

Dipl.-Ing. Marc Plinke, Bad Homburg

**Vorhersage der Staub-
entstehung bei der
industriellen Handhabung
von Pulvern**

Reihe **3**: Verfahrenstechnik

Nr. **398**

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Problemstellung und Abgrenzungen	2
3. Stand des Wissens	4
3.1. Haftkräfte	4
3.1.1. Messung der Haftkräfte	4
3.1.2. Methoden zur Charakterisierung der Partikelhaftung im Haufwerk	6
3.2. Trennkräfte	8
3.3. Staubentstehung	11
4. Theorie	16
4.1. Materialspezifischer Ansatz zur Berechnung der Staubentstehung	16
4.2. Allgemeiner Ansatz zur Berechnung der Staubentstehung	17
4.3. Beanspruchungsmechanismen von Partikeln und Agglomeraten in Fallversuchen	17
5. Versuchsanordnung und Durchführung	21
5.1. Messung der Haftkräfte	21
5.1.1. Peschl Schergerät	21
5.1.2. Vorkomprimierung / Vorkonsolidierung	22
5.1.3. Abhängige Variablen	23
5.2. Messung der Trennkräfte	24
5.2.1. Meßapparatur	24
5.2.2. Abhängige Variablen	25
5.2.2.1. Impaktion	25
5.2.2.2. Normierte Impaktion	26
5.3. Messung der Staubentstehung	27
5.3.1. Staubmeßapparat	27
5.3.2. Abhängige Variablen	28
5.3.2.1. Spezifische Staubentstehungsrate	28
5.3.2.2. Gesamtstaubentstehungsrate	29
5.3.3. Weitere abhängige Variablen	29
5.3.3.1. Schüttungsdichte	29
5.3.3.2. Eingeogene Luft	30
5.3.3.3. Auftreffhaufen	30

5.4. Unabhängige Variablen	30
5.4.1. Fallhöhe	30
5.4.2. Materialmassenfluß	31
5.4.3. Materialeigenschaften	32
5.4.4. Materialfeuchte	32
5.4.5. Partikelgröße	33
5.5. Experimentalprogramm	35
5.5.1. Messung der Haftkräfte	36
5.5.2. Messung der Trennkräfte	36
5.5.3. Messung der Staubentstehung	36
6. Versuchsergebnisse und Diskussion	37
6.1. Haftkräfte	37
6.1.1. Vergleich der Testmethoden	37
6.1.2. Statistische Analyse	39
6.1.3. Einfluß der Materialfeuchte auf die Kohäsion	39
6.1.4. Einfluß der Partikelgrößenverteilung des Originalmaterials auf die Kohäsion	43
6.1.5. Einfluß der Materialeigenschaften auf die Kohäsion	45
6.1.6. Qualität der statistischen Analyse	46
6.2. Trennkräfte	47
6.2.1. Statistische Analyse	47
6.2.2. Einfluß der Fallhöhe auf die Impaktion	48
6.2.3. Einfluß des Materialmassenflusses auf die Impaktion	50
6.2.4. Einfluß der Materialfeuchte auf die Impaktion	52
6.2.5. Einfluß der Partikelgrößenverteilung des Originalmaterials auf die Impaktion	53
6.2.6. Einfluß der Materialeigenschaften auf die Impaktion	55
6.2.7. Gültigkeit der Statistischen Analyse	56
6.3. Staubentstehung	56
6.3.1. Statistische Analyse	56
6.3.2. Einfluß der Haftkräfte auf die Staubentstehung	58
6.3.3. Einfluß der Trennkräfte auf die Staubentstehung	59
6.3.4. Einfluß der Partikelgrößenverteilung des Originalmaterials auf die Staubentstehung	61
6.3.5. Gültigkeit der Statistischen Analyse	61

7. Haftkraftberechnungen zur Vorhersage der Staubentstehung	63
7.1. Berechnung der Haftkräfte im Flüssigkeitsbrückenbereich	63
7.1.1. Bestimmung des Zentriwinkels β	65
7.1.2. Bestimmung des repräsentativen Partikeldurchmessers \bar{d}	65
7.1.3. Haftkraftgleichung	66
7.1.3.1. Abstandsverhältnis der Partikel a/\bar{d}	66
7.1.3.2. Randwinkel der Flüssigkeit δ	68
7.2. Versuchsanordnung für Experimente von Schürmann und Plinke	69
7.3. Vorhersagbarkeit der Staubentstehung durch Berechnung der Haftkräfte im Flüssigkeitsbrückenbereich	69
7.3.1. Gültigkeit der Haftkraftgleichung	73
7.3.2. Einfluß der Materialfeuchte im Flüssigkeitsbrückenbereich auf die Staubentstehung	75
8. Zusammenfassung	77
9. Fehlerbetrachtung	79
9.1. Unabhängige Variablen	79
9.1.1. Fallhöhe	79
9.1.2. Materialmassenstrom	79
9.1.3. Material	80
9.1.4. Materialfeuchte	80
9.1.5. Partikelgröße	81
9.1.5.1. Medianwert der Partikelgrößenverteilung, $d_{3,50}$	81
9.1.5.2. Massenanteil der Partikelgröße d_i im Ausgangsmaterial, $Frac_{3,i}$	81
9.2. Abhängige Variablen	82
9.2.1. Haftkräfte	82
9.2.2. Trennkräfte	82
9.2.2.1. Schüttungsdichte	82
9.2.2.2. Eingeogene Luft	83
9.2.2.3. Auftreffhaufen	83
9.2.2.3.1. Haufendurchmesser in der Auftreffzone	83
9.2.2.3.2. Haufenhöhe	84
9.2.2.3.3. Böschungswinkel	84

9.2.2.4. Impaktion	84
9.2.3. Staubentstehung	85
9.2.3.1. Gesamtstaubentstehungsrate	85
9.2.3.2. Spezifische Staubentstehungsrate	85
10. Anhang	87
A Vorhersagbarkeit der Staubentstehung durch Berechnung der van der Waals-Haftkräfte	
B Einzelphänomene der Staubentstehung	
C Herleitung des relativen Volumen einer Flüssigkeitsbrücke φ	
D Berechnung der Sphärizität für Kalkstein	
E Standard Betriebsanleitung zur Bestimmung der Kohäsion	
F Standard Betriebsanleitung zur Bestimmung der spezifischen Staubentstehungsrate und der Impaktion	
G Standard Betriebsanleitung zur Bestimmung der Materialfeuchte	
11. Literaturverzeichnis	108