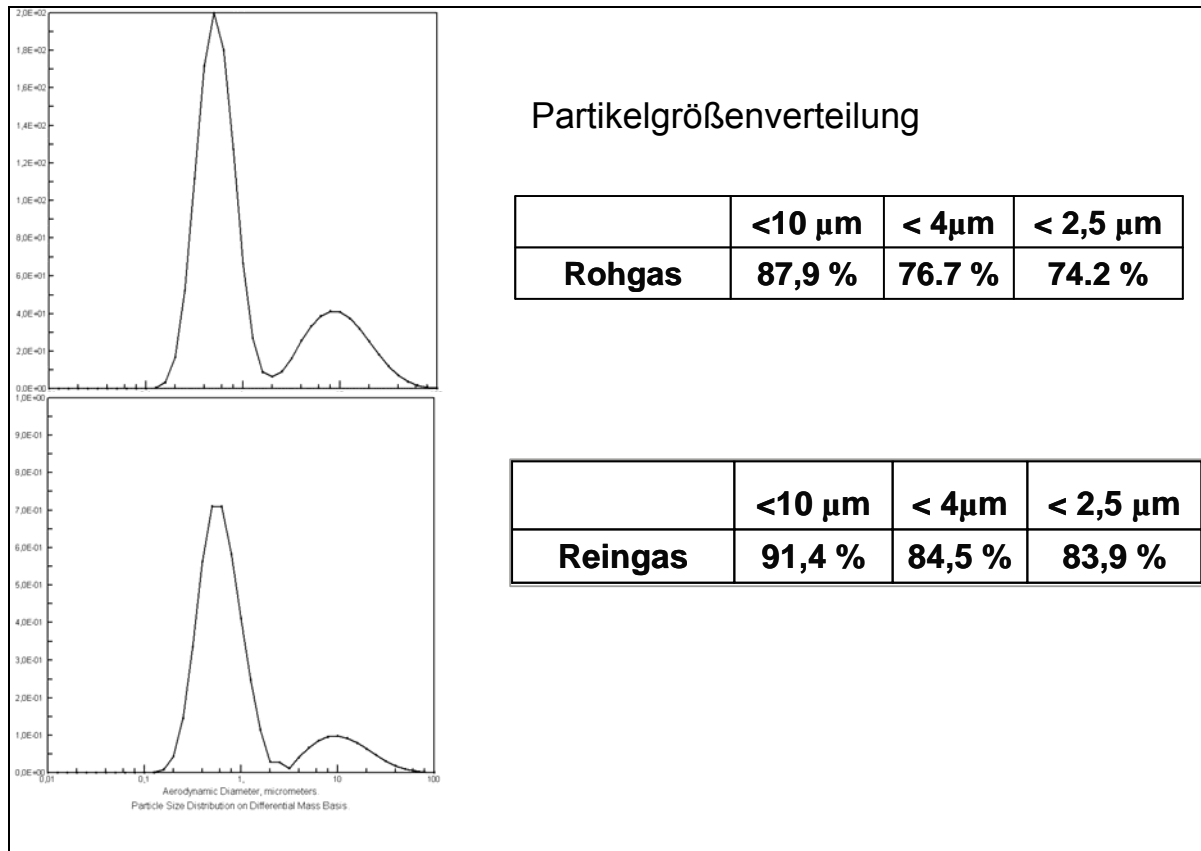


Bild 3: Partikelgrößenverteilung der in Tabelle 2 beschriebenen Anlage.

Messungen der Korngröße von staubförmigen Emissionen

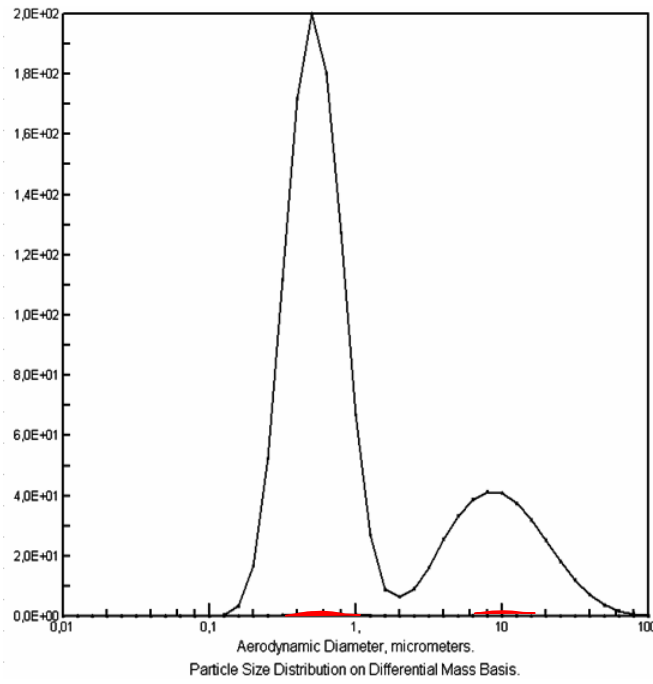


Bild 4: Vergleich der Partikelgrößenverteilung aus Bild 3.

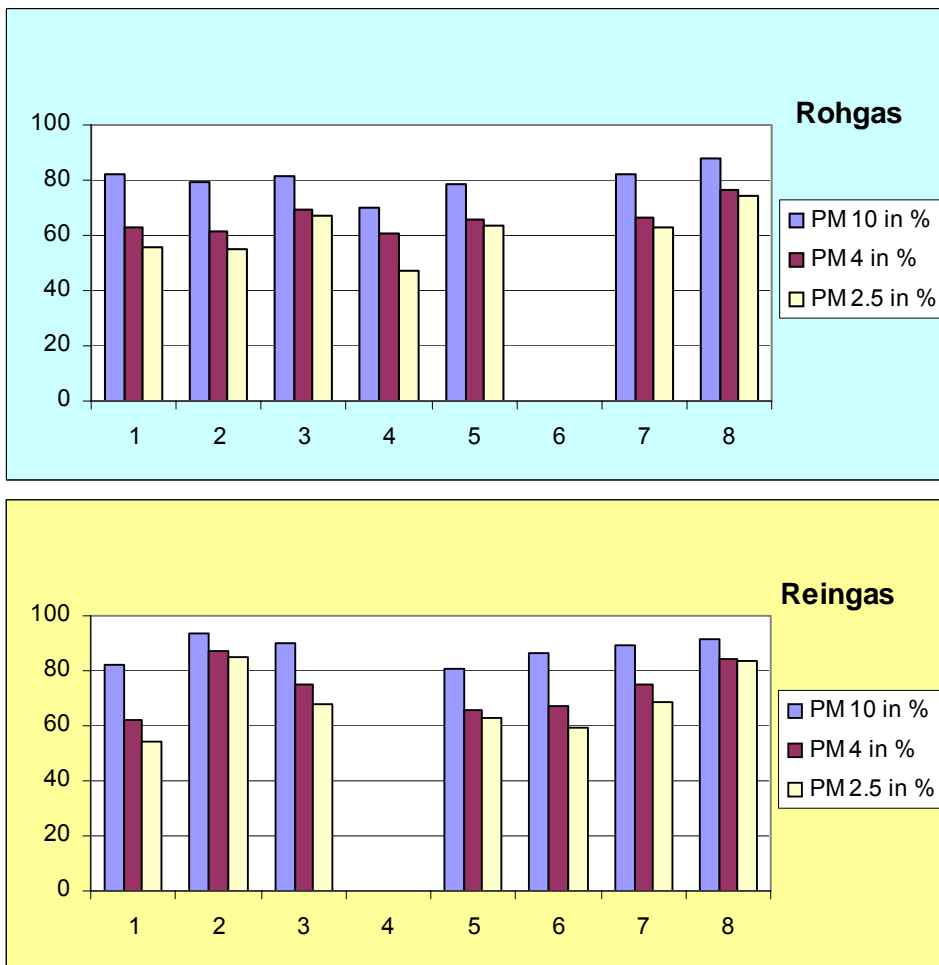
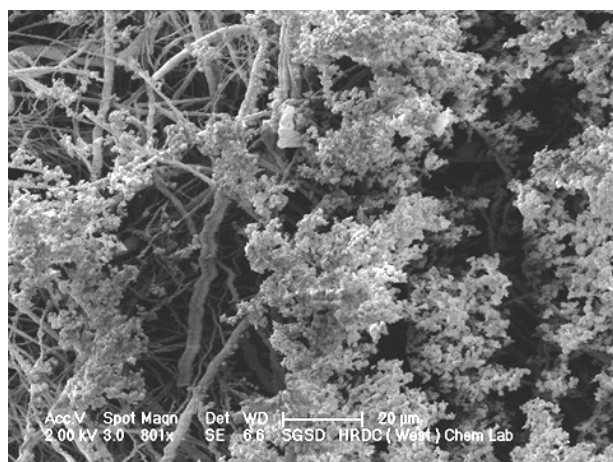


Bild 5: Zusammenfassung aller Messergebnisse.

Werk	Befuerung	ESP Felder	Tonnage T/d	T Kanal °C	T Kamin °C
1	Gas/Öl	4	630	217	205
2	Gas/Öl	3	853	486	209
3	Gas	4	650	443	330
4	Gas	-	560	--	412
5	Öl	2	272	490	290
6	Gas	2	600	--	312
7	Öl	2	270	490	390
8	Gas	2	560	485	250

Tabelle 3: Betriebsparameter der untersuchten Anlagen.



Gasbefeuerte Floatwanne

Absorptionsmittel $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Platte 5

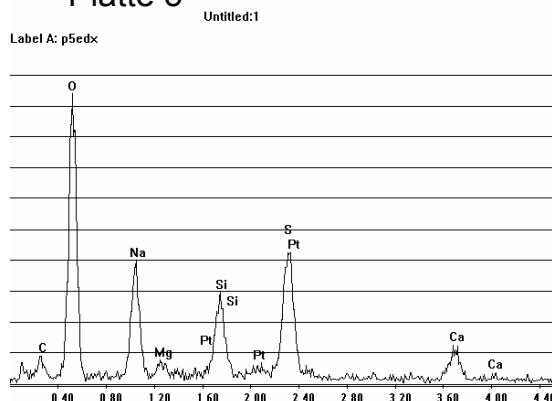


Bild 6: Beispiel eines Elektronenmikroskop- und EDX-Befundes.

Analyse des bei der Messung nach VDI 2066 aufgefangenen Reingasstaubs

11+Na ₂ O	35.44	0.17
12+MgO	1.88	0.04
13+Al ₂ O ₃	1.74	0.04
16+SO ₃	54.10	0.48
19+K ₂ O	1.14	0.02
20+CaO	3.63	0.21
22+TiO ₂	0.0801	0.0074
23+V ₂ O ₅	0.463	0.017
28+NiO	0.089	0.019

Analyse des Staubs aus dem Elektrofilter

11+Na ₂ O	16.68	0.13
12+MgO	0.582	0.023
13+Al ₂ O ₃	0.261	0.015
16+SO ₃	34.05	0.59
17+Cl	0.539	0.022
19+K ₂ O	0.369	0.013
20+CaO	30.05	0.60
22+TiO ₂	0.0134	0.0011
23+V ₂ O ₅	0.204	0.003
28+NiO	0.0315	0.0008

Tabelle 4: Staubanalysen.

