

Handhabung von synthetischen Kieselsäuren und Silikaten

Schriftenreihe 28



Inhalt

	Seite
1 Einleitung	4
1.1 Was sind synthetische Kieselsäuren?	4
1.2 Was bedeutet Handhabung?	7
1.3 Handhabung und Gewerbehygiene	8
1.4 Lieferform und Ökologie	9
2 Verpackungs- und Versandformen	10
2.1 Sackversand	10
2.2 Semi-Bulk Versand	11
2.3 Bulk Versand	11
3 Entleerung von Gebinden	12
3.1 Sackentleerung	12
3.1.1 Manuell	12
3.1.2 Halbautomatisch	12
3.1.3 Vollautomatisch	13
3.2 Entleerung von Semi-Bulk Gebinden	13
3.2.1 Entleerung von Fällungskieselsäuren aus FIBC	13
3.2.2 Entleerung von AEROSIL® Produkten aus Semi-Bulk Gebinden	14
3.3 Entleerung von Silofahrzeugen und Containern	14
4 Förderverfahren	15
4.1 Pneumatische Förderung	15
4.1.1 Dünnstromförderung	16
4.1.2 Strähnenförderung	16
4.1.3 Dichtstromförderung	17
4.2 Förderung durch Pumpen	17
4.3 Mechanische Förderung	18
4.4 Weitere Hinweise	19
4.4.1 Förderleitungen	19
4.4.2 Elektrostatische Aufladung	19
4.4.3 Abscheidesysteme	19
5 Silierung von synthetischen Kieselsäuren	20
5.1 Silogeometrie und -volumina	20
5.2 Austragshilfen	21
5.3 Füllstandsmessung	22
5.4 Ermittlung der Fließeigenschaften	23
6 Dosierung von synthetischen Kieselsäuren	25
6.1 Gravimetrische Dosierung	25
6.1.1 Kontinuierlich	25
6.1.2 Diskontinuierlich	26
6.2 Volumetrische Dosierung	27
7 Staubfreies Arbeiten im Betrieb	28
7.1 Herkömmliche Arbeitsweisen	28
7.2 Systeme zur Einarbeitung von synthetischen Kieselsäuren in Flüssigkeiten	28
8 Einfluß der Handhabung auf die Produkteigenschaften	29
9 Produktsicherheit	30
9.1 Toxikologie und Arbeitshygiene	30
9.2 Sicherheitstechnik	31
9.3 Umweltverhalten	31
9.4 Entsorgung	31
9.5 Gesetzliche Regelungen	31

1 Einleitung

1.1 Was sind synthetische Kieselsäuren?

Synthetische Kieselsäuren in Form von Kieselgel sind schon aus der Zeit des ersten Weltkrieges bekannt. Diese wurden damals vor allem als Adsorptionsmittel in Schutzmasken eingesetzt. Ein neues Anwendungsgebiet eröffnete sich später durch den Einsatz als Trocknungsgel. An eine großtechnische Produktion synthetischer Kieselsäuren war jedoch zu diesem Zeitpunkt aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu denken.

Nach dem zweiten Weltkrieg wurden andere Herstellungsverfahren bekannt, die Produkte mit veränderten Eigenschaften lieferten. Für diese synthetischen Kieselsäuren ergaben sich schnell neue Anwendungsgebiete, so dass sie im Laufe der Zeit im großtechnischen Maßstab hergestellt werden mussten.

Die synthetischen Kieselsäuren teilt man, entsprechend ihrer Herstellungsverfahren, in zwei große Gruppen ein. Man unterscheidet zwischen pyrogenen oder thermisch erzeugten Kieselsäuren und jenen Kieselsäure-Produkten, die nasschemisch hergestellt werden. Ebenfalls im Nassverfahren hergestellt werden Silikate, wie z. B. SIPERNAT® 820A. Diese Produkte sind im Folgenden nicht extra erwähnt, da das Verhalten hinsichtlich ihrer Handhabung dem der Fällungskieselsäuren ähnlich ist. Das heißt, die für Fällungskieselsäuren verwendbaren Einrichtungen lassen sich praktisch auf alle nichtkristallinen Silikate übertragen.

Für die in **Tabelle 1** aufgeführten ACEMATT® Produkte gilt es zu beachten, dass die Mattierungswirkung durch die exakte mittlere Teilchengröße und Teilchengrößenverteilung des Mattierungsmittels erreicht wird. Je nach eingesetzter Handhabungstechnik kann es hier ggf. zu Veränderungen am Mattierungsmittel kommen, die je nach Prozessführung (Rezeptur, Dispergiermaschine, Reihenfolge der Zugabe, etc.), am Endprodukt festgestellt werden kann. Evonik Industries stellt nach dem AEROSIL® Verfahren auch hochdisperses Aluminiumoxid und Titanoxid her. Die entsprechenden Handelsbezeichnungen lauten AEROXIDE® Alu C, AEROXIDE® TiO₂ P 25 und AEROXIDE® TiO₂ T 805. Diese Produkte werden trotz ihrer anderen chemischen Natur in dieser Druckschrift mitbehandelt.

Einige charakteristische technische Daten der pyrogenen Kieselsäuren und Fällungskieselsäuren von Evonik sind in **Tabelle 1** zusammengestellt. Falls zusätzliche Eigenschaften wie Aggregat- bzw. Agglomeratgröße für die Auslegung von Anlagendaten benötigt werden, kontaktieren Sie bitte technical.service.aerosil@evonik.com.

Die Röntgenstruktur der hier behandelten Produkte ist mit Ausnahme von AEROXIDE® Alu C, AEROXIDE® TiO₂ P 25 und AEROXIDE® TiO₂ T 805 amorph.

Die in der Tabelle nicht aufgeführte Stoffdichte ist bei allen Produkten ca. 2 g/cm³.

(Ausnahme: AEROXIDE® TiO₂ P 25 mit 4,1 g/cm³ und AEROXIDE® Alu C mit 3,2 g/cm³).

Tabelle 1 Einige charakteristische Daten von Evonik Kieselsäuren und Silikaten

Nr.	Produktbezeichnung	Herstellverfahren	BET-Oberfläche ¹	Stampfdichte ^{2,4}	Mittlere Größe Agglomerate ^{2,3}
			[m ² /g]	[g/l]	[µm]
1	ACEMATT® HK 125	nass	180	130	11,0
2	ACEMATT® HK 400	nass	200	120	6,3
3	ACEMATT® HK 450	nass	500	90	10,5
4	ACEMATT® HK 460	nass	500	85	7
5	ACEMATT® OK 412	nass	130	130	6,3
6	ACEMATT® OK 500	nass	130	130	6,3
7	ACEMATT® OK 520	nass	220	80	6,5
8	ACEMATT® OK 607	nass	130	115	4,4
9	ACEMATT® TS 100	pyrogen	250	50	9,5
10	AEROSIL® 90	pyrogen	90	80	*
11	AEROSIL® 130	pyrogen	130	50	*
12	AEROSIL® 130 V	pyrogen	130	120	*
13	AEROSIL® 150	pyrogen	150	50	*
14	AEROSIL® 150 V	pyrogen	150	120	*
15	AEROSIL® 200	pyrogen	200	50	*
16	AEROSIL® 200 V	pyrogen	200	120	*
17	AEROSIL® 300	pyrogen	300	50	*
18	AEROSIL® 300 V	pyrogen	300	120	*
19	AEROSIL® 380	pyrogen	380	50	*
20	AEROSIL® 380 V	pyrogen	380	120	*
21	AEROSIL® COK 84	pyrogen	185	50	*
22	AEROSIL® MOX 170	pyrogen	170	50	*
23	AEROSIL® MOX 170 V	pyrogen	170	130	*
24	AEROSIL® MOX 80	pyrogen	80	60	*
25	AEROSIL® OX 50	pyrogen	50	130	*
26	AEROSIL® R 104	pyrogen	150	50	*
27	AEROSIL® R 106	pyrogen	250	50	*
28	AEROSIL® R 202	pyrogen	100	60	*
29	AEROSIL® R 805	pyrogen	150	60	*
30	AEROSIL® R 812	pyrogen	260	60	*
31	AEROSIL® R 812 S	pyrogen	220	60	*
32	AEROSIL® R 972	pyrogen	110	50	*
33	AEROSIL® R 972 V	pyrogen	110	90	*
34	AEROSIL® R 974	pyrogen	170	50	*
35	AEROSIL® R 974 V	pyrogen	170	90	*
36	AEROSIL® R 7200	pyrogen	150	230	*
37	AEROSIL® R 8200	pyrogen	160	140	*
38	AEROSIL® TT 600	pyrogen	200	60	*
39	AEROXIDE® Alu C	pyrogen	100	50	*
40	AEROXIDE® TiO ₂ P 25	pyrogen	50	130	*
41	AEROXIDE® TiO ₂ T 805	pyrogen	45	200	*

¹ BET-Oberfläche nach DIN ISO 9277 ² Richtwerte ³ d₅₀ % gemessen durch Laser Diffraktometrie nach ISO 13320 ⁴ nach ISO 787-11

* Für Informationen bezüglich Partikelgröße von pyrogenen Produkten kontaktieren Sie bitte technical.service.aerosil@evonik.com

Nr.	Produktbezeichnung	Herstellverfahren	BET-Oberfläche ¹	Stampfdichte ^{2,4}	Mittlere Größe Agglomerate ^{2,3}
			[m ² /g]	[g/l]	[µm]
42	SIPERNAT® 160	nass	170	80	13
43	SIPERNAT® 22	nass	190	260	120
44	SIPERNAT® 22 S	nass	190	90	13,5
45	SIPERNAT® 22 LS	nass	180	70	9
46	SIPERNAT® 2200	nass	190	250	⁶
47	SIPERNAT® 310	nass	700	95	8,5
48	SIPERNAT® 320	nass	180	160	16,5
49	SIPERNAT® 320 DS	nass	180	90	7,5
50	SIPERNAT® 325 C	nass	130	180	20
51	SIPERNAT® 350	nass	55	120	4,5
52	SIPERNAT® 360	nass	55	180	18,5
53	SIPERNAT® 383 DS	nass	175	90	7,5
54	SIPERNAT® 44 MS	nass	–	550	3,0
55	SIPERNAT® 50	nass	500	175	50
56	SIPERNAT® 50 S	nass	500	105	18,0
57	SIPERNAT® 500 LS	nass	500	70	10,5
58	SIPERNAT® 820 A	nass	95	230	7,0
59	SIPERNAT® 880	nass	35	260	8,5
60	SIPERNAT® D 10	nass	–	85	6,5
61	SIPERNAT® D 17	nass	–	150	10
62	ULTRASIL® 360	nass	55	180	–
63	ULTRASIL® 880	nass	35	260	–
64	ULTRASIL® AS 7	nass	65	220	–
65	ULTRASIL® VN 2	nass	130	180	–
66	ULTRASIL® VN 2 GR	nass	130	270 ⁵	⁶
67	ULTRASIL® VN 3	nass	180	160	–
68	ULTRASIL® VN 3 GR	nass	180	290 ⁵	⁶
68	ULTRASIL® 7000 GR	nass	175	270 ⁵	⁶

⁵ Schüttdichte nach ASTM D1513 ⁶ Granulate werden beschrieben durch <10% kleiner 75 µm und >80% größer 300 µm

1.2 Was bedeutet Handhabung?

Im Rahmen der vorliegenden Druckschriften werden unter Handhabung alle Maßnahmen oder Verfahrensschritte verstanden, die mit Kieselsäuren vorgenommen werden, um sie vom Herstellerwerk bis zum unmittelbaren Einsatzort beim Kunden zu transportieren.

Handhabung umfasst also die Auswahl der Gebinde, den Transport zum Verbraucher und dort die innerbetriebliche Lagerung, Förderung und Dosierung. Die **Tabelle 2** gibt eine Übersicht über die möglichen Verfahrensschritte der Handhabung von Kieselsäuren, vom Hersteller bis zum Verbraucher.

Tabelle 2 Übersicht über die möglichen Verfahrensschritte der Handhabung von Kieselsäuren

Verpackung/ Gebinde	Transport zum Verbraucher		Innerbetrieblich beim Verbraucher	
	Schritt A	Schritt B Lagerung	Schritt C Förderung	Schritt D Dosierung
Schüttgut Bulk	Strassen- oder Schienensilo bzw. Container	Vorratssilo	Pneumatisch, durch Pumpen, mechanisch	kontinuierlich: mechanisch
Schüttgut Semi-Bulk	Kleinbehälter	Klein- behälter Tagessilo		diskontinu- ierlich: mechanisch, pneumatisch
Sackware	Paletten, lose Säcke	Paletten, Tages- (Klein-)silo		gravimetrisch volumetrisch

Tabelle 3 Daten zur Geschichte der Handhabung und der synthetischen Kieselsäure

- 1776** Erste Beachtung der Reibung von Teilchen durch COULOMB (Reibungsgesetz)
- ab 1885** Erste pneumatische Förderanlage
- 1896** JANSSEN führt die Scheibenelement-Methode zur Druckberechnung von Schüttgütern ein
- ab 1910** PRANTL begründet die Strömungstechnik als Wissenschaft
- 1944** Beginn der AEROSIL® Produktion – der ersten pyrogenen Kieselsäure
- ab 1948** Saugförderanlage für pulverförmige Feststoffe
- 1948** Beginn der ULTRASIL® VN 3 Produktion
- ab 1950** JENIKE entwickelt die Übertragung von Schüttguteigenschaften auf die Konstruktion von Silos
- 1960** Beginn des Versandes von Fällungskieselsäuren im Schienen- bzw. Straßensilo
- 1963** Entwicklung der ersten Sackentleermaschine durch die Gebrüder Grün KG
- 1967** Umstellung vom 5 kg AEROSIL® Sack auf einen 10 kg AEROSIL® Sack
- 1968** Beginn der Produktion von SIPERNAT® der ersten sprühgetrockneten Degussa-Kieselsäure
- 1971** Beginn der Nadelung der AEROSIL® Säcke, gleichzeitig generelle Umstellung auf Ventilsäcke
- 1976** Erster regulärer AEROSIL® Straßensilo-Versand
- 1978** Einführung von FIBC (Flexible Intermediate Bulk Container) für ULTRASIL® und SIPERNAT®
- 1989** Inbetriebnahme einer computergesteuerten Saugförderung im Handhabungstechnikum der Degussa AG, Zweigniederlassung Hanau
- 1998** Beginn der Lieferung von AEROSIL® in FIBC
- 1999** Inbetriebnahme der automatisierten, kontinuierlich-gravimetrischen Dosieranlage im Handhabungstechnikum der Degussa AG, am Standort Hanau
- 2000** Inbetriebnahme einer Online-Dispergieranlage im Handhabungstechnikum der Degussa AG,
- 2000** Zweigniederlassung Hanau

1.3 Handhabung und Gewerbehygiene

Alle Verfahrensschritte, die in **Tabelle 2** aufgezeigt sind, sollten darauf ausgerichtet sein, dass eine möglichst staubfreie Handhabung der Kieselsäure gewährleistet wird. Dies ist erforderlich, um einerseits die gewerbehygienischen Bestimmungen einzuhalten, andererseits um Verschmutzun-

gen zu vermeiden. **Tabelle 4** zeigt Grenzwerte der jeweiligen gewerbehygienischen Bestimmungen in einigen ausgewählten Industrieländern. Die angegebenen Expositionswerte beziehen sich auf die jeweils höchstzulässige Konzentration während eines 8-stündigen Arbeitstages und einer Wochenarbeitszeit von 40 Stunden.

Tabelle 4 Expositionsgrenzwerte am Arbeitsplatz für synthetische, amorphe Kieselsäuren und synthetische Silikate in mg/m³, Stand 2011

	Deutschland	Frankreich	Großbritannien	USA
Synthetische amorphe Kieselsäure	4 mg/m ³ *	10 mg/m ³ * 5 mg/m ³ ** (Poussières)	6 mg/m ³ * 2.4 mg/m ³ **	0,8 mg/m ³ *
Silikate	10 mg/m ³ * 3 mg/m ³ ** (Allg. Staubgrenzwert)	10 mg/m ³ * 5 mg/m ³ ** (Poussières)	Ca: 10 mg/m ³ * 4 mg/m ³ ** NaAl: 2 mg/m ³ ***	15 mg/m ³ * 5 mg/m ³ ** (PNOR = particles not otherwise regulated)
Bezeichnung	AGW (Arbeitsplatzgrenzwert)	VLEP (Valeur limites d'exposition professionnelle)	WEL (Workplace exposure limit)	PEL (Permissible emission limit)
Veröffentlichung	AGS (Ausschuss für Gefahrstoffe) TRGS 900 (=Technische Regeln für Gefahrstoffe) und Mitteilung der DFG***	INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité)	EH40/2005 Workplace exposure limits (Health and Safety Executive)	29 Code of Federal Regulations, part 1910 (OSHA = Occupational Safety and Health Administration)
Anmerkung	TRGS 900: Legale Liste Mitteilung: Empfehlung der DFG (Februar 2010)	ED 984 Aide-Mémoire Technique (June 2008)	Update 10/2007	29 CFR 1910.1000 Table Z-1 and Z-3

* Einatembarer Staubanteil ** Alveolengängiger Staubanteil *** Deutsche Forschungsgemeinschaft

1.4 Lieferform und Ökologie

Wie **Tabelle 5** zeigt, wird z.Z. der Hauptanteil an synthetischen Kieselsäuren als Sackware ausgeliefert. Gemessen an dem Bedarf der Industriellen Abnehmer wird sich an dieser Tatsache grundsätzlich in den nächsten Jahren nichts ändern, wenn man von der prozentualen Zunahme des Siloversandes absieht. Der Silotransport ist ökologisch und in den meisten Fällen auch ökonomisch der günstigste Transport. Bei Sackversand müssen die in großer Stückzahl anfallenden Papiersäcke entsorgt werden. Aufgrund der Produkteigenschaften kann dies auf Hausmülldeponien erfolgen. Die Papiersäcke können aber auch der Altpapierverwertung zugeführt und unter Einsatz von Deinking-Verfahren zu Recyclingpapier verarbeitet werden. In Deutschland ist die Papiersackentsorgung über Repasack geregelt (www.repasack.de).

Tabelle 5 Prozentuale Aufteilung des Versandes synthetischer Kieselsäuren nach Verpackungsarten (Europa)

Jahr	Säcke [%]	Semi-Bulk [%]	Full-Bulk (Silo) [%]
AEROSIL® und AEROXIDE®			
1975	91	0	0
1988	80	0	20
1995	60	0	40
2000	50	1	49
2009	61 *	14	25
2012	45	10	45
Fällungskieselsäuren			
1975	86	5	9
1988	75	7	18
1995	59	16	25
2000	50	18	32
2009	30	20	50
2012	25	25	50

* ansteigend zu Lasten Full Bulk durch verstärkten Übersee-Transport

2 Verpackungs- und Versandformen

Evonik Kieselsäuren finden weltweit Anwendung in den verschiedensten Industrien. Abhängig von Einsatzmenge und Art der Einarbeitung bedarf es einer auf diese Faktoren abgestimmte Verpackung. Da sich in den letzten Jahren die Verpackungen unter diesen Gesichtspunkten ständig weiterentwickelt haben, wird an dieser Stelle nur ein kurzer Überblick über die möglichen Verpackungsvarianten gegeben. Die detaillierten Beschreibungen der Verpackungen und welche Produkte in welchen Verpackungen erhältlich sind, entnehmen Sie bitte den entsprechenden „Technischen Informationen“. Diese sind schneller aktualisierbar, was uns in die Lage versetzt den andauernden Entwicklungen auf dem Verpackungssektor Rechnung zu tragen. Bitte fragen Sie nach unserer Technischen Information TI 1232 „Verpackungsformen von Fällungskieselsäuren“, oder nach unserer Technischen Information TI 1231 „Verpackungsformen von AEROSIL® und AEROXIDE®“.

Grundsätzlich sind synthetische Kieselsäuren und Silikate in folgenden Verpackungen erhältlich:

- Sackversand auf Paletten.
In Ausnahmefällen kommen auch lose Säcke zum Versand
- Semi-bulk Gebinde auf Paletten, z. B. FIBC (Flexible Intermediate Bulk Containers) mit in der Regel 2 m³ Inhalt
- Bulk Lieferungen in Silo-LKW oder Silocontainern.
In seltenen Fällen werden auch Schienensilofahrzeuge oder 20 ft, 30 ft and 40 ft ISO-Box-Container mit Inlett eingesetzt.

2.1 Sackversand

Im Allgemeinen wird ein mehrlagiger Papierventilsack verwendet, dessen exakter Aufbau genau auf die Erfordernisse des jeweiligen Produkts bei Transport und Lagerung abgestimmt ist (siehe **Abbildung 1**) Hierbei variieren in erster Linie die Abmessungen, die Papierqualität, die Anzahl der Lagen und eventuelle Beschichtungen oder Zwischenlagen als Feuchtigkeitsschutz. Der Großteil der Sackware kommt heute auf Paletten zum Versand. Die Palettenabmessungen sind dabei auf die jeweiligen Sack- und Transportmittelmaße abgestimmt. Die Paletten sind je nach Erfordernissen umschumpft oder umwickelt. Diese Maßnahmen dienen der Transportsicherung, stellen aber im Falle der Vollumschumpfung auch einen gewissen Witterungsschutz dar.



Abbildung 1
Typische Sackverpackung
von Evonik AEROSIL® und
Fällungskieselsäure
Produkten

2.2 Semi-bulk Versand

Als Semi-Bulk Gebinde werden für synthetische Kieselsäuren heute überwiegend sogenannte FIBC (Flexible Intermediate Bulk Container) eingesetzt (siehe **Abbildung 2**). Diese, auch als Big Bag® oder Super Sack® bezeichneten flexiblen Kleinbehälter liegen in Hinblick auf ihr Fassungsvermögen zwischen den unter 2.1 beschriebenen Säcken und den unter 2.3 beschriebenen Silofahrzeugen. Bewährt hat sich hier der FIBC aus beschichtetem Polypropylengewebe mit speziell abgedichteten Nähten. Je nach Produkt können diese FIBC auch über spezielle Einbauten verfügen, die eine höhere Standfestigkeit ergeben. Ebenfalls vom Produkt, aber auch vom Einsatzgebiet abhängig, ist die eventuelle elektrostatisch-ableitfähige Ausführung der FIBC. Wie unter 3.2 beschrieben, kann die Entleerung der FIBC je nach Produkt unterschiedlich sein. Wie auch die palettierte Sackware können die FIBC ebenfalls umschumpft zum Versand kommen.



Abbildung 2
Beispiel für einen FIBC (Flexible Intermediate Bulk Container)

2.3 Bulk Versand

Bulk Versand ist die kostengünstigste Alternative. Je nach Versandmenge und räumlichen Gegebenheiten beim Abnehmer stellt diese Versandart die ökologisch und ökonomisch optimale Verpackungs- und Transportart dar (siehe **Abbildung 3**).

Die Hauptvorteile sind im Einzelnen:

- Staubarme Handhabung und demnach das Einhalten von Staub- und Emissionsgrenzwerten,
- Bewegung großer Mengen mit minimalem Personaleinsatz,
- Reduzierung der Verpackungskosten,
- Keine Entsorgung von Verpackungsmaterial und Paletten,
- Keine negative Beeinflussung der Produkteigenschaften während des Transportes,
- Geringer Grundflächenbedarf für die Lagerhaltung,
- Günstige Ausgangsbasis für weitere automatische Verarbeitung.

Damit Lieferungen in Bulk übernommen werden können, muss ein entsprechendes Lagersilo beim Kunden vorhanden sein, vgl. Abschnitt 5.1.

Die Silofahrzeuge haben derzeit ein Volumen von 66 m³ und können je nach Produkt zwischen 4 und 18 t fassen (vgl. TI 1231 und TI 1232). In Einzelfällen können auch Silofahrzeuge mit größerem Volumen eingesetzt werden.



Abbildung 3
Beispiel für einen Silo-LKW wie er für AEROSIL® und Fällungskieselsäuren eingesetzt wird.

3 Entleerung von Gebinden

3.1 Sackentleerung

3.1.1 Manuell

Einfache Vorrichtungen, die eine nahezu staubfreie Entleerung von Säcken ermöglichen, können leicht von innerbetrieblichen Werkstätten gebaut werden. Eine besonders einfache Version besteht aus einer Abzugshaube, die auf einem trichterförmigen Unterteil befestigt und an eine geeignete Absaugung angeschlossen ist. Das Unterteil enthält einen Stabrost, auf den der Sack gelegt und mit Hilfe eines Messers in zwei Hälften geteilt wird. Vor der Entleerung der beiden Sackhälften wird die Abzugshaube mit einer flexiblen Staubschürze geschlossen, wodurch Staubaustritt vermieden wird. Bei dieser Verfahrensweise lassen sich 15–20 Säcke pro Stunde entleeren. Die entleerten Sackhälften werden noch in der Haube zusammengerollt und durch eine seitlich angebrachte Öffnung in einen dort befestigten Abfallsack gegeben. Das Unterteil der Entleerungsvorrichtung führt zu einem Sammeltrichter. Von dort aus kann das Produkt direkt dem Verarbeitungsprozess oder einem Zwischen- bzw. Tagessilo zugeführt werden. Diese einfache Version kann zusammen mit anderen Sackentleervorrichtungen im Handhabungstechnikum von Evonik am Standort Hanau gezeigt werden.

Auch andere einfache Apparate (**Abbildung 4**) können eingesetzt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass das Aufschneiden des Sackes, das Entleeren und das Zusammenrollen/-falten des Leersackes innerhalb eines weitestgehend geschlossenen Gehäuses und unter Absaugung geschieht.

Eine weitere manuelle Methode besteht darin, den nur oben geöffneten Sack mittels eines Saugrohres zu entleeren (vgl. **Abbildung 29**). Das Saugrohr ist hierbei an eine Saugförderanlage oder an eine Druckluftmembranpumpe angeschlossen (vgl. 4.1 und 4.2). Es ist unbedingt darauf zu achten, dass das Saugrohr nicht einfach in das Produkt getaucht wird, sondern bei geringer Eintauchtiefe ständig, über die gesamte Oberfläche bewegt wird. Dieses Verfahren arbeitet allerdings nicht staubfrei, da beim Öffnen des Sackes und bei der Entsorgung des leeren Sackes etwas Staub entstehen kann.



Abbildung 4
Manuelle Sackentleerungsvorrichtung

3.1.2 Halbautomatisch

Halbautomatische Sackentleeremaschinen sind in vielfältigen Versionen auf dem Markt erhältlich. Sie unterscheiden sich im Funktionsprinzip oder auch ganz wesentlich im Automatisierungsgrad. So ist z. B. die in **Abbildung 5** dargestellte Sackentleerungsmaschine schon weitestgehend automatisiert. Das Aufschneiden des Sackes, das Entleeren, wie auch das Verdichten des Leersackes erfolgt bereits vollautomatisch. Nur die Beschickung der Maschine erfolgt noch manuell. Der Sack wird auf eine Plattform innerhalb der Maschine gelegt. Danach wird über zwei Drucktaster (Beidhandbedienung) der Entleerungsvorgang gestartet. Die Türe der Maschine schließt sich und der Sack wird von einem rotierenden Messer, welches auf einem Schwenkarm montiert ist, aufgeschnitten. Anschließend klappt die zweigeteilte Plattform auf, wobei der Sack durch Dornen gehalten wird. Durch Rütteln der Plattformhälften wird der Sack entleert. Bei Bedarf kann ein Teil der Dornen auch mit Fluidisierungsluft beaufschlagt werden. Nach erfolgter Entleerung wird der Sack durch Zurückziehen der Dornen abgeworfen und dem Leersackverdichter zugeführt.

Auch weniger automatisierte Sackentleeremaschinen sind durchaus für Kieselsäure einsetzbar. Es sind jedoch einige grundlegende Punkte zu beachten.



Abbildung 5
Halbautomatische Sackentleeremaschine
(Hersteller: Dinnissen B. V, 5975 NB Sevenum, Holland)

Je feinteiliger das Produkt ist, um so wichtiger ist es, dass die Maschine während der Entleerung weitgehend geschlossen ist. Sollte eine Maschine während der Sackentleerung nicht vollständig geschlossen sein, ist darauf zu achten, dass die Öffnung nicht größer als notwendig, und die Absaugung ausreichend dimensioniert ist. Bei allen Maschinentypen ist ein automatisch abreinigender Filter, der in seiner Filterfläche der Luftmenge und den Produkteigenschaften angepasst ist, zu installieren.

Wie bereits im Kapitel 3.1.1 beschrieben, ist auch von Bedeutung, dass der erste Teilschritt der Sackentsorgung mit in der Maschine integriert ist. Ob nun der Sack manuell zusammengefasst wird oder er einem Leersackverdichter zugeführt wird, sollte dies unbedingt innerhalb der Maschine (im Bereich der Absaugung) geschehen, da es hier ebenfalls zu erheblicher Staubentwicklung kommen kann.

3.1.3 Vollautomatisch

Der Übergang zwischen halbautomatischen und vollautomatischen Sackentleermaschinen ist, wie auch in Kapitel 3.1.2 bereits angedeutet, recht fließend. Vollautomatische Maschinen werden für sehr große Sackmengen eingesetzt. Diese Maschinen werden in der Regel mit Depalettierstation, Sackvereinzlung und Förderbändern ausgerüstet. Das heißt, es muss nur noch die gesamte Palette von einem Gabelstapler, auf einer dafür vorgesehenen Plattform, abgestellt werden. Alle folgenden Schritte erfolgen vollautomatisch. Bei der in **Abbildung 6** dargestellten Anlage durchläuft der Sack, nach der Zuführung zur Maschine, mehrere rotierende Messer, von denen er in Längsrichtung aufgeschnitten wird. Im Anschluss gelangt der geöffnete Sack in eine rotierende Trommel, in der er entleert wird. Die Kieselsäure fällt in einen Auslauftrichter, von wo sie umgehend ausgetragen wird. Der entleerte Sack gelangt durch die Trommel über einen Austragsschacht zu einem Leersackverdichter oder zu einer Leersack-Ballenpresse. Der Einsatz einer solchen Maschine setzt einen entsprechend hohen Verbrauch voraus.

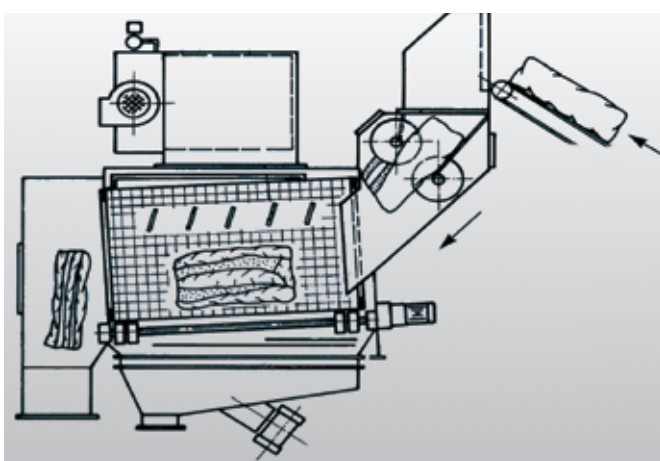


Abbildung 6
Schnittdarstellung einer vollautomatischen Sackentleerungsmaschine (Hersteller: Fa. Schüttguttechnik Borgner & Partner GmbH, 63697 Hirzenhain)

3.2 Entleerung von Semi-Bulk Gebinden

Für die Entleerung von FIBC, welche von Evonik als Semi-Bulk Gebinde eingesetzt werden, gibt es je nach Produkt unterschiedliche Methoden der Entleerung. So werden Fällungskieselsäuren und auch AEROXIDE® TiO₂ P 25 und AEROXIDE® TiO₂ T 805 herkömmlich per Schwerkraft entladen (siehe 3.2.1). Für AEROSIL® und einige SIPERNAT® Produkte hingegen wurde eine spezielle Entnahmevorrichtung entwickelt, die eine Förderung direkt aus dem FIBC ermöglicht (siehe 3.2.2).

3.2.1 Entleerung von Fällungskieselsäuren aus FIBC

Die von Evonik eingesetzten und unter 2.2 sowie in der TI 1231 und TI 1232 beschriebenen FIBC verfügen, im Boden zentral angeordnet, über eine Auslauföffnung (vgl. **Abbildung 7**). Der FIBC wird zur Entleerung über einen entsprechenden Aufnahmebehälter, der mit einer Staubabsaugung versehen sein sollte, aufgehängt. Durch Öffnen des Auslaufschlauches fließt das Material per Schwerkraft aus. Bei einigen Produkten muss zusätzlich eine mechanische Agitation des FIBC vorgesehen werden, um eventuelle Brückenbildung zu vermeiden und eine zügige und vollständige Entleerung des FIBC zu gewährleisten. Wird der aufgehängte Bag oder auch die gesamte Entleerstation dabei verwogen, so ist auch eine Dosierung direkt aus dem FIBC möglich.

Der entleerte Bag muss, bevor er der Entsorgung zugeführt wird, auf handliche Größe zusammengelegt werden. Der dabei entstehende Staub sollte mit geeigneten Einrichtungen minimiert werden. Einige feinteilige SIPERNAT® Produkte, welche im FIBC angeboten werden, benötigen eine spezielle Entleervorrichtung wie in 3.2.2. beschrieben.



Abbildung 7
Entleerung von Fällungskieselsäure aus einem FIBC (Hersteller: Hecht Technologie GmbH, 85276 Pfaffenhofen)

3.2.2 Entleerung von AEROSIL® pyrogener Kieselsäure aus Semi-Bulk Gebinden

Für die Entleerung von AEROSIL® aus FIBC wurde, wie bereits unter 3.2 erwähnt, ein spezielles Entleergerät entwickelt. Dieses **Pulver-Entleer-System** (kurz **PESy**) erlaubt das staubfreie Anschließen des FIBC direkt an ein Fördergerät. Hier kommen druckluftbetriebene Doppelmembranpumpen oder auch pneumatische Saugförderanlagen in Betracht, siehe auch Kapitel 4. Das PESy lässt sich aber auch direkt an ein selbstsaugendes Verarbeitungsgerät, wie z.B. die Ystral Conti TDS anschließen, siehe 7.2. Das PESy wird von Hand oder auch als Teil einer Entleerstation in den angepassten Auslauf des FIBC eingeführt und mittels Klettverschluss befestigt und abgedichtet (vgl. **Abbildung 8**). Erst dann wird der FIBC geöffnet. Das PESy erlaubt eine Fluidisierung des FIBC-Inhaltes und macht das AEROSIL® auf diese Weise fließfähig. Somit kann die Kieselsäure direkt aus dem Bag heraus gefördert werden. Die genaue Verfahrensweise und der Umgang mit dem PESy ist in der Technischen Information 1219 detailliert beschrieben.

Wie bereits in Abschnitt 3.2.1. erwähnt, wird für einige feinteilige SIPERNAT® Produkte das PESy ebenfalls angeboten. Detaillierte Informationen über Produkte und eine präzise Beschreibung der Entleerung finden Sie in der TI 1321.



Abbildung 8 Entleerung von Fällungskieselsäure

3.3 Entleerung von Silofahrzeugen und Containern

Die Entleerung von Silofahrzeugen und Silocontainern setzt das Vorhandensein eines Lagersilos beim Kunden voraus. Informationen über Silogröße und Design finden sich unter Kapitel 5.

Die Entleerung der Silofahrzeuge und der anschließende Transport zum Lagersilo geschieht in der Regel pneumatisch. Die Fahrzeuge verfügen über einen Kompressor zur Erzeugung der Förderluft, können aber auch mit Werksluft versorgt werden. Der Behälter des Fahrzeugs wird, je nach Produkt, während der Entleerung mit einem Druck von 0,5 bis 1,5 bar beaufschlagt. Zusätzlich wird Luft in die Förderleitung eingespeist. Bei einigen Produkten wird auch ein Auflockerungsboden (Fluidisierungsboden) im Auslaufkonus verwendet, um das Produkt besser fließfähig zu machen. Sollte die Notwendigkeit bestehen, Werksluft einzusetzen, so ist eine Förderluftmenge von 8–10 m³/min bei 1,5 bar zur Verfügung zu stellen.

Der Behälter der Fahrzeuge wird zur Entleerung angekippt, wobei eine Ausfahrhöhe von ca. 10 Metern erreicht wird. Der Anschluss der Produktleitung erfolgt über eine Kupplung nach DIN 14309 bzw. 14323 für Rohre bzw. Schläuche mit 100 mm Nennweite. Soll Werksluft zur Förderung eingesetzt werden, so wird die Verbindung mit Kupplungen nach DIN 14307 bzw. 14321 für Rohre bzw. Schläuche der Nennweite 50 mm hergestellt.

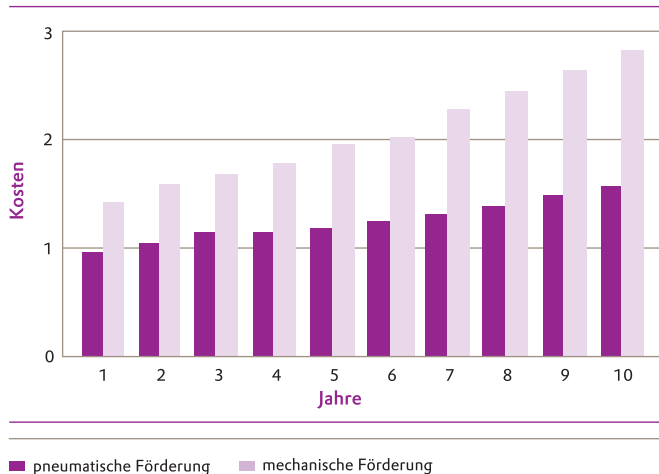
Die Entleerzeit beträgt zwischen 45 und 90 Minuten, abhängig von der Kieselsäure. Für einige ULTRASIL® GR Produkte ist die Entladung per Schwerkraft ebenso eine Option. In diesem Fall ist ein entsprechendes Fördersystem (mechanisch oder pneumatisch) auf Kundenseite notwendig.

4 Förderverfahren

4.1 Pneumatische Förderung

Die folgenden Ausführungen dienen der allgemeinen Information. Bei Investitionen wird geraten, die Erfahrung entsprechender Lieferanten zu nutzen.

Abbildung 9 Gesamtkosten-Vergleich für pneumatische und mechanische Förderung in Abhängigkeit von der Zeit



Die pneumatische Förderung zeigt im allgemeinen folgende Vorteile gegenüber der mechanischen Förderung

- Platzsparende und flexible Installationsmöglichkeit, auch bei nachträglichem Ausbau
- Geringe Gesamtkosten (siehe **Abbildung 9**)
- Automatische Restlosentleerung aus den Leitungen durch Nachblasen, wichtig z. B. bei Produktwechsel
- Staubfreies Arbeiten, dadurch keine Umweltbelastung
- Wenige mechanisch bewegte Teile
- Geringe Lärmbelästigung bei geeigneter Installation der Förderlufteinrichtung

Es gibt verschiedene Arten der pneumatischen Förderung. Die Grenzen sind fließend. In **Tabelle 6** (siehe Seite 16), werden diese Methoden anhand von Literaturdaten gegenüber gestellt. **Tabelle 7** bringt bei gleicher Ausgangseinteilung, die schon in **Tabelle 6** zugrunde gelegt wurde, eine Zusammenstellung üblicher Bezeichnungen.

Man unterscheidet nach der Höhe der Fördergutbeladung:

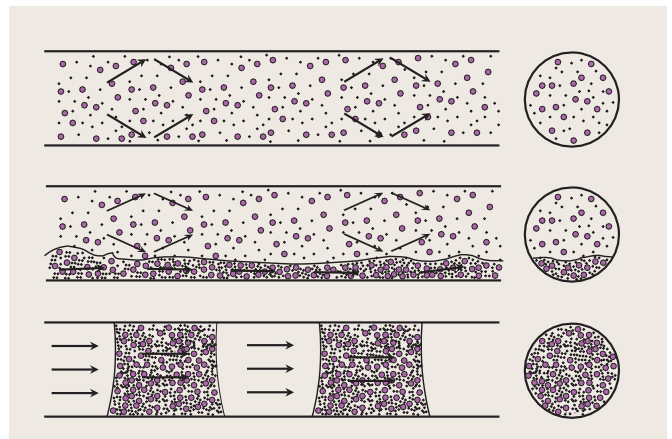
- Die niedrige Beladung für Flug- und Dünnstromförderungen mit Luftgeschwindigkeiten von etwa 20–40 m/s. Diese Art der pneumatischen Förderung ist für fast alle Schüttgüter geeignet. Der Beladungswert von 5 kg/kg Luft wird im allgemeinen nicht überschritten. Saug- und Druckförderverfahren gelangen zur Anwendung. Die Saugförderung ist das älteste pneumatische Fördersystem. Eine saugpneumatische Versuchsanlage zeigt **Abbildung 10**.
- Die mittlere Beladung arbeitet mit Luftgeschwindigkeiten von etwa 10–20 m/s. Bei dieser Art der pneumatischen Förderung kommt es in der Leitung zu gewollten Ablagerungen, die jedoch immer wieder aufgewirbelt werden. Deshalb wird auch von Strahlenförderung gesprochen. Die Beladungswerte liegen etwa zwischen 5 und 10 kg/kg Luft.
- Die hohe Beladung bei der Dichtstromförderung für körnige (und pulverförmige) Schüttgüter liegt bei Werten von über 20 kg/kg Luft. Als Langsamfördersystem ausgelegt, arbeiten solche Anlagen mit Luftgeschwindigkeiten von 2–10 m/s.



Abbildung 10 Saugpneumatische Versuchsförderanlage im Handhabungstechnikum bei Evonik in Hanau

Die **Abbildung 11** zeigt in schematischer Form die verschiedenen prinzipiellen Möglichkeiten auf. Wie bereits erwähnt, sind fließende Grenzen zwischen den genannten Verfahren möglich. Welches Verfahren zur Anwendung kommt, hängt unter anderem auch von dem zu fördernden Material ab. Besonders bei Granulaten oder bei sprühgetrockneten Kieselsäuren mit definiertem Feinstaubanteil ist eine hohe Beladung anzustreben, da es bei dieser Dichtstromförderung zu wesentlich geringerem Abrieb der Teilchen kommt, als z. B. bei der Flugförderung. Die Beanspruchung des Förderguts nimmt mit steigender Beladung ab. Das heißt, je höher die Beladung desto schonender ist die Förderung. Dies spiegelt sich auch in den jeweiligen Luftgeschwindigkeiten wieder (vgl. **Tabelle 6**). Grundsätzlich ist festzuhalten, dass alle Kieselsäuren von Evonik mit geeigneten Systemen pneumatisch gefördert werden können.

Abbildung 11 Pneumatische Förderung. Schematische Darstellung der Dünnstromförderung (**oben**); Strahlenförderung (**mitte**) und Dichtstromförderung (**unten**)



4.1.1 Dünnstromförderung

Dieses Verfahren arbeitet mit hohen Luftgeschwindigkeiten und eignet sich daher besonders für kohäsive pulverförmige Produkte (z. B. AEROSIL®). Durch die großen Luftmengen werden die Materialien gut fluidisiert und damit fließfähiger.

Prinzipiell unterscheidet man zwischen einer Druck- und einer Unterdruck-Förderung. Letztere wird auch als Saugförderung bezeichnet. Bei der Druckförderung wird mittels Überdruck das Fördergut durch die Rohrleitung gedrückt. Das Gebläse sitzt also vor der Materialaufgabe. Nach diesem Verfahren sind Förderwege bis zu etwa 250 m möglich.

Dagegen wird bei Saugverfahren ein Unterdruck erzeugendes Gebläse bzw. eine Vakuumpumpe verwendet, die sich am Ende der Förderstrecke befindet. Dieses Verfahren kann jedoch nur für Förderwege bis zu 60 m für Kieselsäure empfohlen werden, z. B. für den innerbetrieblichen Transport in Schritt C der **Tabelle 2**.

4.1.2 Strahlenförderung

Die Strahlenförderung ist ebenfalls in der Lage, weniger gut rieselfähige Substanzen zu fördern. Wie in **Tabelle 6** aufgeführt, ist ein höherer Fluidisierungsgrad notwendig als bei der Dichtstromförderung, die unter 4.1.3 beschrieben ist. Der mögliche Förderweg ist bei dieser Förderart mit einer oberen Grenze von 300 m angegeben. Bei diesem Förderweg kann die stündliche Fördermenge noch einige Tonnen betragen.

Tabelle 6 Vergleichende Gegenüberstellung der pneumatischen Förderverfahren

Gutbeladung	Niedrig	Mittel	Hoch
Luftgeschwindigkeit [m/s]	20–40	10–20	2–10
Relative Gutgeschwindigkeit (bezogen auf die Luftgeschwindigkeit) [%]	85–95	80–90	50
Beladungswert [kg Produkt/kg Luft]	2–3	5–10	>20
Saug- oder Druckbetrieb	Saug/Druckbetrieb	Druckbetrieb	Druckbetrieb
Druckbereich	-0,5–+0,5	0,5–1,0	1–6

Tabelle 7 Übersicht über pneumatische Förderverfahren und einige Markenbezeichnungen bekannter Produzenten

Gutbeladung	Niedrig	Mittel	Hoch
Allgemeine Bezeichnung	Dünnstromförderung Flugförderung	Strahlenförderung Dünenförderung	Dichtstromförderung Pfropfenförderung Langsamförderung
Typische Marken-namen	Vac-U-Max	Fluid-Flex Fluid-Lift	Fluidschub Fluidstat Pneumosplit Pneuschub Taktschub Over Flow

4.1.3 Dichtstromförderung

Wie bereits vorstehend erwähnt, wird die Dichtstromförderung in der Praxis vorteilhaft zum Transport von Kieselsäure-Granulaten eingesetzt. Dieses Fördersystem hat nach Angaben der Herstellerfirmen zwar recht hohe Investitionskosten, doch ist es das produktschonendste pneumatische Förderverfahren. Die Dichtstromförderung ist sehr betriebssicher. Auch ein Abschalten der Anlage im gefüllten Zustand, z. B. durch Strom- oder Kompressorausfall bedingt, stellt keine Probleme dar, da der Fördervorgang von selbst wieder in Gang kommt. Verstopfungen der Transportleitungen treten bei korrekter Auslegung nicht auf. Förderwege bis zu mehreren hundert Metern sind bei der Dichtstromförderung möglich. Die Förderleistung nimmt allerdings mit zunehmender Förderstrecke ab. Die Dichtstromförderung von schwerfließenden Produkten wird durch die gezielte Zufuhr von Sekundärluft an verschiedene Rohrleitungsabschnitte möglich, wie z. B. beim Pneumosplit- oder Fluid-Schub-Verfahren (vgl. **Abbildung 12**).



Abbildung 12 Dichtstromförderung für granuliertes Kieselsäure

Der Verschleiß an Rohrleitungen und Rohrbögen ist bei der Förderung von Kieselsäuren von untergeordneter Bedeutung. Bei den genannten Verfahren ist der Zerstörungsgrad von Granulat bei der Förderung gering. Der Abrieb nimmt jedoch annähernd mit der dritten Potenz der Teilchenfördergeschwindigkeit zu. Auch flexible Rohre können bei der Dichtstromförderung Anwendung finden.

4.2 Förderung durch Pumpen

Die Förderung durch Pumpen wird – obwohl auf pneumatischer Grundlage – nicht unter 4.1 besprochen, weil bei den in Frage kommenden Membranpumpen mechanisch bewegte Teile im Produktstrom den „pneumatischen“ Transport bewirken.

Werden aus technischen Gründen nur geringe Förderluftmengen gewünscht, wird der Transport synthetischer Kieselsäuren, die ein gutes Lufthaltevermögen aufweisen, durch Druckluftmembranpumpen empfohlen. Durch Einleitung kleiner Luftmengen gehen die zur Brückenbildung neigenden Kieselsäuren in einen flüssigkeitsähnlichen Fließzustand über. Die Druckluftmembranpumpen haben sich besonders zur Förderung von feinteiligen synthetischen Kieselsäuren bewährt. Der Grund hierfür ist die relativ geringe Fördergeschwindigkeit von 3–5 m/s. Die selbstansaugenden Membranpumpen sind unempfindlich gegen Trockenlauf und relativ handlich. Sie werden mit Druckluft von 3–8 bar betrieben, wobei die Pressluft nicht mit dem Fördergut in Berührung kommt. Förderleistungen bis zu 800 kg AEROSIL® 200 oder 1000 kg SIPERNAT® 22 pro Stunde (mit Pumpe DN 80), sind bei einer zu überwindenden Höhe von 30 m realisierbar. Die mögliche Förderdistanz ist jedoch je nach Kieselsäuretyp unterschiedlich begrenzt.

Die **Abbildung 13** und **14** zeigen solche Membranpumpen in verschiedenen Ausführungen, die für den Transport von Kieselsäure geeignet sind.

Beim Ansaugen aus geschlossenen Behältern oder wenn synthetische Kieselsäuren, die sich weniger gut fluidisieren lassen, gefördert werden, ist ein Falschluff- oder „Schnüffelventil“ vorzuschalten. Die Falschluff bewirkt eine zusätzliche Auflockerung der Kieselsäure in den Pumpenkammern. Für besonders problematisches Fördergut gibt es die Möglichkeit, die Pumpenkammern direkt mit Fluidisierungsluft zu versorgen, um eine Verstopfung zu verhindern. Auch andere Pumpen können für die Förderung von pulverförmigen Substanzen verwendet werden. Da es jedoch durch die erhebliche mechanische Beanspruchung zu einer Veränderung der anwendungstechnischen Eigenschaften kommen kann, können wir diese Pumpen nicht uneingeschränkt empfehlen.

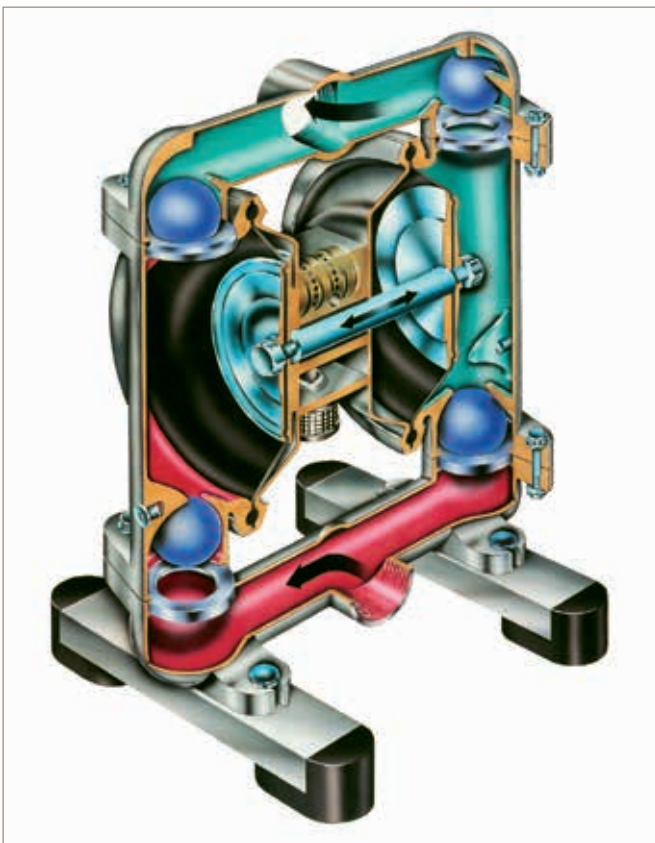


Abbildung 13
Schematische Darstellung einer druckluftbetriebenen Doppelmembranpumpe, mit Kugelventilen (Hersteller: Crane Process Flow Technologies GmbH, 40549 Düsseldorf, Germany)

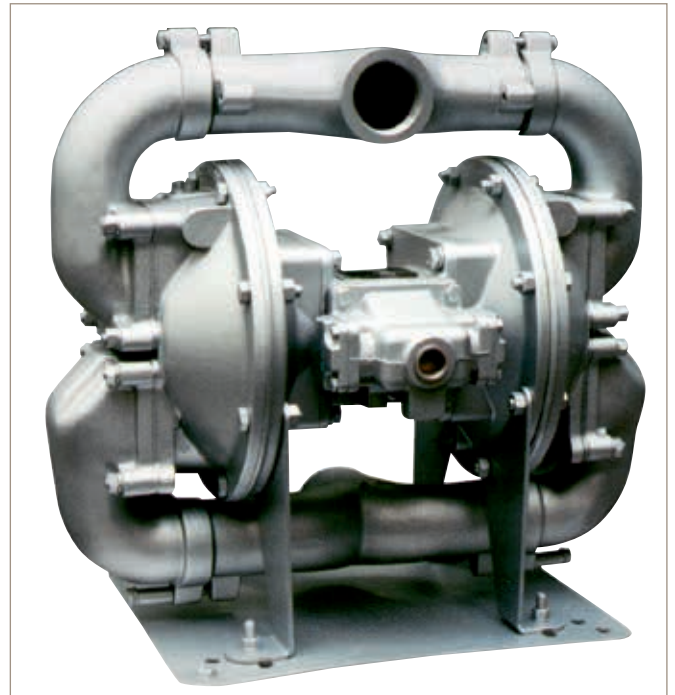


Abbildung 14
Druckluftbetriebene Doppelmembranpumpe mit Klappenventilen (Hersteller: Sandpiper; Vertrieb: AxFlow GmbH, 40549 Düsseldorf)

4.3 Mechanische Förderung

Die mechanische Förderung von Schüttgütern mit Bändern, Schnecken und Becherwerken ist historisch die älteste Technik des innerbetrieblichen Transports. Trotz der unter 4.1 beschriebenen Vorteile der pneumatischen Förderung gibt es bestimmte Anwendungsfälle, bei denen aufgrund spezieller Anforderungen die mechanische Förderung bevorzugt wird. So kommen z. B. die sogenannten Winkelbecherwerke (vgl. **Abbildung 15**) und auch Förderbänder zum Einsatz, wenn eine besonders produktschonende Förderung gefordert wird. Dies ist der Fall, wenn z. B. Granulate mit möglichst wenig Abrieb und Kornzerstörung gehandhabt werden müssen.



Abbildung 15
Winkelbecherwerk zum schonenden Transport von synthetischen Kieselsäuren in granulierter Form
(Hersteller: Nerak GmbH, 29313 Hambühren)

Förderschnecken, die in der Regel für kurze, horizontale oder leicht ansteigende Förderwege eingesetzt werden, sollten ausschließlich als Vollblattschnecken mit progressiver Steigung der Wendel und einem Füllgrad von kleiner 50 % zur Verwendung kommen. Erfahrungen haben gezeigt, dass Rohrförderschnecken mit Spiralprofil für Kieselsäuren weniger geeignet sind.

4.4 Weitere Hinweise

4.4.1 Förderleitungen

Bei der Auswahl der Förderleitungen für das Fördern von synthetischen Kieselsäuren ist im Wesentlichen auf die gute Ableitung von elektrostatischen Ladungen (siehe 4.4.2) zu achten. Wandrauhigkeit und Abrasivität spielen nur eine untergeordnete Rolle. Eine Abrasivität von synthetischen Kieselsäuren in Rohrleitungen (auch Bögen) ist unter üblichen Förderbedingungen äußerst gering. Aus den oben genannten Gründen wird je nach Kieselsäuretyp die Verwendung von Aluminium- oder Edelstahlrohren vorgeschlagen. Falls flexible Verbindungen benötigt werden, müssen Schläuche mit aufgesetztem oder eingearbeitetem Leiterband zur Anwendung gelangen. Alle Kupplungen, Schaugläser und ähnliches sind zu überbrücken und die gesamte Förderanlage ist zu erden (vgl. **Abbildung 16**)



Abbildung 16
Gut geerdete Rohrverbindung zum Transport synthetischer Kieselsäuren

4.4.2 Elektrostatische Aufladung

Synthetische Kieselsäuren sind sehr gute Isolatoren. Daher kann es beim Fördern dieser Produkte, speziell bei hohen Geschwindigkeiten, zu enormen elektrostatischen Aufladungen kommen. Die mit solchen statischen Ladungen verbundenen Gefahren, wie z. B. Funkensprünge, können vermieden werden, indem die gesamte Förderanlage geerdet wird (vgl. 4.4.1) Es ist darauf zu achten, dass die Erdung bzw. der Potentialausgleich an keiner Stelle unterbrochen ist (z. B. durch Kupplungen oder Schaugläser); (vgl. **Abbildung 16**). Detaillierte Informationen zu diesem Thema finden sie in der Schriftenreihe Fine Particles Nr. 62 „ Synthetische Kieselsäuren und Elektrostatische Aufladung“.

4.4.3 Abscheidesysteme

Nach der pneumatischen Förderung muss eine Trennung zwischen Förderluft und Kieselsäure stattfinden. Da Zykclone nur für wenige Fällungskieselsäuren als Vorabscheider in Frage kommen, setzt man hier hauptsächlich Abreinigungsfilter ein. Unter Abreinigungsfiltern werden filternde Abscheider verstanden, bei denen das mit Staubpartikeln beladene Filtermedium periodisch regeneriert, d. h. abgereinigt wird (vgl. **Abbildung 17**). Das Filtermedium wird meist in Form von Schläuchen oder Taschen eingesetzt. Entsprechend werden diese Filter auch Schlauch- bzw. Taschenfilter genannt. Schlauchfilter haben im allgemeinen einen etwas besseren Wirkungsgrad als Taschenfilter.

5 Silierung von synthetischen Kieselsäuren

Die Abreinigung sollte bei Kieselsäuren unbedingt mit Druckluft, die durch Differenzdruck oder Zeitimpuls gesteuert wird, erfolgen. Als Filtermedien werden vorwiegend Nadelfilze eingesetzt, die zum Teil beschichtet sind. Von einer mechanischen Abreinigung wird abgesehen.

Bei der Auslegung von solchen filternden Abscheidern sollte die spezifische Filterflächenbelastung von 0.3 zu $0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ für AEROSIL® Pyrogene Kieselsäure und 0.5 zu $1.0 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ für Fällungskieselsäure (je nach Kieselsäuretyp) nicht überschritten werden. Es ist darauf zu achten, dass die Förderung von Kieselsäure immer mit einer Auflockerung, d. h. Verringerung der Schüttdichte, verbunden ist. Die Abscheider- bzw. Behältervolumen sind daher großzügig zu dimensionieren (vgl. 8).

Auch bei der Förderung mit Druckluftmembranpumpen wird mit Luft gefördert, die anschließend abgetrennt werden muss. Das heißt: auch beim Fördern mit Druckluftmembranpumpen muss ein Abscheider installiert sein, der jedoch aufgrund der erheblich geringeren Luftmenge auch entsprechend kleiner ausfällt als bei einer pneumatischen Förderung.



Abbildung 17 Filternder Abscheider / Jet-Filter

5.1 Silogeometrie und -volumina

Für die Silierung von synthetischen Kieselsäuren werden im allgemeinen schlanke, runde Silos mit axialsymmetrischem Trichter bevorzugt (siehe **Abbildung 18**). Als Baumaterial kommen meist Aluminiumlegierungen oder Edelstahl 1.4571 zum Einsatz. Praxiserfahrungen haben gezeigt, dass ein Trichter mit einem Neigungswinkel von 30°C – 60°C zur Horizontalen (je nach Kieselsäure) ausreichend ist, wenn geeignete Fluidisierungsgeräte eingebaut werden. Auch eine Restlosentleerung der Siloanlage ist so möglich. Untersuchungen zum Fließverhalten von synthetischen Kieselsäuren haben gezeigt, dass der innere Reibungswinkel meist so hoch ist, dass daraus bei der Berechnung des Silotrichters und des Auslaufs praktisch nicht realisierbare Werte resultieren (vgl. dazu 5.4).



Abbildung 18 Lagersilo für synthetische Kieselsäuren

Bei der Übernahme synthetischer Kieselsäuren wird das erforderliche Silovolumen durch folgende Punkte vorgegeben:

- die Anlieferform
- den Verbrauch
- die baulichen Gegebenheiten
- die beim Entladen auftretende Auflockerung

Zu berücksichtigen ist dabei auch, dass sich ein gewisser Restinhalt an Kieselsäure im Silo befinden muss, damit eine störungsfreie Produktion gewährleistet ist. Daher ist von den, in Tabelle 8 gegebenen Mindestvolumina bei hohem Verbrauch ggf. nach oben abzuweichen. Nur so ist sicherzustellen, dass eine reibungslose Disposition erfolgen kann.

Tabelle 8 Vorschläge zum minimalen Silovolumen für die Lagerung synthetischer Kieselsäuren beim Kunden

Material	Anlieferform	Minimales Silovolumen m ³
Fällungskieselsäure	Straßensilo	100 ¹ –150 ²
	Schienensilo	160
	Container	100
AEROSIL® Pyrogene Kieselsäure	Straßensilo	150

¹ Granulate

² feinteilige Kieselsäuren

5.2 Austragshilfen

Wie bereits unter 5.1 erwähnt, reicht eine entsprechend gestaltete Silogeometrie nicht aus, um einen problemlosen Austrag aus dem Silo zu gewährleisten. Austragshilfen sind demnach unerlässlich.

In der Praxis haben sich für synthetische Kieselsäuren folgende Austragshilfen bewährt

- Fluidisierungskonus
- Druckluftpfeifen (flow pads)
- Segmentboden

Alle diese Austragshilfen haben gemeinsam, dass mit ihrer Hilfe im Bereich des Auslaufs Luft kontinuierlich oder impulsweise in die Kieselsäure eingegeben werden kann. Auf diese Weise wird diese fluidisiert, d. h. die Fließfähigkeit wird dahingehend verbessert, dass ein problemloser Auslauf aus dem Silo gewährleistet ist (vgl. **Abbildung 19**).

Der Fluidisierungskonus wird im unteren Bereich des Silokonus angeordnet. Der Segmentboden hingegen erstreckt sich über den gesamten Konus des Silos. Bei beiden Systemen wird die Luft über ein luftdurchlässiges Gewebe oder einen Sinterkunststoff eingebracht (vgl. **Abbildung 20**).



Abbildung 19

Demonstration des Fließverhaltens synthetischer Kieselsäuren aus einem Silo mit einem Fluidisierungsboden als Austragshilfe

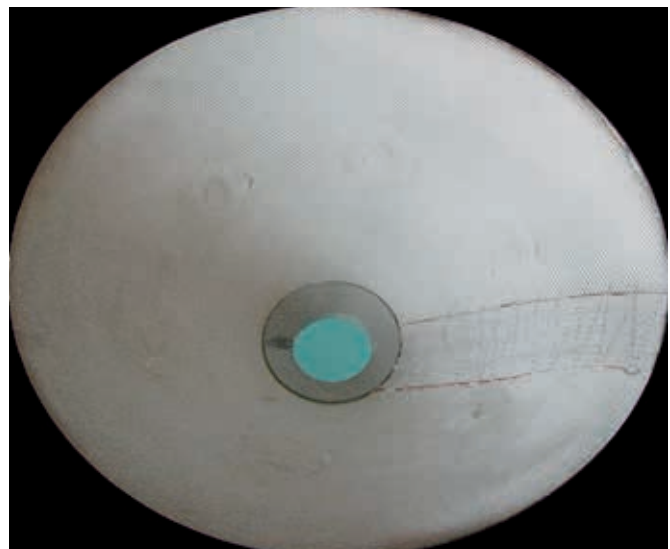


Abbildung 20

Innenansicht einer Fluidisierungseinrichtung: Blick in einen TURBO-KONUS (Hersteller: AZO GmbH & Co. KG, 74706 Osterburken)

Die Fläche des Segmentbodens ist jedoch unterteilt und die daraus resultierenden Segmente können einzeln mit Luft beaufschlagt werden. Die technisch einfachste Austragshilfe stellen die Druckluftpfeifen dar (vgl. **Abbildung 21**). Es handelt sich hierbei um spezielle Düsen, die gleichmäßig über den Silokonus verteilt sind.



Abbildung 21
Ansicht einer Fluidisierungspfeife:
(Hersteller: Solimar Pneumatics, Minneapolis, N 55432, USA)

Feinteilige synthetische Kieselsäuren wie z. B. AEROSIL® werden häufig mit Hilfe von Segmentböden ausgetragen. Für grobteilige Kieselsäure-Typen wie z. B. ULTRASIL® VN 3 oder SIPERNAT® 22 eignen sich Fluidisierungskonus und Fluidisierungspfeifen – impulsweise betrieben.

Die Neigung des Auslaufkonus des Silos und die Austragshilfe müssen aber in jedem Fall individuell auf den Kieselsäure-Typ abgestimmt sein. Es ist bei diesen Austragshilfen zu beachten, dass durch die Fluidisierung das Produkt aufgelockert, d. h. die Schüttdichte verringert wird (vgl. **Abschnitt 8**).

Mechanisch arbeitende Auflockerungsvorrichtungen hingegen bergen die Gefahr der Verdichtung der feinteiligen Kieselsäuren und können deshalb nicht empfohlen werden. Eine Ausnahme bilden hier Systeme, welche die Kieselsäure mit einem „Abstreifer“ dem Auslauf zuführen.

5.3 Füllstandsmessung

Zur Füllstandsmessung in Lagersilos für synthetische Kieselsäuren sind verschiedene Systeme einsetzbar, die nach Kieselsäuretyp jedoch individuell ausgewählt werden müssen.

Eine kontinuierliche Füllstandsmessung stellt die gravimetrische Messung dar. Das Silo wird hierbei auf Kraftmessdosen gestellt, die ständig das Gewicht des Silos mit Inhalt aufnehmen. Je nach Aufstellungsart und -ort des Silos werden bis zu vier Kraftmessdosen eingesetzt. Bestehende Siloanlagen können meist aus statischen Gründen nicht oder nur schwierig mit Kraftmessdosen nachgerüstet werden. Teilweise besteht jedoch die Möglichkeit nachträglich Dehnungsmessstreifen einzusetzen, was aber in der Regel nicht die gleiche Genauigkeit wie Kraftmessdosen liefert.

Als weitere kontinuierliche Meßmethode ist die Ultraschallmessung zu nennen. Hier kommt es jedoch stark auf die Kieselsäuretype bzw. deren Schüttdichte an. Bei einigen Kieselsäuren bewegt man sich hier in den derzeitigen Grenzbereichen der angebotenen Geräte.

Als diskontinuierliche Methode gibt es die Möglichkeit, ein spezielles Lot an einer Motorseilwinde in das Silo hereinzufahren und so über die benötigte Seillänge den Füllstand zu ermitteln. Dieses System funktioniert nur dann, wenn das Produkt im Silo nicht fluidisiert d. h. wenn nicht ausgetragen wird.

Als Grenzwertgeber sind Geräte geeignet, die auf die Dämpfung von Schwingungen oder Bewegungen ansprechen. Für Fällungskieselsäuren kommen meist Drehflügelmelder zum Einsatz. Die Größe des Flügels ist jedoch stark vom Produkt und der Stärke der Fluidisierung abhängig. Für AEROSIL® sind die sogenannten Schwinggabelmelder die beste Möglichkeit (vgl. **Abbildung 22**). Es ist darauf zu achten, dass die Empfindlichkeit speziell auf die pyrogene Kieselsäure eingestellt ist. Für Kieselsäure-Granulate kommen außerdem noch Schwingstäbe in Frage.



Abbildung 22
Schwinggabelmelder als geeigneter Grenzwert-Füllstandsmelder für AEROSIL® (Hersteller: UWT GmbH, Level Control, 87488 Betzigau)

5.4 Ermittlung von Fließeigenschaften

Pulverförmige Stoffe und Granulate weisen extrem unterschiedliches Fließverhalten auf. In der Praxis hängt das Auftreten von Fließproblemen in vielen Fällen von der Art des Fließprofils in einem Silo ab. Das Fließprofil definiert die Art, in der das Schüttgut im Silo fließt.

Man unterscheidet zwischen „Massenfluss“ und unerwünschtem „Kernfluss“ (vgl. **Abbildung 23**). Beim Massenfluss kommt der gesamte Siloinhalt in Bewegung, sobald Schüttgut abgezogen wird. Dabei gibt es keine toten Zonen, und das Schüttgut fließt entlang der Trichterwand. Beim Kernfluss dagegen fließt nur Schüttgut aus einer zentralen Zone aus, wobei sich ein Abflustrichter ausbildet, an dessen Peripherie tote Zonen entstehen. Neben der Brückenbildung kann es bei Kernfluss auch zur unerwünschten Schachtbildung kommen, wobei Schüttgut nur aus einer zentralen Röhre ausfließt und eine Restlosentleerung nicht möglich ist.

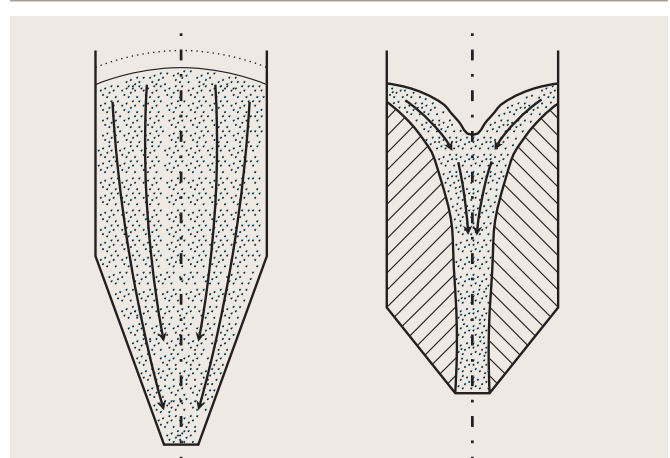


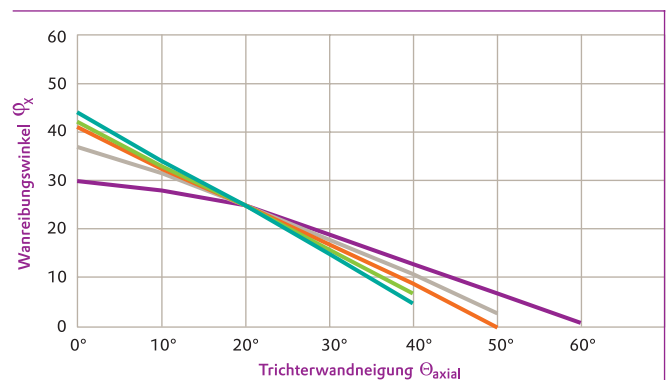
Abbildung 23
Darstellung von Massen- und Kernfluss. Details sind in DIN 1055, Teil 6 aufgeführt

Folgende Faktoren beschreiben, ob in einem Silo Massen- oder Kernfluss vorliegt

- Trichterwandneigung Θ , gemessen gegen die Vertikale
- Form des Trichters (konisch oder rechteckig)
- Wandreibungswinkel zwischen Schüttgut und dem Wandmaterial φ_x
- Effektiven Reibungswinkel φ_e

Die Grenzen zwischen Massen- und Kernfluss, die sich aus der mathematischen Lösung des Spannungsfeldes im Trichter ergeben, sind in **Abbildung 24** für die konische Trichterform (axialsymmetrisches Spannungsfeld) dargestellt.

Abbildung 24 Auslegungsdiagramm für Massenfluss, das den Wandreibungswinkel φ_x als Funktion der Trichterwandneigung zeigt. Parameter der Kurvenschar ist der effektive Reibungswinkel φ_e .



φ_e — 30° — 40° — 50° — 60° — 70°

Die Reibungswinkel φ_x und φ_e können mit Schergeräten oder Pulver-Rheometern gemessen werden. Am bekanntesten sind das Translationsschergerät nach Jenike und der Ring-Schertester nach Schulze. Mit den bei der Messung erhältlichen Werten kann auch der zum Vermeiden von Brückenbildung erforderliche Auslaufdurchmesser bestimmt werden. Ob Massenfluss oder Kernfluss eintritt, hängt im wesentlichen vom Wandreibungswinkel φ_x ab, sollte mindestens für den Trichterbereich ein Wandmaterial gewählt werden, das einen geringen Wandreibungswinkel aufweist. Vom Standpunkt des Rheologen sind blanke Metalloberflächen für das Fließverhalten meist günstiger als beschichtete.

Tabelle 9 zeigt für einige ausgewählte Produkte die gemessenen Werte für die genannten Reibungswinkel. Der Wandreibungswinkel φ_x ist nur geringfügig kleiner als der effektive Reibungswinkel φ_e . Damit wird es praktisch unmöglich, Silos mit Massenfluss zu bauen, weil die Trichterwandneigung Θ dann in der Größenordnung von $0^\circ - 15^\circ$ liegen müsste. Da dies technisch nicht zu realisieren ist, baut man üblicherweise Kernflusssilos. Zur Vermeidung von Schachtbildung werden Austragshilfen oder Austraggeräte mit großem Einlaufquerschnitt eingesetzt. Tritt Schachtbildung auf, so erhöht sich die Gefahr des „Schießens“.

In **Abbildung 25** sind die Fließfunktionen in **Tabelle 9** genannten amorphen Kieselsäuren bzw. des Silikats SIPERNAT® 820 A aufgezeichnet. SIPERNAT® 22 zeigt eine Fließfunktion, die sehr flach und nahezu durch den Nullpunkt des Koordinatensystems verläuft. Auch bei höheren Verfestigungsspannungen (Drücken) steigt die Schüttgutfestigkeit nicht überproportional an, d. h. SIPERNAT® 22 zeigt ein ausgesprochen gutes Fließverhalten und kaum eine Tendenz zur Brückenbildung. Anders sieht es bei AEROSIL® 200 aus. Diese Kieselsäure zeigt eine Fließfunktion, die mit zunehmender Verfestigungsspannung leicht überproportional ansteigt. Da zusätzlich die Schüttdichte von AEROSIL® 200 extrem niedrig ist, errechnen sich relativ große Auslaufdurchmesser d zur Vermeidung einer Brückenbildung (d ist umgekehrt proportional der Schüttdichte). Weiterhin zeigt AEROSIL® 200 eine extreme Zeitverfestigung, vgl. **Tabelle 9**.

Tabelle 9 Schüttguttechnische Daten einiger Evonik Produkte, ermittelt mit dem Jenike-Gerät (nach J. Schwedes). Θ ist die maximale Neigung des Auslaufrichters gegen die Vertikale, bei dem Massenfluss noch erreicht wird. d ist der minimale Durchmesser der Auslauföffnung zur Vermeidung von Brückenbildung ohne Hilfseinrichtungen; D der entsprechende Durchmesser zur Vermeidung von Schachtbildung in einem Kernflusssilo. φ_x ist der Wandreibungswinkel zwischen Schüttgut und Wandmaterial, φ_e ist der effektive Reibungswinkel, der die innere Reibung des Schüttgutes bei stationärem Fließen angibt

	Θ	d [mm]	D [mm]	φ_x	φ_e	Schüttdichte [g/l]
AEROSIL® 200		(AIMg3 oder 1.4301)				
0 Tage	0	1640	2040	34	39–41	30–50
bis 1 Tag	0	4390	6200			
bis 3 Tage	0	5070	7140			
bis 7 Tage	0	5990	8430			
SIPERNAT® 320		(AIMg3)				
0 Tage	9	1170	1370	29,0–30,5	38–41	250–275
bis 1 Tag	9	1440	1720			
bis 3 Tage	9	1700	1990			
bis 7 Tage	9	1820	2180			
		(1.4301)				
0 Tage	13	1200	1370	28,0–28,5	38–41	250–275
bis 1 Tag	13	1480	1720			
bis 3 Tage	13	1740	1990			
bis 7 Tage	13	1910	2180			
SIPERNAT® 22		(AIMg3 oder 1.4301)				
0 Tage	16	165	195	25	32–33	240–250
bis 7 Tage	16	210	260			
SIPERNAT® 820 A		(1.4301)				
0 Tage	6	1810	2900	28–33	–	250–300
bis 1 Tag	6	4320	–			
bis 3 Tage	6	5350	–			
bis 4 Tage	6	–	5010			
bis 7 Tage	6	9150	–			
bis 18 Tage	6	–	>9140			

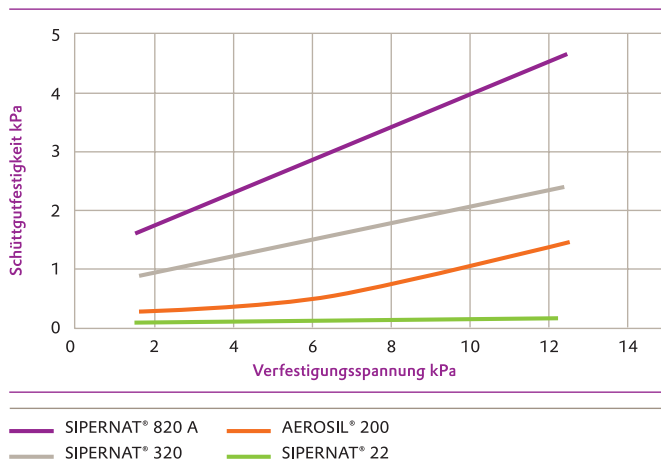
6 Dosierung von synthetischen Kieselsäuren

Die beiden Produkte SIPERNAT® 320 und SIPERNAT® 820 A zeigen Fließfunktionen, die zu höheren Schüttgutfestigkeiten hin verschobene Fließfunktionen und damit ein schlechteres Fließverhalten aufweisen. SIPERNAT® 820 A sollte, wie alle Schüttgüter mit deutlicher Zeitverfestigung, nicht in einem Kernflusssilo gelagert werden. Sind produktionsabhängig längere Lagerzeiten im Silo erforderlich, so sind entweder große Auslaufdurchmesser oder Austragshilfen notwendig. Zur quantitativen Ermittlung der Auslaufdurchmesser bzw. der Bereiche, in denen Austragshilfen (z. B. Luftdüsen etc.) einzusetzen sind, sollte im Einzelfall eine verfahrenstechnische Siloauslegung auf der Grundlage von Scherversuchen erfolgen.

Aufgrund der in **Abbildung 25** beschriebenen überproportionalen Festigkeitssteigerung liegen die errechneten Auslaufdurchmesser für SIPERNAT® 320 und SIPERNAT® 820 A ohne Einsatz von Austragshilfen in der Größenordnung der Silodurchmesser.

Da die Bestimmung der vorstehenden beschriebenen Reibungswinkel relativ aufwendig ist, wird manchmal der Schüttwinkel oder die Schüttkegelhöhe von Schüttgütern bestimmt. Diese Werte sind zwar schnell zu ermitteln und zur Messung der Verbesserung der Fließeigenschaften eines Produktes zu verwenden, jedoch für Silierungsfragen im Tonnenbereich ohne Aussage.

Abbildung 25 Fließfunktionen einiger Evonik Kieselsäuren (nach J. Schwedes)



Die Dosierung von synthetischen Kieselsäuren spielt bei der innerbetrieblichen Handhabung eine wesentliche Rolle. Oftmals muss sogar das System der innerbetrieblichen Förderung ganz auf die Dosierung ausgerichtet werden. Die volumetrische Dosierung von Schüttgütern ist nur noch von untergeordneter Bedeutung, da sie den Genauigkeitsanforderungen meist nicht genügt. Hauptsächlich kommen gravimetrische Dosiersysteme zum Einsatz, wobei zwischen kontinuierlichen und diskontinuierlichen unterschieden wird.

6.1 Gravimetrische Dosierung

6.1.1 Kontinuierlich

Für die kontinuierliche gravimetrische Dosierung von synthetischen Kieselsäuren haben sich Differentialdosierwaagen gut bewährt (siehe **Abbildung 26**). Beim Einsatz von Differentialdosierwaagen ist zu beachten, dass Kieselsäuren zum einen schlecht fließen, zum anderen aber, im fluidisierten Zustand auch zum „Schießen“ neigen. Deshalb müssen geeignete Gegenmaßnahmen getroffen werden.

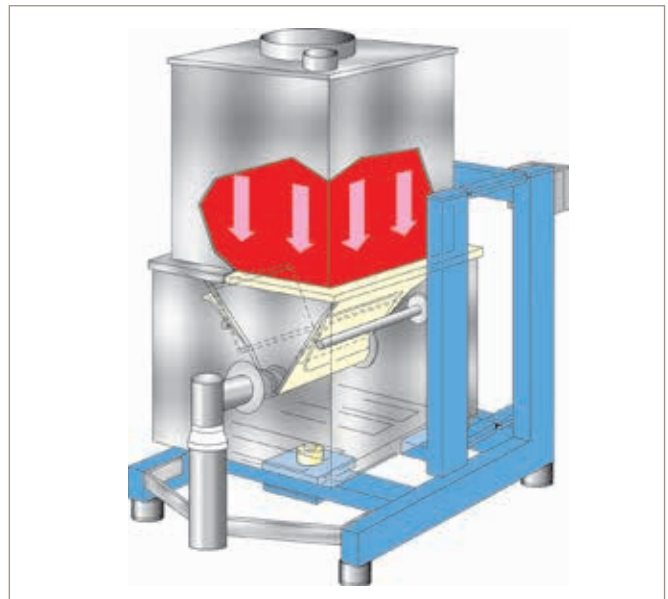


Abbildung 26 Schematische Darstellung einer Differentialdosierwaage (Brabender Technologie KG, 47055 Duisburg)

Die Differentialdosierwaage besteht aus einer Förderschnecke, die komplett mit dem im Vorlagebehälter befindlichen Produkt verwogen wird. Während die Förderschnecke die Kieselsäure aus dem Vorlagebehälter herausfördert, wird die Massenabnahme pro Zeiteinheit gemessen und daraus die entsprechende Schneckendrehzahl ermittelt.

Während der schnell ablaufenden Nachfüllung der Kieselsäure in den Vorlagebehälter dosiert die Differentialdosierwaage kurzzeitig volumetrisch. Dies geschieht jedoch mit recht hoher Genauigkeit, da die notwendige Drehzahl aus der bisher bei der gravimetrischen Dosierung verwendeten Schneckendrehzahl automatisch ermittelt wird. Um die Kieselsäure im Einzugsbereich der Dosierschnecke nicht zu stark aufzulockern, sollte deren Drehzahl 80 min^{-1} nicht übersteigen.

Auf einer Testanlage im Handhabungstechnikum von Evonik in Hanau wurden Versuche zur Ermittlung der Förderleistung solcher Dosiersysteme durchgeführt. Es wurde hierzu eine Differentialdosierwaage der Fa. Brabender Technologie GmbH, Duisburg verwendet. Die in der **Tabelle 10** aufgeführten Förderleistungen sind jedoch nur als Richtwerte zu sehen. In jedem Fall sind aber die Einstellungen der Differentialdosierwaage genau auf den jeweiligen Kieselsäuretyp abzustimmen, nur so lassen sich Dosierleistungen im kontinuierlichen Betrieb mit ausreichender Genauigkeit realisieren. Die Fehlertoleranz konnte bei allen Versuchen unterhalb 1 % ermittelt werden bezogen auf die vorgewählte Dosierate.

Tabelle 10 Versuchsergebnisse zur kontinuierlichen Dosierung von Kieselsäure mittels Differentialdosierwaage

Produkt	Schüttdichte [g/l]	Förderleistung in kg/h	
		Dosier- schnecke [40 mm]	Dosier- schnecke [80 mm]
AEROSIL® 200	45	2–15	5–35
AEROSIL® R 972	50	2–15	8–56
SIPERNAT® 320 DS	60	2–15	10–70
SIPERNAT® 22 S	95	5–35	15–105
SIPERNAT® 325	200	10–70	50–350
SIPERNAT® 2200	250	5–35	30–210
SIPERNAT® D 10	90	5–35	30–210
ULTRASIL® VN 3	200	10–70	50–350

6.1.2 Diskontinuierlich

Bei der diskontinuierlichen gravimetrischen Dosierung von synthetischen Kieselsäuren kann man zwischen zwei grundsätzlichen Methoden unterscheiden: zunächst die „Additive Verwiegung“, wobei ein Wägebehälter solange befüllt wird, bis das vorgegebene Gewicht erreicht ist. Ferner die „Subtraktive-“ oder „Differenz-Wägung“ wobei aus einem gefüllten Behälter soviel entnommen wird, wie vorgegeben ist. Die **Abbildung 27** zeigt eine Förderwaage, die über einem Mischer installiert ist, als Beispiel für die „Additive Verwiegung“. Das Produkt wird hier mittels saugpneumatischer Förderung in die Waage transportiert. Bei Erreichen des Sollgewichts erfolgt die Entleerung der Waage in den Mischer.



Abbildung 27 Behälterwaage zur chargenweisen Dosierung von synthetischen Kieselsäuren

Die **Abbildung 28** zeigt schematisch den Aufbau einer Differenz-Wägung. Aus dem als Waage ausgelegten Zwischensilo wird das Material entnommen und zu einem Mischer transportiert. Wenn der Sollwert erreicht ist, schließt die Behälterabsperrklappe und ein Falschluffventil wird geöffnet. Durch das Öffnen des Ventils wird auch das in der Leitung befindliche Material noch in den Mischer befördert.

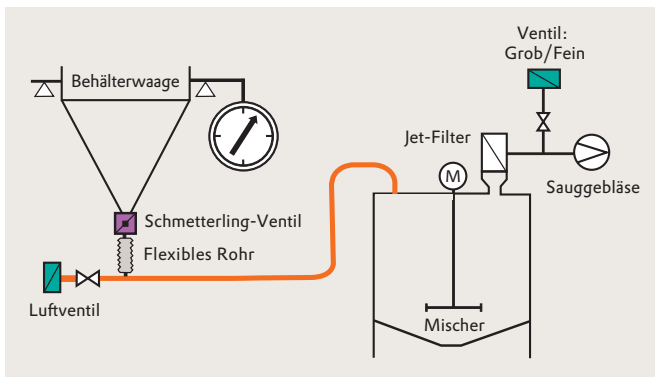


Abbildung 28 Schematische Darstellung einer Differenz-Wägung

Will man nur sehr kleine Mengen dosieren, so kann man auch einen Sack auf eine Plattformwaage stellen und die Kieselsäure direkt aus dem Sack herausaugen. Dieses Verfahren entspricht ebenfalls der Differenz-Wägung (vgl. **Abbildung 29**).

6.2 Volumetrische Dosierung

Die volumetrische Dosierung kommt nur da zum Einsatz, wo geringere Anforderungen an die Dosiergenauigkeit gestellt werden. Man kann zum Beispiel eine Druckluftmembranpumpe über die Anzahl der Hübe steuern. Bei der pneumatischen Förderung wäre es möglich, die Menge über die Förderzeit oder über Füllstandssonden im Empfangsbehälter einzustellen. In der Regel werden diese Möglichkeiten nur zur Befüllung von Behältern genutzt, aus denen dann gravimetrisch dosiert wird.

Die etwas exaktere Methode ist der Einsatz von Dosierschnecken. Die relativ hohe Genauigkeit dieser volumetrischen, drehzahlgesteuerten Dosierschnecken kommt jedoch nur im kontinuierlichen Betrieb zum Tragen. Die Genauigkeit, die hier in der Regel erreicht wird, liegt um $\pm 5-10\%$ in Abhängigkeit von der Gleichmäßigkeit der Schüttdichte des zu dosierenden Produktes. Auch hier gilt, dass die Drehzahl der Dosierschnecke 80 min^{-1} nicht übersteigen sollte.



Abbildung 29 Differenzwägung durch Herausaugen der synthetischen Kieselsäure aus einem Sack

7 Staubfreies Arbeiten im Betrieb

7.1 Herkömmliche Arbeitsweise

In der Regel werden in den Industriezweigen, die größere Mengen an synthetischen Kieselsäuren verarbeiten, Tages- bzw. Zwischensilos verwendet. Von dort gelangt die Kieselsäure über geeignete Fördergeräte in die Dosiereinrichtung und anschließend in die entsprechenden Verarbeitungsmaschinen. Zur Sicherung eines staubfreien Arbeitsplatzes ist es erforderlich, die Anlage mit einem Entstaubungssystem zu koppeln.

7.2 Systeme zur Einarbeitung von synthetischen Kieselsäuren in Flüssigkeiten

Im folgenden werden weniger bekannte Möglichkeiten die auch Verbrauchern von kleineren Mengen Kieselsäure ein weitgehend staubfreies Arbeiten ermöglichen beschrieben. Eine preisgünstige Variante zeigt schematisch **Abbildung 30**.

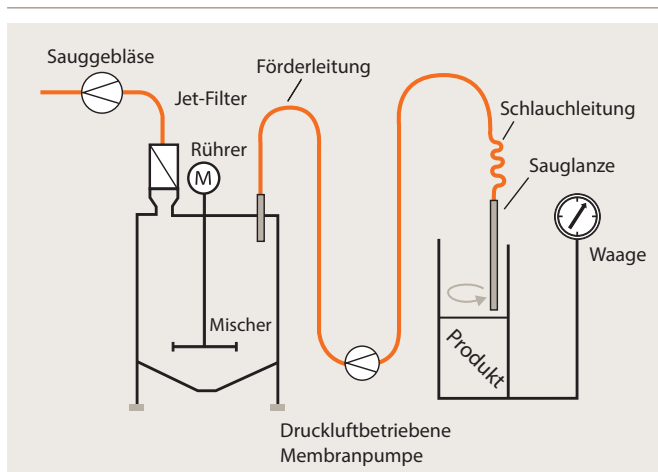


Abbildung 30

Schematische Darstellung einer Anlage zur staubfreien Einarbeitung synthetischer Kieselsäuren in Flüssigkeiten

Voraussetzung für ein Arbeiten nach diesem Schema, welches sich z. B. für AEROSIL® seit Jahren bewährt hat, ist die Verwendung einer in **Abbildung 13** und **14** gezeigten Doppelmembranpumpe und eines Jet-Filters. Beide Geräte können von verschiedenen Herstellern bezogen werden. Man fördert die pulverförmigen Kieselsäuren, wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, mit Hilfe eines Saugrüssels in einen abgedeckten Rührbehälter, der mit einer Absaugung versehen ist. Der an den Taschen- und Kerzenfiltern abgeschiedene Kieselsäurestaub wird durch Druckluftimpulse quantitativ in das Mischgefäß zurückgeführt. Steht der zu entleerende Sack dabei auf einer Plattformwaage, so können auch Teilmengen entnommen werden.

Eine weitere Möglichkeit zur staubfreien Einarbeitung von pulverförmiger Kieselsäure in niedrigviskose Flüssigkeiten stellt der Leitstrahlmischer dar. Dieses Gerät verbindet die Vorteile eines Strahlmischers mit der Funktion eines Rührers. **Abbildung 31** zeigt in schematischer Darstellung die Arbeitsweise dieses Leitstrahlmischers. Durch die erwähnte Kombination entsteht im Hohlraum zwischen Statorrohr und Welle ein

Unterdruck, durch den die Kieselsäure über den Einsaugstutzen eingezogen wird. Alternativ kann auch ein Rohr parallel zur Rührerwelle geführt werden. Falls die verwendete Flüssigkeit die in Frage kommende Kieselsäure vollständig benetzt, tritt bei dieser Arbeitsweise keine Staubentwicklung auf. Ist die Benetzung weniger vollständig, so kann der nicht benetzte Kieselsäure-Anteil auf die Flüssigkeitsoberfläche austreten. Bei diesem Verfahren ist zu beachten, dass durch die Einarbeitung von pulverförmiger Kieselsäure in die Flüssigkeit die Viskosität ansteigt. Diese Viskositätserhöhung bewirkt eine Verringerung des erreichbaren Unterdrucks. Die Viskositätsgrenze, bei der das Vakuum gerade noch zum Einziehen der Kieselsäure in akzeptabler Geschwindigkeit ausreicht, liegt bei etwa 500 bis 600 mPa · s.

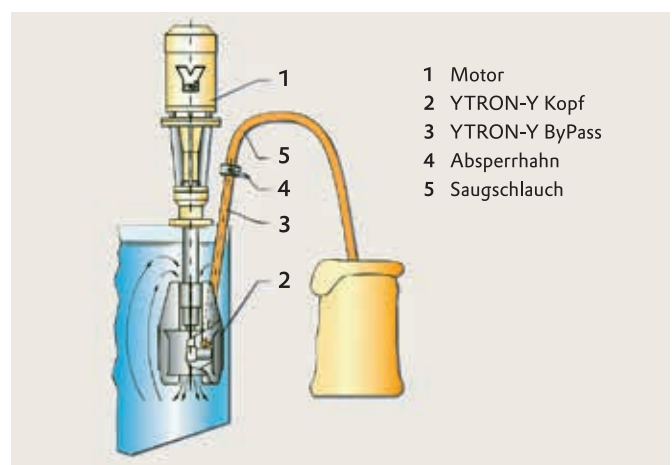


Abbildung 31

Schematische Darstellung der Arbeitsweise des Leitstrahlmischers (Hersteller: YTRON Dr. Karg GmbH, 83233 Bernau a. Chiemsee)

Auch für die kontinuierliche Einarbeitung synthetischer Kieselsäuren in Flüssigkeiten sind verschiedene Geräte auf dem Markt erhältlich. Zum Einen kann man einen sogenannten Online-Strahlmischer, ein statischer Mischer, der zusammen mit einer zwangsfördernden Pumpe eingesetzt wird, verwenden. Durch Hindurchpumpen der Flüssigkeit durch den Mischer entsteht an einem seitlichen Stutzen ein Unterdruck, durch den die Kieselsäure eingesaugt wird (VENTURI-Prinzip). Die Benetzung erfolgt in der Rohrleitung hinter dem Mischer.

Zum Anderen sind seit einigen Jahren eine Maschinen im Einsatz, welche in bestimmten Viskositätsbereichen selbständig fördern können. Die Förderorgane wirken nach dem Prinzip einer Kreiselpumpe. Hierbei wird die Flüssigkeit im Gehäuse stark beschleunigt, wodurch ein Unterdruck erzeugt wird, welcher zum Ansaugen der Kieselsäure benutzt wird. Die Kieselsäure erreicht die Flüssigkeit in einem relativ gut fluidisierten Zustand, was zu einer schnellen und vollständigen Benetzung führt. Im gleichen Arbeitsgang kann je nach Ausrüstung der Maschine im Gehäuse eine Dispergierung erfolgen. Hierfür stehen verschiedene Einbauten zur Verfügung (vgl. **Abbildung 32**).

8 Einfluss der Handhabung auf die Produkteigenschaften

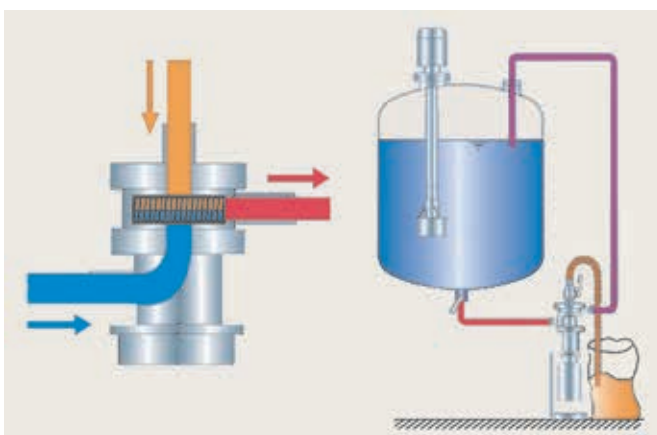


Abbildung 32
Schematische Darstellung einer Pulver-Einarbeitungsanlage Conti TDS (Hersteller: Ystral GmbH, 79282 Ballrechten-Dottingen)

Eine weitere bewährte Variante zur direkten, staubfreien Einarbeitung von pulverförmigen Kieselsäuren in hochviskosen Flüssigkeiten zeigt das in **Abbildung 33** dargestellte Schema.

Diese Prozessanlage besitzt eine Vorrichtung, mit der Pulver mittels Unterdruck in einem Behälter eingesaugt werden kann. Die abgewogene Menge, die sich in einem Vorratsbehälter befindet, wird sofort von einem schnelllaufenden Rührwerk erfasst und von der Flüssigkeit benetzt. Die in der gleichen Anlage eingebaute Kolloidmühle zerkleinert und dispergiert das Pulver auf die gewünschte Korngröße. Dieses Verfahren arbeitet nicht nur staubfrei, sondern vermeidet auch eine Anreicherung von Luft im Mischgut, so dass ein zusätzlicher Entlüftungsschritt in den meisten Fällen nicht erforderlich ist.

Da diese Prozessanlage mit einem Doppelmantel ausgerüstet ist, kann das Mischgut sowohl geheizt als auch gekühlt werden. Bei allen Arbeitstechniken sollte dafür gesorgt werden, dass die Kieselsäure gleichmäßig eingearbeitet wird. Einmal entstandene Verklumpungen lassen sich später kaum noch einwandfrei dispergieren

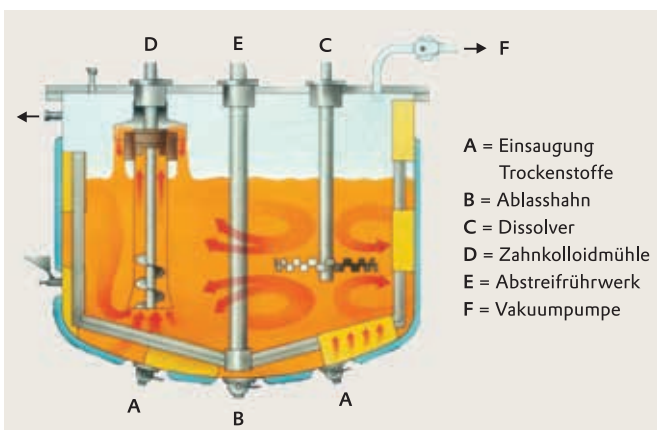


Abbildung 33
VME-Prozessanlage (Hersteller: FRYMA-Maschinenbau GmbH, 79618 Rheinfelden)

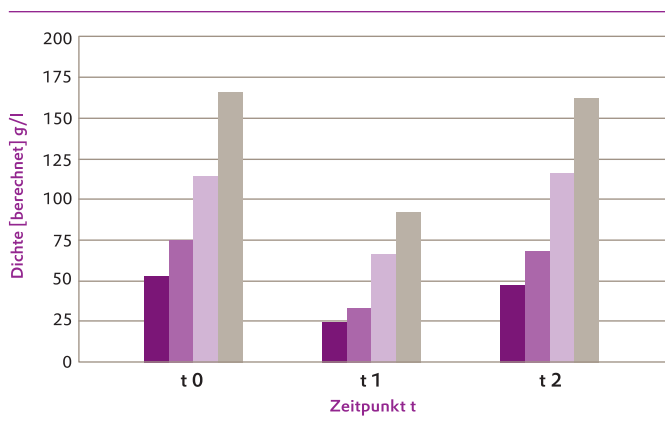
Die Eigenschaften synthetischer Kieselsäuren verändern sich bei der Handhabung nicht, wenn man von der Auflockerung absieht.

Generell ist bei der Auslegung von Handhabungsanlagen darauf zu achten, dass die synthetischen Kieselsäuren bei der Fluidisierung bzw. Fördern, je nach Typ und Luftmenge, eine Auflockerung zwischen 20% und 60% erfahren. Die unterschiedliche Auflockerung der verschiedenen Kieselsäuren zeigt **Abbildung 34**. Die gezeigten Werte wurden in einer Laborapparatur ermittelt.

Es ist zu beachten, dass es bei der Verwendung von nicht getrockneter Druckluft zum Fördern, Fluidisieren etc. zu Feuchtigkeitsaufnahme kommen kann. Diese Feuchtigkeitsaufnahme ist jedoch relativ gering, so dass besondere Maßnahmen nur dann notwendig sind, wenn aus produktions- oder anwendungstechnischen Gründen ein äußerst niedriger Wassergehalt gefordert wird, vgl. **Abbildung 35-37**.

Kieselsäure-Granulate, bei denen auf möglichst geringen Feinanteil Wert gelegt wird, sollten pneumatisch nur im Dichtstromverfahren gefördert werden, da sonst die Granulatstruktur durch die hohen Geschwindigkeiten zerstört werden kann.

Abbildung 34 Unterschiedliche Auflockerungen verschiedener Evonik Kieselsäuren, aus Laborversuchen ermittelt
t0 = Dichte vor Fluidisierung
t1 = Dichte während Fluidisierung (Förderung simuliert)
t2 = Dichte nach Förderung



■ AEROSIL® 200 ■ SIPERNAT® 500 LS
■ SIPERNAT® 22 S ■ SIPERNAT® 320

9 Produktsicherheit

Abbildung 35 Wasseraufnahme von AEROSIL® 200 in Abhängigkeit von der Lagerzeit

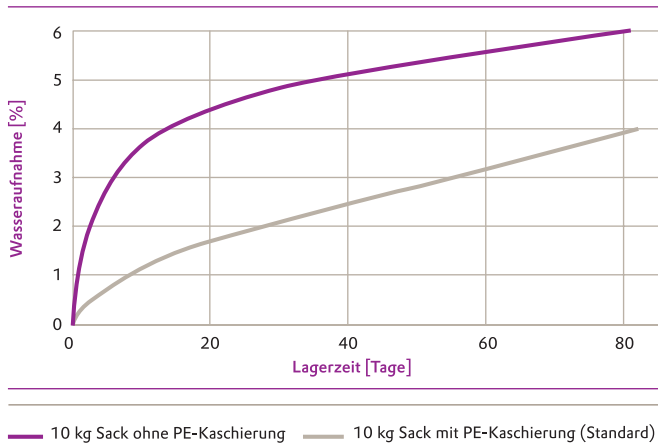


Abbildung 36 Wasseraufnahme von ULTRASIL® VN3 in Abhängigkeit von der Lagerzeit

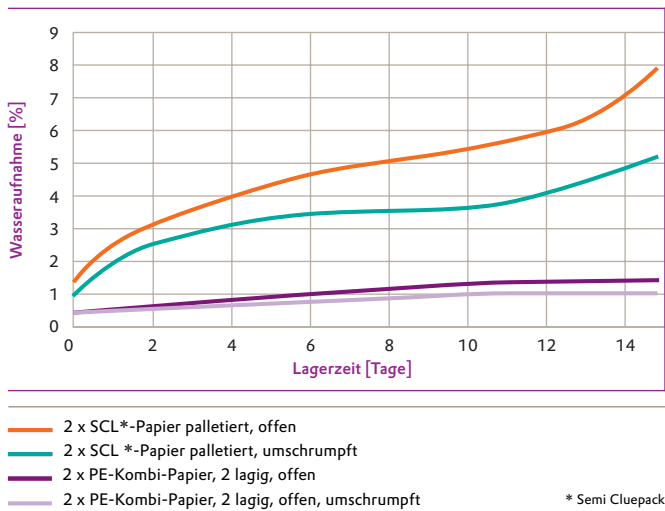
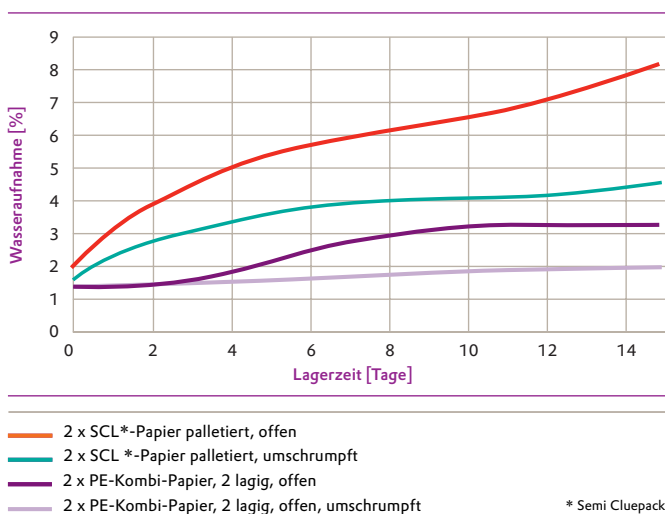


Abbildung 37 Wasseraufnahme von SIPERNAT® 22 in Abhängigkeit von der Lagerzeit



9.1 Toxikologie und Arbeitshygiene

Synthetisch amorphe Kieselsäuren vom Typ AEROSIL® zeichnen sich durch das Fehlen kristalliner Strukturen aus. Üblicherweise wird als Bestimmungsmethode auf eine Kombination aus Anreicherung des kristallinen Anteils und Röntgenbeugung zurückgegriffen. Die Nachweisgrenze dieser Methode liegt unter 0,05 Gewichtsprozent und wird für alle Kieselsäuren von Evonik unterschritten. Deshalb gelten diese als komplett amorph.

Synthetisch amorphe Kieselsäure wird in einer Vielzahl von Produkten und Prozessen eingesetzt. Die Verabreichung synthetisch amorpher Kieselsäure führt weder auf dem oralen noch auf dem dermalen Weg zu akut toxischen Symptomen. Studien zur Bewertung der Toxizität bei Haut- und Augenkontakt zeigen, dass synthetisch amorphe Kieselsäure weder Augen noch Haut reizt.

Es ist bekannt, dass synthetisch amorphe Kieselsäure bei chronischem Hautkontakt zu Austrocknung oder degenerativen Ekzemen führen kann. Diese Reaktionen lassen sich durch intensiven Hautschutz bzw. Pflege vermeiden. Aus den Daten arbeitsmedizinischer Untersuchungen in den Jahrzehnten der Herstellung und Nutzung ergeben sich keine Anhaltspunkte für ein sensibilisierendes Potenzial. Es wurde über keinen Fall einer Kontaktallergie berichtet. Synthetisch amorphe Kieselsäuren haben keine erbgutverändernde Wirkung. Nach wiederholter oraler Einnahme wurden keine behandlungsbedingten Effekte festgestellt. Eine teratogene Wirkung wurde nicht beobachtet.

In Inhalationsstudien führte keine der untersuchten synthetisch amophen Kieselsäuren zu dauerhaften Veränderungen in der Lunge oder mit einer Silikose vergleichbaren fortschreitenden Schäden. In epidemiologischen Studien an langzeitbelasteten Arbeitern wurden keine Hinweise auf eine Silikose gefunden. Die verfügbaren Daten lassen keine Hinweise auf Lungenkrebs oder andere dauerhafte Erkrankungen der Atemwege erkennen. Synthetisch amorphe Kieselsäuren können unter Einhaltung einer guten Arbeitshygiene und Beachtung der geltenden Arbeitsplatzgrenzwerte sicher gehandhabt werden.

In Deutschland darf ein Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) von 4 mg/m^3 (eintembarer Staubanteil) nicht überschritten werden (andernorts geltende Belastungsrichtwerte am Arbeitsplatz sind den Sicherheitsdatenblättern zu entnehmen). Kann dieser nicht gewährleistet werden, sind örtliche Absaugvorrichtungen anzubringen oder Staubschutzmasken zu tragen.

9.2 Sicherheitstechnik

Grundsätzlich ist Kieselsäure in ihrer ursprünglichen Form inert und damit sicherheitstechnisch unproblematisch. Allerdings gibt es einige oberflächenbehandelte Kieselsäuren, die aufgrund ihres Anteils an organischen Substanzen auf der Oberfläche recht reaktiv sind. So kann es bei einigen AEROSIL® Typen zur Selbsterhitzung kommen. Diese volumenabhängige Reaktion ist z. B. bei AEROSIL® R 7200 und bei AEROSIL® R 805 zu beobachten. Dieser Sachverhalt ist bei der Auslegung von Produktionsanlagen und bei der Gestaltung von Lagern zu beachten. Nähere Informationen hierzu finden Sie im Sicherheitsdatenblatt und in der Technischen Information „Lagerung von AEROSIL®“, TI 1373. Darüber hinaus besteht bei einigen oberflächenbehandelten AEROSIL® Typen, wie zum Beispiel bei AEROSIL® R 805 die Gefahr der Staubexplosion. Bei der Verwendung dieser Produkte sind demnach Schutzmaßnahmen zu beachten. Nähere Informationen entnehmen Sie bitte dem Sicherheitsdatenblatt und der Technischen Information „Staubexplosionsschutz bei Handhabungsanlagen für oberflächenmodifiziertes AEROSIL®“, TI 1363. Dort finden Sie auch Angaben zu den, aus den Sicherheitskenndaten resultierenden Schutzmaßnahmen.

9.3 Umweltverhalten

Bei synthetisch amorpher Kieselsäure handelt es sich um einen anorganischen, schwer wasserlöslichen Stoff. Aufgrund dieser Eigenschaften ist die Bioverfügbarkeit für Wasserorganismen sehr gering. In akuten Tests nach OECD-Testleitlinien bei Ausgangskonzentrationen von 1.000 und 10.000 mg/l wurden weder bei Fischen noch bei der Daphnie eine schädigende Wirkung festgestellt.

Aufgrund der physikalisch-chemischen Eigenschaften und der akuten Ökotoxizitätsdaten sind chronische Auswirkungen oder eine Anreicherung in Wasserorganismen nicht zu erwarten. Die allgemein gültigen Vorschriften zur Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit von Stoffen (OECD- und EEC-Richtlinien) lassen sich nur auf organische Substanzen anwenden. Synthetisch amorphe Kieselsäure ist ein inerter anorganischer Stoff und wird von Mikroorganismen nicht weiter abgebaut.

Die deutsche Kommission zur Bewertung wassergefährdender Stoffe hat synthetisch amorphe Kieselsäure als nicht wassergefährdend eingestuft (KBwS-Nr.: 849). Siliziumdioxid ist auch in der OSPAR-Liste der offshore verwendeten und eingeleiteten Stoffe und Zubereitungen aufgenommen, die eine geringe oder keine Gefahr für die Umwelt darstellen (PLONOR), aufgeführt.

9.4 Entsorgung

Nach unserem Kenntnisstand sind sämtliche AEROSIL® Produkte ökologisch unbedenklich. Bei der Beseitigung von AEROSIL® oder AEROSIL® haltigen Abfällen sind die örtlich gültigen Abfallbeseitigungsgesetze und -vorschriften unbedingt zu beachten. Wichtig ist, dass bei der Entsorgung jegliche Staubbildung vermieden wird.

Für AEROSIL® Produkte kann keine Abfallschlüsselnummer gemäß Europäischem Abfallverzeichnis festgelegt werden, da eine solche Zuordnung ausschließlich in Verbindung mit einem (derzeit nicht gegebenen) bestimmten Verwendungszweck durch den Verbraucher möglich ist. Die Abfallschlüsselnummer ist gemäß Europäischem Abfallverzeichnis (Entscheidung 2000/532/EC der Kommission über das Abfallverzeichnis) in Absprache mit Entsorgern/Herstellern/Behörden festzulegen.

9.5 Gesetzliche Regelungen

AEROSIL® ist gemäß „Deutschem Wasserrecht (Verwaltungsvorschrift wassergefährdender Stoffe, KBwS-Nr. 849)“ als „Nicht wassergefährdend“ eingestuft. Es stehen AEROSIL® Produkte zur Verwendung als Zusatzstoffe in Lebens- und Futtermitteln, Lebensmittelbedarfsgegenständen, Spielzeugen, Kosmetika oder Pharmazeutika zur Verfügung.

Unsere Informationen entsprechen unseren heutigen Kenntnissen und Erfahrungen nach unserem besten Wissen. Wir geben sie jedoch ohne Verbindlichkeit weiter. Änderungen im Rahmen des technischen Fortschritts und der betrieblichen Weiterentwicklung bleiben vorbehalten. Unsere Informationen beschreiben lediglich die Beschaffenheit unserer Produkte und Leistungen und stellen keine Garantien dar. Der Abnehmer ist von einer sorgfältigen Prüfung der Funktionen bzw. Anwendungsmöglichkeiten der Produkte durch dafür qualifiziertes Personal nicht befreit. Dies gilt auch hinsichtlich der Wahrung von Schutzrechten Dritter. Die Erwähnung von Handelsnamen anderer Unternehmen ist keine Empfehlung und schließt die Verwendung anderer gleichartiger Produkte nicht aus.

ACEMATT®, AEROSIL®, AEROXIDE®, SIPERNAT® und ULTRASIL® sind eingetragene Marken der Evonik Industries AG oder ihrer Tochterunternehmen.



Evonik Resource Efficiency GmbH

Business Line Silica
Handling Technology
Rodenbacher Chaussee 4
63457 Hanau
Germany

TELEFON +49 6181 59-4743

TELEFAX +49 6181 59-4201

aerosil@evonik.com

www.aerosil.de

TB 28-0-JUL15

Evonik. Kraft für Neues.