

Know-How:

Das große Intensiv-Filter Lexikon der Entstaubung

Intensiv-Filter hat für Sie das Lexikon der Entstaubung aufgebaut. Hier finden Sie (fast) alles über die Grundlagen der Staubabscheidung, typische Merkmale der Filtration, häufige Einsatzbedingungen und vieles mehr. Unser Lexikon wird laufend erweitert und ergänzt. Es lohnt sich also, öfters vorbeizusurfen - oder weitere Informationen beizusteuern, die wir für Sie veröffentlichen.

Inhalt

1	Profiwissen Staubabscheidung	2
2	Profiwissen regenerierbare Filter	6
3	Profiwissen Speicherfilter	18
4	Profiwissen Filtermedien	19
5	Profiwissen Planungshinweise	23
6	Profiwissen Explosionsschutz	31
7	Profiwissen gesetzliche Bestimmungen	39

1 Profiwissen Staubabscheidung

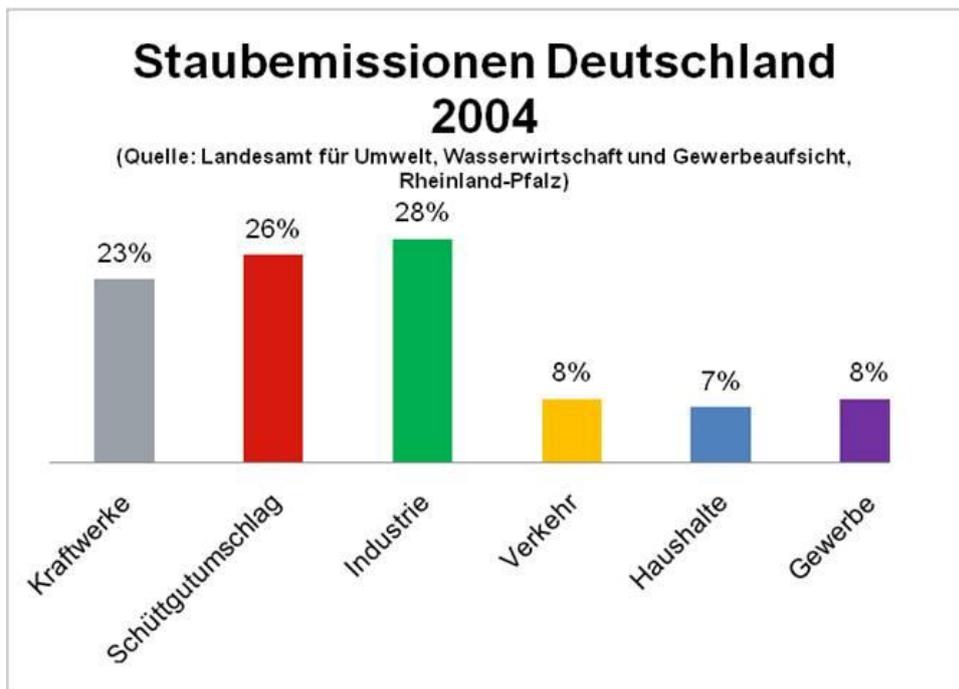
1.1 Staubhaltige Gase

In vielen industriellen Prozessen dient Luft als Arbeitsmedium und wird dabei in der Zusammensetzung verändert bzw. nimmt Fremdstoffe auf, z.B. bei der pneumatischen Schüttgutförderung.

Viele Stäube sind gesundheitsschädlich, toxisch oder explosionsfähig und schädigen Mensch und Umwelt. Soll die Luft später wieder aus dem Prozess in die Atmosphäre zurück geführt werden, müssen die Fremdstoffe dieser Luft entzogen werden. Oft wird als Arbeitsmedium auch ein anderes Gas verwendet, beispielsweise Stickstoff. Auch dann müssen die Fremdstoffe gefiltert werden, um entweder das gereinigte Gas in den Prozess zurückführen zu können oder wertvolle Produkte zurück zu gewinnen.

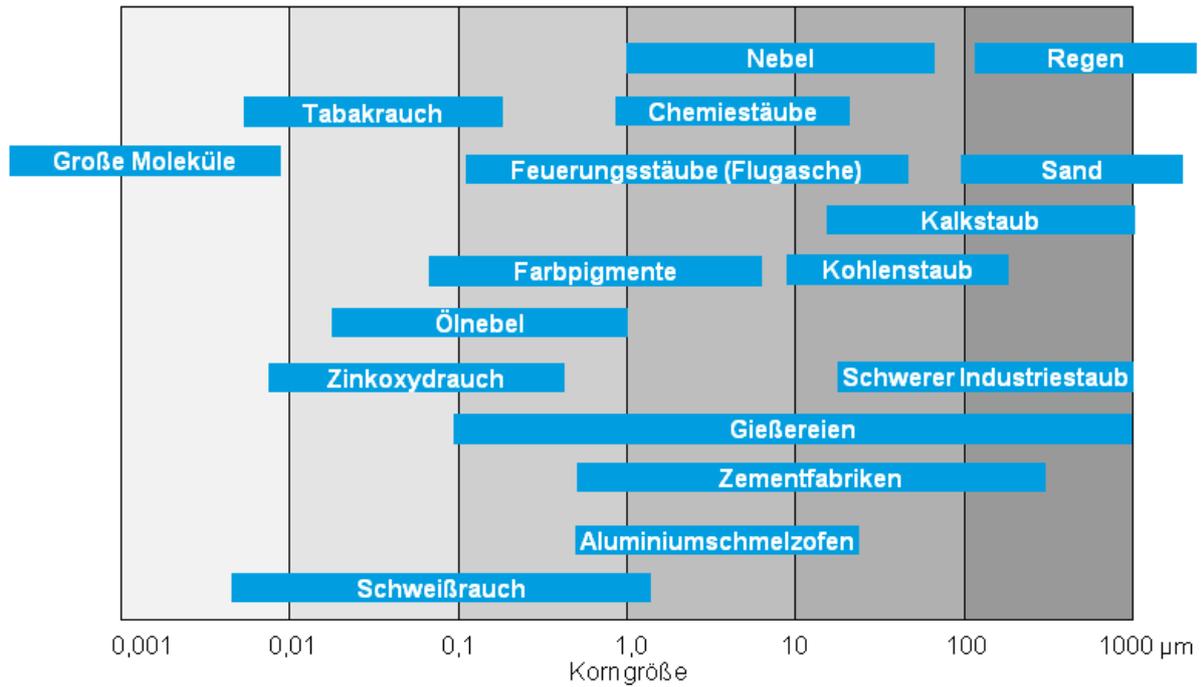
1.2 Staubemissionen Deutschland

Durch den Einsatz von Entstaubungsanlagen in der Industrie und Energiewirtschaft konnte der Grobstaubanteil gewichtsmäßig seit den 80er Jahren erheblich zurückgedrängt werden



1.3 Industriestäube

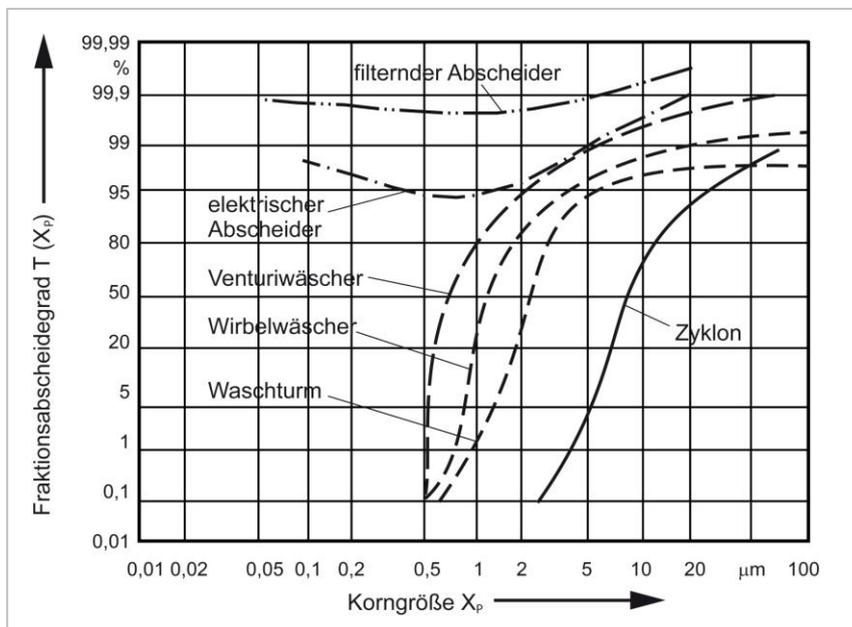
Die in den staubhaltigen Gasströmen enthaltenen Staubpartikel können in der Regel ein Korngrößenspektrum von 0,1 bis 1.000 µm aufweisen.



1.4 Technische Verfahren zur Staubabscheidung

Die Trennung von Staubpartikel und Gas erfolgt durch unterschiedliche Entstaubungsverfahren und Staubabscheider.

- Schwerkraftabscheider (z.B. Absetzkammer)
- Zentrifugalkraftabscheider (z.B. Zyklon)
- Nassabscheider (Rotationswäscher, Hochleistungswäscher, etc.)
- Elektrische Abscheider (Elektrofilter)
- Filtrationsabscheider (Gewebefilter, Patronenfilter)



Abscheidegrade unterschiedlicher Staubabscheider. Die Abscheidegrade stehen immer in Abhängigkeit zur Korngröße. (Bank, Matthias Dr., Basiswissen Umwelttechnik, 2006)

Kenndaten	Zentrifugal- kraftabscheider	Nassab- scheider	Elektrische Abscheider	Filtrations- abscheider
Hohe Abscheidegrade im Korngrößenbereich in μm	> 10	> 0,1	> 1	> 0,5
Rohgasstaubgehalt in g/m^3	< 1.000	< 10	< 50	< 100
Erzielbarer Reingasstaub- gehalt in mg/m^3	100 – 200	50 – 100	< 50	< 20
Druckverlust in Pa	500 – 3.000	100 – 1.000	30 – 400	600 – 2000 (VDI, 3677)
Max. Gastemperatur in $^{\circ}\text{C}$	450	300	450	260
Durchsatz in m^3/h	3.000 – 200.000	3.000 – 100.000	10.000 – 300.000	1.000 – 100.000

2 Profiwissen regenerierbare Filter

Grundsätzlich stehen als Abscheidesysteme Schwerkraftabscheider, Zentrifugalkraftabscheider; Nassabscheider; Elektrische Abscheider und Filtrationsabscheider zur Auswahl. Filtrationsabscheider werden in Speicherfilter und regenerierbare Filter unterschieden, wobei letztere in der Kategorie der Filtrationsabscheider auf Grund ihrer Vorteile eine dominierende Rolle einnehmen. Das große Intensiv-Filter-Lexikon der Entstaubung liefert detailliertes Wissen zu regenerierbaren Filtern.

2.1 Charakteristika

Sogenannte regenerierbare Filter werden bei der Abscheidung von Feststoffpartikeln aus Gasen eingesetzt, wenn in hohen Konzentrationen staubbeladene Abluft (bis zu 200 g/m^3) gereinigt werden sollen. Die Reinigungswirkung beruht auf der sogenannten Oberflächenfiltration. Dabei erfolgt die Abscheidung der Partikel hauptsächlich an der Oberfläche der Filtermedien an der sich ausbildenden Partikelschicht (Staubkuchen). Nach Erreichen eines vorgegebenen Druckverlusts oder in fest definierten Intervallen werden die Filtermedien abgereinigt, so dass der Filtrationsprozess periodisch wiederholt werden kann. Der abgeschiedene Staub kann zurückgewonnen werden.

Die Bauformen von regenerierbaren Filtern unterscheiden sich in der geometrischen Anordnung der Filtermedien, der Gasführung und der Abreinigungsart.

Eine weitere Unterteilung filternder Abscheider erfolgt nach Art und Konfektionierung des Filtermaterials. Bezüglich der Art der Filtermedien wird zwischen Schlauchfilter, Taschenfilter, Patronenfilter, Lamellenfilter und Kassettenfilter unterschieden.

regenerierbare Filter	
Abreinigung	Rütteln, Gegenspülung oder Druckluftstöße
Typische Parameter	
Reststaubkonzentration	1 bis 20 mg/m ³
Partikelgrößenverteilung	< 0,1 bis 100 µm
Rohgaskonzentration	0,5 bis 500 g/m ³
Temperatur	-40 bis +260°C
Filtermedien	Nadelfilze, Spinnvliese, PTFE-Membranen, nassgelegte papierartige Vliese
Typische Kenngrößen	abreinigbar
Flächengewicht	150 bis > 700 g/m ²
Filterflächenbelastung	30 bis 180 m ³ /m ² h
Differenzdruck nach Inbetriebnahme	200 bis 500 Pa
stationärer Differenzdruck	200 bis 500 Pa
Geometrie	Schlauchfilter, Taschenfilter, Patronenfilter, Lamellenfilter, Kassettenfilter, Starrkörperfilter

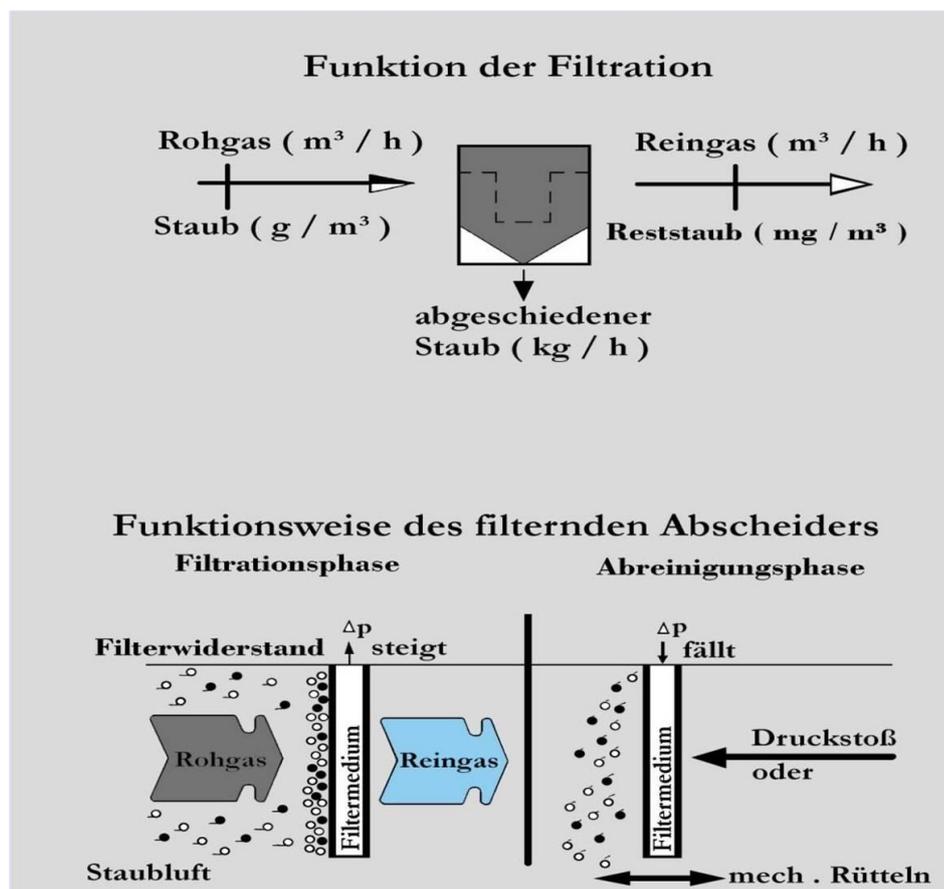
2.2 Geometrie von Schlauchfilter, Taschenfilter, Patronenfilter, Lamellenfilter und Kassettenfilter

- Bei Schlauchfiltern ist das Filterelement in der Regel ein zylindrischer Schlauch. Die Filterschläuche werden in unterschiedlichen Durchmessern und Längen hergestellt. Schlauchfilter werden zur Filtration von Abluft bei niedrigeren und mittleren Temperaturen bis ca 250 °C eingesetzt, das Schlauchgewebe hält bei der Durchströmung den Staub zurück. Die Filterschläuche werden regelmäßig - meist durch Druckluftimpulse - abgereinigt. Hierbei wird der Abreinigungseffekt des Druckluftimpulses zusätzlich durch das schlagartige Aufblähen des Filterschlauches verstärkt. Schlauchfilter eignen sich deshalb vor allem für klebrige, bzw. stark adhäsive Stäube.
- Taschenfilter werden zur Entstaubung kleinerer Gasmengen eingesetzt. Das Filtermedium wird über ebene, plattenförmige Rahmen gespannt, die an einer Seite für den Reingasaustritt geöffnet sind. Die Durchströmung erfolgt von außen nach innen. Die Filtertaschen werden regelmäßig - meist durch Druckluftimpulse - abgereinigt. Hierbei wird der Abreinigungseffekt des Druckluftimpulses zusätzlich durch das schlagartige Aufblähen der Filtertasche verstärkt. Dieser Effekt ist beim Taschenfilter nur minimal geringer als beim Schlauchfilter. Auch Taschenfilter eignen sich deshalb vor allem für klebrige, bzw. stark adhäsive Stäube.
- Patronenfilter sind eine immer öfter eingesetzte Alternative zu Schlauchfiltern. Das Filtermedium wird sternförmig gefaltet und auf einen zylindrischen Stützkorb aufgebracht. Die Durchströmung erfolgt von außen nach innen, die Abreinigung per Druckstoß oder Niederdruckspülung. Patronenfilter werden nur bei leicht abzureinigenden Stäuben eingesetzt, da andernfalls ein Verstopfen der Falten mit Staub erfolgt.
- Lamellenfilter sind eine Alternative zu Taschenfiltern. Zwei gefaltete Filtermedien werden aufeinander gelegt und an ihren Kontaktstellen miteinander verklebt oder verschweißt. Die Durchströmung erfolgt von außen nach innen, die Abreinigung per Druckstoß oder Niederdruckspülung. Lamellenfilter werden nur bei leicht abzureinigenden Stäuben eingesetzt, da andernfalls ein Verstopfen der Falten mit Staub erfolgt.
- Bei Kassettenfiltern („HEPA-Filter“) tritt das staubbeladene Gas meist im unteren Teil in die Rohgaskammer des Filtergehäuses ein - hier findet bereits eine Vorabscheidung statt - und durchströmt zunächst die erste Filterstufe. Dabei wird der mitgeführte Feinstaub an den Faltungen der Filterkassette außen abgeschieden. Die Abreinigung der Filterkassette erfolgt pneumatisch. Ein Düsenrohr fährt über die gesamte Breite und Länge der Filterkassette

langsam vor und wieder zurück. Die Druckluft bläst die Filterkassette nach unten hin aus und befreit die Filterelemente vom Staub. Das gereinigte Gas aus der ersten Filterstufe kann optional eine zweite, nicht abgereinigte Filterstufe durchströmen. (Sicherheitsfilter, Polizeifilter)

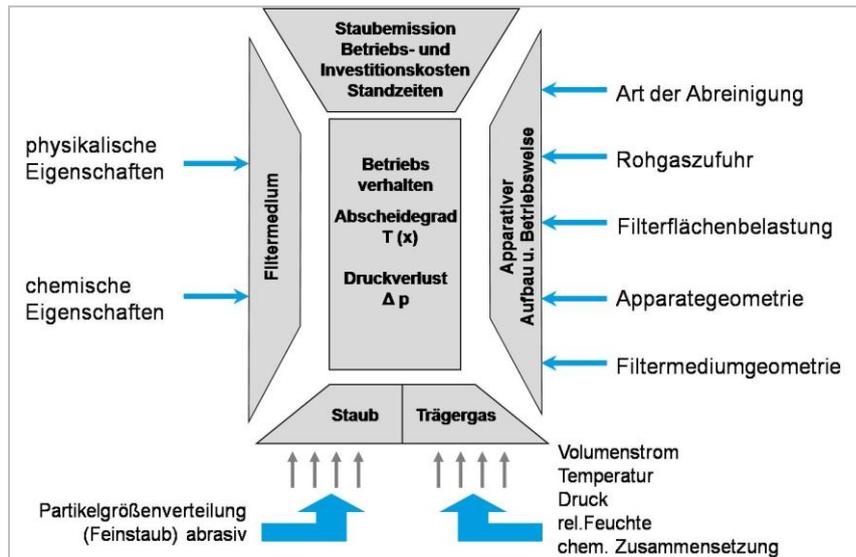
2.3 Funktionsweise filternde Abscheider

Das partikelbeladene Gas durchströmt die Filterelemente in aller Regel von außen nach innen: Durch den Luftstrom setzt sich das Filtrat außen auf den Filtermedien ab. Dabei baut sich eine Staubschicht - der sogenannte Filterkuchen - auf. Periodisch müssen die Filtermedien abgereinigt werden. Zum Abreinigen wird durch kurze Druckluftimpulse bzw. mechanische Rüttelbewegungen, Rückspülen mit Luft oder kurze Druckluftimpulse der Staubschicht wieder abgelöst. Die Staubschicht fällt nach unten z.B. in einen Auffangtrichter, der regelmäßig entleert wird. (z.B. über eine Zellenradschleuse)



2.4 Betriebsverhalten filternde Abscheider

Das Betriebsverhalten hängt von einer Vielzahl von Einflussgrößen ab: Aufbau der Filteranlage, Art und Gestaltung des Filtermediums, Betriebsweise der Anlage, Eigenschaften der Partikel und Eigenschaften des Trägergases

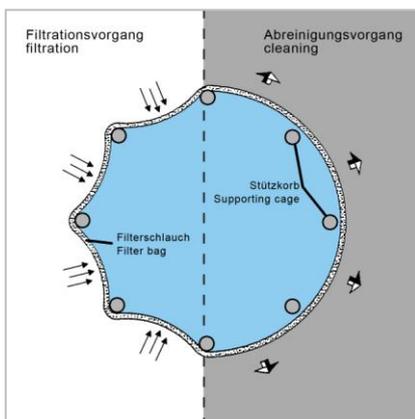


Einflussgrößen auf das Betriebsverhalten von Filtrationsabscheidern in Anlehnung an Löffler

2.5 Abreinigungsmechanismen Staubabscheider

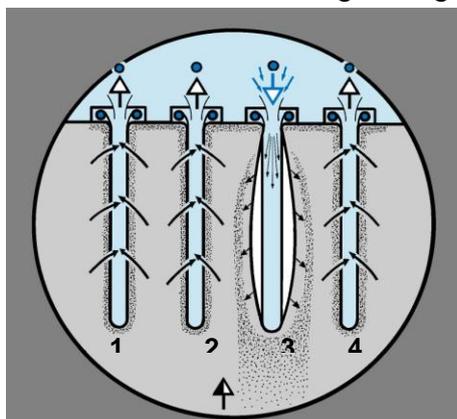
Bei der mechanischen Trennung von Staubpartikel und Gas am Filterelement entsteht durch die wachsende Staubschicht an der Oberfläche des Filterelementes ein Differenzdruck (Filterwiderstand). Um die Überschreitung eines bestimmten Differenzdruckes (normalerweise $< 1.500 \text{ Pa}$) zu vermeiden, müssen die Filterelemente periodisch gereinigt werden.

Die Art der Abreinigung ist neben der Form und Anordnung der Filtermedien das zentrale Konstruktionsmerkmal eines Filters. Bei den ersten Staubabscheidern erfolgte die Abreinigung als manuelle Reinigung, in der Folge durch Vibration, über Spülluft bis zur Entwicklung und Etablierung der Druckluftabreinigung (Jet-Pulse-Abreinigung). Der Übergang von Verfahren der Spülluftabreinigung zur Jet-Pulse-Abreinigung hat durch die wirksame Entfernung der sich periodisch ablagernden Filterkuchen erheblich zur Steigerung der Energieeffizienz beigetragen.



Filtrier- und Abreinigungsverfahren eines druckluftabgereinigten Filterschlauchs

Die Schlauchreihen 1, 2 und 4 befinden sich im Filtrierprozess, während gleichzeitig die Schlauchreihe 3 abgereinigt wird.



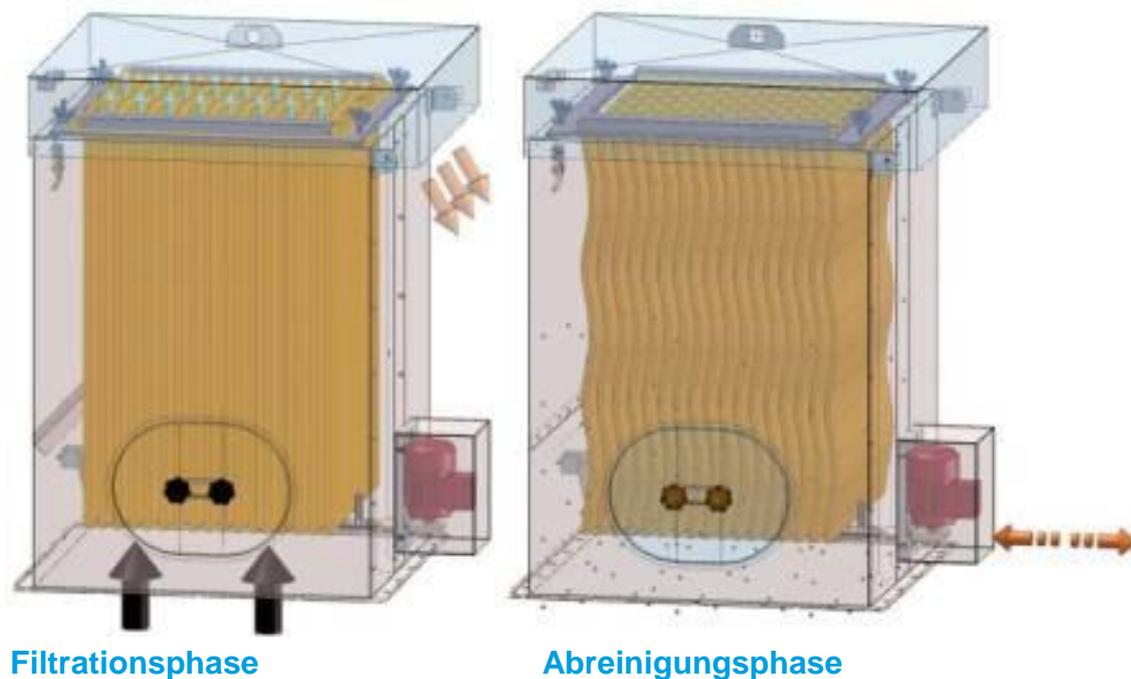
Abreinigungsverfahren im online-Betrieb

Verfahren	Energiebedarf (Reverse Air = 100 %)	Dp Anlage (Mittelwerte)
Mechanische Abreinigung	120 %	2000 Pa
Reverse Air Abreinigung (offline)	100 %	1600 Pa
Jet-Pulse Abreinigung (online)	80 %	1.200 Pa
Optimierte Jet-Pulse Abreinigung (offline)	55 %	1000 Pa

2.6 Regenerierbare Filter mit mechanischer Abreinigung

Die Abreinigung erfolgt mit Hilfe einer motorisch zu betätigenden Rüttelvorrichtung. Bei automatischer Abreinigung setzt sich bei Erreichen des maximalen Filterwiderstandes oder nach einer festgelegten Zeitspanne ein Motor in Betrieb, der das Filterelement in Schwingung versetzt. Dabei löst sich der Filterkuchen vom Filtergewebe und fällt nach unten in einen Sammelbehälter, der regelmäßig geleert oder entfernt wird. Die Abreinigung kann nur im abgeschalteten Filtrationsbetrieb (offline-Abreinigung) erfolgen.

Die Filtermedien werden bei Abreinigung durch Rütteln stark mechanisch beansprucht. Da Rüttelfilter nur diskontinuierlich gefahren werden dürfen und somit nicht für Dauereinsätze konzipiert werden, können die Filtermedien – je nach Betriebsweise - Standzeiten von bis zu 5, selten auch bis zu 7 Jahren erreichen.



Filtrationsphase

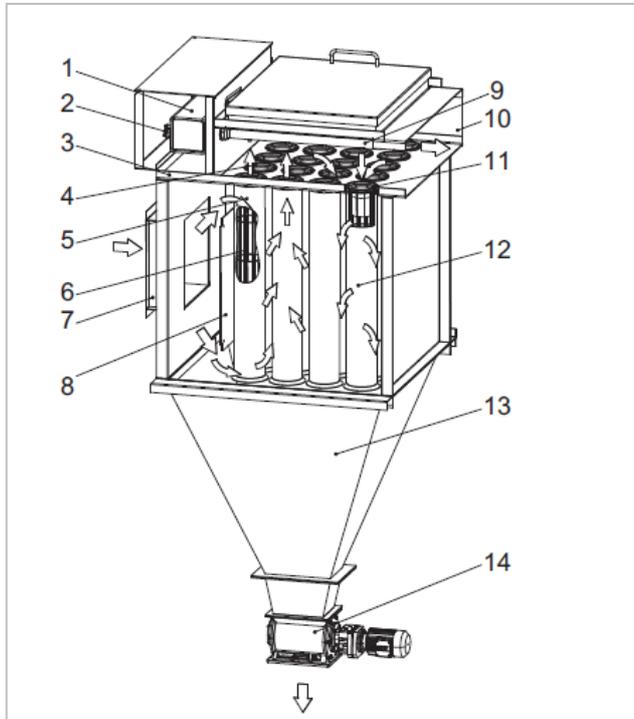
Abreinigungsphase

2.7 Regenerierbare Filter mit Rückspül-Abreinigung

Die Rückspülabreinigung wird für mechanisch empfindliche Filtermedien (z.B. Filterkassetten) eingesetzt, die durch eine Rüttel- oder Jet-Pulse-Abreinigung beschädigt würden. Die Abreinigung erfolgt durch eine partiell gerichtete Strömungsumkehr, wobei das Filtermedium schrittweise von der Reingasseite her abgeblasen, der Staubkuchen abgelöst und nach unten transportiert wird. Auch hier kann die Abreinigung nur offline erfolgen.

Üblichweise wird die Filteranlage in mehreren Kammern ausgeführt und kammerweise abgereinigt (offline-Abreinigung). Die Filtermedien können wegen ihrer geringen mechanischen Beanspruchung Standzeiten von mehreren Jahren erlangen.

2.8 Regenerierbare Filter mit Jet-Pulse Abreinigung



- | | |
|----|---|
| 1 | Druckluftbehälter |
| 2 | Membranventil |
| 3 | Zwischenboden zur Aufnahme der Filtermedien |
| 4 | Reingaskammer |
| 5 | Filtrierender Schlauch |
| 6 | Stützkorb |
| 7 | Rohgaseintritt |
| 8 | Prallblech zur Verteilung der Gasströmung |
| 9 | Düsenstock |
| 10 | Reingasaustritt |
| 11 | Einlaufdüse |
| 12 | Filterschlauch während der Abreinigung |
| 13 | Staubsammelraum |
| 14 | Staubaustrag |

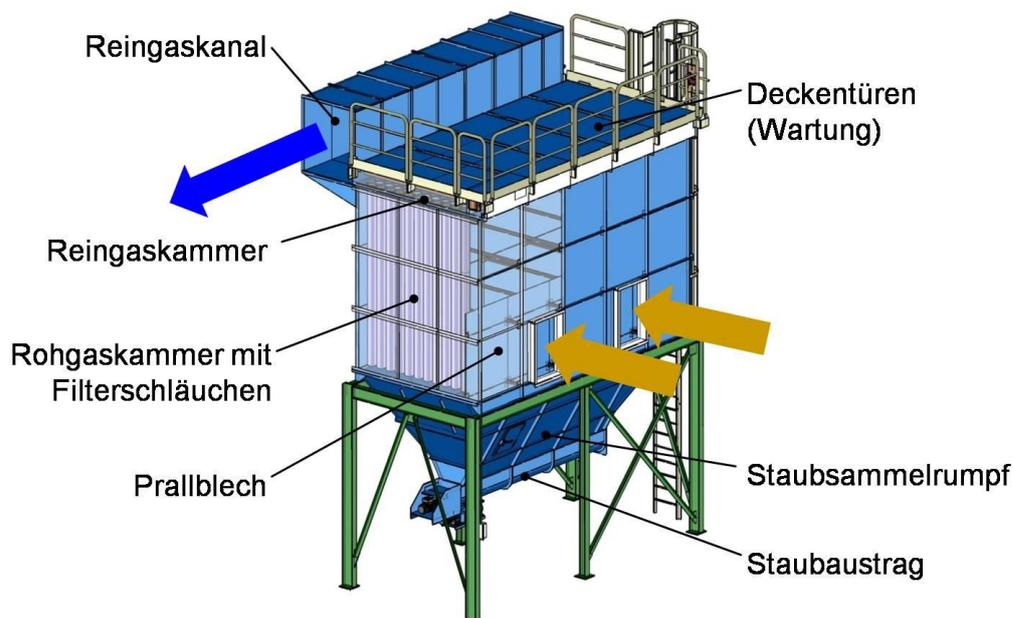
Die bei Filtrationsabscheidern am häufigsten angewandte und modernste Form der Abreinigung ist das Druckstoßverfahren (Jet-Pulse Abreinigung). Inzwischen hat sich diese Abreinigungsart weitgehend als Standard durchgesetzt. Die Abreinigung erfolgt bei Jet-Pulse Anlagen durch einen intensiven Druckluft-Stoß, der schlagartig die Strömungsrichtung umkehrt, dadurch die Filterelemente kurz aufbläht und den Filterkuchen durch Impulsübertragung ablöst.

Die Filtermedien (z.B. Schläuche oder Taschen) werden während der Filtrationsphase von außen nach innen durchströmt; ein Stützrahmen gibt dem Element die entsprechende Stabilität. Je nach Staubbelastung erfolgt die Abreinigung durch Druckstoß alle 1 bis 10 Minuten; normalerweise über die Messung des Filterdifferenzdruckes geregelt.

2.9 Konstruktive Ausführung von Filtrationsabscheidern

Filtrationsabscheider bestehen grundsätzlich aus:

- Filterkopf mit Regenerierungseinrichtung (heute in der Regel Druckluftabreinigung)
- Zwischenboden zur Aufnahme der Filterelemente
- Filterelementen
- Gehäuse
- Staubsammelraum
- Staubaustrag in unterschiedlichen Ausführungen
- Zusatzkomponenten, z. B. Abreinigungssteuerung, Austragsorgane u.a.



Typische Konstruktion eines Schlauchfilter

2.10 Typische Auslegungsparameter für Filter mit mechanischer Abreinigung, Rückspülabreinigung und Jet-Pulse Abreinigung

	Gewebefilter - mechanischer Abreinigung	Kassettenfilter – Rückspül- abreinigung	Filter – Jet-Pulse Abreinigung
Gasvolumen- strom	500 m ³ /h	1.000 - 20.000 m ³ /h	1.000 – > 2.000.000 m ³ /h
Betriebsdruck	atmosphärisch	atmosphärisch	atmosphärisch
Filterfläche	5 m ²	20 – 200 m ²	10 – > 20.000 m ²
Filterflächen- belastung	0,7 – 1,5 m ³ /m ² min	0,7 – 1,7 m ³ /m ² min	0,5 - 3 m ³ /m ² min
Staubbelastung	mittel	gering	0,5 bis 500 g/m ³
Abreinigung	Rütteln/Klopfen, geringe Energie, nur offline	Umkehrung Gasstrom, geringe Energie, nur offline	Druckstoß, hohe Energie, online oder offline
Filtermaterialien	Gewebe	Gewebe	Nadelvliese, beschichtete Gewebe
Lebensdauer Filterelemente	4 – 7 Jahre	max. 10 Jahre	1 – 5 Jahre
Filterelemente	nein	ja	Schläuche, Patronen, Taschen

3 Profiwissen Speicherfilter

Der Einsatz von Speicherfiltern eignet sich für niedrige Massenkonzentration größer 1 bis max. 5 mg/m³. Aufgrund der Staubfeinheit und der geringen Staubmasse werden die staubbeladenen Filter nicht abgereinigt und müssen ausgewechselt werden. Überwiegend werden Speicherfilter im Bereich der allgemeinen Raum- und Prozesslufttechnik eingesetzt.

	Speicherfilter
Abreinigung	ohne Oberflächenbehandlung
Typische Parameter	
Reststaubkonzentration	< 5 mg/m ³
Partikelgrößenverteilung	mehrheitlich > 0,1 – 100 µm
Rohgaskonzentration	0,5 bis 1,5 g/cm ³
Temperatur	-20 bis < 140 °C
Abscheidegrad	95 % bis 99,99 %
Filtermedien	Glas, PES, PP, papierartige nassgelegte Vliese, Composite-Produkte
Typische Kenngrößen	nicht abreinigbar
Flächengewicht	50 bis 400 g/m ²
Filterflächenbelastung	20 bis 10.000 m ³ /h
Volumenstrom	20 bis max. 50 mbar
stationärer Differenzdruck	20 bis 500 Pa
Geometrie	Filtermatten, Filterzellen, Kompaktfilter Panel-Filter, Patronenfilter

Charakteristika Speicherfilter

4 Profiwissen Filtermedien

Das Filtermedium übernimmt die physikalische Aufgabe der Gas – Feststoff – Trennung und muss über das geforderte hohe Staubrückhaltevermögen hinaus eine entsprechende mechanische sowie thermische und chemische Beständigkeit aufweisen. Filtermedien verrichten die zweckgebundene Arbeit der Filteranlagen. Sie sind ein sensibles Gebilde, hergestellt aus feinen natürlichen oder synthetischen Fasern. Sie werden je nach Einsatzgebiet, unterschiedlichen Temperaturen, neutralen, trockenen, feuchten oder chemischen aggressiven Gasen, feinen oder groben Stäuben mit unterschiedlichen Stoffeigenschaften, die filtertechnisch unbedenklich sind oder schleißenden Stäuben ausgesetzt. Temperatur, Feuchtigkeit und chemische Zusammensetzung des zu reinigenden Gases sowie die Staubeigenschaften bestimmen die Auswahl der Faserart. Darüber hinaus ist der Fasertiter ein wichtiges Kriterium. Je feiner die Faser ist, um so ist größer die spezifische Oberfläche und in der Regel wird der Abscheideeffekt verbessert.

4.1 Filtermaterial

Ein wichtiger Bestandteil des regenerierbaren Filters ist das Material des Filtermediums. Filtermedien zur Oberflächenfiltration können aus Fasern, Kunststoffkörpern oder auch Mischformen aufgebaut sein. Am weitesten verbreitet sind die aus Fasern hergestellten Filtermedien.

An ein ideales Filtermedium sind folgende Forderungen zu stellen:

- Form- und chemische Beständigkeit sowie eine möglichst hohe Temperaturbeständigkeit.
- Biege- und Zugfestigkeit, damit durch die mechanische Bewegung während der Abreinigung keine Schädigung eintritt.
- Optimale Luftdurchlässigkeit bei möglichst hohem Rückhaltevermögen für feinsten Staub.

Art des Filtermittels	Ausführungsformen	Einsatz
Gewebe	<ul style="list-style-type: none"> • Gewebe aus Kunststoffen, Metallfasern und natürlichen Fasern • Gewebe aus Mono- und Multifilamentgarnen und Stapelfasergarnen • Mehrlagige Gewebe 	Vorwiegend in Entstaubern mit mechanischer Rüttelabreinigung
Nadelvlies		Vorwiegend für Filterschläuche und Filtertaschen in Entstaubern mit kontinuierlicher Druckluftabreinigung
Vliese	<ul style="list-style-type: none"> • Vliese mit Bindemittel • Meltblown 	Vorwiegend für Filterpatronen und in Entstaubern mit kontinuierlicher Druckluftabreinigung
Glasfasern		Vorwiegend für Schwebstofffilter-Kassetten und Schlauchfilter
Gesinterte Filterelemente	<ul style="list-style-type: none"> • Sinterkunststoff • Keramische Elemente • Metallische Elemente 	In Entstaubern mit kontinuierlicher Druckluftabreinigung

4.2 Einteilung und Auswahl von Gewebe- und Nadelfilz-Filtermedien in der Trockenfiltration nach Filtersystemen

Filtersysteme	Gewicht der Gewebe / Filze g/m ²	Luftdurchlässigkeit (DIN 53887)	
		l/dm ² · min bei 200 Pa	m ³ /m ² · h bei 200 Pa
Mechanische Abreinigung (Gewebe)	300 - 500	300 - 500	1.800 - 3.000
Druckluftabreinigung (Nadelfilze)	500 - 650	60 - 200	360 - 1.200

4.3 Konfektion von Filtermaterialien

Filtermaterialien werden zu Filterschläuchen, Filtertaschen Filterpatronen, Filterlamellen und Filterkassetten konfektioniert. Diese werden entweder zusammengenäht, -geschweißt, -geklebt oder eingegossen.

Die Nähte können bei Bedarf versiegelt werden. Die Böden und die Abdichtungseinheiten am Kopf werden entweder eingenäht oder in Kunststoffausführung angegossen. Möglichkeiten für die Abdichtung der Filterschläuche zur Bodenplatte sind:

- eingenähter Schnapping mit Doppelwulst
- eingenähter Ring
- angenähter Dichtfilz



4.4 Technische Daten von Filtermedien (gemäß VDI-Richtlinie 3677 und VDI-Richtlinie Speicherfilter)

Faserart	Kurzzeichen	Gewicht in g/m ² G=Gewebe V=Filz	Luftdurchlässigkeit (DIN 53887)		Temperaturbeständigkeit °C
			l/dm ² ·min bei 200 Pa	m ³ /m ² h bei 200 Pa	
Wolle	W	G 400 - 540	150 - 300	900 - 1.800	80 - 90
Baumwolle	B	G 290 - 440	60 - 200	360 - 1.200	75 - 85
Polypropylen „Meraklon“	PP	G 320	120	720	80 - 90
		V 460 - 600	150 - 300	900 - 1.800	80 - 90
Polyacrylnitril „Dralon T“ „Orlon“	Pan	G 280 - 440	80 - 300	480 - 1.800	125 - 135
	Dr O	V 440 - 550	60 - 370	360 - 2.200	(O: 105 - 115)
Polyester „Trevira“ „Terylen“	PE	G 330 - 700	15 - 250	90 - 1.250	130 - 140
	Tr T	V 480 - 600	60 - 350	360 - 2.100	Trockenhitze
Polyester Polyacrylnitril	PEAN	V 460 - 600	60 - 300	360 - 1800	125 - 135
Polyamid · aromatisch „Nomex“	NO	G 280 - 380	100 - 300	600 - 1.800	180 - 200
		V 300 - 650	50 - 300	300 - 1.800	180 - 200
Polyphenylen Sulfid „Ryton“	RY	V 500 - 800	60 - 250	360 - 1.250	170 -190
Polytetrafluor- äthylen „Teflon“	TF	G 260 - 350	80 - 200	480 - 1.200	200 - 240
		V 700 - 1.200	80 - 150	480 - 900	200 - 240
Glas	GL	G 250 - 500	80 - 200	480 - 1200	220 - 260
		V 800 - 100	80 - 150	480 - 900	220 - 240

5 Profiwissen Planungshinweise

Für die Auslegung filternder Abscheider sind für die Bemessung, Gestaltung, Betriebsweise und Wahl der Werkstoffe verschiedenste Angaben erforderlich.

5.1 Allgemeine Angaben

- Art der Anlage, des Verfahrens, der Apparate oder der Maschinen
- Arbeitsweise der Filteranlage (kontinuierlich oder diskontinuierlich)
- Eigenschaften des Gases (z. B. gesundheitsgefährdend, brennbar oder korrodierend)
- Eigenschaften der Partikeln (z. B. gesundheitsgefährdend, brennbar, hygroskopisch, anbackend oder agglomerierend)
- Eigenschaften des Gas/Staubgemisches (z. B. explosionsgefährlich)

5.2 Checkliste für die Auslegung

- Aufstellungsort über NN in m
- Angaben über das zu reinigende Gas
 - ✓ Volumenstrom m^3/h
 - ✓ Temperatur $^{\circ}\text{C}$
 - ✓ Zusammensetzung (z. B. Volumenanteile)
 - ✓ Feuchte g/kg trockene Luft
 - ✓ Wassertaupunkt (ggf. Säuretaupunkt) $^{\circ}\text{C}$
 - ✓ Dichte kg/m^3
 - ✓ Druck des Gases am Eintritt in den Abscheider hPa
 - ✓ gewünschte Reingasstaubkonzentration mg/m^3
- Angaben über die Partikeln
 - ✓ Mittlere Konzentration im Rohgas g/m^3
 - ✓ Höchstkonzentration im Rohgas g/m^3
 - ✓ Partikelgrößenverteilung
 - ✓ Dichte g/cm^3
 - ✓ Schüttdichte g/cm^3 oder t/m^3
 - ✓ Zusammensetzung nach stofflichen Bestandteilen, bezogen auf Trockensubstanz % Massenanteil

5.3 Volumenstrom (Q)

Grundlage für die Auslegung filternder Abscheider ist die Kenntnis des zu reinigenden Volumenstromes. Dieser ist entweder prozessbedingt oder abhängig von Gegebenheiten der Absaugung (z. B. Staubschutz am Arbeitsplatz).

Wichtige Einflussgrößen sind:

- Temperatur
- Druck
- Gasatmosphäre
- Eigenschaften des abzuscheidenden Staubmaterials und dessen Konzentration.

Ein Ausgangspunkt zur Bestimmung von Luftmengen ist die sogenannte Erfassungsgeschwindigkeit an offenen Flächen, Eintrittsöffnungen, Hauben und Maschineneinkleidungen

$$Q [m^3/min] = F [m^2] \times v [m/s] \times 60$$

Emission	z. B.	Erfassungsgeschwindigkeit v [m/s]
träge	Entfettungs-/Galvanikbäder, Rauche, Sackentleerungen	0,25 – 0,5
langsam	Abfüllarbeiten, Schweißen, langsame Bandtransporte	0,5 – 1,0
schnell	Brecher, Spritzstände, automatische Sack-/Fassbefüllung	1,5 – 2,5
turbulent	Schleifen, Sägen, Polieren, Sandstrahlen, Rühren	bis 10,0

5.4 Ermittlung der benötigten Filterfläche

In erster Näherung kann die Größe des benötigten Filter nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$A \text{ [m}^2\text{]} = \frac{Q \text{ m}^3/\text{min}}{f \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min}}$$

Q = Volumenstrom des durchgesetzten Gases

A = Auslegefilterfläche

f = spezifische Filterflächenbelastung

Q m³/min -

5.5 Filterflächenbelastung

Eine wesentliche Kenngröße des filternden Abscheiders ist die Filterflächenbelastung. Die Filterflächenbelastung liegt in der Regel zwischen 0,5 m³/(m² min) und 2,5 m³/(m² min), in Einzelfällen aber auch deutlich höher. Übliche Druckdifferenzen liegen im Bereich von 400 Pa bis 1.500 Pa. Diese Bereiche werden bestimmt durch die Gesichtspunkte:

- Filtermedium
- Standzeit
- Investitions- und Betriebskosten
- Platzbedarf
- betriebliche Zuverlässigkeit
- Reingasstaubgehalt

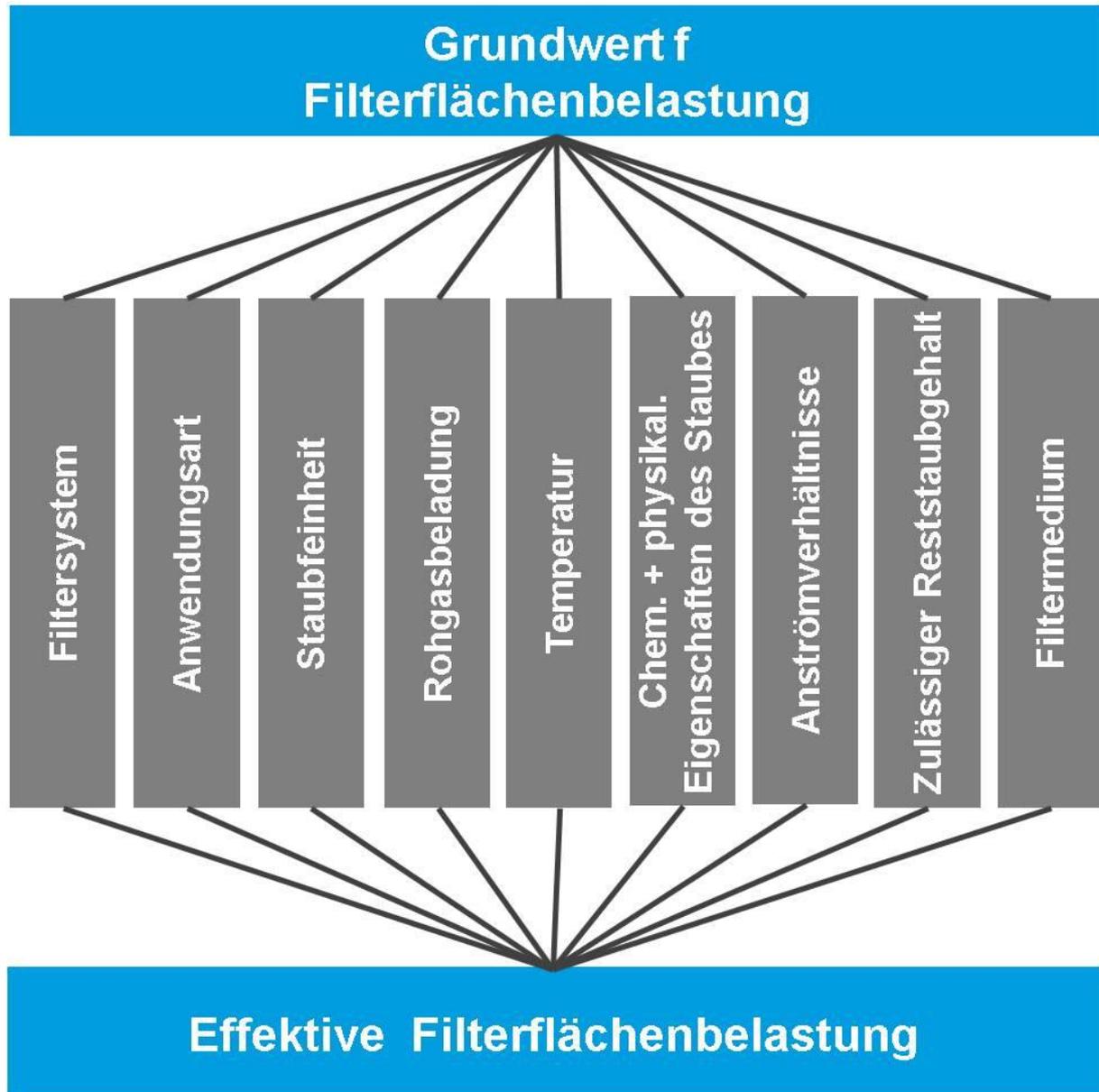
5.6 Parameter mit Einfluss auf die Filterflächenbelastung

Eigenschaften der abzuscheidenden Partikeln (z. B. Partikelgrößenverteilung, Agglomerationsverhalten):

- Rohgasstaubgehalt
- angestrebter Reingasstaubgehalt
- angestrebter Druckverlust der Anlage
- angestrebte Standzeit des Filtermediums
- Gaszusammensetzung (insbesondere Feuchtegehalt)
- Bauart des Abscheiders / Platzbedarf
- Regenerierungsverfahren

Partikeleigenschaften	Auswirkung auf Filtrationsverhalten
klebrig-feucht	hohe Partikelabscheidung, schlechter Filterkuchenabwurf
gut agglomerierend (großer Schüttwinkel), trocken	hohe Partikelabscheidung, guter Filterkuchenabwurf
frei fließend (kleiner Schüttwinkel), trocken	niedrigere Partikelabscheidung, guter Filterkuchenabwurf

5.7 Abschätzung der Filterflächenbelastung nach Flatt



5.8 Typische Filterflächenbelastungen bei Filtrationsabscheidern mit Druckstoßabreinigung

Staubarten/Anwendung	Filterflächenbelastung in m ³ /(m ² min) bei Schlauch- oder Taschenfilter
Eisenoxide (Ofenentstaubung im Stahlwerk)	1 – 1,5
Flugasche aus Kohleverbrennung	
Bereich Handling	1 – 1,5
Verbrennung abhängig von Vorabscheidung und Verbrennungsart	0,5 – 1,5
Gipsstaub (Gipsbrennen)	1 – 1,6
Holzmehl (Schleifstaub mit Leimanteil)	1,1 – 2,5
Sandaufbereitung von Gießereiformsand	1 – 2
Thermische Spritzverfahren von Aluminium	0,5 – 0,6
Weizenvermahlung	2,5 – 4,1
Zinkoxidstaub (Absaugung über Zinkbad)	1 – 1,5
Zementstaub (Förderung, Verladung)	1,1 – 2
Zuckersichtung	1,1 – 2

5.9 Spezifische Filterflächenbelastung

Die spezifische Filterflächenbelastung beeinflusst die Wirksamkeit und den Abscheidegrad des Entstaubers.

Spezifische Filterflächenbelastung (f)		
	hoch	niedrig
Filterfläche	klein	groß
Druckverlust	größer	kleiner
Abscheidegrad	schlechter	besser
Verschleiß	hoch	niedrig
Anströmung	ungünstig	günstig
Platzbedarf	klein	groß
Investition	preiswert	teuer
Betrieb/Wartung	teuer	günstig

6 Profiwissen Explosionsschutz

Eine Explosion ist eine Oxidations- oder Zerfallsreaktion mit plötzlichem Anstieg der Temperatur, des Druckes oder beider gleichzeitig (DIN EN 1127-1:1997). Dabei kommt es zu einer plötzlichen Volumenausdehnung von Gasen und der Freisetzung von großen Energiemengen auf kleinem Raum.

Es werden folgende Begriffe in Abhängigkeit von der Expansionsgeschwindigkeit verwendet:

- Verpuffung (0,1 bis 1 m/s)
- Explosion (1 bis 1000 m/s)
- Detonation (ab 1000 m/s)

Vergleich: Schallgeschwindigkeit beträgt ungefähr 333 m/s

Durch das Zusammentreffen von

- brennbarem Staub oder Gas in einer explosionsfähigen Konzentration
- ausreichendem Sauerstoff (Oxidationsmittel)
- einer wirksamen Zündquelle

sind Voraussetzungen für einen Brand oder eine Explosion gegeben.

6.1 Definition von Explosionskennwerten

- Explosion: Schnell ablaufende Verbrennung mit einer merk- oder messbaren Drucksteigerung
- Explosionsgröße: Zahlenwert für Explosionseigenschaften brennbarer Stäube / Gase
- Explosionsdruck: Bei der Explosion eines Staub/Luft- oder Gas/Luft-Gemisches auftretender Druckwert
- Staub: Feinzerteilter Feststoff beliebiger Form, Struktur und Dichte unterhalb einer Korngröße von ca. 500 μm
- Zündquellen: Selbstentzündung, Fremdzündung durch heiße Oberflächen, Zündfunken oder Flammen und elektrostatische Entladungen
- K_{st} -Wert: Staub- und prüfverfahrensspezifische Kenngröße, die sich aus dem kubischen Gesetz errechnet. Sie ist zahlenmäßig gleich dem Wert für den maximalen zeitlichen Druckanstieg im 1 m^3 -Behälter bei den in der VDI-

Richtlinie 3673 festgelegten Prüfbedingungen. Der K_{st} -Wert ist von der Korngrößenverteilung und der Oberflächenstruktur des Staubes abhängig.

- K_G -Wert: Staub- und prüfverfahrensspezifische Kenngröße, die sich aus dem kubischen Gesetz errechnet. Sie ist zahlenmäßig gleich dem Wert für den maximalen zeitlichen Druckanstieg im 1 m³-Behälter bei den in der VDI-Richtlinie 3673 festgelegten Prüfbedingungen. Der K_{st} -Wert ist von der Korngrößenverteilung und der Oberflächenstruktur des Staubes abhängig.
- Kubisches Gesetz: Volumenabhängigkeit des maximalen zeitlichen Druckanstiegs: $K_{st} = \left(\frac{dp}{dt} \right)_{max} \cdot V^{\frac{1}{3}} = konst$.
- Medianwert M: Wert für die mittlere Korngröße, 50 Gew.-% des Staubes sind gröber und 50 Gew.-% sind feiner als der Medianwert
- Staubexplosionsklassen: Gruppen, in die Stäube aufgrund ihrer K_{st} -Werte eingeordnet werden

6.2 Brennbare Stäube

Organische Produkte:

- Naturprodukte: Kohle, Holz, Getreide, Milchpulver, Zucker usw.
- Technisch chemische Produkte: Kunststoffe, Harze, Gummi, Pharmazeutika

Staubexplosionsklasse	K_{st} in bar · m · s ⁻¹
St 1	> 0-200
St 2	> 200-300
St 3	> 300

Anorganische Produkte:

- Metalle, Legierungen, Ruß, Schwefel

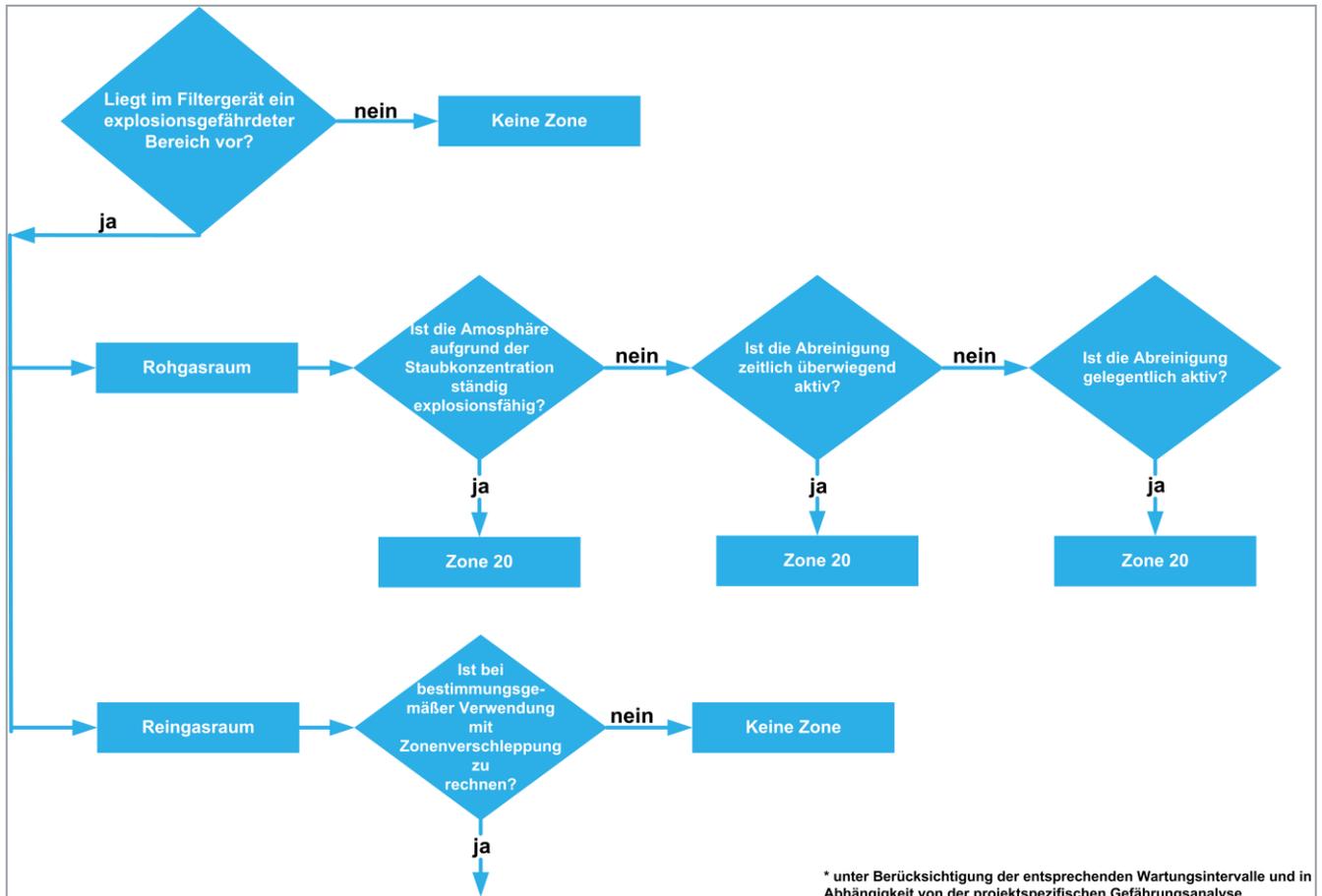
Kritische Voraussetzungen:

- Partikelgröße < 500 µm (< 0,5 mm)
- Staub im abgelagerten Zustand
- Staub im aufgewirbelten Zustand
- Aus dem Staub entweichende Schwelgase

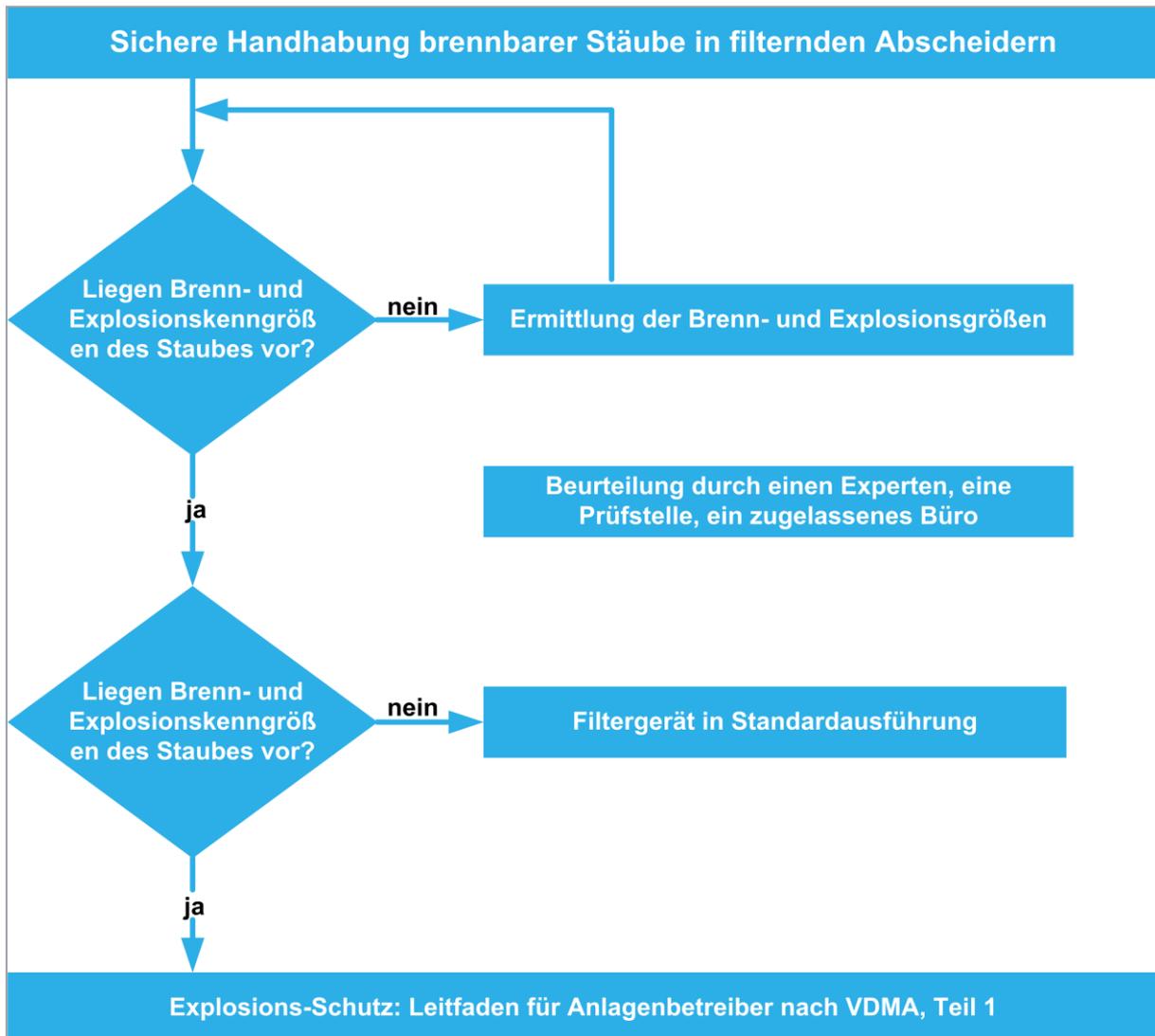
Beispiele explosionsfähiger Stäube

Staubart	Medianwert[μm]	Explosionsfähigkeit	Mindestzündenergie [mJ]	untere Ex-Grenze [g/m^3]
Rohkaffee	29	St 1	10/100	100
Kakao (< 1 % Fett)	< 63	St 1	$> 10^5$	
Glucose	60	St 2		30
Kartoffelstärke	< 28	St 1	$> 10^5$	
Laktose/Maisstärke	< 63	St 1		
Aktivkohle	15	St1	$> 10^5$	30
Polyester, Schleifstaub	25	St 2		
Polyethylen	210	St 1	$> 5 \cdot 10^6$	
Gummi, Schleifstaub	80	St 1	> 10	30
Pulverlack (Basis Acrylharz)	12	St 2		30
Paracetamol	< 63	St 1		
Acetylsalicylsäure	400	St 1	$> 10^4$	60
Aluminium	23	St 3	> 10	
Aluminium, Schleifen	< 60	St 1		
Eisen, Pulver	32	St 1		500
Magnesiumpulver	28	St 3		30
Zinkoxid	46	k. E.		

6.3 Zoneneinteilung innerhalb eines Schlauchfilters



6.4 Handhabung brennbarer Stäube



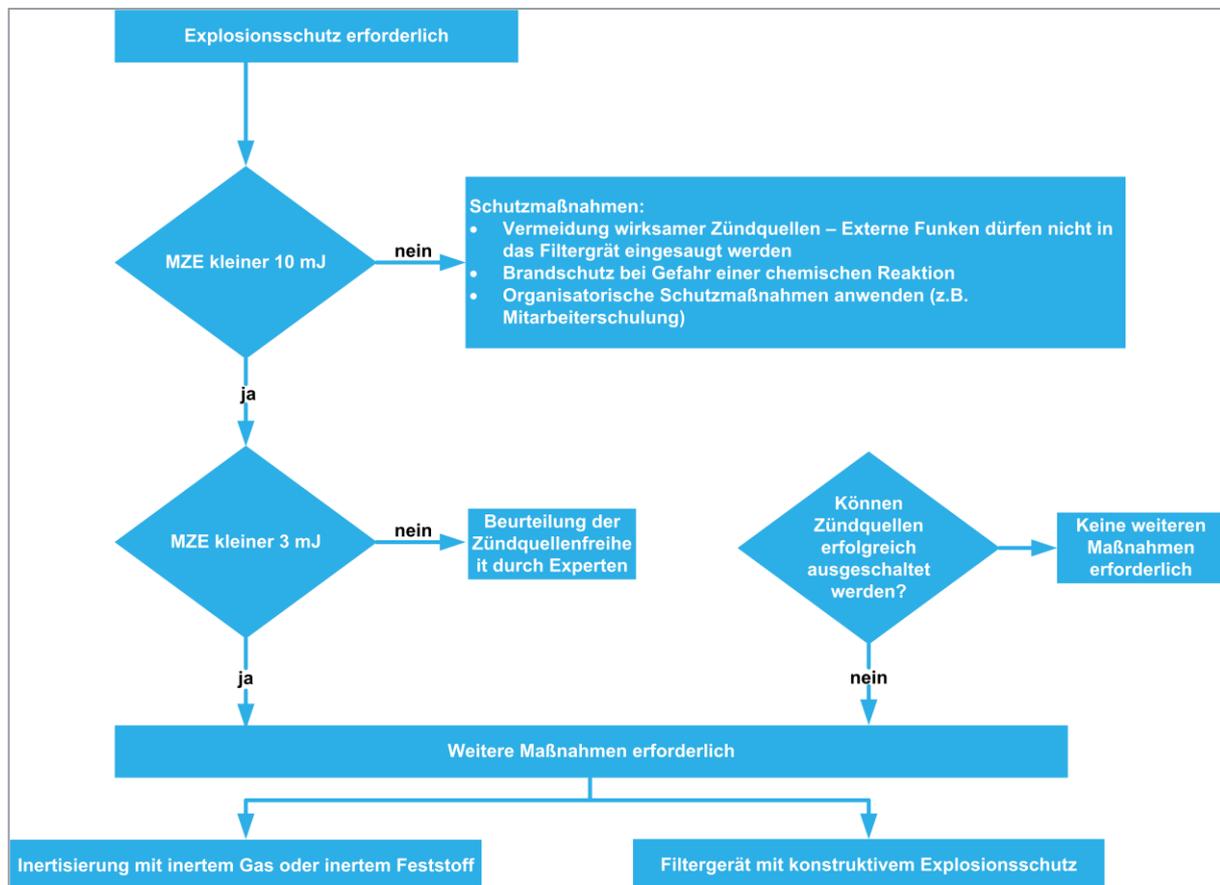
6.5 Konstruktiver Explosionsschutz

Nicht in allen Fällen ist es möglich, nur durch Auswahl geeigneter Betriebsmittel die Gefahr einer Explosion auf das geforderte Maß zu reduzieren. Neben den primären Sicherheitsmaßnahmen, wie etwa das Vermeiden zündfähiger Gemische oder das Herabsetzen der Explosionsneigung durch Inertisierung, muss zusätzlich die konstruktive explosionsfeste Auslegung der Bauteile erfolgen, um die Auswirkungen einer Explosion zu begrenzen und eine Personengefährdung auszuschließen.

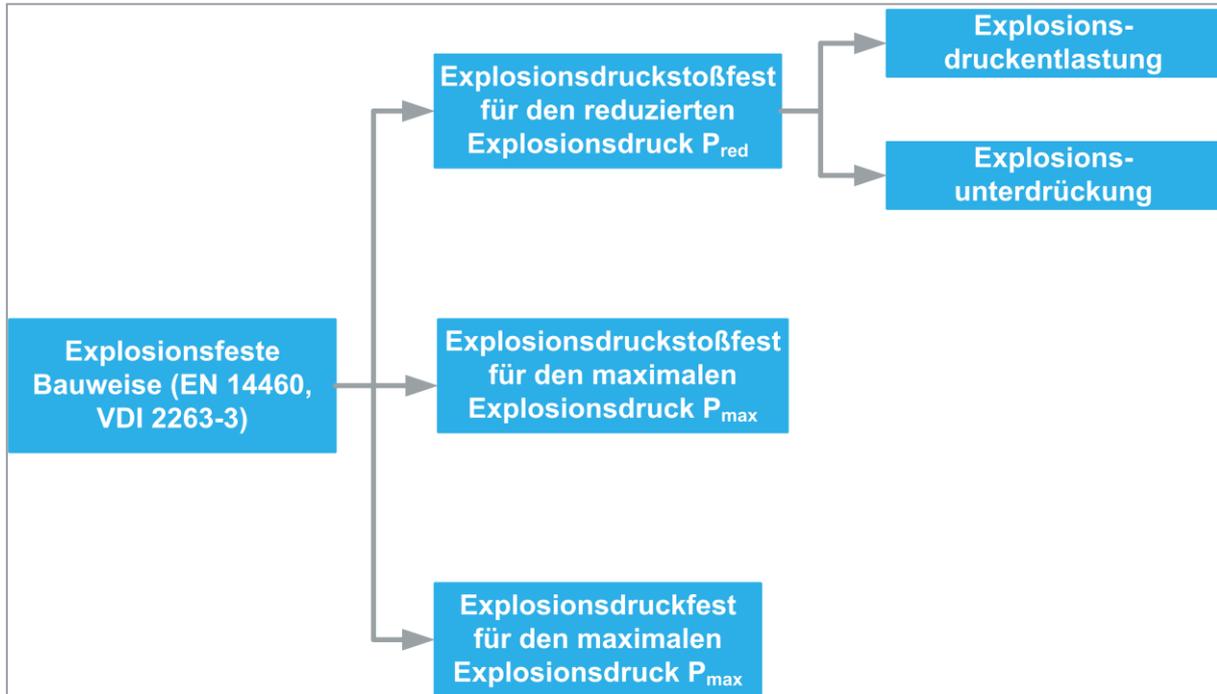
- Absolute Entlastungsfläche: An einem Behälter insgesamt angebrachte wirksame Entlastungsfläche.
- Behältervolumen: Leervolumen, das für die Bemessung der Druckentlastungsflächen zugrundegelegt werden muss.
- Berstscheiben für Entstaubungsanlagen: Runde oder rechteckige, zwischen zwei Flanschen eingespannte Scheiben aus nichtrostendem Stahl, die am Einspannende mit Sollbruchstellen versehen sind und durch eine Dichtfolie abgedichtet werden. Überschreitet der Explosionsdruck den Ansprechdruck, reißen die Sollbruchstellen und die Entlastungsöffnung wird freigegeben.
- Druckentlastung: Schutzprinzip, das den Explosionsdruck unter Ausschub von unverbranntem Gemisch und von Verbrennungsgasen durch Freigabe von vorbestimmten Öffnungen so begrenzt, dass die Apparatur nicht zerstört wird.
- Druckfeste Behälter: Behälter und Apparate, die als Druckbehälter gemäß den geltenden Vorschriften und Richtlinien gebaut sind.
- Druckstoßfeste Behälter, Apparate und zugehörige Rohrleitungen, die so gebaut sind, dass sie dem bei einer Explosion auftretenden Druckstoß bis zu einer bestimmten Höhe standhalten, ohne aufzureißen; jedoch können bleibende Verformungen auftreten. Bei der Berechnung druckstoßfester Behälter wird die sogenannte Druckstoßfestigkeit zugrundegelegt.
- Entlastungsdruck: Druck, der bei einer Explosion in einem druckentlasteten Raum bzw. in einer druckentlasteten Apparatur maximal zu erwarten ist.
- Entlastungsfläche: An einem Behälter insgesamt angebrachte wirksame Entlastungsfläche die ggf. aus mehreren Teilflächen bestehen kann. Nichtberstende Vakuumstützen und anderen, den Mengenstrom behindernde Bauteile, sind hierbei zu berücksichtigen.
- Maximaler Explosionsdruck: Als "maximaler Explosionsdruck" p_{\max} wird der höchste Druck bezeichnet, der bei einer Explosion eines Brennstoff/Luft-Gemisches optimaler Konzentration im geschlossenen Behälter oder Apparat auftreten kann.

- Explosionsklappen: Sicherheitseinrichtungen, die vom Explosionsdruck geöffnet werden. Im Gegensatz zu Berstsicherungen können Explosionsklappen die Ausblasöffnungen nach dem Ansprechen wieder selbsttätig verschließen. Bei Explosionsklappen ist nicht die tatsächliche Öffnung sondern die bei der Typprüfung vom Sachverständigen festgelegte Entlastungsfläche relevant.
- Vordruck: Ausgangsdruck, der beim Wirksamwerden der Zündquelle herrscht.

6.6 Explosionsschutz-Maßnahmen in Abhängigkeit zur Mindestzündenergie (MZE)



6.7 Einteilung der explosionsfesten Bauweisen



7 Profiwissen gesetzliche Bestimmungen

Eine ganze Reihe von gesetzlichen Bestimmungen, Verordnungen und Vorschriften sowie Richtlinien und Empfehlungen von Berufsverbänden und Berufsgenossenschaften beziehen sich auf die Entstaubungstechnik.

7.1 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft)

Die Technische Anleitung zu Reinhaltung der Luft (TA Luft) ist eine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG). Rechtsgrundlage für die TA Luft ist § 48 BImSchG.

Die TA-Luft dient dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen und der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen.

Immissionen

Immissionen im Sinne der TA-Luft sind auf Menschen, Tiere, Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre oder Kultur- und Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen.

Immissionswerte für Stoffe zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Stoff/ Stoffgruppe	Konzentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mitteilungs- zeitraum	Zulässige Überschrei- tungs- häufigkeit/Jahr
Benzol	5	Jahr	./.
Blei und seine anorganischen Verbindungen als Bestandteile des Schwebstaubes (PM-10), angegeben als Pb	0,5	Jahr	./.
Schwebstaub (PM-10)	40	Jahr	./.
	50	24 Stunden	35
Schwefeldioxid	50	Jahr	./.
	125	24 Stunden	3
	350	1 Stunde	24
Stickstoffdioxid	40	Jahr	./.
	200	1 Stunde	18
Tetrachlorethen	10	Jahr	./.
Fluorwasserstoff und gasförmige anorganische Fluorverbindungen, angegeben als Fluor	0,4	Jahr	./.

Emissionen

Emissionen im Sinne der TA-Luft sind die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, die wie folgt angegeben werden:

- Masse der emittierten Stoffe, bezogen auf das Volumen
- Von Abgas im Normzustand (0 °C; 1013 hPa) nach Abzug des Feuchtegehaltes an Wasserdampf
- Von Abgas (f) im Normzustand (0 °C; 1013 hPa) vor Abzug des Feuchtegehaltes an Wasserdampf als Massenkonzentration in den Einheiten g/m^3 oder mg/m^3
- Masse der emittierten Stoffe, bezogen auf die Zeit als Massenstrom in den Einheiten kg/h, g/h oder mg/h.
- Emissionsgrad ist das Verhältnis der im Abgas emittierten Masse eines luftverunreinigenden Stoffes zu der mit den Brenn- oder Einsatzstoffen zugeführten Masse.
- Emissionsminderungsgrad ist das Verhältnis der im Abgas emittierten Masse eines luftverunreinigenden Stoffes zu seiner zugeführten Masse im Rohgas.
- Emissionswerte sind Grundlagen für Emissionsbegrenzungen.

	Massenkonzentration in mg/m ³ seit 2002	Massenstrom in kg/h seit 2002
Gesamtstaub inkl. Feinstaub		
	20	0,20
Staubförmige anorganische Stoffe		
Klasse I: Hg, Tl	0,05	0,25
Klasse II: Pb, Co, Ni, Se, Te	0,05	0,25
Klasse III: Sb, Cr, Cyanide, Fluoride, Cu, Mn, Vn, Sn	1	5
Gasförmige anorganische Stoffe		
Klasse I (z.B. Arsenwasserstoff)	3	0,0025
Klasse II (z.B. Chlor)	3	0,015
Klasse III (z.B. Ammoniak)	30	0,15
Klasse IV (z.B. Schwefeloxide)	350	1,8
Organische Stoffe		
Gesamtkohlenstoff	50	0,5
Klasse I Stoffe (Anhang 4)	20	0,1
Klasse II Stoffe	100	0,5
krebserzeugende Stoffe		
Klasse I (z.B. Arsen)	0,05	0,00015
Klasse II (z.B. Acrylnitril)	0,5	0,0015
Klasse III (z.B. Benzol)	1	0,0025

Allgemeine Anforderungen zur Emissionsbegrenzung

Die im Abgas enthaltenen staubförmigen Emissionen dürfen den Massenstrom 0,20 kg/h oder die Massenkonzentration 20 mg/m³ nicht überschreiten. Auch bei Einhaltung oder Unterschreitung eines Massenstroms von 0,20 kg/h darf im Abgas die Massenkonzentration 0,15 g/m³ nicht überschritten werden. (TA-Luft, Abschnitt 5.2.1)

In der TA-Luft findet man u. a. verbindliche Werte für zulässige Staubemissionen im Abgas, die auch auf die reingasseitige Abluft von Filtern bezogen werden können.

7.2 Grenzwerte

MAK-Wert und BAT-Wert

Die neue GefStoffV kennt nur noch gesundheitsbasierte Grenzwerte, genannt Arbeitsplatzgrenzwert - AGW und Biologischer Grenzwert – BGW. Die alten Bezeichnungen MAK-Werte und BAT-Werte können und sollen bis zur vollständigen Umsetzung der neuen Gefahrstoffverordnung als Richt- und Orientierungsgrößen weiter verwendet werden.

Die Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK-Wert) gibt die maximal zulässige Konzentration eines Stoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der (Atem-)Luft am Arbeitsplatz an, bei der kein Gesundheitsschaden zu erwarten ist, auch wenn man der Konzentration in der Regel 8 Stunden täglich, maximal 40 (42) Stunden in der Woche ausgesetzt ist (Schichtbetrieb).

Als Biologischer Arbeitsstoff-Toleranzwert (BAT-Wert) wird die maximal zulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes im Blut, Blutplasma, Harn oder der Atemluft des Menschen beschrieben, bei dem nach aktuellem Wissen die Gesundheit des Menschen nicht geschädigt wird. BAT-Werte können nicht für krebserzeugende Stoffe angegeben werden.

TRK-Werte

Die Technische Richtkonzentration (TRK-Wert) gab die Konzentration eines Stoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz an, die als Anhaltspunkt für die zu treffenden Schutzmaßnahmen und die messtechnische Überwachung am Arbeitsplatz heranzuziehen war.

Der TRK-Wert wurde für krebserzeugende, -verdächtige und erbgutverändernde Stoffe angegeben, für die kein MAK-Wert angegeben werden darf.

Arbeitsplatzgrenzwert und Biologischer Grenzwert

Seit 1. Januar 2005 besteht mit dem Inkrafttreten der neuen Gefahrstoffverordnung ein neues Grenzwert-Konzept. Die neue GefStoffV kennt nur noch gesundheitsbasierte Grenzwerte, genannt Arbeitsplatzgrenzwert – AGW und Biologischer Grenzwert – BGW.

7.3 Einteilung in Kategorien durch das BIA* zur staubtechnischen Bewertung von Industriesaugern, Entstaubern und Kehrmaschinen (* Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, St. Augustin)

Vormals ZH 1/487, BG-Holz, TRGS 519		geeignet für:	Seit 2/97 EN 60335-2-69 IEC 60225-2-69 Annex AA	
Verwendungs- kategorie	geforderter Durchlass- grad		Staubklasse	geforderter Durchlass- grad
U	⇔5 %	Stäube mit MAK-Werten ≥ 1 mg/m ³	L	< 1 %
S	⇔ 1 %	Stäube mit MAK-Werten ≥ 0,1 mg/m ³	M	< 0,1 %
G	⇔0,5 %	Stäube mit MAK-Werten ≥ 0,1 mg/m ³		
C	⇔0,1 %	Stäube mit MAK-Werten ≥ 0,1 mg/m ³ , nicht für krebserzeugende Stoffe lt. § 35 GefStoffV		
G	⇔0,5 %	Stäube mit MAK-Werten < 0,1 mg/m ³	H	< 0,005 %
C	⇔0,1 %	Stäube mit MAK-Werten < 0,1 mg/m ³ , und krebserzeugende Stoffe lt. § 35 GefStoffV		
K1	⇔0,05 %	Krebserzeugende Stäube (§ 35 GefStoffV) inkl. Besonders gefährliche krebserzeugende Stoff (§ 15a GefStoffV)		
K2	⇔0,05 %	Stäube, die mit Pathogenen kontaminiert sind		
zusätzliche Anforderungen	⇔0,05 %	Asbest	zusätzliche Anforderungen D	siehe H

7.4 Auszug aus geltenden Regelwerken

- ZH 1/200: Richtlinien für die Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen
- VDI 2263: Staubbrände und Staubexplosionen
- VDI 3673: Druckentlastung von Staubexplosionen
- VDI 2264: Betrieb/Wartung von Entstaubungsanlagen
- VDI 3677: Filtrationsabscheider
- VDI 2066: Staubmessungen in strömenden Gasen