

209-200

DGUV Information 209-200



Absauganlagen

Konzeption, Planung, Realisierung und Betrieb

komm**mit****mensch** ist die bundesweite Kampagne der gesetzlichen Unfallversicherung in Deutschland. Sie will Unternehmen und Bildungseinrichtungen dabei unterstützen eine Präventionskultur zu entwickeln, in der Sicherheit und Gesundheit Grundlage allen Handelns sind. Weitere Informationen unter www.kommmitmensch.de

Impressum

Herausgegeben von:

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-9876
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet Holzbe- und -verarbeitung des Fachbereichs Holz und Metall
der DGUV

Ausgabe: März 2020

DGUV Information 209-200
zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter
www.dguv.de/publikationen Webcode: p209200

Absauganlagen

Konzeption, Planung, Realisierung und Betrieb

Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite		
1	Einleitung	5	7	Vorschriften, Regeln, Veröffentlichungen	164
			7.1	Gesetze/Verordnungen, Technische Regeln	164
2	Anwendungsbereich	7	7.2	Europäische Richtlinien und Normen	166
			7.3	DGUV Vorschriften- und Regelwerk	168
3	Konzeption und Dimensionierung der Komponenten	8	7.4	DIN-Normen und VDI-Richtlinien	169
3.1	Stoffeigenschaften, Quellen, Freisetzungs- und Ausbreitungsmechanismen	8	7.5	Bestimmungen der Sachversicherer	169
3.2	Prinzipien der Erfassung und Konstruktion von Erfassungseinrichtungen	13	7.6	VDMA-Publikationen	170
3.3	Rohrleitung	21	7.7	Literatur	170
3.4	Ventilator	27	8	Anhang	172
3.5	Abscheider	36	8.1	Stoff-Eigenschaften, Freisetzungs- und Ausbreitungs-Mechanismen	172
3.6	Abluft/Zuluft	53	8.2	Wichtige Kennzahlen des freigesetzten Stoffs ..	173
3.7	Entsorgung	62	8.3	Volumenströme und korrespondierende Druckverluste von hydraulisch glatten Rohr- leitungen gebräuchlicher Nennweiten bei üblichen Luftgeschwindigkeiten	174
3.8	Steuerung, Regelung, Überwachung	66	8.4	Strömungswiderstands-Beiwerte von Rohrbauteilen	175
3.9	Brand- und Explosionsschutz	75	8.5	Liste der Absaugstellen/Verbraucher/Maschinen zur Ermittlung des Absaugbedarfs	176
4	Planung der Gesamtanlage	94	8.6	Maximal zulässige Emissionen nach TA-Luft (24. Juli 2002)	177
4.1	Bauarten von Absauganlagen	94	8.7	Explosionsschutz-Dokument	179
4.2	Definition der Anforderungen	104	8.8	Notwendige Tätigkeiten der Beteiligten zur Erstellung eines sachgerechten Angebots	192
4.3	Dimensionierung	108	8.9	Der Weg von der Definition der Anforderungen an die Anlage bis zu deren Inbetriebnahme	193
4.4	Angebot	126	8.10	Bildnachweis	194
5	Realisierung	136			
5.1	Vertragsgestaltung	136			
5.2	Probetrieb, Abnahme, Inbetriebnahme	138			
5.3	Kennzeichnung und Dokumentation	142			
5.4	Genehmigungen	154			
6	Betrieb, Wartung Instandhaltung und wiederkehrende Prüfungen	157			
6.1	Bestimmungsgemäßer Betrieb	157			
6.2	Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten an Absauganlagen	157			
6.3	Betriebsanweisungen	159			
6.4	Wiederkehrende Prüfungen	159			
6.5	Unterweisungen der Beschäftigten	163			
6.6	Melden von Bränden und Explosionen	163			

1 Einleitung

Viele industrielle und handwerkliche Prozesse setzen Stoffe in Form von Gasen, Dämpfen, Nebeln, Rauchen und Stäuben frei, die sich verfahrensbedingt nicht (vollständig) vermeiden lassen. Wenn solche Stoffe für Mensch und/oder Umwelt gefährliche Eigenschaften besitzen, werden sie als Gefahrstoffe bezeichnet. Staatliche Gesetze als Rahmenvorschriften und Verordnungen als Ausführungsvorschriften sowie eine Vielzahl von stoff- oder verfahrensspezifischen Technischen Regeln beschreiben Anwenderinnen und Anwendern dieser Stoffe die geforderten Maßnahmen zum Umgang, zur Begrenzung der auftretenden Belastungen und zur Behandlung bei der Verwertung dieser Stoffe. Ziel aller Regelungen ist dabei immer, die schädlichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu minimieren.

Die Gefahrstoffverordnung fordert, dass Gefahrstoffe, die sich nicht substituieren lassen, direkt an der Entstehungs- oder Austrittsstelle erfasst und ohne Gefahr für Mensch und Umwelt aus dem Arbeitsbereich entfernt werden. Das erfolgt mit sogenannten Absauganlagen.

Die erforderliche Leistung solcher Absauganlagen wird im Wesentlichen durch folgende Randbedingungen bestimmt:

- a. Für viele Gefahrstoffe sind in der Gesetzgebung Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) festgelegt, die nicht überschritten werden dürfen, im Falle besonderer Gefährdungen durch diese Stoffe sogar möglichst weit unterschritten werden müssen (Minimierungsgebot).
- b. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Stoffe, die Ausbreitungsmechanismen beim Auftreten, das Abscheideverhalten und die Empfindlichkeit gegenüber Störströmungen (z. B. offenstehende Türen oder Tore) können sehr unterschiedlich sein.
- c. In vielen Fällen treten im Betrieb mehrere Emissionsquellen eines Gefahrstoffs zur gleichen Zeit, aber an unterschiedlichen Orten auf. Die Leistung der Absaugung muss in diesen Fällen ausreichen, um sämtliche Emissionen aus diesen Quellen wirksam zu entfernen.
- d. Ein wichtiger Gesichtspunkt ist in diesem Zusammenhang auch das mengenmäßige Verhältnis zwischen Transportluft und in der Luft enthaltenen Stoffen. Dieses Verhältnis wird als Beladung bezeichnet. Je schwerer die in der Luft enthaltenen Schadstoffpartikel sind

und/oder je größer die zu transportierende Menge ist, desto höher ist die für einen störungsfreien Transport erforderliche Absaugleistung.

Neben der Leistung der Absauganlagen muss auch die Ausstattung der Anlagen in Abhängigkeit von der Art der abgesaugten Schadstoffe und deren potentiell gefährlichen Eigenschaften gewählt werden:

- a. Das zu wählende Abscheider-System und dessen Größe unterscheiden sich je nach Aggregatzustand, Stoffdichte, Adhäsionseigenschaften, Partikelgröße und -form des abzuscheidenden Stoffs sowie der auftretenden Gefahrstoffmenge. Der geforderte Abscheidegrad ist abhängig von den spezifischen Risikoeigenschaften des Gefahrstoffs.
- b. Kann der transportierte Gefahrstoff Brand- und/oder Explosionsgefahren mit sich bringen, sind an die Materialeigenschaften und die konstruktiven Details der Bauteile einer Absauganlage besondere Anforderungen gestellt. Häufig müssen zusätzliche Sicherheitsbauteile vorgesehen und berücksichtigt werden.
- c. Die Behandlung der aus der Absauganlage austretenden Luft, besonders bei Lufrückführung, ist ebenfalls von den Eigenschaften und der Menge des in dieser Luft enthaltenen Gefahrstoffs abhängig. Für manche Stoffe werden zusätzliche Überwachungseinrichtungen mit zwangsweiser Umschaltmöglichkeit von „Rückluft“ auf „Fortluft“ gefordert. In einigen Fällen ist die Rückführung der Luft ganz untersagt, sodass die an der Entnahmestelle abgesaugte Luft durch selbsttätig nachströmende oder maschinell eingeförderte Außenluft ersetzt werden muss.
- d. Letztendlich ist auch die Behandlung der im Abscheider ausgefallten Stoffe von deren Eigenschaften und auftretender Menge abhängig. Manche Stoffe können sich erwärmen, sodass sie nicht in größeren Mengen im Bereich der Anlage bleiben dürfen. Andere wiederum können in so großen Mengen im Abscheider anfallen, dass sie schon aus Platzgründen zügig in eine Lagerstätte abtransportiert werden müssen.

Anschaffungs- und Herstellungskosten von Absauganlagen sind gegenüber den Lebenszeit-Energiekosten nur von untergeordneter Natur, obwohl sie aus der Sicht von uninformierten Anwendern und Anwenderinnen als die eigentliche Kostenbelastung angesehen werden. Deshalb ist es vernünftig, schon bei der Auslegung und Planung Überlegungen zur Energieeffizienz anzustellen und bei der Konstruktion der Anlage und der Auswahl der Einzelkomponenten zu berücksichtigen – und das nicht nur, um die gesetzlichen Vorgaben einzuhalten, sondern auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht.

Neben dem Strombedarf für Elektromotoren, Antriebseinheiten und für die Erzeugung benötigter Druckluft sind auch die Energieaufwendungen wesentlich, die für den Ersatz der entnommenen Luft und die Aufbereitungsmaßnahmen für diese Luftmengen (Aufheizung/Abkühlung, Reinigung, etc) erforderlich sind.

Überlegungen zur Energieeinsparung dürfen aber den für die Beseitigung und Abscheidung der am Arbeitsplatz auftretenden Gefahrstoffe erforderlichen Maßnahmen nicht entgegenstehen.

Damit sind diesen Einspar-Überlegungen Grenzen durch die mindestens erforderliche Anlagenleistung und durch für die Anlagensicherheit erforderliche Maßnahmen gesetzt. Es gilt also im Einzelfall die optimale Kombination zu finden.

Absauganlagen sind physikalisch betrachtet sehr komplexe Anlagen. Sie können nur wirksam sein, wenn ihre Auslegung unter genauer Betrachtung des Anwendungsfalls und der Randbedingungen erfolgt. In der betrieblichen Praxis führt diese Tatsache häufig dazu, dass viele Absauganlagen die an sie zu stellenden Anforderungen nicht erfüllen. Sie sind für die ausreichende Entfernung des jeweiligen Gefahrstoffs aus dem Arbeitsbereich oft nicht ausreichend wirksam oder sogar vollkommen unwirksam. Sie stellen mitunter vermeidbare sicherheitstechnische Risiken im Betrieb dar. Viele Anlagen treiben die Energiekosten des Betriebs unnötig in die Höhe. Diese Feststellung beruht auf der Erfahrung vieler mit dem Arbeitsschutz in den Betrieben befasster Fachleute.

Die vorliegende Information der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV Information) soll einen Beitrag dazu leisten, das erforderliche Wissen für die Konzeptionierung, Planung und Realisierung bedarfsgerechter Absauganlagen zu fördern. Dabei sollen auch praktische Erfahrungen der an der Entstehung der Schrift beteiligten Fachleute einfließen, die Leserinnen und Lesern die Möglichkeit geben, eigene Negativerfahrungen und Fehler zu vermeiden.

Die Schrift richtet sich an alle Betriebe, die (künftig) Absauganlagen betreiben, die planen, eine neue Absauganlage zu kaufen oder umfangreiche Änderungen an ihrer bereits vorhandenen Absauganlage vorzunehmen. Die Informationen können aber auch für Betriebe, die Anlagen bauen oder verkaufen sowie für Maschinenhersteller hilfreich sein. Für die individuelle wirtschaftliche Lösung sind die Entwicklungen des Stands der Technik und die projektbezogenen, unterschiedlichen Anforderungen zu beachten.

2 Anwendungsbereich

Absauganlagen im Sinne dieser DGUV Information sind Anlagen zur Erfassung, zum pneumatischen Abtransport und zur Abscheidung, einschließlich Zwischenlagerung, von in der Produktion anfallenden Rest- und Abfallstoffen mit gefährlichen Eigenschaften, die als Späne, Stäube, Rauche, Nebel, Dämpfe oder Gase auftreten oder freigesetzt werden. Im Zusammenhang mit der Förderung von Feststoffen werden solche Anlagen häufig auch als Aspirations- oder Entstaubungsanlagen bezeichnet.

Als Absauganlagen gelten auch:
Niederdruck- (Gesamtdruckdifferenz $< 0,5$ bar) und
Mitteldruckförderanlagen ($0,5 \text{ bar} < \text{Gesamtdruckdifferenz} < 1 \text{ bar}$) zum pneumatischen Transport von Stoffen zwischen Abscheider und Lagerbehälter (z. B. Späneförderanlagen in der Holz- oder auch Aluminiumwirtschaft)

Nicht als Absauganlagen im Sinne dieser DGUV Information gelten:

- Hochdruckförderanlagen (Gesamtdruckdifferenz ≥ 1 bar) zur pneumatischen Förderung von stofflichen Gütern über größere Entfernungen,
- alle Arten von Anlagen mit mechanischer Förderung von Stoffen über Schnecken, Kratzförderer, Elevatoren, etc.,
- Anlagen zur Raumlüftung.

Diese DGUV Information behandelt zum Thema Absauganlagen:

- die Konzeptionierung von Absauganlagen, die baulichen Anforderungen an die Anlagen(-komponenten) und deren technische Umsetzung,
- die für die Planung zu definierenden Anforderungen an die Leistung von Absauganlagen, die Dimensionierung der Anlagen sowie die Erstellung aussagefähiger Hersteller-Angebote,
- die Schritte der Realisierung von Anlagen im Einzelfall von der Vertragsgestaltung über die Montage bis zur Inbetriebnahme,
- die notwendige Dokumentation und den sicheren Betrieb der Anlagen.

Die in dieser DGUV Information beschriebenen technischen Lösungen sind derzeit üblich und haben sich in der Praxis bewährt. Sie schließen im Einzelfall andere, ebenso sichere Lösungen nicht aus.

3 Konzeption und Dimensionierung der Komponenten

3.1 Stoffeigenschaften, Quellen, Freisetzungs- und Ausbreitungsmechanismen

Bei der Konzeptionierung, Auslegung und Gestaltung einer Absauganlage ist die Kenntnis über das Verhalten der Stoffe im Gemisch mit Luft sowie der Bedingungen für eine effiziente Erfassung mit einem Luftstrom von herausragender Bedeutung.

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit den wesentlichen Eigenschaften der abzusaugenden Stoffe, besonders, soweit es ihr Verhalten im Gemisch mit Luft betrifft, den zu berücksichtigenden Quellen, an denen die Stoffe freigesetzt werden, sowie den Mechanismen bei der Freisetzung und anschließenden Ausbreitung in der Umgebungsluft.

Generell können Luftverunreinigungen hervorgerufen werden durch

- Arbeitsprozesse (z. B. Schleifen, Lackieren),
- Anwesenheit und Tätigkeit von Menschen (z. B. Rauchen),
- Emissionen aus Inneneinrichtungen oder Arbeitsmaterialien,
- Zuführung verunreinigter Außenluft.

Nachfolgend werden nur Luftverunreinigungen behandelt, die durch **Arbeitsprozesse** hervorgerufen werden.

3.1.1 Arten und Entstehung von Luftverunreinigungen

Luftverunreinigungen aus Arbeitsprozessen können als gasförmige Stoffe, Flüssigkeiten oder Feststoffe auftreten.

Gasförmige Stoffe

Unter gasförmigen Stoffen versteht man Stoffe, deren Moleküle sich im Raum unabhängig voneinander frei bewegen können und die sich gleichmäßig verteilen. Luftverunreinigende Gase entstehen unter anderem durch Verbrennungsmotoren (Stickoxide, Kohlenmonoxid, flüchtige Kohlenwasserstoffe) oder beim Schweißen und Brennschneiden (Stickoxide, Ozon). Gase werden zum Beispiel bei Arbeiten mit Lösemitteln oder im Krankenhaus beim Desinfizieren (Ethylenoxid, Formaldehyd) und bei der Narkose (Lachgas, Halothan) freigesetzt.

Aerosole

Aerosole sind heterogene Gemische aus festen oder flüssigen Schwebeteilchen in einem Gas. Umgangssprachlich werden sie als Nebel, Staub oder Rauch bezeichnet.

Dampf

Von Dampf spricht man, wenn Flüssigkeiten durch Verdunstung oder Verdampfung in den gasförmigen Zustand übergetreten sind. Luftverunreinigende Dämpfe entstehen unter anderem beim Spritzlackieren und Streichen, beim Entfetten und Reinigen von Gegenständen, bei der thermischen Behandlung von Kunststoffen und bei Klebearbeiten.

Nebel

Abgekühlter Dampf bildet winzige Tröpfchen, die sich um Kondensationskerne (z. B. Staub) aufbauen. Nebel kann auch entstehen, wenn Flüssigkeiten durch starke mechanische Kräfte in feinste Tröpfchen zerrissen werden. Das ist zum Beispiel bei der „Zerstäubung“ von Öl oder bei Kühlschmiermitteln an spanabhebenden Maschinen oder Schleifmaschinen der Fall. Auch beim Spritzlackieren ist Zerstäubung die Ursache von Nebelbildung.

Rauch

Als Rauch bezeichnet man (disperse) Verteilungen feinstester fester Stoffe (Partikel) in einem Gas. Rauch entsteht sowohl durch thermische als auch durch chemische Prozesse. Schweißen, Brennschneiden und Laserbearbeitung sind die wesentlichen Rauchquellen in Metallverarbeitenden Betrieben und Werkstätten. Auch bei chemischen Prozessen kann Rauch entstehen, zum Beispiel bei der Reaktion von Ammoniak mit Chlorwasserstoff.

Staub

Bei Staub handelt es sich wie bei Rauch um fein verteilte Feststoffe. Das Schwebevermögen und die Sinkgeschwindigkeit von Staubteilchen sind von deren Größe, Form und spezifischem Gewicht abhängig. Abgelagerter Staub kann aufgewirbelt werden und damit erneut eine Belastung der Umgebungsluft darstellen. Staub entsteht in der Produktion vor allem bei der mechanischen Zerkleinerung (z. B. Mahlen, Stampfen, Schneiden) und der spanabhebenden Bearbeitung (z. B. Sägen, Fräsen, Feilen, Schleifen, Polieren, Strahlen). Die Staubentwicklung ist umso größer, je trockener und härter der Werkstoff ist und je hochtouriger die Bearbeitungswerkzeuge laufen.

Schadstoffe, die sich lange in der Luft befinden, besonders auch schädliche Gase, die nicht oder kaum durch Absetzen abgeschieden werden, sind besonders gefährlich für Mensch, Umwelt und Maschine. Sie können sich weit verteilen und auch noch in großer Entfernung vom Produktionsort ihre schädlichen Wirkungen entfalten.

In Tabelle 3.1.1 sind die grundsätzlichen Schadstoff-Freisetzungsvorgänge (Quellen) aufgelistet und durch typische Beispiele von Arbeitsprozessen ergänzt.

Neben den vorab genannten Eigenschaften der Stoffe können sie auch brennbar sein. Damit können sie sowohl die Grundlage von Bränden als auch von Explosionen sein.

Bei der Auslegung einer Absauganlage sind die Brand- und Explosionseigenschaften der Stoffe daher zwingend zu ermitteln (z. B. Brennzahl, Flammpunkt, Explosionsgrenzen, Mindestzündenergie, usw.). Daraus ergeben sich die notwendigen Maßnahmen zur Vermeidung und Reduzierung von Bränden und Explosionen.

Tabelle 3.1.1 Schadstoff-Freisetzungsvorgänge

Freisetzungsmechanismus	Beispiele für Arbeitsprozesse
Verdunstung aus einer Flüssigkeitsoberfläche	Lösemittel beim Lackieren und Reinigen
Nebelbildung infolge mechanischer Zerstäubung oder Kondensation von ungesättigtem Dampf	Lackauftrag beim Spritzlackieren, Ölnebel von Kühlschmierstoffen
Sublimation (Kondensationsaerosole)	Schweißrauch, Schwermetalle aus Hochtemperaturprozessen
Mechanische Staubentstehung	Schleifen, Mahlen, Schütten von Pulvern, Zerspanen
Chemische Reaktionen	Verbrennungsvorgänge, Schweißen

3.1.2 Entstehung/Freisetzung und Ausbreitung von Schadstoffen in der Luft

Die Ausbreitung von Schadstoffen in der Luft (siehe Abbildung 3.1.1) wird bestimmt durch:

- den Aggregatzustand
- das Gewicht/die Dichte
- die Partikelgröße
- die Eigendynamik

Der Aggregatzustand mit seinen drei Zustandsformen – fest, flüssig, gasförmig – hat einen wesentlichen Einfluss auf die Art der Stoffausbreitung. Bei gasförmigen Stoffen ist eine Dispersion in Luft naturgemäß gegeben. Gase und Dämpfe breiten sich gleichmäßig aus.

Flüssige und feste Stoffe sind abhängig von der Tröpfchen- oder Partikelgröße zu betrachten. Kleine Abmessungen der Tröpfchen oder Partikel sind in der Atmosphäre fein verteilt und luftgetragen. Größere Teilchen haben aufgrund ihres Gewichts eine Neigung zur Sedimentation.

Ein weiteres, sehr wichtiges Kriterium, mit dem eine Emissionsquelle beschrieben wird, ist die Eigenbewegung der emittierten Partikel. Diese Eigendynamik hat unterschiedliche Ursachen und führt zu verschiedenen Ausbreitungsmechanismen:

- Stoffausbreitung durch **Dichteunterschiede**: An und über warmen Maschinen sowie durch exotherme (Wärme freisetzende) Prozesse wird die umgebende Luft erwärmt und steigt nach oben (**Thermik**). Reine Dämpfe von Lösemitteln haben andererseits gegenüber der umgebenden Luft eine höhere Dichte und sinken daher zu Boden. In Mischung mit Luft und unter Einfluss von Wärme können sie aber auch eine geringere Dichte als Luft aufweisen und nach oben steigen.
- Stoffausbreitung durch **Druckunterschiede**: An Maschinenöffnungen und durch Leckagen können Emissionen aus dem unter Überdruck stehenden Maschinensystem austreten. Beim Spritzlackieren werden Flüssigkeitsaerosole unter Verwendung von Druckluft aufgetragen.
- Stoffausbreitung durch **Eigenbewegung infolge Anfangsimpulses durch äußere Kräfte**: Durch sich bewegende Maschinenteile oder äußere Strömungen (Raumströmung, Druckluft, Kühlgebläse, etc.) wird ein Bewegungsimpuls auf die umgebende Luft übertragen. Sich drehende Bearbeitungswerkzeuge geben einen Bewegungsimpuls an abgetrennte Werkstück-Partikel ab und versetzen sie in Eigenbewegung. Ebenso können Partikel durch Bewegung von Fahrzeugen oder Gehbewegungen vom Boden aufgewirbelt werden.

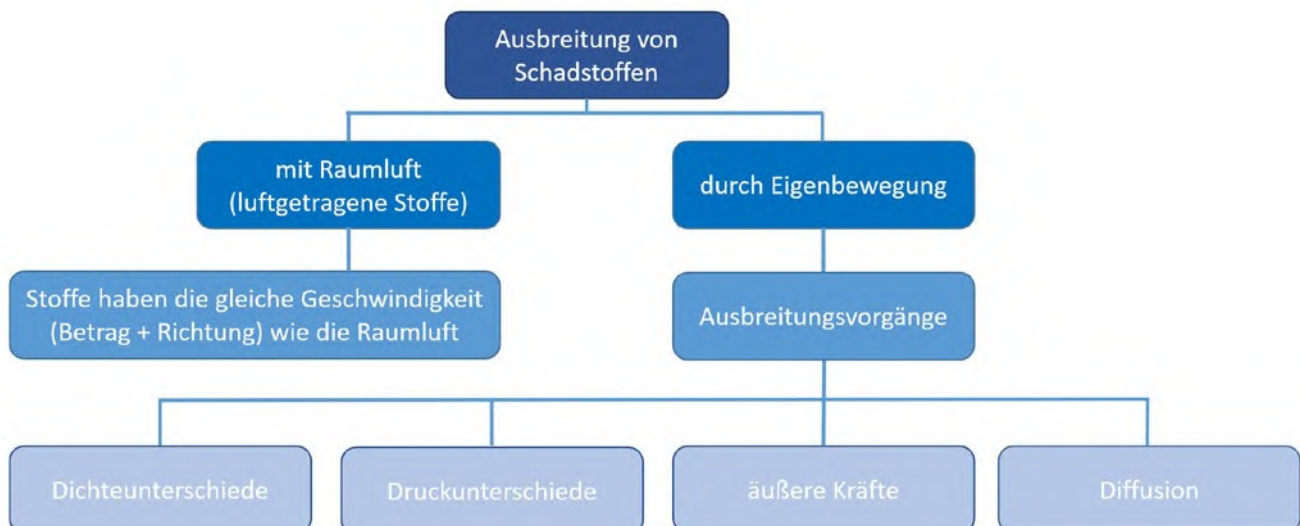


Abb. 3.1.1 Ausbreitung von Schadstoffen

- Stoffausbreitung durch **Diffusion**:
Durch die Molekularbewegung vermischen sich miteinander in Berührung stehende Stoffe verschiedener Konzentration. Diffusionsvorgänge werden in der Regel durch die Raumluftbewegungen deutlich überlagert. Insofern ist der auf diesem Mechanismus der Stoffausbreitung beruhende Vorgang bei einem Großteil der praktischen Anwendungsfälle für die Bemessung von Absauganlagen zu vernachlässigen.

Die Kenntnis dieser Ausbreitungsmechanismen und deren möglichst genaue Bestimmung für den Anwendungsfall ist zwingend notwendig für die Auslegung einer wirksamen Absauganlage.

Die folgende Tabelle zeigt Beispiele für Freisetzung von Gefahrstoffen.

Tabelle 3.1.2 Übersicht über Stofffreisetzungs- und Stoffausbreitungsmechanismen

Stofffreisetzungs- und Stoffausbreitungs-Mechanismen	Vorgänge, Mechanismen, Unterscheidungsmerkmale	Vorgang, Arbeitsverfahren (Beispiele aus der Praxis)
Dichteunterschiede	Fallströmung bei gas- und dampfförmigen Stoffen mit höherer Dichte	<ul style="list-style-type: none"> • nicht temperierte Lösemittelbäder • Behälter mit niedrigsiedenden Flüssigkeiten
	Auftriebsströmung bei luftfremden Stoffen mit höherer Temperatur oder geringerer Dichte (Bezug ist die Zusammensetzung und der Zustand der Umgebungsluft)	<ul style="list-style-type: none"> • an/über erwärmten Flächen • beim Schweißen • beim Gießen • beim Warmumformen
Druckunterschiede	Fluidstrahlen (Gas, Dampf, Staubpartikel, kontaminierte Luft), die aus Maschinen, Leitungen oder Behältnissen – meist aus Leckagen – austreten	<ul style="list-style-type: none"> • beim Kernschießen • Schüttvorgänge in Behältnisse • Transportvorgänge in Leitungen, Behältern • chemische Reaktionen in Fluiden/Festkörpern
Äußere Kräfte	Luftbewegung durch Luftinduktion und Bewegung fester Körper (Austritt kontaminierter Luft aus Strömungsgrenzschichten)	<ul style="list-style-type: none"> • Rotation von Werkstücken in Drehmaschinen • Rotation von Werkzeugen • Bewegung von Schleifbändern oder -scheiben
	Luftbewegung durch Luftinduktion von Luftstrahlen, Fluidstrahlen	<ul style="list-style-type: none"> • Druckstrahl beim Reinigen („Ausblasen“) • Kühlschmierstoffstrahl
	Luftbewegung durch Luftinduktion und Luftverdrängung beim Fallen von Schüttgütern	<ul style="list-style-type: none"> • Transportvorgänge auf Bändern/Bandübergabe • Behälter-Befüllung • Umfüllvorgänge an Silos
	Störluftbewegungen durch Raumluftströmung, Luftaustausch oder Kühlluftströme	<ul style="list-style-type: none"> • Impulsreiche Luftzufuhr aus RLT-Anlage • Störströmungen in Räumen; unkontrollierte Einströmung von außen (Infiltration) • Kühlluftströmung an Elektromotoren
	Aufwirbeln abgelagerter Stäube durch Luftströmungen, Transportvorgänge, Bewegung von Beschäftigten	<ul style="list-style-type: none"> • Laufende Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen • Staplerfahrten • Zugluft im Arbeitsbereich
Diffusion	Bewegung bei Konzentrationsunterschieden ; Vorgang hat gegenüber Raumluftströmung kaum Bedeutung.	<ul style="list-style-type: none"> • Nahbereich von offenen Bädern oder Behältnissen • nahe der Oberfläche vergossener oder ausgelaufener Flüssigkeiten

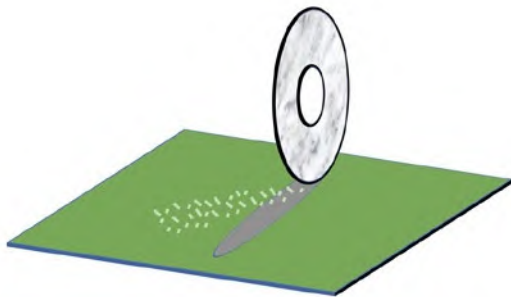
Bei Partikelgrößen von weniger als 100 µm (luftgetragene Stoffe) kann davon ausgegangen werden, dass die Partikel der Luftströmung annähernd ungestört folgen. Bei größeren Partikeln sind der Einfluss des eigenen Impulses und der Schwerkraft stärker als der Einfluss einer vorhandenen Luftströmung. Diese Teilchen sind nicht mehr einatembar und sedimentieren innerhalb kurzer Zeit aus ruhender Luft heraus.

Neben den genannten Mechanismen gibt es noch weitere Größen, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Stoffausbreitung haben. Sie sind in Tabelle 3.1.3 zusammengefasst dargestellt.

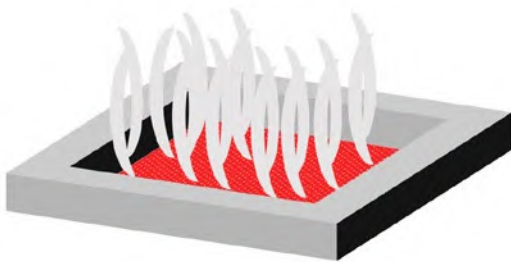
Tabelle 3.1.3 Einflussgrößen für die Schadstoffausbreitung

Einfluss-Parameter	Variationsgröße
Größe und Ausdehnung der Quelle	<ul style="list-style-type: none"> • punktförmig • linienförmig • flächig • räumlich
Zustand der Stoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Aggregatzustand • Temperatur • Dichte • Druck
Art der Freisetzung	<ul style="list-style-type: none"> • Eigenbewegung • Fremdbewegung
Raumluftströmung in der Umgebung der Emissionsquelle	<ul style="list-style-type: none"> • Störströmung
Anordnung der Quelle im Raum	<ul style="list-style-type: none"> • Raumkoordinaten
Freisetzungsort	<ul style="list-style-type: none"> • ortsfest • ortsveränderlich
Zeitdauer der Emission	<ul style="list-style-type: none"> • ständig • zeitweise
Freigesetzte Stoffmenge	<ul style="list-style-type: none"> • Konzentration • Arbeitsverfahren
Physikalische und chemische Eigenschaften der Stoffe	<ul style="list-style-type: none"> • Sorptionsverhalten • Reaktivität • Agglomeration • Abrasivität • Brennbarkeit

Beispiele für die Freisetzung und die Ausbreitung bei unterschiedlichen Arbeitsverfahren mit Emission zeigt die folgende Abbildung:



Punktförmige Emission: Schleifen, Sägen



Flächige Emission: Zinkbad beim Feuerverzinken



Räumliche Emission: Raum beim Spritzverzinken

Der Anhang dieser DGUV Information umfasst verschiedene Formblätter, mit denen die betreibende Firma oder das Planungsbüro die für die Erfassung, Absaugung und Abscheidung wesentlichen Eigenschaften der abzusaugenden Stoffe oder Stoff-Luft-Gemische definieren und zusammentragen kann. In diesem Zusammenhang weisen wir auf folgende Anhänge hin:

- Anhang 8.1: Stoff-Eigenschaften, Freisetzungs- und Ausbreitungs-Mechanismen,
 - Anhang 8.2: Wichtige Kennzahlen des freigesetzten Stoffs,
- sowie im Bedarfsfall auch
- Anhang 8.6: Maximal zulässige Emissionen nach TA-Luft (24. Juli 2002).

3.2 Prinzipien der Erfassung und Konstruktion von Erfassungseinrichtungen

Aufgabe einer Absauganlage ist die Erfassung und gefahrlose Beseitigung von Luftschadstoffen aus dem Arbeitsbereich. Um ein Austreten der Stoffe in den Arbeitsbereich der Beschäftigten zu vermeiden, müssen sie möglichst bereits an der Entstehungsstelle (also an der Bearbeitungsstelle) erfasst werden. Dazu müssen die Emittenten mit möglichst strömungsgünstig und wirkungsvoll gestalteten Erfassungseinrichtungen ausgestattet sein. Die Erfassungseinrichtungen werden im Fall von Bearbeitungsmaschinen in der Regel vom Hersteller konstruiert und geliefert.

Für die Qualität der Absaugung ist vor allem die Wirksamkeit der gewählten Erfassungseinrichtung entscheidend. Mit der richtigen Auswahl der Erfassungseinrichtung kann die abzusaugende Luftmenge auf ein Minimum begrenzt werden. Damit hat die Erfassungseinrichtung wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Gesamtinvestition und den Energiebedarf einer Absauganlage.

Der erzielbare Erfassungsgrad hat für die Schadstoffreduktion am Arbeitsplatz eine ebenso hohe Bedeutung wie der Abscheidegrad des Filtergeräts. Extrem gute Filterabscheidegrade sind sinnlos, sofern nicht die Luftschadstoffe möglichst vollständig erfasst werden.

Abb. 3.1.2 Freisetzung und Ausbreitung von Emissionen bei unterschiedlichen Arbeitsverfahren

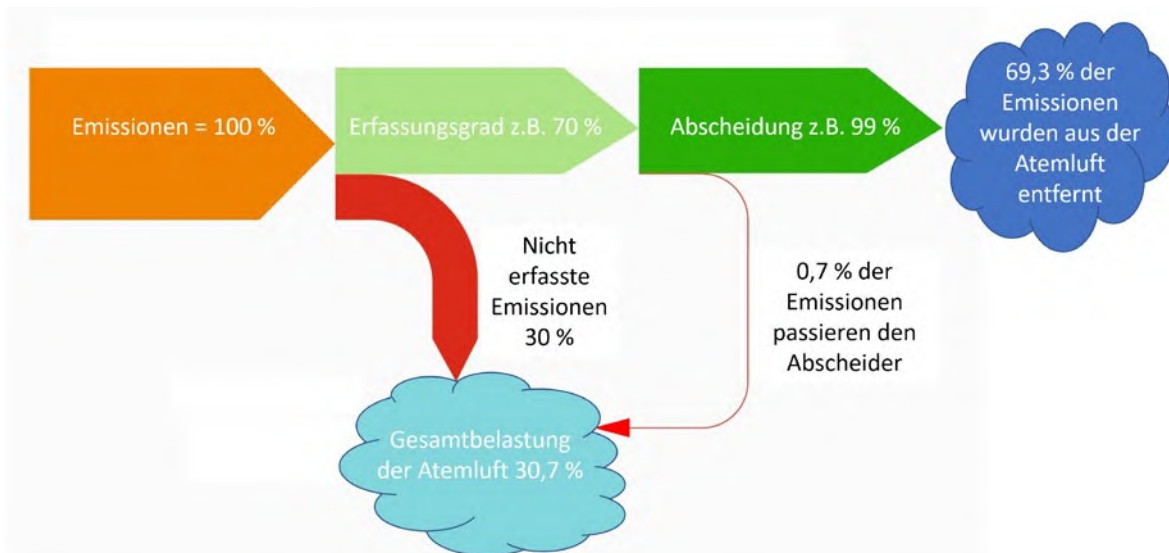


Abb. 3.2.1 Einfluss des Erfassungsgrads auf die Wirksamkeit einer Absauganlage

Die Erfassungseinrichtung soll den Arbeitsprozess so wenig wie möglich behindern. Ein einfacher Umgang und ein störungsfreies Arbeiten sind die Voraussetzung für die Akzeptanz bei Anwendern und Anwenderinnen.

Die Erfassungseinrichtungen müssen der Art und der Position der Emissionsquelle sowie den Mechanismen der Stofffreisetzung (Ausbreitungsrichtung der Stoffe, Quellstärke) angepasst sein. Der Erfassungsluftstrom einer Erfassungseinrichtung und damit die Wirkung auf die Quelle muss so groß sein, dass die luftfremden Stoffe möglichst vollständig erfasst werden. Dazu muss in vielen Fällen der Emissionsstrom in die Richtung der Absaugströmung umgelenkt werden.

Die effizienteste Erfassung und der geringste Energieverbrauch sind gegeben, wenn die Erfassungseinrichtung möglichst nahe am Erfassungsort angeordnet ist und die Erfassungsrichtung in Richtung des Ausbreitungswegs der Emission erfolgt.

Kann die Erfassung nicht in Richtung des Ausbreitungswegs erfolgen, ist nach Möglichkeit die impulsbehaftete Emission soweit wie möglich umzulenken oder möglichst nahe am Emissionsort auszubremsen (z. B. durch Prallflächen, Borstenleisten). Durch die letztgenannte Maßnahme sinkt die erforderliche Erfassungs-Luftgeschwindigkeit (siehe Abschnitt 3.2.1) und die abzusaugende Luftmenge wird vermindert.

Bei vielen, vor allem handwerklichen, Arbeitsplätzen sind der Emissionsort und der Ausbreitungsweg aber nicht ortsfest und richtungsstabil. In solchen Fällen ist eine bewegliche Erfassungseinrichtung eine zusätzliche Randbedingung für die wirksame Erfassung.

3.2.1 Prinzipielle Ausführungsvarianten von Erfassungseinrichtungen

Bei der Auslegung von Erfassungseinrichtungen sind die folgenden praktischen Grundsätze/Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Stoffströme werden auf Basis einer reinen Saugwirkung erfasst. Die Mehrzahl der technischen Lösungen funktioniert nach diesem Prinzip.
- Darüber hinaus gibt es Absaugsysteme mit Zuluft-Unterstützung. Zusätzlich eingebrachte Luftströmungen unterstützen den Transport der Stoffströme zu den Erfassungseinrichtungen und erhöhen den Erfassungsgrad. Aber nur von fachkundigen Personen sorgfältig ausgelegte Konstruktionen verhindern dabei Verwirbelungen und die Austragung aus dem Erfassungsbereich.
- Die Verwendung von impulsbehaftetem oder hochinduktivem Blasstrahlen ist im Einzelfall eine mögliche Lösung, jedoch in den meisten Fällen nicht empfehlenswert.

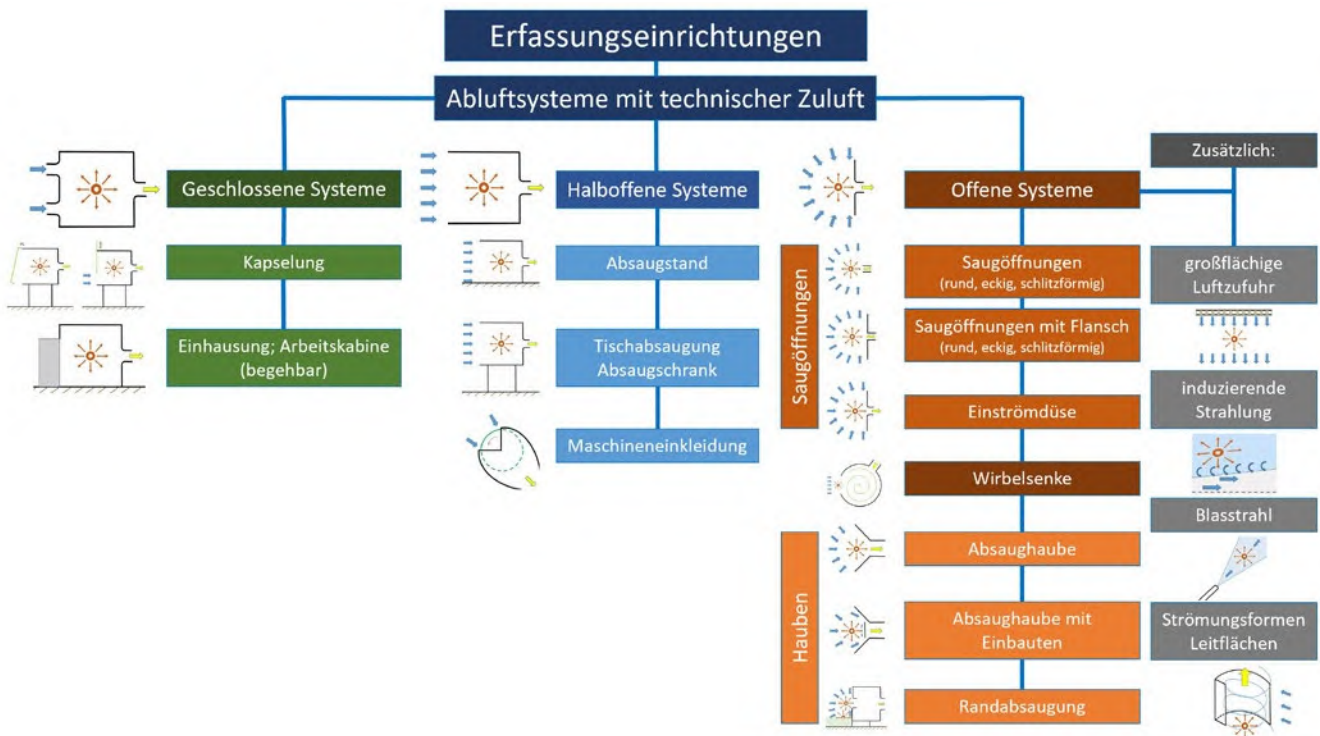


Abb. 3.2.2 Bauarteinteilung von Erfassungseinrichtungen

Erfassungseinrichtungen lassen sich gemäß Abbildung 3.2.2 grundsätzlich unterscheiden nach

- der Luftführung (mit/ohne Zuluft-Unterstützung),
- dem Grad der Quellenumschließung (offen, halboffen, geschlossen) und
- dem Erfassungsmechanismus, das heißt der im Erfassungsbereich vorherrschenden Strömungsform in Abhängigkeit von der Ausformung der Erfassungseinrichtung.

Am wirkungsvollsten ist eine vollständige Einhausung der Emissionsquelle, da dann die geringsten Erfassungsluftströme erforderlich sind. Je offener die Erfassung gestaltet wird, umso größer werden die benötigten Erfassungsluftströme und umso schwieriger ist es, eine ausreichende Erfassung zu erzielen.

3.2.1.1 Geschlossene Erfassungseinrichtung in Form einer Kapselung oder Einhausung

Mit geschlossenen Erfassungseinrichtungen werden die Stoffströme am besten erfasst.

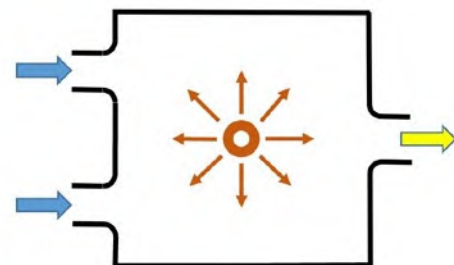


Abb. 3.2.3 Geschlossene Erfassungseinrichtung

Bei den Erfassungseinrichtungen geschlossener Bauart unterscheidet man Einhausung und Kapselung. Bei der Einhausung wird ein technisches Arbeitsmittel oder Arbeitsverfahren großräumig umkleidet (z. B. Lackierkabine), während bei der Kapselung ein Apparat relativ eng umkleidet wird (z. B. Kapselung einer Bearbeitungsmaschine). In beiden Fällen wird der umkleidete Raum

nach Möglichkeit unter Unterdruck gehalten. Richtwerte für die erforderliche Absaugmenge erhält man aus der Spaltfläche, den Zuluft-Öffnungen oder aus der Größe der Öffnungen für den Materialtransport durch die Einhausung hindurch (z. B. Materialbunker).

Bei der Auslegung solcher geschlossenen Systeme mit Festlegung der Absaugluftmenge und des zu haltenden Unterdrucks sollten für freie Öffnungen Lufteintrittsgeschwindigkeiten von 0,5–1,0 m/s, bei großen Einhausungen oder hohen Unterdrücken auch bis zu 1,5 m/s berücksichtigt werden. Andernfalls ist die Absaugung nicht wirksam.

Ebenso ist bei der Auslegung von geschlossenen Erfassungseinrichtungen zu berücksichtigen, ob die Bedienerperson beim Betrieb regelmäßig die Einhausung oder Kapselung öffnen muss, um zum Beispiel Teile zu entnehmen oder Störungen zu beseitigen. Die Atmosphäre innerhalb der Umfassung muss dann gereinigt sein, bevor die Umfassung geöffnet wird.

3.2.1.2 Halboffene Erfassungseinrichtung wie Absaugwand, Arbeitskabine, Arbeitstisch, Maschineneinkleidung

Die richtige Auslegung und Anordnung von Absaugstellen und Zuluft-Öffnungen ermöglicht die belastungsfreie Zuströmung von sauberer Luft in den Bedien- oder Arbeitsbereich.

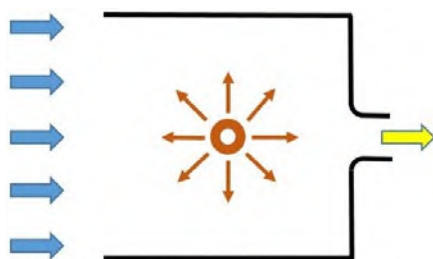


Abb. 3.2.4 Halboffene Erfassungseinrichtung

Halboffene Erfassungseinrichtungen werden verwendet, wenn eine vollständige Einkleidung aus Beschickungs- und Bedienungsgründen nicht möglich ist. Bei der halboffenen Bauart befindet sich die Quelle luftfremder Stoffe, wie bei der geschlossenen Bauart, innerhalb der Erfassungseinrichtung. Im Gegensatz zur geschlossenen Bauart ist die halboffene Erfassungseinrichtung an mindestens einer Seite offen.

3.2.1.3 Offene Erfassungseinrichtung wie Saugrohr, Absaughaube, Badabsaugung

Bei der offenen Bauart besteht zwischen Emissionsquelle und Erfassungseinrichtung ein räumlicher Abstand. Viele Arbeitsprozesse lassen die Anwendung einer Erfassungseinrichtung geschlossener oder halboffener Bauart nicht zu. In solchen Fällen sind die offenen Bauarten anzuwenden. Sie erfordern bei vergleichbarer Erfassungswirkung den Einsatz wesentlich höherer Luftströme und damit auch einen höheren Energieeinsatz. Die Erfassung erfolgt durch Saugöffnungen unterschiedlicher Formen (kreisförmige und rechteckige Öffnungen, Schlitze), deren Zuordnung zur Quelle luftfremder Stoffe bestimmte Konstruktionen erfordern (Hauben, Randabsaugungen).

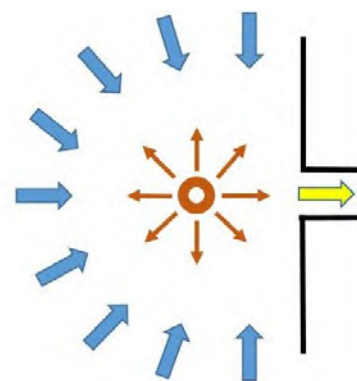


Abb. 3.2.5 Offene Erfassungseinrichtung in Ausführung als Einströmdüse

In die Gruppe der offenen Erfassungseinrichtungen fallen die meisten eingesetzten Erfassungseinrichtungen. Ihre Funktion beruht ausschließlich auf einer Senkenströmung innerhalb eines Saugfelds mit (sehr) begrenzter Tiefenwirkung (siehe Abbildung 3.2.6 auf der folgenden Seite). So beträgt die Ansauggeschwindigkeit in einem Abstand von einem Rohrdurchmesser nur noch 7,5 % der Strömungsgeschwindigkeit w_0 an der Ansaugstelle am Rohrstutzen. Erfassungseinrichtungen (offener Bauart) sollten deshalb möglichst nahe an der Stoffquelle positioniert sein.

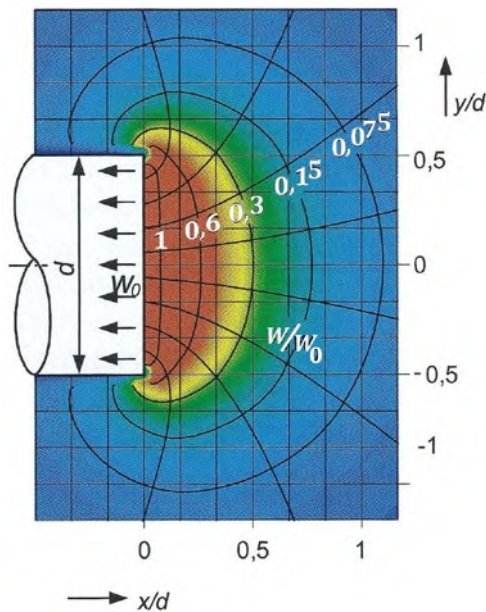


Abb. 3.2.6 Geschwindigkeitsfeld vor einer Saugöffnung

Die Anordnung eines Erfassungselements sollte außerdem in Richtung der Eigenbewegung der freigesetzten Stoffe erfolgen.

Der zur wirkungsvollen Erfassung erforderliche Volumenstrom ist in aller Regel größer als der mit luftfremden Stoffen angereicherte (abzusaugende) Luftstrom an der Position des Erfassungselements.

Die Saugfelder offener Erfassungselemente reagieren besonders empfindlich auf Quer- oder Störströmungen. Diese Strömungen sind bei der Auslegung der Erfassungsvolumenströme zu berücksichtigen. Um unnötig große Erfassungsvolumenströme mit der Folge eines hohen Energiebedarfs zu vermeiden, sind Störströmungen nach Möglichkeit durch Leitelemente (Wände) einzuschränken.

Bei der Gestaltung von Erfassungselementen müssen darüber hinaus Gesichtspunkte der Effizienz, der Handhabbarkeit und des Strömungsverhaltens (Widerstände) berücksichtigt werden.

3.2.2 Erforderliche Strömungsgeschwindigkeiten für die Erfassung von Gefahrstoffen

Die Strömungsgeschwindigkeit im Erfassungsbereich ist nach den Eigenschaften der zu erfassenden luftgetragenen Gefahrstoffe zu wählen.

Die Höhe der Strömungsgeschwindigkeit ist abhängig von:

- der Dichte des abzusaugenden Stoffs
- der Partikelgröße (aerodynamischer Durchmesser)
- dem Einfluss eines Eigenimpulses (z. B. durch ein sich drehendes Werkzeug beschleunigte Partikel) und/oder durch Umgebungseinflüsse wirkende äußere Kräfte (z. B. Thermik)

Zusätzlich ist die Schwebegeschwindigkeit von Bedeutung, um die Partikel in der Luft zu halten. Die Schwebegeschwindigkeit ist die hochströmende Luftgeschwindigkeit, die benötigt wird, um das Partikel gegen die Schwerkraft (abhängig von der Masse) im Gleichgewicht zu halten. Sie steigt bei zunehmender Partikelgröße (aufgrund der hohen Masse) und sinkt bei großflächigen Partikeln (z. B. Papierfetzen).

Die Erfassungseinrichtung muss durch ihr Saugfeld und die darin vorhandene Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit die Schwerkraft und die Eigengeschwindigkeit überwinden und das Partikel einsaugen.

Da schwere und große Partikel nicht luftgetragen sind und somit auch nicht in den Atembereich der Beschäftigten gelangen, wird im Allgemeinen auf eine Erfassung dieser Partikel verzichtet.

Erfahrungswerte für Strömungsgeschwindigkeiten bei Erfassung von Stoffen ohne dominierenden Eigenimpuls, die über Saugfelder abgesaugt werden, sind in Tabelle 3.2.1 aufgeführt.

Tabelle 3.2.1 Richtwerte für Strömungsgeschwindigkeiten bei ausschließlicher Erfassung über ein Saugfeld in Abhängigkeit vom Arbeitsprozess (in Anlehnung an VDI 2262, Teil 4)

Erforderliche Strömungsgeschwindigkeit W_0 zur Erfassung im Saugfeld	Arbeitsverfahren, Gefahrstoff
0,25 – 0,5 m/s	Partikel, Gase, Dämpfe mit geringem Auftrieb oder geringer Eigenbewegung (z. B. Tauchbecken, Fässer)
0,3 – 0,5 m/s	Lötrauch, Schweißrauch
0,7 m/s	Laborabzug (DIN 12924)
0,3 – 0,5 m/s	Gase, Dämpfe mit unterstützender Eigenbewegung (z. B. über erwärmten Industriebädern mit Randabsaugung – Thermik)
0,4 – 0,8 m/s	Pulverbeschichten
0,5 – 1 m/s	Gase, Dämpfe ohne Auftrieb oder Eigenbewegung
0,5 – 1 m/s	Mittlere Eigengeschwindigkeit (z. B. Spritzkabinen, starke thermische Konvektion) gleichgerichtet mit austretendem Partikelstrom
0,5 – 1 m/s	Sackabfüllung von staubenden Schüttgütern
0,75 – 1,0 m/s	Metallspritzen (gleichgerichtet mit austretendem Partikelstrom)
0,75 – 1,0 m/s	Metallrauch, Gase in Gießerei
1,0 – 1,4 m/s	Metallrauche beim thermischen Trennen (z. B. beim Brennschneiden/Plasmaschneiden mit Absaugung von unten), abhängig von der Materialstärke
1,0 – 1,4 m/s	Metallrauch beim Brennschneiden/Plasmaschneiden (Absaugung gleichgerichtet nach unten)
1,0 – 3,5 m/s	Gase, Dämpfe mit entgegengesetzter Eigenbewegung (z. B. Schweißtischabsaugung nach unten, Formkastenentleerung mit heißem Gussstück bei Absaugung nach unten)
0,3 – 6,5 m/s	Strahlarbeiten im Raum

Um die luftgetragenen Anteile aus der Atemluft der Beschäftigten zu beseitigen, die aus einem größeren Bereich um das Erfassungselement herum oder mit hohen Eigenimpulsen, z. B. aus der Schnittgeschwindigkeit bei Werkzeugbearbeitung, aufgeladen sind, haben sich in der Praxis die in Tabelle 3.2.2 angegebenen Werte am Rohranschluss der Erfassungseinrichtung (w_0) bewährt.

Im Zweifelsfall können hier nur Erfahrungen aus Gefahrstoffmessungen bei unterschiedlichen Strömungs- und Erfassungsbedingungen Aufschluss über die jeweils erforderliche Erfassungsluftgeschwindigkeit geben.

Oft stellt die praktisch mögliche Lösung für die Gestaltung eines Erfassungselements und die Wahl der Strömungsgeschwindigkeit einen Kompromiss zwischen den Forderungen nach störungsfreier Arbeitsmöglichkeit und optimalen Erfassungsbedingungen dar.

Tabelle 3.2.2 Richtwerte für Strömungsgeschwindigkeiten bei der Erfassung von größeren Stoffausbreitungen und/oder Eigenbewegung infolge Anfangsimpulses durch äußere Kräfte in Abhängigkeit vom Arbeitsprozess

Erforderliche Strömungsgeschwindigkeit w_0 am Rohranschluss der Erfassungseinrichtung	Arbeitsverfahren, Gefahrstoff
5 – 12 m/s	Abluft mit leichten Verunreinigungen
12 – 15 m/s	Abluft mit geringer Partikelbeladung (z. B. Schweißrauch), leichte Stäube
15 – 25 m/s	Holzstaub, Sand
18 – 24 m/s	Abluft mit hoher Partikelbeladung (Entstaubung) oder schwere Partikel (Späne)
22 – 30 m/s	Feuchter Zementstaub, feuchtes Sägemehl, feuchter Sand
> 24 m/s	Pneumatische Förderung

3.2.3 Luftbedarf zur Absaugung mit Erfassungseinrichtungen

Zur Bestimmung des Luftbedarfs an einzelnen Emissionsstellen müssen folgende Parameter festgelegt werden:

1. Volumenstrom \dot{V} in m^3/h
2. Luftgeschwindigkeit w an der Schnittstelle zwischen Erfassungselement und Rohrleitung in m/s
3. Querschnittsfläche A in m^2 oder Durchmesser D am Anschlussstutzen des Erfassungselements in m
4. erforderliche Druckdifferenz Δp_{stat} gegen Umgebung (Unterdruck) in Pa zur Erzielung der gewünschten Luftgeschwindigkeit

Dabei hängen die genannten Größen (bei Rohranschlüssen mit Kreisquerschnitt) rechnerisch wie folgt zusammen:

$$\dot{V} = A \cdot w = D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot w \quad (3.2 - 1)$$

Bei Vorgabe von 2 der genannten Größen ergibt sich die 3. Größe aus dem rechnerischen Zusammenhang.

Für die erforderliche Druckdifferenz Δp_{stat} gegen Umgebung gilt:

$$\Delta p_{\text{stat}} = \xi \cdot p_{\text{dyn}} = \xi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \quad (3.2 - 2)$$

Dabei ist:

ξ = Strömungsbeiwert der Erfassungseinrichtung [-] und

ρ = Dichte der Luft, angenommen als $1,2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Der Strömungsbeiwert der Erfassungseinrichtung ist bauteil-typisch und kann als (weitgehend) konstant im interessierenden Geschwindigkeitsspektrum angesehen werden. Er ist für übliche Erfassungs-Konstruktionen aus Tabellenwerken zu entnehmen, muss in vielen Fällen aber messtechnisch bestimmt werden.

Zu diesem Zweck lässt sich aus Gleichung 3.2 – 2 folgender Zusammenhang herleiten:

$$\xi = \frac{\Delta p_{\text{stat}}}{p_{\text{dyn}}} \quad (3.2 - 3)$$

Beide Parameter der Gleichung können mit dem Prantl-Staurohr gemessen werden. Näherungsweise können Strömungsbeiwerte durch bewertende Beurteilung bekannter Konstruktionen auch abgeschätzt werden.

Hinweis:

Die hinreichend genaue Einschätzung der Strömungswiderstände an den Erfassungsstellen ist – neben den Schadstoffeigenschaften – in der Praxis die entscheidende Größe für die spätere Funktionstüchtigkeit der Anlage.

Die Dichte der Luft ist abhängig von der geodätischen Höhenlage, dem Luftdruck, der Luftfeuchte und der Lufttemperatur und liegt zwischen 0,8 und 1,5 kg/m³. In unseren Breitengraden ist die pauschale Annahme einer Luftdichte von 1,2 kg/m³ hinreichend genau.

Besonders maschinelle Arbeitsmittel haben häufig mehrere Erfassungsstellen. Es kann/können dabei entweder eine Emissionsquelle über mehrere Erfassungen abgesaugt werden oder mehrere Emissionsquellen über jeweils ein Erfassungselement. In den genannten Fällen ergibt sich der Gesamt-Volumenstrombedarf für den Verbraucher nach der Beziehung:

$$V_{ges} = \sum_{i=1}^n V_i \quad (3.2. - 4)$$

wobei V_i der erforderliche Volumenstrom an den einzelnen Erfassungsstellen ist.

Der bei der Zusammenführung der Volumenströme in eine gemeinsame Rohrleitung erforderliche Gesamt-Durchmesser D_{ges} ergibt sich aus folgender Beziehung:

$$D_{ges} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (3.2. - 5)$$

wobei D_i die Durchmesser der zu den Erfassungsstellen führenden Leitungen in m darstellen.

Für den Strömungsbeiwert oder den statischen Druckverlust gegen Umgebung wird zweckmäßigerweise der Zusammenführungspunkt als Bezug genommen. Das erleichtert die spätere Berechnung im Gesamtsystem enorm. Für die Ermittlung dieses Gesamt-Strömungsbeiwerts ξ_{ges} – der auch die Verbindungsleitungen zwischen den Erfassungsstellen umfasst – gelten die oben genannten Hinweise. Sind die Einzelwiderstände ξ_i bekannt,

kann der Gesamt-Beiwert nach der folgenden Beziehung ermittelt werden:

$$\xi_{ges} = \frac{D_{ges}^2}{\sum_{i=1}^n \frac{D_i^2}{\xi_i}} \quad (3.2. - 6)$$

Nach EG-Maschinenrichtlinie muss der Hersteller einer Maschine oder Anlage diese mit einem CE-Zeichen und einer Konformitätserklärung ausliefern. Außerdem hat er eine Betriebsanleitung auszustellen, die auch eine Beschreibung der erforderlichen Leistungsdaten an den Schnittstellen zu Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen oder -anlagen enthält. Ist der störungs- und emissionsfreie Betrieb einer Maschine nur gewährleistet, wenn die bei der Bearbeitung innerhalb der Maschine anfallenden Schadstoffe über eine Absaugung entsorgt werden, muss er folgende Angaben zu den an der Schnittstelle zwischen Maschine und Absauganlage erforderlichen Absaugleistungen machen:

1. Angabe des oder der Durchmesser der Anschlussstutzen
2. Angabe des an den Stutzen erforderlichen Volumenstroms oder der zugehörigen Luftgeschwindigkeit
3. Angabe der zur Erzielung des Volumenstroms/der Luftgeschwindigkeit erforderlichen Druckdifferenz gegen Umgebung.

Ist der **sichere Betrieb** einer Maschine nur gewährleistet, wenn die Stoffe abgesaugt werden, muss zusätzlich überwacht werden, ob die in den Punkten 2. bis 3. genannten Angaben eingehalten werden.

Die Angaben aus der Betriebsanleitung des Herstellers bilden heute in den meisten Fällen die Grundlage für die Auslegung der Absauganlage. Existieren – besonders bei älteren Maschinen – keine Hersteller-Vorgaben oder bestehen begründete Zweifel an den Angaben in der Hersteller-Betriebsanleitung, kann auf Erfahrungswerte aus eigenen Messungen oder Studien sachkundiger Institutionen zurückgegriffen werden.

3.3 Rohrleitung

In der Rohrleitung einer Absauganlage werden Stoffe und Energie von einem Entstehungsort zu einem Zielort gefördert. Im Fall von Absauganlagen werden die abzusaugenden Stoffe mit dem Medium Luft gefördert.

Im folgenden Abschnitt wird als Rohrleitung die Gesamtheit der Rohrabschnitte bezeichnet, die die abgesaugten Stoffe nach dem Erfassungselement bis zum Eintritt am Zielort – dem Abscheider – führen. Für die häufig nachgeschalteten Rück- oder Fortluftkanäle gelten sinngemäß die gleichen physikalischen Gesetze und Aussagen.

3.3.1 Anforderungen an eine Rohrleitung

Das Material und die erforderliche Wandstärke der Rohrleitungen müssen für die abgesaugten Gefahrstoffe und Partikel geeignet sein. Im Folgenden werden deshalb die einschlägigen Eigenschaften des Stoffs und die sich ergebenden Anforderungen an die Rohrleitung kurz vorgestellt:

Brennbare oder heiße Stoffe

Sind die in der Luft transportierten Stoffe brennbar, muss ein Übergreifen von Wärmestrahlung infolge eines Brands innerhalb der Rohrleitung nach außen oder von außerhalb in die Leitung vermieden werden. Dazu muss die Leitung aus Baustoffen der Baustoffklasse A nach DIN 4102 oder EN 13501 (z. B. Stahlblech) bestehen. Bei der Montage muss ein möglicher Wärmeübertritt von der Rohrleitung auf benachbarte Bauteile (oder umgekehrt) vermieden werden. Dazu muss die Rohrleitung einen Mindestabstand von 0,10 m zu festen Bauteilen in der Umgebung haben oder die Rohrleitung muss folgenden Feuerwiderstandsanforderungen nach EN 13501 genügen:

- EI, wenn zwischen Rohrleitung und Bauteil kein Abstand besteht und
- EW, wenn der Abstand zwischen Rohrleitung und Bauteil mindestens 1 m beträgt.

Flexible Rohrleitungsbestandteile müssen mindestens schwerentflammbar entsprechend Baustoffklasse B1 nach DIN 4102 ausgeführt sein.

Explosionsfähiger Stoff

Der pneumatische Transport gilt als stark ladungserzeugender Prozess. Die Luftmoleküle und/oder die Moleküle des transportierten Stoffs reiben entlang der Rohrwandung sowie untereinander. Bei diesen Reibungsvorgängen werden auch elektrische Ladungen ausgetauscht, sodass die Rohre elektrostatisch aufgeladen werden. Um diese statische Aufladung als wirksame Zündquelle auszuschließen, müssen alle Bestandteile der Rohrleitung durchgehend geerdet werden, wenn brennbare Stoffe abgesaugt werden. Nichtleitfähige Bauteile (z. B. Kompensatoren) müssen leitfähig überbrückt werden.

Aggressive Stoffe

Die Rohrleitungswerkstoffe sind so auszuwählen, dass sie gegenüber dem abgesaugten Stoff (chemisch und physikalisch) ausreichend widerstandsfähig sind.

Abrasive Stoffe

Mit der Zeit wird die Oberfläche der Rohrrinnenwand durch den vorbeiströmenden Stoff infolge Abrieb abgetragen. In diesen Fällen muss die Wandstärke auf solchen Verschleiß ausgelegt oder die Rohrrinnenwand muss mit speziellen Beschichtungen (gummierte Oberfläche, keramische Auskleidung) versehen werden.

3.3.2 Bauweise der Rohrleitung

Im Folgenden sind die in Absauganlagen häufig verwendete Bauteile und Formstücke sowie ihr bevorzugter Einsatzbereich beschrieben.

3.3.2.1 Rohre

Nahtlose Rohre werden vor allem im Bereich stark abrasiver oder chemisch aggressiver Stoffe sowie in Anlagenbereichen mit höherem Druckniveau eingesetzt. Diese Bauform setzt einer Strömung die geringsten Widerstände entgegen.

Längsfalzrohre eignen sich für alle Stoffe, die sich nicht stark abrasiv oder chemisch aggressiv verhalten.

Wickelfalzrohre können leicht an der Montagestelle konfektioniert werden und eignen sich daher besonders für die Überbrückung längerer gerader Strecken ohne Richtungsänderungen, Einbindung von Abzweigen oder Querschnittsänderungen. Wickelfalzrohre werden vor allem im

Lüftungsbau angewendet und sind nicht oder nur bedingt für den Einsatz in Absauganlagen mit Aerosolförderung (feste und flüssige Stoffe) geeignet.

Flexible Absaugschläuche sind sehr universell einsetzbar. Allerdings haben sie gegenüber einem glattwandigen Metallrohr einen deutlich höheren Strömungswiderstand. Außerdem ist ihre Abriebbeständigkeit, ihre Beständigkeit gegen aggressive Stoffe sowie ihre Brandbeständigkeit eingeschränkt. Flexible Schläuche sollten deshalb nur an den Stellen eingesetzt werden, an denen Bewegungen durch verfahrbare oder verstellbare Erfassungselemente entstehen.

Da die Kunststoffhülle solcher Schläuche meistens nicht elektrostatisch leitfähig ist, muss die innen liegende Metallwendel bei der Montage beidseitig abisoliert und mit geerdeten Rohrleitungsteilen verbunden werden. Andernfalls besteht die Gefahr von nicht vorhersehbaren elektrostatischen Entladungen im Anschlussbereich der Schläuche.

3.3.2.2 Rohrverbindung

Die Rohre und die erforderlichen Bauteile müssen auf der Baustelle zu einer Leitung zusammengefügt werden. In diesem Abschnitt sollen die gängigen Verbindungsarten vorgestellt werden.

Verschweißte Rohrstöße

Schweißverbindungen können sehr große Kräfte und Momente übertragen und sind – sofern die Verbindung geprüft wird – dicht.

Verbindung mit verschraubten Flanschen

Geschraubte Flanschverbindungen sind lösbar und damit wiederholt zu demontieren und montieren.

Verbindungen mit Spannringen

Spannringe sind lösbar und damit wiederholt zu demontieren und montieren.

Muffen-Steckverbindungen sind sehr flexibel bei der Montage vor Ort. Die Rohre werden als Meterware geliefert und die Rohrstücke können passgenau zugeschnitten werden.

3.3.2.3 Befestigung der Rohrleitung

Rohrleitungsbefestigungen sollen die Rohrleitung in einem festgelegten Abstand vom tragenden Bauteil in Position halten. Im Allgemeinen werden die Rohrleitungen von der Decke abgehängt oder mit Rohrschellen an einer Wand befestigt. Zur Körperschallentkoppelung sind Rohrhalterungen in der Regel mit einer Einlage aus Gummi ausgestattet. Für das zu wählende Halterungskonzept sind die Belastungsgrenze der Unterkonstruktion, die maximale Biegebelastung der Rohrleitung und die zu erwartende thermische Ausdehnung der Leitung relevant.

3.3.2.4 Instandhaltung und Revision

Um eine Absauganlage auf Dauer funktionstüchtig zu halten, müssen Mängel rechtzeitig erkannt und umgehend beseitigt werden. Wesentliche Prüfungen für die Rohrleitung sind:

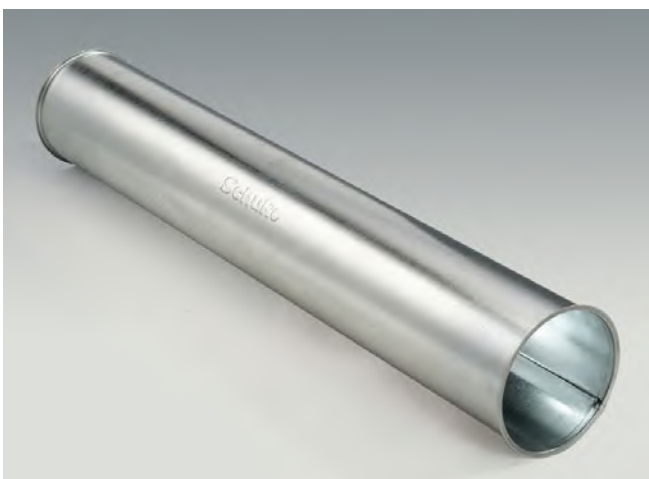


Abb. 3.3.1 a) links: Längsfalzrohr als Verbindungsmittel b) rechts: Spannringe

- Kontrolle auf Ablagerungen
- Kontrolle auf Undichtigkeiten

Vorhandene Ablagerungen erkennt man messtechnisch durch die Überprüfung der Strömungswiderstände, akustisch durch Klopfen oder visuell durch Revisionsöffnungen. Ablagerungen finden vor allem in den horizontalen Rohrabschnitten oder vor starken Krümmungen statt.

Zur messtechnischen Überprüfung des Volumenstroms sind geeignete Messpunkte vorzusehen.

Für die visuelle Überprüfung und mögliche Entnahme von abgelagertem Material sind an den kritischen Stellen verschließbare Revisionsöffnungen ausreichender Größe vorzusehen. Wenn diese Öffnungen im Gefahrenbereich beweglicher Teile (z. B. Ventilator-Laufrad, Zellenradschleuse, Brikettierpresse) angeordnet werden, dürfen die Revisionsklappen nur mit Werkzeug zu öffnen sein.

In Rohrleitungsabschnitten, in denen sich Detektoren von Funkenlöscheinrichtungen befinden, sollten Revisionsöffnungen möglichst vermieden werden, da sonst durch den Lichteinfall beim Öffnen ungewollt Auslösungen der Löschanlagen auftreten können.

Die Kontrolle auf Undichtigkeiten umfasst die visuelle Prüfung auf Beschädigungen oder Verformungen, innere Beschädigung durch Korrosion oder Abrasion und die (visuelle und akustische) Prüfung der Rohrstöße.



Abb. 3.3.2 Deckel für Revisionsöffnung (Ausführungsbeispiel)

3.3.3 Strömungsarten

Im Zusammenhang mit der Strömung in Absauganlagen werden grundsätzlich drei verschiedene Formen der pneumatischen Förderung unterschieden:

- Flugförderung
- Strähnenförderung
- Pfropfenförderung

Flugförderung ist in Absauganlagen die anzustrebende – da ablagerungsfreie – Methode zum pneumatischen Transport. Die transportierten Partikel bewegen sich bei Flugförderung mit etwa gleicher Geschwindigkeit wie die Luft durch die Rohrleitung. Die Geschwindigkeit der strömenden Luft muss dabei groß genug sein, um die Teilchen in Schwebe zu halten. Die Mindestluftgeschwindigkeit ist also die Geschwindigkeit, bei der die Partikel gerade noch schweben und somit abhängig von Form, Dichte und Gewicht der zu transportierenden Schadstoff-Komponenten.

Wenn die Luftgeschwindigkeit zu gering ist oder Partikel mit zu großer Masse transportiert werden sollen, werden die schwereren Teilchen nicht mehr mitgenommen und lagern sich auf der Rohrsohle ab. Dabei verkleinern sie den Rohrquerschnitt, was wiederum zu einer Steigerung der Luftgeschwindigkeit an der Engstelle führt. Es kommt zur sogenannten **Strähnenförderung**, da die höhere Luftgeschwindigkeit ausreicht, um die Partikel erneut aufzunehmen und weiter zu fördern. Das funktioniert solange, bis die kritische Schwebegeschwindigkeit erneut unterschritten wird und sich das Teilchen wieder ablagert.

Ist die Luftgeschwindigkeit deutlich zu gering, kommt es zu einem vollständigen Verschluss der Engstellen in der Rohrleitung. Vor diesen Verschlüssen wird die Transportluft aufgestaut und verdichtet. Wenn der Druck der aufgestauten Luft ausreicht, wird das blockierende Material ein Stück weiter gefördert, bis der Förderdruck der Luft nicht mehr ausreichend ist. Dieser Zustand wird als **Pfropfenströmung** bezeichnet und führt in Absauganlagen – wegen der geringen erzeugbaren Druckdifferenzen – regelmäßig zum Zusammenbruch der Strömung und damit zu Verstopfungen der Rohrleitungen.

Strähnen- und Pfropfenförderung sind für dauerhafte Partikelförderung ungeeignet und daher zu vermeiden.



Abb. 3.3.3 Arten der Förderung von Stoffen in Rohrleitungen

3.3.4 Auslegung einer Rohrleitung

Bei der Wahl des Rohrdurchmessers müssen folgende Parameter berücksichtigt werden:

- die Masse des zu transportierenden Stoffs [kg]
- das Transportvermögen der Luft für den zu transportierenden Stoff [kg/m^3]
- die (aus Sicherheitsgründen) maximal zulässige Konzentration des Stoffs in der Luft [g/m^3]
- die Mindest-Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung zur Aufnahme des Stoffs (Erfassung) und zu dessen ablagerungsfreiem Transport [m/s]
- Vermeidung von starken Strömungsgeräuschen/Lärm

Die nachfolgende Tabelle 3.3.1 enthält beispielhaft für häufig vorkommende Stoff-Luft-Gemische Bereiche von Strömungsgeschwindigkeiten, die zum ablagerungsfreien Transport nicht unterschritten werden sollten.

Bei der konkreten Wahl der Strömungsgeschwindigkeit zum ablagerungsfreien Transport muss der Zu-

stand des abzusaugenden Stoffs berücksichtigt werden. Die Geschwindigkeit ist umso höher anzusetzen, je

- schwerer und/oder
 - feuchter
- die abzusaugenden Partikel sind.

3.3.5 Druckverlust in der Rohrleitung

Druckverluste entstehen bei der Durchströmung aller Arten von Bauteilen durch die Reibung der Luft an den jeweils vom Luftstrom berührten Begrenzungsflächen sowie durch Turbulenzen (Wirbel im Luftstrom). Die Verluste wachsen dabei mit steigender Strömungsgeschwindigkeit. Je größer die inneren Verwirbelungen in einem Bauteil sind, desto größer sind auch die Verluste beziehungsweise der innere Widerstand. Besonders starke Verwirbelungen ergeben sich bei senkrecht in den Hauptstrang einmündenden Nebensträngen, Richtungsänderungen oder an Engstellen und Aufweitungen in der Rohrleitung.

Tabelle 3.3.1 Beispiel für Richtwerte von Strömungsgeschwindigkeiten zum ablagerungsfreien Transport von partikelförmigen Gefahrstoffen

Erforderliche Strömungsgeschwindigkeit zum ablagerungsfreien Transport	Verfahren, Stoff-Luft-Gemisch
4 – 7 m/s	Komfortbereich, Zu- und Abluft, Reineluft
5 – 12 m/s	Zuluft in Gewerbe/Industrie und Abluft mit leichten Verunreinigungen
12 – 15 m/s	Abluft mit geringer Partikelbeladung (z. B. Schweißrauch), leichte Stäube
18 – 24 m/s	Abluft mit hoher Partikelbeladung (Entstaubung) oder schwere Partikel (Späne)
> 24 m/s	Pneumatische Förderung

3.3.5.1 Druckverlust in gerader Rohrleitung mit glatter Oberfläche

Für gerade Rohrleitungen ergibt sich der Druckabfall aus der allgemeinen Beziehung:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \bar{w}^2 \quad (3.3 - 1)$$

mit

Δp = Druckabfall [Pa]

λ = Rohrreibungszahl

l = Länge des Rohrabschnitts [m]

d = Durchmesser des Rohrs [m]

ρ = Dichte des strömenden Mediums [kg/m³]

\bar{w} = Durchschnittsluftgeschwindigkeit [m/s]

Die Rohrreibungszahl λ unterscheidet sich aufgrund der Art der Strömung und der Rauigkeit der von der Strömung tangierten Rohrwand. Bei der Berechnung der Rohrreibungszahl wird zwischen hydraulisch glatten Rohren, hydraulisch rauen Rohren und Rohren im Übergangsbereich unterschieden.

Auf die detaillierte Darstellung des Rauigkeits-Konzepts und der verschiedenen Berechnungsansätze wird an dieser Stelle verzichtet und ersatzweise auf einen Berechnungsansatz verwiesen, der sich für die in der Absaugtechnik üblichen, relativ glatten Stahlblechrohre in der Praxis in Anbetracht aller sonstigen Unwägbarkeiten bei den Berechnungsannahmen und den üblichen Toleranzen bei der praktischen Ausführung als hinreichend genau erwiesen hat.

Danach kann für Planungsrechnungen [26] die Rohrreibungszahl mit folgender Beziehung berechnet werden:

$$\lambda = 0,0072 + 0,018 \cdot \left(\frac{\dot{V}}{D}\right)^{-0,35} \quad (3.3 - 2)$$

mit

\dot{V} = Volumenstrom [m³/h]

D = Durchmesser der Rohrleitung [mm]

Für reine Übersichtsrechnungen und allgemeine Betrachtungen haben sich folgende Annahmen zu (konstanten) Rohrreibungszahlen für „hydraulisch glatte“ Rohre bewährt:

Blechrohre: $\lambda = 0,015$ [26]

Stahlrohre: $\lambda = 0,020$ [15]

Beispiele für den Druckverlust bei unterschiedlichen Luftgeschwindigkeiten in glattwandigen, geraden Rohren ohne Strömungsstörungen sind in Anhang 8.3 aufgeführt.

Der Druckverlust in der Rohrleitung wird unter folgenden Voraussetzungen minimiert:

- Die Rohrleitung ist möglichst kurz auszuführen; der Hauptstrang sollte direkt ohne Richtungsänderungen zum Ventilator/Abscheider führen.
- Der Querschnitt ist so zu wählen, dass die Strömungsgeschwindigkeit so gering wie möglich ist, wobei die für den ablagerungsfreien Transport notwendige Strömungsgeschwindigkeit nicht unterschritten werden darf.
- Es sollten Rohre mit glattwandiger Innenoberfläche verwendet werden.

3.3.5.2 Druckverlust in flexibler Rohrleitung mit gewellter Oberfläche

Für flexible Rohrleitungen gelten prinzipiell die gleichen Zusammenhänge wie bei den Ausführungen zu Druckverlusten in glattwandigen Rohrleitungen. Zusätzlich ist zu beachten, dass die Art der Verlegung und Montage für die Höhe der auftretenden Druckverluste entscheidend ist. Der Unterschied zwischen verschiedenen Fabrikaten und zwischen Metall- und Kunststoffschläuchen ist dagegen eher gering.

Der Druckverlust je laufendem Meter flexiblem Schlauch ist um den Faktor 5–10 höher als bei einem festen glattwandigen Rohr.

Flexible Absaugschläuche sollten daher

- möglichst vermieden oder kurz sein und
- gestreckt verlegt werden.

3.3.5.3 *Druckverluste von Formstücken in der Rohrleitung*

Häufig werden Formstücke in der Rohrleitung an Querschnittsänderungen, Verzweigungen und Krümmungen verbaut. Für Formstücke sind die Druckverluste in einschlägiger Literatur verzeichnet. Danach ist eine Minimierung der Strömungswiderstände gegeben, wenn

- Querschnitts-Aufweitungen oder -Reduzierungen als Diffusor oder als Konfusor mit flachem Neigungswinkel ausgebildet werden,
- Krümmungen in möglichst großen Radien mit maximalem Verhältnis von Krümmungsradius zum Durchmesser (r/D) ausgebildet sind und
- Verzweigungen oder Rohreinführungen unter möglichst spitzem Winkel ($\leq 45^\circ$) ausgeführt sind.

Bei der Vereinigung von Strömungen treten deutliche Druckverluste auf. Die Höhe des Druckverlusts hängt dabei vom Volumenstrom und vom Winkel ab, in dem die Strömungen zusammengefasst werden.

In Anhang 8.4 sind die Strömungswiderstands-Beiwerte der wesentlichen Rohrbauteile zusammengestellt.

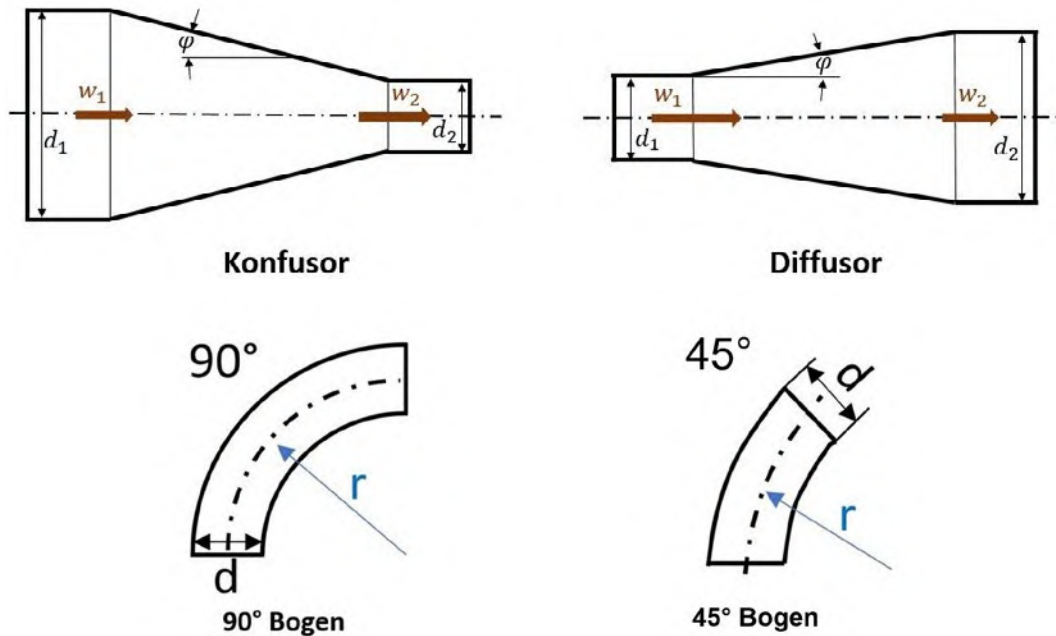


Abb. 3.3.4 Rohrbauteile

3.4 Ventilator

Ein Ventilator ist eine fremd angetriebene Strömungsmaschine, die mit einem in einem Gehäuse rotierenden Laufrad ein gasförmiges Medium fördert und verdichtet und dabei zwischen Ansaug- und Druckseite einen Druckunterschied erzeugt. Die Aufgabe eines Ventilators ist es, einen Volumenstrom eines Gases durch ein System (Absauganlage) zu transportieren. Dieses System setzt der Bewegung des Volumenstroms einen Widerstand entgegen, den der Ventilator durch seinen erzeugten Druckunterschied (Druckdifferenz) überwinden muss. Somit stellt er gewissermaßen „die treibende Kraft“ einer Anlage dar.

3.4.1 Bauformen und Funktion

Aufgrund der Strömungsführung im Gehäuse kann man Ventilatoren in Axial- und Radialventilatoren unterteilen. Der Volumenstrom besitzt dabei immer einen statischen und einen dynamischen Druckanteil. Beide zusammen ergeben den Gesamtdruck.

3.4.1.1 Axialventilator

Die Luft strömt axial in das Flügelrad ein und aus. Das Ergebnis sind große Luftströme bei gleichzeitig geringen Gesamtdrücken. Axialventilatoren kommen bevorzugt in Raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) zum Einsatz.

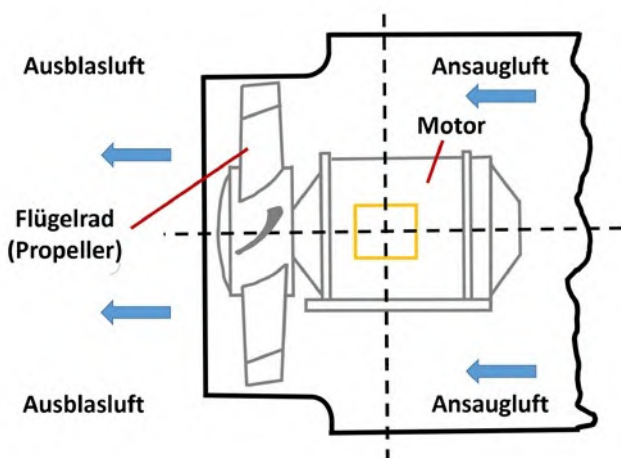


Abb. 3.4.1 Axialventilator

3.4.1.2 Radialventilator

Ventilatoren, bei denen der Luftstrom axial angesaugt wird, die Rotation des Radiallaufrads für eine Umlenkung um 90° sorgt und die Luft radial ausgeblasen wird, nennt man Radialventilatoren. Diesen Strömungsverlauf kann man in Abbildung 3.4.2 erkennen. Die Luft strömt axial ein und radial aus. Durch das spiralförmige Gehäuse wird die Luft gezwungen, in die rechtwinklig zur Drehachse angeordnete Austrittsöffnung zu strömen. So werden höhere Gesamtdrücke als bei Axialventilatoren erreicht.

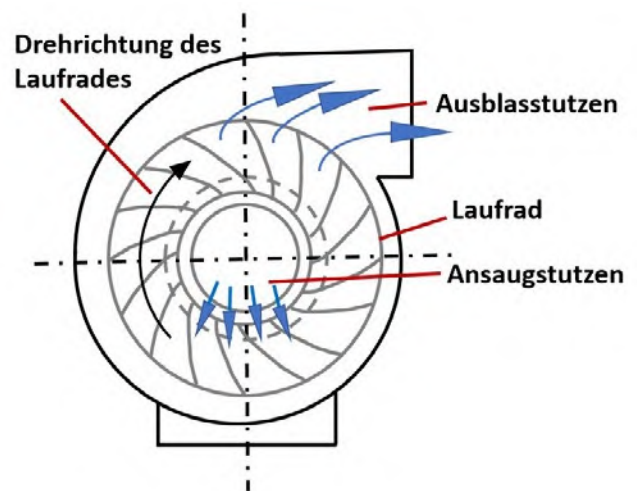


Abb. 3.4.2 Radialventilator

Im Bereich der Absaugtechnik werden fast ausschließlich Radialventilatoren eingesetzt.

Der Radialventilator besteht aus dem Spiralgehäuse mit Einströmdüse und Austrittstutzen, dem Laufrad und der Zunge, wie die Abbildung 3.4.3 zeigt. Die zu fördernde Luft tritt durch die Einströmdüse in das Laufrad ein und wird dabei in radiale Richtung umgelenkt.

Im Laufrad findet die Energieumsetzung statt. Die dem Laufrad über die Welle des Antriebsmotors zugeführte mechanische Energie wird in Druck- und Geschwindigkeitsenergie umgesetzt.

Das Spiralgehäuse hat die Aufgabe, ausströmende Luft, die am Außenumfang des Laufrads austritt, zu sammeln und zu einem gemeinsamen Auslass zu führen. Das ist in der Abbildung 3.4.4 zu erkennen, die den Strömungsverlauf im Gehäuse darstellt.

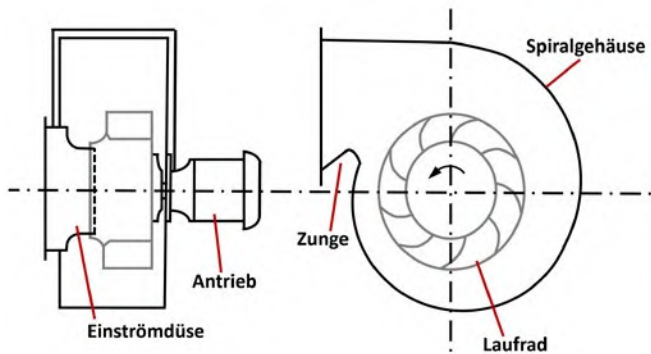


Abb. 3.4.3 Verschiedene Schnitte eines direkt angetriebenen Radialventilators mit geschlossenem Laufrad

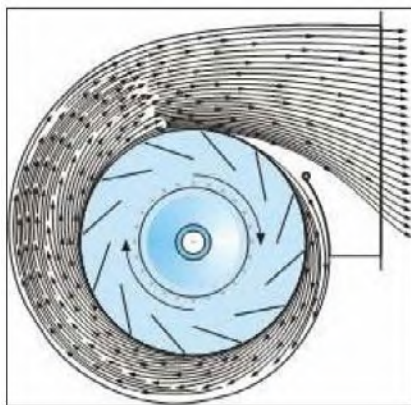


Abb. 3.4.4 Strömungsverlauf im Ventilator-Gehäuse

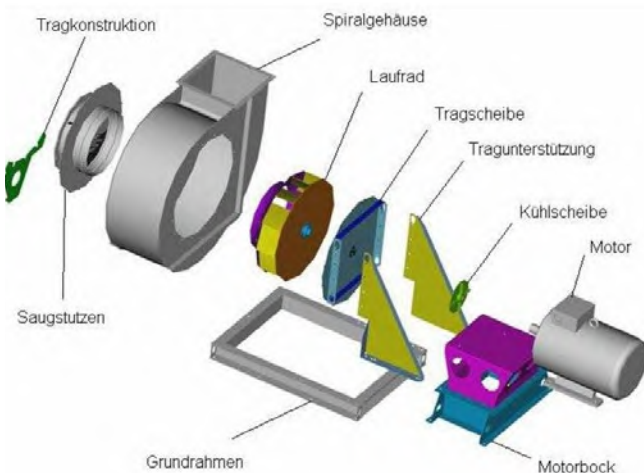


Abb. 3.4.5 Einzelteile eines direktgetriebenen Radialventilators

Die Luft oder das Gas kann durch die stetige Querschnittserweiterung in Strömungsrichtung im Gehäuse expandieren, so dass sich die Strömungsgeschwindigkeit verringert und kinetische Energie in nutzbaren statischen Druck umgewandelt wird (Diffusor-Effekt).

3.4.1.3 Bestandteile des Radialventilators

Die Abbildung 3.4.5 zeigt alle Bestandteile eines direkt angetriebenen Radialventilators. Dabei hat die Kühlscheibe die Funktion, eine Wärmeübertragung zwischen Motor und Laufrad zu verhindern. Sie besteht aus Aluminium und kann – durch die große Oberfläche und Wärmeleitfähigkeit – die Wärme gut abführen. Die Kühlscheibe findet nur bei Heißgasförderungen Anwendung.

3.4.2 Laufräder

Als Laufräder werden bei Absauganlagen offene oder geschlossene Bauformen eingesetzt. Für die Wahl der Bauweise spielt zunächst die Anordnung des Ventilators innerhalb der Absauganlage eine wesentliche Rolle. Ist der Ventilator „reingasseitig“, das heißt nach dem Abscheider angeordnet, werden ausschließlich geschlossene Bauformen eingesetzt. Im Fall der „rohgasseitigen“ Anordnung (also vor dem Abscheider) können sowohl geschlossene als auch offene Bauformen zum Einsatz kommen.

Offene Laufräder bestehen aus einer Scheibe mit radialen, meist geraden Flügeln. Geschlossene Laufräder bestehen aus zwei Scheiben mit dazwischenliegenden geraden oder gekrümmten Flügeln (siehe Abbildung 3.4.6). Für Transportaufgaben bei rohgasseitiger Anordnung des Ventilators in Verbindung mit grobkörnigem oder faserförmigem Material kommen in der Regel nur einseitig offene Laufräder in Frage. Zum Transport von partikelförmigem Staub werden auch geschlossene Laufräder für rohgasseitigen Einsatz angeboten. Wird jedoch stückiges Mate-

Geschlossenes Laufrad

Offenes Laufrad

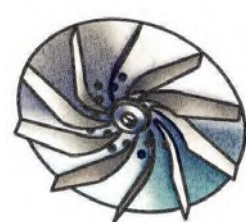


Abb. 3.4.6 Bauformen von Ventilator-Laufrädern

rial angesaugt, besteht die Gefahr von Beschädigungen des Laufrads. Das kann zur Unwucht führen.

Der Vorteil geschlossener Laufräder gegenüber offenen Laufrädern besteht im generell besseren Wirkungsgrad.

Weiterhin können Ventilatoren nach der Geometrie der Laufräder unterschieden werden. Die Schaufeln der Laufräder können vorwärts oder rückwärts gekrümmt oder radial auslaufend sein (siehe Abbildung 3.4.7). Die Schaufelgeometrie der Laufräder bestimmt – neben der Bauform – wesentlich den Wirkungsgrad eines Ventilators:

- offenes Laufrad mit geraden Schaufeln:
max. Wirkungsgrad 55 %
- offenes Laufrad mit vorwärts gekrümmten Schaufeln:
max. Wirkungsgrad 65 %
- geschlossenes Laufrad mit rückwärts gekrümmten Schaufeln:
rohluftseitig: max. Wirkungsgrad 80 %
reinluftseitig: max. Wirkungsgrad 85 %

Die genannten Wirkungsgrade beziehen sich lediglich auf den Ventilator selbst ohne die – weitere Verluste erzeugenden – Einflüsse des Antriebs und des antreibenden Motors auf den Gesamtwirkungsgrad.

Häufig werden Ventilatoren mit rückwärts gekrümmten Schaufelrädern eingesetzt, da sie leiser sind und einen besseren Wirkungsgrad haben als andere Bauformen. Ihr Nachteil besteht in der Gefahr von Material-Anbackungen. Für reine Material-Transportleitungen verwendet man stattdessen oft gerade Schaufeln. Gerade Schaufeln werden außerdem gelegentlich für kleinere, preisgünstige Ventilatoren genutzt. Ventilatoren mit radial auslaufenden Schaufeln werden oft in der Span- und Staubförder-

technik, zum Beispiel in Absauganlagen für Holzstaub und -späne, genutzt. Sie sind besonders verkrustungssicher. Bei der Absaugung von gas-, rauch- oder nebelartigen Stoffen sowie in der Raumlufttechnik werden sie dagegen so gut wie gar nicht angewendet.

Vorwärts gekrümmte und radial auslaufende Schaufeln erreichen höhere Pressungen. Wegen der Nachteile, die sich in Wirkungsgrad und Lärmabstrahlung widerspiegeln, werden vor allem vorwärts gekrümmte Schaufeln in der Praxis kaum verwendet.

3.4.3 Darstellung der Betriebseigenschaften

Die Betriebseigenschaften eines Ventilators werden in Form von Kennlinien dargestellt. Mithilfe von Kennlinien kann der Zusammenhang von beim Betrieb wirkenden Größen veranschaulicht werden. Die verschiedenen Größen, wie Druckerhöhung oder Pressung, aufgenommene Leistung und Wirkungsgrad, werden dabei jeweils auf den Volumenstrom bezogen.

Die Leistungsdaten eines Ventilators werden im Allgemeinen für den sogenannten Nennpunkt angegeben. Der Nennpunkt ist ein besonderer Betriebspunkt, der sich aus der Ventilator-Kennlinie und dem Anlagen-Widerstand ergibt. Für diesen Punkt erfolgt in der Regel die Auslegung oder die Auswahl des Ventilators. Tatsächlich weichen die Leistungsanforderungen im praktischen Betrieb durch Variation der Anlagen-Widerstände aber mehr oder weniger stark von diesem Nennpunkt ab. Daher ist es für die Auslegung für das gesamte geforderte Leistungsspektrum von Interesse, wie sich der Ventilator auch abseits des Nennpunkts verhält.

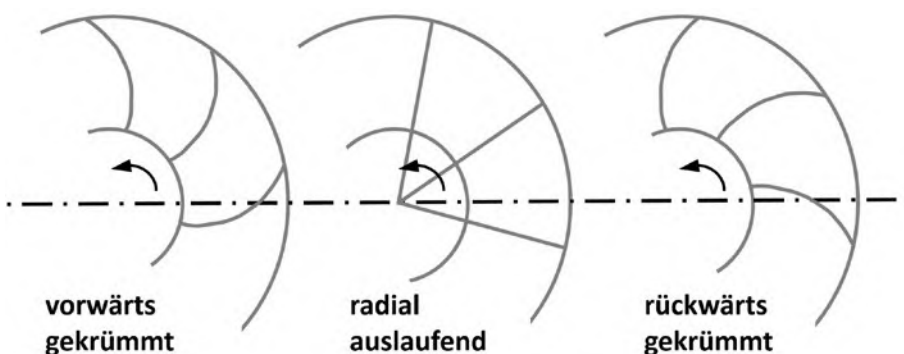


Abb. 3.4.7

Geometrie von Ventilator-Laufrädern

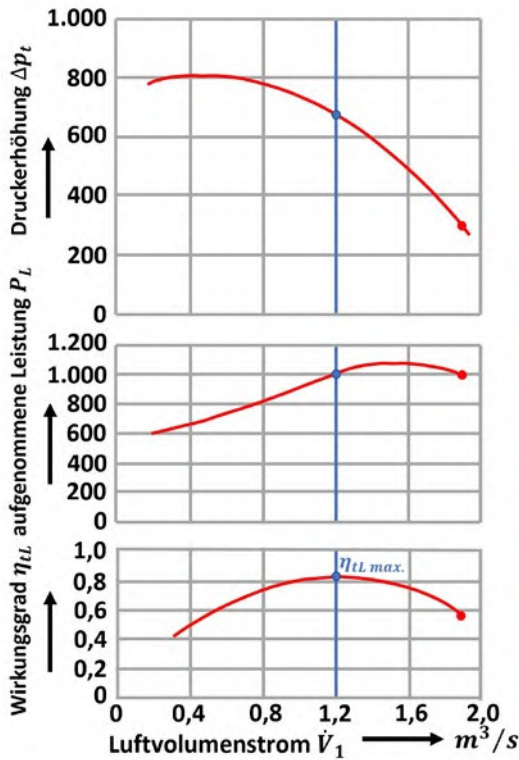


Abb. 3.4.8 Typische Normkennlinien zur Beschreibung der Änderungen von Druckerhöhung, aufgenommener Ventilator-Leistung und Ventilator-Wirkungsgrad bei sich änderndem Luftvolumenstrom

Über die Betriebseigenschaften des Ventilators gibt die Kennlinie als Zusammenhang zwischen Volumenstrom und Druckerhöhung Auskunft. Deren „Bauchigkeit“ und Steilheit gibt das Verhalten des Ventilators bei Abweichungen vom Nennpunkt wieder. Diese Eigenschaften

werden im Wesentlichen durch die Geometrie des Ventilator-Laufrads definiert.

Aus den Kennlinien lassen sich folgende verallgemeinerbare Schlüsse ziehen:

- Der Nennpunkt des Ventilators ist der Betriebspunkt mit dem höchsten Wirkungsgrad (η_{max}), also der Betriebspunkt mit dem optimalen Verhältnis von abgegebener zu aufgenommener Ventilator-Leistung. Bei höheren oder geringeren Volumenstrom-Anforderungen sinkt der Wirkungsgrad.
- Die Darstellung des Wirkungsgrads bezieht sich nur auf den wesentlich von Laufrad und Gehäuse bestimmtem Ventilator-Wirkungsgrad (η_{Vent}). Wirkungsgrad-Verluste aus Antrieb und Motor beinhaltet diese Kennlinie nicht.
- Die Darstellung der Kennlinie für die aufgenommene Leistung bezieht sich ebenfalls nur auf den Ventilator selbst. Es handelt sich um die reine Wellenleistung. Erforderliche Leistungszuschläge für Antriebs- und Motorverluste beinhaltet diese Kennlinie nicht.

3.4.4 Antriebsarten

Für Ventilatoren stehen grundsätzlich vier Antriebsarten zur Verfügung:

- Direktantrieb über die Motorwelle
- Antrieb über Zwischenwelle und Kupplung
- Keilriemenantrieb
- Antrieb über Umrichter

Die Abbildung 3.4.9 stellt 3 verschiedene Antriebsmöglichkeiten von Radialventilatoren gegenüber. Im Folgenden werden die einzelnen Varianten beschrieben.

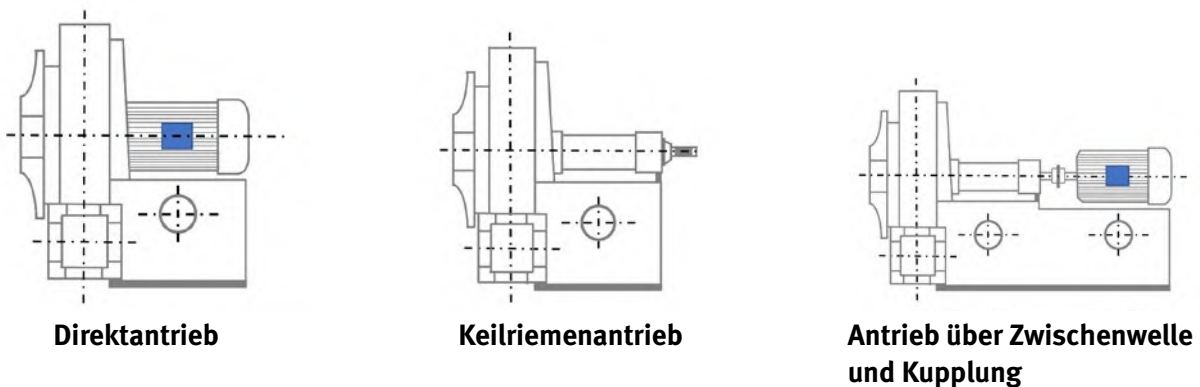


Abb. 3.4.9 Antriebsarten von Absaug-Ventilatoren

3.4.4.1 Direktantrieb

Der Antrieb des Ventilators erfolgt über den Motor, wobei das Laufrad direkt auf der Motorwelle montiert ist. Direktantrieb wird vor allem bei kleineren Absaug-Ventilatoren eingesetzt. Bei speziellen Anforderungen ist dieser Antrieb auch mit verlängerter Motorwelle möglich. Man muss jedoch beachten, dass die Medientemperaturen direkt auf die Motorwelle übertragen werden. Das führt dazu, dass der Einsatz einer Kühleisplatte zur Wärmeabfuhr zu prüfen ist, wenn das geförderte Gas erwärmt ist.

3.4.4.2 Antrieb über eine Zwischenwelle

Bei dieser Variante erfolgt der Antrieb über eine elastische Bolzenkupplung und eine Zwischenwelle. Kupplungen dienen zur Verbindung drehender Maschinenteile, hier also von Motor und Ventilator-Laufrad. Sie haben die Aufgabe, bei einer bestimmten Drehzahl n ein Drehmoment M zu übertragen. Diese Antriebsart wird bei großen und schweren Laufradausführungen mit großen Massenkräften oder bei Temperaturen des Fördermediums über 100 °C eingesetzt. Eine direkte Wärmeleitung des Mediums auf den Motor wird somit unterbunden. Zudem werden die Laufradschwingungen nicht direkt auf den Motor übertragen, sondern über die Zwischenwelle/Kupplung „abgefedert“.

3.4.4.3 Keilriemenantrieb

Der Antrieb des Ventilators erfolgt über Keilriemenscheiben und Riemen. Bei riemengetriebenen Ventilatoren ist die Ventilator-Welle gesondert gelagert und die Kraftübertragung erfolgt fast ausschließlich durch Keilriemen. Dadurch wird die Ventilator-Drehzahl von der Motor-Drehzahl entkoppelt. Vorteil ist hierbei die Möglichkeit, durch

Austausch der Keilriemenscheiben die Drehzahl des Ventilator-Laufrads zu verändern und so an den Betriebspunkt der Anlage anzupassen. Dabei lassen sich die Proportionalitäten bei der Veränderung einer Drehzahl auf die lufttechnischen Leistungsdaten nutzen.

Bezeichnet man die Werte der Nenndrehzahl mit dem Index „Nenn“ und die sich ergebenden neuen Leistungsdaten mit dem Index „Neu“, können sie nach den in Tabelle 3.4.1 angegebenen Beziehungen ermittelt werden.

Aufgrund der auf das Laufrad wirkenden Fliehkräfte ist eine starke Erhöhung der Ventilator-Drehzahl aber begrenzt. Bei der Erhöhung der Ventilator-Drehzahl ist außerdem zu beachten, dass die aufgenommene Ventilator-Leistung und damit auch die benötigte Motor-Leistung aufgrund der Proportionalitätsgesetze in der dritten Potenz ansteigen. Daher kann als Folge eventuell ein Austausch des antreibenden Motors erforderlich werden. Andererseits würde eine starke Absenkung der Ventilator-Drehzahl zur Folge haben, dass die vorhandene Ventilator-Leistung nur in geringem Umfang ausgenutzt wird.

3.4.5 Elektromotoren

Als Antriebsaggregate nutzt man in der Fertigung überwiegend Elektromotoren verschiedener Ausführungen (Niederspannungs-, Hochspannungs-, Gleich- und Drehstrommotoren). Bei Ventilatoren werden vor allem Drehstrom-Asynchronmotoren eingesetzt. Ein Betrieb dieser Motoren am Drehstromnetz ist meist ohne Anlaufhilfe möglich.

Tabelle 3.4.1 Proportionalitäten auf der Basis einer Drehzahländerung

Drehzahl	Volumenstrom	Totaldruckerhöhung	Luftleistung
$\frac{n_{\text{neu}}}{n_{\text{Nenn}}}$	$V_{\text{neu}} = \left(\frac{n_{\text{neu}}}{n_{\text{Nenn}}}\right) \cdot V_{\text{Nenn}}$	$p_{\text{tneu}} = \left(\frac{n_{\text{neu}}}{n_{\text{Nenn}}}\right)^2 \cdot p_{\text{tNenn}}$	$p_{\text{Lneu}} = \left(\frac{n_{\text{neu}}}{n_{\text{Nenn}}}\right)^3 \cdot p_{\text{LNenn}}$
Gleichung-Nr.	3.4 – 1	3.4 – 2	3.4 – 3

3.4.5.1 Motorleistung

Jeder Ventilator ist entweder nur als Schnellläufer oder als Langsamläufer geeignet und benötigt daher für den Antrieb den für diese Betriebsart geeigneten Elektromotor. Die Drehzahl n des Motors ist abhängig von der Netzfrequenz f (i. A. 50 Hz) und der Zahl an Polpaaren m am Motor. Sie errechnet sich nach der folgenden Beziehung:

$$n = \frac{f \cdot 60 \text{ s}}{m} \quad (3.4 - 4)$$

In der Praxis lassen sich folgende Motoren unterscheiden:

- 2-polige Motoren: ca. 3.000 U/min bei Schnellläufern
- 4-polige Motoren: ca. 1.500 U/min bei Langsamläufern

Elektromotoren gibt es in festen Leistungsstufen. Die auf dem Typenschild angegebenen Leistungsstufen gelten für die abgegebene Motor-Leistung als mechanische Wellenleistung (P_{ab}). Die aufgenommene elektrische Leistung (P_{auf}) liegt wegen des Motorwirkungsgrads (η_M) höher.

Bei der Auslegung der Motor-Leistung in der Praxis sollte dem Motor im Nenn-Betriebspunkt des Ventilators maximal 90 % seiner Nennleistung abgefordert werden. Andernfalls muss bei Dauerbetrieb mit der Gefahr einer Motorüberlastung gerechnet werden.

3.4.5.2 Motor-Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad eines Elektromotors wird durch Energieverluste an verschiedenen Stellen bestimmt. Große Motoren haben wesentlich bessere Wirkungsgrade als kleine. Da viele Motoren aber hohe Betriebsstundenzahlen erreichen, ist jeder Prozentpunkt Wirkungsgrad eine enorme Energie-Einsparquelle.

Mit Einführung der Öko-Design-Richtlinie (2005/32/EG) dürfen in zunehmendem Maße nur noch Motoren mit steigender Effizienz, das heißt besserem Wirkungsgrad, in Verkehr gebracht werden. So dürfen seit dem 16. Juni 2011 nur noch hocheffiziente (Effizienzklasse IE 2) Asynchron-Drehstrommotoren des Leistungsbereichs 0,75 Kilowatt bis 375 Kilowatt verkauft werden. Effizienzklassen ermöglichen, elektrische Antriebe nach ihrem Stromverbrauch und ihrem Wirkungsgrad zu klassifizieren.

Die Kennzeichnung erfolgt in Anlehnung an die Schutzartkennzeichnung IP (International Protection) mit IE (International Efficiency) gemäß der folgenden Tabelle:

Tabelle 3.4.2 Neue Effizienzklassen bei Elektromotoren

Effizienz-Klasse	Bedeutung der Klasse
IE 1	Standard-Effizienz-Motoren (Standard Efficiency)
IE 2	Hocheffizienz-Motoren (High Efficiency)
IE 3	Höchste Effizienz-Motoren (Premium Efficiency)
IE 4	Absolut höchste Effizienz-Motoren (Super Premium Efficiency)

Ein weiterer Schritt, den Wirkungsgrad der Elektromotoren zu erhöhen, folgte ab Januar 2015:

Derzeit dürfen Elektromotoren in der Effizienzklasse IE 2 des Leistungsbereichs 0,75 kW bis 375 kW nur noch mit Drehzahlregelung in Verkehr gebracht werden. Andernfalls müssen sie die höhere Effizienzklasse IE3 erfüllen. Die Effizienz-Klasse IE 4 wurde bereits vorsorglich eingeführt.

Bei Motoren haben die Anschaffungskosten einen geringen Einfluss auf die Lebenszykluskosten. Auch die Installationskosten unterscheiden sich kaum, solange es sich um Normmotoren handelt. Die Folgekosten übertreffen die Anschaffungskosten eines Motors oft schon im ersten Jahr. Ältere Asynchronmotoren der Effizienzklasse IE 1 hatten eine durchschnittliche Lebensdauer von 12 Jahren im Bereich unter 7,5 kW, von 16 Jahren im Bereich zwischen 7,5 und 75 kW und etwa 20 Jahren bei Leistungen größer als 75 kW. Für neuere Motoren der höheren Effizienzklassen können derzeit noch keine Aussagen zur Lebensdauer gemacht werden, da noch keine ausreichenden Langzeiterfahrungen vorliegen. Vermutlich werden sich deren Lebensdauern aber in etwa der gleichen Größenordnung bewegen.

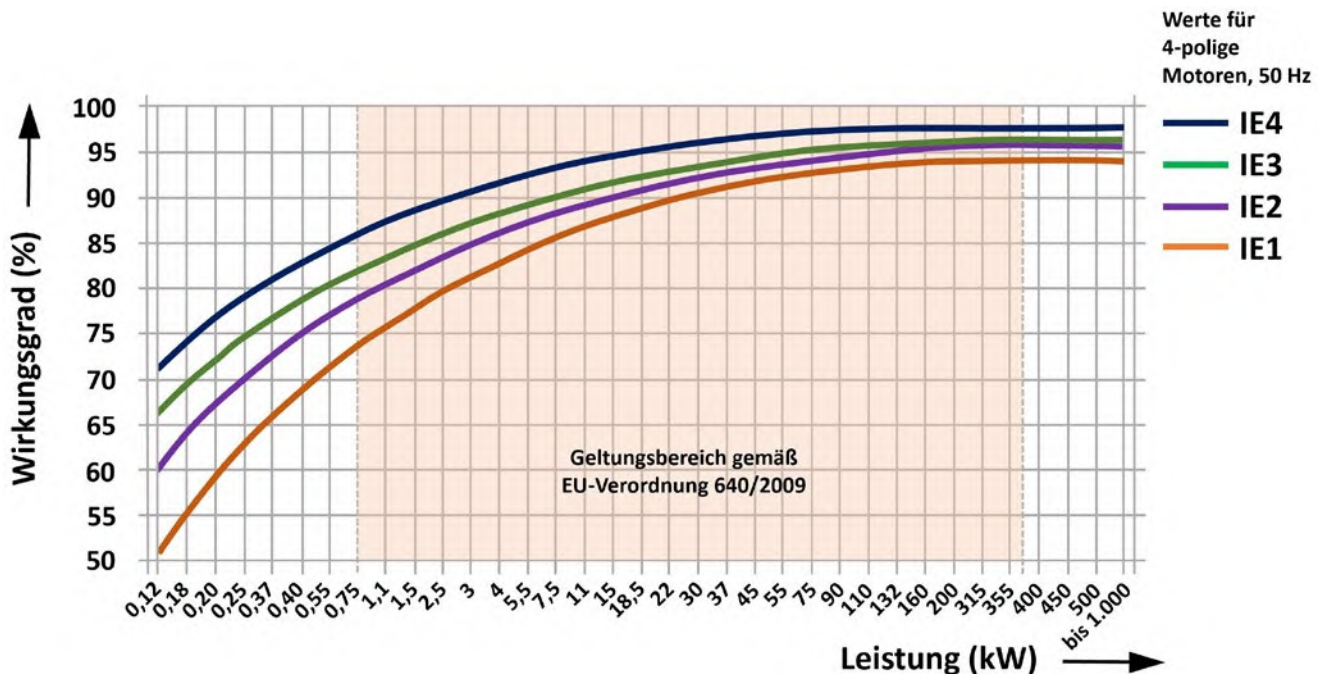


Abb. 3.4.10 Effizienzklassen IE 1 – IE 4 nach IEC 60034-30-1 und der Geltungsbereich der EU-Verordnung 640/2009

Angesichts dieser hohen Lebensdauer bestimmen die Wartungs- und vor allem die Energiekosten die Summe der Lebenszykluskosten. Durch hocheffiziente Motoren können die Energiekosten und somit die Lebenszykluskosten also vermutlich noch gesenkt werden.

3.4.5.3 Anlaufverhalten

Bei jedem Anlauf des Motors steigt die Stromaufnahme stark an. Das kann zu kurzfristigen „Überlastungen“ des Motors führen. Die maximale, momentane Stromaufnahme beträgt dann ca. das 5-fache des Nennstroms (ca. 2 Ampere/kW Nennleistung).

Um den hohen Anfahrstrom zu begrenzen, wird die sogenannte Stern-Dreieck-Schaltung verwendet. Mit dem Stern-Dreieck-Anlauf (beim Motor-Anlauf Stern, im Motor-Betrieb Dreieck) liegen in der Sternschaltung 230 Volt an. Wenn der Motor hochgelaufen ist, wird durch einen externen Schalter oder Schütz-Kontakt in die Dreieckschaltung umgeschaltet und 400V Spannung sind am Motor angelegt. In der Sternschaltung benötigt der Motor – bei gleicher Netzspannung – nur ein Drittel des Anlaufstroms, liefert aber auch nur ein Drittel des Nenn-Drehmoments.

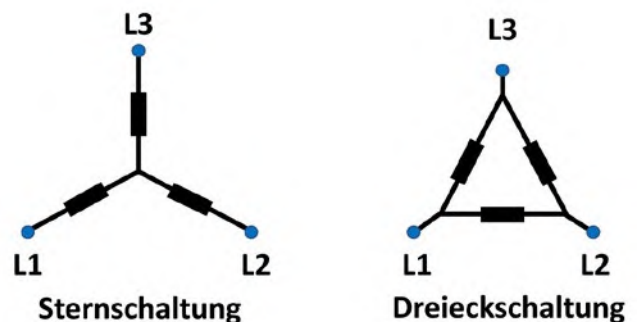


Abb. 3.4.11 Phasenanschluss bei Stern- und Dreieckschaltung

Zur Verminderung solcher Anlaufströme werden größere Elektromotoren (ab ca. 5,5 kW) in Stern-Schaltung angefahren und dann von Hand oder über Zeitrelais auf Dreieck-Schaltung umgeschaltet. Kleinere Elektromotoren bis ca. 5,5 kW werden fest in Dreieck-Schaltung angefahren und dann auch betrieben. Beim Vorschalten von Umrichtern treten keine erhöhten Anlaufströme auf (sog. Sanft-Anlauf).

In der folgenden Tabelle sind die Anlauf-Faktoren für die verschiedenen Schaltmöglichkeiten zusammengestellt.

Tabelle 3.4.3 Anlauf-Faktoren von Elektromotoren für verschiedene Anlaufbedingungen

Anlaufbedingung, Schaltmöglichkeit	Anlauf-Faktor gegenüber Nennstrom
Dreieckschaltung	5
Stern-Dreieck-Schaltung	3
Anlauf über Umrichter	1

3.4.5.4 Umrichter

Soll die Ventilator-Leistung an wechselnde Betriebszustände angepasst werden, muss die Ventilator-Drehzahl auch ohne Umbaumaßnahmen – wie sie im Fall des Keilriemenantriebs erforderlich wären – geändert werden können. Das wird erreicht, indem der Antriebsmotor des Ventilators nicht direkt, sondern über einen Frequenzumrichter ans Netz angeschlossen wird.

Der Frequenzumrichter wandelt die Netzwechselspannung – mit fester Spannung und Frequenz – in eine Wechselspannung mit variabler Frequenz und Spannung um.

Auf diese Weise wird die Drehzahl des Asynchronmotors, die von der speisenden Frequenz abhängt (siehe Gleichung 3.4 – 4), durch die variable Ausgangsfrequenz verändert. Mit geringerer Drehzahl verringert sich die Leistungsaufnahme des Ventilators. Der Antriebsmotor passt

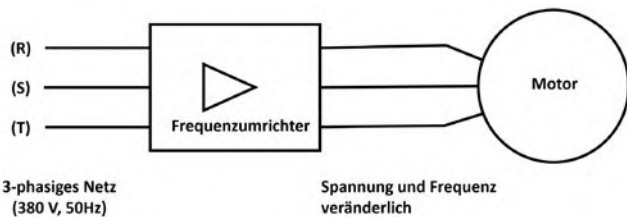


Abb. 3.4.12 Prinzip-Skizze für den Antrieb über Umrichter

sich durch eine verminderte Stromaufnahme diesem Umstand an. Um hierbei einen möglichst guten Motor-Wirkungsgrad beizubehalten, wird vom Frequenzumrichter auch die Spannung herabgesetzt. Der Zusammenhang zwischen Frequenz und Spannung ist im Frequenzumrichter einprogrammiert und lässt sich an die verschiedenen Belastungen anpassen.

3.4.6 Zusammenspiel Ventilator–Antrieb–Motor

Für die Beurteilung der Gesamt-Effizienz ist der Gesamt-Wirkungsgrad des Systems „Ventilator–Antrieb–Motor“ von ausschlaggebender Bedeutung. Dieser System-Gesamtwirkungsgrad (η_{ges}) wird bestimmt durch das Verhältnis der vom Ventilator abgegebenen Luftleistung ($P_{Luft} = P_{Vent,ab}$) und der vom Motor aus dem Strom-Netz aufgenommenen elektrischen Leistung ($P_{el} = P_{Mot,auf}$) und wird wie in Abbildung 3.4.13 dargestellt ermittelt.

3.4.6.1 Bestimmung der Ventilator-Leistung

Die vom Ventilator abgegebene Leistung $P_{Luft} = P_{Vent,ab}$ ändert sich bei Ansteuerung der verschiedenen Betriebspunkte auf der Ventilator-Kennlinie, die das Betriebsverhalten des Ventilators bestimmt. Die verschiedenen Betriebspunkte ergeben sich, wenn Verbraucher zu- oder weggeschaltet werden oder wenn sich die Volumenstromanforderungen aus sonstigen Gründen ändern. Die abgegebene Ventilator-Leistung entspricht der Luftleistung des Ventilators und ist durch das Produkt aus Totaldruckerhöhung und Volumenstrom gegeben.

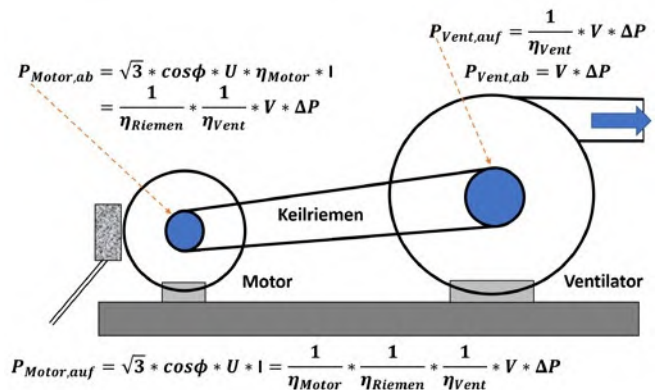


Abb. 3.4.13 Unterschiedliche Leistungen und Wirkungsgrade bei der Beurteilung von Ventilatoren

Die Totaldruckerhöhung ergibt sich aus der Differenz des Gesamtdrucks auf der Druck- und der Saugseite des Ventilators. Diese Differenz besteht jeweils aus der statischen Druckdifferenz gegen (Außen-)Umgebung, der luftgeschwindigkeitsabhängigen kinetischen Druckenergie und der höhenabhängigen potentiellen Lageenergie. Letztere kann im Regelfall aufgrund der geringen Höhendifferenzen innerhalb von Absauganlagen vernachlässigt werden. Differenzen der kinetischen Druckenergien ergeben sich nur dann, wenn auf der Druck- und Saugseite des Ventilators wegen divergierender Stutzen-Durchmesser Geschwindigkeitsunterschiede auftreten. In den meisten Fällen ist bei der Ermittlung der Totaldruckerhöhung daher nur die sogenannte „Pressung“, das heißt die Druckerhöhung durch statische Druckdifferenz, zu berücksichtigen.

Der Volumenstrom ist – unabhängig von der Stutzen-Konfiguration auf der Druck- und der Saugseite – konstant und setzt sich aus dem Produkt von Stutzen-Querschnittsfläche und zugehöriger Luftgeschwindigkeit zusammen.

3.4.6.2 Wirkungsgrad

Der Gesamt-Wirkungsgrad berücksichtigt alle systeminternen „Verluste“. Wie hoch diese Verluste insgesamt sind, hängt nach Abbildung 3.4.13 von der Zusammensetzung des Systems und dem jeweiligen Wirkungsgrad seiner Einzelbestandteile ab.

Im einfachsten Fall haben Ventilator und Motor beim Direktantrieb eine gemeinsame Welle (die sog. Antriebswelle). Der Gesamtwirkungsgrad ergibt sich in diesem Fall aus dem Produkt von Ventilator-Wirkungsgrad und Motorwirkungsgrad. Beim Direktantrieb sind somit die geringsten Verluste zu berücksichtigen und der System-Wirkungsgrad ist damit relativ am höchsten.

Bei der Leistungsaufnahme eines umrichter gesteuerten Motors muss berücksichtigt werden, dass der Umrichter eine geringe Erhöhung der elektrischen Leistungsaufnahme (aus ca. 5 % Umrichter-Verlusten und ebenfalls 5 % für Oberwellen) bewirkt. Damit sinkt der Motorwirkungsgrad um etwa 10 %. Ob ein Umrichter somit im praktischen Betrieb Effizienz-Vorteile gegenüber einem reinen Direktantrieb erwarten lässt, hängt wesentlich von der Varianz bei den Anforderungen an die Absaugleistung und der zu erwartenden Häufigkeit von Ventilator-Anläufen ab.

Wird vor allem bei größeren Ventilatoren (ab etwa 15–22 kW) eine Antriebseinheit zur Entkoppelung von Ventilator- und Motor-Welle zwischengeschaltet, müssen deren verschiedene Verlustkomponenten bei der Ermittlung des Gesamtwirkungsgrads berücksichtigt werden. Diese Zusatzverluste durch die Antriebseinheit werden allerdings bei den größeren Ventilatoren durch bessere Wirkungsgrade der Ventilatoren und der Motoren teilweise kompensiert.

3.4.6.3 Stromaufnahme

Die elektrische Leistung ($P_{el} = P_{Mot,auf}$) ist die vom Motor aus dem Strom-Netz aufgenommene Leistung. Die Beziehung der aufgenommenen Motorleistung $P_{Mot,auf}$ enthält neben der zu messenden Stromstärke I (in Ampere) auch den Term $\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot U$. Der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ spiegelt die Verschiebung zwischen Strom und Spannung wieder und liegt zwischen 0,86 (3 kW-Motoren) und 0,90 (45 kW-Motoren). U stellt die verkettete Spannung zwischen 2 Phasen da und beträgt in der Regel 400 Volt.

Durch die Phasenverschiebung ($\cos \varphi$) wird die sogenannte Blindleistung ($\sin \varphi$) hervorgerufen.

3.5 Abscheider

Abscheider haben die Aufgabe, luftfremde Stoffe vom „Transportmedium Luft“ zu trennen. Zu diesen luftfremden Stoffen gehören gasförmige, flüssige und feste Stoffe.

Die Art und Eigenschaft der luftfremden Stoffe entscheidet darüber, welche Arten von Abscheidern grundsätzlich geeignet sind und wie hoch der Abscheidegrad sein muss, um die gereinigte Luft an die Umwelt abgeben oder in den Arbeitsraum zurückführen zu dürfen.

Sofern die Roh- und Reinluft-Staubgehalte C_A und C_F bekannt sind, kann der Gesamtabscheidegrad auch daraus berechnet werden:

$$T_{ges} = 1 - (C_F/C_A) \quad (3.5 - 2)$$

Eine detailliertere Aussage über die Leistungsstärke eines Abscheiders ermöglicht der **Fraktionsabscheidegrad $T(x_p)$** . Hier wird die abgeschiedene Menge einer bestimmten Teilchenfraktion $\Delta\dot{m}_G$ auf die Menge derselben Fraktion im Aufgabegut $\Delta\dot{m}_A$ bezogen:

$$T(x_p) = \Delta\dot{m}_G/\Delta\dot{m}_A \quad (3.5 - 3)$$

3.5.1 Wirkprinzip von Abscheidern

Vor dem Abscheider spricht man immer von „Rohgas“ oder „Rohluft“ und hinter dem Abscheider von „Reingas“ oder „Reinluft“ (siehe Abbildung 3.5.1).

Zur Beurteilung von Abscheidern wurde der **Gesamtabscheidegrad T_{ges}** (dimensionslos) als Verhältnis der abgeschiedenen Menge der luftfremden Stoffe zur zugeführten Menge der luftfremden Stoffe definiert:

$$T_{ges} = \dot{m}_G/\dot{m}_A \quad (3.5 - 1)$$

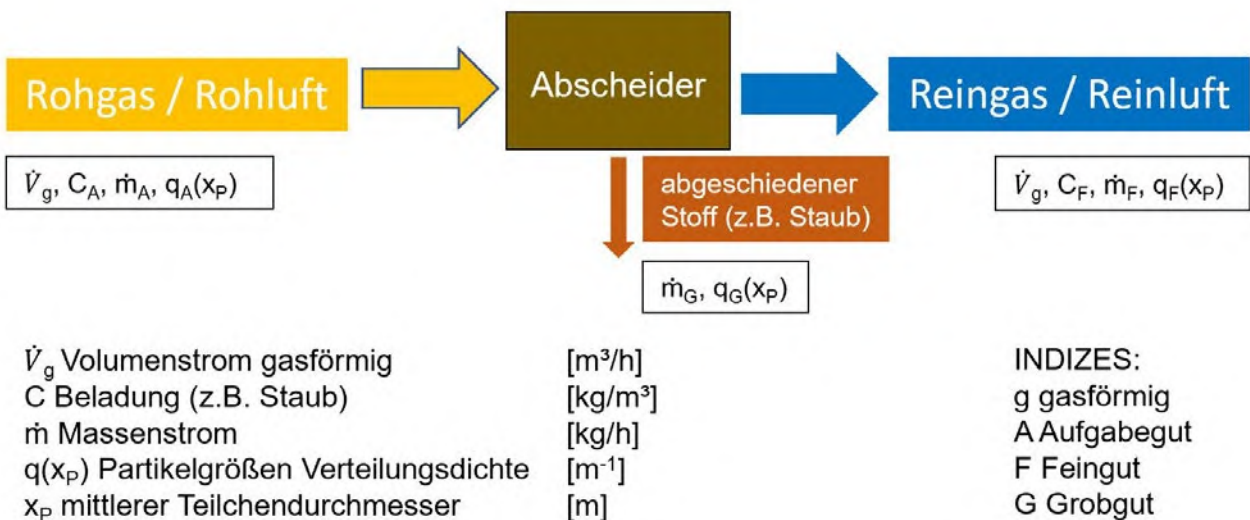


Abb. 3.5.1 Bezeichnung der Massenströme eines Abscheiders (Größen am Beispiel Staubabscheider)

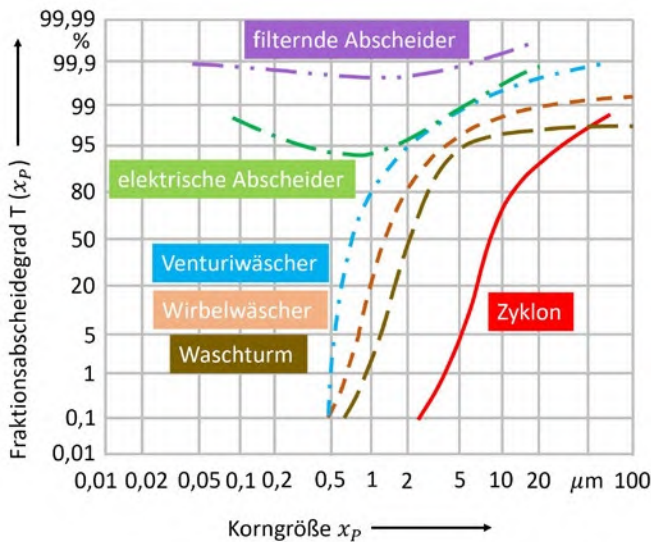


Abb. 3.5.2 Fraktionsabscheidegradkurven verschiedener Staubabscheidesysteme [30]

Der Fraktionsabscheidegrad ermöglicht auch einen direkten Vergleich verschiedener Abscheider-Systeme, die in den folgenden Unterabschnitten weiter erläutert werden (siehe Abb. 3.5.2):

Anstelle des Gesamtabseidegrads wird gelegentlich auch der **Durchlassgrad** angegeben. Er gibt an, was durch den Abscheider nicht abgeschieden, sondern durchgelassen wird:

$$\text{Durchlassgrad} = 1 - T_{\text{ges}} \quad (3.5 - 4)$$

3.5.2 Abscheidung partikelförmiger Stoffe

Zu den partikelförmigen Stoffen zählen nicht nur feste partikelförmige Stoffe, sondern auch flüssige Stoffe in Form von feinen, im Luftstrom getragenen Tropfen. Man spricht von Aerosolen bei einem heterogenen Gemisch aus Luft und feinen Partikeln oder flüssigen Tröpfchen (siehe Abbildung 3.5.3).

Bei partikelförmigen Stoffen richtet sich die Abscheidetechnik im Wesentlichen nach der Partikelgröße und dem Zustand (fest oder flüssig), in dem die Partikel vorliegen.

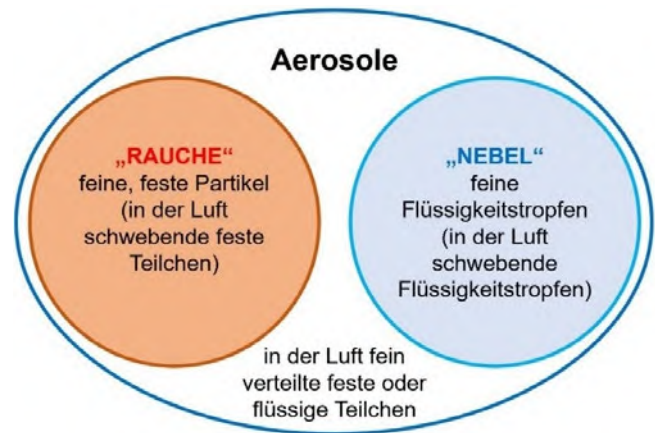


Abb. 3.5.3 Veranschaulichung des Begriffs „Aerosol“

3.5.2.1 Massenkraftabscheider

Massenkraftabscheider nutzen zur Abscheidung von partikelförmigen Stoffen vom Gasstrom/Luftstrom massenproportionale Feldkräfte, wie die Schwerkraft (Gravitation), die (Massen-) Trägheitskraft, die Magnetkraft und Zentrifugalkräfte. Hierzu zählen zum Beispiel:

- Schwerkraftabscheider (z. B. Absetzkammern)
- Prallabscheider
- Magnetabscheider
- Zyklone (Zentrifugalabscheider/Fliehkraftabscheider)

Sie dienen häufig nur als Vorabscheider in mehrstufigen Abscheidekonzepten. Die Arten und Einsatzbereiche der verschiedenen Massenkraftabscheider werden in der VDI-Richtlinie 3676 [41] beschrieben.

3.5.2.2 Elektrostatische Abscheider/Elektrofilter

Feste oder flüssige Partikel können aus einem Luftstrom in elektrischen Abscheidern durch die Einwirkung eines elektrischen Felds abgeschieden werden. Hierzu werden die Anziehungskräfte zwischen elektrisch geladenen Partikeln und einer gegenpolig geladenen Abscheidefläche genutzt. Je nach Anwendung können elektrische Abscheider Abscheidegrade von über 99 % erzielen. Der Energiebedarf zum Betreiben elektrischer Abscheider ist relativ zu anderen Abscheidern gering. Sie sind besonders zur Reinigung großer Gasmengen mit hohen Temperaturen geeignet. Der Abscheidvorgang erfolgt in 4 Schritten [30]:

1. Aufladung der Partikel im elektrischen Feld
2. Transport der aufgeladenen Partikel zur Niederschlagsselektrode
3. Anhaftung und Schichtbildung an der Niederschlagsselektrode
4. Entfernung der Staubschicht von der Niederschlagsselektrode

Bei trocken arbeitenden Elektrofiltern bildet sich an der Niederschlagsselektrode durch die anhaftenden Staubpartikel eine lockere Staubschicht mit einer Porosität von bis zu 90 % und Schichtdicken zwischen 1 und 10 mm. Durch das Auftreffen weiterer geladener Partikel muss die Ladung durch die Staubschicht zur Elektrode hindurchfließen. Deshalb ist der elektrische Widerstand der Staubschicht entscheidend und die Wirksamkeit hängt maßgeblich von einer regelmäßigen Reinigung ab. Aus diesem Grund gibt es auch Nass-Elektrofilter, bei denen die Reinigung durch einen Wasser-Riesel Film regelmäßig erfolgt. Bei der Abscheidung flüssiger Tröpfchen aus Aerosolen spricht man auch vom Selbstreinigungsprinzip.

3.5.2.3 Nassabscheider

Das Wirkungsprinzip von Nassabscheidern besteht darin, die im Rohgasstrom dispergierten Partikel mit einer Waschflüssigkeit in Kontakt zu bringen, um sie darin zu binden und dann das entstehende Partikel-Flüssigkeits-Gemisch vom Luftstrom zu trennen. Besonders geeignet sind Nassabscheider bei klebrigen oder leicht entzündlichen

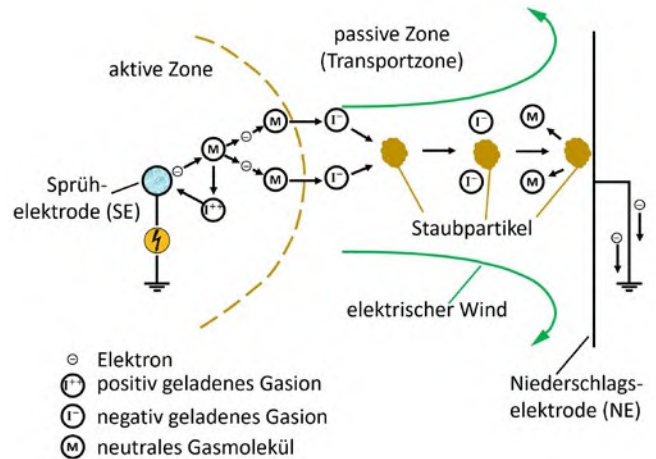


Abb. 3.5.4 Wirkungsprinzip elektrostatischer Abscheider [30]

Stäuben und Aerosolen; zusätzlich können mit Nassabscheidern prinzipiell auch gasförmige Gefahrstoffe abgeschieden oder der Luftstrom kann zusätzlich gekühlt werden.

Um eine Nassabscheidung effektiv zu gestalten, ist es notwendig, zwischen der Waschflüssigkeit und dem zu reinigenden Gas eine möglichst große Phasengrenzfläche als Kontaktfläche zu schaffen. Hierzu sind technisch folgende Anordnungen möglich (siehe Abbildung 3.5.5):

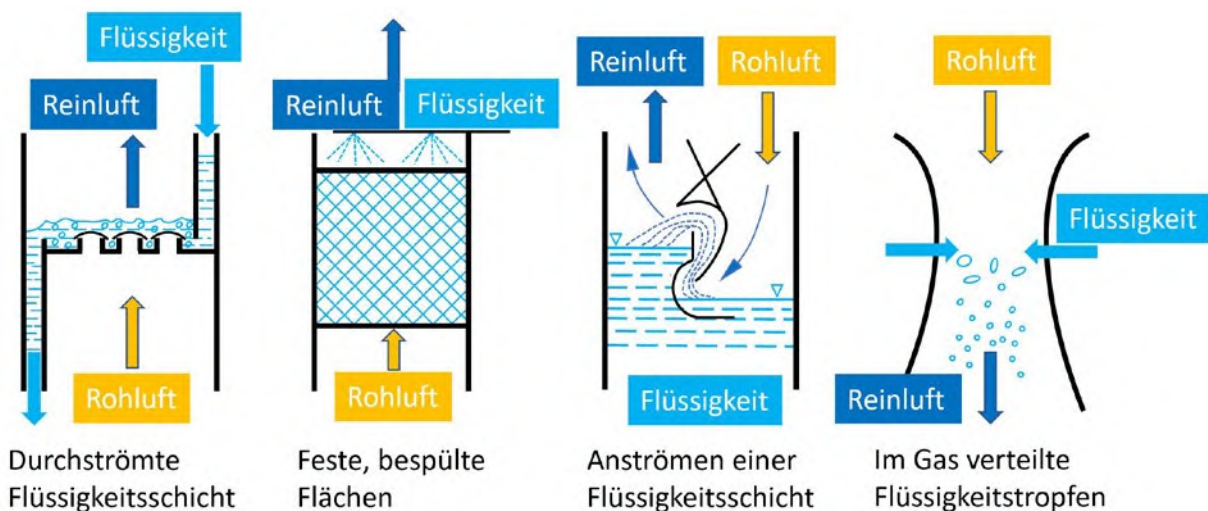


Abb. 3.5.5 4 verschiedene Grundprinzipien von Nassabscheidern zur Erzeugung einer möglichst großen Kontaktfläche zwischen Waschflüssigkeit und Partikeln im Rohgas [30]

- **Abscheidung in durchströmten Flüssigkeitsschichten:** In der Flüssigkeitsschicht werden feinste Gasbläschen/ Luftbläschen erzeugt. Technisch erfolgt das zum Beispiel durch Sieb- oder Glockenböden. Der Staub lagert sich an der Bläschengrenzfläche ab.
 - **Abscheidung an festen, gespülten Flächen:** Der Abscheider ist mit sogenannten Füllkörpern gefüllt, die insgesamt eine große Kontaktfläche schaffen, wenn sie von oben mit einem Waschflüssigkeitsnebel berieselt werden und von unten das zu reinigende Gas einströmt (z. B. Spritzwand mit Wasserschleier beim Spritzlackieren).
 - **Abscheidung durch Anströmung einer Flüssigkeitsschicht:** Hierbei muss im Abscheider eine feste, gasdichte Abtrennung zwischen Rohgas auf der einen Seite und Reingas auf der anderen Seite oberhalb des Waschflüssigkeitsspiegels vorhanden sein. Dann kann das Rohgas mit Überdruck durch die Waschflüssigkeit hindurchgedrückt werden. Die Strömungsumlenkung und das Mitreißen von Flüssigkeits-Tröpfchen bewirkt die Kontaktfläche und die Abtrennung der im Rohgas enthaltenen Partikel.
 - **Abscheidung an im Gas/in der Luft enthaltenen Flüssigkeits-Tröpfchen:** Im Abscheider werden durch Versprühen der Waschflüssigkeit mit Sprühdüsen oder durch rotierende Elemente feinste Flüssigkeits-Tröpfchen mit einer großen Phasenoberfläche als Kontaktfläche erzeugt. Die im Rohgas enthaltenen Partikel haften an der Tröpfchen-Oberfläche an.
- Aus diesen Wirkprinzipien entstanden die folgenden Grundbauformen von Nassabscheidern:
- **Waschtürme, Füllkörperkolonnen:** Sie werden meist eingesetzt, wenn neben der Staubabscheidung auch gleichzeitig eine Gaskühlung beabsichtigt ist. Die einfachsten Waschtürme sind große einbaulose Behälter, die mit dem zu reinigenden Gas mit ca. 1 m/s durchströmt werden; dabei wird in mehreren Ebenen Waschflüssigkeit eingespritzt. Die Abscheideleistung dieser Bauform ist sehr gering; aber auch der Druckverlust ist mit ca. 150 Pa sehr gering. Andere Bauformen von Waschtürmen haben Einbauten in Form von berieselten Füllkörpern oder Umlenklechen. Dadurch wird zwar die Abscheideleistung erhöht, aber auch der Druckverlust kann auf bis zu 2.500 Pa ansteigen.
 - **Strahlwäscher:** Strahlwäscher werden überwiegend dann eingesetzt, wenn neben den Partikeln im Gasstrom auch Gase ausgewaschen werden sollen oder wenn die Gasmengen stark schwanken. Die Waschflüssigkeit wird axial durch eine Düse im Gleichstrom mit dem zu reinigenden Gas aufgegeben. Dadurch wird das zu reinigende Gas wie bei einer Wasserstrahlpumpe angesaugt und gereinigt. Die Gasgeschwindigkeit steigt auf bis zu 20 m/s und die Waschflüssigkeit tritt mit einer Geschwindigkeit von bis zu 35 m/s aus der Düse aus. Die spezifische Waschflüssigkeitsmenge liegt bei bis zu 20 l/m³ pro Stufe; allerdings kann die Waschflüssigkeit im Kreislauf gefahren werden. Die Abscheideleistung liegt bei Strahlwäschern etwas höher als bei Waschtürmen. Strahlwäscher erzeugen keinen zusätzlichen Druckverlust. Der Energieeintrag erfolgt über die Waschflüssigkeit.
 - **Wirbelwäscher:** Wirbelwäscher sind besonders zur Abscheidung besonders grober Stäube geeignet, wie sie zum Beispiel bei der Oberflächenbehandlung durch mechanische Verfahren (z. B. Schleifen von Metallen) entstehen. Der zu reinigende Gasstrom prallt im Wirbelwäscher auf eine Wasseroberfläche; dadurch erfolgt eine Vorabscheidung. Die Strömung wird dann durch einen gekrümmten Kanal umgelenkt und bewirkt so die Verwirbelung der mitgerissenen Flüssigkeits-Tröpfchen. Durch einen gekrümmten Kanal wird die Strömung umgelenkt, wodurch eine Verwirbelung der mitgerissenen Flüssigkeits-Tröpfchen erfolgt. Dadurch werden auch feinere Partikel abgeschieden. Die Gasgeschwindigkeit in der Wirbelzone beträgt bis zu 15 m/s und der Druckverlust bis zu 3.000 Pa. Dafür ist die Bauweise von Wirbelwäschern vergleichsweise einfach, damit preiswert und wartungsarm.
 - **Rotationswäscher:** Bei korrekter Auslegung sind Rotationswäscher leistungsstark. Es handelt sich um zylindrische Behälter, in die das zu reinigende Gas tangential von unten einströmt und dann ein bis zwei Washstufen durchströmt. Dort befinden sich schnelllaufende Zerstäuber-Scheiben (Umfangsgeschwindigkeit bis zu 70 m/s), die einen dichten Tropfenschleier erzeugen, wodurch Partikel bei Kontakt ausgewaschen werden. Rotationswäscher erreichen gute Abscheidegrade und können Stäube bis unter 0,5 µm vollständig abscheiden. Nachteil bei Rotationswäschern sind ein relativ hoher Energie-

verbrauch und eine hohe Wartungsintensität wegen hohem Verschleiß durch die schnell umlaufenden Teile.

- **Venturiwäscher:** Sie erreichen von allen Nasswäschern die höchsten Abscheidegrade und eignen sich besonders zur Abscheidung von Kondensations- und Sublimationsstäuben aus Gasen. Sie zeichnen sich durch eine einfache Konstruktion und einen geringen Platzbedarf aus. Nachteilig ist der hohe Druckverlust von bis zu 20.000 Pa. Das zu reinigende Gas wird durch ein Venturirohr gedrückt und erreicht an der engsten Stelle, der sogenannten Kehle, Geschwindigkeiten von bis zu 150 m/s. Genau dort wird die Waschflüssigkeit axial eingedüst, wodurch feinste Tröpfchen zur Gasreinigung entstehen und die Partikel an sich binden.

Wenn die Partikel sich weitgehend an die Waschflüssigkeits-Tröpfchen angelagert oder in sie eingelagert haben, müssen die beladenen Tröpfchen wieder vom Gasstrom getrennt werden. Das erfolgt meist wieder über Massenkraftabscheider. Tabelle 3.5.1 zeigt die wichtigsten Vor- und Nachteile von Nassabscheidern.

Nassabscheider werden aufgrund dieser Einschätzung besonders bei nassen, klebrigen, brennbaren und explosionsfähigen Stäuben eingesetzt, aber auch in der chemischen Industrie, in der Abgasreinigung konventioneller Kraftwerke und in der thermischen Abfallverwertung (z. B. Müllverbrennungsanlagen). Tabelle 3.5.2 weist charakteristische Daten von Nasswäschern auf.

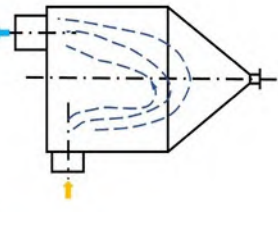
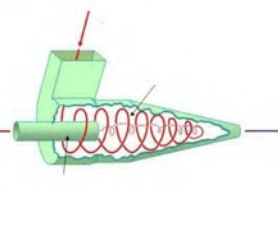
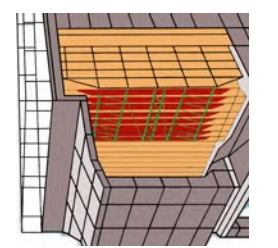

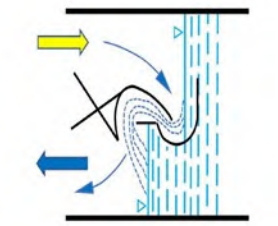
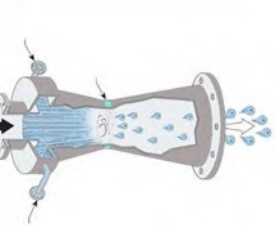
Tabelle 3.5.1 Vor- und Nachteile von Nassabscheidern

Vorteile Nassabscheider	Nachteile Nassabscheider
<ul style="list-style-type: none"> • Geeignet für nasse Rohgase und Stäube • Geeignet für klebrige Staub-Luft-Gemische • Sehr guter Brand- und Explosionsschutz auch bei brennbaren und explosiblen Stäuben 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Abscheidegrade erfordern viel Energie. • Hoher Druckverlust, hoher Verschleiß (je nach Bauform) • Aufwand für Abwasseraufbereitung und Schlamm Entsorgung, Verkeimung möglich

Tabelle 3.5.2 Charakteristische Daten von Nasswäschern, x_p = Grenzkorndurchmesser, bis zu dem gerade 50 % abgeschieden werden, v_{rel} = Relativgeschwindigkeit, Δ_p = Druckverlust, b = spezifische Waschflüssigkeitsmenge in Bezug auf Gasvolumen, E_S = spezifischer Energieaufwand in Bezug auf Gasvolumen nach [30]

Parameter	Wasch-Turm	Strahlwäscher (2-stufig)	Wirbelwäscher	Rotationswäscher (2-stufig)	Venturiwäscher
x_p [μm]	0,7 – 1,5	0,8 – 0,9	0,6 – 0,9	0,1 – 0,5	0,05 – 0,2
v_{rel} [m/s]	1	10 – 25	8 – 20	25 – 70	40 – 150
Δ_p [Pa]	200 – 2.500	0	1.500 – 2.800	400 – 1.000	3.000 – 20.000
b [l/m ³]	0,05 – 5	5 – 20 (pro Stufe)	auslegungsspezifisch	1 – 3 (pro Stufe)	0,5 – 5
E_S [kWh/1.000 m ³]	0,2 – 1,5	1,2 – 3	1 – 2	2 – 6	1,5 – 6

Tabelle 3.5.3 Bauarten und typische Kenngrößen von Massenkraftabscheidern, elektrischen und nassarbeitenden Abscheidern [42]

Bezeichnung	Massenkraftabscheider		Elektrische Abscheider		Nassarbeitende Abscheider	
	Schwerkraft-/Umlenk-Abscheider	Fliehkraft-Abscheider (Zyklon)	Trockenelektrofilter	Nasselektrofilter	Dynamische Wäscher Wirbelwäscher	Nassarbeitende Abscheider Venturiwäscher
Systembild (Beispiele)						
Wirkungsweise	Abscheidung Partikel durch Schwer- und Trägheitskräfte	Fliehkkräfte aus einer rotierenden Strömung	Aufladung von festen oder flüssigen Partikeln in einem elektrischen Feld und Abscheidung auf Niederschlagsselektroden. Abscheidegrad stark abhängig von spez. Staubwiderstand, Partikelkonzentration und Geschwindigkeit. Abreinigung der Niederschlagsplatten durch: Klopf- oder Rüttelvorrichtungen oder bei kleinen Geräten im ausgebauten Zustand	Abspülen mit Wasserseelfilm	Benetzung und Bindung der Partikel an in den Gasstrom eingebrachten Flüssigkeitsschleier	Wassereindüsung in eine Venturidüse mit Bildung eines homogenen Tropfenschleiers
Einsatzgebiete	In allen Industriebereichen für grobe Partikel, bei geringen Anforderungen an den Abscheidegrad als Vorabscheider oder Funkenfänger für nachgeschaltete filternde Abscheider					
Bemerkungen			bei höheren Temperaturen bis ca. 500 °C	Bei feuchtem Abgas, Aerosolen und klebrigen Stäuben	Trenngrenze bis 1 µm	Trenngrenze 0,1 µm
Volumenströme	bis 100.000 m³/h		bis 500.000 m³/h	bis 500.000 m³/h	bis 50.000 m³/h	bis 50.000 m³/h
Druckverluste	300–600 Pa	500–1.500 Pa	200–500 Pa	400–800 Pa	1.500–3.000 Pa	3.000–20.000 Pa
Rohgaskonzentration	nicht begrenzt		bis ca. 50 g/m³		bis ca. 50 g/m³	
Reingaskonzentration	50–500 mg/m³		Ausulegen auf den zulässigen Emissionsgrenzwert			
Abscheidegrad	50–90 %		90–99 %	90–95 %	95–99 %	
Vorteile	Einfach, robust, kostengünstig; geringer Druckverlust, unempfindlich gegen Druck und hohe Temperatur		Hohe Abscheideleistung für Feinstäube und Aerosole möglich, sehr geringer Druckverlust, niedrige Energiekosten		Unempfindlich gegen Feuchtigkeit, Brand- und Explosionsschutz, gleichzeitige Gaskühlung Schadgasabsorption möglich	
Nachteile	Geringe Abscheideleistung, für Feinstäube ungeeignet		Hoher Reinigungsaufwand bei kleinen Baueinheiten	Wasser-/Schlammbehandlung und Entsorgung erforderlich	Begrenzte Abscheideleistung für Feinstäube	Hohe Abscheideleistung nur bei sehr hohem Druckverlust

3.5.2.4 Filternde Abscheider

Bei filternden Abscheidern lassen sich unabhängig von der Feinheit des Staubs sehr hohe Abscheidegrade erzielen. Durch immer widerstandsfähigere Filtermaterialien nimmt die Bedeutung der filternden Abscheider stetig zu! Filternde Abscheider lassen sich wie in Abb. 3.5.6 dargestellt grob einteilen.

Die häufig anzutreffenden **Faserschichtfilter** lassen sich weiter einteilen in:

- Speicherfilter (Partikelabscheidung im Innern der Faserschicht, Tiefenfiltration)
- Abreinigungsfilter (Partikelabscheidung überwiegend an der Filteroberfläche, Abreinigung durch Rütteln, Spülluft oder Druckluftimpulse)

Speicherfilter arbeiten mit Tiefenfiltration und müssen nach einer Sättigung mit Partikeln, die sich im steigenden Differenzdruck und sinkenden Volumenstrom ausdrückt, erneuert werden. Sie sind dann sinnvoll, wenn nur wenig Staub abgeschieden werden muss (z. B. Klimatechnik, Raumlüftung). Abreinigungs-Filter sind dagegen auch für hohe Rohgasbelastungen bis zu 200 g/m³ geeignet. Das Filtervlies ist meist zu Schläuchen oder Taschen vernäht oder wird zu Filterelementen plissiert. Neben Abreinigungsfiltern aus Filtervlies gewinnen bei verschiedenen Anwendungen Patronenfilter oder Filterkerzen aus keramischen und metallischen Materialien (Fasern, Sinterwerkstoffe) immer mehr an Bedeutung. Allgemein steigt auch bei Abreinigungsfiltern der Druckverlust bei der Bildung einer Staubschicht auf dem Filter zunächst an und fällt nach der Abreinigung wieder ab. Bei den Abreinigungsverfahren wird häufig mit Rütteln, Spülluft oder Druckluftimpuls gearbeitet.

Tabelle 3.5.4 stellt verschiedene Filterklassifikationen dar, die sich aus verschiedenen Filterprüfnormen ergeben. Während die beiden Normen DIN EN ISO 16890 und

DIN EN 1822 aufeinander abgestimmt sind, werden bei der DIN EN 60335 die Filterklassifizierungen unter anderen Prüfbedingungen bestimmt, weshalb sie nur bedingt miteinander vergleichbar sind:

- Die Filterklassen nach DIN EN ISO 16890 werden als Partikel-Luftfilter der allgemeinen Raumlufttechnik eingesetzt. Die Filter werden im Test nach einem Partikelspektrum von 0,3 bis 10 µm bewertet. Eingeteilt werden die Filter in Feinstaubklassen PM₁, PM_{2,5} und PM₁₀ sowie Grobstaub (ISO coarse, Abscheidegrad ist < 50 % der PM₁₀-Partikelfraktion). Scheidet ein Filter mindestens 50 % der Partikelfraktion PM₁₀ ab, kann er Feinstaubklasse ISO ePM₁₀ zugeordnet werden (e steht für Effizienz). Entsprechendes gilt für die Feinstaubklassen ISO ePM_{2,5} und ISO ePM₁. Zusätzlich wird bei der Filterklassifizierung noch in 5-%-Schritten (immer nach unten abgerundet) zum Beispiel angegeben, wieviel % der PM₁₀-Partikelfraktion abgeschieden wurde. Werden zum Beispiel von einem Filter 62 % der PM₁₀-Partikelfraktion zurückgehalten, heißt die Klassifizierung ISO ePM₁₀ 60 %. So ergeben sich 49 unterschiedliche Filterklassen. Als Prüfmedien werden KCl (Kaliumchlorid) für 2,5 und 10 µm sowie DEHS (Diethyl-Hexyl-Sebacat) für 0,3–1,0 µm eingesetzt.
- Die Klassifizierung „L“, „M“ und „H“ beruht auf der DIN EN 60335 und gilt für Filter für staubbeseitigende Maschinen mit Reinfluftrückführung. Angegeben wird hierzu der Durchlassgrad für einen Prüfstaub, bei dem 61 % der Partikel kleiner sind als 1 µm.
- Die Klassifikation von HEPA- und ULP-Filtern beruht auf der DIN EN 1822 und gilt für Schwebstofffilter. Angegeben wird jeweils der Abscheidegrad für einen Prüfstaub, dessen Partikel am schlechtesten abgeschieden werden können und deren Größe zwischen 0,1 und 0,3 µm liegt.

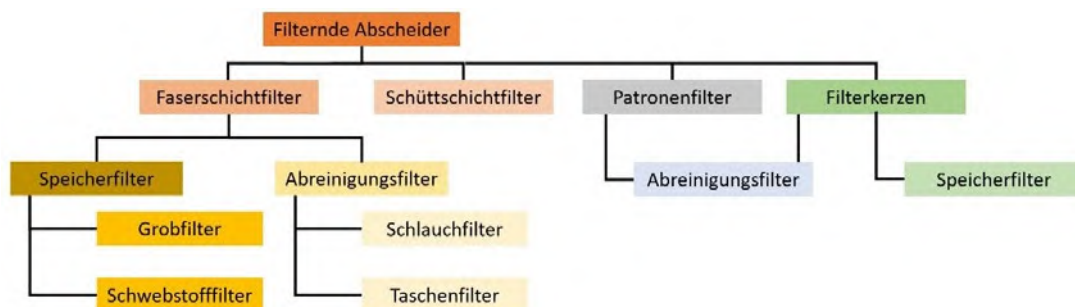


Abb. 3.5.6 Einteilung von filternden Abscheidern nach Bauarten

Tabelle 3.5.4 Übersicht verschiedener Filterklassifizierungen nach verschiedenen Normen

Partikelfilter für die Allgemeine Raumlufttechnik DIN EN ISO 16890-1:2016			Schwebstofffilter (EPA, HEPA, ULPA) DIN EN 1822:2011					Filter für staubeseitigende Maschinen (Staubsauger, Entstauber), Luftrückführung in Arbeitsräume, DIN EN 60335-2 (2010) 2:2010						
Filtergruppe	49 Filterklassen	Prüfstaub/Aerosol	geforderte Mindestleistung			Filtergruppe	Filterklasse	Prüfaerosol	Integraler Abscheidegrad im MPPS [%]	Lokaler Abscheidegrad im MPPS [%]	Staubklasse	Prüfstaub/Prüfaerosol	max. Durchlassgrad [%]	geeignet für
			ePM1, min	ePM2,5, min	ePM10, min									
ISO Coarse	20%	ISO A2-Staub („Grobstaub“ 0,97–176 µm, davon 59,5% < 11 µm)	ePM1, min	ePM2,5, min	ePM10, min	E (EPA: Efficient Particulate Air filter, Hochleistungs-partikel-filter)	E10	200 mg/m ³ Quarzstaub 90% 0,2–2 µm (Stokes)	≥ 85	–	L	200 mg/m ³ Quarzstaub 90% 0,2–2 µm (Stokes)	< 1	Stäube mit AGW > 1 mg/m ³
	25%		< 50% Abscheidegrad	E11	≥ 95		–		< 0,1 Stäube mit AGW > 0,1 mg/m ³					
	...			E12	≥ 99,5		–							
	95%													
ISO ePM10	50%	KCl (Kaliumchlorid) für 2,5 und 10 µm; DEHS (Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat) für 0,3–1,0 µm				H (HEPA: High Efficiency Particulate Air filter, Schwebstofffilter)	E13	DEHA (Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat) 0,1–0,3 µm	≥ 99,95	≥ 99,75	H	10–80 mg/m ³ Paraffinöbel 90% < 1 µm (Stokes)	< 0,005	Stäube mit AGW, krebserzeugende Aerosole, Stäube mit Krankheits-erregern
	...		≥ 50% Abscheidegrad im elektrisch entladenen Zustand	E14	≥ 99,995		≥ 99,975							
	> 95%													
ISO ePM2,5	50%	KCl (Kaliumchlorid) für 2,5 und 10 µm; DEHS (Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat) für 0,3–1,0 µm				U (ULPA: Ultra Low Penetrating Air filter, Hochleistungs-Schwebstofffilter)	U15	≥ 99,9995	≥ 99,9975					
	...		≥ 50% Abscheidegrad im elektrisch entladenen Zustand	U16	≥ 99,99995		≥ 99,99975							
	> 95%			U17	≥ 99,999995		≥ 99,999975							
ISO ePM1	50%	KCl (Kaliumchlorid) für 2,5 und 10 µm; DEHS (Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat) für 0,3–1,0 µm												
	> 95%		≥ 50% Abscheidegrad im elektrisch entladenen Zustand											

Anmerkungen: Die beiden Normen DIN EN ISO 16890-1 und DIN EN 1822 sind aufeinander abgestimmt und bauen aufeinander auf. Wegen unterschiedlicher Prüfbedingungen zwischen der DIN EN 60335-2 und diesen beiden Normen ist ein Vergleich der Staubklassen mit den Filterklassen bzw. der Abscheidegrade nur bedingt möglich. Prinzipiell ist der **Durchlassgrad = 1 - Abscheidegrad**. Bei den Filtergruppen der **DIN EN ISO 16890-1** steht **ISO Coarse** für Abscheidegrad in % bei ISO A2-Staub ("Grobstaub"), aber < 50 % Abscheidegrad im Bereich PM10 (0,3–10 µm Partikelgröße) (Beispiel: ISO Coarse 95 % = Feinstaubabscheidegrad PM10 < 50 %, aber Anfangsabscheidegrad liegt zwischen 95 und 100 % für groben ISO A2-Staub), **ISO ePM10** für ≥ 50 % Abscheidegrad im Bereich PM10, **ISO ePM2,5** für ≥ 50 % Abscheidegrad im Bereich PM2,5 (0,3–2,5 µm Partikelgröße), **ISO ePM1** für ≥ 50 % Abscheidegrad im Bereich PM1 (0,3–1 µm Partikelgröße), Filterklasseneinteilung in 5 %-Schritten von 50 bis 95 %, jeweils Abrundung auf nächsten 5 %-Schritt. Bei den Staubklassen der **DIN EN 60335-2** steht **L** für leichte, **M** für mittlere und **H** für hohe Gefährdung.

Die folgenden beiden Bilder verdeutlichen die Abscheidemechanismen an Faserschichtfiltern:

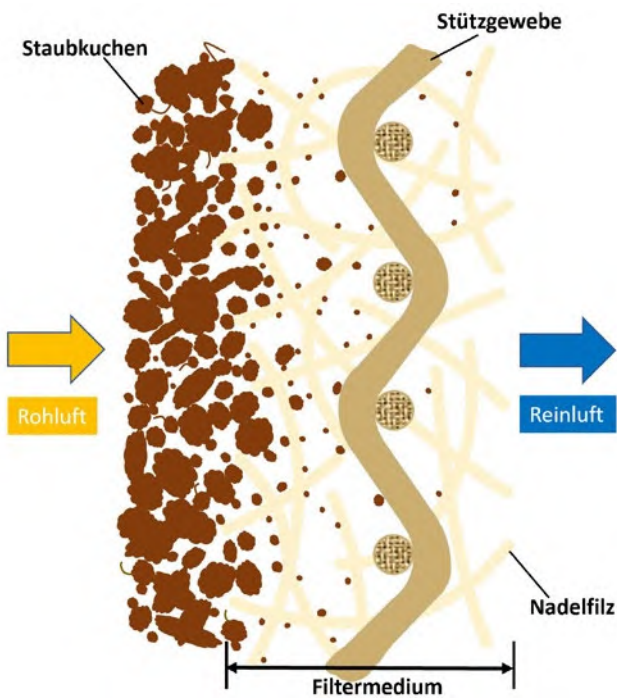
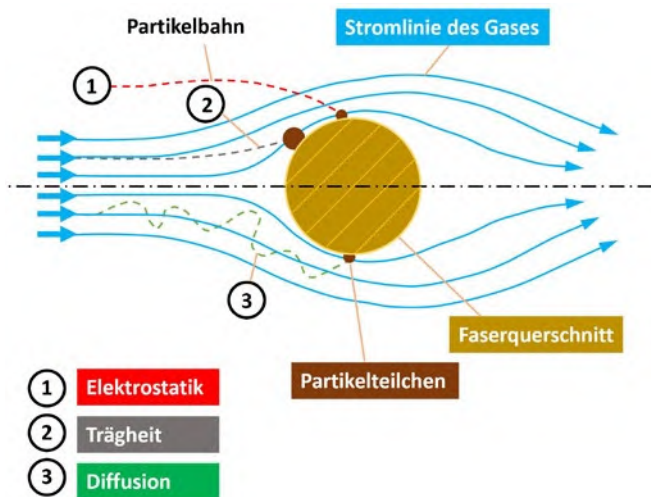


Abb. 3.5.7 Abscheidemechanismen bei Faserschichtfiltern (oben) und Querschnitt eines mit Staub belegten Filtermediums (unten), Prinzipskizzen [30]

Bei sehr kleinen Partikeln spielt der Diffusionseffekt durch die Brownsche Molekularbewegung die dominierende Rolle. Diese kleinen Partikel folgen nicht den Stromlinien des Gasstroms. Bei unterschiedlicher elektrischer Aufladung von feinsten Partikeln und Filterfaser wirken elektrische Kräfte. Mit zunehmender Partikelgröße nimmt der Massenträgheitseinfluss weiter zu. Am schlechtesten lassen sich Partikelgrößen zwischen 0,1 und 2 µm mit Faserfiltern abscheiden. Filterhersteller geben häufig bei Schwebstofffiltern die Größe MPPS an (most penetrating particle size = Partikelgröße, die sich vom Filtermaterial am schlechtesten abscheiden lässt).

Ein weiterer Abscheidemechanismus ist der Siebeffekt (siehe Abbildung 3.5.7 unten): Wenn die Partikel größer werden als der Faserabstand oder als die Partikelabstände der schon auf dem Filter vorhandenen Staubschicht, stellt sich der Siebeffekt ein.

Der Porenvolumenanteil (Porosität) liegt bei Speicherfiltern noch höher als bei Abreinigungs-Filtern, was sich jedoch während des Abscheideprozesses durch die zunehmende Einlagerung der Partikel in die Speicherfilter verändert – so wird ein **Speicherfilter** immer undurchlässiger, der Abscheidegrad steigt, der Differenzdruck steigt und der Volumenstrom sinkt, so dass ab einem gewissen Mindestvolumenstrom (Strömungswächter) oder einem maximalen Differenzdruck (Differenzdruckwächter) eine Warnanzeige den Wechsel des Speicherfilters anzeigen muss.

Auch bei neuen **Abreinigungs-Filtern** lagern sich feinste Partikel in das Filtermaterial ein, verändern die Porosität und steigern den Abscheidegrad. Im Wesentlichen bildet sich aber ein „Staubkuchen“ auf der Oberfläche von Abreinigungs-Filtern, der zunehmend die Aufgabe des Filtermaterials übernimmt. Auch hier nimmt der Druckverlust bei wachsendem Staubkuchen zu, bis der Filter abgereinigt wird. Um das Abreinigungsverhalten zu verbessern, wird die Oberfläche häufig geglättet oder beschichtet (z. B. mit PTFE). Sehr gute Abscheide-Eigenschaften erhält man zum Beispiel durch eine Beschichtung des Filtermaterials mit Membranen, Feinfaserauflagen oder Nanofaserauflagen [30]. Hierdurch wird besonders das Durchschlagen des Staubs während der Abreinigung verhindert. Den gleichen Effekt hat man bei mit einer PTFE-Membran überzogenen Filtern aus gesintertem Material. Bei abrasiven Medien werden solche Beschichtungen oder Membrane schnell im Betrieb zerstört.

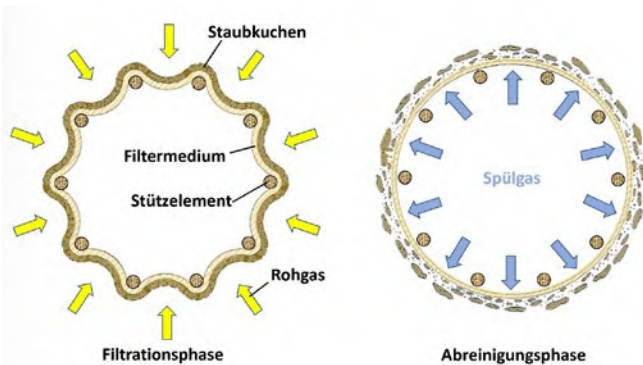


Abb. 3.5.8 Filtrations- und Abreinigungsphase im Druckluftimpuls-Verfahren bei einem Filterschlauch [30]

Bei Oberflächenfiltern aus Faserfiltermedien wird im Filtrationsbetrieb eventuell eine Stützkonstruktion benötigt, um die konfektionierten Filterelemente in Form zu halten und ein Kollabieren infolge des anstehenden Differenzdrucks zu vermeiden. Starrkörperfilter sind eigenstabil und benötigen diese zusätzliche Stützkonstruktion nicht.

Handelt es sich bei den abgeschiedenen Partikeln um Gefahrstoffe, ist es sinnvoll, in den anfangs leeren Behälter einen Beutel zur gefahrlosen Entsorgung einzubringen, damit nicht der Sammelbehälter noch durch Schütten entleert werden muss. Dadurch würden viele Partikel wieder aufgewirbelt: Das sollte vermieden werden! Statt des hier dargestellten Auffangbehälters für die abgeschiedenen Partikel könnten auch Förderschnecken, Zellenradschleusen oder Ähnliches dafür sorgen, dass die abgeschiedenen Partikel in einem geschlossenen Fördersystem zur weiteren Verarbeitung oder Entsorgung kontinuierlich ausgetragen werden.

Die Filtertaschen bei Taschenfiltern müssen über ebene, plattenförmige Rahmen gespannt werden, die an einer Seite für die gereinigte Luft offen sein müssen. Die Rohluft tritt horizontal oder von oben in das Filtergehäuse ein und durchströmt die Filtertaschen von außen nach innen.

In Schlauchfiltern sind die Filterschläuche zylindrisch und haben Durchmesser zwischen 0,09 und 0,27 m und eine Länge von bis zu 10 m. Sie müssen bei der Durchströmung von außen nach innen über einen zylindrischen Stützkorb gezogen oder mit Stützringen versehen werden, was bei umgekehrter Strömungsrichtung nicht unbedingt erforderlich ist. Die Abreinigung von Schlauch- und Taschenfiltern kann mechanisch (Rütteln, Klopfen, Vibrieren, meist

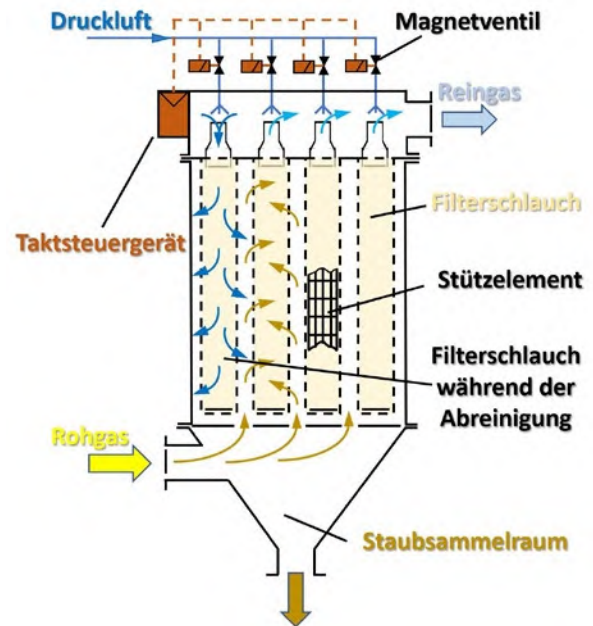


Abb. 3.5.9 Schlauchfilter mit Druckluftimpuls-Verfahren zur Abreinigung [2]

bei gleichzeitigem Einsatz von Spülluft) oder durch das Druckluftimpulsverfahren erfolgen. Dabei wird mit einem Luftdruck von bis zu 7 bar gearbeitet, wobei die Druckluftventile nur 0,1 bis 0,4 s geöffnet werden. Das Zeitintervall zwischen den Druckluftstößen ist unterschiedlich. Durch den Druckluftimpuls innen im Schlauch auf der Reingaseite blähen sich Schläuche oder Taschen stoßartig auf und werfen dadurch den an der Oberfläche anhaftenden Staub auf der Rohluftseite wieder ab.

Der Hauptgrund, aus dem sich das Druckluftimpuls-Regenerations-Verfahren immer mehr gegen die mechanische Rüttel-Abreinigung durchsetzt, ist die Tatsache, dass es eine bessere Wirkung erzielt und eine Online-Abreinigung (Regeneration bei paralleler Beaufschlagung) zumindest partiell möglich ist. Das ermöglicht eine etwas höhere Filterflächenbelastung, weil sich beim Betrieb niemals ein so dichter Filterkuchen bildet wie bei der seltener getätigten Rüttel-Abreinigung. Ein Nachteil des Druckluftimpuls-Regenerations-Verfahrens ist der mögliche Staubdurchschlag in Form von Emissionsspitzen während des Regenerations-Vorgangs durch im Filtermaterial eingelagerten Staub. Die Abreinigung kann über eine Differenzdrucksteuerung ausgelöst werden. So werden die Abreinigungs-Vorgänge auf ein Minimum reduziert.

Bei der Auslegung von abreinigbaren Filtern ist die schon erwähnte Filterflächenbelastung (= Filtrationsgeschwindigkeit v_F) eine entscheidende Größe: Sie ist definiert als der auf die Filterfläche A_F bezogene Gas-/Luftvolumenstrom \dot{V}_g :

$$v_F = \frac{\dot{V}_g}{A_F} \quad (3.5 - 7)$$

mit

v_F = Filtrationsgeschwindigkeit/Filterflächenbelastung
[m³/(m² h)] bzw. [m/h]

\dot{V}_g = Gas-/Luftvolumenstrom [m³/h]

A_F = Filterfläche [m²]

Bei bekannter Filtrationsgeschwindigkeit oder Filterflächenbelastung kann so die erforderliche Filterfläche bestimmt werden. Die Filterflächenbelastung oder Filtrationsgeschwindigkeit selbst wird entweder experimentell bestimmt oder kann aus bereits ausgeführten Anlagen abgeleitet werden. Nach [32] kann sie auch mithilfe eines Grundwerts unter Berücksichtigung von Korrekturfaktoren bestimmt werden, die folgenden Einflussgrößen Rechnung tragen:

- Filtersystem
- Anwendungsart
- Staubfeinheit
- Rohgasbelastung
- Temperatur
- chemische und physikalische Staubeigenschaften
- Anströmverhältnisse
- zulässiger Reststaubgehalt
- Filtermedium

Aus der Praxis ergeben sich beispielhaft daraus die in Tabelle 3.5.5 angegebenen Filterflächenbelastungen bei abreinigbaren Filtern mit Druckluftimpuls-Abreinigung für verschiedene Stäube oder Anwendungsfälle.

Tabelle 3.5.5 Typische Filterflächenbelastungen in der Praxis nach Planungshinweisen der Infastaub GmbH [8]

Staubarten/Anwendung	Filterflächenbelastung bei Schlauch- oder Taschenfiltern [m ³ /(m ² *h)]
Eisenoxide (Ofenentstaubung im Stahlwerk)	60 – 90
Flugasche aus Kohleverbrennung Bereich Handling, Verbrennung abhängig von Vorabscheidung und Verbrennungsart	60 – 90 30 – 90
Gipsstaub (Gipsbrennen)	60 – 96
Holzstaub (Schleifstaub mit Leimanteil)	66 – 150
Sandaufbereitung in Gießereiformsand	60 – 120
Thermische Spritzverfahren von Aluminium	30 – 36
Weizenvermahlung	150 – 246
Zinkoxidstaub (Absaugung über Zinkbad)	60 – 90
Zementstaub (Förderung, Verladung)	66 – 120
Zuckersichtung	66 – 120

Tabelle 3.5.6 fasst die Bauarten filternder Abscheider mit Wirkungsweisen, wichtigen Kenngrößen, Einsatzgebieten, Vor- und Nachteilen zusammen.

Bei der praktischen Auslegung von Abreinigungsfiltern ist die Kenntnis des zu erwartenden Druckverlusts Δp bei gegebener Filterflächenbelastung v_F oft wichtiger als der Abscheidegrad.

So findet sich in der Fachliteratur die sogenannte **Fundamentalgleichung für Mehrkammerfilter** [2], die aus dem **Gesetz von D'Arcy** für laminare Durchströmung abgeleitet wurde:

$$\Delta p = K_F v_F + \frac{1}{2} K_K C_A t_E v_F^2 \quad (3.5 - 8)$$

mit

- Δp Druckverlust als Gesamtdruckverlust aus Filtermedium und Filterkuchen [bar]
- K_F experimentell ermittelter Widerstand des Filtermediums
- K_K experimentell ermittelter Widerstand des Filterkuchens auf dem Filtermedium
- v_F Filterflächenbelastung/Filtrationsgeschwindigkeit [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{h})$]
- C_A Rohluftstaubbelastung [g/m^3]
- t_E Taktzeit bis zur Filterabreinigung (Dauer der Filtrationsperiode) [h]

Die experimentell zu ermittelnden Widerstände K_F und K_K hängen außerdem von den Eigenschaften des Filtermaterials und des Staubs, von der Filterflächenbelastung und der Abreinigungs-Intensität ab. Diese Methode ermöglicht aber Aussagen über den zu erwartenden Druckverlust Δp bei unterschiedlichen Taktzeiten t_E und Rohluftstaubbelastungen C_A .

Tabelle 3.5.6 Bauarten, Wirkungsweisen, Einsatzgebiete, Kenngrößen und Vor- und Nachteile filternder Abscheider [42]

Bezeichnung	Speicherfilter	Schlauchfilter	Taschenfilter	Taschenfilter	Patronenfilter	Kompaktfilter	Sinterfilter
Abreinigung	ohne Abreinigung	Druckluftimpuls	Druckluftimpuls	Spülluft	Vibration	Druckluftimpuls	Druckluftimpuls
Systembild							
Wirkungsweise	Abscheidung von Partikeln am Filtermedium durch Massenkraft, Sperreffekt, Diffusion, elektrostatische Kräfte. Abscheidevorgang abhängig von Partikelgröße und -konzentration, Agglomerationsverhalten, Gastemperatur und -feuchte, Anströmgeschwindigkeit und Aufbau des Filtermediums Partikel werden in Wirrfasermatten oder plissierten Papier- oder Kunststoffen gespeichert. In der Regel nicht regenerierbar	Bildung eines die Filterwirkung unterstützenden Filterkuchens – Regeneration durch zyklische Abreinigung mittels Druckluftimpuls, Gegenspülung bzw. Vibration	Flexible Filtermedien aus vorwiegend synthetischen Vliesen oder Nadelvliesen als dreidimensionale Tiefenfilter oder als Oberflächenfilter durch Verdichtung, Beschichtung oder Membranen Schläuche auf Stützkörbe aufgezogen nur vertikal oder mit eingegähnten Stützringen einbaubar Taschen auf Stützrahmen aufgezogen horizontal oder vertikal einbaubar	Starre, selbsttragende Filterelemente aus sternförmig gefalteten Papier- oder Kunststoffen mit Membrane, horizontal oder vertikal Einbau	Kleinere bis mittelgroße Anlagen für kontinuierlichen Betrieb, auch für Feinstäube	aus plissierten, thermofixierten Kunstfasern, auch mit Membrane, horizontal oder vertikal	aus gesinterten Kunststoffen, meist mit PTFE-Beschichtung oder aus Keramikinter, horizontal o. vertikal
Einsatzgebiete	Zu-, Ab- und Umluftfilter in der Raumlufttechnik	Breites Anwendungsgebiet zur Abscheidung vorzugsweise trockener Partikel aus industrieller Abluft und Abgasen, Temperaturbereiche bei Filtermedien aus Kunststoff bis ca. 260 °C, aus Metall und Keramik bis ca. 800 °C. Feuchte Ringe, zum Anbacken neigende Stäube oder chemischer Angriff nur bei Verwendung für den speziellen Einsatzfall geeigneter Filtermedien möglich	Vorwiegend mittlere bis große Anlagen für alle Anwendungsbereiche und kontinuierlichen Betrieb	Vorwiegend dezentrale Entstaubungsgeräte für diskontinuierlichen Betrieb	Kleinere bis mittelgroße Anlagen für kontinuierlichen Betrieb, auch für Feinstäube	1.000 bis 100.000 m³/h 0,5 bis 2,0 m/min	1.000 bis 100.000 m³/h 0,5 bis 1,5 m/min
Bemerkungen	Sekundärfilter nach Abreinigungsfiltern	5.000 bis 500.000 m³/h 1,0 bis 3,5 m/min	1.000 bis 100.000 m³/h 1,0 bis 3,5 m/min	500 bis 10.000 m³/h 0,5 bis 1,5 m/min	300 bis 10.000 m³/h	1.000 bis 100.000 m³/h 0,5 bis 2,0 m/min	1.000 bis 100.000 m³/h 0,5 bis 1,5 m/min
Volumenströme	500 bis 100.000 m³/h bis ca. 2,5 m/s	5.000 bis 500.000 m³/h 1,0 bis 3,5 m/min	1.000 bis 100.000 m³/h 1,0 bis 3,5 m/min	500 bis 10.000 m³/h 0,5 bis 1,5 m/min	300 bis 10.000 m³/h	1.000 bis 100.000 m³/h 0,5 bis 2,0 m/min	1.000 bis 100.000 m³/h 0,5 bis 1,5 m/min
Anströmgeschwindigkeit	100 bis 600 Pa	600–2.000 Pa	600–2.000 Pa	600–2.000 Pa	1.000–2.500 Pa	800–2.000 Pa	1.500–3.000 Pa
Druckverluste	maximal 20 mg/m³	bis ca. 100 g/m³	bis ca. 50 g/m³	bis ca. 10 g/m³	bis ca. 5 g/m³	bis ca. 20 g/m³	bis ca. 20 g/m³
Rohgaskonzentration	0,01–1 mg/m³	1–10 mg/m³	0,5–10 mg/m³	5–10 mg/m³	0,5–10 mg/m³	0,1–1 mg/m³	0,1–1 mg/m³
Reingaskonzentration	Hohe Abscheideleistung für feinste Stäube möglich	Anpassung an unterschiedlichste Betriebsbedingungen durch große Auswahl verschiedener Filtermedien und sehr effektive Abreinigung, niedrige Reststaubgehalte durch Trend zur Oberflächenfiltration	Geringe Wieder- und Gegenbeaufschlagung, schonende Off-line-Abreinigung, geringer Verschleiß des Filtermediums, sehr wartungsfreundlich	Preiswerte Komplettgeräte mit Ventilator und Staubsammelbehälter, mobile Ausführung möglich	Etwas doppelte Filterfläche gegenüber Taschenfiltern auf gleichem Raum, geringer Verschleiß und lange Standzeiten der Filterelemente, kaum Partikedurchtritt beim Druckluftimpuls, hohe Abscheidegrade auch bei Feinststäuben, z. B. metallurgische Rauhne	Hohe chemische bzw. Temperaturbeständigkeit	Vergleichsweise hohe Druckverluste, geringer flächenbelastbar
Vorteile	Wegen großer Bauhöhen i. allg. nicht für Innenaufstellung	Erhöhter Verschleiß und Partikedurchtritt beim Druckluftimpuls möglich	Erhöhter Verschleiß und Partikedurchtritt beim Druckluftimpuls möglich	Nur für trockene und freiliegende Stäube bei geringer Filterflächenbelastung	Nur für trockene und freiliegende Stäube bei geringer Filterflächenbelastung	Nur für trockene und freiliegende Stäube bei geringer Filterflächenbelastung	Nur für trockene und freiliegende Stäube bei geringer Filterflächenbelastung
Nachteile	Nur sehr geringe Rohgaskonzentrationen Während des Betriebs ansteigender Druckverlust, Standzeit maximal 6 Monate	Erhöhter Verschleiß und Partikedurchtritt beim Druckluftimpuls möglich	Erhöhter Verschleiß und Partikedurchtritt beim Druckluftimpuls möglich	Nur für trockene und freiliegende Stäube bei geringer Filterflächenbelastung	Nur für trockene und freiliegende Stäube bei geringer Filterflächenbelastung	Nur für trockene und freiliegende Stäube bei geringer Filterflächenbelastung	Nur für trockene und freiliegende Stäube bei geringer Filterflächenbelastung

Schütttschichtfilter werden nur bei klebrigen oder abrasiven Stoffen oder bei sehr hohen Gastemperaturen angewendet, sofern es für diese Bedingungen noch kein geeignetes Faserschichtfiltermaterial gibt. Je nach Wahl des Schüttguts kann neben der Staubabscheidung in Schütttschichtfiltern auch eine Schadgasadsorption erfolgen. Das Schüttgut kann aus Kies, Sand, Kalkstein oder Koks im Korngrößenbereich von 0,3 mm bis ca. 5 cm bestehen. Die Schichthöhe kann mehrere Meter betragen. Die zu reinigende Luft sollte mit 0,5 bis zu 2 m/s (Leerrohrgeschwindigkeit) durch die Schüttung strömen. Auch bei Schütttschichtfiltern ist eine Reinigung des Filtermediums durch Gegenstromspülung, durch mechanisches Rütteln in Verbindung mit Spülluft oder durch verschiebbare Düsen möglich. Die zu reinigende Filtereinheit muss jedoch während des Abreinigungs-Vorgangs vom Luftstrom getrennt werden. Eine kontinuierliche Luftreinigung und eine gleichzeitige Filter-Abreinigung ist in einer einfachen Schütttschichtfiltereinheit nicht möglich.

Anders sieht es bei einem sogenannten Gegenstrom-Schüttelfilter aus, bei dem die zu reinigende Luft in der Regel von unten einströmt und das Schüttgut von unten nach oben durchströmt, während das Schüttgut als Filtermaterial ständig im Gegenstrom von oben her erneuert und das beladene Schüttgut unten abgezogen wird. Es kann dann gereinigt und dem Filter anschließend oben wieder zugeführt werden. Schütttschichtfilter haben eine schlechtere Abscheideleistung als Faserschichtfilter.

Deshalb werden sie nur bei schwierigen Einsatzbedingungen verwendet:

- bei harten und verschleißenden Stäuben
- bei hohen Temperaturen (bis zu 1.000 °C)
- bei Gefahr von Funkenflug
- bei zündfähigen Stäuben
- bei zusätzlicher Entfernung gasförmiger Gefahrstoffe (z. B. SO₂, HCL, HF) durch Zusatz von gebrochenem Kalkstein

3.5.3 Abscheidung von dampf- und gasförmigen Stoffen

3.5.3.1 Kondensationsverfahren

Enthält die abgesaugte Luft Zusatzstoffe, die als flüchtige Bestandteile aus der Abluft abgeschieden werden sollen, weil sie nicht mit der Abluft ins Freie gelangen dürfen oder weil sie als Wertstoff zurückgewonnen werden sollen (z. B. Lösemittel), können Kondensat-Abscheider eingesetzt werden. Kondensat-Abscheider sind verfahrenstechnisch „Kühlfallen“ zur Auskondensierung von Stoffen aus dem Luftstrom durch Unterschreitung des Taupunkts. Dazu kann eine Abkühlung auf sehr tiefe Temperaturen notwendig sein. Für die Anwendung dieses Verfahrens ist die Kenntnis der Dampfdruckkurven beziehungsweise der Lösemittelkonzentrationen bei Sättigung (Sättigungskonzentration) unerlässlich.

Tabelle 3.5.7 Charakteristische Daten typischer Adsorbentien [2]

Adsorbens	Schüttdichte [kg/m ³]	Spezifische Oberfläche [m ² /g]	Desorptions-Temperaturbereich (°C)
Aktivkohle	300 bis 500	1.000 bis 1.500	100 bis 150
Aktivkohle engporig	400 bis 500	600 bis 1.000	100 bis 150
Aktivkoks	600	100	300 bis 500
Kohlenstoff-Molekularsieb (CMS)	600 bis 890		
Zeolithisches Molekularsieb (ZMS)	650 bis 750	800 bis 1.100	200 bis 300

3.5.3.2 Adsorptionsverfahren

Unter Adsorption versteht man die Bindung von Gasen und Dämpfen an die Oberfläche eines festen, porösen Stoffes (Adsorbens). Adsorptionsfilter sind mit Pufferspeichern vergleichbar, die die Gase und Dämpfe bis zur vollständigen Beladung der spezifischen Oberfläche zurückhalten, aber nicht komplett beseitigen. Wenn die Oberfläche komplett beladen ist („Pufferspeicher ist voll“), kommt es zum sogenannten Durchbruch. Dennoch ist die Adsorption das am häufigsten eingesetzte Verfahren zur Gasabscheidung. Als Adsorbentien werden zum Beispiel Aktivkohle (bei Bedarf imprägniert und in mehreren Schichten), Silicagel, Zeolithe oder makroporöse Polymere eingesetzt, die sehr große spezifische Oberflächen aufweisen.

Die Adsorption kann dabei in einem Festbett-, Fließbett- oder Wirbelbett-Adsorber durchgeführt werden. Verbreitet sind Festbett-Adsorber, zum Beispiel in Form von Filterplatten oder Filterpatronen, die mit dem Adsorbens befüllt werden. Das Adsorbens muss regelmäßig vor Erreichen des Sättigungszustands ausgetauscht oder durch Desorption regeneriert werden. Die begrenzte Standzeit und das Erkennen des richtigen Wechselzeitpunkts stellt beim Betrieb von Adsorptionsabscheidern ein grundsätzliches Problem dar.

3.5.3.3 Absorptionsverfahren

Bei der Absorption werden gasförmige oder dampfförmige Luftverunreinigungen (Absorptiv) in einer Waschflüssigkeit als Lösemittel aufgenommen und entweder nur gelöst (physikalische Absorption) oder gelöst und zusätzlich chemisch in lockere chemische Verbindungen umgesetzt (chemische Absorption). Die in der Waschflüssigkeit aufgenommene Komponente heißt dann Absorpt. Durch physikalische Absorption lassen sich zum Beispiel Ammoniak, Schwefeloxide oder Stickoxide in einem Wäscher auswaschen. Für Schadstoffe wie Phosgen, Brom-, Chlor-Fluor- oder Schwefelwasserstoff verwendet man wässrige Waschmedien (Absorbentien), die mit alkalischen Zusätzen wie Natrium- oder Calcium-Hydroxid, Natriumcarbonat oder Ammoniak versehen sind. Ein verbreitetes Beispiel für die chemische Absorption ist auch die Abscheidung von Aminen aus der Kern-Formherstellung in Gießereien, bei der die aminbeladene Abluft mit verdünnter Schwefelsäure neutralisiert wird.

Die Apparate, die man für eine Absorption benötigt, wurden bereits unter Abschnitt 3.5.2.1.3 „Nasswäscher“ vorgestellt. Auch für die Absorption muss eine möglichst große Kontaktfläche zwischen zu reinigender Luft und Waschflüssigkeit hergestellt werden. Das kann zum Beispiel durch Sprühwäscher, Glockenbodenkolonnen oder Füllkörperkolonnen geschehen.

3.5.3.4 Oxidationsverfahren (thermisch und katalytisch)

Bei der thermischen (Temperaturbereich $\vartheta_{FO} = 750^\circ\text{C} \dots 1.200^\circ\text{C}$) und der katalytischen (Gegenwart von Katalysatoren, Temperaturbereich $\vartheta_{FO} = 200^\circ\text{C} \dots 400^\circ\text{C}$) Oxidation werden unerwünschte Abluftbestandteile (z. B. Anteile mit C, H und O in organischen Verbindungen) durch Umsetzung mit Sauerstoff in unbedenkliche Stoffe (idealerweise in CO_2 und H_2O) überführt.

Im Idealfall setzt ein Katalysator die notwendige Aktivierungsenergie (Reaktionstemperatur) herab und nimmt letztlich nicht an der Verbrennungs-Reaktion teil. Ein Zusatzbrennstoff (z. B. Erdgas) dient dazu, die Brennkammer auf die notwendige Reaktionstemperatur aufzuheizen. Folglich ist bei der katalytischen Verbrennung weniger Zusatzbrennstoff notwendig. Zu beachten ist dabei, dass stickstoff-, schwefel- oder halogenhaltige organische Abluftbestandteile zu unerwünschten Nebenreaktionsprodukten führen können. Bei unvollständiger Verbrennung (z. B. bei zu wenig O_2 oder zu hoher Strömungsgeschwindigkeit) können ebenso unerwünschte Nebenprodukte wie CO oder Formaldehyd entstehen.

Eine typische Anwendung ist die Reinigung kohlenwasserstoffhaltiger oder lösemittelhaltiger Abluftströme in der chemischen Industrie oder aus Lackieranlagen in der Automobilindustrie.

Die Tabelle 3.5.8 zeigt einige Beispiele von Oxidationsverfahren in der Abluftreinigung mit der zu erwartenden Temperaturerhöhung:

Tabelle 3.5.8 Beispiele von eingesetzten Oxidationsverfahren in der Abluftreinigung [2]

Einsatzgebiet	Emittierte Schadstoffe		Temperaturerhöhung durch Verbrennung in °C
	Art	Konzentration in g/m ³ _N	
Lackrocknung, PVC-Verarbeitung	Lösemittel	0,5 bis 15	20 bis 400
Papierbeschichtung	Lösemittel, Styrol	bis 10	bis 350
Folienbeschichtung, Tiefdruck, Druckmaschinen	Xylol, Toluol	5 bis 20	150 bis 600
Drahtlackierung	Phenol, Kresol, Formaldehyd	0,5 bis 1,0	15 bis 30

3.5.3.5 Biologische Abluftreinigung

Die biologische Abluftreinigung erfolgt mit Biowäschern oder Biofiltern und beruht auf dem Abbau von organischen Stoffen durch Mikroorganismen, wobei im Idealfall CO₂ und H₂O als Endprodukte verbleiben. Dieser Vorgang wird auch als biologisches Sorptionsverfahren bezeichnet.

Biowäscher werden in Apparate mit Belebtschlamm (Belebtschlamm-Verfahren) und Apparate mit Tropfkörper (Tropfkörper-Verfahren) eingeteilt.

Beim **Belebtschlamm-Verfahren** sind die Mikroorganismen in einer Waschflüssigkeit (überwiegend Wasser) frei beweglich und nehmen dort die Schadstoffe als Nahrung auf. So bilden die Mikroorganismen mit der Waschflüssigkeit den Belebtschlamm. In sogenannten Belebungsbecken wird die Waschflüssigkeit regeneriert.

Bei den **Tropfkörper-Verfahren** befinden sich lose Schüttungen oder feste Packungen (Füllkörper) als Einbauten in Waschapparaten. Auf diesen Einbauten sind die Mikroorganismen als „biologischer Rasen“ fest angesiedelt. Sie werden ständig mit einer umlaufenden Waschflüssigkeit benetzt.

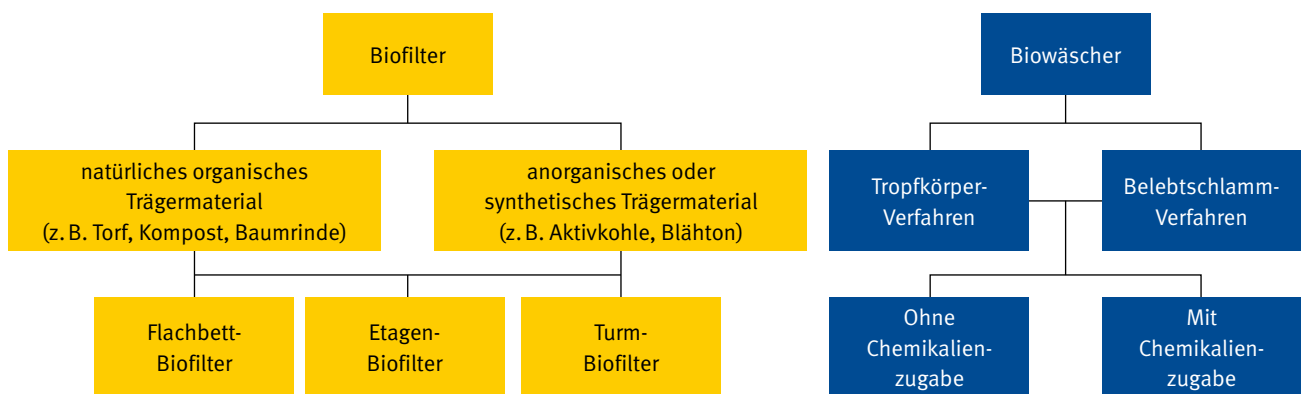
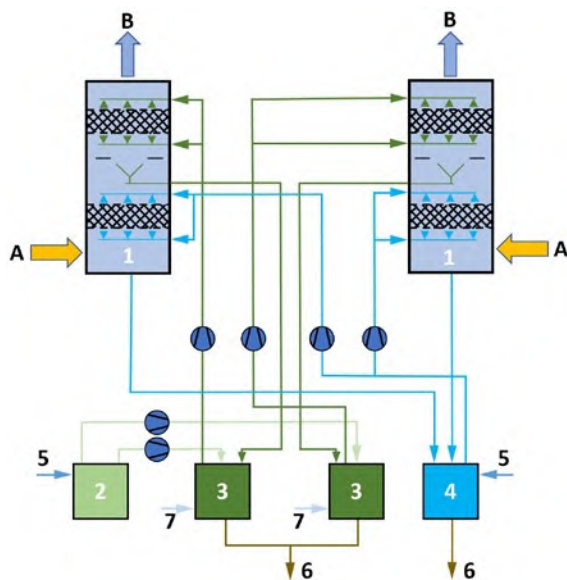


Abb. 3.5.10 Einteilung der biologischen Sorptionsverfahren in Biofilter und Biowäscher [2]

Biofilter bestehen aus einer Schüttung aus organischem Trägermaterial (z. B. Torf-Heidekraut) als offene Flächenfilterbeete oder sind als gekapselte Fallstrom-Filter mit anorganischem oder synthetischem Trägermaterial (z. B. Aktivkohle, Blähton) ausgeführt.

Der Einsatzbereich von Biowäschern hat sich inzwischen auf geringkonzentrierte Abluftströme mit biologisch abbaubaren Inhaltsstoffen erweitert (z. B. bei organischen Lösemitteln in Lackieranlagen oder Gießereien, siehe folgendes Anlagenbeispiel).



In der Darstellung bedeuten:

- A Rohgas
- B Reingas
- 1 Gaswäscher
- 2 Nährlösungsbehälter
- 3 Belebungsbecken
- 4 Wasserbehälter für die Vorwäsche
- 5 Frischwasser
- 6 Schlamm
- 7 Belüftung

Abb. 3.5.11 Biologische Gaswäsche in einer Metallgießerei als schematische Darstellung

3.6 Abluft/Zuluft

Luftströmungen in Absauganlagen werden nach ihrer Herkunft und Zielrichtung unterschieden. Die Definition der einzelnen Luftarten nach DIN EN 16798-3 beziehungsweise

DGUV Regel 109-002 sind Abbildung 3.6.1 zu entnehmen und in Tabelle 3.6.1 definiert. Sie werden im Folgenden verwendet.

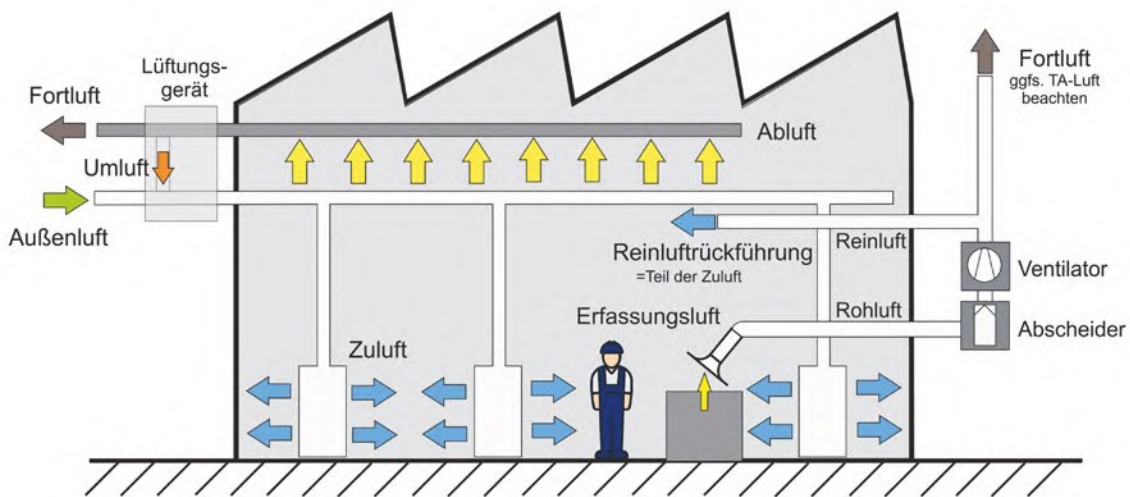


Abb. 3.6.1 Luftarten

Tabelle 3.6.1 Luftarten

Luftart	Farbe	Definition
Außenluft	Grün	Unbehandelte Luft, die von außen in die Anlage oder in eine Öffnung einströmt
Zuluft	Blau	Die gesamte dem Raum zuströmende Luft
Abluft	Gelb	Die aus dem Raum abgeführte Luft ohne den Erfassungsluftstrom
Umluft	Orange	Die Abluft, die in einer lufttechnischen Anlage als Zuluft wiederverwendet wird
Fortluft	Braun	Die ins Freie abgeführte Luft
Erfassungsluft	Gelb	Luftstrom, der über die Erfassungseinrichtung abgeführt wird, um luftfremde Stoffe aus dem Arbeitsbereich zu entfernen Dieser Luftstrom wird auch als Rohluft bezeichnet.
Reinluft Reinluft (Rückluft, zurückgeführte Luft)	Blau	Erfassungsluftstrom, der nach Behandlung (Reinigung, Trocknung) dem selben Raum wieder zugeführt wird Dieser Luftstrom wird auch als Reinluft bezeichnet.

Wichtig für den Betrieb von Absauganlagen sind die Luftarten Erfassungsluft, Rückluft und Zuluft.

Häufig werden Absauganlagen mit zurückgeführter Luft betrieben. Dieser Fall wird oft mit dem Umluft-Betrieb verwechselt. Der Umluft-Betrieb bezieht sich nur auf die Raumluft.

3.6.1 Erfassungsluft (Abluft)

Erfassungsluft ist bei Absauganlagen in der Regel der Luftvolumenstrom, der dem Raum durch die Anlage entnommen wird. Allgemein lüftungstechnisch betrachtet ist sie ein Teil der Abluft des Raums.

Entsprechend der Betriebsweise der Absauganlage wird der für die Erfassung und den Abtransport der Stoff- oder Wärmelasten notwendige Erfassungsluftstrom als Rückluft nach Reinigung wieder dem Raum zugeführt oder als Fortluft nach draußen abgegeben. Wird der Erfassungsluftstrom ins Freie geführt, muss zum Ausgleich der Raumluftbilanz ausreichend Außenluft zugeführt werden.

Auch Mischbetrieb (teilweise Rückluft, teilweise Fortluft) ist aus energetischen Gründen möglich.

3.6.2 Zuluft

Die Zuluft beinhaltet in der Regel Außenluft und kann auch aus Umluft (einer raumlufttechnischen Anlage) und Rückluft aus einer Absauganlage bestehen. Auch hier kann ein Mischbetrieb (teilweise Außenluft, teilweise Rückluft) gefahren werden.

Wird eine Absauganlage im Arbeitsbereich mit Fortluft betrieben, muss zum Ausgleich der Raumluftbilanz ausreichend Außenluft zugeführt werden. Diese muss – den äußeren Bedingungen entsprechend – gefiltert oder erwärmt werden. Bei Luftrückführung sind aus energetischen Gründen Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung zu prüfen.

Strömt nicht ausreichend Luft nach, hat das unter Umständen Einfluss auf den Arbeitspunkt des Ventilators und damit auf den geförderten Volumenstrom der Anlage. Im Raum wird ein Unterdruck erzeugt. Dieser Unterdruck liegt zwischen typischerweise 50–100 Pa und maximal 300 Pa.

Sicht- und fühlbare Auswirkungen fehlender Zuluft oder des entstandenen Unterdrucks sind zum Beispiel schwer oder gar nicht mehr zu öffnende Türen und Sektional- oder Schnellauftore, die sich in die Halle hinein wölben.

Die Höhe des erzeugten Unterdrucks und der Einfluss auf den von der Absauganlage geförderten Volumenstrom hängt ab von

- der Leistung der Absauganlage (Kennlinie des Ventilators)
- der Größe des Arbeitsraums (Größere Räume weisen in der Regel mehr Öffnungen und Undichtigkeiten auf als kleinere Räume)
- der Dichtigkeit des Raums/des Gebäudes

Überschreitet der Erfassungsluftvolumenstrom im Fortluftbetrieb einen

$$\text{Luftwechsel} = \frac{\text{Erfassungsluftvolumenstrom}}{\text{Raumvolumen}} \geq (1,5 \dots 2,0) \frac{1}{h} \quad (3.6. - 1)$$

wird eine mechanische Nachströmung empfohlen. Neuere Gebäude, die der Energieeinsparverordnung entsprechen, sind wesentlich dichter als der Altbestand. Hier kann ein Einfluss auf den Arbeitspunkt der Anlage auch schon bei geringeren Volumenströmen auftreten als oben angegeben.

Die Zuluft-Nachführung erfolgt über freie oder mechanische Nachströmung. Bei freier Nachströmung wird diese Luft als Infiltration bezeichnet.

3.6.2.1 Freie Nachströmung

Bei der freien Nachströmung strömt die Luft durch geeignete Öffnungen in den Gebäudewänden nach. Die zwangsläufig bei der Durchströmung der Zuluft-Flächen entstehenden Druckverluste müssen durch die Absauganlage aufgebracht werden.

Freie Nachströmung ist kostengünstig bei der Anschaffung. Die Zuluft wird nicht erwärmt oder gekühlt, hängt also direkt von den Witterungsbedingungen ab.

Freie Nachströmung ist auch stark abhängig von der Wärmelast und den vorhandenen Absauganlagen. Sie birgt die Gefahr von Zugluft, die durch Windeinfluss noch verstärkt werden kann und in der kalten Jahreszeit als besonders unangenehm empfunden wird.

Durch unkontrollierte freie Nachströmungen können Quer- und Störströmungen auftreten, die besonders bei offenen Erfassungselementen die Erfassung deutlich verschlechtern.

Fertigungshallen haben typischerweise eine natürliche Luftwechselrate von 0,25 bis 1 pro Stunde. Einfluss auf den Luftwechsel im Gebäude haben auch die dort stattfindenden Fertigungsprozesse und die Nutzung von Türen, Toren und Fenstern.

3.6.2.2 Mechanische Nachströmung

Wird die Außenluft mechanisch zugeführt, erfolgt ein witterungsunabhängiger Ausgleich der Raumluftbilanz. Die Zuluft kann thermodynamisch behandelt werden und mit den geeigneten Luftauslässen für eine sinnvolle Durchströmung des Raums sorgen. Im Gegensatz zur freien Nachströmung, die nur im Wand- und Deckenbereich möglich ist, kann die mechanisch zugeführte Zuluft an geeigneten Stellen im Raum – auch im Bodenbereich – zugeführt werden.

Entscheidend für die Qualität des Zuluft-Stroms sind die Luftdurchlassöffnungen. Grundsätzlich sind hier fünf Bauartgruppen zu unterscheiden:

Tabelle 3.6.2 Bauarten von Luftdurchlässen

Luftdurchlässe	Bauart	
Strahl-Luftdurchlässe	erzeugen einen oder mehrere runde, rechteckige oder ebene Freistrahlen in eine oder mehrere Richtungen. Der Geschwindigkeits- und Temperaturabbau im Strahl folgt den Gesetzen für Freistrahlen.	
Radial-Luftdurchlässe	erzeugen radiale Freistrahlen oder radiale Wandstrahlen; im Vergleich zum einfachen Freistrahle wird durch die radiale Strahl- ausbreitung ein schnellerer Geschwindigkeits- und Temperatur- abbau erreicht.	
Drall-Luftdurchlässe	erzeugen mittels Drallscheiben oder Drallschaufeln mehrere, tan- gential austretende Freistrahlen mit hoher Turbulenz, wodurch eine schnelle Vermischung mit der umgebenden Luft erreicht wird. Bei ver- stellbaren Drall-Luftdurchlässen kann durch Verstellung der Drallschei- ben oder -schaufeln die Ausbreitungscharakteristik der Einzelstrahlen in einem weiten Bereich verändert und der jeweils erforderlichen Luftbehandlungsfunktion (Heizen oder Kühlen) angepasst werden.	
Luftdurchlässe für impulsarme Luftzufuhr	sind großflächige Luftaustritte mit niedrigen Luftgeschwindigkeiten durch unbestimmte Austrittsgeometrie (Vliesmatten) oder durch kleine Einzelluftstrahlen (Lochblech), die zu einem schnellen Geschwindigkeitsabbau führen.	
Textil-Luftdurchlässe	bestehen aus durchlässigem Textilmaterial, durch das die Luft mit geringer Geschwindigkeit über die gesamte Oberfläche austritt. So kann eine weitgehend zugfreie und gleichmäßige Verteilung der Luft erreicht werden.	

Die Kenndaten der Luftdurchlassöffnungen, zum Beispiel die zulässigen Luftvolumenströme und die sich daraus ergebenden Luftgeschwindigkeiten vor den Öffnungen, sind den entsprechenden Datenblättern der Hersteller zu entnehmen.

3.6.2.3 Luftbedarf für die anwesenden Personen

Üblicherweise bestimmt der Luftvolumenstrom einer Absauganlage im Fortluftbetrieb den nachzuliefernden Außenluftvolumenstrom. Bei Volumenströmen aus Absauganlagen spricht man von Prozessluft.

In sehr seltenen Ausnahmefällen ist der Absaugvolumenstrom so gering, dass der Luftbedarf der im Raum anwesenden Personen zur bestimmenden Größe für die Lüftung wird. Das gleiche gilt auch für den reinen Rückluftbetrieb einer Absauganlage, wenn keine Zufuhr von Außenluft vorgesehen ist.

Empfohlene Auslegungsluftvolumenströme für diesen Fall sind nach DIN EN 16798-3 in Verbindung mit DIN EN 15251 ca. $40 \text{ m}^3/\text{Person}/\text{h}$ für leichte Tätigkeiten wie Büroarbeit. Für mittelschwere Tätigkeiten kann der dreifache Wert angesetzt werden. Bei schweren Tätigkeiten kann der Außenluftbedarf auf das Zehnfache ansteigen. Dieser Außenluftvolumenstrom dient zur Abfuhr der von den anwesenden Personen erzeugten CO_2 -Mengen. Aufgrund der in der Regel großen Hallenvolumina bezogen auf den Luftbedarf der Beschäftigten treten hier in der Praxis normalerweise keine Probleme auf.

3.6.2.4 Zugluft

Zugluft ist ein störender Luftzug, der zu einer lokalen Abkühlung insbesondere an unbedeckten Körperflächen führt. Zugluft kann sowohl durch freie Lüftung als auch durch Lüftungsanlagen hervorgerufen werden.

Die Arbeitsstättenverordnung, konkretisiert durch die Arbeitsstättenregel ASR A 3.6 „Lüftung“, fordert, dass in Aufenthaltsbereichen keine unzumutbare Zugluft auftreten darf.

Das Empfinden von Zugluft ist abhängig von

- Lufttemperatur
- Luftgeschwindigkeit
- Turbulenzgrad
- Art der Tätigkeit (Aktivitätsgrad)

Zugluft wird individuell sehr unterschiedlich empfunden. Weiterhin werden Luftströmungen an verschiedenen Körperteilen sehr unterschiedlich wahrgenommen. Daher spielt auch die Bekleidung bei der Empfindung von Zugluft eine große Rolle. Weitergehende Informationen zur Bewertung von Zugluft stehen in der DIN EN ISO 7730.

Bei der Planung von Absauganlagen und der dazugehörigen Zuluft-Führungen und -Auslässe ist daher die Lage der Arbeitsplätze und anderer Aufenthaltsorte der Beschäftigten zu berücksichtigen.

3.6.2.5 Durchströmung des Raums

Die Anordnung von Zuluft-Öffnungen hat wesentlichen Einfluss auf die Durchströmung des Raums:

- Es muss auf Vermeidung von Zugluft geachtet werden.
- Bei der Verwendung von offenen und halboffenen Erfassungselementen müssen Querströmungen berücksichtigt werden, die durch die Zuluft verursacht werden können.
- Es muss darauf geachtet werden, keine internen Lüftungskurzschlüsse zu erzeugen.

Die Durchströmung des Raums hängt von Art, Leistung und Anordnung der jeweiligen Absauganlagen ab (siehe Abschnitt 3.2: „Prinzipien der Erfassung und Konstruktion von Erfassungselementen“).

3.6.3 Fortluft

Für viele Absauganwendungen ist die Fortluft die einzige wirtschaftliche umsetzbare Maßnahme zum Schutz der Beschäftigten vor Gefahrstoffbelastungen. Das gilt besonders bei gasförmigen Emissionen.

Die fortgeleiteten Stoffe stellen eine Belastung der Umwelt dar. Damit fällt der Fortluftbetrieb auch in den Geltungsbereich des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG). Das BImSchG dient der Umsetzung der Industrie-Emissions-Richtlinie 2010/75/EU. Die Industrie-Emissions-Richtlinie bildet EU-weit die Grundlage für die Genehmigung besonders umweltrelevanter Industrieanlagen.

Hinweis:

Die EU Kommission veröffentlicht sogenannte BVT-Merkblätter (**B**este **v**erfügbare **T**echniken) zu verschiedenen Anwendungsfällen. Diese Merkblätter sind eines der Kriterien zur Bestimmung des Stands der Technik nach BImSchG.

Beispiele (nicht vollständig):

- Abfallbehandlungsanlagen
- Abfallverbrennungsanlagen
- Abwasser- und Abgasbehandlung/-management in der chemischen Industrie
- Eisen- und Stahlherzeugung
- Energieeffizienz
- Gießereien
- Glasherstellung
- Herstellung von Platten auf Holzbasis
- Keramikindustrie
- Lagerung gefährlicher Substanzen und staubender Güter
- Nichteisenmetallindustrie
- Oberflächenbehandlung unter Verwendung von organischen Lösemitteln
- Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen (Galvanik)
- Stahlverarbeitung
- Zellstoff- und Papierindustrie

Das Ziel des BImSchG ist der Schutz von Menschen, Tieren, Pflanzen, Boden, Wasser, Atmosphäre, Kultur- und sonstigen Sachgütern vor schädlichen Umwelteinflüssen sowie die Vermeidung und Verminderung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Emissionen in Luft, Wasser und Boden.

Das BImSchG gilt unter anderem auch für die Errichtung und Betrieb von Anlagen.

Anlagen im Sinne des BImSchG sind:

- Betriebsstätten und sonstige ortsfeste Einrichtungen
- Maschinen, Geräte und sonstige ortsveränderliche technische Einrichtungen

Das BImSchG hat einen noch weiter gefassten Anwendungsbereich. Hier wird nur auf die relevanten Anlagen eingegangen.

Anlagen, die in besonderem Maße geeignet sind

- schädliche Umwelteinwirkungen hervorzurufen,
 - die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft zu gefährden, erheblich zu benachteiligen oder erheblich zu belästigen
- bedürfen einer Genehmigung.

Die Bundesregierung bestimmt mit der 4. BImSchV „Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbe-

Tabelle 3.6.3 Gruppen genehmigungsbedürftiger Anlagen (nach 4. BImSchV, Anhang I)

Gruppe	Kriterien für die Genehmigungsbedürftigkeit von Anlagen
1	Wärmeerzeugung, Bergbau und Energie
2	Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe
3	Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung
4	Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung
5	Oberflächenbehandlung mit organischen Stoffen, Herstellung von bahnenförmigen Materialien aus Kunststoffen, sonstige Verarbeitung von Harzen und Kunststoffen
6	Holz, Zellstoff
7	Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse
8	Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen
9	Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Gemischen
10	Sonstige Anlagen

dürftige Anlagen)“ die Anlagen, die einer Genehmigung bedürfen. Diese genehmigungsbedürftigen Anlagen sind im Anhang I der 4. BImSchV aufgeführt.

Der Anhang I ist in 10 Gruppen aufgeteilt (siehe Tabelle 3.6.3 auf Seite 57). In diesen Gruppen finden sich die Kriterien für die Genehmigungsbedürftigkeit von Anlagen.

Die Genehmigung von genehmigungsbedürftigen Anlagen erfolgt durch die zuständigen staatlichen Arbeitsschutzstellen. Die frühzeitige Information dieser Stellen ist daher notwendig.

3.6.3.1 *Pflichten der Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen*

Anlagen sind so zu betreiben, dass

- schädliche Umwelteinwirkungen nicht hervorgerufen werden können,
- Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen getroffen wird,
- Abfälle vermieden werden oder nicht zur Beeinträchtigung der Allgemeinheit führen,
- Energie sparsam und effizient verwendet wird.

Nach einer eventuellen Einstellung des Betriebs

- dürfen keine schädlichen Umwelteinwirkungen hervorgerufen werden,
- müssen vorhandene Abfälle ohne Beeinträchtigung des Allgemeinwohls beseitigt werden,
- muss die Wiederherstellung eines ordnungsgemäßen Zustands des Grundstücks gewährleistet sein.

3.6.3.2 *Pflichten der Betreiber nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen*

Auch nicht genehmigungspflichtige Anlagen sind so zu betreiben, dass

- schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind,
- nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden,
- die beim Betrieb der Anlagen entstehenden Abfälle ordnungsgemäß beseitigt werden können.

3.6.3.3 *TA-Luft*

Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft – ist die Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. Sie konkretisiert nach der Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichts unbestimmte Rechtsbegriffe des BImSchG durch verbindliche Festlegungen und Vorgaben, um bundeseinheitlich einen gleichmäßigen und berechenbaren Gesetzesvollzug sicherzustellen. Damit kann die TA-Luft – im Gegensatz zu anderen Verwaltungsvorschriften – auch rechtliche Außenwirkung entfalten.

Die TA-Luft dient dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen und der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen. Sie ist bei der Genehmigung genehmigungsbedürftiger Anlagen zu beachten.

Die TA-Luft soll nach ihrem Wortlaut auch für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen Anwendung finden. Sie kann angewendet werden, um zu überprüfen, ob Betreiberpflichten nach § 22 BImSchG (Pflichten der Betreiber nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen) erfüllt wurden.

Die Vorschriften des Kapitels 5 „Anforderungen zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen“ der TA-Luft enthalten:

- Emissionswerte, deren Überschreitung nach dem Stand der Technik vermeidbar ist,
- emissionsbegrenzende Anforderungen, die dem Stand der Technik entsprechen,
- sonstige Anforderungen zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen,
- Verfahren zur Ermittlung der Emissionen und
- Anforderungen zur Ableitung von Abgasen.

Die maximal zulässigen Emissionen sind im Kapitel 5 der TA-Luft aufgeführt und entsprechend dem Stand vom 24. Juli 2002 dem Anhang 8.5. zu entnehmen.

3.6.3.4 *Schornsteine*

Die Fortluft ist so abzuleiten, dass ein ungestörter Abtransport mit der freien Luftströmung ermöglicht wird. In der Regel ist eine Ableitung über Schornsteine erforderlich, deren Höhe vorbehaltlich besserer Erkenntnisse nach den Nummern 5.5.2 bis 5.5.4 der TA-Luft zu bestimmen ist.

3.6.4 Außenluft

Nach Arbeitsstättenverordnung haben alle Beschäftigten Anspruch auf gesundheitlich zuträgliche Atemluft in ausreichender Menge. In der Regel ist das Außenluftqualität.

3.6.4.1 Außenluftqualitäten

Die Beurteilung der Außenluftqualität erfolgt auf Basis der 39. BImSchV (Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen). Die in der Verordnung aufgeführten Immissionsgrenzwerte können zur Beurteilung der vorliegenden Außenluftqualität herangezogen werden. Sollte die Außenluft regelmäßig höher belastet sein, sind weitergehende Maßnahmen (z. B. Außenluftfilterung) zu prüfen.

In der folgenden Tabelle 3.6.4 sind die Grenzwerte der Stoffe aufgeführt, die für die Beurteilung der Außenluftqualität herangezogen werden.

Die Werte am jeweiligen Standort können über die Homepage des Umweltbundesamts (UBA) abgerufen werden.

3.6.4.2 Aussenluftfilterung

Nach DIN EN 16798-3 kann die Außenluft in drei Kategorien eingeteilt werden. Bei der Einteilung in diese Kategorien sollten nationale Normen oder Empfehlungen der WHO (Weltgesundheitsorganisation) herangezogen werden. In Deutschland ist das die 39. BImSchV.

Die Außenluft sollte entsprechend ihrer Kategorie gefiltert werden. Die Filterklassen können Tabelle 3.6.5 entnommen werden.

Üblicherweise ist der Einsatz von Staubfiltern ausreichend. Liegt eine hohe Konzentration an Gasen vor, muss ein Gasfilter (Aktivkohlefilter) und/oder ein chemisches Filter vorgesehen werden.

In vielen Fällen ist es auch sinnvoll, die Ansaugöffnung für die Außenluft in weniger belastete Bereiche zu verlegen.

Tabelle 3.6.4 Beispiele für Immissionsgrenzwerte (nach 39. BImSchV)

Stoff	Immissionsgrenzwert	Bewertung
Stickstoffdioxid NO ₂	40 µg/m ³	Über das Jahr gemittelt
Stickstoffoxide	30 µg/m ³	Über das Jahr gemittelt
Partikel PM 10	40 µg/m ³	Über das Jahr gemittelt
Partikel PM 2,5	25 µg/m ³	Über das Jahr gemittelt
Blei	0,5 µg/m ³	Über das Jahr gemittelt
Benzol	5 µg/m ³	Über das Jahr gemittelt
Kohlenmonoxid CO	10 mg/m ³	Über das Jahr gemittelt
Bodennahes Ozon	120 µg/m ³	8 Stunden Mittelwert
Arsen	6 ng/m ³ in PM10	Über das Jahr gemittelt
Kadmium	5 ng/m ³ in PM10	Über das Jahr gemittelt
Nickel	20 ng/m ³ in PM10	Über das Jahr gemittelt
Benzo(a)pyren	1 ng/m ³ in PM10	Über das Jahr gemittelt

Tabelle 3.6.5 Außenluftfilterung (nach DIN EN 16798-3 *)

Kategorie	Beschreibung	Beurteilung	Filterklasse für Außenluftfilter
1	Saubere Luft, die nur zeitweise staubbelastet ist (z. B. Pollen)	Gilt, wenn alle nationalen Normen zur Qualität der Außenluft eingehalten sind	F8
2	Außenluft mit hoher Konzentration an Staub oder Feinstaub und/oder gasförmigen Verunreinigungen	Gilt, wenn die Verunreinigungskonzentration die Immissionsgrenzwerte um einen Faktor von bis zu 1,5 überschreiten	M5+F8
3	Außenluft mit sehr hoher Konzentration an gasförmigen Verunreinigungen und/oder Staub oder Feinstaub	Gilt, wenn die Verunreinigungskonzentration die Immissionsgrenzwerte um einen Faktor von mehr als 1,5 überschreiten	F7+GF+F9

Anmerkung zu Tabelle 3.6.5:

*) Die Bezeichnungen M5, F7, F8, F9 und GF entstammen der seit Mitte 2018 zurückgezogenen Norm DIN EN 779, die seitdem durch die DIN EN ISO 16890 ersetzt wurde. Nach VDI 3803-4 „Raumlufttechnik, Geräteanforderungen – Luftfiltersysteme“ lassen sich von der alten Filterklassifikation zur neuen Filterklassifikation folgende Entsprechungen ableiten (Prozentangaben entsprechen Abscheidegraden):

M5 ≈ ISO ePM10 ≥ 50 %

F7 (mehrstufig) ≈ ISO ePM2,5 ≥ 65 %

oder

F7 (einstufig) ≈ ISO ePM1 ≥ 50 %

F9 ≈ ISO ePM1 ≥ 80 %

GF ≈ ISO Coarse 20–95 % (in 5 %-Schritten abgestuft)

3.6.5 Reinlufrückführung

Aus Gründen des ausgeglichenen Luft- und Wärmehaushalts wird abgesaugte und gereinigte Luft gerne in den Arbeitsbereich zurückgeführt.

Voraussetzung für die Reinlufrückführung ist die ausreichende Reinigung der belasteten Luft. Von einer ausreichenden Reinigung der Luft kann ausgegangen werden, wenn die einschlägigen Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) im Arbeitsbereich eingehalten werden. Für Spezialfälle (z. B. Holzstaub nach TRGS 553) gibt es spezielle Regelungen, die sich nicht allein auf den für Holzstaub definierten Expositionsbegrenzungswert, sondern auf den Reststaubgehalt beziehen.

Sollten keine Grenzwerte vorliegen, sind die Grundsätze der Gefahrstoffverordnung einzuhalten. Die Exposition der Beschäftigten ist auf ein Minimum zu reduzieren. Grundsätzlich ist die Hierarchie der Schutzmaßnahmen entsprechend der Gefahrstoffverordnung einzuhalten.

Ausnahmen gibt es bei krebserzeugenden, keimzellmutagenen und reproduktionstoxischen Stoffen (KMR-Stoffen) aufgrund des hohen Gefährdungspotentials und bei Gasen aufgrund der Abscheidung.

3.6.5.1 Luftrückführung bei KMR-Stoffen

Werden in einem Arbeitsbereich Tätigkeiten mit krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Gefahrstoffen der Kategorie 1A oder 1B ausgeübt, darf die dort abgesaugte Luft nicht in den Arbeitsbereich zurückgeführt werden.

Ausnahmen sind zulässig für feste partikelförmige KMR-Stoffe (Stäube, Rauche). Für diese Stoffe ist die Luftrückführung ausschließlich bei Anwendung behördlich oder von den Unfallversicherungsträgern anerkannter Verfahren zulässig.

Die TRGS 560 enthält Festlegungen zur Luftrückführung bei KMR-Stäuben.

Sie müssen angewendet werden, wenn keine stoffspezifischen Regeln gelten. Anforderungen zur Luftrückführung werden in folgenden stoffspezifischen technischen Regeln beschrieben:

- TRGS 517 „Tätigkeiten mit potenziell asbesthaltigen mineralischen Rohstoffen und daraus hergestellten Zubereitungen und Erzeugnissen“
- TRGS 519 „Asbest: Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten“
- TRGS 521 „Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle“
- TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“
- TRGS 553 „Holzstaub“
- TRGS 554 „Abgase von Dieselmotoren“
- TRGS 559 „Mineralischer Staub“

3.6.5.2 Luftrückführung bei gasförmigen Gefahrstoffen

Die Abscheidung gasförmiger Gefahrstoffe aus einem Luftvolumenstrom ist aufwändig. Die in der Regel eingesetzten Abscheider sind Partikelabscheider und deshalb nicht in der Lage Gase abzuscheiden.

Handelt es sich bei den gasförmigen Gefahrstoffen um KMR-Stoffe, ist die Luftrückführung verboten. Bei allen anderen Gasen muss eine mögliche Aufkonzentrierung im Arbeitsbereich vermieden werden.

3.7 Entsorgung

Entsorgung ist der Oberbegriff für alle Verfahren und Tätigkeiten, die der Beseitigung oder Verwertung von Abfällen dienen.

Unter **Abfallbeseitigung** versteht man die Abgabe an die Umwelt unter Einhaltung vorgeschriebener Grenzwerte oder die Überführung in ein Endlager. Zur Endlagerung von Abfällen benötigt man Mülldeponien oder andere geeignete Endlagerplätze, beispielsweise ehemalige Bergwerke oder Salzstöcke.

Unter **Abfallverwertung** versteht man die Wiederverwendung, das Recycling oder die thermische Verwertung der Abfälle oder eines Teils davon.

Mit Absauganlagen werden mit Gefahrstoffen belastete Luftströme erfasst. Die Gefahrstoffe werden entweder aus dem Luftstrom herausgefiltert oder der kontaminierte Luftstrom wird ins Freie geführt. Damit ergeben sich zwei Rechtsordnungen für die zu entsorgenden Stoffe:

1. Das **Bundes-Immissionschutzgesetz** für den mit Gefahrstoffen belasteten Luftstrom, der im Fortluftbetrieb ins Freie geführt wird
2. Das **Kreislaufwirtschaftsgesetz** (KrWG) für die aus dem Luftstrom abgeschiedenen Stoffe

Die Anforderungen an die Fortluft sind im Abschnitt 3.6 bereits behandelt worden. Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den abgeschiedenen Stoffen und ihrer Entsorgung.

Bei der Entsorgung müssen folgende stoffspezifische Gesichtspunkte berücksichtigt werden:

- physikalische Eigenschaften (gasförmig, partikelförmig, Größenverteilung der Partikel)
- chemische Eigenschaften
- Menge/Masse

Die Abfallverzeichnisverordnung (AVV) listet gefährliche Abfälle auf und ordnet sie den entsprechenden Abfallschlüsselnummern zu. Bei allen Tätigkeiten mit diesen Stoffen ist die Gefahrstoffverordnung zu befolgen.

3.7.1 Gasförmige Gefahrstoffe

3.7.1.1 Entsorgung mit Fortluft

Werden gasförmige Gefahrstoffe mit der Fortluft ins Freie abgeführt, sind die Forderungen des BImSchG einzuhalten (siehe Abschnitt 3.6.3). Das gilt analog auch bei thermischen oder katalytischen Oxidationsverfahren. In diesem Fall müssen die Emissionsgrenzwerte für die Reaktionsprodukte eingehalten werden.

3.7.1.2 Abscheiden

Gase können auf verschiedene Arten abgeschieden werden (siehe Abschnitte 3.5.3.1 und 3.5.3.2):

3.7.1.2.1 Absorption

Bei der Absorption werden die Gase oder Dämpfe in einer Waschflüssigkeit gelöst oder chemisch gebunden. Die Waschflüssigkeit wird anschließend gereinigt. Das heißt, die Verunreinigungen werden aus der Waschflüssigkeit entfernt und können entsorgt werden. Die Waschflüssigkeit kann dann weiterverwendet werden.

3.7.1.2.2 Adsorption

Bei der Adsorption werden die Gase oder Dämpfe an der Oberfläche eines festen, porösen Stoffes angelagert (z. B. Aktivkohle). Die Stoffe werden entweder zusammen mit diesem Stoff entsorgt oder durch ein Resorptionsverfahren aus dem Filter zurückgewonnen. Die zurückgewonnenen Stoffe können dann erneut dem Prozess zugeführt oder fachgerecht entsorgt werden.

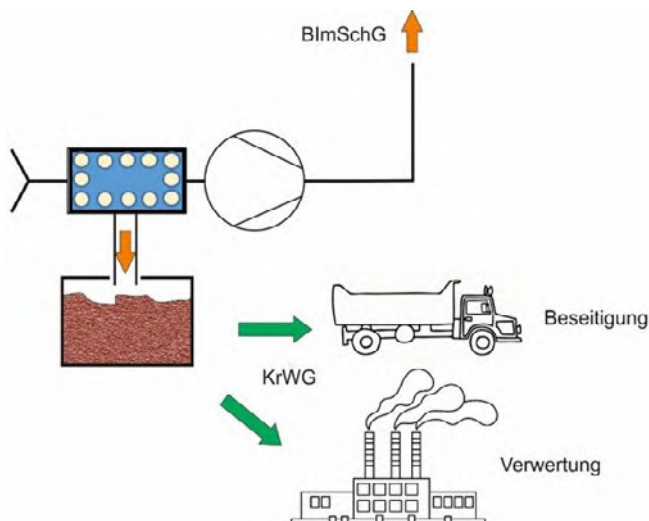


Abb. 3.7.1 Möglichkeiten der Entsorgung von Abfallstoffen aus der Absaugung

3.7.1.2.3 Kondensation

Werden Gefahrstoffe aus dem Abgasstrom auskondensiert, können sie aufgefangen und fachgerecht entsorgt oder der Wiederverwertung zugeführt werden.

3.7.2 Gefahrstoff-Aerosole

Als Aerosol vorliegende Gefahrstoffe können den Prozess an verschiedenen Stellen verlassen. In der Folge werden die typischen Möglichkeiten beschrieben.

3.7.2.1 Entsorgung mit Fortluft

Werden partikelförmige Gefahrstoffe mit der Fortluft ins Freie abgeführt, sind die Forderungen des BImSchG einzuhalten (siehe Abschnitt 3.6.3).

3.7.2.2 Abscheiden

Der Entsorgungsweg wird bestimmt durch die Menge der anfallenden Stoffe und ihrer Partikelgrößenverteilung. Daher sind zur Planung der Entsorgung die folgenden Fragen zu klären:

- In welchen Mengen fällt der Stoff in welchem Zeitraum an?
- Wie ist die Partikelgrößenverteilung des Stoffs?
- Wo und wie wird der Stoff dem System entnommen?
- Ist der abgeschiedene Stoff brennbar und kann er somit auch eine explosionsfähige Atmosphäre bilden?

Hinweis:

Die Brennbarkeit eines Stoffs muss nicht nur im Fertigungsprozess und bei der Abscheidung berücksichtigt werden, sondern auch bei der Handhabung der Abfälle.

- Welche weiteren Gefährlichkeitsmerkmale hat der Stoff?
- Tritt der Stoff rein auf oder ist er gemischt mit anderen Stoffen?

Hinweis:

Die Entsorgung von Stoffgemischen unbekannter Zusammensetzung ist in der Regel schwierig und daher auch teuer.

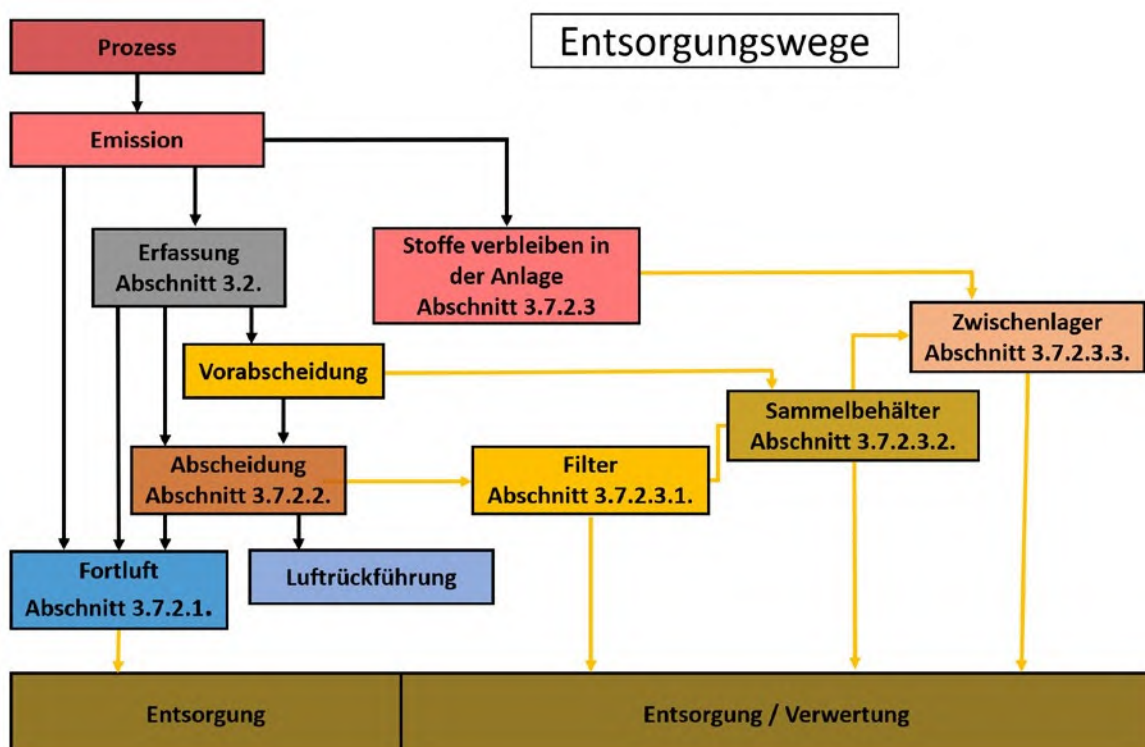


Abb. 3.7.2 Entsorgungswege für partikelförmige Gefahrstoffe

- Kann der Stoff weiterverwendet oder muss er entsorgt werden?

Hinweis:

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz verlangt eine Beurteilung, ob Stoffe wieder ihrer bestimmungsgemäßen Verwendung zugeführt, für andere Anwendungen eingesetzt werden können oder entsorgt werden müssen. Bei wertvollen Metallen ist eine Rückgewinnung des Stoffs und dessen Wiederverwertung selbstverständlich. Mit sinkendem Wert der Stoffe wird der Aufwand zur Rückgewinnung unverhältnismäßig hoch und damit nicht mehr zumutbar. Einige Stoffe können jedoch zur Energiegewinnung eingesetzt werden (z. B. Holzpellets). Wenn es keine andere Möglichkeit gibt, bleibt nur noch die Entsorgung in einem geeigneten Endlager.

3.7.2.3 In der Anlage verbleibende Stoffe

Bei verschiedenen Prozessen fallen große Mengen Partikel sehr unterschiedlicher Größen an. Je nach Anwendung ist es die Aufgabe der Absauganlage, nur die luftgetragenen Partikel abzusaugen. Die größeren Partikel bleiben in der Anlage. Es gibt also zwei Entsorgungswege: zum einen das Ausfördern der groben Partikel und zum anderen das Absaugen der luftgetragenen Partikel.

1. Beispiel: Zerspanung von Metallen

Metallspäne und Aerosole des Kühlschmierstoffs werden freigesetzt. Die Metallspäne werden nicht abgesaugt, sondern mit Späneförderern aus der Anlage (Maschine) entfernt. Die Aerosole werden abgesaugt und dann zum Beispiel als Fortluft ungefiltert entsorgt.

Die Späne werden üblicherweise in Containern zwischengelagert entsorgt oder nach Möglichkeit anders verwertet. In seltenen Fällen werden Metallspäne auch zu Blöcken gepresst, um Kühlschmierstoff zurückzugewinnen und das zu entsorgende Stoffvolumen gering zu halten.

2. Beispiel: Holzbearbeitung

Bei der Holzbearbeitung bleiben die Späne in der Regel nicht in der Maschine. Die Absauganlage dient auch der pneumatischen Förderung größerer Partikel (Späne, Hack-schnitzel).

3.7.2.3.1 Entsorgung zusammen mit den Filterelementen

Fallen geringere Staubmengen an, werden die abgeschiedenen Stäube meist mit den Filterelementen entsorgt. Geringere Staubmengen liegen vor, wenn die Wechselinter-

valle für die Filter mindestens in Monaten gezählt werden können. Liegen kürzere Intervalle vor, sollten regenerierbare Filterelemente eingesetzt werden.

Bei der Entnahme der Filterelemente sollten keine Stäube freigesetzt werden. Bei der Konstruktion des Entstaubers ist dafür zu sorgen, dass die Filterelemente „staubarm“ entnommen werden können.

Die Filter sollten eindeutig als Einwegfilter gekennzeichnet werden, um zu vermeiden, dass Personen beim „Reinigen“ der Filter Gefährdungen ausgesetzt sind.

3.7.2.3.2 Entsorgung aus dem Sammelbehälter

Bei regenerierbaren Filtern befinden sich die Stäube zum Teil im Filterelement. Beim Wechsel der Filterelemente gelten die gleichen Anforderungen wie bei den Einwegfilterelementen.

Die weitaus größere Menge der Stäube befindet sich im Staubsammelbehälter. Er muss regelmäßig geleert werden. Beim Leeren des Staubsammelbehälters besteht die Gefahr der Staubfreisetzung.

Einwegstaubsammelbehälter werden zum Wechseln dicht verschlossen und als Ganzes entsorgt. Die staubarme Entnahme kann zum Beispiel erfolgen, wenn der Staubsammelbehälter verschlossen werden kann, bevor der Dicht-ring gelöst wird (Abbildung 3.7.3).

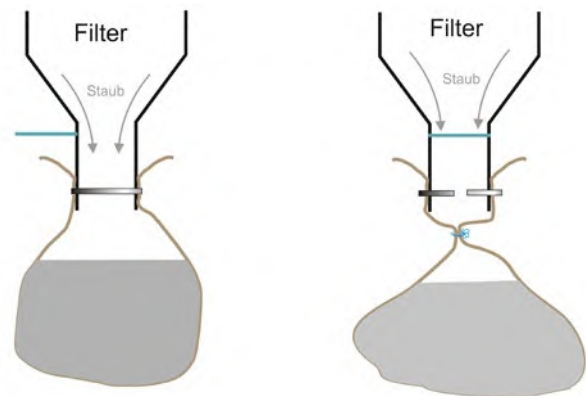


Abb. 3.7.3 Staubarme Entnahme von Einwegstaubsammelbehältern (Beuteln)

Bei Mehrwegstaubsammelbehältern ist die Gefahr der Staubfreisetzung beim Leeren sehr groß. In der Regel werden die gesammelten Stäube in einen verschließbaren Behälter umgefüllt, um dann entsorgt zu werden. Beim Leeren solcher Behälter sollte persönliche Schutzausrüstung getragen und der Bereich sollte anschließend mit einem geeigneten Industriestaubsauger gereinigt werden. Für den Betreiber sollten in der Betriebsanleitung klare Abläufe beschrieben werden, wie der Behälter „staubarm“ zu leeren ist.

3.7.2.3.3 Zwischenlagerung

Fallen große Mengen Partikel an, werden sie in einem Zwischenlager gesammelt und später entsorgt oder der Verwertung zugeführt.

Die Zwischenlagerung kann in ortsfesten Einrichtungen (Silos) oder in ortsveränderlichen Behältnissen (Container, Big-Bags) erfolgen.

Bei der Lagerung der Stoffe sind die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Stoffe zu berücksichtigen.

Hinweise zur Lagerung geben die Technischen Regeln für Gefahrstoffe 509 (für ortsfeste Behälter) und 510 (für ortsveränderliche Behälter).

Neben den Maßnahmen zum Umgang mit den Stoffen, die sich aus der Gefährdungsbeurteilung ergeben, sind auch Überlegungen zum Abtransport der Stoffe aus den Zwischenlagern notwendig. Das gilt besonders für die ortsfesten Behälter.

3.7.2.3.4 Transport der Stoffe

Fallen beim Absaugvorgang große Mengen von groben Partikeln an, ist es oft zweckmäßig sie mit einem Vorabscheider aus dem Luftstrom abzuscheiden. Die abgetrennten groben Partikel werden dabei in einem eigenen Behälter gesammelt. Je nach zu erwartender Menge kann der Behälter von Hand oder mit einem automatischen Austragsystem geleert werden.

Automatische Förderung kann durch pneumatische Förderung, Förderschnecken, Zyllradschleusen, Transportbänder oder Ähnliches erfolgen. Die Auswahl des Fördersystems hängt von den Eigenschaften und der Menge des zu fördernden Materials sowie der Länge der zu bewältigenden Strecke ab.

3.7.2.3.5 Abtransport der Stoffe

Wenn die Stoffe abtransportiert werden, muss das Entsorgungsunternehmen die Verantwortung für sie übernehmen. Dazu muss das Entsorgungsunternehmen eine ausreichende Information über die Stoffe erhalten. Außerdem sollten die zu entsorgenden Stoffe in geeigneten Behältern zur Verfügung gestellt werden.

3.8 Steuerung, Regelung, Überwachung

Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten einer Absauganlage wird durch Steuerung und bei Bedarf auch Regelung der Anlage erreicht. Um die Anlage sicher betreiben zu können und ausreichende Informationen über den Anlagenzustand zu bekommen, ist eine Überwachung notwendig.

Die Ziele von Regelung, Steuerung und Überwachung sind:

- Sicherstellen des notwendigen Volumenstroms
- Bedarfsgerechte Anpassung des Volumenstroms
- Information des Betreibers über den Zustand der Absauganlage

Die Hauptaufgabe einer Absauganlage ist das Erfassen und Abtransportieren von Gefahrstoffen. Hierfür ist ein bestimmter Volumenstrom pro Erfassungsstelle notwendig.

Um den Schutz der Beschäftigten sicherzustellen, muss der Volumenstrom an genutzten Erfassungsstellen sichergestellt werden.

Zur Sicherstellung des Volumenstroms gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die Auswahl hängt stark von der Komplexität der jeweiligen Absauganlage und den zu erwartenden Störgrößen ab. Störgrößen sind zum Beispiel das Zu- und Abschalten von Absaugstellen, Änderungen in der Luftbilanz des Raums durch das Öffnen von Türen, Toren oder Fenstern oder Änderungen des Strömungswiderstands von integrierten Erfassungseinrichtungen durch Handhabung von Werkzeugen.

In der Folge werden die prinzipiellen Möglichkeiten zur Steuerung oder Regelung einer Absauganlage dargestellt.

Der grundlegende Unterschied zwischen Steuern und Regeln sowie die Rolle der Messtechnik sind in Abbildung 3.8.1 dargestellt.

Messen (Abbildung 3.8.1 links): In diesem Beispiel wird die Druckdifferenz am Filter überwacht. Eine zu hohe Druckdifferenz wird mit einer roten Lampe angezeigt. Der Filterwechsel muss vom Betreiber durchgeführt oder veranlasst werden.

Steuern (Abbildung 3.8.1 Mitte): In diesem Beispiel wird der Absperrschieber für eine Maschine geöffnet. Die Schieberstellung wird in die SPS eingelesen. Programmgesteuert wird die Drehzahl des Ventilators und damit der Volumenstrom erhöht.

Regeln (Abbildung 3.8.1 rechts): In diesem Beispiel wird der Unterdruck in der Sammelleitung überwacht. Ein Automatikschieber fährt auf; dadurch fällt der Unterdruck ab. Der Regler erhöht automatisch die Drehzahl des Lüfters und hält so den Unterdruck konstant.

3.8.1 Steuern

Steuern ist die beabsichtigte Beeinflussung des Verhaltens der Absauganlage. Durch den Steuervorgang wird die Absauganlage von einem Betriebszustand in einen anderen gebracht. Beispiele dafür sind das Ein- und Ausschalten und Änderungen der Belastung der Anlage.

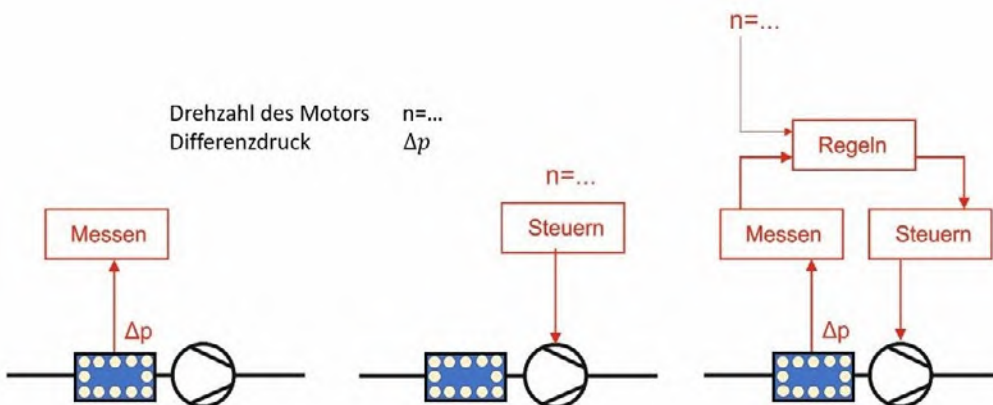


Abb. 3.8.1
Übersicht Messen,
Steuern, Regeln

Kennzeichnend für das Steuern ist der offene Wirkungsablauf über das einzelne Übertragungsglied oder die Steuerkette. Der Steuereingriff erfolgt unabhängig vom aktuellen Zustand der Anlage (open loop control).

Aufgaben der Steuerung sind z. B.:

- Anfahren der Ventilatoren
- Einstellen der Ventilator-Drehzahlen (Anwahl einer Leistungsstufe)
- Einstellen der gewünschten Volumenströme für die einzelnen Verbraucher
- Umstellung der Abluftführung (Sommer-/Winterbetrieb)

Zur Steuerung der Luftvolumenströme in einer Absauganlage gibt es eine Vielzahl von Geräten:

- Absperrschieber
- Drosselklappen
- Anfahrerschaltungen
- Frequenzumrichter
- Nachlaufschalter
- Zeitschaltuhren
- Drehzahlsteller

Der Gesamt-Luftvolumenstrom einer Absauganlage wird in der Regel über die Drehzahlen der eingesetzten Ventilatoren gesteuert. Die Ventilator-Drehzahl wird meist über Frequenzumrichter mit dafür geeigneten Motoren eingestellt. Bei älteren Anlagen werden zu diesem Zweck die Pole des Motors umgeschaltet.

Werden Gleichstrom-Motoren eingesetzt, kann die Drehzahl über die Spannung kontinuierlich gesteuert werden. Gleichstrom-Motoren werden aufgrund der hohen Kosten

und des hohen Wartungsaufwands für Lüftungsanwendungen selten eingesetzt.

Die Steuerung der Drehzahl erfolgt bei modernen Anlagen meist durch die Variation der Frequenz, mit der der Motor betrieben wird. Dafür werden Frequenzumrichter (FU) eingesetzt.

Bei einfachen Absauganlagen ist die Steuerung unter Umständen sehr einfach mit Schaltern und einfachen Anzeigeräten umzusetzen.

Für komplexere Absauganlagen mit mehreren, vielleicht auch unterschiedlichen, Verbrauchern wird die Steuerung üblicherweise durch eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) übernommen. In der SPS können die gewünschten Anlagenzustände festgelegt werden. Die notwendigen Signale von Messstellen werden in die SPS eingelesen. Die SPS gibt dann die erforderlichen Steuerungssignale an die Antriebe und Stellglieder (meist Klappen und Schieber) sowie Zustands- und Störmeldungen aus.

3.8.2 Regeln

Das Regeln ist ein Vorgang, bei dem eine Größe (z. B. Volumenstrom, Druck) fortlaufend erfasst und mit einer anderen vorgegebenen Größe (Sollwert) verglichen wird. Abhängig vom Ergebnis dieses Vergleichs wird durch den Regelvorgang eine Angleichung der zu regelnden Größe an den Sollwert vorgenommen. Der sich dabei ergebende Wirkungsablauf findet in einem geschlossenen Kreis, dem Regelkreis, statt (closed loop control).

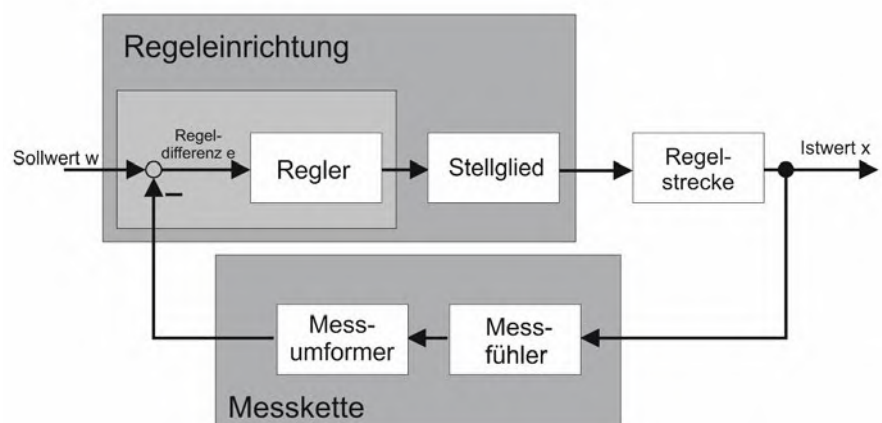


Abb. 3.8.2
Prinzip eines
Regelkreises

Die **Regelstrecke** ist der Anlagenteil, in dem die Regelgröße auf den verlangten Wert gebracht und gehalten werden soll und an dem die Stellgröße und die Störgrößen angreifen. Man muss wissen, wie die Regelstrecke reagiert, wenn sich die Einflussgrößen ändern. Hierbei ist die statische und die dynamische Reaktion wichtig.

Statisches Verhalten: Das statische Verhalten, zum Beispiel eines Messfühlers, sagt aus, wie Ausgangs- und Eingangsgröße im Beharrungszustand miteinander verknüpft sind. In Abbildung 3.8.3 sind beispielhaft die statischen Kennlinien eines NTC (Negative Temperature Coefficient Thermistor, Heißleiter) und eines PT 100 (Platin-Sensor, Kaltleiter) dargestellt.

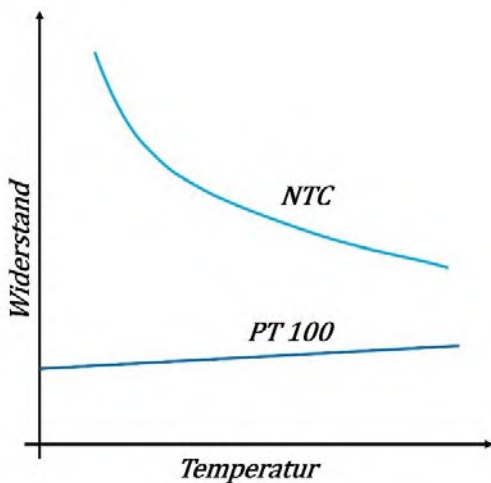


Abb. 3.8.3 Statische Kennlinien von Temperaturfühlern

Dynamisches Verhalten: Das dynamische Verhalten beschreibt, wie sich die Ausgangsgröße eines Übertragungsglieds bei einer Änderung der Eingangsgröße in Abhängigkeit von der Zeit verhält.

Beurteilt wird dieses Verhalten durch zwei Kriterien:

- a. die Sprungantwort
- b. das Frequenzverhalten

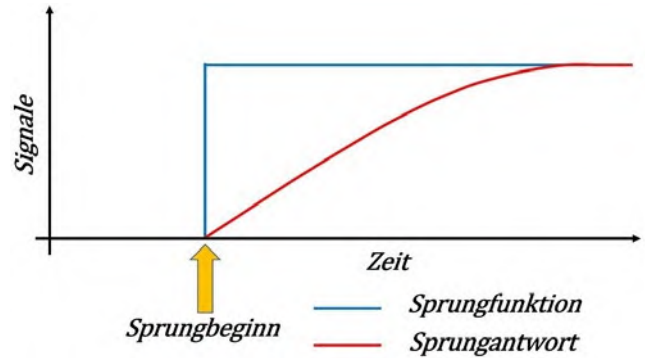


Abb. 3.8.4 Sprungantwort

Die Sprungantwort zeigt die Reaktion eines Übertragungsglieds auf einen idealen Sprung. Das entspricht zum Beispiel einer Schalthandlung. Aus der Sprungantwort kann dann zum Beispiel abgelesen werden, mit welcher zeitlichen Verzögerung die Schalthandlung in der Anlage wirksam wird.

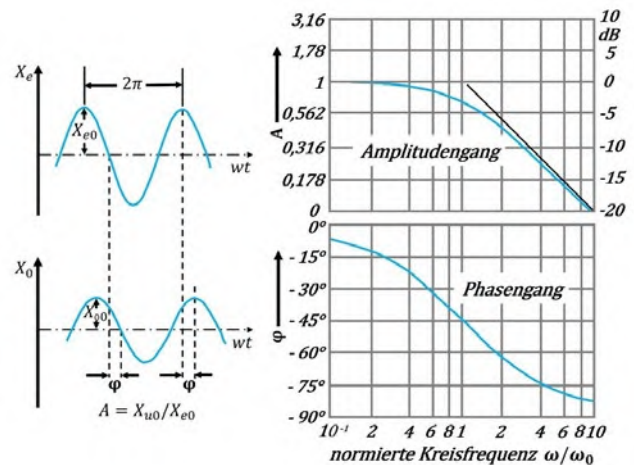


Abb. 3.8.5 Frequenzgang

Aus dem Frequenzgang kann abgelesen werden, mit welcher Stärke und welcher zeitlichen Verzögerung Regeleinriffe von einem Übertragungsglied weitergegeben werden können.

Die Hauptaufgabe des Reglers ist der Vergleich zwischen dem Soll- und dem Istwert. Um diesen Vergleich exakt durchführen zu können, muss der Istwert möglichst genau bekannt sein. Die Genauigkeit der Regelung hängt daher von der Güte der Messkette ab.

Die **Messkette** muss den Istwert mit hinreichender Genauigkeit erfassen und in ein Signal umwandeln, das mit dem Sollwert verglichen werden kann. Informationen zu den in der Absaugtechnik üblichen Messgeräten finden Sie im Abschnitt 3.8.3.

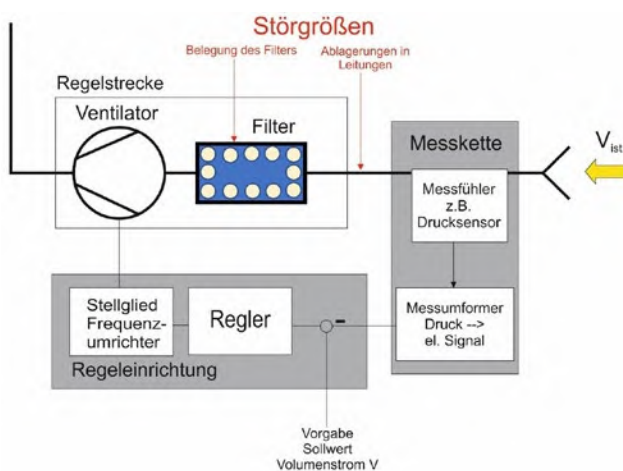


Abb. 3.8.6 Beispiel für den Regelkreis einer Absauganlage

Abbildung 3.8.6 zeigt an einem einfachen Beispiel die Wirkungsweise einer Regelschleife.

Der Messfühler, in diesem Falle ein Drucksensor, erfasst den Unterdruck, der durch den Ventilator erzeugt wird. Dieser Unterdruck wird im Messumformer in ein elektrisches Signal (Strom, Spannung, digitales Signal) umgewandelt. Dieses Signal wird mit der Sollwertvorgabe verglichen. Der Regler erzeugt aus diesem Signal eine Drehzahlvorgabe für den Frequenzumrichter. Dieser steuert den Ventilator mit der geforderten Frequenz auf die gewünschte Drehzahl.

Wird der Volumenstrom durch Ablagerungen in der Absaugleitung oder durch erhöhten Widerstand des belegten Filters verringert, wird über die festgestellte Sollwertabweichung eine Drehzahlerhöhung des Ventilators bewirkt.

3.8.3 Messen

Das Messen dient der Erfassung ausgewählter Parameter des Anlagenzustands. Die Messsignale können zur Information des Betreibers dienen oder in die Steuerung eingebunden werden oder Bestandteil des Regelkreises sein.

3.8.3.1 Messblende

Die Messblende ist als Bestandteil einer Blendenmessstrecke ein mechanisches Bauteil, an dem mit einem Sensor der Durchfluss einer Rohrleitung nach dem Differenzdruck-Verfahren gemessen werden kann.

Der gleichförmige Durchfluss des Luftvolumenstroms in einer Luftleitung wird durch die Blende eingeschnürt (Querschnittsverengung), sodass sich an dieser Stelle die Geschwindigkeit erhöht. Die Zunahme der Geschwindigkeit an der Einschnürungsstelle bewirkt eine Verringerung des statischen Drucks. Die dabei entstehende Druckdifferenz ist ein Maß für den Durchfluss.

Bevorzugt werden Messblenden vor allem zur Kalibrierung von Volumenstrommessgeräten und in Prüfeinrichtungen eingesetzt. Sie können aber auch zur Überwachung von Volumenströmen in der Steuerung eingesetzt werden.

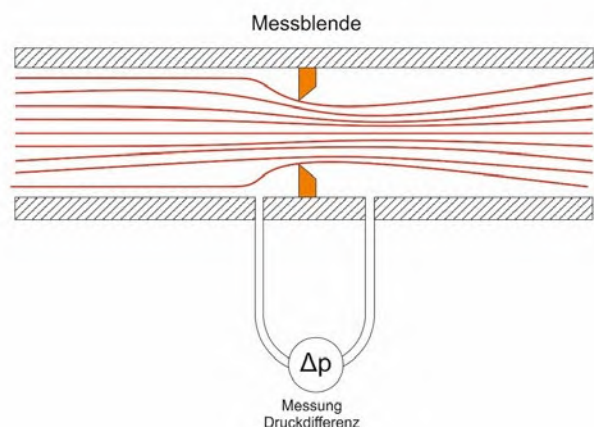


Abb. 3.8.7 Funktionsprinzip Messblende

3.8.3.2. Strömungsmessung



Abb. 3.8.8 Strömungsmesslanzen Typ DEBIMO

Über die Bohrungen in den Strömungsmesslanzen werden der Gesamtdruck und der statische Druck aufgenommen. Aus dem daraus entstehenden Differenzdruck kann der dynamische Druck und daraus der Volumenstrom ermittelt werden.

3.8.3.3. Messung Luftgeschwindigkeiten



Abb. 3.8.9 Thermischer Strömungssensor

Der thermische Strömungssensor ist ein temperaturabhängiger elektrischer Widerstand, der im Luftstrom positioniert wird. Der Sensor wird durch den elektrischen Strom

erwärmt. Der zu messende Luftstrom kühlt den Sensor und ändert damit seinen Widerstand. Diese Widerstandsänderung hängt von der Strömungsgeschwindigkeit ab und kann so im Messwandler in ein geschwindigkeitsproportionales Signal umgewandelt werden.

3.8.3.4. Druckmessung



Abb. 3.8.10 Differenzdrucksensor

Der Differenzdrucksensor wird zur Messung von Differenzdrücken in der Luft- und Klimatechnik verwendet. Er funktioniert nach dem piezoresistiven Messprinzip. Dieses Messprinzip beruht auf der Widerstandsänderung von Halbleitern bei Druckbelastung.

3.8.4 Einrichtungen zur Volumenstromsteuerung

3.8.4.1 Absperrschieber

Absperrschieber dienen zur Zu- oder Abschaltung der Volumenströme an den einzelnen Erfassungsstellen einer Mehrplatzanlage. Sie können von der Bedienperson von Hand betätigt oder durch die Steuerung nach Bedarf elektrisch oder pneumatisch geöffnet oder geschlossen werden.

Bei der Programmierung sind die Öffnungs- oder Schließzeiten der Schieber zu berücksichtigen. Diese Zeiten hängen von dem zu verschließenden Querschnitt und von der Art des Antriebs ab. Pneumatische Antriebe sind bis zu fünf Mal so schnell wie elektrische Antriebe.



Abb. 3.8.11 Bauarten von Absperrschiebern

3.8.4.2 Drosselklappen

Drosselklappen dienen zur Einstellung des Volumenstroms. Sie werden für den hydraulischen Abgleich einer Absauganlage verwendet. Auch zur Regelung der Volumenströme, also zum Ausgleich von Störeinflüssen, z. B. Filterbelegung, können sie verwendet werden. Beim Einsatz in einer Regelschleife sind die Regelcharakteristiken zu berücksichtigen.



Abb. 3.8.12 Bauarten von Drosselklappen

3.8.4.3 Frequenzumrichter

Ein Frequenzumrichter (FU) ist ein Stromrichter, der aus Wechselspannung (Netzspannung) eine in der Frequenz und Amplitude veränderbare Wechselspannung für die direkte Versorgung von elektrischen Maschinen, wie Drehstrommotoren, generiert. Sollwerte für Frequenz und Amplitude der Ausgangswechselspannung richten sich nach den Erfordernissen der elektrischen Maschine und deren aktueller Last. Manche Frequenzumrichter weisen zusätzliche Sensoreingänge auf, um Zustandsparameter der elektrischen Maschine wie Drehzahl oder momentane Winkelposition des Rotors zu erfassen. Je nach Art der elektrischen Maschine können Frequenzumrichter so-

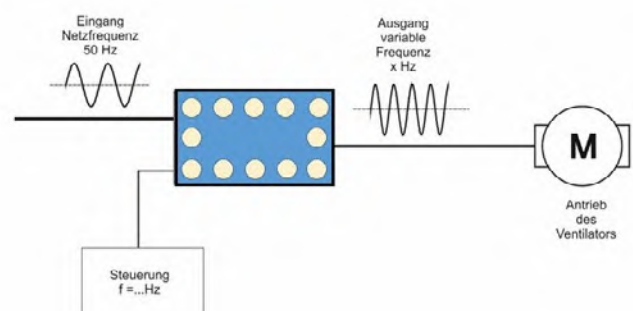


Abb. 3.8.13 Wirkungsprinzip eines Frequenzumrichters

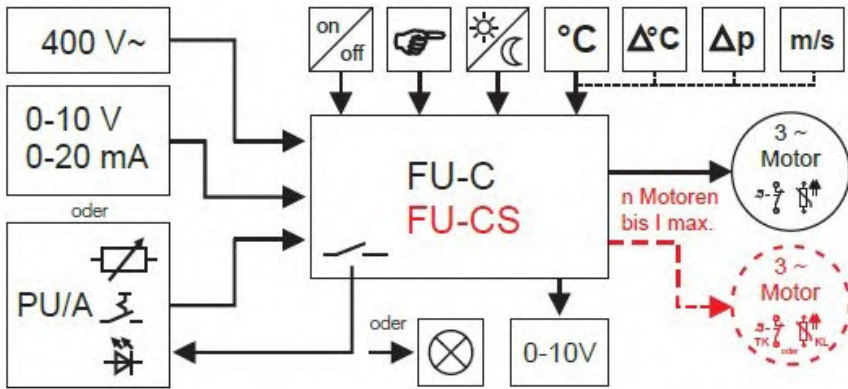


Abb. 3.8.14
Frequenzumrichter mit Eingängen für die Regelung

wohl mit Einphasenwechselspannung als auch Dreiphasenwechselspannung arbeiten und auch aus Einphasenwechselspannung eine Dreiphasenwechselspannung für die Versorgung von Drehstrommotoren generieren.

Frequenzumrichter sind als Standardkomponenten in nahezu allen Leistungsstufen verfügbar.

Abbildung 3.8.14 zeigt beispielhaft das Anschlussprinzip eines kommerziell verfügbaren Frequenzumrichters (FU) mit Regelein- und Überwachungsausgängen.

3.8.5 Überwachen, Signalisieren

Störungen in einer Absauganlage müssen rechtzeitig erkannt werden.

Aus dem Arbeitsprozess und den dort freigesetzten Gefahrstoffen ergibt sich die Gefährdung der Beschäftigten. Aus der hierfür durchgeführten Gefährdungsbeurteilung ergeben sich die Anforderungen an die Überwachung der Anlagen. Ist die Absauganlage Bestandteil der Anlage, die den Prozess ausführt, ergeben sich die Anforderungen aus der Risikoanalyse des Herstellers der Gesamtanlage.

Das **sofortige Stillsetzen des Prozesses** mit gleichzeitigem Alarm für den gesamten Bereich ist erforderlich, wenn bei Ausfall der Absauganlage Lebensgefahr besteht. Das kann zum Beispiel der Fall sein, wenn explosionsfähige Atmosphäre entsteht oder KMR-Stoffe oder giftige Stoffe in Mengen freigesetzt werden, die zu einer Grenzwertüberschreitung führen.

Stillsetzen des Prozesses bedeutet im Wesentlichen, dass der Emissionsprozess, der die Absaugung erforderlich macht, gestoppt werden muss. Kann eine explosionsfähige Atmosphäre vorhanden sein, müssen Zündquellen vermieden werden. Das kann die Notwendigkeit einer kompletten elektrischen Freischaltung nach sich ziehen.

Der Prozess muss somit in einen sicheren Zustand versetzt werden. Außerdem ist es erforderlich, die Beschäftigten angemessen zu informieren. Das erfolgt, abhängig von den Umgebungsbedingungen, durch optische oder akustische Warnsignale. Die Signale müssen wahrnehmbar sein. Bei hohem Lärmpegel im Hintergrund müssen entsprechend laute Signale gegeben werden.

Ergibt die Gefährdungsbeurteilung oder die Risikobeurteilung, dass der Prozess mit akzeptablem Risiko noch einen begrenzten Zeitraum weiterlaufen kann, reicht zum Beispiel das **Signalisieren einer Störung** am Gerät. Die Bedienerperson nimmt dieses Signal erst wahr, wenn sie Schalthandlungen an der Absauganlage vornimmt. Das ist zulässig, wenn geringe Grenzwertüberschreitungen auftreten können, die nach GefStoffV kurzzeitig tolerierbar sind. Das ist zum Beispiel bei vielen Schweißanwendungen der Fall.

Die Signalisierung erfolgt durch Signallampen, Leuchtdioden oder akustische Signale. Sie kann auch auf Visualisierungsbildschirmen erfolgen. Die Signalisierung sollte jedoch offen und eindeutig erfolgen und nicht in Untermenüs versteckt werden.

3.8.6 Anwendung der Steuerung oder Regelung

Damit eine Absauganlage ihre Aufgaben erfüllen kann, müssen die einzelnen Komponenten so kombiniert werden, dass ein Zusammenspiel entsteht. Ziel der Absauganlage ist es, den Luftvolumenstrom in den projektierten Bereichen zu halten. Bei einfachen Absauganlagen mit einem Verbraucher (Erfassungsstelle) kann diese Aufgabe leicht erfüllt werden.

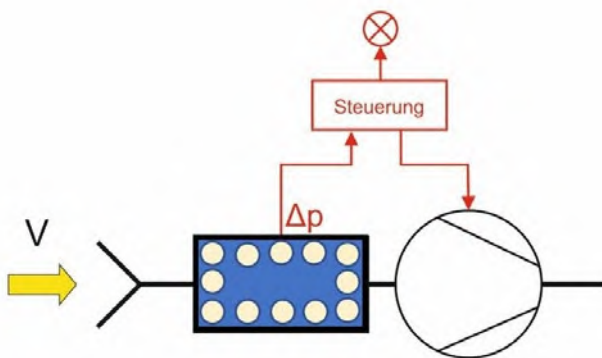


Abb. 3.8.15 Schema einer einfachen Absaugung

Abbildung 3.8.15 zeigt das Beispiel einer einfachen Absaugung ohne Regelung. Die Steuerung fährt den Ventilator hoch. Außerdem überwacht sie den Differenzdruck am Filter und gibt einen optischen Alarm beim Verlassen der festgelegten Grenzen.

Die Steuerung sorgt für die Verteilung des Gesamtvolumenstroms auf die Erfassungsstellen.

Aus der Nutzung der Anlage ergeben sich eine Vielzahl von Fragen, die vor der Auswahl und Implementierung der Steuerung geklärt sein müssen:

- Welche Volumenströme benötigen die einzelnen Erfassungsstellen?
- Welche Absaugstellen werden gleichzeitig betrieben?
- Welches ist der maximale Volumenstrom, den die Anlage liefern muss?
- Welches ist der minimale Volumenstrom, bei dem die Anlage betrieben werden kann?
- Welche minimalen Luftgeschwindigkeiten sollen in den Luftleitungen eingehalten werden?

- Wie schnell müssen die Volumenströme an den Erfassungsstellen zur Verfügung stehen?
- In welchem Rahmen dürfen die Volumenströme schwanken?

Hieraus ergeben sich die Anforderungen an die Steuerung oder Regelung.

In dem in Abbildung 3.8.16 dargestellten Beispiel muss die Sammelleitung (L1) die Volumenströme der Erfassungsstellen 1–3 aufnehmen. Die Leitung wird dementsprechend dimensioniert. Wird nur die Erfassungsstelle 1 verwendet, sind die Klappe 2 und 3 geschlossen. Der Volumenstrom in L1 wird dabei sehr klein. Damit wird die Strömungsgeschwindigkeit in L1 unter Umständen für einen ablagerungsfreien Transport zu klein. Dann ist eine andere Anordnung der Luftleitungen nötig. Alternativ kann über eine sogenannte Bypass- oder auch Beiluft-Klappe ein ausreichender Luftvolumenstrom und damit die Mindestströmungsgeschwindigkeit sichergestellt werden.

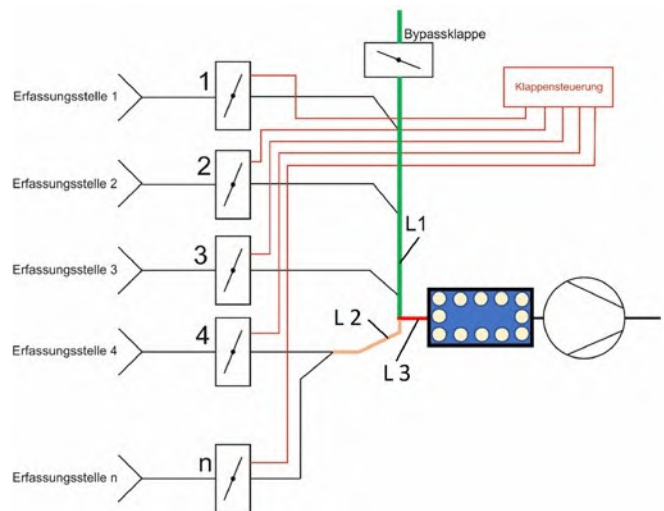


Abb. 3.8.16 Schema einer komplexen Absaugung

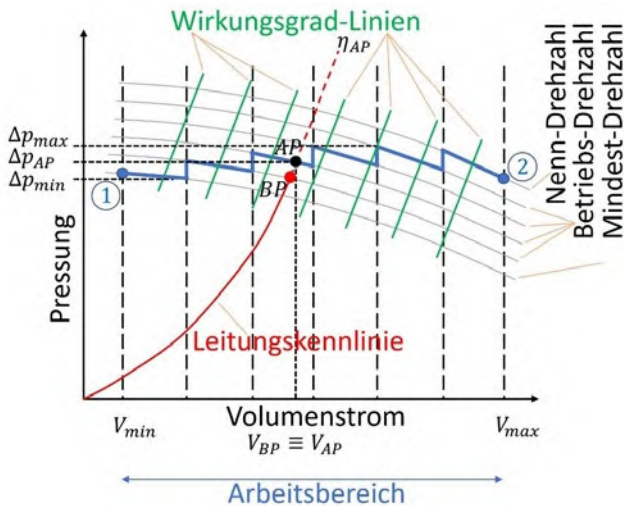


Abb. 3.8.17 Beispiel einer bedarfsabhängigen Steuerung

Abbildung 3.8.17 zeigt in der Ventilator-Kennlinienschar, wie über festgelegte Drehzahlsprünge ein weitgehend konstanter Druck auch bei wechselnder Last erreicht werden kann. Im Programm einer SPS-Steuerung sind mehrere Drehzahlen fest vorgegeben. In Abhängigkeit vom aktuellen Luftbedarf wird die passende Drehzahl vom Programm ermittelt und über die Ansteuerung des Frequenzumformers am Motor angefahren.

Abbildung 3.8.18 zeigt das Beispiel einer kontinuierlichen Regelung. Hier wirkt ein geschlossener Regelkreis, der den Druck in einer Lüftungsleitung in einem begrenzten Volumenstrombereich, dem Arbeitsbereich, durch Drehzahländerung des Ventilators konstant hält.

Der Arbeitsbereich ist begrenzt durch minimale (Ziffer 1 in Abbildung 3.8.18) und maximale (Ziffer 2 in Abbildung 3.8.18) Drehzahl des Ventilators. Wird die maximale Drehzahl erreicht, vermindert sich der Druck in der Lüftungsleitung mit zunehmendem Volumenstrom entsprechend der Ventilator-Kennlinie.

Auch für diesen Einsatz sind genaue Kenntnisse der Anforderungen an die Anlage und des Kennlinienfelds des Ventilators erforderlich. Wird die Regelung nur genutzt, um den Volumenstrom bei zunehmender Belegung eines Filters konstant zu halten, wird nur ein eher geringer Teil des Arbeitsbereichs genutzt. Sollen jedoch stark

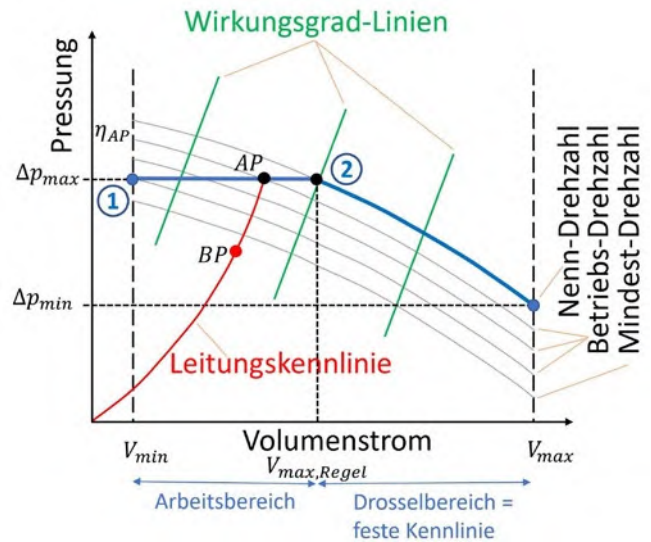


Abb. 3.8.18 Beispiel einer kontinuierlichen Regelung

wechselnde Anforderungen an den Volumenstrom ausgeregelt werden, wenn zum Beispiel Schieber regelmäßig geöffnet und geschlossen werden, müssen auch dynamische Vorgänge berücksichtigt werden.

Das Öffnen oder Schließen eines Schiebers kommt, je nach Art des Schiebers, einer Sprungfunktion nahe (siehe Abbildung 3.8.4 auf Seite 68). Die Reaktionszeiten des Systems müssen berücksichtigt werden, um Schwingungen zu vermeiden.

Absauganlagen werden in der Regel als Maßnahme zur Erfüllung der Gefahrstoffverordnung eingesetzt. Damit diese Maßnahme dauerhaft wirksam ist, muss der Anlagenzustand überwacht werden.

3.9 Brand- und Explosionsschutz

Brände können überall dort auftreten, wo brennbare Gase, Dämpfe, Flüssigkeiten oder Stäube entstehen, verarbeitet, gelagert oder transportiert werden. Ist örtlich und zeitlich parallel eine (wirksame) Zündquelle vorhanden, oxidieren solche Stoffe mit dem umgebenden Luftsauerstoff und es kommt zu einem Brand (siehe Abbildung 3.9.1). Unter bestimmten Voraussetzungen können diese Stoffe in Verbindung mit Luft auch ein explosionsfähiges Gemisch bilden. Ist gleichzeitig eine (wirksame) Zündquelle vorhanden, kann es zur Explosion kommen. Explosionen sind besonders heftige Verbrennungsvorgänge, bei denen hohe Flammenfortpflanzungsgeschwindigkeiten und große Druckanstiege auftreten.

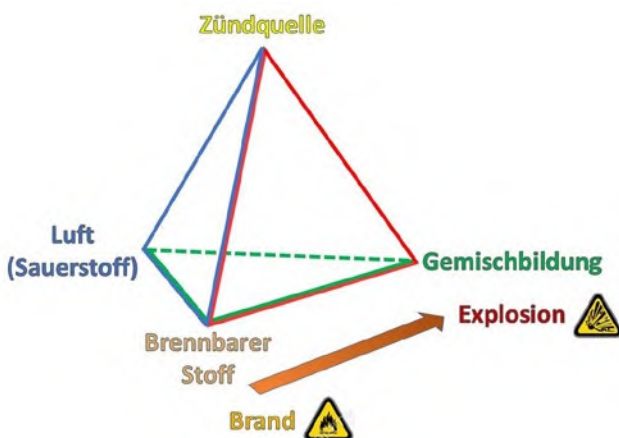


Abb. 3.9.1 Branddreieck

Absauganlagen, mit denen brennbare Stoffe erfasst, transportiert, abgeschieden und (zwischen-)gelagert werden, zählen zu den besonders gefährdeten Anlagen. Besonders das Risiko von Explosionen – meist in der Folge von vorhergehenden Bränden – ist bei diesen Anlagen überproportional hoch, weil

- in diesen Anlagen die Konzentrationen der brennbaren Stoffe durch die „Verdämmung“ in eng begrenzten Abmessungen häufig besonders hoch ist,
- diese Stoffe häufig in besonders kleinen und fein verteilten Partikelgrößen vorliegen,
- der in der zum Stofftransport genutzten Luft vorhandene Sauerstoff als für die Verbrennung notwendiges Oxidationsmittel reichlich vorhanden ist,

- durch die – in Teilen – turbulente Strömung in diesen Anlagen einer guten Durchmischung der brennbaren Stoffe mit dem Luftsauerstoff zwangsläufig Vorschub geleistet wird,
- der unbemerkte Eintrag von wirksamen Zündquellen von außerhalb und innerhalb der Anlage sowie die im Einzelfall von chemischen oder biologischen Reaktionen der abtransportierten Stoffe verursachten unkontrollierten Erwärmungen nicht vollständig vermeidbar sind.

In der nationalen und der europäischen Gesetzgebung werden deshalb vielfältige Anforderungen an die Ausrüstung und den Betrieb solcher Anlagen gestellt, um die Brand- und Explosionsrisiken soweit wie möglich zu begrenzen.

3.9.1 Brennbarkeit von Stoffen

Ein brennbarer Stoff ist ein Stoff in Form von Gas, Dampf, Flüssigkeit, Feststoff oder deren Gemischen, der bei Entzündung eine exotherme Reaktion mit Luft eingehen kann. Brennbare Stoffe werden nach ihrem Brandverhalten in Klassen unterteilt (siehe Tabelle 3.9.1). Die Zuordnung zu einer Brandklasse gibt Hinweise darauf, welche Löschverfahren und Löschmittel (Tabelle 3.9.6 auf Seite 81) jeweils anzuwenden sind.

Es muss beachtet werden, dass die Brennbarkeit eines jeden Stoffs stark von seiner Oberfläche abhängig ist. Je größer die Oberfläche des Stoffs und je feiner verteilt der Stoff in der umgebenden Luft ist, desto mehr Sauerstoff kann an der Oxidationsreaktion beteiligt werden und desto weniger Zündenergie wird zur Auslösung und Aufrechterhaltung dieses chemischen Prozesses benötigt.

Die Brennbarkeit von Gasen und Flüssigkeiten kann häufig den Sicherheitsdatenblättern der Lieferfirmen entnommen werden. Für Stäube gilt das nicht. In Tabelle 3.9.2 sind daher die Angaben zur möglichen Brennbarkeit (und damit im Gemisch mit Luft auch Explosionsfähigkeit) zusammengefasst.

Tabelle 3.9.1 Brandklassen nach DIN EN 2 „Brandklassen“ (DGUV Information 205-001)

Brandklassen nach DIN EN 2 „Brandklassen“				
				
Brände fester Stoffe, hauptsächlich organischer Natur, die normalerweise unter Glutbildung verbrennen	Brände von flüssigen oder flüssig werdenden Stoffen	Brände von Gasen	Brände von Metallen	Fettbrände in Frittier- und Fettbackgeräten
z. B. Holz, Papier, Stroh, Kohle, Textilien, Autoreifen	z. B. Benzin, Öle, Fette, Lacke, Harze, Wachse, Teer, Äther, Alkohole, Kunststoffe	z. B. Methan, Propan, Wasserstoff, Acetylen, Stadtgas	z. B. Aluminium, Magnesium, Lithium, Natrium, Kalium und deren Legierungen	

Tabelle 3.9.2 Brennbarkeit verschiedener Staubgruppen

Staubgruppe	Brennbarkeit gegeben
mineralische Stäube	nein
organische Stäube	ja
metallische Stäube	ja

Anmerkungen zu den Staubgruppen:

- **Mineralische Stäube:** Darunter werden ganz allgemein Stäube verstanden, die besonders bei der Gewinnung, Be- oder Verarbeitung natürlich vorkommender Mineralien und Gesteine (z. B. Granit, Basalt, Diabas, Kalkstein, Sand, Zement, Asbest) entstehen.
- **Organische Stäube:** Dazu zählen Kunststoffe wie CFK, GFK, GMPU, Gummi, Polyester, PTFE, Isolierstoffe, aber auch Kohle, Mehl, Kakao, Stärke, Holz, Cellulose, Futtermittel und nicht zuletzt Lackier- und Sprühstäube. Die Stäube aus der Be- und Verarbeitung dieser Produkte und Stoffe sind zündfähig und können in der Regel der Staubexplosionsklasse St 1 zugeordnet werden.
- **Metallische Stäube:** Typisch sind anorganische Stoffe wie Magnesium und Aluminium, bei feinen Strahlstäuben selbst Stahl. Bei geringer Partikelgröße (Stäube)

können sich auch solche Metalle entzünden, die in fester Form als nicht brennbar gelten. Die in Relation sehr große Oberfläche der Metallstaubpartikel ermöglicht eine schnelle Wärmeaufnahme und dadurch die Entwicklung einer zündfähigen Atmosphäre. Solche Stäube sind meistens den Staubexplosionsklassen 2 oder 3 zuzuordnen.

3.9.1.1 Sicherheitstechnische Kenngrößen

Der Betreiber muss im Rahmen seiner Informationsermittlung nach § 6 GefStoffV die Brenn- und Explosionskenngrößen des Stoffs oder Stoff-Luft-Gemischs ermitteln oder ermitteln lassen. Diese Kenngrößen ermöglichen es dem Hersteller, die Schutzmaßnahmen festzulegen und die Absauganlage sicher auszulegen.

In der nachfolgenden Tabelle 3.9.3 sind die für die Beurteilung der jeweiligen Stoffgruppe maßgebenden sicherheitstechnischen Kennzahlen zusammengestellt.

Tabelle 3.9.3 Zusammenstellung der sicherheitstechnischen Kennzahlen mit Zuordnung zu den verschiedenen Stoffgruppen

Sicherheitstechnische Kennzahlen	Gas	Brennbare Flüssigkeit	Staub abgelagert	Staub aufgewirbelt
Korngröße			X	X
Dampfdruck		X		
Flammpunkt		X		
Brennpunkt		X		
Glimmtemperatur (Staubschicht)			X	
Brennzahl			X	
Sauerstoffgrenzkonzentration	X	X	X	X
Zündtemperatur	X	X		
Mindestzündtemperatur (Staubwolke)				X
Mindestzündenergie	X	X		X
Explosionspunkte		X		
Explosionsgrenzen	X	X		X
Explosionsdruck	X	X		X
Explosionskonstante	X	X		X
Schwelpunkt			X	
Selbstentzündungstemperatur			X	
Staubungszahl				X
Dichteverhältnis mit Luft	X	X		

Die Explosionsgrenzen (UEG, OEG) oder, bei Flüssigkeiten, auch die Explosionspunkte (UEP, OEP) liefern Informationen für die Beurteilung, ob eine Explosionsgefahr vorliegt. Sowohl in Abhängigkeit von der Konzentration in der Absauganlage bei bestimmungsgemäßer Verwendung, als auch während der Anfahr- und Abfahrphase, des Stillstands und bei möglichen Störungen ist abzuschätzen, ob eine explosionsfähige Atmosphäre vorhanden sein könnte.

Die sicherheitstechnischen Kenngrößen von Gasen und Flüssigkeiten können häufig den Sicherheitsdatenblättern der Lieferfirmen entnommen werden. Für Stäube geben Datenbanken von Prüfinstituten meistens hinreichend

genaue Auskunft (siehe Hinweis). Im Einzelfall ist aber auch eine spezielle Untersuchung repräsentativer Stichproben des abzusaugenden Stoffs erforderlich.

Hinweis:

Die GESTIS STAUB-EX Datenbank des Instituts für Arbeitsschutz (IFA) liefert wichtige Brenn- und Explosionskenngrößen von über 6.000 Staubproben aus vielen Branchen. Die öffentlich zugängliche Datenbank darf zum Zweck des Arbeitsschutzes verwendet werden und liefert Orientierungswerte für Betreiber und Hersteller. Die Datenbank ist, vor allem in Bezug auf die Übertragbarkeit auf die tatsächlich vorliegende Staubprobe, nur begrenzt anwendbar. Sie bietet keine Rechtssicherheit.

3.9.2 Wirksame Zündquellen

Ohne Zündquelle stellen zündfähige Stoff-Luft-Gemische allein kein brand- oder explosionstechnisches Risiko dar.

Explosionsfähige Staub-Luft-Gemische werden in Abhängigkeit von der Mindestzündenergie (MZE) hinsichtlich ihrer Zündempfindlichkeit nach Tabelle 3.9.4 wie folgt unterschieden:

Tabelle 3.9.4 Zündempfindlichkeit brennbarer Stäube in Abhängigkeit von der Mindestzündenergie

Mindestzündenergie	Zündempfindlichkeit
MZE > 10 mJ	normal zündempfindlich
3 mJ < MZE < 10 mJ	besonders zündempfindlich
MZE < 3 mJ	extrem zündempfindlich

Brennbare Gase und die Dämpfe aller Flüssigkeiten, die einen Flammpunkt besitzen, gelten als „extrem zündempfindlich“.

Nach DIN EN 1127-1 sind insgesamt 13 potentielle Zündquellen zu analysieren. Diese lassen sich hinsichtlich ihres Ursprungs in folgende Kategorien unterteilen:

- von extern eingetragene Zündquellen: z. B. heiße Partikel, mechanisch erzeugte Funken, die beim abzusaugenden Prozess entstehen und in die Absauganlage eingesaugt werden, oder brennende, glühende Fremdkörper,
- geräteeigene Zündquellen: z. B. heiße Oberflächen, statische Elektrizität, elektrische Betriebsmittel,
- stoffeigene Zündquellen: z. B. chemische Reaktion in einem abgelagerten Staub wie die Selbstentzündung und die Thermitreaktion oder die Polymerisation,
- von extern einwirkende Zündquellen: z. B. Blitzschlag, elektromagnetische Felder, ionisierende Strahlung, Ultraschall.

Für den jeweiligen Bereich in der Absauganlage (brand- und/oder explosionsgefährdeter Bereich) sind mit einer Zündquellenanalyse die potenziellen Zündquellen zu identifizieren. Gestützt auf die sicherheitstechnischen Kenngrößen, wie die Glimmtemperatur einer Staubschicht oder die Mindestzündenergie eines Staub-Luft-Gemischs sind mit der Zündgefahrenanalyse die wirksamen

Zündquellen und entsprechende Maßnahmen zu ihrer Verhinderung zu erarbeiten.

Zündquellen von wesentlicher praktischer Bedeutung für Absauganlagen sind in der Tabelle 3.9.5 dargestellt.

Die Vermeidung möglicher Zündquellen hat eine hohe sicherheitstechnische Relevanz. Auch bei den häufig weniger zündempfindlichen Stäuben sind besonders mechanische, elektrische und thermische Zündquellen zu vermeiden.

Heiße Oberflächen können unter anderem durch Reibung entstehen. Zu den thermischen Zündquellen gehören außerdem Glimmnester, die unter Umständen unerkannt in eine explosionsfähige Atmosphäre eingetragen werden können.

Mechanische erzeugte Funken können grundsätzlich durch schnelllaufende Anlagenteile oder durch den Eintrag von Fremdkörpern, die zur Blockierung und somit zur Überlastung von bewegten Anlagenteilen führen, eine Gefährdung darstellen. Es ist außerdem Funkenflug durch Schweiß-, Schleif- und Trennschneidarbeiten zu beachten.

Elektrische Anlagen können Zündquellen erzeugen, wenn die explosionsgeschützte Ausführung solcher Anlagen und Betriebsmittel nicht gegeben oder mangelhaft ist. Statische Elektrizität durch elektrostatische Entladungen kann zur Zündquelle werden, wenn der Potentialausgleich zwischen leitenden Anlagenteilen gar nicht oder nur unzureichend durchgeführt wurde. Auch Kurzschluss durch Zernagen der Isolation (Mäuse, Ratten) stellt in manchen Fällen eine Gefährdung dar.

Blitzschlag ist als Zündquelle auszuschließen, wenn eine funktionsfähige Blitzschutzanlage vorhanden ist.

Exotherme chemische Reaktionen, einschließlich Selbstentzündung, können beispielsweise bei der längeren Lagerung organischer Komponenten (> 3 Tage) oder der Verarbeitung von 2-Komponenten-Lacken auftreten.

Tabelle 3.9.5 Wichtige Zündquellen beim Betrieb von Absauganlagen (nach DIN EN 1127-1)

Zündquelle	Vorhandensein	Wirksamkeit
Heiße Oberflächen	<ul style="list-style-type: none"> • Unter Umständen vorhanden durch Eintragen von Fremdkörpern, die zur Blockierung sowie zur Überlastung von bewegten Anlagenteilen führen, z. B. Austragschnecken • Schweiß-, Schleif- und Trennschneidarbeiten bei unsachgemäßen Instandhaltungsarbeiten 	Ja
		Ja
Flammen und heiße Gase	Vorhanden, wenn heiße Gase abgesaugt werden oder z. B. als Rauchgase von einer Feuerungsanlage in ein Silo geraten können	Ja
Mechanisch erzeugte Funken*)	<ul style="list-style-type: none"> • Grundsätzlich möglich bei Ventilatoren, schnelllaufenden Anlagenteilen • Mechanische Austrageinrichtungen sind üblicherweise nicht schnelllaufend (< 1 m/s). • Schlag- und Reibfunken von eingesaugten Metallteilen 	Ja
		Ja, wenn > 1 m/s
		Ja
Elektrische Anlagen	Normalerweise im Inneren von materialführenden Anlagenteilen nicht vorhanden	Wenn vorhanden, z. B. Melder oder Detektoren, dann Ausführung nach ATEX notwendig
Statische Elektrizität **)	<ul style="list-style-type: none"> • Gleitstielbüschelentladungen (nur bei aufladbaren Beschichtungen vorhanden, sie können und müssen vermieden werden) • Funkenentladung (bei unzureichender Erdung) 	Ja
		Ja
Blitzschlag	Als Zündquelle auszuschließen, sofern eine Blitzschutzanlage nach DIN EN 62305 vorhanden ist.	Ja, falls eine Blitzschutzanlage nicht vorhanden ist
Exotherme Reaktion	<ul style="list-style-type: none"> • Erwärmung durch Verrottungsreaktionen von feuchtem organischen Material möglich • Eingetragene Glimmnester 	Ja, Gefahr der Entstehung von Schwelgasen, die entzündet werden können
		Ja

Anmerkungen:

zu *): „Mechanisch erzeugte Funken“ gelten bei Anwesenheit von Gasen der Explosionsgruppe IIC (Wasserstoff, Acetylen, Schwefelkohlenstoff) auch bei Relativgeschwindigkeiten von < 1 m/s als zündwirksam.

zu **): Mögliche Entladungsarten sind Büschelentladung, Gleitstielbüschelentladung, Funkenentladung und Schüttkegelentladung. Letztere sind nur bei großen Schüttungen, z. B. in Silos, zu berücksichtigen. Büschelentladungen sind für Stäube nicht zündwirksam. Bei Vorhandensein von Gasen oder Nebeln in den Zonen 0 bis 2 müssen sie allerdings unterbunden werden.

3.9.3 Brandschutz

Die Ausbreitung von Bränden (Wärmestrahlung und Flammenübertragung) von der Absauganlage auf angrenzende Bauteile und Objekte muss vermieden werden. Außerdem muss die Ausbreitung von Feuer und Rauch durch Rohrleitungssysteme, die mit der Filtereinheit verbunden sind (Absaugrohrleitungs-System, Rückluftkanäle, Austragsystem) unterbunden werden.

Bezüglich der Brandschutzanforderungen sollten die nationalen Regeln und Regulierungen in Abstimmung zwischen Betreiber, Versicherung, Feuerwehr oder Hersteller des Brandschutzsystems oder der Absauganlage festgelegt werden.

Um Absauganlagen bei einem Brand vor dessen Folgen zu schützen, ist ein geeignetes Brandschutzkonzept festzulegen. Dieses Konzept muss unter anderem die Auswahl

- eines geeigneten Löschmittels (Wasser, Pulver, gasförmige Mittel wie Argon, CO₂, Stickstoff, Schaum),
- einer ausreichenden Sensorik (Funkenmelder (Infrarot/ Ultraviolett), Flammenmelder, Rauchmelder, Temperaturmelder) und
- die Wahl des Automatisierungsgrads (voll- oder halbautomatische Löschung, manuelle Brandbekämpfung) beinhalten.

3.9.3.1 Löschmethoden und Löschmittel

Das Löschen von Bränden beruht auf folgenden Grundsätzen:

- Wird dem Brand der „Brennstoff“ entzogen, erlischt das Feuer.
- Ein Brand wird durch ausreichende Sauerstoffzufuhr unterhalten. Löschen heißt also die Sauerstoffzufuhr unterbrechen, zum Beispiel durch Abdecken der Flammen. Gelingt die Unterbrechung der Sauerstoffzufuhr nur teilweise, wird der Brand immer wieder aufflackern.
- Wo sich Zündquellen ausschließen lassen, kann ein Brand nicht entstehen. Löschen eines Brands durch Entfernen der Zündquelle ist möglich, wenn mit geeigneten Mitteln die Brandtemperatur unter die stoffbedingt erforderliche Zündtemperatur abgesenkt wird.

Feuerlöschmittel behindern den Verbrennungsvorgang und bringen ihn schließlich zum Stillstand.

Die Löscheffekte werden entsprechend ihrer Wirkungsweise wie folgt bezeichnet:

- **Stickeffekt:** Verdünnen, Abmagern, Trennen, Vermindern des Sauerstoffgehalts auf weniger als 15 Vol.-%.
- **Inhibitionseffekt:** (Antikatalyse) Verzögern der Oxidationsgeschwindigkeit durch reaktionshemmende Stoffe, z. B. Löschpulver
- **Kühleffekt:** Herabsetzen der Reaktionstemperatur, besonders durch Wasser

Für die Praxis gilt die Faustregel: Glut muss gekühlt – Flammen müssen erstickt werden!

Ein Universallöschmittel für Brände gibt es nicht. Das jeweilige Löschmittel wird durch die Brand-Art oder den brennenden Stoff bestimmt. Feuerlöschmittel unterliegen behördlicher Prüfung und der Zulassung für bestimmte Brandklassen (siehe Tabelle 3.9.6).

Feuerlöschmittel verursachen bei bestimmungsgemäßer Verwendung und Handhabung des Löscheräts bei Menschen keine Gesundheitsschäden.






3.9.3.2 Bekämpfung von Bränden in Absauganlagen

Um den Zutritt von Luftsauerstoff zum Brandherd zu unterbinden, dürfen geschlossene Behälter wie auch alle Filteranlagen zur Brandbekämpfung nicht geöffnet werden. Beim Löschen darf außerdem nicht mit einem Wasser- oder Löschpulverstrahl vorgegangen werden, weil durch Lufteintritt und Aufwirbelungen ein explosionsfähiges Stoff-Luft-Gemisch entstehen und durch den bereits vorhandenen Brand gezündet werden kann. Daher sind in allen geschlossenen Filteranlagen Feuerlöschanlagen (z. B. Sprühwasser-, Inertgas-, Schaum-, Wasserdampf-Löschanlagen) zur Brandbekämpfung erforderlich.

Die richtigen Brandbekämpfungsmaßnahmen sollten mit der Feuerwehr abgestimmt sein. Alle Löschanlagen müssen von einer gemäß DIN EN ISO/IEC 17065 akkreditierten Zertifizierungsstelle (z. B. VdS Schadenverhütung GmbH) anerkannt sein.

Durch **Sprühwasser-Löscheinrichtungen** oder Sprühwasser-Löschanlagen wird im Brandfall das Löschwasser durch geeignete Düsen gleichmäßig und in kleinen Tröpfchen über den gesamten Querschnitt des Behälters oder der Filteranlage verteilt (evtl. Quellwirkung des gelagerten Stoffs beachten!). Dabei wird auch Schwebstaub nieder-

Tabelle 3.9.6 Für die Brandklassen nach DIN EN 2 geeignete und zugelassene Löscher (DGUV Information 205-001)

Arten von Feuerlöschern	Feste, glutbildende Stoffe	Flüssige oder flüssig werdende Stoffe	Gasförmige Stoffe, auch unter Druck	Brennbare Metalle (Einsatz nur mit Pulverbrause)	Fettbrände in Frittier- und Fettbackgeräten
					
Pulverlöscher mit ABC-Löschpulver	X	X	X	—	Einsatz von speziellen Löschmitteln
Pulverlöscher mit BC-Löschpulver	—	X	X	—	
Pulverlöscher mit Metallbrandpulver	—	—	—	X	
Kohlendioxidlöscher	—	X	—	—	
Wasserlöscher (auch mit Zusätzen, z. B. Netzmittel, Frostschutzmittel oder Korrosionsschutzmittel)	X	—	—	—	
Wasserlöscher mit Zusätzen, die in Verbindung mit Wasser auch Brände der Brandklasse B löschen	X	X	—	—	
Schaumlöscher	X	X	—	—	

X = geeignet — = nicht geeignet

geschlagen, wodurch die Staubexplosionsgefahr erheblich reduziert wird. Filmbildende Zusätze, die dem Löschwasser beigegeben werden, können die Löschwirkung verbessern.

An der Löscheinrichtung sollte die maximal zulässige Löscheinzeit angegeben sein. Die Einbringung zu großer Wassermengen kann die Statik eines Abscheiders oder Lagerbehälters an die Grenze der Belastbarkeit bringen. Bei **Inertgas-Löschanlagen** werden die Flammen nicht durch Wassereintrag bekämpft (Kühleffekt), sondern der Sauerstoffgehalt wird durch Einbringung von Stickgasen (z. B. verschiedene Edelgase wie Argon Ar, Stickstoff N₂ oder Kohlendioxid CO₂) soweit reduziert, bis dem Feuer die Oxidationsgrundlage entzogen ist (Stickeffekt), weil der für die Verbrennung erforderliche spezifische Sauerstoffgrenzwert unterschritten ist.

Schaumlöschanlagen können dort eingesetzt werden, wo mit Wasser keine hinreichenden Löscherfolge erzielt werden können, zum Beispiel bei brennbaren Flüssigkeiten. Die Löschwirksamkeit beruht im Wesentlichen auf einem Kühl- und Trenneffekt. Die Höhe der abdeckenden Schaumschicht ist entscheidend für den Löscherfolg. Bei Bränden polarer Flüssigkeiten (Isopropylalkohol, Azeton, etc.) müssen spezielle Schaummittel eingesetzt werden. Klassische Anwendungsbereiche, bei denen Schaummittel, besonders in ortsfesten Löschanlagen, eingesetzt werden, sind:

- Gefahrstoffe
- brennbare Flüssigkeiten
- Kunststoffe
- Reifen

3.9.3.3 Verminderung des Risikos eines Eintrags zündwirksamer Zündquellen in gefährdete Anlagenteile

Zur Verminderung des Risikos eines Eintrags zündwirksamer Zündquellen in besonders feuergefährdete Anlagenteile (z. B. Abscheider, Lagerbehälter) kann in vielen Fällen eine **Funkenerkennung und -löschung** dienen. Zu beachten ist allerdings, dass solche Anlagen als alleinige Explosionsschutzmaßnahme nicht ausreichend sind, weil sie zwar einen Eintrag externer Zündquellen wirkungsvoll verhindern, nicht aber deren Entstehung im angeschlossenen Behälter (Abscheider, Silo) selbst. Bei Explosionsgefahr sind daher in jedem Fall zusätzliche konstruktive Maßnahmen zu treffen.

Funkenerkennungs- und -löschanlagen bestehen im Wesentlichen aus einem oder mehreren Funkenmeldern sowie Löschdüsen zum Einsprühen von Löschwasser. Die Funken werden gelöscht, bevor sie den Lagerbehälter oder den Abscheider erreichen.

Der Löschvorgang läuft in der Regel ohne Unterbrechung des laufenden Betriebs ab.

Durch nachgeschaltete Funkenmelder können die Löschwirkung überwacht und gegebenenfalls die Fördereinrichtungen stillgesetzt werden.

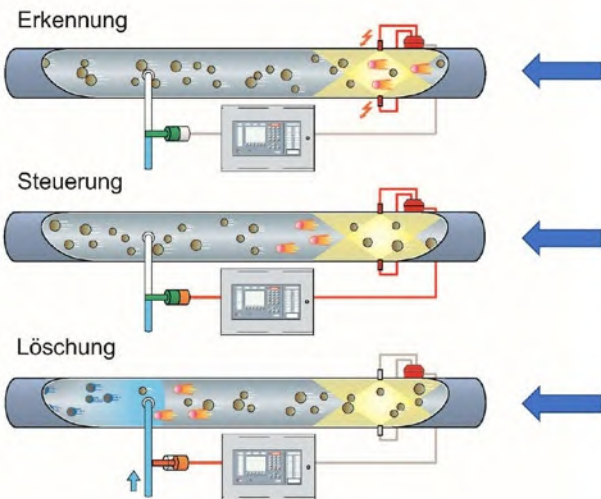


Abb. 3.9.2 Bestandteile und Wirkungsweise einer Funken-detecting- und -löschanlage

Ohne ein schlüssiges Konzept zur Betriebsmittelansteuerung verweigern die Versicherer in der Regel die Anerkennung der installierten Anlage. Löschanlagen müssen von einer gemäß DIN EN ISO/IEC 17065 akkreditierten Zertifizierungsstelle (z. B. VdS Schadenverhütung GmbH) anerkannt sein.

Ein **Funkenvorabscheider** – auch Funkenfalle genannt – kann das Eindringen eines Großteils der glühenden Partikel in das Filtergerät verhindern. Funkenfallen bestehen in der Regel aus einer 180° Umlenkung mit Prallblech, an das das glühende Partikel beim Aufprall seine Wärmeenergie vollständig abgibt.

Andere Systeme bestehen aus einer Kombination von Ausglühkammer und Nassfunkenabscheider. Die Ausglühkammer hat die Aufgabe, Funken und Glutnester auf einer verlängerten Transportstrecke auszuglühen. Das wird mit einer zyklonähnlichen Konstruktion erreicht. Der nachgeschaltete Nassabscheider ist ein Sicherheitsabscheider. Er löscht die hartnäckig brennenden Funken oder Glutnester, die die Ausglühkammer passieren.

3.9.3.4 Maßnahmen gegen Brandgefahren aus Absauganlagen für die Umgebung

Von Absauganlagen, in denen brennbare Stoffe gefördert und/oder (zwischen-)gelagert werden, gehen erhöhte Brandgefahren für die Umgebung aus.

Filteranlagen oder Abscheider sind im Sinne der Bauordnung keine Gebäude und könnten mit der Werkhalle einen gemeinsamen Brandabschnitt bilden. Sie stellen jedoch gegenüber der Werkhalle eine erhöhte Brand- und Explosionsgefahr dar. Daher ist eine Ausbreitung eines Brands in der Abscheideanlage (im Weiteren kurz Filteranlage genannt) auf das Gebäude sicher zu verhindern.

Bei Aufstellung von Filteranlagen im Freien müssen deshalb Maßnahmen gegen folgende Risiken getroffen werden:

- Ausbreitung eines Filterbrands durch Wärmestrahlung auf das Gebäude
- Einleitung eines Filterbrands durch die Absaugleitung in das Gebäude
- Einleitung eines Filterbrands durch den Rückluftkanal (wenn vorhanden) in das Gebäude
- Eintragung von Rauchgasen über den Rückluftkanal (wenn vorhanden) in das Gebäude

Die Ausbreitung eines Brands von der Filteranlage auf/in angrenzende Gebäude kann verhindert werden durch

- Brandschutzmaßnahmen im Bereich der Filteranlage oder
- Brandschutzmaßnahmen am angrenzenden Gebäude.

Diese Brandschutzmaßnahmen können in einem ausreichenden Abstand der Filteranlage zur Außenwand des angrenzenden Gebäudes und/oder in der Verwendung nichtbrennbarer Baustoffe für die Außenwand bestehen.

3.9.3.4.1 Brandschutztechnische Trennung

Die Forderung nach brandschutztechnischer Trennung und damit sicherer Verhinderung einer Brandübertragung kann durch entsprechende Feuerbeständigkeit der Trennung (F90 nach DIN 4102-2 oder EI90/REI90 nach EN 13051-2) oder durch Abstand erfüllt werden. Dabei darf innerhalb dieses Sicherheitsabstands kein brennbarer Gebäudeteil und auch kein sonstiges brennbares Material vorhanden sein.

Ein ausreichender Abstand zwischen einer im Freien aufgestellten Filteranlage und der Außenwand des angrenzenden Gebäudes besteht bei den folgenden Ausführungen:

1. Filteranlage mit Abstand ≥ 10 m vor **Außenwänden aus brennbaren Baustoffen**. In den Verbindungsleitungen müssen brandschutztechnische Trenneinrichtungen in der Außenwand oder im Bereich der Filteranlage eingebaut sein.
2. Filteranlage mit Abstand ≥ 5 m vor **Außenwänden aus nichtbrennbaren Baustoffen**. In den Verbindungsleitungen müssen brandschutztechnische Trenneinrichtungen in der Außenwand oder im Bereich der Filteranlage eingebaut sein.
3. Filteranlage in einem Abstand von mehr als 1 m bis 5 m vor **feuerbeständigen Außenwänden**. Filteranlagen, die im Abstand von weniger als 5 m zum Gebäude errichtet werden, erfordern beim angrenzenden Gebäudeteil feuerbeständige Wände einschließlich eines zusätzlichen seitlichen Sicherheitsbereichs von 5 m. In den Verbindungsleitungen müssen brandschutztechnische Trenneinrichtungen in der Außenwand eingebaut sein.

4. Filteranlage mit Abstand ≥ 1 m vor **nichtfeuerbeständigen Außenwänden aus nichtbrennbaren Baustoffen**:

Der Sicherheitsabstand kann von 5 m auf 1 m reduziert werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Filtergehäuse genügt der Feuerwiderstandsklasse EW 90.
- Absaugrohrleitungen müssen mit Rückschlagklappen (EW 90) ausgestattet sein. Um auch Brandübertragungen durch Wärmestrahlung auszuschließen, ist ein definierter Abstand zwischen Klappenblatt und Außenwand des angrenzenden Gebäudes von mindestens 1 m erforderlich.
- Zellenradschleusen zur Austragung aus dem Filter können im Stillstand die Feuerwiderstandsklasse EW 90 erfüllen.
- Bei Filteranlagen mit Rückluftführung kann ein vorhandener Reststaubgehaltssensor zusätzlich zur Rauchdetektion im Rückluftkanal genutzt und damit bei Rauchentwicklung automatisch die Umschaltklappe Rückluft/Abluft umgeschaltet werden. Die Umschaltklappe muss die Feuerwiderstandsklasse EW 90 erfüllen. Die Eignung des Sensors für diesen Anwendungsfall muss nachgewiesen und von einem anerkannten, unabhängigen Institut bescheinigt sein.

Die Feuerwiderstandsklasse des Filtergehäuses (EW 90) und der brandschutztechnischen Trenneinrichtungen muss von einer anerkannten Prüfstelle nachgewiesen sein. Eine bauaufsichtliche Zulassung ist für derartige Maßnahmen nicht vorgesehen.

Nach den Bauordnungen der Länder müssen fest verlegte Rohrleitungen in feuergefährdeten Bereichen aus nicht brennbaren Werkstoffen der Baustoffklasse A nach DIN 4102 oder nach DIN EN 13501 A1 entsprechen, also aus Stahl(blech) bestehen. Flexible Schlauchleitungen müssen aus mindestens schwer entflammbarem Material der Baustoffklasse B1 nach DIN 4102 oder nach DIN EN 13501 B, C-s1d2 / B, C-s3d2 hergestellt sein (z. B. Polypropylen, Polyurethan). Rohre oder Schläuche aus PVC sind ungeeignet.

Im Brandfall kann von Rohrleitungen eine gefährliche Wärmeentwicklung ausgehen. Wandungen von Rohrleitungen sollten daher zu brennbaren Bauteilen einen Sicherheitsabstand von mindestens 0,10 m haben.

Im Einzelfall können im – zwingend erforderlichen – Brandschutzkonzept alternative Lösungen vorgesehen werden.

3.9.3.4.2 Durchdringung von Brandabschnitten

Um ein Übergreifen etwaiger Brände von einem (bauaufsichtlich festgelegten) Brandabschnitt in den benachbarten Brandabschnitt zu vermeiden, müssen sowohl Förderleitungen als auch eventuell vorhandene Rückluftleitungen mit Absperreinrichtungen gegen Brandübertragung ausgerüstet sein.

Dabei müssen in materialführende Rohrleitungen im Innenbereich von Gebäuden bei jeder Durchdringung einer Brandwand selbsttätig wirkende **Feuerschutzabschlüsse** eingebaut werden.

Ist in einer Förderleitung eine Funkenerkennung (z. B. einer Funkenlöschanlage) nach Abschnitt 3.9.3.3 installiert, sollte bei einer dauerhaften Funkenerkennung der Feuerschutzabschluss geschlossen werden.

Feuerschutzabschlüsse müssen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) aufweisen. Vor Ort sind die Abschlüsse durch eine Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle (PÜZ-Stelle) nach Landesbauordnung abzunehmen. Näheres regelt der Zulassungsbescheid des DIBt.

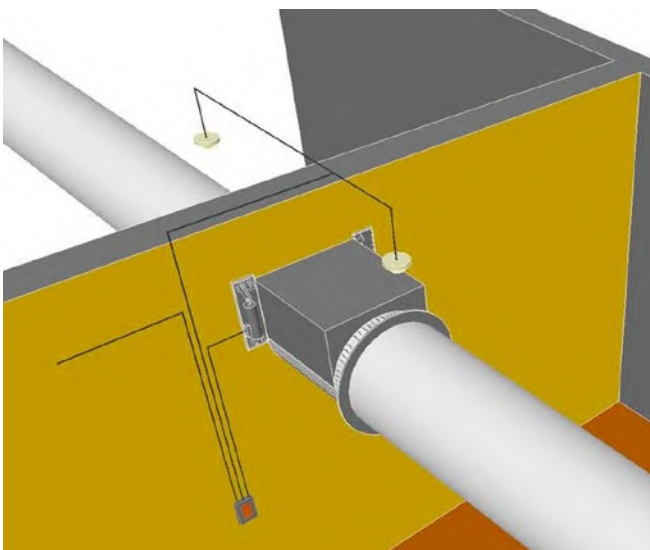


Abb. 3.9.3 Prinzipieller Aufbau eines Feuerschutzabschlusses für materialführende Leitungen

Brandschutzklappen in Rück- oder Zuluft-Leitungen verhindern als Absperreinrichtung eine Brand- und Rauchübertragung durch die Luftleitung in benachbarte Brandabschnitte (siehe Abb. 3.9.4).

3.9.4 Explosionsschutz

Brennbare Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube können zusammen mit Luftsauerstoff explosionsfähige Gemische bilden. Voraussetzung für eine Explosion in Verbindung mit Stäuben ist darüber hinaus das Vorhandensein von Staubanteilen mit einer Korngröße von höchstens 500 µm. Die Konzentration des Stoff-Luft-Gemischs muss sich außerdem oberhalb der unteren Explosionsgrenze (UEG), aber unterhalb der oberen Explosionsgrenze (OEG) befinden. Weitere Voraussetzung für das Zustandekommen einer Explosion ist das gleichzeitige Vorhandensein einer wirksamen Zündquelle.

Maßnahmen zur Verhinderung von Explosionen zielen darauf ab, dass mindestens eine dieser Voraussetzungen ausgeschaltet wird.



Abb. 3.9.4 Feuerschutzabschluss für Luftleitungen

3.9.4.1 Pflichten aus der Gesetzgebung

Im Explosionsschutz sind sowohl dem Betreiber einer Anlage, als auch deren Hersteller von der Gesetzgebung bestimmte Pflichten auferlegt.

3.9.4.1.1 Pflichten des Betreibers

Die Explosionsschutz-Betriebsrichtlinie 1999/92/EG (allgemein mit ATEX 137 bezeichnet) enthält grundlegende Sicherheitsanforderungen hinsichtlich der Gefahren, die sich durch „explosionsfähige Atmosphären“ ergeben können. Im Fokus steht der betriebliche Arbeitsschutz. Obwohl es für den Betreiber nicht immer erkenntlich ist, bei welchen Bearbeitungsprozessen eine latente Explosionsgefahr und damit eine entsprechende Handlungsnotwendigkeit besteht, ist er verpflichtet, schon vor Inbetriebnahme ein Explosionsschutzdokument zu erstellen, um geeignete Schutzmaßnahmen festzulegen. Das dabei festgelegte Explosionsschutzkonzept ist zu dokumentieren und umfasst mindestens folgende Positionen:

- Wahrscheinlichkeit und Dauer des Auftretens einer explosionsfähigen Atmosphäre
- Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins, der Aktivierung und des Wirksamwerdens von Zündquellen
- Zu erwartendes Ausmaß und Auswirkung einer Explosion

Auf der Basis dieses Explosionsschutzdokuments muss der Betreiber die notwendigen Schutzmaßnahmen festlegen und die Beschäftigten unterweisen.

3.9.4.1.2 Pflichten des Herstellers

Nach Anhang I, Punkt 1.5.7 der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG muss „die Maschine so konzipiert und gebaut sein, dass jegliche Explosionsgefahr, die von der Maschine selbst oder von Gasen, Flüssigkeiten, Stäuben, Dämpfen und anderen von der Maschine freigesetzten oder verwendeten Substanzen ausgeht, vermieden wird“.

Darüber hinaus richtet sich auch die Richtlinie 2014/34/EU des Europäischen Parlaments und des Rates (allgemein ATEX 114 genannt) in erster Linie an die Hersteller. Die Richtlinie betrifft Schutzsysteme und sämtliche Maschinen und Geräte, die sich in potentiell explosionsfähiger Atmosphäre befinden. Relevant in diesem Zusammenhang sind dabei elektrische und nicht elektrische Geräte, die eine eigene mögliche Zündquelle aufweisen.

Nach ATEX 114 besteht für den Hersteller eine Verpflichtung zur:

- Durchführung einer Risikobeurteilung
- Festlegung der bestimmungsgemäßen Verwendung und der Betriebsbedingungen
- Einstufung in eine Gerätekategorie (siehe Tabelle 3.9.7)
- Kennzeichnung auf dem Typenschild

Der Hersteller muss außerdem eine EG-Baumusterprüfung durch eine benannte Stelle (akkreditiertes Institut) veranlassen, wenn ein elektrisches Gerät in die Kategorie 1 oder 2, ein nicht elektrisches Gerät in die Kategorie 1 fällt oder wenn es sich um ein Schutzsystem handelt.

3.9.4.1.3 Zusammenhang zwischen den Anforderungen
Zwischen der Betreiberrichtlinie (ATEX 137) und der Herstellerrichtlinie (ATEX 114) besteht eine gegenseitige Abhängigkeit. Da es für den Betreiber nicht immer erkenntlich ist, bei welchen Bearbeitungsprozessen eine latente Explosionsgefahr und damit eine entsprechende Handlungsnotwendigkeit besteht, ist es sinnvoll, geplante Projekte mit den notwendigen Vorklärlungen zwischen Betreiber und Anlagenhersteller detailliert abzustimmen. Tabelle 3.9.8 zeigt den Zusammenhang zwischen den sich für die Beteiligten ergebenden Pflichten auf.

Tabelle 3.9.7 Einstufung in die Gerätekategorien nach ATEX 114

Kategorie	1		2		3	
Sicherheitslevel	sehr hoch		hoch		normal	
Einsatz in Zone	0/1/2	20/21/22	1/2	21/22	2	22
Atmosphäre	Gas (G)	Staub (D)	Gas (G)	Staub (D)	Gas (G)	Staub (D)

Tabelle 3.9.8 Zusammenhang der wesentlichen Anforderungen aus **Betreiberrichtlinie (ATEX 137)** und **Herstellerrichtlinie (ATEX 114)**

Betreiber (ATEX 137)	Hersteller (ATEX 114)
Festlegung von Zonen in einer Anlage Auswahl der entsprechenden Geräte	Spezifikation der Gerätegruppe/-kategorie Definition des Verwendungsbereichs
Zone 0/20 Zone 1/21 Zone 2/22	Kategorie 1 Kategorie 2 Kategorie 3
Einhaltung der entsprechenden Installations-, Inbetriebnahme- und Wartungsanforderungen	Die Geräte müssen den Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen oder relevanten Standards entsprechen.
Durchführung einer Gefährdungsanalyse für den Betriebsbereich, Notwendigkeit der Koordination	Durchführung einer Zündquellenanalyse für die in Frage kommenden Geräte
Erstellung eines Explosionsschutzdokuments Regelmäßige Aktualisierung	Erstellung einer Konformitätserklärung Entsprechende Qualitätssicherung

3.9.4.2 Explosionsgefährdete Bereiche

Explosionsgefährdeter Bereich ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann. Als „gefährlich“ wird eine explosionsfähige Atmosphäre bezeichnet, wenn sie in gefahrdrohender Menge auftritt. Das ist gegeben, wenn das Volumen des Stoff-Luft-Gemisches mindestens 10 l beträgt.

Explosionsgefährdete Bereiche können nach Häufigkeit und Dauer des Auftretens gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre in Zonen unterteilt werden (siehe Tabelle 3.9.9.). Diese Einteilung dient als Grundlage für die Festlegung von Maßnahmen, besonders zur Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre.

Anmerkung:

Erfolgt keine Zoneneinteilung, müssen grundsätzlich die Maßnahmen für Zone 0 oder Zone 20 zur Anwendung kommen.

Dabei unterscheiden sich die Zonenbezeichnungen für Gase, Dämpfe und Nebel und die Zonenbezeichnungen für Stäube wie in Tabelle 3.9.9 dargestellt.

Schichten, Ablagerungen und Aufhäufungen von brennbarem Staub sind wie jede andere Ursache, die zur Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre führen

kann, zu berücksichtigen. Zur Zone 22 gehören daher auch Bereiche, in denen sich Staubablagerungen bilden, die kurzzeitig zu gefährlichen explosionsfähigen Staub-Luft-Gemischen aufgewirbelt werden können. In diesem Sinne sind Staubablagerungen von 1 mm Höhe, die eine Arbeitsschicht überdauern, bereits in Zone 22 einzustufen.

Die sich in explosionsfähiger Atmosphäre ausbreitenden Flammen können ein Volumen einnehmen, das etwa zehnmal so groß ist wie das der explosionsfähigen Atmosphäre vor ihrer Entzündung. Bei Ausbreitung in einer Richtung muss deshalb mit entsprechend langen Stichflammen gerechnet werden.

3.9.4.3 Maßnahmen-Hierarchie

Bei der Festlegung von Maßnahmen zum Explosionsschutz ist folgende Abfolge – rechtsverbindlich – zu prüfen:

1. Verhinderung des Entstehens explosionsfähiger Atmosphäre
2. Vermeidung wirksamer Zündquellen
3. Maßnahmen zur Verminderung der Auswirkungen etwaiger Explosionen (konstruktiver Explosionsschutz)

Tabelle 3.9.9 Einteilung von explosionsgefährdeten Bereichen (ATEX 137)

Beschreibung explosionsgefährdeter Bereich	Gase, Nebel, Dämpfe	Stäube	Erläuterungen
Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbarem Stoff ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.	Zone 0	Zone 20	Der Begriff „häufig“ ist im Sinne von „zeitlich überwiegend“ zu verwenden. Dies ist der Fall, wenn damit zu rechnen ist, dass während mehr als 50 % der Anlagenbetriebszeit die untere Explosionsgrenze (UEG) überschritten ist.
Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbarem Stoff bilden kann.	Zone 1	Zone 21	Normalbetrieb ist dabei der Zustand, in dem die Arbeitsmittel oder Anlagen und deren Einrichtungen innerhalb ihrer Auslegungsparameter benutzt oder betrieben werden. Der Begriff „gelegentlich“ ist im Sinne von „zeitlich nicht überwiegend“ zu verwenden. Dies ist der Fall, wenn damit zu rechnen ist, dass während weniger als 50 % der Anlagenbetriebszeit die untere Explosionsgrenze (UEG) überschritten ist.
Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbarem Stoff normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt	Zone 2	Zone 22	Das ist gleichbedeutend damit, dass gefährliche explosionsfähige Atmosphäre nur selten und dann auch nur kurzzeitig auftritt. Dies ist der Fall, wenn wenige Male pro Jahr für weniger als 1/2 Stunde je Vorgang die untere Explosionsgrenze (UEG) überschritten sein kann.

Zunächst sind also alle Maßnahmen zu ergreifen, die das Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre soweit wie möglich einschränken. Solche, vorbeugend primäre, Maßnahmen sind – als alleinige Maßnahme – nur dann ausreichend, wenn die untere Explosionsgrenze zu allen Zeitpunkten und an jeder Stelle innerhalb der Anlage sicher unterschritten oder die obere Explosionsgrenze sicher überschritten bleibt. Letzteres ist nur in Ausnahmefällen realisierbar. Maßnahmen, die zu einer Unterschreitung der unteren Explosionsgrenze führen können, sind im Falle von Absauganlagen die Verdünnung des Gemischs mit Absaugluft in hinreichender Volumenge oder die Inertisierung mit inerten Gasen (Argon, Stickstoff) oder inerten Stäuben (mineralische Stäube) bis zur Unterschreitung der Sauerstoffgrenzkonzentration des Stoff-Luft-Gemischs.

Da die Vermeidung explosionsfähiger Atmosphäre, besonders in Absauganlagen, im Regelfall nicht mit hinreichender Sicherheit zu gewährleisten ist, müssen fast immer auch Maßnahmen zur Vermeidung wirksamer Zündquellen als vorbeugend sekundärer Explosionsschutz getroffen werden. Nähere Informationen hierzu sind den Abschnitten 3.9.2, 3.9.3.3 sowie 3.9.4.1.2 zu entnehmen.

Im Regelfall können aber auch wirksame Zündquellen nicht mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden. Das gilt bei Absauganlagen besonders für die Gruppe der von extern eingetragenen Zündquellen (siehe Abschnitt 3.9.2). Da somit ein Brand- oder Explosionsereignis nicht auszuschließen ist, sind konstruktive Maßnahmen zu treffen, die Auswirkungen einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß für Mensch, Maschine und Umwelt reduzieren. Solche Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes sind für Absauganlagen im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

3.9.4.4 Konstruktiver Explosionsschutz

Konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen sind immer dann erforderlich, wenn das Ziel, Explosionen zu vermeiden, durch Anwendung von Maßnahmen des vorbeugenden Explosionsschutzes – also das Verhindern des Auftretens explosionsfähiger Atmosphäre und/oder wirksamer Zündquellen – nicht oder nicht mit hinreichender Sicherheit erreicht werden kann. Solche Maßnahmen verhindern nicht das Auftreten einer Explosion, sondern beschränken ihre Auswirkungen auf ein unbedenkliches Maß. Dadurch wird sichergestellt, dass Personen nicht zu Schaden kommen, und es wird erreicht, dass die zu schützende Anlage nach einer Explosion nach Instandsetzung durch Fachpersonal wieder betriebsfähig ist.

In den einschlägigen Richtlinien (z. B. TRBS 2151 Teil 4, DIN EN 1127-1) zum konstruktiven Explosionsschutz wird zwischen folgenden konstruktiven Schutzmaßnahmen unterschieden:

- Explosionsfeste Bauweise für den maximalen Explosionsdruck,
- explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsdruck in Verbindung mit Explosionsdruckentlastung und
- explosionsfeste Bauweise für den reduzierten maximalen Explosionsdruck in Verbindung mit Explosionsunterdrückung.

Außerdem muss grundsätzlich die Übertragung einer Explosion auf andere Anlagenteile oder auf Anlagenteile, die durch Maßnahmen des vorbeugenden Explosionsschutzes gesichert sind, oder in Betriebsräume hinein durch

- explosionstechnische Entkopplung sicher verhindert werden.

3.9.4.4.1 Explosionsfeste Bauweise für den maximalen Explosionsdruck

Explosionsfeste Anlagenteile müssen so gebaut sein, dass sie einer im Inneren erfolgenden Explosion standhalten können ohne aufzureißen. Bei der explosionsfesten Bauweise wird unterschieden zwischen „explosionsdruckfester“ und „explosionsdruckstoßfester“ Bauweise.

Explosionsdruckfest ist ein Behälter oder Apparat, der dem zu erwartenden Explosionsdruck – auch mehrfach – ohne bleibende Verformung standhält.

Explosionsdruckstoßfeste Behälter oder Apparaturen sind so gebaut, dass sie dem zu erwartenden Explosionsdruck standhalten ohne aufzureißen; dabei dürfen jedoch bleibende Verformungen auftreten. Hier wird also eine höhere Ausnutzung der Materialfestigkeit zugestanden.

3.9.4.4.2 Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten Explosionsdruck

In vielen praktischen Fällen ist es aus verschiedenen Gründen nicht möglich oder nicht praktikabel, alle Anlagenteile so massiv auszulegen, dass sie dem maximalen Explosionsdruck von bis zu 10 bar – ohne oder mit Verformung – standhalten. In diesen Fällen erfolgt die Auslegung auf den sogenannten reduzierten maximalen Explosionsdruck ($p_{\text{red,max}}$), der deutlich geringere Bauteilfestigkeiten und damit Materialstärken erfordert. Um ein Zerreißen der Anlagenteile im Explosionsfall zu verhindern, müssen zusätzliche konstruktive Maßnahmen ergriffen werden, die den maximalen Explosionsdruck auf den für die Anlage maximal verträglichen reduzierten Explosionsdruck begrenzen. Solche Maßnahmen sind:

- Explosionsunterdrückung oder
- Explosionsdruckentlastung.

Die **Explosionsunterdrückung** ist eine Verfahrensweise, bei der die Verbrennung einer explosionsfähigen Atmosphäre in einem geschlossenen oder im Wesentlichen geschlossenen Volumen erkannt und in der Anfangsphase durch Zugabe eines geeigneten Löschmittels abgebrochen wird, so dass es nicht zu einem gefährlichen Druckaufbau kommt.

Unter Explosionsunterdrückungssystemen versteht man die Gesamtheit von Einrichtungen zur Realisierung einer Explosionsunterdrückung. Das Explosionsunterdrückungssystem besteht im Wesentlichen aus Detektoren, einer Steuerzentrale und unter Druck stehenden Löschmittelbehältern (siehe Abb. 3.9.5 auf der folgenden Seite).

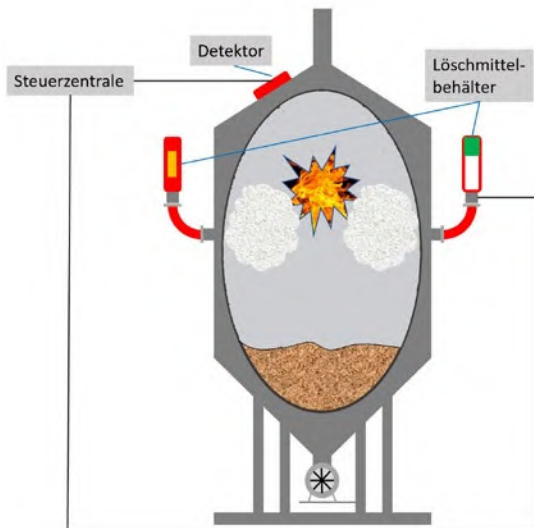


Abb. 3.9.5 Prinzipieller Aufbau eines Explosionsunterdrückungs-Systems

Beim Einsatz eines Explosionsunterdrückungssystems sind auch Gefährdungen für Beschäftigte oder Dritte durch die Freisetzung des Explosionsunterdrückungsmittels, zum Beispiel bei Instandhaltungsmaßnahmen, zu berücksichtigen.

Das Prinzip der Explosionsunterdrückung ist in Abbildung 3.9.6 dargestellt. Die Kurve stellt den nicht unterdrückten Explosionsdruck (P_{max}) und den reduzierten Explosionsdruck (P_{red}), der durch die Aktivierung des Unterdrückungssystems erreicht wird, dar.

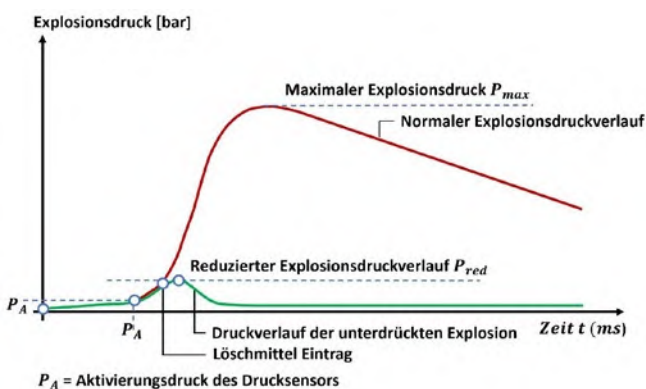


Abb. 3.9.6 Prinzip der Explosionsunterdrückung

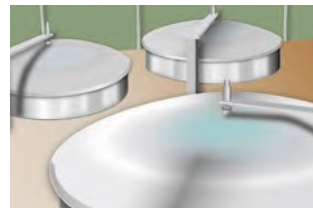
Die **Explosionsdruckentlastung** soll den Aufbau eines unzulässig hohen Explosionsdrucks im Inneren von Behältern durch die rechtzeitige Freigabe definierter Öffnungen verhindern (siehe Abbildungen 3.9.7). Sie ist eine nur mit den Auswirkungen der Explosion arbeitende Schutzmaßnahme, die ohne zusätzliche Steuerungseinrichtungen für das Ansprechen auskommt.



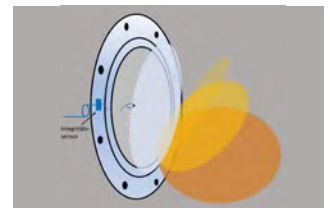
Druckentlastung über Explosionsklappen



Druckentlastung über Berstscheiben



Druckentlastung über Explosionsdeckel



Öffnungsprinzip einer Berstscheibe

Abb. 3.9.7 Anwendungsvarianten beim Schutzsystem „Explosionsdruckentlastung“

Sobald der statische Ansprechdruck erreicht/überschritten wird, beginnt ein Ausströmprozess aus der geschützten Apparatur (z. B. Filteranlage) in die Umgebung. Der mit der Explosionsdruckentlastung verbundene Ausströmprozess aus den Entlastungsöffnungen beinhaltet neben der Flamme und der Druckwelle auch verbranntes und unverbranntes Produkt. Es ist daher immer zu prüfen, ob die Explosionsfolgen am vorgesehenen Filterstandort beherrschbar sind.

Explosionsdruckentlastungseinrichtungen müssen sensortechnisch überwacht werden. Die Sensoren müssen so in die Steuerung der Anlage integriert werden, dass die gesamte Absauganlage nach Ansprechen der Druckentlastung stillgesetzt wird.

Bei Anordnung von Druckentlastungseinrichtungen auf dem Dach einer außenstehenden Filteranlage oder eines Silos ist die zusätzliche Belastung durch eine mögliche

Schneelast zu berücksichtigen. Durch die zusätzliche Last öffnen die Entlastungs-Deckel später und in der Anlage kann es zu einem höheren Innendruck kommen.

Das Prinzip der Druckentlastung ist in Abbildung 3.9.8 dargestellt.

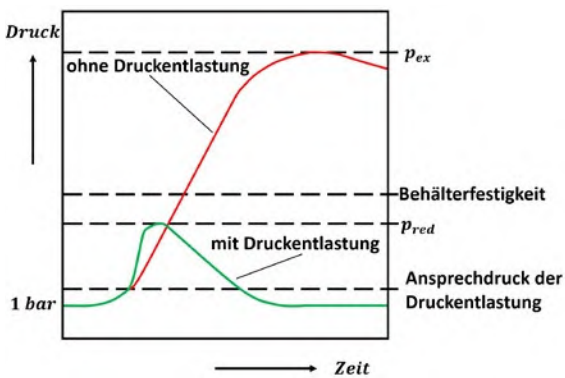


Abb. 3.9.8 Prinzip der Druckentlastung

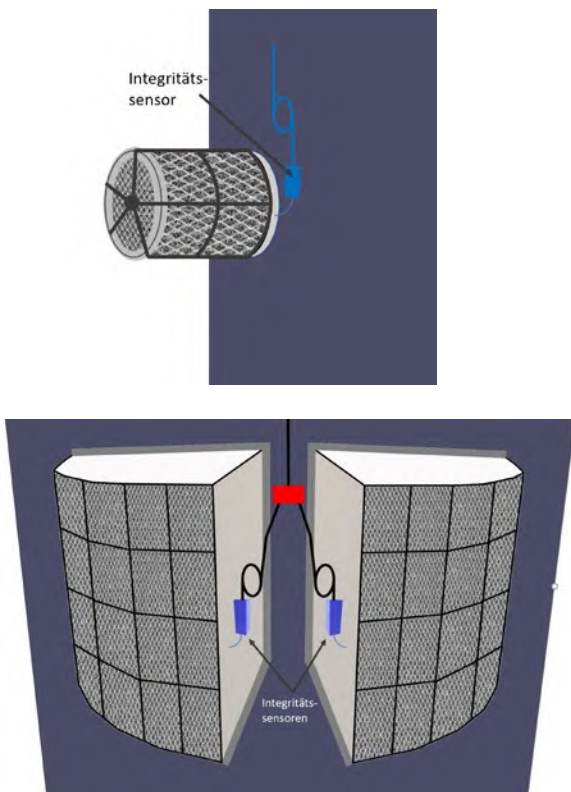


Abb. 3.9.9 Flammlose Druckentlastung an einem Behälter

Eine Explosionsdruckentlastung ist unzulässig, wenn durch die dabei freigesetzten Stoffe Beschäftigte oder Dritte gefährdet werden können. Das ist unter anderem der Fall, wenn die freigesetzten Stoffe oder Verbrennungsprodukte toxisch wirken können. Eine Explosionsdruckentlastung ist so vorzunehmen, dass Gefährdungen für Beschäftigte und Dritte, zum Beispiel durch Druck- und Flammenwirkung oder durch weggeschleuderte Teile, vermieden werden.

Der gefährliche Flammenaustritt aus explosionsdruckentlasteten Behältern kann durch geprüfte, **flammenlose Druckentlastungseinrichtungen** (Bandsicherung, Quenchevorrichtung mit Staubrückhaltung) sicher unterbunden werden (siehe Abbildung 3.9.9). Die nach Öffnung der integrierten Entlastungseinrichtung austretenden Flammen werden über eine mehrlagige Edelstahl-Flammenfalle gemäß Abbildung 3.9.10 absorbiert (Kühleffekt).

Solche Systeme werden immer dort angewendet, wo es sich aufgrund örtlicher Gegebenheiten nicht vermeiden lässt, dass im Explosionsfall Flammen und/oder Druckauswirkungen die Sicherheit von Verkehrswegen, benachbarten Gebäuden, usw. beeinträchtigen können. Sie können häufig auch problemlos nachgerüstet werden. Die benötigten Sicherheitsabstände um die Austrittsöffnung sind deutlich geringer als zum Beispiel bei Berstscheiben oder Druckentlastungsklappen.

Wenn im Fall einer Explosion deren Ausbreitung von einem Anlagenteil auf andere Anlagenbereiche möglich ist, muss neben der explosionsfesten Bauweise auch eine **explosionstechnische Entkopplung** erfolgen. Bei der Ausbreitung von Explosionen von einem Anlagenteil auf andere Anlagenbereiche kann es zu Vorkompression, hohen Turbulenzen und extrem zündwirksamen Flammenstrahlen kommen. Diese Effekte können in verbundenen oder angrenzenden Anlagenteilen zu besonders heftigen Folgeexplosionen führen, die mit den Mitteln des konstruktiven Explosionsschutzes unter vertretbarem technischem Aufwand nicht sicher beherrschbar sind.

Die explosionstechnische Entkopplung lässt die volle Ausbildung der Explosion zu, verhindert jedoch, dass die Explosion in andere ungeschützte Anlagenteile eindringt. Das wird erreicht, indem schlagartig mechanische Verschlüsse die Verbindungswege sperren oder eine chemische Löschmittelsperre aufgebaut wird. Solche Systeme können pas-

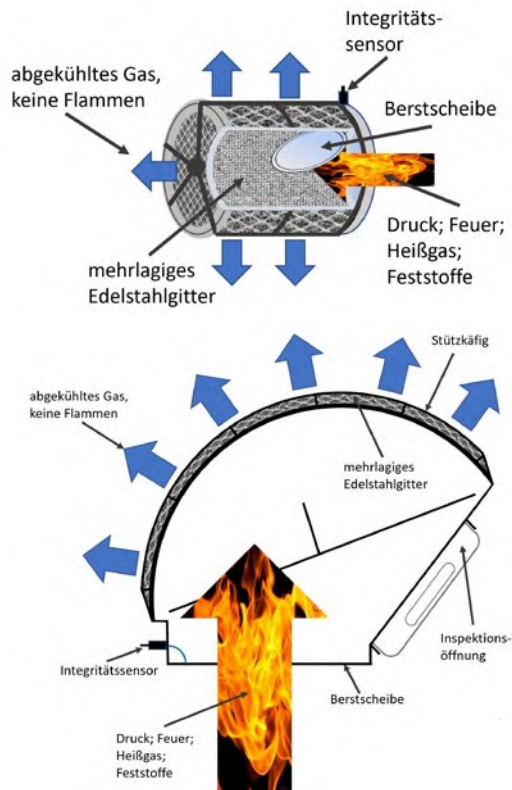


Abb. 3.9.10 Querschnitt durch eine Quenchvorrichtung (Flammenfalle)

siv (selbsttätig wirkend) oder aktiv (angesteuert über Flammen- und/oder Druck-Aufnehmer) ausgelöst werden.

Bei Explosionen von Gasen, Dämpfen und Nebeln im Gemisch mit Luft sind wegen der unter Umständen sehr hohen Ausbreitungsgeschwindigkeiten (Detonationen) aktive Absperr- oder Löschsyste me oft zu langsam, so dass hier passive Elemente, zum Beispiel Brandsicherungen oder Tauchungen oder Systeme mit hoher Gegenströmung, bevorzugt werden.

Bei brennbaren Gasen, Nebeln oder Dämpfen werden vorwiegend zum Beispiel folgende Entkoppelungseinrichtungen verwendet:

1. Deflagrationssicherungen
2. Dauerbrandsicherungen
3. Detonationssicherungen
4. Flammendurchschlagsicherungen
5. Löschmittelsperren

Die für Gase und Dämpfe genannten Einrichtungen zur explosionstechnischen Entkopplung sind bei Stäuben im Allgemeinen nicht einsetzbar (Verstopfungsgefahr etc.). Bei den für Stäube geeigneten Einrichtungen zur explosionstechnischen Entkopplung unterscheidet man zwei Systeme:

1. Vollständige Entkopplung
2. Teil-Entkopplung

Bei der vollständigen Entkopplung wird sowohl die Ausbreitung der Flamme als auch die des Drucks verhindert. Hinter der Entkopplungseinrichtung sind im Allgemeinen dann keine explosionsfesten Bauteile mehr erforderlich.

Bei der Teil-Entkopplung wird im Allgemeinen nur die Flammen- oder die Druckausbreitung unterbunden. Für die hinter der Entkopplungseinrichtung angeordneten Anlagenteile können weitere Maßnahmen erforderlich sein (z. B. ausreichende Explosionsfestigkeit).

Die Unterscheidung zwischen vollständiger Entkopplung und Teil-Entkopplung ist für die praktische Anwendung wichtig. Im Regelfall besteht die Notwendigkeit einer vollständigen Entkopplung von Flamme und Druck. In seltenen Fällen reicht das Verhindern einer Flammenübertragung oder das Erzielen einer Druckbegrenzung aus – gegebenenfalls mit zusätzlichen Maßnahmen zur Gewährleistung ausreichender Sicherheit.

Bei brennbaren Stäuben werden folgende Einrichtungen eingesetzt:

1. Schnellschluss-Schieber und -Klappen
2. Rückschlagklappen
3. Explosionsschutzventile
4. Flammen- oder Löschmittelsperren
5. Entlastungsschlote
6. Zellenradschleusen
7. Doppelschieber (Taktschieber)
8. Sperre durch sichergestellte Produktvorlage

In der nachfolgenden Tabelle 3.9.10 sind die wesentlichen Entkoppelungseinrichtungen mit ihrer jeweiligen Entkoppelungswirkung zusammengestellt. Die entkoppelnde Wirkung gilt nur dann als ausreichend nachgewiesen, wenn Rückschlagklappen nach DIN EN 16447 „Rückschlagklappen zur explosionstechnischen Entkopplung“ und andere Entkopplungssysteme nach DIN EN 15089 „Explosions-Entkopplungssysteme“ ausgeführt sind.

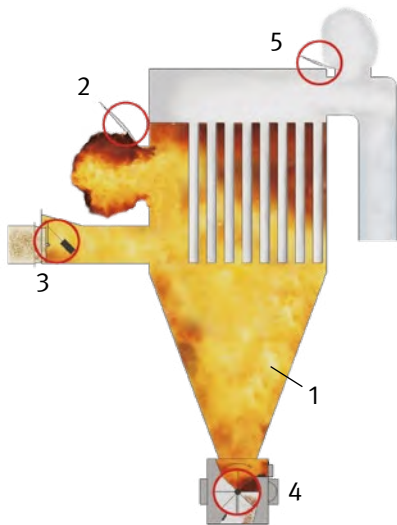
Tabelle 3.9.10 Explosions-Entkoppelungssysteme für staubführende Absauganlagen

Entkoppelungseinrichtung	Funktionsschema	Entkoppelungswirkung
Schnellschlussschieber, Schnellschlussklappe		Vollständig (Flammen + Druck)
Rückschlagklappen		Vollständig (Flammen + Druck)
Schnellschlussventil (Explosionsschutzventil)		Vollständig (Flammen + Druck)
Flammen- oder Löschmittelsperren		Teilweise (Flammen)
Entlastungsschlot *)		Teilweise (Druck)
Zellenradschleusen		Vollständig (Flammen + Druck)
Doppelschiebersysteme oder Taktschleusen		Vollständig (Flammen + Druck)

Anmerkung zu *):

Der Entlastungsschlot kann die Explosionsübertragung in der Regel nicht zuverlässig verhindern, so dass zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind. Die Ausbreitung der Flammenfront wird jedoch so gestört, dass in dem nachgesetzten Leitungsteil zunächst nur mit einem langsamen Anlaufen der Explosion zu rechnen ist.

In der nachfolgenden Abbildung 3.9.11 sind die (häufig angewandten) wesentlichen Maßnahmen zum konstruktiven Explosionsschutz an einer Filteranlage zusammengefasst:



Druckentlastung einer Explosion in einer Filteranlage und Entkoppelung gegen benachbarte Anlagenteile

1. Druckstoßfestigkeit Gehäuse $p_{red,max}$
2. Druckentlastungseinrichtung p_{stat}
3. Rückschlagklappe
4. Zellenradschleuse
5. Umlenkung mit Druckentlastung

Abb. 3.9.11 Schematische Darstellung der Maßnahmen zum konstruktiven Explosionsschutz an einer Filteranlage

4 Planung der Gesamtanlage

4.1 Bauarten von Absauganlagen

Absauganlagen werden aus verschiedenen Einzelkomponenten für den jeweiligen Absaugbedarf im konkreten Anwendungsfall zusammengestellt. Die Auswahl der jeweils einzusetzenden Einzelkomponenten richtet sich nach Art, Menge und Eigenschaften der zu erfassenden, zu fördernden und abzuscheidenden Stoffe, den jeweiligen Umgebungsbedingungen und den angestrebten Projektierungszielen. Nähere Einzelheiten zur Auswahl und zum Einsatzspektrum der auszuwählenden Bauteile sind dem Abschnitt 3 „Konzeption und Dimensionierung der Komponenten“ dieser Schrift zu entnehmen.

Die nachfolgenden Ausführungen beschreiben praxisrelevante Möglichkeiten zur Zusammenfügung der Bauteile zu komplexen Anlagen und erläutern Vorzüge und Nachteile der angesprochenen Lösungen für bestimmte Anwendungsfälle.

Um ihre Aufgaben zur Erfassung, Förderung und Abscheidung von Schadstoffen aus dem Arbeitsbereich der Beschäftigten erfüllen zu können, bestehen Absauganlagen grundsätzlich aus den folgenden Komponenten:

1. Bauteile zur Erfassung der Schadstoffe am Entstehungsort/Arbeitsplatz (sofern nicht Bestandteil einer stauberzeugenden Maschine)
2. Rohrleitungen zum leitungsgebundenen und gegen Umgebungseinflüsse abgeschirmten Abtransport der erfassten Schadstoff-Luft-Gemische
3. Ventilatoren (in Spezialfällen auch „Verdichter“) als Strömungsmaschinen zur Erzeugung der erforderlichen Luftleistung innerhalb der Anlage
4. Abscheider zur Trennung der Schadstoffe von der Transportluft, wenn erforderlich
5. Einrichtungen zur Ableitung der gereinigten Transportluft als Abluft aus dem Abscheider, wenn erforderlich
6. Einrichtungen zum Sammeln oder zur Abführung der abgeschiedenen Schadstoffe aus dem Abscheider zur Weiterbehandlung oder temporären Zwischenlagerung

Neben diesen Basisbestandteilen werden in Abhängigkeit von den Einsatz- und Umgebungsbedingungen noch Einrichtungen zur Steuerung und/oder Regelung der an den Erfassungsstellen und in den Absaugleitungen im Einzelfall bereitzustellenden Luftmengen sowie zu deren Überwachung eingesetzt.

Werden Schadstoffe mit gefährlichen Eigenschaften erfasst und transportiert, sind darüber hinaus spezielle Sicherheitsbauteile vorzusehen. In Abhängigkeit von den Vorschriften für den Umgang mit dem jeweiligen Schadstoff sind außerdem Einrichtungen zur Überwachung der Einsatz- und Betriebsbereitschaft erforderlich.

Für den strukturellen Aufbau von Absauganlagen gibt es grundsätzlich verschiedene Konzeptionen mit jeweils mehreren Untervarianten. Die Kriterien sind die Zusammenfassung von Absaugstellen im Leitungsnetz, die Zahl der Ventilatoren und ihre Anordnung innerhalb der Anlage.

Alle Konzeptionen haben spezifische Vor- und Nachteile, so dass die Planung der Anlage immer auf den konkreten Einzelfall abgestimmt sein muss.

4.1.1 Strukturelle Anlagenvarianten

Im Wesentlichen werden drei Varianten des strukturellen Aufbaus einer stationären Anlage unterschieden.

Bei der Zentralabsaugung werden alle Absaugstellen über einen gemeinsamen Ventilator abgesaugt. Bei der Gruppenabsaugung werden mehrere Absaugstellen zu Gruppen zusammengefasst, die jede mit einem eigenen (Gruppen-) Ventilator abgesaugt werden. Demgegenüber wird bei der Einzelabsaugung jede an die Absaugung angeschlossene Absaugstelle über einen separaten Ventilator abgesaugt.

Die technisch optimale Lösung ist natürlich die Einzelabsaugung, weil hier die Ventilatoren in einem einzigen Betriebspunkt arbeiten, so dass sie optimal auf diesen Punkt und damit auf den Absaugleistungsbedarf der angeschlossenen Verbrauchsstelle ausgelegt werden können. Dadurch sind in vielen Fällen die Betriebskosten für Energie relativ gering; gleichzeitig ergeben sich wegen der größeren Anzahl an Ventilatoren höhere Investitionskosten.

Weitere wirtschaftliche Nachteile entstehen, wenn alle oder mehrere Absaugleitungen Brandwände durchstoßen oder mit Funkendetektions- und -löschanlagen überwacht werden müssen. Außerdem ist bei dieser Lösung der Aufwand im Bereich der zu verlegenden Rohrleitungen von allen Varianten am größten.

Die im Hinblick auf die Investitionskosten günstigste Variante ist die Zentralabsaugung. Absaugtechnisch ist sie jedoch in Betrieben mit stark wechselnden Luftanforderungen die ungünstigste Lösung, weil zur Aufrechterhaltung eines für die Ablagerungsfreiheit benötigten minimalen Transportluftstroms relativ große, für die Absaugung der Verbrauchsstellen eigentlich nicht benötigte, Luftmengen abgesaugt werden müssen. Das verursacht relativ hohe

Betriebskosten (Strom). Zur Gewährleistung der Ablagerungsfreiheit müssen für Betriebszustände mit geringem Volumenfluss daher bei der Anwendung der Zentralabsaugung häufig zusätzliche technische Maßnahmen, zum Beispiel Schieber-Steuerung, Beiluft-Klappen oder Luft-Injektoren, installiert werden. Das erhöht im Regelfall den Steuerungs- und Überwachungsaufwand für die Anlage im Vergleich zur Einzelabsaugung erheblich.

Die Gruppenabsaugung stellt einen Kompromiss zwischen den beiden anderen Varianten dar und vereinigt deren Vor- aber auch Nachteile. Ob es gelingt, überwiegend die Vorteile der Einzelabsaugung bei der Optimierung der Betriebspunkte und dem relativ niedrigeren Energiebedarf zur Wirkung zu bringen und die entsprechenden Nachteile der Zentralabsaugung zu vermeiden, hängt weitgehend davon ab, wie gut die Auslegung im Einzelfall an den tatsächlichen Absaugbedarf und die Umgebungsbedingungen angepasst ist.

4.1.2 Ventilator-Anordnung

Bei der Anordnung der Ventilatoren in der Anlage gibt es folgende Varianten:

a. Rohgasseitige Ventilator-Anordnung

Die Ventilatoren sind in Strömungsrichtung vor dem Abscheider in die Rohgasleitung eingebaut und blasen in ihn ein. Damit steht bei dieser Anordnung der Abscheider unter Überdruck. Besonders bei filternden Abscheidern können Undichtigkeiten zu hohen Schadstoff-Belastungen im Umfeld führen.

Beim pneumatischen Transport von abrasiven, gröberen Stoffbestandteilen werden die Ventilatoren im Rohgasbereich stark belastet. Das Ventilator-Gehäuse kann durch

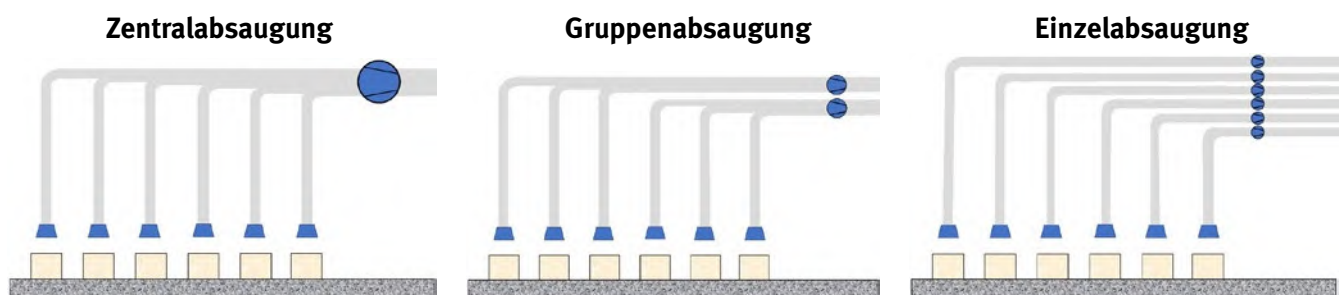


Abb. 4.1.1 Struktur-Varianten von Absauganlagen

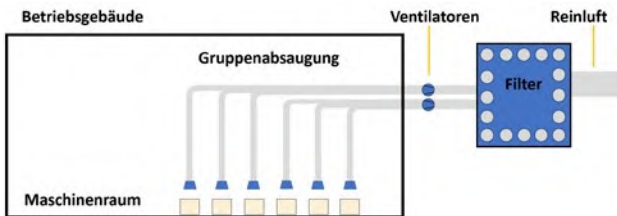


Abb. 4.1.2 Schemaskizze für Rohluftanlagen

Anprall stückiger Bestandteile deformiert werden und das Laufrad kann durch Materialanbackungen in Unwucht geraten. Die Beschauflung unterliegt durch Abrasion hohem Verschleiß. Die notwendigerweise zu verwendenden Laufräder in offener Bauweise erzielen zudem einen relativ geringen Wirkungsgrad.

Anmerkung:

Bei größeren Luftmengen werden bei Anwendungen mit gleichbleibender Luftmenge rohgasseitig von einzelnen Herstellern Industrieventilatoren mit geschlossenen Laufrädern in massiver Bauweise eingesetzt. Diese Industrieventilatoren haben die oben erwähnten Nachteile nicht.

Die rohgasseitige Anordnung war früher die verbreitetste Anlagenbauform. Anlagen mit rohgasseitiger Ventilator-Anordnung und offenen Laufrädern werden heute – wenn überhaupt – normalerweise nur in der Variante als Gruppenabsaugung in Industriebetrieben mit gleichmäßigem Luftleistungs-Bedarf über den Tag konzipiert. Zentralabsaugungen als Rohluftanlagen sind wegen der oben erwähnten Nachteile heute nicht mehr so üblich. Eine Ausnahme bilden Kleinanlagen mit sehr wenigen Absaugstellen und jeweils einheitlich geringem Luftleistungs-Bedarf.

b. Reingasseitige Ventilator-Anordnung

Bei dieser Bauweise ist der Ventilator in Strömungsrichtung nach dem Abscheider in die Abluftleitung eingebaut. Der Abscheider steht dabei zwangsläufig unter Unterdruck. Ein Schadstoffaustritt aus dem Abscheider ist somit nur bei möglichen Undichtigkeiten der Filter, Filterelementköpfe oder Abdichtungen zwischen Rohluft- und Reinluftbereich möglich. Allerdings unterliegt das Abscheider-Gehäuse durch den permanenten Unterdruck hohen Belastungen. Eventuell in der Folge auftretende Undichtigkeiten können zu großen Falschluf-Einströmungen in das Gehäuse führen und damit die „Volumenstrom-Nutzleistung“ der Anlage deutlich reduzieren.

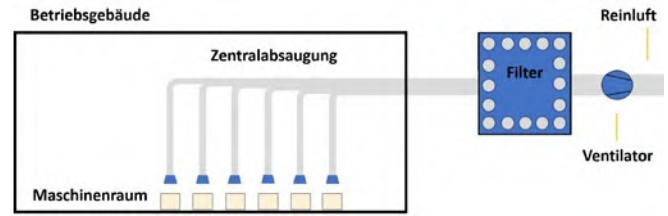


Abb. 4.1.3 Schemaskizze für Reinluftanlagen

Vorteile der reinluftseitigen Anordnung des Ventilators ergeben sich aus der Tatsache, dass der Ventilator und sein Laufrad keinerlei Belastung und Verschleiß durch Materialeinflüsse ausgesetzt sind. Außerdem können mögliche, vom Ventilator erzeugte, Zündquellen nicht wirksam werden, sofern im Reinluftbereich – wie im Regelfall gegeben – keine explosionsfähige Atmosphäre vorhanden ist oder diese über eine Reststaubgehaltsüberwachung rechtzeitig erkannt wird. Die bei Reinluft-Ventilatoren verwendeten geschlossenen Laufräder führen im Regelfall zu höheren Ventilator-Wirkungsgraden als offene Laufräder, wie sie meistens bei Rohluft-Ventilatoren zum Einsatz kommen.

Der wesentliche Nachteil bei reingasseitiger Ventilatoranordnung besteht darin, dass systembedingt nur ein bestimmter Unterdruck erzeugt werden kann. Eine individuelle Anpassung an die einzelnen Rohrstränge ist damit nur durch Energievernichtung (z. B. Drosseleinrichtungen) möglich. Moderne Bearbeitungsmaschinen – mit den für diese Maschinen typischerweise zur wirksamen Absaugung erforderlichen hohen Unterdrücken von bis zu 3.000 Pa – erzwingen Unterdrücke am Filter von 5.000 Pa und mehr. Diese Drücke sind für Filteranlagen in rechteckiger Paneel-Bauweise zumeist zu hoch. Der Einsatz von Stützventilatoren, wie in Abschnitt 4.1.3.1 beschrieben, wird dadurch notwendig und reduziert die energetischen Vorteile in solchen Fällen erheblich.

Anlagen mit reingasseitiger Ventilator-Anordnung sind vom Prinzip her meistens als Zentralabsaugungen konzipiert, wobei die Maschinen aber durchaus über Einzelleitungen oder gruppenweise zusammengefasste Rohrleitungen an die Filteranlage angeschlossen sein können.

Der Zentralventilator wird häufig mit variabler Drehzahl betrieben. Außerdem muss er nicht unbedingt ein Einzelventilator sein, sondern kann auch als Ventilatoreinheit mit mehreren, parallel geschalteten Ventilatoren

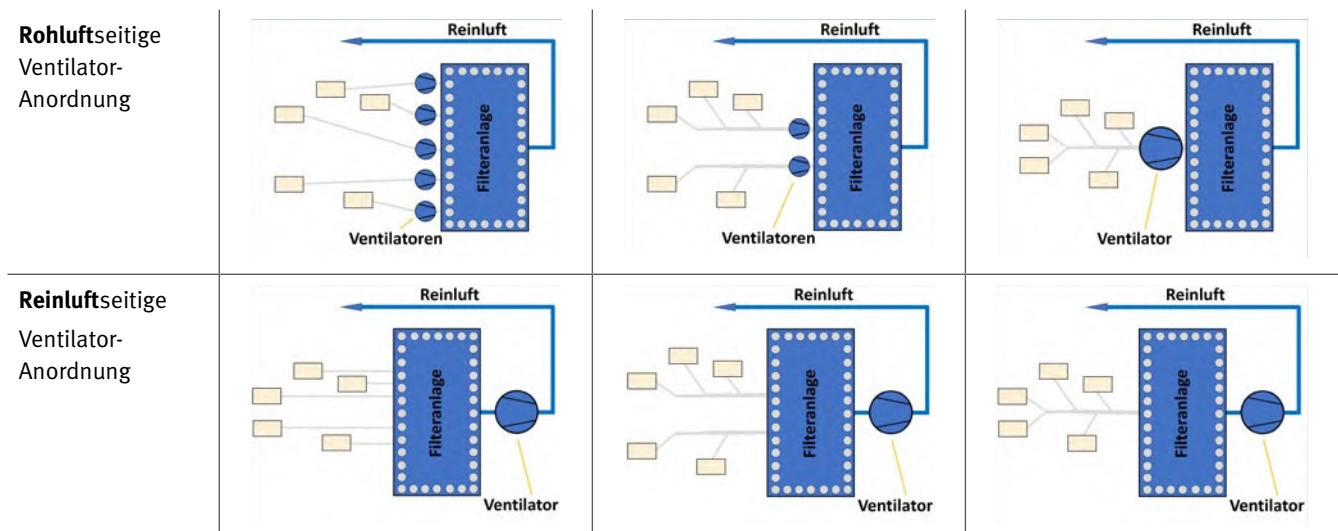
ausgeführt sein. Zudem muss der Ventilator nicht unbedingt in einer reinluftseitigen Rohrleitung oder Abluftleitung angeordnet sein. Ebenso möglich ist die Anordnung des Ventilators/der Ventilatoren im Filter-Kopf oberhalb der Regenerations-Einrichtung im Reinluftbereich des (filternden) Abscheiders.

In den nachfolgenden Bildern der Tabelle 4.1 sind die für die Praxis wesentlichen Anlagensysteme skizziert.

4.1.3 Anlagen mit mehreren Ventilatoren

In sehr vielen Fällen ist es unzureichend oder unwirtschaftlich, alle Verbraucher eines Betriebs über nur einen einzigen Ventilator abzusaugen. Randbedingungen, bei denen der Einsatz mehrerer Ventilatoren vorteilhafter ist als der Einsatz nur eines einzigen Ventilators, sind große Unterschiede bei:

Tabelle 4.1 Prinzip-Skizzen häufiger Systeme von Absauganlagen



- den Strömungswiderständen der einzelnen Verbraucher,
- dem Volumenstrombedarf der einzelnen Verbraucher,
- der Auslastung der einzelnen Verbraucher,
- der Auslegung der Anlage (Betriebszustände) sowie
- sehr weitläufige Maschinenaufstellungen (große Leitungslängen).

In diesen Fällen können angepasste Lösungen gefunden werden, bei denen einzelne Ventilatoren nur genau definierte Aufgaben übernehmen. So kann die Anlage auf konkrete "Problemfälle" besser zugeschnitten werden. Außerdem ergibt sich vielfach auch ein deutlich geringerer Energiebedarf, da die Ventilator-Leistung bedarfsgerechter eingesetzt werden kann.

In den folgenden Abschnitten sollen die für die Praxis relevanten Kombinationen behandelt werden.

4.1.3.1 Reihenschaltung von Ventilatoren

Zur Überwindung höherer Druckdifferenzen in einer Absauganlage kann man zwei oder mehrere Ventilatoren hintereinander (in Reihe) schalten (siehe Abb. 4.1.4 auf Seite 98). Dabei addieren sich theoretisch die Gesamtdruckdifferenzen der einzelnen Ventilatoren, während der Volumenstrom konstant bleibt.

Häufig findet man diese Anordnung in Absaugsystemen, bei denen einzelne Verbraucher hohe Druckanforderungen für die Erzielung ausreichender Volumenströme benötigen und nicht die gesamte Anlage auf diese Druckanforderungen ausgelegt werden soll. Die entsprechenden

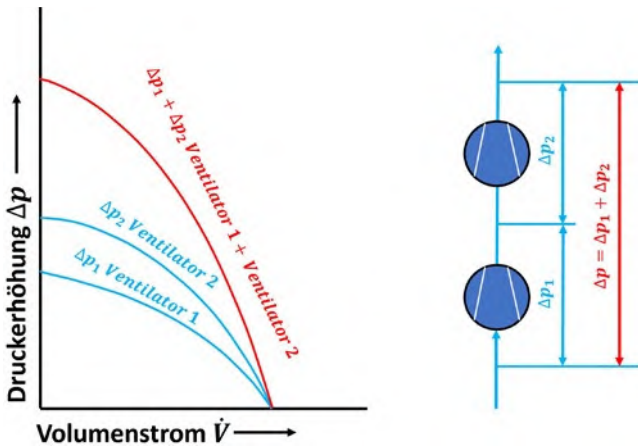


Abb. 4.1.4 Qualitativer Kurvenverlauf der Kennlinie zweier in Reihe geschalteter Ventilatoren

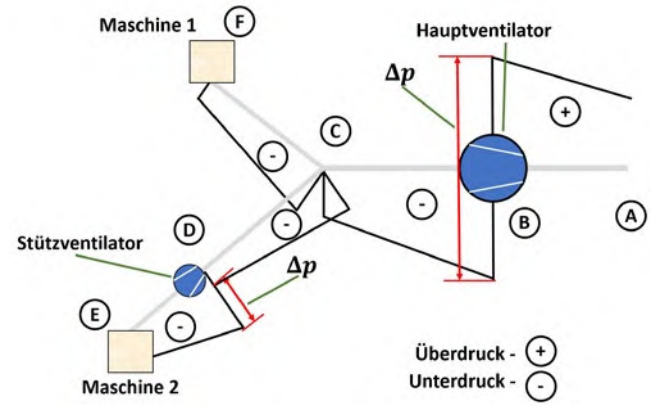


Abb. 4.1.5 Druckverlauf bei Reihenschaltung von zwei Ventilatoren

Zusatz-Ventilatoren werden in diesen Fällen häufig in die Zuleitung zu dem fraglichen Verbraucher als „Stützventilatoren“ eingebaut, um in dieser Leitung die benötigten Zusatz-Drücke zu erzeugen.

Die Abbildung 4.1.5 zeigt den Druckverlauf entlang einer Rohrleitung bei der Reihenschaltung von zwei Ventilatoren.

Die Aufgabe von Stützventilatoren besteht darin, das Unterdruckniveau an einzelnen, besonders strömungsgünstig konstruierten, Verbrauchern soweit anzuheben, dass ausreichende Luftgeschwindigkeiten erzielt werden können, ohne den Hauptventilator auf die sonst erforderlichen extremen Pressungen auslegen zu müssen.

Weiterhin kommen Stützventilatoren zum Einsatz, wenn Betriebsteile räumlich weit abgelegen sind und für die abgelegen positionierten Verbraucher kein eigener Abscheider (z. B. Filteranlage) vorhanden ist. Die zusätzliche Pressung der Stützventilatoren wird in diesen Fällen zur Überbrückung der Leitungswiderstände benötigt.

4.1.3.2 Parallelschaltung von mehreren Ventilatoren

Bei der Parallelschaltung von Ventilatoren sind zwei oder mehrere Ventilatoren nebeneinander im Leitungsnetz angeordnet. Bei gleichen Pressungen addieren sich die Volumenströme. Es ergibt sich eine Summenkennlinie, die sich aus den Volumenströmen der Ventilatoren zusammensetzt.

Die Kennlinie von parallel geschalteten Ventilatoren ermittelt man, indem die Volumenströme bei gleichen Gesamtdruckdifferenzen addiert werden (siehe Abbildung 4.1.6).

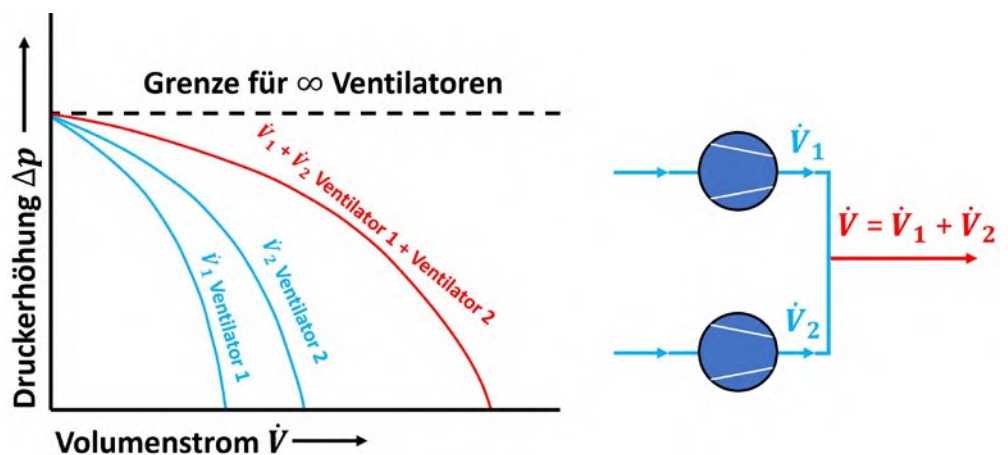


Abb. 4.1.6 Qualitativer Kurvenverlauf der Kennlinie zweier parallel geschalteter Ventilatoren

Häufig wird zur Erhöhung der Anlagensicherheit eine Parallelschaltung von Ventilatoren eingesetzt. Ein größerer Ventilator würde zwar die benötigte Leistung erbringen, stattdessen werden aber mehrere kleinere Ventilatoren zu einer sogenannten Ventilator-Einheit zusammengefasst.

So kann beim Ausfall eines Ventilators eine Grundversorgung sichergestellt werden, ohne dass, wie beim Einsatz nur eines einzigen Ventilators, die komplette Anlage ausfallen würde. Außerdem ist eine Steuerung möglich, denn beim Einsatz mehrerer Ventilatoren können einzelne zu- oder abgeschaltet werden, um so den jeweils benötigten Volumenstrom zu erreichen.

4.1.3.3 Parallelschaltung von Ventilatoren mit variabler Drehzahl

Für die Parallelschaltung variabler Ventilatoren gelten die gleichen Grundüberlegungen wie für die Parallelschaltung von Ventilatoren mit festen Drehzahlen. Die grundsätzliche Funktionsweise von Ventilatoren mit variabler Drehzahl und die Realisierungsmöglichkeiten von variablen Drehzahlen können Abschnitt 3.8. entnommen werden.

In der Praxis gibt es Kombinationen aus einem (Grundlast-)Ventilator mit in der Regel variabler Drehzahl und einem bis vier (Teillast-)Ventilatoren mit konstanter Drehzahl, die bei Erreichen des Nennvolumenstroms des geregelten Ventilators sukzessive zugeschaltet werden.

4.1.3.4 Ventilator-Überlagerung bei mehreren rohluftseitig angeordneten Ventilatoren, die in einen gemeinsamen Abscheider einblasen

Ein alltägliches Problem, bei dem sich mehrere, rohluftseitig angeordnete Ventilatoren die gesamte Absaugleistung teilen, ergibt sich bei herkömmlichen Gruppenabsaugungen oder – als Sonderfall – Einzelabsaugungen aller angeschlossenen Erfassungsstellen. Wenn hierbei die Ventilatoren – wie im Regelfall üblich – in eine einzige Filteranlage entsorgen, besteht über diese Filteranlage eine Verbindung zwischen den Ventilatoren, sodass diese nicht mehr unabhängig voneinander betrieben werden. Bei dieser Konstellation ergibt sich mit steigendem Volumenstrom ein höherer Filterwiderstand. Die zur Überwindung dieses Filterwiderstands notwendige Pressung führt zu einer Verschiebung der Arbeitspunkte der einzelnen Ventilatoren hin zu niedrigeren Volumenströmen. Die Ventilatoren hemmen sich also gegenseitig.

Bei einer in der üblichen Weise dimensionierten Filteranlage (100 m³/m²/h Filterflächenbelastung, Filterwiderstand max. 500 Pa bei 100 m³/m²/h) stellt sich normalerweise eine Verminderung der Luftgeschwindigkeit im Stutzen des Ventilators von ca. 10 %, bei einer Ausgangsluftgeschwindigkeit von 20 m/s, also etwa 2 m/s, ein.

Probleme mit der Leistung solcher Anlagen gibt es vor allem dann, wenn

- die Filteranlage zu klein ist, da dann die Filterflächenbelastung und damit die Filterwiderstände stark anwachsen und/oder
- einzelne Ventilatoren sich deutlich im Pressungsverhalten von den anderen Ventilatoren unterscheiden und diese quasi überdrücken, weil sie mit ihrer Presskraft den Überdruck in der Filteranlage hochtreiben.

4.1.4 Kompakte Absauggeräte für Stäube (Entstauber)

Entstauber sind als Alternative zu stationären Absauganlagen, gerade für Kleinbetriebe, zu sehen und dienen zum Absaugen einzelner oder weniger Verbraucher. Es gibt diese kompakten Absauggeräte üblicherweise mit Anschluss-Durchmessern von 100 mm bis 355 mm und Nennvolumenströmen bis 8.000 m³/h.

Hinweis:

Geräte mit einem höheren Nennvolumenstrom (Anschluss-Durchmesser größer ca. 355 mm) sind eventuell lieferbar, liegen aber außerhalb des Anwendungsbereichs von EN 16770. Ob zusätzliche Gefährdungen bei einer Innenaufstellung von größeren Geräten entstehen, ist unklar. Somit werden vorerst auch keine geprüften Geräte dieser Größe auf den Markt kommen.

Als kompakte Absauggeräte beinhalten sie alle wesentlichen Funktionen einer stationären Zentral-Absauganlage, nur in meist deutlich kleinerem Maßstab:

- einen reinluftseitig angeordneten Ventilator
- eine Filtereinheit (Patrone, Taschenfilter oder Schlauch)
- Einrichtungen zur Regeneration des Filters
- einen Vorabscheider
- eine Sammel- oder Austrageinrichtung
- einen Abluftauslass



Abb. 4.1.7 Entstauber als vollständiges Kompakt-Gerät

Gehen von den abzusaugenden Schadstoff-Luft-Gemischen Gesundheits- und/oder Brand- und Explosionsgefahren aus, werden zusätzliche Anforderungen an die Abscheidequalität und/oder den Brand- und Explosionsschutz gestellt. In diesem Fall dürfen nur Entstauber im Arbeitsraum aufgestellt werden, die diese zusätzlichen Anforderungen erfüllen.

Kompaktgeräte können bei einer zertifizierten Prüfstelle einer speziellen Prüfung auf EG-Konformität unterzogen und entsprechend zertifiziert werden. Sie sind häufig ortsbeweglich (fahrbar) ausgeführt und können als Betriebsmitteleinheit gehandelt werden.

Ist der Entstauber ausreichend leistungsfähig, können an ihn kleinere Rohrnetze angeschlossen werden, sodass für den Handwerksbetrieb kompakte Absauganlagen realisiert werden können. Da die maximal vertretbare Gleichzeitigkeit meist sehr gering ist (1 – 3 Absaugstellen) müssen in aller Regel Automatikschieber zur Sicherstellung ausreichender Absaugleistungen installiert werden.

Die Entsorgung des abgeschiedenen Materials kann wahlweise über einen Sammelbehälter, eine Brikettier-Pressen oder eine Zellenradschleuse mit vor- und/oder nachgeschalteter Schnecke erfolgen. Abbildung 4.1.8. zeigt eine Schemaskizze für einen fahrbaren Entstauber zum Absaugen einer kleineren Einzelmaschine. In Abbildung 4.1.9. ist der Aufbau eines größeren Kompakt-Geräts schematisch dargestellt.

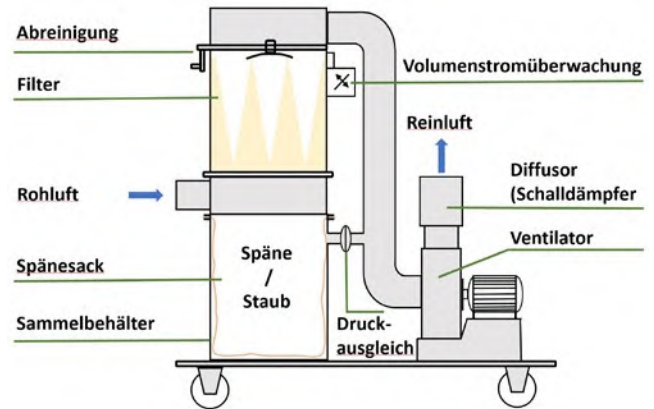


Abb. 4.1.8 Schema-Skizze eines Entstaubers zum Absaugen von Einzelmaschinen

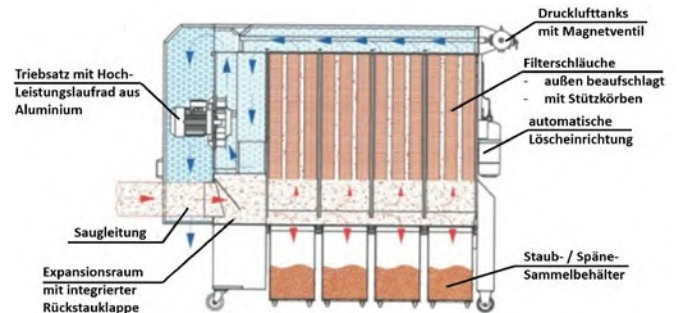


Abb. 4.1.9 Schematischer Aufbau eines größeren Kompakt-Geräts

Ein Nachteil ist, dass die Vorabscheidung bei kompakten Absauggeräten aufgrund der beengten Platzverhältnisse nur schwer umgesetzt werden kann.

Für einen einwandfreien Betrieb solcher Geräte sind zwei Punkte von besonderer Bedeutung.

1. Um beim Betrieb ein Einsaugen der in den Sammelbereichen eingelegten Abfüllsäcke in die Filterschläuche zu vermeiden, oder das Füllvolumen maximal zu halten, wird mit einer Verbindung zwischen der Saugseite kurz vor dem Ventilator (Reingasseite) und der Sammeltonne gleiches Druckniveau geschaffen. So erreicht man in dem Zwischenraum zwischen Tonne und Abfüllsack einen Unterdruck gegenüber dem Sackinneren. Der Sack wird also förmlich an die Tonnenwandung angesaugt.

2. Die in den Geräten eingesetzten Filterschläuche oder Filterpatronen haben oft einen kleinen Durchmesser und/oder nur sehr geringe Abstände voneinander. Das kann bei einem höheren Anteil von gröberen oder faserförmigen Stoff-Bestandteilen zu Problemen führen. Die Bestandteile können aufgrund der sich ergebenden hohen Steiggeschwindigkeiten (Kaminwirkung) in die Schläuche (bei Innenbeaufschlagung) oder in die Zwischenräume (bei Außenbeaufschlagung) gezogen werden, sich untereinander vernetzen und bei der anschließenden Regeneration nicht ausfallen. Es kommt zu Verstopfungen und das Gerät wird unbrauchbar.

4.1.5 Absauganlagen für Kleinverbraucher

Neben den stationären Bearbeitungsmaschinen und anderen größeren Luftverbrauchern gibt es in vielen Betrieben eine Reihe von kleineren, meistens handgeführten Maschinen oder Elektrowerkzeugen, sogenannte Kleinverbraucher, die nachweislich mindestens ebenso viel zur Schadstoffbelastung am Arbeitsplatz beitragen wie die genannten größeren Stationär-Emittenten.

Die Verwendung solcher Maschinen konzentriert sich häufig auf gesonderte Arbeitsbereiche oder -räume, in denen keine stationären Absauganlagen installiert sind. Deshalb werden solche Maschinen heute häufig über ortsbewegliche Kleinentstauber abgesaugt. Die Zahl der im Betrieb benötigten Kleinentstauber ergibt sich dabei aus der Zahl der gleichzeitig zu bedienenden Arbeitsplätze, da über solche Geräte immer nur eine Maschine gleichzeitig abgesaugt werden kann.

Die Betriebe müssen dann aber eine große Zahl von Kleinentstaubern beschaffen und empfinden auch den Umgang mit ihnen als schwierig, weil die Länge des Anschlussschlauchs begrenzt ist, die Schläuche schwer sind, die im Entstauber integrierten Sammelbehälter durch ihr Gewicht das Handling erschweren und sich ein höherer Wartungsaufwand ergibt. Außerdem können über solche Kleinentstauber meistens ausschließlich handgeführte Maschinen, nicht aber kleinere stationäre Bearbeitungsmaschinen abgesaugt werden, die sich häufig ebenfalls in größerer Zahl in diesen Arbeitsbereichen befinden.

Leistungsfähigere Geräte sind im Hinblick auf die im Betrieb benötigte Anzahl zu teuer. In vielen Betrieben wird deshalb versucht, die Kleinmaschinen ebenfalls über eine gesonderte Leitung an die vorhandene Absaugung für stationäre Bearbeitung anzuschließen, in der Regel mit völlig unbefriedigendem Ergebnis.

Warum die Absaugung von Elektrowerkzeugen über die Absauganlage, mit der auch die stationären Bearbeitungsmaschinen abgesaugt werden, gar nicht oder unzureichend funktioniert, wird klar, wenn man sich die Anschluss-Querschnitte selbst und die Unterdrücke, die zur Erzielung einer Luftgeschwindigkeit von 20 m/s im Anschluss-Querschnitt der abzusaugenden Elektrowerkzeuge erforderlich sind, ansieht.

Während für die Absaugung einer typischen stationären Bearbeitungsmaschine durchschnittlich 1.500 m³/h Volumenstrom bei ca. 1.000 Pa Unterdruck erforderlich sind, werden für die Absaugung von Elektrowerkzeugen oder Ähnlichem durchschnittlich nur ca. 70 m³/h Volumenstrom bei allerdings ca. 3.000 Pa Unterdruck benötigt. Einige Maschinen verlangen sogar noch weitaus höhere Unterdrücke.

Zur Lösung des Problems bieten einige Hersteller von Entstaubern/Staubsaugern Absauganlagen an, die speziell auf die geschilderten Randbedingungen abgestimmt sind. Dabei handelt es sich um Zentralabsaugungen auf der Basis größerer Industriestaubsauger oder kleinerer fahrbarer Entstauber.

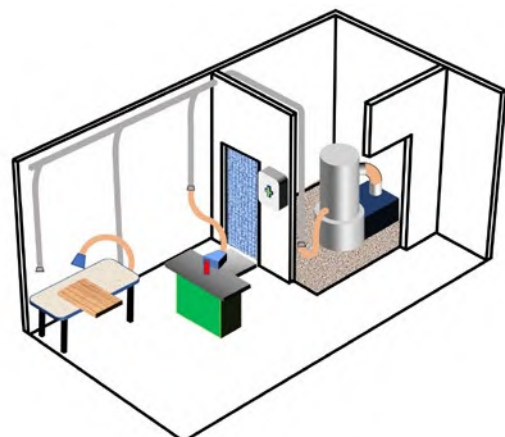


Abb. 4.1.10 Kleine Absauganlage auf der Basis eines Kleinentstaubers

Kernstück der Anlagen sind größere Staubsauger oder kleinere Entstauber, die mehrere Aufgaben erfüllen, die bei stationären Absauganlagen von separaten Anlagenbauteilen übernommen werden. In diese, meist fahrbaren Einheiten sind integriert:

- Gebläse (z. T. mehrere Gebläse in einem Gerät)
- Filtereinheit/Abscheider mit Regeneration
- Staub-/Späne- Sammelbehälter
- Reinlufrückführung

Die folgende Abbildung 4.1.11 zeigt ein Beispiel für eine zentrale Kleinabsaugung auf Entstauber-Basis für mehrere Absaugstellen in einen metallverarbeitenden Betrieb.

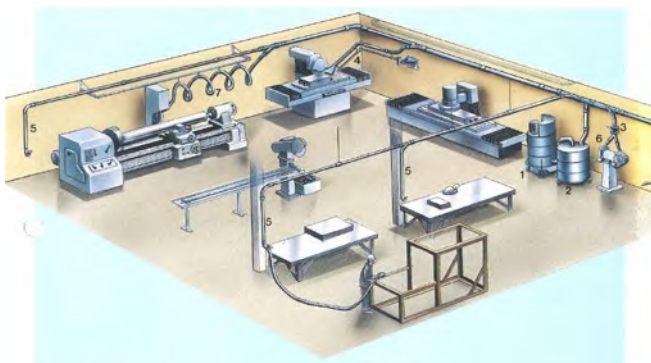


Abb. 4.1.11 Kleinabsaugung für einen typischen kleineren Metallverarbeitungsbetrieb

4.1.6 Absauganlagen zum Materialtransport über kurze Strecken

Größere Mengen an Staub und/oder Grobteilen, die bei der Zerspaltung, zum Beispiel bei der Holzbe- und -verarbeitung oder bei der Kunststoffbearbeitung anfallen, können häufig nicht über längere Zeiträume im Bereich der Absauganlage bleiben. Sie müssen in diesen Fällen dann über kürzere oder längere Strecken zu einem größeren Sammelbehälter (Silo) transportiert werden.

Über längere Strecken eignen sich dazu mechanische oder pneumatische Förderanlagen (Hochdruck-Förderung). Beide sind nicht Gegenstand dieser Schrift. Bei Fragen muss an dieser Stelle auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen werden.

Besonders in Handwerksbetrieben können jedoch – wegen des dort geringeren Materialanfalls – diese Transportaufgaben auch von Niederdruck-Förderanlagen, also speziellen Absauganlagen, übernommen werden. Zu unterscheiden sind dabei sogenannte „offene Systeme“ und „Ringleitungssysteme“. Nachfolgend werden die wesentlichen Gesichtspunkte zu Auslegung und Betrieb der beiden Bauarten erläutert.

Bei **offenen Systemen** wird die Transportluft aus dem Umgebungsbereich im Freien entnommen und über die Förderleitung in den Lagerbehälter transportiert. Das Transportgut wird dabei über eine Austragschleuse in die Leitung eingetragen, sodass es von der strömenden Luft aufgenommen und weitertransportiert werden kann. Damit die (gereinigte) Luft wieder aus dem Lagerbehälter entweichen kann, müssen Vorkehrungen getroffen werden. In der Regel wird eine meist kleine (nur auf die Transportluftmenge ausgelegt) Filteranlage verwendet. Sie kann als Einbaufilter innerhalb des Lagerbehälters oder Aufsatzfilter oberhalb des Lagerbehälters konstruiert sein. Zyklone kommen wegen ihrer, auch für die meist weniger strengen Bedingungen der TA-Luft, unzureichenden Abscheidewirkung in offenen Systemen heute nicht mehr zum Einsatz.

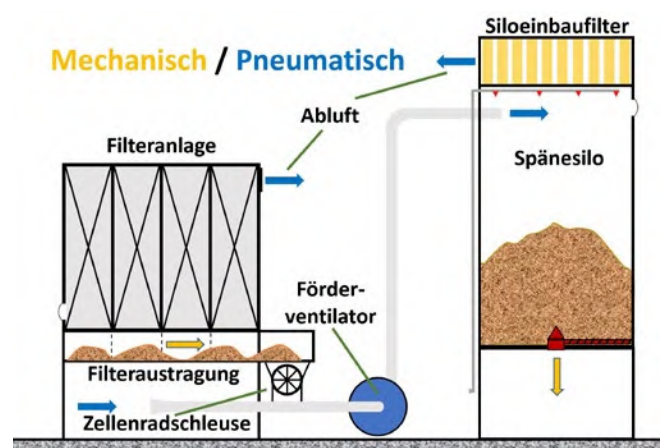


Abb. 4.1.12 Schema einer offenen Förderanlage

Um den Überdruck im Behälter möglichst gering zu halten, muss die Filteranlage mit einer Regenerations-Automatik ausgestattet sein. Durch die Regeneration (Abreinigung) werden die Filterschläuche vom anhaftenden Staubkuchen befreit und die Luftdurchlässigkeit wird so wieder erhöht.

Vor allem in holzverarbeitenden Handwerksbetrieben sind **Ringleitungssysteme** weit verbreitet. Auch bei diesen Systemen wird das Transportgut über eine Austragschleuse in die Leitung eingetragen und meist mit in einem gutbeladenen Rohluftstrom installierten Transportventilator über eine Steigleitung in das Silo eingeblasen. Der Transportventilator kann aber auch im Reinluftstrom angeordnet sein.

Über eine Rückluftleitung wird die gereinigte „Abluft“ wieder vom Ventilator angesaugt, sodass ein Luft-Kreislauf entsteht und der Behälter (Silo) – zumindest theoretisch – druckfrei bleibt. Die Zwischenschaltung von Abscheidern ist zweckmäßig, muss aber für die Funktion des Systems nicht unbedingt sein.

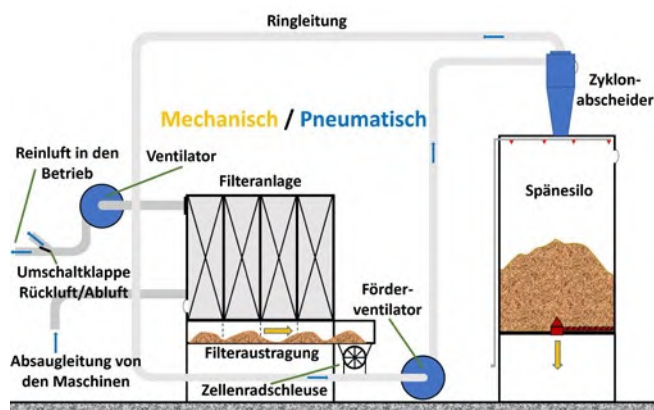


Abb. 4.1.13 Schema eines geschlossenen Ringleitungssystems

Dort, wo Abscheider eingesetzt werden, kommen alle bekannten Varianten, wie

- Zyklone,
 - Einbau- und Aufsatzfilter mit oder ohne gesonderte Austragung (Anmerkung: Evtl. brand- und explosions-technische Anforderungen sind zu berücksichtigen, z. B. die Gehäusefestigkeit bei Aufsatzfiltern.),
 - Kleinabscheider
- in Betracht.

In der Praxis sind Ringleitungssysteme ohne gesonderten Abscheider relativ störanfällig, weil

1. der theoretisch sich einstellende Ausgleich bei den Luftmengen und Drücken im praktischen Betrieb durch Leck-Luftströme und teilweise stark differierende Gutbeladung im Rohluftbereich nicht selten gestört wird, sodass sich im Lagerbehälter unerwünschte Über- oder Unterdrücke einstellen (Anmerkung: Die Transportanlage auf der Basis einer Ringleitung funktioniert dann optimal, wenn sich der Druck-Nullpunkt der Anlage innerhalb des Behälters einstellt.);
2. der Expansionsraum im Behälter durch die Guteintragung stetig verkleinert wird und dadurch die Abscheidewirkung verschlechtert wird; das führt zu einer erhöhten Gutbeladung in der Saugleitung, wodurch bei konstanter Zu-Dosierung die Gutbeladung auch im Bereich der Druckleitung ansteigt. Wenn dann die Pressungsleistung des Ventilators überschritten wird, geht der Volumenstrom zurück, die Förderleitung geht von Flug- in Strahlen-Förderung über, bis schließlich die Förderung komplett zusammenbricht und die Leitung verstopft;
3. in Verbindung mit im Unterdruck stehenden Hauptfilteranlagen und undichten Austragschleusen über das Transportsystem – bei Betrieb der Absauganlage und Stillstand der Transportanlage – Leck-Luftströme aus dem Behälter in die Filteranlage gezogen werden können. Diese Strömung führt zur Unterdruckbildung im Behälter. In vereinzelt Fällen hat sich dieser Unterdruck in der Vergangenheit bis in die Zuführung von den Behältern nachgeschalteten Heizungsanlagen übertragen. Dies führte dann zu einer Umkehr der Rauchgasströmung in den Behälter hinein, mit der Folge von Rückbränden aus der angeschlossenen Feuerung.

Wegen der genannten Probleme und der daraus resultierenden Störanfälligkeit in der Praxis sollten bei der Neuerrichtung solcher Niederdruck-Förderanlagen offene Systeme bevorzugt werden. Bei Verwendung von Ringleitungssystemen ist eine technische Vorrichtung am Silo vorzusehen, die entstehende Über- bzw. Unterdrücke im Silo zwangsläufig (z. B. über ein Ventil) ausgleicht.

4.2 Definition der Anforderungen

Jede Absauganlage wird für einen bestimmten Zweck konstruiert. Aus diesem Zweck ergeben sich die Anforderungen an die Absauganlage.

4.2.1 Ziele für ein Projekt „Absauganlage“

Nur die genaue Definition der Ziele des Projekts kann zur gewünschten Anlage führen.

Die Ziele der Anlage sollten SMART sein (siehe Tabelle 4.2.1).

Hauptziel ist in der Regel die Einhaltung der Gefahrstoffverordnung unter Berücksichtigung der Arbeitsstättenverordnung, des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, der Energieeinsparverordnung oder der Landesbauordnung.

Beispiele für Ziele:

- Es ist eine Absauganlage zu erstellen, mit der eine Erfassung der Stoffe an der Entstehungsstelle stattfindet. Ein Erfassungsgrad von > 90 % muss erreicht werden.
- Es ist eine Absauganlage für die Prozesse m, n und o zu erstellen, mit der die Grenzwerte für die Gefahrstoffe k, m und u eingehalten werden. Die abgesaugte Luft muss nach außen geführt werden.

- Die Maschinen a, b und c sind mit definiertem Volumenstrom abzusaugen.

Auf Basis der Ziele können Forderungen an die Anlage gestellt werden. Diese sollten zwar eindeutig sein, aber nicht unnötig einschränken. Eine zu frühe Festlegung auf ein Lösungskonzept führt oft dazu, dass einfachere, effektivere oder kostengünstigere Lösungsansätze bei Gesprächen mit potentiellen Lieferanten nicht mehr geprüft werden.

In der Regel werden Absauganlagen nicht von Lüftungsfachleuten gekauft. Daher ist es wichtig, dass vor Vertragsabschluss klar ist, wie der Hersteller dem Kunden oder der Kundin nachweisen wird, dass die Anlage die abgesprochenen Spezifikationen einhält.

Für die Umsetzung eines Projekts zur Absaugung von Gefahrstoffen müssen unter Umständen

- Umgebungsbedingungen messtechnisch erfasst werden,
- Gefahrstoffmessungen durchgeführt werden,
- Ausbreitungseigenschaften von Stoffen ermittelt werden,
- ...

Die Ermittlung dieser Angaben muss häufig im laufenden Produktionsbetrieb erfolgen. Bei Neuplanung einer Anlage ist das oft nicht möglich. Es muss dann auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden.

Tabelle 4.2.1 Ziele für ein Projekt SMART

Englisch	Deutsch	Ziele der Anlage
Specific	Spezifisch	Das Ziel der Absauganlage muss eindeutig definiert sein, z. B. Einhaltung eines Gefahrstoffgrenzwerts, Förderung eines definierten Luftvolumenstroms, Einhalten definierter Umgebungsbedingungen.
Measurable	Messbar	Die vereinbarten Ziele sollten mit einem von den Vertragsparteien anerkannten Messverfahren überprüfbar sein, z. B. Gefahrstoffmessungen, Strömungs- oder Druckmessungen, Temperaturmessungen.
Achievable	Erreichbar	Die Ziele sollten sinnvoll und mit vernünftigen Mitteln erreichbar sein, z. B. ist bei unzureichend stabilen Randbedingungen die Einhaltung eines Gefahrstoffgrenzwerts u. U. vom Hersteller der Absauganlage allein nicht erreichbar.
Reasonable	Realistisch	Das Ziel sollte nicht so hoch gesteckt werden, dass es nicht erreichbar ist.
Time-Bound	Terminiert	Der Zeitpunkt, zu dem das Ziel der Anlage erreicht sein soll, muss feststehen. Die Überprüfung ist dann Bestandteil der Abnahme.

Auch zu berücksichtigen sind

- die baulichen Voraussetzungen,
- die personellen Voraussetzungen,
- die behördlichen Voraussetzungen.

Ein wichtiger Aspekt bei der Definition der Anforderungen ist die Terminplanung. Dabei ist zu berücksichtigen, ob zum Beispiel

- Termine von Behörden gesetzt wurden,
- Produktionsstillstand zur Errichtung der Anlage notwendig ist,
- Voruntersuchungen von betriebsüblichen Produktionsabläufen erfolgen müssen,
- Witterungsbedingte Einschränkungen bei der Errichtung der Anlage vorliegen.

Randbedingungen, unter denen die Absauganlage betrieben werden soll, müssen genau festgelegt werden.

Wichtigste Randbedingung ist die Quelle des Gefahrstoffs oder der Wärme. Die Beschreibung der Quellen ist essenziell für die Auslegung einer Absauganlage:

- Wieviele Quellen gibt es?
- Wo liegen die Quellen?
- Was wird dort in welcher Menge freigesetzt?
- Wie ist der Freisetzungsmechanismus?

Grundlage für die Beschreibung der Quelle ist der Abschnitt 3.1.

Weitere Randbedingungen, die bei der Auslegung berücksichtigt werden und daher im Lastenheft beschrieben sein müssen, sind zum Beispiel

- das umgebende Bauwerk (Abmessung, Lüftungssituation),
- klimatische Bedingungen,
- andere Lüftungsanlagen im Bereich.

Bei vielen Arten von Absauganlagen spielen die Beschäftigten, die sie benutzen, eine entscheidende Rolle:

- Welche Qualifikation hat die Bedienperson der Anlage?
- Muss die Absauganlage ohne Fachwissen bedienbar sein?
- Müssen Schulungen vom Hersteller durchgeführt werden?
- Gibt es Fachleute für die Instandhaltung oder muss sie von der Bedienperson durchführbar sein?

4.2.1.1 Funktionale Anforderungen

Die Funktion einer Absauganlage ist das Absaugen. Zur Klärung der funktionalen Anforderungen müssen folgende Fragen beantwortet werden:

- An wie vielen Stellen einer Produktionsanlage muss abgesaugt werden?
- Mit welchem Volumenstrom soll an welcher Stelle abgesaugt werden?
- An wie vielen Stellen wird gleichzeitig abgesaugt (minimal, maximal)?
- Müssen Erfassungselemente einstellbar oder nachführbar sein?
- Muss die Absauganlage vom Betreiber in ihrer Leistung regelbar sein?
- Welche Steuerungs-/Überwachungseinrichtungen werden benötigt/gewünscht?
- Wie werden Filter gereinigt/gewechselt?
- Wie wird Material aus der Anlage ausgetragen?
- Müssen Anlagenteile für den Materialtransport vorhanden sein?

4.2.1.2 Dienstleistungen

Für die Betreuung der späteren Anlage nach der Abnahme können folgende Dienstleistungen angefragt werden:

- Wartungsverträge
- gesetzlich geforderte wiederkehrende Prüfungen
- ...

4.2.1.3 Zusätzliche Anforderungen

Ein „Nebenprodukt“ von Absauganlagen ist in der Regel die Geräuschentwicklung. Es müssen also Anforderungen definiert werden. Welche Lärmpegel sind am Arbeits- oder Bedienplatz maximal zulässig. Das Gleiche gilt für Vibrationen. Auch hier sind gesetzliche Forderungen einzuhalten (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung). Das ist besonders in Bezug auf Ventilatoren, abreinigbare Abscheider und Transportsysteme zu beachten.

Je nach geografischer Lage des Betriebs sind auch hohe Anforderungen an den nach draußen abgegebenen Lärm zu stellen. Besonders in den sensiblen Gebieten (Wohn-, Mischgebiete) sind hier schon in der Planungsphase genaue Absprachen mit den Vollzugsbehörden notwendig.

Aus den Eigenschaften der (Gefahrstoff-)Quelle ergeben sich gegebenenfalls die Anforderungen an den Brand- und Explosionsschutz. Dabei sind sowohl die anlagen-spezifischen als auch die baulichen Anforderungen zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 3.9). Beispiele: Verwendung von Komponenten, die für Ex-Bereiche geeignet sind, Vermeidung elektrostatischer Aufladung durch durchgehende Erdung.

Für den Betrieb der Anlage sind nicht nur die Investitionskosten interessant. Wenn es schon konkrete Vorstellungen in Bezug auf die Absauganlage gibt, können bereits Anforderungen definiert werden zu:

- Filterstandzeit
- Regenerations-Intervallen
- Energieverbrauch
- Verbrauch anderer Medien (Wasser, Pressluft)

Gegebenenfalls muss die Festlegung dieser Parameter mit dem Hersteller bei der Erstellung des Pflichtenhefts erfolgen.

Bei Anlagen, deren Ausfall oder Störung zu Produktionsausfällen führen kann, müssen Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Anlage gestellt werden. Die Festlegung und Überprüfung der minimalen Anlagenverfügbarkeit kann dann Vorbehaltskriterium sein.

Soweit zum Planungsstand bei der Lastenhefterstellung möglich, sollten auch die Toleranzen der Anlage überdacht werden.

Beispiel:

Es ist nicht „reasonable“ also sinnvoll (s. SMART) einen Luftvolumenstrom von genau 1.000 m³/h zu fordern, wenn für den Einsatzzweck ein Volumenstrom von 900 – 1.100 m³/h ausreichend ist. In vielen Fällen stößt hier auch die gängige Messtechnik an ihre Grenzen.

Die Bedienung der Anlage muss auch definiert werden. Folgende Fragen sollten beantwortet werden:

- Wo werden Bedienelemente angeordnet?
- Welche Überwachungs- oder Kontrolleinrichtungen soll es geben?
- Welche Anforderungen muss die Bedienperson erfüllen (Kurzeinweisung oder Hochschulstudium)?

4.2.1.4 Lieferumfang

Zum Lieferumfang muss bei Projektstart klar Stellung bezogen werden. Die Bandbreite reicht vom Einkauf eines Einzelgeräts über die Beschaffung von Komponenten, die in Eigenregie zu einer Anlage zusammengebaut werden, bis hin zu einer schlüsselfertigen Anlage inklusive Gebäude.

Außerdem sollten schon bei der Erstellung des Lastenhefts Fragen zur Ersatzteilhaltung und Instandhaltung (z. B. Spezialwerkzeuge) formuliert werden.

Die Dokumentation muss vollständig vorhanden sein. Näheres dazu siehe Abschnitt 5.3.

Sollen im Bereich der neuen Anlage schon vorhandene Komponenten mitverwendet werden oder geht es bei dem Projekt um die Erweiterung einer bestehenden Anlage, sind die technischen Daten von Komponenten oder Anlage mit ins Lastenheft aufzunehmen.

Häufig wird eine vorhandene Infrastruktur (Stromversorgung, Pressluftversorgung) genutzt. Die technischen Daten der für das Projekt zur Verfügung stehenden Anlagen müssen auch dokumentiert werden.

Bauliche Maßnahmen werden bei vielen Projekten als Vorleistung des Auftraggebers vereinbart. Auch hier muss im Lastenheft eine eindeutige Aussage gemacht werden, in wessen Verantwortungsbereich die notwendigen Arbeiten liegen.

4.2.1.5 Lastenheft

Die Anforderungen werden vom Kunden oder von der Kundin im sogenannten Lastenheft zusammengefasst. Das Lastenheft beschreibt alle vom Auftraggeber festgelegten Forderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Aufnehmers innerhalb eines Auftrags.

Die Anforderungen in einem Lastenheft sollten durch ihre Formulierung so allgemein wie möglich und so einschränkend wie nötig formuliert werden.

In Abstimmung mit dem Hersteller der Anlage wird aus dem Lastenheft ein Pflichtenheft erstellt, das dann zur Grundlage des Kaufvertrags wird. Im Pflichtenheft werden den Anforderungen des Lastenhefts jeweils eine oder mehrere zu erbringende Leistungen zugeordnet.

Ausgangspunkte für die Definition der Anforderungen an eine Absauganlage könnten sein:

- Herstellervorgaben für die Absaugung von Maschinen
- Beurteilung der Gefährdungen für freigesetzte Gefahrstoffe
- Prozessanforderungen

Ergibt sich die Motivation für die Anschaffung einer Absauganlage aus der Gefährdungsbeurteilung, liegen entweder Messberichte oder Erfahrungswerte aus vergleichbaren Betrieben vor, die die Gefahrstoffexposition der Beschäftigten dokumentieren. Ist die Gefährdungsbeurteilung nicht durchgeführt worden, können auch Beschwerden von Beschäftigten, behördliche Auflagen oder Produktionsprobleme zur Entscheidung für eine Absauganlage führen.

Beispiele:

1. In der Fertigungshalle A ist beim Normalbetrieb der Maschinen x, y und z der Grenzwert der Gefahrstoffe u und v um den Faktor 3,7 überschritten.
2. In der Fertigungshalle B wird bei Arbeiten an den Produkten I, J und K eine starke Staubbildung und zunehmend Staubablagerungen in der Umgebung festgestellt.
3. Die Aufsichtsperson des Unfallversicherungsträgers fordert eine Absaugung im Schweißbereich

Die Ausgangssituation sollte bei der Definition der Anforderungen genau benannt und dokumentiert werden. Diese Information stellt für den Auftragnehmer die Basis seiner Projektierung dar. Bei späteren Änderungen der Randbedingungen oder des Prozesses sind Kenntnisse über die ursprünglichen Hintergründe vorteilhaft.

Sollte es im Vorfeld schon Ansätze zur Problemlösung gegeben haben, sollten diese und die Ergebnisse daraus als Information für das Lastenheft festgehalten werden.

Die gesetzlichen Forderungen, die durch den Einsatz der Absauganlage im Betrieb eingehalten werden müssen, sind im Lastenheft zu beschreiben. Häufig sind dies die Grenzwerte aus den jeweiligen technischen Regeln zur Arbeitsschutzverordnung und Emissionsbegrenzungen.

Beispiele für Handlungsbedarf:

1. Die Grenzwertüberschreitung stellt einen Verstoß gegen geltendes Recht dar. Es besteht eine Gesundheitsgefährdung der Beschäftigten.
2. Die Staubentwicklung beeinträchtigt die Produktqualität. Eine Gesundheitsgefährdung der Beschäftigten wird angenommen.

Bei der Definition der Anforderungen sollten auch Einflussfaktoren aus der oder auf die Umgebung betrachtet werden. Zum einen sollten die Auswirkungen der geplanten Anlage auf benachbarte Bereiche betrachtet werden:

- Art, Menge und Eigenschaften der abzusaugenden Stoffe
- Absaugdaten der anzuschließenden Erfassungsstellen
- Luftvolumenstrombilanz
- Zuluftführung (woher? evtl. belastet?)
- Verschleppung von Stoffen durch Ausgleichsströmungen
- Zugluft an Arbeitsplätzen durch Zuluftführung
- Umgebungsbedingungen (Frost, Feuchtigkeit, Hitze, ...)
- Standortverhältnisse (Platzbedarf, behördliche Brandschutzanforderungen)
- Auflagen aus Genehmigungsbescheiden (BlmSchG)
- ...

Zum anderen ist die Berücksichtigung absehbarer Entwicklungen dringend zu empfehlen:

- Welche Veränderungen sind im Einflussbereich der geplanten Anlage noch geplant?
- Welche Veränderungen sind für die Zukunft absehbar?
- Haben diese Veränderungen Einfluss auf die geplante Anlage?
- ...

4.2.2 Pflichtenheft

Aus dem Lastenheft wird vom Hersteller in Abstimmung mit dem Kunden oder der Kundin das Pflichtenheft entwickelt. Es enthält die genaue Aufstellung der Leistungen des Herstellers, die zur Erfüllung der Anforderungen aus dem Lastenheft dienen.

Im Pflichtenheft werden systematisch alle im Lastenheft aufgeführten Anforderungen konkretisiert. Je nach Komplexität der Aufgabe ist der Schritt vom Lasten- zum Pflichtenheft mehr oder weniger aufwändig. Für einfache Anwendungen „von der Stange“ werden kaum Unterschiede zwischen den beiden Dokumenten zu finden sein. Daher werden sie häufig miteinander verwechselt oder als gleich angesehen.

Für das Pflichtenheft wird zum Beispiel (entsprechend der Anwendbarkeit) festgelegt:

- Erfassung an der Entstehungsstelle (Anzahl, Erfassungsgeschwindigkeit, Absaugvolumenstrom, Geometrie, Beschaffenheit des Erfassungselements, Standzeit, Lebensdauer und Werkstoff der Erfassungselemente)
- Begrenzung der Erfassung nur auf den freigesetzten Stoffstrom (keine Absaugung von Produkt, Schutzgas etc.)
- Einhaltung der festgelegten lufttechnischen Daten (Volumenstrom, Unterdruck) unter Berücksichtigung des Gaszustands (Temperatur, Druck, Feuchtigkeit)
- Mindestluftgeschwindigkeit im angeschlossenen Rohrleitungssystem zur Vermeidung von Ablagerungen
- Strömungsgeschwindigkeit in den Lüftungsleitungen (Dimensionierung, Beschaffenheit der Lüftungsleitungen)
- Einhaltung eines vorgegebenen Unterdrucks im abgesaugten Raum (geschlossene Bauart)
- Abscheidung (Menge der abzuscheidenden Stoffe, Art der Abscheidung)
- Entsorgung/Lagerung/Rückgewinnung anfallender Stoffe
- Einhaltung von Stoffgrenzwerten am Arbeitsbereich bei definierten Randbedingungen
- Zeitraum und/oder Teilstückzahl zwischen manuellen Reinigungsintervallen (z. B. bei zerspanenden Prozessen)
- Leistungsbedarf, Betriebsmittelverbrauch
- Erfüllung allgemeiner Sicherheitsanforderungen
- Einhaltung eines maximalen Schalldruckpegels der Absauganlage an einem definierten Ort
- Funktionssicherheit/Verfügbarkeit der Anlage
- Brand- und Explosionsschutzmaßnahmen (für die Anlage selbst, bauliche Maßnahmen)
- Luftführung (Fortluft, Luftrückführung)

4.3 Dimensionierung

Absauganlagen erfüllen als „Anlagen“ nur dann die ihnen zugedachten Aufgaben und genügen den betrieblichen Erfordernissen, wenn sie insgesamt auf die jeweiligen Randbedingungen abgestimmt und dafür ausgelegt sind. Um das zu gewährleisten, bedarf es schon in der Planungsphase der intensiven Zusammenarbeit zwischen der Firma, die die Anlagen errichtet und dem späteren Betreiber.

Dem Betreiber kommt dabei die Aufgabe zu, den Hersteller über Art, Umfang und Lage der Emissionsquellen innerhalb der Betriebsgebäude zu informieren und ihm den später vorgesehenen Betrieb der Anlage sowie die örtlichen Möglichkeiten zur Aufstellung der Anlagen-Komponenten offen zu legen. Der Hersteller ist für die Auslegung, technische Umsetzung, Montage vor Ort und Übergabe der Anlage an den Betreiber verantwortlich.

Der bedarfsgerechten Dimensionierung der Anlage kommt dabei für den wirkungsvollen, sicheren, störungsarmen und energieeffizienten Betrieb eine entscheidende Rolle zu.

Folgende Anlagen-Komponenten müssen bei Absauganlagen dimensioniert werden:

- Erfassungselemente (sofern nicht Bestandteil abzusaugender Bearbeitungsmaschinen, etc.)
- Rohrleitungsnetz
- Abscheider
- Ventilatoren
- Leitungen/Kanäle zur Abluftführung
- Elemente zur Steuerung/Regelung des Anlagenbetriebs
- Bauteile zur Überwachung des Anlagenbetriebs und zur Gewährleistung der Anlagensicherheit

Nachfolgend werden die Vorgehensweise bei der Dimensionierung sowie die wesentlichen Zusammenhänge und gegenseitigen Abhängigkeiten beschrieben.

4.3.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

Zentrale Aufgabe einer Absauganlage ist die Erfassung der im Arbeitsbereich oder in einer Bearbeitungsmaschine anfallenden Schadstoffe, deren Entfernung vom Arbeitsplatz oder aus der Maschine, die Separierung des Schadstoffs vom Transportmedium „Luft“ sowie bei Bedarf dessen zeitweilige, gefahrlose Zwischenlagerung für eine spätere Weiterbehandlung. Im Fokus der Dimensionierung stehen daher vor allem die dafür benötigten Erfassungs- und „Transport“-Luftmengen sowie Art und Leistung des benötigten Abscheiders und die erforderliche Behandlung der Abluft.

Anschließend werden anhand eines Betriebs-Layouts die Standorte der Absaugstellen mit dem zugeordneten Volumenstrom- und Druckbedarf, die Standorte der Abscheider sowie der Einrichtungen zur Zwischenlagerung (eventuell auch Weiterbehandlung) der Schadstoffe festgelegt.

Erst danach erfolgen die Überlegungen zur Wahl der im konkreten Fall technisch und wirtschaftlich sinnvollsten Anlagenbauart und zur Gestaltung der Transportwege, also des Rohrleitungsnetzes. Aufgrund der gegenseitigen Abhängigkeiten der für den späteren Betrieb wesentlichen Anlagen-Parameter, wie Luftgeschwindigkeiten, Druckverluste, Abscheider-Belastungen, erforderliche Ventilator-Leistungen und Einrichtungen zur Überwachung und Steuerung sowie der erforderlichen Einrichtungen zur Gewährleistung der Anlagen-Sicherheit etc. erfolgt dieser Dimensionierungsschritt im Regelfall iterativ. Dabei werden die verschiedenen Varianten planerisch und rechnerisch „durchgespielt“ und die Ergebnisse für die Anlagenleistung, die erforderlichen Investitionen und die zu erwartenden Betriebskosten bewertet. Diese Vorgehensweise ermöglicht die Herausarbeitung spezifischer Vorzüge und Nachteile der unterschiedlichen Varianten und führt im Ergebnis so zu der für den konkreten Fall optimierten Lösung.

Abschließend wird die gewählte Lösung darauf geprüft, wie die Anlage sich voraussichtlich in allen für den späteren Betrieb wesentlichen Anlagen-Zuständen und bei Störungen verhält und welche Leistungsreserven für eventuelle spätere Anlagenerweiterungen vorhanden sind; die Flexibilität und die Kosten- und Energieeffizienz werden bewertet.

Im Diagramm in Abbildung 4.3.1 ist die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Anlagen-Dimensionierung mit dem Ziel einer optimalen Lösung für den konkreten Fall dargestellt.

4.3.2 Bestimmung der Absaugleistung

Die Absaugleistung ist die zentrale Planungsgröße bei der Dimensionierung einer Absauganlage. Sie umfasst alle für die Anlage wesentlichen Parameter, nämlich:

- den erforderlichen Mindest-Volumenstrom zur Erfassung und zum störungsfreien Abtransport der abzusaugenden Schadstoffe an oder von den Emissionsorten,
- die erforderlichen Druckdifferenzen zur Aufnahme der Schadstoffe und zur Überwindung von Strömungswiderständen innerhalb der Anlage,
- die technologisch erforderlichen (sog. Beiluft-Volumenströme, hydraulischer Abgleich, Schadstoffzustand oder -verhalten) oder aus betrieblichen Gründen gewünschten Reserven (Volumenstrom und Druckdifferenz) für den späteren Anlagenbetrieb.

Planerinnen und Planer müssen bei der Festlegung der Absaugleistung vom späteren Betreiber unterstützt werden. In der Gefährdungsbeurteilung muss ermittelt werden, wo, unter welchen Umständen und in welcher Form Schadstoffe im Betrieb auftreten (können), die über die Absaugung erfasst und aus dem Arbeitsbereich beseitigt werden müssen. Dabei müssen alle betrieblichen Prozesse (Fertigung, Lagerung, Bearbeitung, etc.) in Bezug auf das mögliche Auftreten des abzusaugenden Schadstoffs analysiert und bewertet werden.

4.3.2.1 Stoffeigenschaften und -mengen

Folgende Stoffeigenschaften bestimmen wesentlich die Anforderungen an die zu planende Absauganlage:

- Aggregatzustand
- Gewicht/Dichte
- Partikelgröße
- Eigendynamik
- Brennbarkeit
- Explosionsfähigkeit im Gemisch mit Luft
- Gesundheitsschädliche Eigenschaften (KMR-Stoffe, Arbeitsplatzgrenzwerte, Emissionsgrenzen)

Nähere Informationen zu den Stoffeigenschaften finden Sie in Abschnitt 3.1.

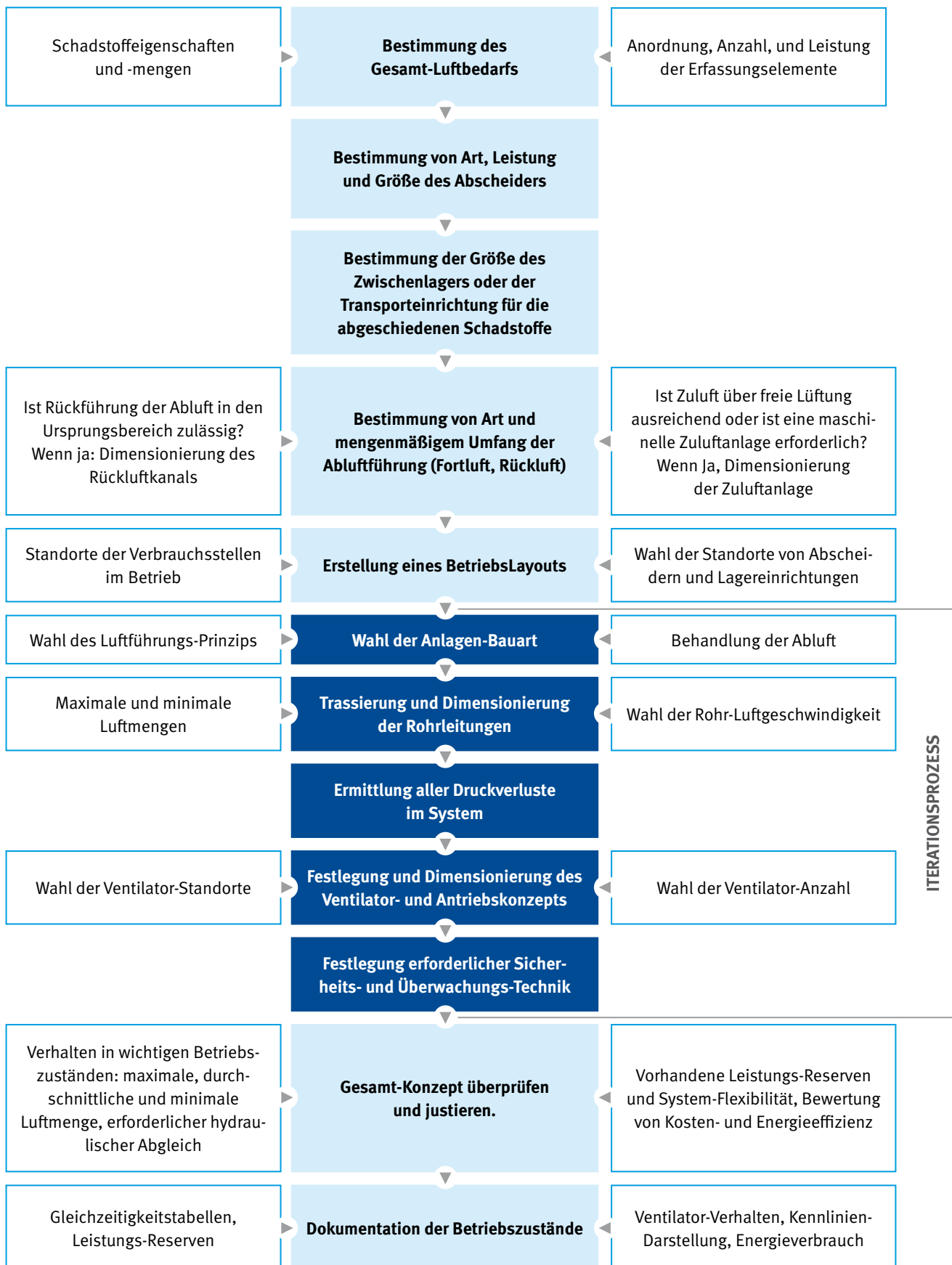


Abb. 4.3.1 Vorgehensweise bei der Dimensionierung von Absauganlagen

Die zu erwartende Stoffmenge muss für die weitere Dimensionierung abgeschätzt werden. Für diese Abschätzung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung:

- Erfahrungswerte aus existierenden, vergleichbaren Anlagen
- Überschlagsrechnungen, z. B. zu Zerspanungsleistungen
- Bilanzrechnungen aus eingesetzten Betriebsstoffen
- Hochrechnungen aus Emissionsraten oder Prozessparametern

4.3.2.2 Anordnung, Anzahl und Leistung der Erfassungselemente

Sind für die abzusaugenden Schadstoffe Art, Menge und Ort des Auftretens im Betrieb ermittelt, können die Erfassungen festgelegt und zugeordnet werden. Die Dimensionierung der Erfassungen umfasst dabei folgende Gesichtspunkte:

- Anordnung und Geometrie der Erfassungselemente
- notwendige Erfassungsluftgeschwindigkeit/Volumenstrom (unter Berücksichtigung des Gesundheits- und des Arbeitsschutzes)
- dabei erforderlicher Unterdruck an der Schnittstelle zur anschließenden Rohrleitung.

Erfassungseinrichtungen können als geschlossene, halboffene oder offene Systeme konstruiert sein. Näheres dazu ist in Abschnitt 3.2. beschrieben.

4.3.2.3 Ermittlung des Gesamt-Volumenstrombedarfs

Nach Festlegung der zu treffenden Einzel-Maßnahmen zur Erfassung der Schadstoffe ist der Gesamtbedarf an Volumenstrom für die zu dimensionierende Anlage zu ermitteln. Dieser Gesamt-Volumenstrombedarf stellt das entscheidende Kriterium für die spätere Größe der Anlage, die Auslegung von Abscheidern, Zwischenlagern, Abluftleitungen und Ventilatoren dar. Er ist damit maßgebend für Kosten für Investitionen und Betrieb der späteren Anlage.

Zur Ermittlung des erforderlichen Bedarfs an einzelnen Emissionsstellen müssen folgende Parameter festgelegt werden:

1. Volumenstrom \dot{V} in m^3/h
2. Luftgeschwindigkeit w an der Schnittstelle zwischen Erfassungselement und Rohrleitung in m/s
3. Querschnittsfläche A in m^2 bzw. Durchmesser D am Anschlussstutzen des Erfassungselements in m
4. erforderliche Druckdifferenz Δp_{stat} gegen Umgebung (Unterdruck) in Pa zur Erzielung der gewünschten Luftgeschwindigkeit

Der Gesamt-Volumenstrombedarf ist nicht allein die Summe der Bedarfe an allen Erfassungsstellen. Auch der Anlagenbetrieb muss berücksichtigt werden. Das betrifft vor allem den gleichzeitig erforderlichen Betrieb der Anlage an mehreren Erfassungsstellen. Darüber hinaus muss es Leistungsreserven geben für den nachträglichen Anschluss weiterer Erfassungsstellen, sowie anlagentechnologisch vorzuhaltende Leistungsreserven (z. B. Beiluft-Mengen zur Vermeidung von Ablagerungen oder Luftleistungen für den sogenannten hydraulischen Abgleich).

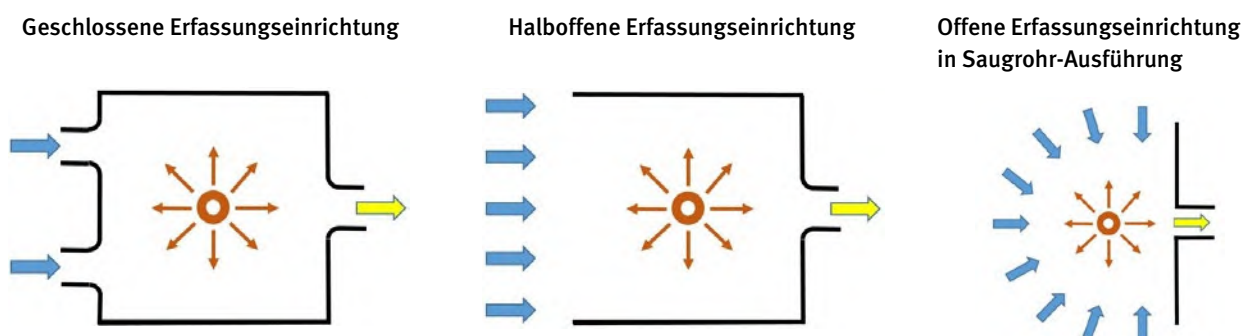


Abb. 4.3.2 Erfassungssysteme für Schadstoffe

Es müssen auch Leistungsreserven vorhanden sein, die rechnerische Unsicherheiten (z. B. bei der Ermittlung des Anlagen-Verhaltens) kompensieren. Man kann zum Beispiel wegen Montageungenauigkeiten nicht davon ausgehen, dass die rechnerische Annahme einer „Stoffdichtigkeit“ der Anlage vollständig gegeben ist.

In der Regel wird der Volumenstrombedarf aus gleichzeitigem Betrieb mehrerer Verbraucher den wesentlichen Eckpunkt für die Größe der zu projektierenden Anlage geben. Für den späteren Betrieb sind aber nicht nur der maximale Bedarf aus gleichzeitigem Betrieb, sondern auch weitere Betriebszustände von Interesse. Solche „Eck-Betriebspunkte“ für die Anlage stellen dar:

- **Maximaler Volumenstrombedarf:** Er bestimmt die erforderlichen Größen und Leistungen der Abscheider, Lagerbereiche, Abluftkanäle, und Ventilatoren. Auch die Auslegung des Rohrleitungsnetzes wird wesentlich von diesem Bedarf mitbestimmt. Außerdem sind auf diesen Betriebszustand alle wesentlichen Sicherheitsbauteile, Steuerungseinrichtungen sowie die Energieversorgung auszulegen.
- **Minimaler Volumenstrombedarf:** Er gibt Anhaltspunkte für das geforderte Absaugpektrum und damit für die vorteilhafte Anlagen-Bauart. Daneben ist er eine wesentliche Größe für die Auslegung des Rohrleitungsnetzes, die Abstufung der Ventilatoren und Antriebsleistungen, die Ausrüstung mit Beiluftklappen oder Schiebersteuerung und die durch die Anlagensteuerung einzuleitenden Maßnahmen.
- **Durchschnittlicher Volumenstrombedarf:** Er beeinflusst wesentlich den späteren Energieverbrauch, die voraussichtliche Standzeit des ausgewählten Filtermaterials, die Auslegung der Abreinigung des Filters und die Auslegung einer vorhandenen Ventilator-Abstufung. Auf diesen durchschnittlichen Bedarf (inkl. einer vorgewählten Streuung) wird die Anlage im Regelfall optimiert.

Der gleichzeitige Volumenstrombedarf V_{ges} bestimmt sich aus der Summe der jeweils erforderlichen Volumenströme V_i an den einzelnen Anschlussstellen.

$$V_{ges} = \sum_{i=1}^n V_i \quad (4.3 - 1)$$

Hinweise für die mögliche Gleichzeitigkeit können gegeben sein durch:

- die Zahl der maximal gleichzeitig anwesenden Beschäftigten (mehr von Hand bediente Maschinen können nicht gleichzeitig betrieben werden),
- die Produktpalette und die Fertigungsschwerpunkte des Betreibers,
- das Vorhandensein mehrerer baugleicher Maschinen/ Emissionsquellen,
- die Auswertung über evtl. vorhandene Betriebsstundenzähler.

Erfahrungen zeigen, dass in der Praxis die Anlagengrößen eher überdimensioniert (Viel hilft viel!) und die im Betrieb benötigten Gleichzeitigkeiten tendenziell überschätzt werden.

Bei der Planung sollten 10 % Leistungsreserven berücksichtigt werden, um zum Beispiel Undichtigkeiten, Ungenauigkeiten in der Auslegung und Montage auszugleichen.

Die Notwendigkeit von weiteren Leistungsreserven ergibt sich aus für spätere Zeitpunkte vorgesehenen Erweiterungen der Anlage. Der daraus resultierende Zusatzluftbedarf sollte nur für die Dimensionierung der Abscheider und Abluftkanäle berücksichtigt werden. Im Bereich des Leitungssystems und der Ventilatoren würden sich für den aktuellen Zustand bei Berücksichtigung dieses Zusatzbedarfes unter Umständen Funktionsstörungen (z. B. Ablagerungen) ergeben. Leitungssystem und Ventilatoren müssen dann im Rahmen der Erweiterung der Anlage überarbeitet werden

Hinweis:

Mithilfe von Anhang 8.5. kann eine Zusammenstellung des Gesamt-Volumenstrombedarfs einer Absauganlage erfolgen, aus der auch die Bedarfe in unterschiedlichen Anlagen-Betriebszuständen hervorgehen.

4.3.3 Bestimmung von Art, Leistung und Größe des Abscheiders

Liegen die benötigten Volumenströme und Schadstoffmengen fest, muss zunächst das richtige Abscheidekonzept gefunden und festgelegt werden. Dazu muss bestimmt werden, welche Bauart von Abscheidern für die Art, den Zustand und die Menge des abzuschneidenden Schadstoffs geeignet ist. Anschließend erfolgt die Dimensionierung des Abscheiders, die Wahl des Abscheidemediums und die Festlegung der Größe. Berücksichtigt werden müssen hierbei auch die vorgesehene Abscheider-Regeneration (soweit erforderlich) sowie die Art der Abführung und Entsorgung der abgeschiedenen Schadstoffe.

4.3.3.1 Bestimmung des Abscheideprinzips

Für die Wahl des Abscheide-Prinzips sind der Aggregatzustand des Schadstoffs, dessen Lösung in der Transportluft und die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Bedeutung.

Der Schadstoff kann auftreten:

- in Form von gröberen oder feineren Partikel von Feststoffen
- in Form eines Aerosols als heterogenes Gemisch aus Luft und feinen Fest-Partikeln oder flüssigen Tröpfchen
- in Form von Dämpfen
- in rein gasförmigem Zustand

Daneben spielen folgende Eigenschaften für die Wahl des Abscheiders eine wesentliche Rolle:

- die Rohluft-Temperatur,
- die elektrostatischen Eigenschaften des Schadstoffs,
- die Verklebung von Partikeln untereinander (Agglomeration),
- die Rohluft- Schadstoff-Feuchtigkeit,
- die Brennbarkeit oder Explosionsfähigkeit des Schadstoff-Luft-Gemischs,
- die Rohluft-Beladung (Menge der Schadstoffe im Luftstrom) sowie
- die jeweils zulässige Reinluft-Konzentration.

Bei partikelförmigen Stoffen richtet sich die Abscheidetechnik im Wesentlichen nach der Partikelgröße (siehe Abbildung 4.3.3). Ist die Rohgasbeladung hier sehr hoch ($> 100 \text{ g/m}^3$) oder enthält sie für die Abscheidung unerwünschte Produkte (z. B. Metallteile, größere Werkstoffteile, Funken), empfiehlt sich die Anwendung mehrstufiger Abscheidekonzepte.

Geeignete **Vorabscheider** können sein:

- Schwerkraftabscheider (z. B. Absetzkammern) zur Vorabscheidung größerer Partikel oder Fasern,
- Prallabscheider zur Abscheidung z. B. auch von möglichen Funken im Rohluftstrom,
- Magnetabscheider zur Ausschleusung von Metallteilen,
- Zyklone (Zentrifugalabscheider/Fliehkraftabscheider) zur Vor-Sedimentierung größerer Staubmengen für Volumenströme bis $100.000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Die Abscheideleistung der genannten Abscheider ist aber besonders im Bereich feinerer Partikel nicht ausreichend, sodass im Regelfall ein alleiniger Einsatz nicht genügt. Sie können den Hauptabscheider aber entscheidend entlasten und dessen Standzeit deutlich verlängern.

Nachteilig beim Einsatz von Vorabscheidern ist allerdings ihr Strömungswiderstand, der zusätzliche Druckverluste verursacht und damit einen höheren Energieaufwand beim Betrieb der Anlage nach sich zieht.

Nähere Einzelheiten sind dem Abschnitt 3.5 zu entnehmen.

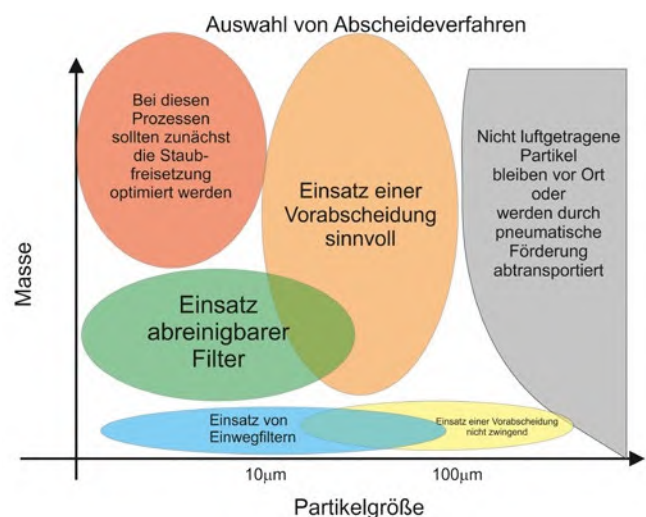


Abb. 4.3.3 Abscheideverfahren für Partikel

4.3.3.2 Dimensionierung des Abscheiders (Größe)

Liegen Art und Funktionsweise des Abscheiders fest, kann der Abscheider dimensioniert werden.

Bemessungsgrößen sind bei den weit verbreiteten filternden Abscheidern vor allem der (maximale) Rohluft-Volumenstrom \dot{V} (m³/h) und bei partikelförmigen Schadstoffen die für einen störungsfreien Betrieb jeweils maximal zugrunde zu legende Filtrationsgeschwindigkeit v_f (m/h) oder Filterflächenbelastung f (m³/(m²·h)).

Die notwendige Filterfläche A_F (m²) ergibt sich dabei aus der Beziehung:

$$A_F = \frac{\dot{V}}{v_f} \quad (4.3 - 2)$$

Die Wahl der Filtrationsgeschwindigkeit hängt wesentlich von der vorgesehenen Regenerations-Technik, der Bauart des Abscheiders (Schlauch-, Taschen- oder Patronenfilter), dem Filtermaterial sowie der Struktur und Korngrößenverteilung des Schadstoffs in der Luft ab. Sie beträgt zwischen 30 und 300 m/h. Auch die Wirksamkeit der Vorabscheidung sowie die geometrischen Verhältnisse im Abscheidebereich (Länge/Durchmesser-Verhältnis oder Lichtweiten zwischen den Filterschläuchen) spielen für die Wahl der Filtrationsgeschwindigkeit eine Rolle.

Abschnitt 3.5. gibt Hinweise für übliche Filtrationsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Anwendungsbereichen.

Generell sollte die Filtrationsgeschwindigkeit eher geringer gewählt werden. Das führt zwar im Ergebnis zu größeren Abscheider-Abmessungen (und damit höheren Investitionskosten), bringt aber dem Betreiber für den späteren Betrieb deutliche Vorteile:

- geringere Druckverluste im Abscheider und damit geringere Energiekosten,
- längere Filterstandzeiten und damit geringere Wartungskosten,
- längere Regenerations-Zyklen und dadurch wiederum geringere Energie-Aufwendungen.

Außerdem ist der Abscheider meistens das Bauteil innerhalb der Anlage, das die Leistungsreserven für später vorgesehene Anlagenerweiterungen definiert und damit wesentlich über die Flexibilität der Gesamt-Lösung entscheidet.

Aufgrund der Komplexität der Thematik können an dieser Stelle nur die weit verbreiteten filternden Abscheider angesprochen werden. Ausführungen zur oder Hinweise für die Dimensionierung anderer Abscheider sind der einschlägigen Fachliteratur [30] zu entnehmen.

4.3.3.3 Wahl der Regenerations-Technik und -Intervalle

Die möglichen Regenerations-Techniken sowie die für die Regeneration erforderlichen Intervalle hängen unmittelbar mit dem gewählten Abscheidesystem zusammen. Bei manchen Systemen ist eine Regeneration im eigentlichen Sinne gar nicht möglich, sodass in diesen Fällen die „Regeneration“ aus einem Austausch des Filtermediums besteht. Zu nennen wären in diesem Zusammenhang:

- Speicherfilter bei filternden Abscheidern
- Anlagerung von Stoffen an der Oberfläche von z. B. Aktivkohle als Adsorbens
- Lösen von Stoffen in Waschflüssigkeiten als Absorbieren
- Waschflüssigkeiten bei Nassabscheidern

Zyklone und alle Schwerkraftabscheider benötigen gar keine Regenerations-Technik. Hier müssen allenfalls die Sammelbehälter in Abständen mechanisch oder von Hand geleert werden, sofern das Material nicht in zentrale Fördersysteme aufgegeben wird.

Bei filternden Abscheidern stehen prinzipiell 3 Verfahren zur Wahl:

- Mechanische Rüttelung
- Spülluftverfahren
- Druckimpuls-Verfahren

Mechanische Rüttelung eignet sich nur für geringe Filterbelastungen bei flexiblem, unbeschichtetem Filtermaterial. Die Rüttelung kann nur in Betriebspausen erfolgen. Im Gegensatz dazu sind bei der Spülluft-Abreinigung keine Betriebsunterbrechungen erforderlich, weil sie nur auf aktuell nicht mit Rohgas beaufschlagte Segmente angewendet wird. Allerdings sind bei dieser Lösung größere Filterflächen (ein Segment befindet sich immer im Abreinigungsmodus) sowie relativ große Luftmengen erforderlich. Druckimpuls-Verfahren sind auch bei hoch belasteten und beschichteten Filtermaterialien wirkungsvoll bei gleichzeitig relativ geringem Luftbedarf. Nachteilig ist die Notwendigkeit der Druckluftversorgung über einen betrieblichen Kompressor.

4.3.3.4 Festlegung des Entsorgungskonzepts

Für das Entsorgungskonzept spielt – neben der aus der Abscheidung anfallenden Schadstoffmenge – vor allem der Aggregatzustand der abgeschiedenen (Rest-)Stoffe die wesentliche Rolle.

Partikel fester Stoffe können über mechanische Aus-tragsysteme (Schnecken, Zellenradschleusen, etc.) aus dem Filter ausgetragen werden und einer (Zwischen-)Lagerung in Behältern zugeführt werden.

Flüssigkeiten können aus dem Abscheider abfließen und mit Pumpen in Lagertanks oder direkt zur (Abwasser-) Aufbereitung gefördert werden. Bei der Abwasseraufbereitung kommen in vielen Fällen Oxidantien zur Ausfällung der Schadstoffe aus dem Abwasser und Säuren oder Laugen zur Einstellung eines zulässigen pH-Werts zum Einsatz, bevor das Abwasser in das öffentliche Kanalnetz oder einen natürlichen Vorfluter geleitet werden kann. Der anlagentechnische und rohstofftechnische Aufwand darf dabei nicht vernachlässigt werden und beeinflusst die späteren Betriebskosten erheblich. Darüber hinaus ist auch der Genehmigungs- und Überwachungsaufwand bei der praktischen Umsetzung zu berücksichtigen.

4.3.4 Erstellung eines Betriebs-Layouts

In einem Betriebs-Layout werden alle für die zu planende oder zu dimensionierende Anlage wesentlichen Details in einem Lageplan skizziert. Das Layout sollte nach Möglichkeit maßstabsgetreu erstellt werden, sodass auch die wesentlichen Entfernungen und Größenverhältnisse sichtbar gemacht werden können. Das Layout wird in der Regel als Grundriss-Darstellung erstellt. Die wesentlichen Anlagenkomponenten (z. B. Abscheider, Ventilatoren) sollten aber auch als Aufriss oder Schnittzeichnung dargestellt werden. Das gilt besonders für die Fälle, bei denen aufgrund der betrieblichen Verhältnisse die Höhe begrenzt ist.

Im Betriebs-Layout sollten besonders folgende Randbedingungen dargestellt werden:

- Standorte der abzusaugenden Emissionsstellen mit den zuzuordnenden Luftmengen
- Standorte der Abscheider und Ventilatoren mit (kritischen) Abständen zu Gebäude-Außenhüllen, Nachbargrundstücken, Lagerbereichen mit brennbaren Materialien, etc.
- Standorte und wesentliche Bauteile von vorhandenen oder noch zu errichtenden Entsorgungs- und (Zwischen-)Lagereinrichtungen
- Verlauf von für den Betrieb der Anlage wesentlichen Versorgungseinrichtungen (Druckluftversorgung, Standorte von Schaltschränken, etc.)

Ein aussagefähiges Betriebs-Layout kann auch wesentliche Grundlage für die in Abschnitt 4.4 näher beschriebene Angebotsbearbeitung sein.

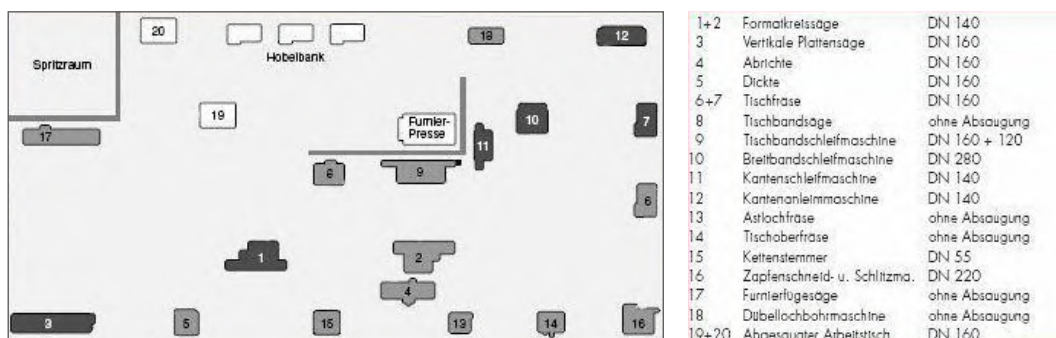


Abb. 4.3.4 Beispiel für Betriebslayout eines holzbearbeitenden Betriebs

4.3.5 Wahl der Anlagenbauart in einem iterativen Prozess

Für den Aufbau einer Absauganlage stehen verschiedene Varianten zur Verfügung (siehe Tabelle 4.1.1 in Abschnitt 4.1). Welche dieser Varianten unter den konkret herrschenden Randbedingungen optimale Ergebnisse liefert, kann nur ermittelt werden, indem eine konkrete Rechnung „durchgespielt“ wird. Nach der Auswahl einer Variante des Luftführungsprinzips (siehe Abschnitt 4.3.5.1) werden dabei nacheinander folgende Schritte vorgenommen:

- Trassierung und Dimensionierung der Rohrleitungen (Durchmesser, Längen)
- Ermittlung der Druckverluste im System (Verbraucher, Rohrleitungen, Abscheider, Abluftkanäle)
- Festlegung der Ventilator- und Antriebskonzepte (Anzahl und Anordnung im System, Dimensionierung, Übersetzungskonzepte, Steuerung/Regelung)
- Festlegung erforderlicher Sicherheits- und Überwachungstechnik (Brand- und Explosionsschutz, Lärmschutz, Störungsüberwachung, Leistungsüberwachung)

Als Ergebnis der Berechnung ergeben sich Aussagen zum Betriebsverhalten (Arbeitspunkt: siehe Abbildung 4.3.5) sowie zu den jeweils erforderlichen Luftleistungen und den zu erwartenden Investitionskosten für die jeweils untersuchte Variante.

In einem iterativen Prozess wird anschließend die für die konkreten Randbedingungen günstigste Variante ermittelt.

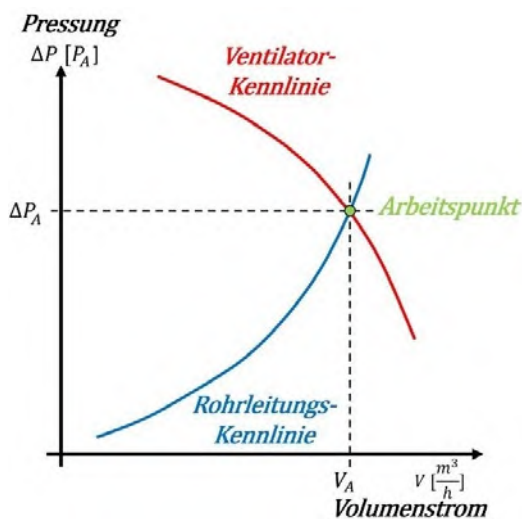


Abb. 4.3.5 Betriebsverhalten einer Absauganlage

4.3.5.1 Wahl des Luftführungs-Prinzips

Bei der Wahl des Luftführungsprinzips können schon einige weniger brauchbare Varianten von der Betrachtung und Berechnung ausgeschlossen werden, wenn man auf folgende Fragen unter den vorliegenden Randbedingungen eindeutige Antworten hat:

- Können Verbrauchsstellen im Hinblick auf die jeweils erforderlichen Luftmengen, ihrer örtlichen Lage im Betrieb (siehe Betriebs-Layout) und den gleichzeitigen (oder nicht gleichzeitigen) Betrieb dieser Verbraucher sinnvoll zu Gruppen zusammengefasst werden?
- Darf und soll die Abluft aus dem Abscheider als Rückluft in den Betrieb zurückgegeben werden oder soll sie als Fortluft in die Atmosphäre geblasen werden?

4.3.5.2 Trassierung und Dimensionierung der Rohrleitungen

Unter Trassierung versteht man die Wahl der Linienführung einzelner Rohrleitungsabschnitte oder der gesamten Rohrleitung. Um Druckverluste zu minimieren (siehe Abschnitt 4.3.5.3), sollten Rohrleitungen möglichst kurz sein und auf direktem Wege zum Kern der Anlage, nämlich dem Abscheider und den Ventilatoren führen. Scharfe Richtungsänderungen (Linienwinkel $> 60^\circ$) sowie stumpfe Rohrzusammenführungen sollten vermieden werden. Bei den Zusammenfassungen einzelner Verbraucher im Rohrnetz können durch eine optimale Trassierung Verluste verringert werden, wenn Leitungsabschnitte mit höheren Gesamtdruckverlusten (Verbraucher + anschließende Rohrleitung) gegenüber solchen mit geringeren Verlusten kurzgehalten werden.

Das Durchstoßen von Brandwänden oder aus anderen Gründen „sensiblen“ baulichen Anlagen im Rohrleitungsverlauf sollte nach Möglichkeit vermieden werden, um den notwendigen „Sicherungsaufwand“ durch aufwändige Leitungsstrukturen oder teure Sicherheitsbauteile (z. B. Brandschutzklappen) gering zu halten (siehe hierzu auch Abschnitt 3.9).

Rohrleitungen sollten so dimensioniert werden, dass ausreichende Volumenströme mit möglichst geringen Luftgeschwindigkeiten erreicht werden. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Material-Transportgeschwindigkeiten hinreichend groß sind, um einen ablagerungsfreien Transport zu gewährleisten. Diese kritische Geschwindigkeit ist stark vom Verhalten des abzusaugenden Stoff-Luft-Gemischs abhängig und für Feststoff-Luft-

Gemische im Allgemeinen höher als für Flüssigkeitsnebel oder Gas-Luft-Gemische. Anhaltspunkte für kritische Geschwindigkeiten sind dem Abschnitt 3.3 oder den im Abschnitt 8. dargestellten stoff- und verfahrensspezifischen Kriterien zu entnehmen.

Der Querschnitt der abführenden Rohrleitungen hinter dem Zusammenfluss mehrerer Volumenströme (i) sollte so gewählt werden, dass die Luftgeschwindigkeit nach dem Zusammenfluss möglichst gleichbleibend ist. Das ist gegeben, wenn der Gesamt-Querschnitt (folgender Beziehung folgt):

$$D_{\text{ges}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n D_i^2} \quad (4.3 - 3)$$

4.3.5.3 Ermittlung aller Druckverluste im System

Bei jeder Strömung im geschlossenen System „Absauganlage“ entstehen – neben den in Strömungsrichtung wirkenden dynamischen Drücken, die für die Herstellung des Volumenstroms erforderlich sind – statische Druckkomponenten, die senkrecht zur Strömungsrichtung wirken (siehe Abbildung 4.3.6). Diese Druckkomponenten behindern die Durchströmung, weil sie „Reibung“ und damit Verluste erzeugen. Sie müssen vor Auswahl der Strömungsmaschine „Ventilator“ zumindest nach ihrer Größenordnung bekannt sein, weil der Ventilator – neben der Druckkomponente in Strömungsrichtung – auch die zur Überwindung dieser Verluste notwendige Leistung liefern muss.

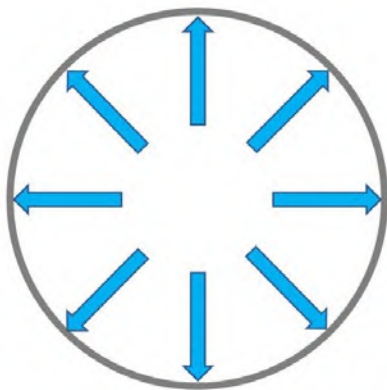


Abb. 4.3.6 Verlauf der senkrechten (statischen) Druckkomponente im Rohr

(Statische) Druckverluste ergeben sich in sämtlichen Bauteilen, die im Anlagenverlauf durchströmt werden. Im Besonderen sind das:

- alle abzusaugenden Erfassungseinrichtungen und Verbrauchsstellen (Maschinen, Absaugwände, Absaugtische, Düsen, etc.),
- alle Rohrleitungen und deren Leitungsbauteile (z. B. Krümmer, Abzweige, Aufweitungen, Verengungen, etc.),
- alle Abscheider im Verlauf der Absauganlage,
- alle Abluftkanäle, Ausblaseeinrichtungen, Wärmetauscher, etc.
- Steuerungs- und Sicherheitsbauteile, die innerhalb des durchströmten Bereiches verbaut sind (z. B. Klappen, Ventile, etc.)

Die Größe der statischen Druckverluste ergibt sich physikalisch nach der folgenden Beziehung:

$$\Delta p_i = \zeta_i \cdot p_{\text{dyn}} = \zeta_i \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \quad (4.3 - 4)$$

mit

ζ_i = dimensionsloser, bauteilspezifischer Strömungswiderstandsbeiwert

p_{dyn} = dynamischer Druck [Pa]

ρ = Dichte von Luft i. A. 1,2 [kg/m³]

w = Luftgeschwindigkeit bei der Durchströmung [m/s]

Hinweise zu den zu erwartenden bauteilspezifischen Strömungswiderstandsbeiwerten sind den Abschnitten

- Erfassungseinrichtungen (Abschnitt 3.2),
- Rohrleitungen und ihre Leitungsbauteile (Abschnitt 3.3),
- Abscheider (Abschnitt 3.5)

zu entnehmen. Bestehen Zweifel über den anzunehmenden Strömungswiderstandsbeiwert, helfen auch messtechnische Ermittlungen an identischen oder baugleichen Bauteilen in der Praxis weiter. Das gilt besonders für die Strömungswiderstandsbeiwerte von Erfassungseinrichtungen, die im Allgemeinen wesentliche Beiträge liefern und gleichzeitig eine hohe Streubreite haben. Bei den Vergleichswerten von Leitungsbauteilen liefern die veröffentlichten tabellarischen Werte ausreichende Genauigkeit.

Eine Besonderheit ergibt sich für die Druckverluste entlang (langgestreckter) Rohrleitungen. Hier kann der bauteilspezifische Strömungswiderstandsbeiwert nicht als konstant angenommen werden, da er von der Leitungslänge und dem Leitungsdurchmesser wie folgt abhängt:

$$\zeta_{\text{Leitungsabschnitt}} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \quad (4.3 - 5)$$

mit:

λ = dimensionslose Rohrreibungszahl [-]

L = Länge des Rohrabschnitts [m]

D = Durchmesser der Leitung [m]

In Bezug auf die Druckverluste in Abscheidern gibt es eine weitere Besonderheit. Abscheider sind Anlagebestandteile, bei denen ein Bauteil mit einem relativ geringen Querschnitt (Absaugrohr) in ein Bauteil mit großem Querschnitt übergeht und bei denen die strömende Luft den großen Querschnitt wieder über einen kleineren Querschnitt (Rohr oder Abluftkanal) verlässt. Das führt zu veränderten Zusammensetzungen der Gesamtdrücke (siehe Abbildung 4.3.7).

Beispiel:

Beim Einströmen in den Abscheider wird die Luft durch die Verwirbelung und den Filterwiderstand von zum Beispiel 20 m/s ($p_{dyn} = 240 \text{ Pa}$) auf zum Beispiel 2 m/s ($p_{dyn} = 2,4 \text{ Pa}$) abgebremst. Dieser Verlust an dynamischem Druck (p_{dyn}) bewirkt einen zusätzlichen Druckverlust, das heißt eine Zunahme des statischen Drucks ($p_{stat,2}$). Beim Ausblasen aus dem Abscheider in einen kleineren Querschnitt wird der dynamische Druck (teilweise) zurückgewonnen.

Um diesen Verhältnissen Rechnung zu tragen, muss für die Filtereintragung (ζ_E) und die Filteraustragung (ζ_A) jeweils ein bauteilspezifischer Strömungswiderstandsbeiwert berücksichtigt werden. Auf der Einströmseite kann dieser Widerstandsbeiwert näherungsweise als

$$\zeta_E = 1$$

angenommen werden. Der Widerstandswert auf der Ausgangsseite hängt von der Querschnittsgröße der abgehenden Leitung ab. Wenn dieser Querschnitt etwa doppelt

so groß ist wie der Querschnitt der eingangsseitigen Rohrleitung, kann der Widerstandsbeiwert mit

$$\zeta_A = 0,5$$

betrachtet werden.

Der wesentliche Druckverlust entsteht allerdings am Abscheidemedium aufgrund der unterschiedlichen Drücke auf der Roh- ($p_{stat,2}$) und Reingasseite ($p_{stat,3}$). Die Entwicklung und maximale Höhe dieses Druckverlusts

$$\Delta p = p_{stat,3} - p_{stat,2} \quad (4.3 - 6)$$

ist bei verschiedenen Abscheider-Typen unterschiedlich ausgeprägt und hängt im Regelfall stark mit der Beaufschlagung des Abscheiders (Luftmenge und Stoffkonzentration) sowie seiner Durchlässigkeit (Art und Zustand des Abscheidemediums) zusammen. Nähere Einzelheiten siehe Abschnitt 3.5.

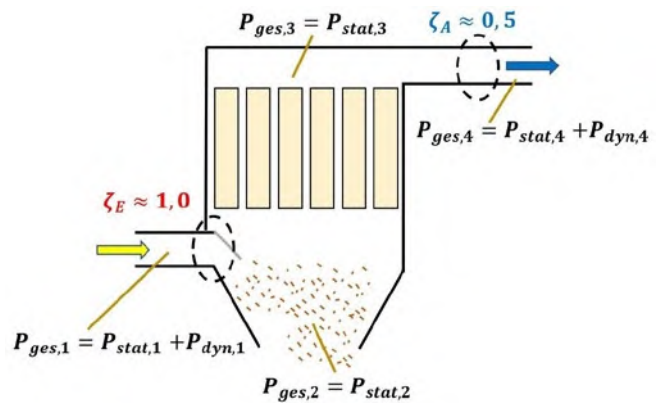


Abb. 4.3.7 Druckverhältnisse im Bereich eines Abscheiders

Abschließend werden die Druckverluste aller Bauteile innerhalb der Anlage aufsummiert. Ändern sich die Querschnitte (und damit die Luftgeschwindigkeit) im gesamten System nicht, können statt der Druckverluste auch die Strömungswiderstandsbeiwerte aufsummiert werden. Mithilfe dieses Gesamt-Widerstandsbeiwerts der Anlage kann anschließend der Gesamt-Druckverlust nach Gleichung 4.3 - 7 bestimmt werden.

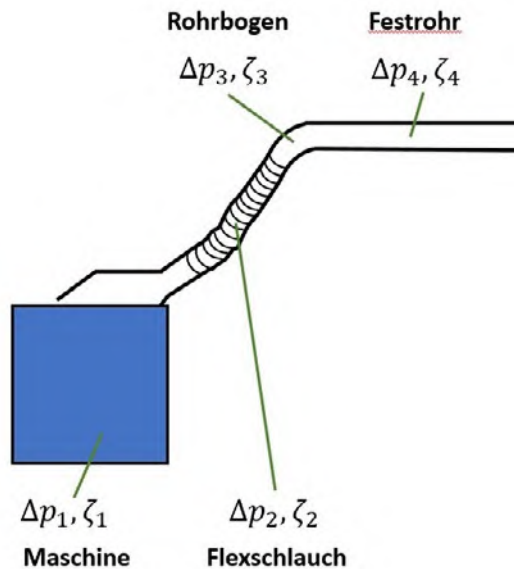


Abb. 4.3.8 Summierung der Widerstandsbeiwerte innerhalb eines Absaugbereichs.

Für den in Abbildung 4.3.8. dargestellten Anschluss einer Maschine an eine Haupt-Absaugleitung gilt:

$$\Delta p_{\text{ges}} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4 \quad (4.3 - 7)$$

Bei unverändertem Querschnitt im Leitungsverlauf:

$$\zeta_{\text{ges}} = \sum \zeta_i = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4 \quad (4.3 - 8)$$

Bei der oben betrachteten Reihenschaltung sind die Verhältnisse also relativ überschaubar.

Anders sieht es bei der Parallelschaltung mehrerer Erfassungsstellen aus, weil sich hier Verzweigungspunkte im System ergeben.

An Verzweigungspunkten ist zu beachten, dass dort nur **ein Druck** herrschen kann. Hier muss bei der Planung entschieden werden, welcher der aus den Anschlüssen resultierenden Drücke den „kritischen“ Weg für die Anlage markiert. Das wird in der Regel der Anschluss sein, der – bei gegebenem Mindestvolumenstrom oder gegebener Mindestluftgeschwindigkeit – den höheren Druckverlust bewirkt. Dieser höhere notwendige Druck führt aber in den Verzweigungsleitungen mit ursprünglich niedrigerem Druck zu einer höheren Luftgeschwindigkeit und damit zu einem höheren Volumenstrom in diesen Leitungen.

Die daraus resultierende neue Luftgeschwindigkeit (w_i) für den Leitungsabschnitt mit geringeren Druckverlusten ergibt sich auf der Basis des max. Druckverlusts am Knoten ($\Delta p_{\text{stat,max}}$) nach der Beziehung:

$$w_i = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_{\text{stat,max}}}{\zeta \cdot \rho}} \quad (4.3 - 9)$$

Diese neue und in der Regel höhere Luftgeschwindigkeit führt nach der bekannten Beziehung (4.3 - 1) zu einem geändertem (höheren) Volumenstrom aus dem betreffenden Leitungsabschnitt und damit zu einem höheren Gesamt-Volumenstrom im Verzweigungspunkt. Dieser neue Volumenstrom ist dann bei der Berechnung der Druckverluste aller nachfolgenden Anlagenbereiche zu berücksichtigen.

In der der nachfolgenden Abbildung 4.3.9 ist der Druckverlauf an einer einfachen Absauganlage qualitativ dargestellt.

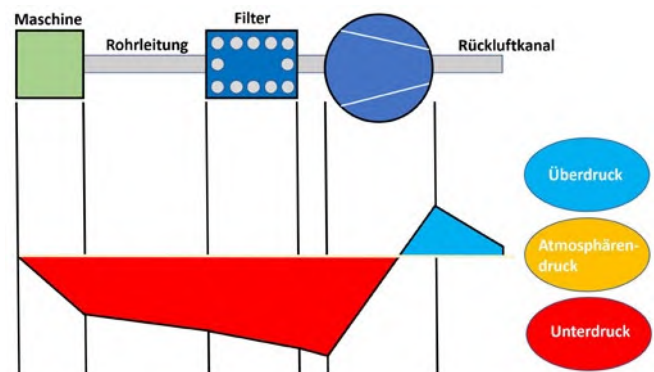


Abb. 4.3.9 Prinzip-Darstellung des Druckverlaufs an einer einfachen Absauganlage

4.3.5.4 Ventilator- und Antriebskonzept festlegen

Nachdem die konkreten Absauganforderungen in Form des benötigten Mindest-Volumenstroms und der erforderlichen Gesamt-Druckdifferenz ermittelt worden sind, müssen das passende Ventilator-Konzept und die für den konkreten Fall günstigste Antriebsvariante festgelegt werden. Wichtige Gesichtspunkte sind dabei:

- Anordnung der Ventilatoren innerhalb des Systems (rohgas- oder reingasseitig)
- Anzahl der Ventilatoren
- Dimensionierung jedes einzelnen Ventilators für die konkreten Anforderungen (Kennlinien-Verhalten)

- Wahl der Antriebstechnik (Direktantrieb, Antrieb über Kupplung, Riemenantrieb, Antrieb über Umrichter)
- Maßnahmen zur Anpassung der Luftleistung auf den Bedarf im konkreten Betrieb (Regelung oder Steuerung des Leistungsverhaltens des/der Ventilator(s/en))

Im Regelfall sollten Ventilatoren reingasseitig angeordnet sein (siehe Abschnitt 4.1.2).

Eine Ausnahme von der Regel könnten Ventilatoren in Gruppenabsaugungen in Betrieben mit industrieller Fertigung unter folgenden Bedingungen darstellen:

- Die Ventilatoren werden permanent während der Arbeitszeit betrieben,
- sämtliche Gruppen sind (weitgehend immer) gleichzeitig im Einsatz,
- der zu erwartende Verschleiß durch Abrieb ist gering oder nicht vorhanden,
- der notwendige Unterdruck für die Absauggruppe ist sehr hoch,
- die notwendigen Unterdrücke der Absauggruppen sind sehr unterschiedlich.

Bei rohgasseitiger Anordnung der Ventilatoren bestimmt sich deren Anzahl nach der Zahl der vorhandenen Gruppen, wenn innerhalb des Leitungssystems keine zusätzlichen „Stützventilatoren“ zur Kompensierung besonderer, örtlich beschränkter Druckanforderungen vorgesehen werden müssen.

Reingasseitig kann die Zahl der Ventilatoren weitgehend frei gewählt werden, da der produzierte Volumenstrom sich in Abhängigkeit von den jeweiligen Druckanforderungen auf das Gesamtsystem verteilt. Mit mehreren Ventilatoren kann über deren Parallelschaltung (in Verbindung mit einer entsprechenden Ansteuerung) eine gute Anpassung an die betrieblichen Verhältnisse auch bei wechselnden Absauganforderungen realisiert werden. Voraussetzung ist, dass die Leistung der Ventilatoren in Bezug auf das über die Pressung realisierte Druckniveau (weitgehend) identisch ist, sodass sich die von den einzelnen Ventilatoren erzeugten Volumenströme im jeweiligen Betriebspunkt der Anlage addieren (siehe Abbildung 4.3.10).

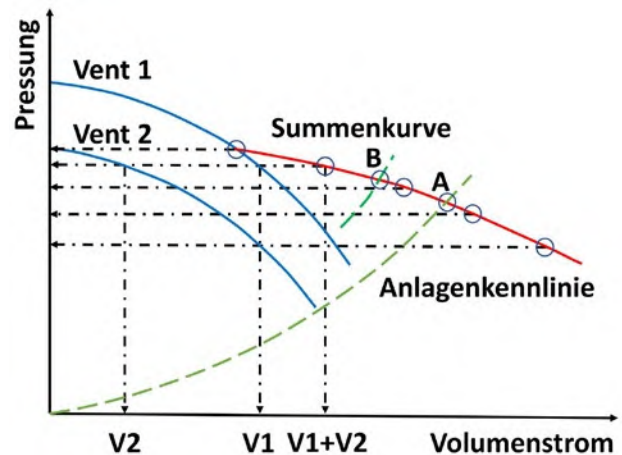


Abb. 4.3.10 Ventilator-Kennlinie bei Parallelschaltung zweier Ventilatoren

Bei der Dimensionierung des/r Ventilators/en muss darauf geachtet werden, dass sämtliche relevanten Betriebszustände in den möglichen Arbeitsbereich des Ventilators fallen, das heißt, dass die sich aus diesen Betriebszuständen ergebenden Anlagen-Kennlinien die Ventilator-Kennlinie innerhalb des für einen störungsfreien Betrieb zur Verfügung stehenden Kennlinien-Bereichs des Ventilators schneiden. Außerdem muss geprüft werden, ob der jeweilige Schnittpunkt (auch als Arbeitspunkt AP bezeichnet) mindestens den geforderten Volumenstrom liefert (siehe Abbildung 4.3.11).

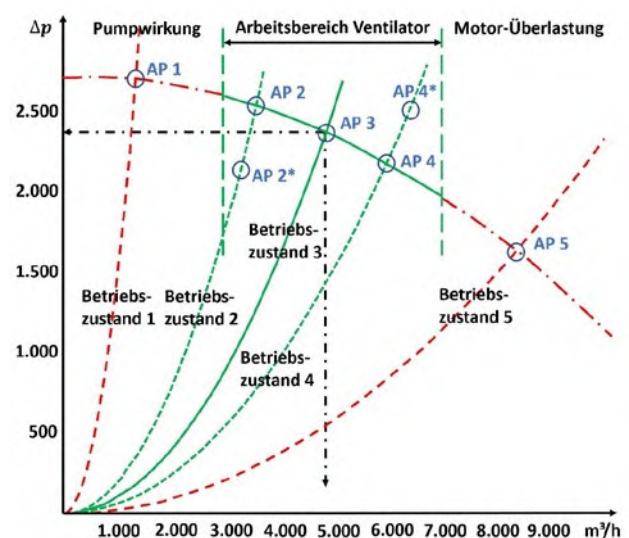


Abb. 4.3.11 Verhalten eines Ventilators bei unterschiedlichen Betriebszuständen

Die grafische Darstellung in Abbildung 4.3.11. ist folgendermaßen zu interpretieren:

- a. Der Betriebspunkt **AP 1** liegt links vom Arbeitsbereich des Ventilators: mögliche Pumpwirkung, d. h. instabiler Absaugbetrieb.
- b. Der Betriebspunkt **AP 5** liegt rechts vom Arbeitsbereich des Ventilators: Kommt dieser Betriebszustand häufiger oder über längere Zeit vor, könnte der Motor des Ventilators überlastet werden.
- c. Der errechnete Betriebspunkt **AP 2*** liegt unterhalb der Ventilator-Kennlinie und damit links vom tatsächlichen Arbeitspunkt **AP 2**: Die tatsächliche Luftmenge und damit die Luftgeschwindigkeiten sind im konkreten Betrieb höher als erwartet.
- d. Der errechnete Betriebspunkt **AP 4*** liegt oberhalb der Ventilator-Kennlinie und damit rechts vom tatsächlichen Arbeitspunkt **AP 4**: Die tatsächliche Luftmenge und damit die Luftgeschwindigkeiten sind im konkreten Betrieb niedriger als erwartet.
- e. Der Arbeitspunkt **AP 3** liegt dort, wo er nach Errechnen der Leitungs-Kennlinie erwartet wurde (Arbeitspunkt = Betriebspunkt). Die Luftmengen und damit die Luftgeschwindigkeiten sind so wie vorausberechnet. Dieser Arbeitspunkt liegt außerdem im optimalen Wirkungsgradbereich, d. h. in diesem Fall ist das Verhältnis zwischen Absaugleistung und Stromverbrauch am besten.

Das gewählte Antriebssystem hat wesentlichen Einfluss auf folgende Umstände:

1. den Gesamt-Wirkungsgrad des Systems
2. das Anlaufverhalten des Ventilators
3. die Möglichkeiten der Einflussnahme auf das aktuelle Leistungsverhalten des Ventilators

Grundsätzlich liefert der Direktantrieb die geringsten Zusatzverluste aus dem Faktor „Antrieb“, sodass der durch den Ventilator gegebene Wirkungsgrad entscheidend bleibt. Kupplungen und Riemenantrieb bedingen zusätzliche Wirkungsradverluste durch den Antrieb von 3 % bis ca. 10 %. Der Antrieb über einen Umrichter führt zu ca. 1 % bis 3 % Wirkungsradverlusten für das Gesamtsystem im laufenden Betrieb.

Im Gegensatz dazu ist das Anlaufverhalten des Ventilators bei Direktanlauf besonders ungünstig, da in diesem Fall der 5-fache Nennstrom wirkt. Bei Anlauf über Stern-Dreieck-Schaltung kann dieser Anlaufstrom auf den Faktor 3,5 reduziert werden. Beim Anlauf über einen Umrichter fällt kein zusätzlicher Anlauf-Faktor an, sodass der Motor hier nur mit dem 1-fachen Nennstrom belastet wird.

Einfluss auf das aktuelle Leistungsverhalten des Ventilators kann nur bei Vorschaltung eines Umrichters genommen werden, über den die Stromzufuhr für den Motor und damit sein Drehmoment beeinflusst werden kann. Damit wird es möglich, den Motor (und damit den Ventilator) in seinem Drehverhalten (und damit die abgegebene Luftleistung des Ventilators) über Regelungs-Mechanismen (i. d. R. durch Auswertung von Unterdruck-Messsignalen) oder programmierbare Steuerungen (i. d. R. über Auswertung von Absperrschieber-Stellungen) zu beeinflussen.

Aus den oben genannten Ausführungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

Direktantrieb ist vorteilhaft, wenn

1. die Nennleistung des Ventilators weniger als 15 KW beträgt und
2. aus betrieblichen Gründen keine Beeinflussung der abgegebenen Ventilator-Leistung erfolgen muss und
3. bei den herrschenden Betriebsverhältnissen nur wenige Ventilator-Anläufe je Arbeitsschicht zu erwarten sind.

Riemenantrieb ist vorteilhaft, wenn

1. die Nennleistung des Ventilators mehr als 15 KW beträgt und
2. die weiteren Randbedingungen, wie beim Direktantrieb erwähnt, gegeben sind.

In allen anderen Fällen ist der Antrieb über einen Umrichter vorzuziehen. Er ermöglicht stromsparendes Anlaufverhalten (wichtig vor allem in Handwerksbetrieben, in denen Verbraucher häufig eingeschaltet und nur kurzzeitig betrieben werden) und – als Schnittstelle zur Regelung/Steuerung – die Beeinflussung der aktuellen Luft-Leistung des Ventilators.

Nähere Einzelheiten zu Ventilatoren und Antriebskonzepten sind in Abschnitt 3.4, zu Steuerungen und Regelungen in Abschnitt 3.8 aufgeführt.

4.3.6 Gesamtkonzept überprüfen und justieren

Wenn die optimale Lösung in dem zuvor geschilderten iterativen Prozess herausgearbeitet worden ist, muss das erarbeitete Gesamtkonzept auf alle zugrundeliegenden bekannten oder zu vermutenden Betriebsbedingungen überprüft und an den erkannten Schwachstellen nachjustiert werden. Das betrifft das Verhalten in allen für den späteren Anlagenbetrieb wichtigen Betriebszuständen, die Ermittlung eventuell noch vorhandener Reserven bei der Luftleistung und die Flexibilität des Systems für mögliche spätere Anlagenweiterungen.

Abschließend sind noch die (Investitions-)Kosten und die zukünftig zu erwartenden Aufwendungen für den Betrieb der Anlage zu ermitteln, vornehmlich also die Kosten für elektrische (und auch pneumatische) Energie.

4.3.6.1 Verhalten in wichtigen Betriebszuständen

Das wesentliche Problem bei der Bestimmung der Anlagengröße ist der anzunehmende gleichzeitige Betrieb der angeschlossenen Absaugstellen. Besonders bei vorwiegend handwerklicher (Einzelstück-)Fertigung kann das von der Anlage abzudeckende Volumenstrom-Spektrum sehr differieren und recht umfangreich werden. Es ist daher zwingend erforderlich, die Leistungsfähigkeit des vorzuschlagenden Absaugkonzepts in allen wesentlichen Betriebszuständen zu überprüfen. Die für diese Überprüfung wichtigsten Zustände ist die

- maximal
 - minimal
 - durchschnittlich im Betrieb (am häufigsten)
- erforderliche Luftmenge, die die Anlage zu erbringen hat.

Der maximale Volumenstrombedarf wird im Regelfall der Betriebszustand sein, der der Dimensionierung zugrunde liegt. Zu beachten ist dabei, dass Zuschläge für den sogenannten hydraulischen Abgleich (siehe rechte Spalte), für eventuell einzuplanende Reserven und für „Falschlufteinträge“ aus (montagebedingten) Anlagen-Undichtigkeiten berücksichtigt werden. Letztere müssen besonders dann berücksichtigt werden, wenn das erforderliche Druckniveau in der Anlage hoch ist.

Der minimale Luftbedarf erweist sich in der Praxis häufig als kritisch, wenn aufgrund größerer Leitungsdurchmesser in Sammelleitungen dort die für den ablagerungsfreien Transport erforderlichen Mindestluftgeschwindigkeiten nicht mehr erreicht werden. Dieses Problem kann häufig nur über eine (gezielte) Korrektur der betroffenen Durchmesser oder durch gezielte Aktivierung von Beiluft-Volumenströmen durch steuerungstechnische Maßnahmen (z. B. durch steuerungstechnisch veranlasstes Öffnen von Absperrschiebern an aktuell eigentlich nicht betriebenen Absaugstellen) behoben werden.

Der durchschnittliche Volumenstrombedarf, das heißt, der nach zeitlicher Gewichtung häufigste Betriebsfall, determiniert wesentlich den über längere Zeiträume zu erwartenden Energiebedarf der Anlage sowie die zu erwartende Immissionsituation für die Beschäftigten vor Ort. Deshalb sollte die Anlage für diesen Betriebszustand in Bezug auf ihren Gesamt-Wirkungsgrad optimiert sein.

Hydraulischer Abgleich: Werden mehrere Absaugstellen von einem gemeinsamen Ventilator abgesaugt, stellen sich an den einzelnen Erfassungselementen oder Rohrstutzen unterschiedliche Luftgeschwindigkeiten ein. Die Verteilung der Luftgeschwindigkeiten hängt von den Rohrleitungs-Geometrien und den Strömungswiderständen auf dem Weg zu den einzelnen Erfassungsstellen ab. Durch geschickte Gestaltung der Rohrleitungs-Geometrien an den Anschlussleitungen zu den Erfassungsstellen lässt sich ein einheitliches Widerstands-Niveau in der gesamten Anlage erzeugen und so ein eng an die jeweiligen Mindestanforderungen angepasstes Volumenstrom-Niveau.

Darüber hinaus lässt sich die Verteilung der Luftgeschwindigkeiten nur beeinflussen, wenn man entweder Drosseln als künstliche Zusatzwiderstände (Energievernichtung) oder Stützventilatoren einbaut, die bei Erfassungsstellen mit viel höheren Druckverlusten den Unterschied zwischen erforderlichem Gesamtdruck und Druckniveau der reingasseitigen Absaugventilatoren ausgleichen.

Der Einsatz von Drosseln ist, auch wegen der Probleme beim Materialtransport, häufig nicht ratsam. Wenn man sie trotzdem einsetzen möchte, ist besonders bei partikelförmigen Stoffen darauf zu achten, dass die Übergänge vom und zum Ausgangsdurchmesser innerhalb der Drossel sanft gestaltet werden, damit sich kein Material hinter Blenden oder festgestellten Klappen verfängt und

die Rohrleitung verstopft. Auch sollte der verbleibende Rohrquerschnitt ausreichend groß sein, damit sich große Materialstücke oder Fasern nicht verfangen.

Stützventilatoren sind wegen ihres zusätzlichen Energiebedarfs und der mit ihrem Betrieb verbundenen Lärmentwicklung unbeliebt.

Würde der hydraulische Abgleich vollständig gelingen, wäre der vom Ventilator zu fördernde Volumenstrom gleich der Summe der Mindestvolumenströme der angeschlossenen Absaugstellen. In der betrieblichen Praxis ist das aber nur äußerst selten der Fall.

Je schlechter der hydraulische Abgleich gelingt, desto größer ist der notwendige Zuschlag $Z(h)$ als Faktor mit

$$\dot{V}_{\text{Gesamt}} = Z(h) \cdot \sum \dot{V}_{\text{Absaugstellen}} \quad (4.3 - 10)$$

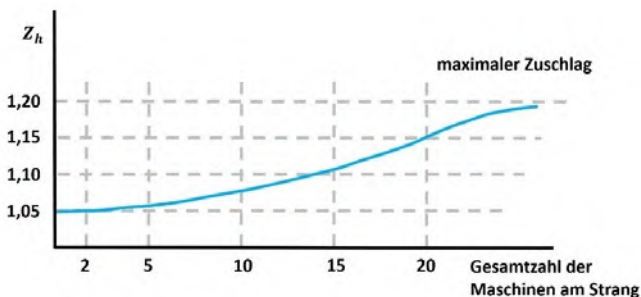


Abb. 4.3.12 Zuschlagsfaktor für hydraulischen Abgleich in Abhängigkeit von den angeschlossenen Maschinen

Abbildung 4.3.12 stammt aus einer Untersuchung von Absauganlagen für Holzstaub und -späne, bei der zur vergleichenden Bewertung unterschiedlicher Anlagenkonzeptionen der hydraulische Abgleich über eine Volumstrombilanz an mehreren Anlagen bestimmt wurde. Sie zeigt, dass die Größe dieses Zuschlags von der Größe des zu untersuchenden Strangs – also der Anzahl der angeschlossenen Maschinen – abhängt. Die Anzahl der gleichzeitig betriebenen Maschinen ist oft deutlich geringer.

Der notwendige Zuschlagsfaktor beträgt:

- für kleine Stränge (2 bis 5 angeschlossene Maschinen) in der Regel $Z(h) = 1,05$ und im Einzelfall bis $Z(h) = 1,20$
- für größere Stränge bis zu $Z(h) = 1,20$ im Normalfall, bei schlechtem Abgleich kann er bis zu $Z(h) = 1,50$ anwachsen.

Daraus lässt sich schließen, dass der hydraulische Abgleich bei Zentralabsaugungen (auch mit reingasseitiger Anordnung des Ventilators) im Allgemeinen in der Praxis schlechter gelingt als bei anderen Konstellationen.

Für Planungsaufgaben muss der Zuschlag entweder wie oben beschrieben per Faktor erfolgen oder durch konkrete Ermittlung der Anlagen-Kennlinien für die relevanten Betriebszustände verifiziert werden.

4.3.6.2 Ermittlung von vorhandenen Leistungsreserven und System-Flexibilität

Viele Betreiber möchten möglichst hohe Leistungsreserven (= Volumstromreserven) in eine neue Absauganlage packen, weil sie über die zukünftige Entwicklung in ihrem Betrieb unsicher sind und teure Nachrüstungen an der Absauganlage umgehen wollen. Häufig planen sie auch den Neukauf oder Austausch von Maschinen oder anderen Arbeitsmitteln mit Absaugstellen, ohne konkretere Vorstellungen über die benötigte Absaugleistung zu haben.

Der Betreiber möchte, dass bei der Anlagenplanung entsprechende Zuschläge berücksichtigt werden. Das ist aber nur in begrenztem Umfang vernünftig.

Kritisch ist der nachträgliche Anschluss von Absaugstellen immer dann, wenn

- entweder durch diesen Anschluss der gleichzeitig erforderliche Volumstrombedarf erhöht würde
- oder das Pressungsniveau des Ventilators für die Absaugung der nachträglich anzuschließenden Absaugstellen unzureichend ist.

Die Berücksichtigung großer oder unbestimmter Reserven bei der Dimensionierung der Hauptleitungen und Ventilatoren ist in jedem Fall fragwürdig, da bis zur Realisierung der infrage stehenden Anschlüsse von zusätzlichen Absaugstellen erhebliche strömungstechnische und energetische Nachteile in Kauf zu nehmen wären. Solche Nachteile ergeben sich, weil

- erhebliche Beiluft-Mengen für den reibungslosen Transport in den überdimensionierten Leitungen anfallen würden,
- der überdimensionierte Ventilator überwiegend in Bereichen schlechter Wirkungsgrade arbeiten würde und damit eine überhöhte Stromaufnahme hätte.

Bei als „Gruppenabsaugungen“ konzipierten Systemen stellt sich zudem die Frage, welche der vorhandenen Gruppen auf die zusätzlichen Luftmengen auszulegen wäre. In der Regel ist selbst über den zukünftigen Standort dieser zusätzlichen Verbraucher in der Werkstatt noch nichts bekannt.

Unschädlich ist die Berücksichtigung von Reserven nur im Bereich der Abscheider. Da diese in der Regel auch das teuerste Einzelbauteil der Anlage darstellen, ist eine auf gewisse Volumenstromreserven vorgenommene Auslegung des Abscheiders auch im Hinblick auf die Abscheidengeschwindigkeit und die (eventuell) notwendigen Regenerations-Intervalle am sinnvollsten.

Eine höhere Flexibilität ergibt sich bei Systemen, die nach dem Baukastenprinzip erweitert werden können (z. B. durch Drehzahlregelung oder Parallelschaltung von Ventilatoren) und bei denen das Transportproblem in Sammelleitungen durch alternative technische Lösungen gemindert werden kann. Aber selbst in diesen Fällen müssen die Druckverluste immer noch kompensiert werden können, das heißt, das Pressungsniveau der vorhandenen Ventilatoren muss auch für die neuen Anforderungen ausreichend sein.

4.3.6.3 Bewertung von Kosten- und Energieeffizienz

Neben den Investitionskosten für den Erwerb und die Errichtung der Absauganlage spielen die Kosten für den Betrieb der Anlage eine Rolle.

Da die Wartungskosten im Allgemeinen relativ gering sind, sind vor allem die Kosten für den Energieverbrauch, speziell die Kosten für die elektrische Antriebsenergie relevant.

Der Energieverbrauch von Absauganlagen ist erheblich und macht zum Beispiel im handwerklichen Schreinerei-Betrieb ca. 30 %, in Extremfällen bis zu 50 % des Gesamtbedarfs an elektrischer Energie aus.

Da die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Absauganlagen, bedingt durch höhere gesetzliche Anforderungen, aber auch größeres Qualitäts- und Kosten-Bewusstsein auf der Betreiberseite ständig gewachsen sind und zugleich in näherer Zukunft mit steigenden Energiekosten gerechnet werden muss, wird die Bedeutung des Energiebedarfs einer Anlage wachsen.

Die wesentlichen Faktoren zur Bestimmung des Energiebedarfs und dessen Kosten sind:

- die Anforderungen an die Absauganlage,
- die Randbedingungen beim Betrieb der Anlage,
- die strömungstechnische Konstruktion und Auslegung der Absauganlage.

Der Energiebedarf einer Anlage bestimmt sich aus zwei wesentlichen Leistungskomponenten:

1. der **Luftleistung**, die sich als "Output" des Ventilators ergibt und
2. der **Netzleistung**, quasi dem "Input" des den Ventilator antreibenden Elektromotors (bzw. Umrichters).

Beide Leistungen sind durch die diversen Verluste direkt miteinander verbunden. Sie sind außerdem vom tatsächlichen Betrieb der Anlage, das heißt, der Zusammensetzung und der Häufigkeit einzelner Betriebszustände, abhängig. Zu diesen rein auf die eigentliche Absaugung konzentrierten Komponenten sind im Allgemeinen auch noch der Strombedarf von diversen „Hilfseinrichtungen“, zum Beispiel Schnecken und Zellenradschleusen für die Austragung, Überwachungs- und Sicherheitseinrichtungen sowie von Kompressoren, zur Erzeugung benötigter „Fremdenergien“ wie Druckluft zu berücksichtigen.

Die Luftleistung ergibt sich physikalisch nach der Beziehung:

$$P_{\text{Luft}} = \dot{V} \cdot \Delta p_{\text{ges}} \quad (4.3 - 11)$$

P_{Luft} = Luftleistung [Watt]

\dot{V} = Volumenstrom [m^3/s]

Δp_{ges} = Totaldruckerhöhung [Pa]

Die Netzleistung ergibt sich aus dem aufgenommenen Motorstrom nach der Beziehung:

$$P_{\text{Netz}} = \sqrt{3} \cdot \cos\varphi \cdot U \cdot I \cong 0,58 \cdot I \quad (4.3 - 12)$$

P_{Netz} = Netzleistung [Watt]

$\cos\varphi$ = Phasenverschiebungswinkel

U = Netzspannung [V]

I = Stromstärke [A]

Der Vereinfachungsfaktor $\sqrt{3} \cdot \cos\phi \cdot U = 0,58$ gilt für eine Netzspannung von 400 Volt.

Die von beiden Leistungen „eingerahmten“ Verluste determinieren den Gesamt-Wirkungsgrad.

$$\eta_{\text{Gesamt}} = \frac{P_{\text{Luft}}}{P_{\text{Netz}}} \quad (4.3 - 13)$$

Schon bei der Anlagen-Konstruktion können sich durch konsequentes Anwenden physikalischer Zusammenhänge (z. B. Trassierung und Dimensionierung des Leitungsnetzes) und Beschränkung der Volumenströme erhebliche Leistungseinsparungen und damit Reduktionen beim Energiebedarf ergeben.

Weitere Einsparungen können sich aus der Wahl des richtigen Ventilator-Konzepts ergeben. Grundlegende Frage ist dabei, ob der Ventilator auf der Rohluft- oder der Reinluftseite der Anlage angeordnet werden soll.

Verluste, die die erforderliche Ventilator-Leistung und damit deren elektrische Leistungsaufnahme beeinflussen, sind gegeben durch:

- Ventilator-Wirkungsgrad (Anordnung und Form des Laufrads)
- Antrieb zwischen Ventilator und Motor (Direktantrieb, Riemenantrieb)
- Motorwirkungsgrad
- Antrieb des Motors (z. B. Umrichter)

Der Gesamt-Wirkungsgrad beträgt:

$$\eta_{\text{Gesamt}} = \eta_{\text{Ventilator}} \cdot \eta_{\text{Antrieb}} \cdot \eta_{\text{Motor}} \cdot \eta_{\text{Umrichter}} \quad (4.3 - 14)$$

Darüber hinaus spielt für die Gesamtleistungsaufnahme auch das Anlaufverhalten des Ventilators eine wesentliche Rolle, vor allem beim Anlagenbetrieb mit häufigen Einschalt-/Ausschaltvorgängen.

Als Fazit kann gezogen werden: Wesentliche Energieeinsparungen sind durch die richtige Anlagenkonzeption (Konstruktion) zu erzielen. Der Einfluss des Ventilator-Konzepts auf den Energieverbrauch hängt vom Betrieb der Anlage (abzudeckendes Luftmengenspektrum, Häufigkeit und Variationsbreite der einzelnen Betriebszustände) in der Praxis ab. Häufig hat ein Konzept mit reinluftseitiger Ventilator-Anordnung und Drehzahlregelung energetische Vorteile, das ist aber nicht grundsätzlich so! Es ist daher immer eine Untersuchung im Einzelfall erforderlich.

4.3.7 Dokumentation der Betriebszustände

Nachdem die auf iterativem Wege (möglichst) optimale Lösung gefunden wurde, müssen die Ergebnisse dieser Lösung für **jeden der zugrunde gelegten Betriebszustände** nachvollziehbar dokumentiert werden. Die bestmögliche Umsetzung ist eine Tabelle, es sind aber auch andere Formen möglich. In jedem Fall muss die Dokumentation folgende Informationen enthalten:

Einhaltung der Anforderungen an den Absaugstellen:

Eine Liste (Gleichzeitigkeitstabelle) aller Absaugstellen, die im jeweiligen Betriebszustand erfasst werden, mit Angaben zu

- den Durchmesser der Erfassungselemente in mm,
- der Luftgeschwindigkeit in m/s,
- dem Volumenstrom in m³/h,
- dem zur Erzielung dieses Volumenstroms zugrunde gelegten Unterdruck in Pa,
- der Kennzeichnung von Absaugstellen, deren Absaugung im aktuellen Betriebszustand nicht gefordert wird, die aber aus Gründen des hydraulischen Abgleichs oder zur Aufrechterhaltung der Mindestluftgeschwindigkeiten in Sammelleitungen Volumenströme zuführen.

Einhaltung der Anforderungen innerhalb des Leitungsnetzes und der Abscheider

- Angaben zu den vorhandenen Luftgeschwindigkeiten in den betroffenen Sammelleitungen,
- Angaben zur Belastung des Abscheiders (Filtrationsgeschwindigkeit, Filterflächenbelastung, zu erwartende Druckverluste, etc.),
- Angaben zu den vorhandenen Luftgeschwindigkeiten in den Abluftleitungen und zu den Ausblasgeschwindigkeiten.

Erzeugung der Luftströmung:

- Angaben zum Verhalten des/r Ventilators/en,
- Darstellung des aktuellen Arbeitspunkts auf der Ventilator-Kennlinie oder im Kennlinien-Feld (im Fall drehzahl-geregelter Ventilatoren),
- Angabe der aktuellen Ventilator-Drehzahl, der aktuellen Leistungsaufnahme und des aktuellen Ventilator- und Gesamt-Wirkungsgrads (inkl. Antriebs- und Motorverlusten),
- Angaben zum/zur aktuellen Energieverbrauch/ Stromaufnahme,
- Angaben zu im aktuellen Betriebszustand noch vorhandenen Leistungsreserven gegenüber den Mindestanforderungen,
- Angaben zu Maßnahmen des hydraulischen Abgleichs (Einsatz von Drosseln, Beiluftklappen, Stützventilatoren, programmgesteuertes Öffnen von Schiebern aktuell nicht zu bedienender Absaugstellen).

4.4 Angebot

4.4.1 Beschreibung der Anlage mit genauen Randbedingungen für die Auslegung

Ein aussagefähiges Angebot erschöpft sich nicht in einer Teileliste mit Preisangabe. Eine solche Liste ist im Regelfall für Käufer und Käuferinnen nicht nachvollziehbar und gibt ihnen keine Möglichkeit, die spätere Funktion der angebotenen Anlage zu beurteilen und den angebotenen Leistungsumfang zu bewerten. Das ist aber im Hinblick auf die Pflichten des späteren Betreibers zur Gewährleistung eines den gesetzlichen Vorgaben entsprechenden Arbeits- und Gesundheitsschutzes erforderlich. Außerdem sollte er die Wertigkeit der angebotenen Anlage auch mit Blick auf zu erwartenden Folgekosten im späteren Betrieb einschätzen können. Um das zu ermöglichen, muss ein Angebot für eine Absauganlage alle dem Angebot zugrundeliegenden Randbedingungen und technischen Überlegungen transparent machen und die im Auftragsfall geltenden beiderseitigen Pflichten benennen.

Die nachfolgenden Erläuterungen sind in Anlage 8.8 in einem Flussdiagramm präzisiert, aus dem auch die jeweiligen Zuständigkeiten der Beteiligten hervorgehen.

4.4.1.1 Art und Menge der abzusaugenden Stoffe und ihre Besonderheiten

Aus dem Angebot muss deutlich hervorgehen, ob es sich bei den abzusaugenden Stoffen um Partikel, Aerosole, Nebel, Dämpfe, Rauche oder auch Gemische dieser Komponenten handelt und welche Mengen dieser Stoffe an den verschiedenen Erfassungsstellen anfallen. Außerdem müssen Eigenschaften benannt werden, die auf die Leistung der Absaugung, die erforderlichen Maßnahmen zur Abscheidung oder die (Zwischen-)Lagerung der Stoffe Auswirkungen haben. Das betrifft besonders die Brennbarkeit, eine eventuell vorhandene Explosionsfähigkeit im Gemisch mit Luft, die Feuchtigkeit oder Hygroskopizität, das elektrostatische Verhalten und eventuell akut toxische Eigenschaften. Näheres hierzu siehe Abschnitt 3.1.

Daneben kann in bestimmten Fällen (z. B. Schweißbrauche, Spritznebel) auch das Erfassungsverhalten des Stoff-Luft-Gemischs unter Einwirkung von Störströmungen von Bedeutung sein.

Aus dem Angebot sollte außerdem hervorgehen, welches Absaugergebnis mit der angebotenen Anlage erzielt werden soll. Beispielsweise ist aufzuzeigen, ob bei partikelförmigen Stoffen nur der luftgetragene Anteil beseitigt wird (Entstaubung) oder auch größere Stoffbestandteile von der Absaugung erfasst und am Entstehungsort entfernt werden können (pneumatische Förderung).

4.4.1.2 Anzuschließende Erfassungsstellen und ihre gleichzeitige Nutzung

Absauganlagen dienen in aller Regel dazu, Schadstoffe an einer oder mehreren Stellen im Betrieb zu entfernen. Die anfallenden Stoffmengen an den einzelnen Erfassungsstellen sind häufig unterschiedlich und die einzelnen Erfassungsstellen werden im Regelfall auch nicht alle während der gesamten Betriebszeit beaufschlagt. Daher sollte das Angebot alle Erfassungsstellen auflisten (z. B. als Tabelle wie in Anhang 8.5), aus der folgende, der Planung zugrundeliegende Parameter für jede Erfassungsstelle hervorgehen:

- Rohranschlussquerschnitt [mm]
- Luftgeschwindigkeit am Anschluss [m/s]
- (Mindest-)Volumenstrom [m^3/h]
- notwendige Druckdifferenz gegen Umgebung zur Erzielung des (Mindest-) Volumenstroms [Pa]
- Erfordernis eines Absperrschiebers zur Zu-/Abschaltung der Luftbeaufschlagung [Ja/Nein]

Aus der Tabelle sollte außerdem der notwendige oder vom Käufer oder von der Käuferin gewünschte gleichzeitige Betrieb in den für die Auslegung und das Anlagenverhalten maßgeblichen Zuständen hervorgehen sowie eine Angabe zu den in diesen Zuständen von der Anlage bereitzustellenden Gesamt-Luftmengen. Bei der Ermittlung der jeweiligen Gesamt-Luftmengen sollten auch die eventuell für den störungsfreien Anlagenbetrieb im jeweiligen Zustand erforderlichen Beiluft-Mengen berücksichtigt sein.

4.4.1.3 Örtliche und bauliche Randbedingungen beim Betreiber mit wesentlichem Einfluss auf das Angebot

Häufig haben die bei Käuferinnen und Käufern vorliegenden örtlichen und baulichen Gegebenheiten Einfluss auf die Wahl einer Planungsvariante oder die erforderliche Ausstattung einer Absauganlage mit speziellen Bauteilen. Solche Randbedingungen mit preisrelevanten Auswirkungen sollten im Angebot deutlich benannt sein. Zu nennen sind hier:

- Besonderheiten in der Leitungsführung wegen Höhenversatzes innerhalb eines Gebäudes
- Durchstoßen von baurechtlich festgelegten Brandwänden mit Absaug- oder Abluftleitungen (sollte wann immer möglich vermieden werden)
- aus Immissionsschutzgründen erforderliche spezielle Lärmschutzmaßnahmen an Anlagenteilen
- Maßnahmen zur Erfüllung baurechtlicher Vorgaben (z. B. Fundamente für Anlagenteile)
- Anlagenkomponenten zur Erfüllung versicherungsvertraglicher Vorgaben (z. B. Funkendetektions- und -löschanlagen)
- Überbrückung größerer Entfernungen zwischen Abscheider und Stoff-(Zwischen-) Lager
- Aufteilung der notwendigen Absaugkapazitäten auf mehrere Anlagen (z. B. wegen ausgedehnter Betriebsflächen)
- Notwendige Zugänge zu Teilen der Absauganlage für die Ausführung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten

4.4.1.4 Vorgaben des Betreibers

Das Lastenheft des Betreibers ist Grundlage für die Angebotserstellung. Wenn vonseiten des späteren Betreibers Vorgaben gemacht werden, die die Leistung der angebotenen Anlage negativ beeinflussen (können), zum Beispiel Vorgaben zur maximalen Ventilator-Leistung, sollte das aus Gründen der Rechtssicherheit bereits deutlich im Angebot vermerkt werden und Käufer und Käuferinnen sollten bereits an dieser Stelle auf die negativen Auswirkungen und ihre Verantwortung dafür hingewiesen werden. Ist die angebotene Anlage als Sicherheitsbauteil einer Bearbeitungsmaschine nach Anhang V der MaschRL vorgesehen, erlischt damit unter Umständen auch die EG-Konformität der durch das Sicherheitsbauteil geschützten Bearbeitungsmaschine!

4.4.1.5 Grobe Beschreibung des angebotenen Konzepts

Nach der Niederlegung der wesentlichen, dem Angebot zugrundeliegenden, Randbedingungen sollte das auf dieser Basis entwickelte Absaugkonzept mit seinen Eckpunkten beschrieben werden. Die Beschreibung sollte für Käuferinnen und Käufer – auch mit Bezug zu den Randbedingungen – nachvollziehbar sein und die Anlagencharakteristik darstellen, ohne sich in (an dieser Stelle zunächst) unwesentlichen Details zu ergehen.

Die Beschreibung sollte folgende Gesichtspunkte umfassen:

1. Bauart der angebotenen Anlage: Einzel-, Gruppen-, Zentralabsaugung als Überdruck-/Unterdruckanlage
2. Rohrleitung: Länge und Haupt-Durchmesser, Ausführung als Wickelfalz- oder Längsfalzrohre, Materialbeschreibung, Ausführung von Rohrstößen
3. Abscheidekonzept: mit/ohne Vorabscheider, Bauart (Filter, Zyklon, etc.), Abmessungen, max. Beaufschlagung, Abscheideleistung, Austragung, Regeneration
4. Ventilator-Ausrüstung: Einzelventilatoren, Ventilator-Einheiten, Leistung, Volumenstrom, Pressung, Regelung/Steuerung des Ventilator-Betriebs, Einsatz von Umrichtern
5. Anlagensteuerung: Ausrüstung mit Absperr-Schiebern, Beiluft-Klappen, Unterdruck-Konstanthaltung, SPS, Notabschaltung
6. Abluftbehandlung: Luftrückführung (Umschaltung Rückluft/Fortluft, Wärmetauscher, Heizregister), Fortluftführung (Rohrlänge, Reflektor-Ausführung, etc.), Gestaltung Lufteintrag
7. Entsorgungskonzept: Handling (Transportanlage, Absackung), Verwertung, Entsorgung als Abfall
8. Sicherheitsbauteile: Brand- und Explosionsschutzmaßnahmen, Lärmschutzmaßnahmen
9. Einrichtungen zur Anlagenüberwachung (Unterdruck, Mindestvolumenstrom, Drehüberwachung an Austrag-elementen, etc.)

4.4.2 Betriebs-Layout

In einem möglichst maßstäblichen Betriebs-Layout sollten alle für die zu errichtende Anlage wesentlichen Bauteile und Komponenten dargestellt werden. Dazu bedarf es im Regelfall mindestens einer Grundriss-Darstellung und einer Aufriss-Darstellung. Letztere ist besonders dann erforderlich, wenn größere Anlagen-Komponenten (z. B. Abscheider) vorhanden sind oder die einzelnen Bauteile über unterschiedliche Etagen innerhalb des Betriebes verteilt sind.

Im Betriebs-Layout müssen alle für das Verständnis der Anordnung und Funktion wichtigen Anlagenteile einschließlich wesentlicher Sicherheits- und Überwachungseinrichtungen zweifelsfrei dargestellt werden:

1. Die örtliche Lage von Erfassungsstellen, abzusaugenden Maschinen und sonstigen Luftverbrauchern,
2. die vorgesehenen Standorte von Abscheidern (mit Höhenabwicklung),
3. die vorgesehenen Standorte von Ventilatoren,
4. der vorgesehene Verlauf von Absaug- und Abluft-Rohrleitungen,
5. die Lage von vorhandenen und/oder vorgesehenen Einrichtungen zur Entsorgung, (Zwischen-) Lagerung und Verwertung der abgesaugten Stoffmengen,
6. die Lage von vorzusehenden Sicherheits- und Überwachungsbauteilen innerhalb und außerhalb der angebotenen Anlage,
7. die vorgesehenen Standorte von Schaltschränken für die Anlage.

Abbildung 4.4.1. (a+b) zeigt ein geeignetes Betriebslayout am Beispiel.

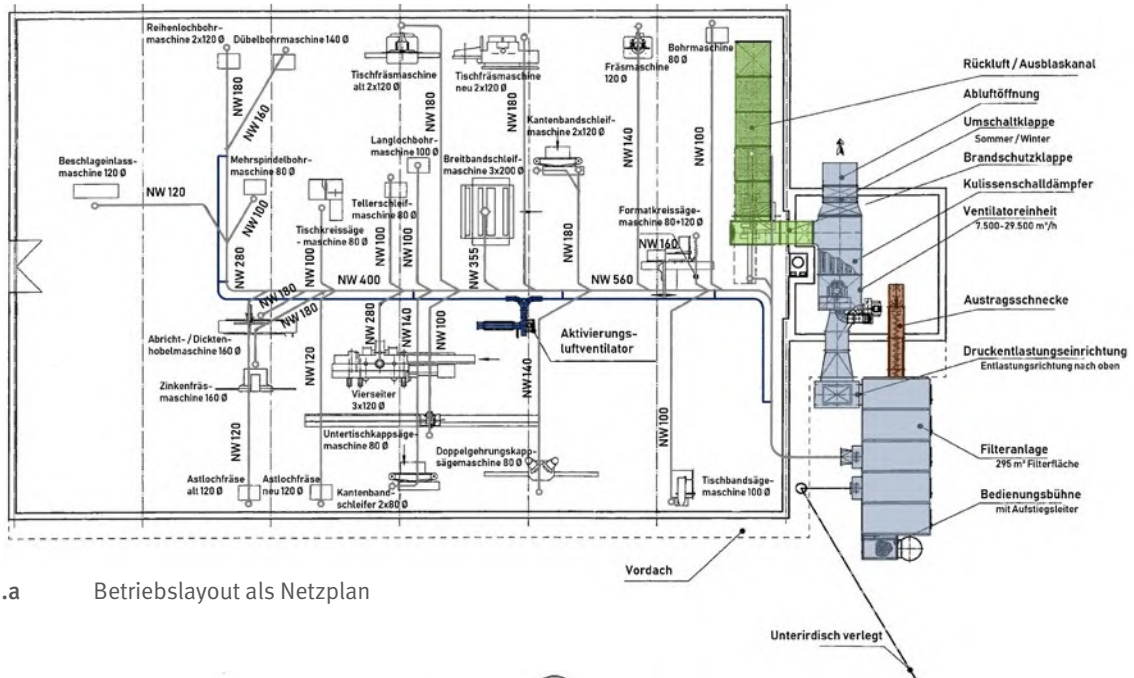


Abb. 4.4.1.a Betriebslayout als Netzplan

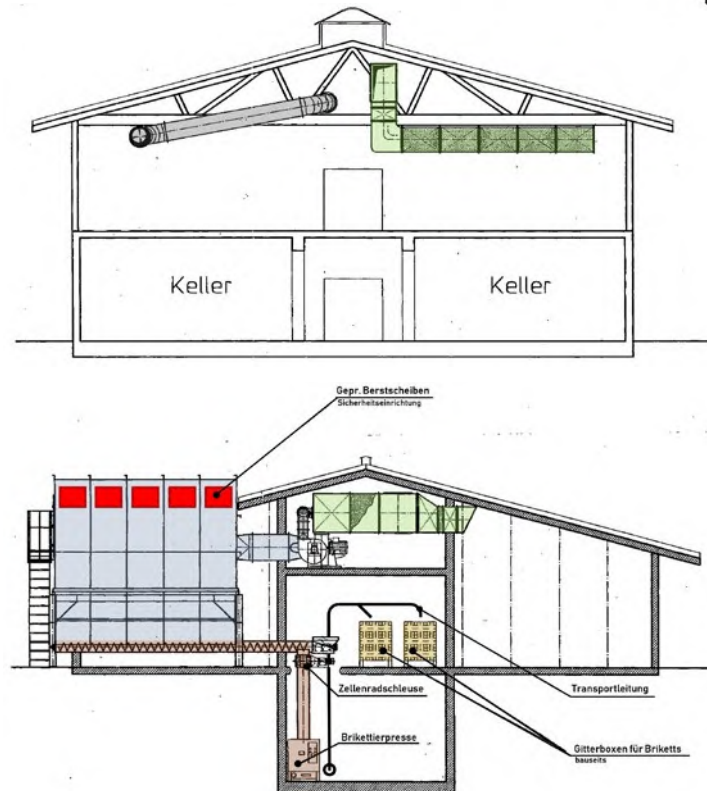


Abb. 4.4.1.b Betriebslayout mit Darstellung wichtiger Schnitte als Aufriss

4.4.3 Spezifizierung der Bauteile

Anschließend wird der Leistungsumfang im Angebot genau spezifiziert. Dabei sind die Funktionsweise und Dimensionierung für den konkreten Angebots-Fall, Ausführung und Qualität, der gesamte Leistungsumfang im Detail, sowie der Angebotspreis (Netto) für das jeweilige Bauteil oder auch die Bauteilgruppe anzugeben. Genannt werden sollten hier auch die für die Auslegung und Ausführung im Einzelfall berücksichtigten ISO-, EN- und DIN-Normen. Um dies zu gewährleisten sind für die verschiedenen Bauteile folgende Angaben erforderlich:

- **Erfassungselemente und Absaughauben:** Ausführung, Material, Materialstärke, Oberflächenbehandlung
- **Saugrohrleitung:** Nennweite, Material und Ausführung, Gesamt-Rohrlänge, Rohrschusslänge, Rohrverbindungen (Flansch- oder Steckmuffenverbindungen, Schrauben, Schellen, Dichtungsmaterial), Form- und Übergangsstücke, Ausführung von Krümmern und Abzweigstücken, Rohraufhängungen und -befestigungen, Funktion und Ausführung von Absperrschiebern und

Beiluft-Klappen, Funktion und Ausführung von Rückschlagklappen und erforderlichen Brandschutzklappen

- **Druckrohrleitungen, wie Rückluft- bzw. Fortluftleitungen:** Querschnittsabmessungen, Gesamtlänge, Material und Ausführung, Form- und Übergangsstücke, Ausführung von Krümmern und Abzweigstücken, Rohraufhängungen und -befestigungen, Funktion und Ausführung von Umschalteneinrichtungen (z. B. Rückluft/Fortluft), Funktion und Ausführung von Brandschutzklappen, Gestaltung von Ausblaseeinrichtungen
- **Ventilatoren oder Ventilator-Einheiten:** Typ, Nennweite, Luftmenge, Pressung, Motorkennwerte (Motorbauart, Anschlussleistung, Spannung, Schutzart), Leistungsaufnahme an der Welle, Gehäuseausführung, Gewicht, Maßnahmen zur Schalldämmung

Das Leistungsverhalten des/r Ventilator(s)/(en) über den interessierenden Betriebsbereich sollte durch – dem jeweiligen Angebot – beigefügte Kennlinien nachgewiesen und verdeutlicht sein (siehe Abbildung 4.4.2).

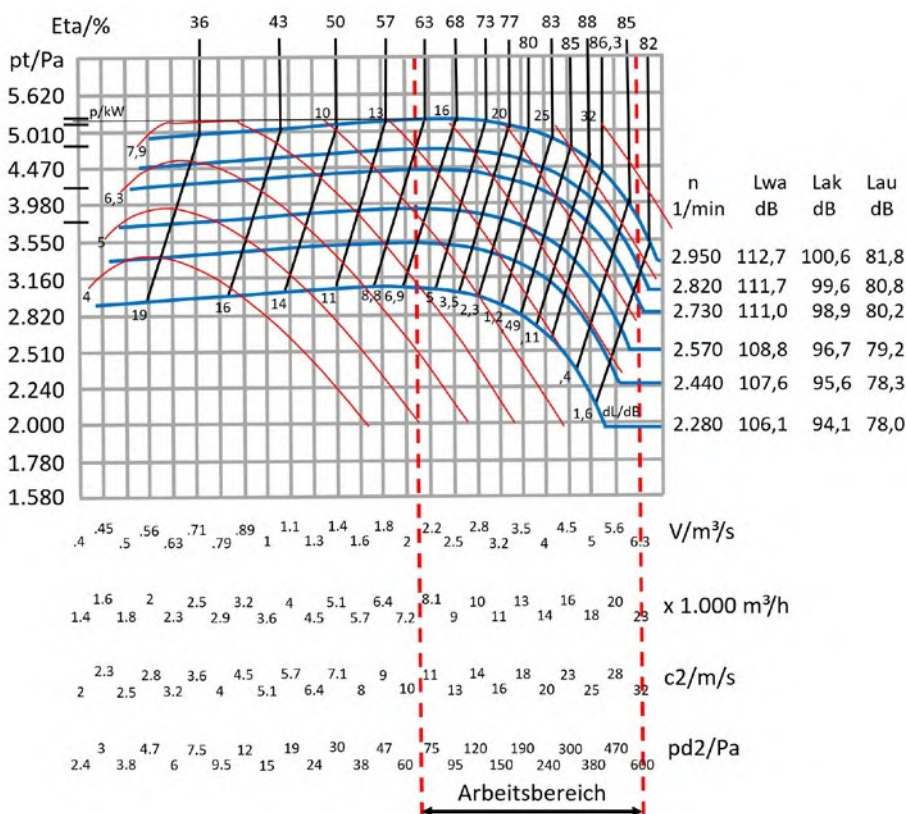


Abb. 4.4.2 Kennlinienfeld eines drehzahlregelbaren Ventilators

- **Abscheider:** Bauart, Typ, Ausführung von Abscheider-Gehäuse sowie Unterkonstruktionen und Bedienbühnen, Gesamt-Gewicht, max. Rohgasmenge, Belastung bei max. Rohgasmenge, Abscheidegrade und verbleibende Gefahrstoff-Beladungen der Abluft, Anzahl der Einheiten (Kammern), max. zulässiger Unter- bzw. Überdruck, Funktion sowie Qualität und Ausführung von Filtrationselementen, Funktion und Ausführung von Regenerationseinrichtungen inkl. benötigter Fremdenergie, Funktion sowie Ausführung und Leistung von Austrageinrichtungen, Funktion und Ausführung von Sicherheitseinrichtungen innerhalb des Abscheiders (z. B. Löscheinrichtungen)
- **Steuerung/Regelung und Schaltschrank:** Art und Ausführung der Steuerungstechnik, Automatik-/Handbetrieb, Funktion und Umfang der Steuerungsmöglichkeiten sowie der zu beeinflussenden Anlagenfunktionen, Ausrüstung des Schaltschranks mit Motorschalteinheiten, NH-Sicherungen, Schützen und Relais sowie NOT-AUS-Schaltern, Ausrüstung mit Frequenzumformern, Bedien- und Meldeeinheiten sowie Schaltbildern auf der Schaltschrank-Außenseite, Betriebsspannung, Steuerspannung, elektrische Schutzmaßnahme, Umfang der Verdrahtung und zugehörige Dokumentation
- **Sicherheitseinrichtungen:** Art der Sicherheitseinrichtung und ihr bestimmungsgemäßer Zweck, Beschreibung von Wirkungsweise und Funktion, Angaben zu den Dimensionierungsgrundlagen und zu notwendigen (wiederkehrenden) Prüfungen
Brand- und Explosionsschutz: Löscheinrichtungen, Funkendetektions- und -löschanlagen, Einrichtungen zur Explosionsdruckentlastung oder zur Explosionsunterdrückung, Einrichtungen zur explosionstechnischen Entkoppelung, Erdungs- und Blitzschutzmaßnahmen, Schwergut- und Magnetabscheider
Not-Abschaltung: Not-AUS-Einrichtungen und ihre Funktionsweise einschließlich Wiederanlauf
- **Überwachungseinrichtungen:** Beschreibung von Art, Zweck und Funktionsweise der Überwachungseinrichtung, Einbauort innerhalb der Anlage und Verbindung zur Anlagensteuerung, technische Ausführung, z. B. Füllstandsmelder für Material-Sammeleinrichtungen, Reststaubgehaltsüberwachungen der Abluft, Temperaturüberwachung für Abscheider und Materialsammeleinrichtung, Drehüberwachung für Schnecken und Zellenradschleusen, Drucküberwachung und/oder Volumenstromüberwachung zur Sicherstellung ausreichender Anlagenleistung
- **Zubehör (wahlweise):** angebotene Zubehörausrüstungen, die nicht zwingend notwendig für den Anlagenbetrieb und die Anlagensicherheit sind, aber den Bedien- oder Überwachungskomfort erhöhen oder Leistungen, die nicht unbedingt vom Anbieter selbst oder in dessen Verantwortung zu erbringen sind
Maßnahmen zur (zusätzlichen) Schallisolierung, zusätzliche elektrische Absicherungen (z. B. FI-Schutz für Schaltschrank), Stellantriebe für dem Grunde nach auch händisch zu betätigende Klappen, Maßnahmen zum betriebsfertigen elektrischen Anschluss der Anlage, Einrichtungen zur Weiterbehandlung aus dem Abscheider anfallender (Abfall-)Stoffe (z. B. Brikettier-Anlagen, zusätzliche Fördereinrichtungen oder -anlagen, Einrichtungen zur Wasseraufbereitung oder Wertstoffrückgewinnung), Einrichtungen zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft (z. B. Heizregister, Wärmetauscher)

4.4.4 Montage-Bedingungen

Um spätere Differenzen zwischen Auftraggeber (Betreiber) und Auftragnehmer (Hersteller) zu vermeiden, sollte das Angebot detaillierte Informationen darüber enthalten, welche Vor- oder Unterstützungsleistungen in die Zuständigkeit des Auftragnehmers fallen und welche Leistungen zur eigentlichen Montage oder deren erforderliche Vorbedingungen durch das Angebot abgedeckt sind.

4.4.4.1 Zeitpunkt und Art der Anlieferung der Anlagen-Bauteile

Im Regelfall werden die Bauteile der Anlage in zerlegtem Zustand auf LKW des Auftragnehmers oder einer vom ihm beauftragten Spedition zur Montagestelle geliefert. Erfolgt diese Anlieferung nicht zeitgerecht zu den Montagearbeiten, können sich für den Auftraggeber folgende Arbeiten und Pflichten ergeben:

- Abladen der angelieferten Bauteile,
- Überprüfung und Bewertung der Vollständigkeit und schadensfreien Anlieferung,
- gegen Witterungseinflüsse und Beschädigungen geschützte Zwischenlagerung auf dem Betriebsgelände,
- Übergabe an das Montagepersonal des Auftragnehmers.

Die Lieferzeit wird meistens in Wochen nach Ausstellung der Auftragsbestätigung durch den Auftragnehmer angegeben.

4.4.4.2 *Bauseits zu erwartende Vorleistungen und zu erwartende Produktions-Beeinträchtigungen beim Betreiber*

Der Auftragnehmer muss die für die vollständige Erstellung der Anlage erforderlichen Leistungen im Angebot benennen, die er nicht selbst ausführt und die daher vom Auftraggeber erwartet werden:

- Erstellung von Fundamentkonstruktionen
- Anbringung erforderlicher Verstärkungen an vorhandenen Konstruktionen (z. B. Dachkonstruktion)
- Herstellung und Abdeckung erforderlicher Bodenkanäle (z. B. für Absaugleitungen)
- Stemm- und Putzarbeiten vor und nach erfolgter Montage
- eventuell Zugänge zu Teilen der Absauganlage für die Ausführung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten
- Dach- und Wandbefestigungen oder Eindichtung von Rohrleitungen nach Wanddurchbruch
- Schalldämm-Maßnahmen, soweit sie nicht zum Angebot gehören
- Herstellung von Elektroinstallation zur Versorgung der Anlage
- öl- und wasserfreie Druckluft-Zuführung
- Maßnahmen zur Beleuchtung und zum Blitzschutz der Anlage
- Wasserversorgung für evtl. zu installierende Funkenlöscheinrichtungen

Während der Durchführung der Montagearbeiten kommt es häufig zu Beeinträchtigungen der üblichen Produktionsabläufe, weil zum Beispiel innerbetriebliche Verkehrswege versperrt sind, für die Montage benötigtes Gerät nicht zur Verfügung steht oder vorhandene Produktionsanlagen wegen fehlender Absaugung gar nicht oder nur eingeschränkt genutzt werden können. Daher ist es in diesen Fällen unter Umständen zweckmäßig, durch geeignete Produktionsvorplanung und Absprache mit dem Auftragnehmer die betrieblichen Produktionsarbeiten und die Montagearbeiten an der Absauganlage örtlich und zeitlich zu entzerren. Der Auftragnehmer geht im Regelfall davon aus, dass er ungehinderten Zugang zu seinen Montageplätzen hat und die Arbeiten sämtlich innerhalb der üblichen Tagesarbeitszeiten durchgeführt werden können.

4.4.4.3 *Vereinbarungen zur Beistellung von Kapazitäten durch den Auftraggeber*

Üblicherweise enthalten die Angebote Vorgaben des Auftragnehmers oder Vereinbarungen zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber zu Unterstützungs-Leistungen durch den Auftraggeber. Solche Leistungen betreffen die Beistellung von Geräten und Personal sowie die Nutzung betrieblicher Ver- und Entsorgungseinrichtungen (Strom, Druckluft, Wasser/Abwasser, Abfallcontainer, Sozialeinrichtungen für Personal, Bereitstellung von ausreichendem Platz zur Vormontage größerer Bauteileinheiten, etc.).

Geräte, für die häufig bauseitige Bereitstellung vereinbart wird, sind zum Beispiel Krane, Hubarbeitsbühnen, Flurförderzeuge und Gerüste. Außerdem ist es für einen reibungslosen Ablauf meistens sinnvoll, wenn seitens des Auftraggebers mit den Örtlichkeiten gut vertrautes Personal zur Montagehilfe abgestellt wird.

4.4.4.4 *Leistungsumfang des Auftragnehmers*

Kernpunkt des Abschnitts „Montage“ ist die detaillierte Beschreibung des Leistungsumfangs des Auftragnehmers. Neben der eigentlichen Montage sind das in der Regel auch das Abladen der Bauteile vom LKW (sofern zeitgerechte Anlieferung durch den Auftragnehmer erfolgt), Transportarbeiten zwischen den Lagerstellen, Vormontageplätzen und den Einbaustellen. Zu diesen Arbeiten gehören auch der Probelauf der Anlage sowie die Erst-Inbetriebnahme durch einen Techniker oder eine Technikerin des Auftragnehmers.

In manchen Fällen gehört auch die Demontage einer bestehenden Altanlage sowie deren Entsorgung zum Leistungsumfang des Auftragnehmers. Außerdem sollte das Angebot auch eine Regelung enthalten, in wessen Eigentum angeliefertes, aber nicht für die Montage benötigtes Material übergeht.

Generell anzugeben sind:

- die gesamte Montagedauer in Tagen,
- die Zahl des eingesetzten Montagepersonals,
- die nach Beendigung des Montageeinsatzes vor Inbetriebnahme noch für den Auftraggeber verbleibenden Vervollständigungsleistungen,
- der Montagepreis.

Für die Abrechnung der Montagekosten (Montagepreis) werden üblicherweise folgende Verfahren genutzt:

1. Pauschalpreis (Abrechnung ohne Berücksichtigung des tatsächlichen Aufwands),
2. Regiemontage (Abrechnung nach Aufwand über Stundenzettel),
3. Regiemontage mit Höchstgrenze (Maximalpreis).

Bei den Abrechnungsverfahren nach 1. und 3. behält sich der Auftragnehmer im Regelfall vor, Aufwendungen für von ihm nicht zu vertretende Behinderungen oder Verzögerungen der Arbeiten gesondert in Rechnung zu stellen. Bei 3. kann der tatsächlich abgerechnete Montagepreis auch geringer ausfallen.

4.4.5 Dokumentation

Nach Fertigstellung der Anlage hat der Auftragnehmer dem Auftraggeber (und zukünftigen Betreiber) eine Betriebsanleitung nach Maschinenrichtlinie zu übergeben (siehe Abschnitt 5.3). Diese enthält unter anderem folgende Inhalte:

- Eine allgemeine Beschreibung der Maschine,
- die für Verwendung, Wartung und Instandsetzung der Maschine und zur Überprüfung ihres ordnungsgemäßen Funktionierens erforderlichen Zeichnungen, Schaltpläne, Beschreibungen und Erläuterungen,
- eine Beschreibung des Arbeitsplatzes oder der Arbeitsplätze, die voraussichtlich vom Bedienungspersonal eingenommen werden,
- eine Beschreibung der bestimmungsgemäßen Verwendung der Maschine,
- Warnhinweise in Bezug auf Fehlanwendungen der Maschine, zu denen es erfahrungsgemäß kommen kann,
- Anleitungen zur Montage, zum Aufbau und zum Anschluss der Maschine, einschließlich der Zeichnungen, Schaltpläne und der Befestigungen, sowie Angabe des Maschinengestells oder der Anlage, auf das oder in die die Maschine montiert werden soll,
- Installations- und Montagevorschriften zur Verminderung von Lärm und Vibrationen,
- Hinweise zur Inbetriebnahme und zum Betrieb der Maschine sowie erforderlichenfalls Hinweise zur Ausbildung oder Einarbeitung des Bedienungspersonals,

- Angaben zu Restrisiken, die trotz der Maßnahmen zur Integration der Sicherheit bei der Konstruktion, trotz der Sicherheitsvorkehrungen und trotz der ergänzenden Schutzmaßnahmen noch verbleiben,
- Anleitung für die vom Benutzer zu treffenden Schutzmaßnahmen, gegebenenfalls einschließlich der bereitzustellenden persönlichen Schutzausrüstung,
- Bedingungen, unter denen die Maschine die Anforderungen an die Standsicherheit beim Betrieb, beim Transport, bei der Montage, bei der Demontage, wenn sie außer Betrieb ist, bei Prüfungen sowie bei vorhersehbaren Störungen erfüllt.

4.4.6. Vereinbarung der Abnahmebedingungen

Der Abnahme der Anlage durch den Auftraggeber kommt eine besondere rechtliche Bedeutung zu, da mit Bestätigung der mängelfreien Abnahme der Kaufpreis (i. d. R. die Schlussrate) fällig wird und die Anlage in das Eigentum des Auftraggebers mit allen Rechten und Pflichten übergeht. Daher sollten die Rahmenbedingungen der Abnahme schon vor Vertragsabschluss geregelt und im Angebot für den Auftraggeber nachvollziehbar dargestellt sein.

4.4.6.1 Prüfung vor Erst-Inbetriebnahme durch Personal des Auftragnehmers

Vor der ersten Inbetriebnahme (Abnahme) sollte die Anlage durch das Personal des Auftragnehmers eingehend geprüft werden. Nur so können Mängel vor Abnahme der Anlage erkannt und beseitigt werden. Für diese Prüfung ist vorzugeben:

- Die Qualifikation der Prüfperson (z. B. Techniker oder Technikerin des Auftragnehmers)
- der Zeitpunkt der Prüfung (z. B. nach Abschluss der Montagearbeiten und des Probelaufs),
- der Umfang der Prüfung (Anlagenleistung in allen wesentlichen Betriebszuständen der Anlage, Auslösen von Sicherheitsfunktionen, Reaktion von Überwachungsfunktionen)
- das Vorgehen beim Auftreten von Mängeln im Verlauf der Prüfung (z. B. Abbruch der Prüfung und sofortige Behebung des Mangels oder Fortführung der Prüfung und nachträgliche Mängelbeseitigung)
- das Verhalten des Auftraggebers (z. B. Pflicht zur Übernahme/Abnahme nach erfolgter Mängelbeseitigung)

4.4.6.2 Bedingungen bei der Abnahme

Für eine widerspruchsfreie Abnahme, die die vereinbarte Leistung und Funktion in ihrem Ergebnis unzweifelhaft und für beide Seiten nachvollziehbar belegt, müssen die der Abnahme zugrunde gelegten Bedingungen schon vor Ausführung des Herstellungsauftrags bekannt sein. Schon im Angebot sollte daher fixiert sein, unter welchen Betriebsbedingungen die Anlage bewertet und mit welchen Messverfahren das Anlagenverhalten beurteilt werden soll und welche Bewertungskriterien zu einer erfolgreichen Abnahme führen. Dazu sind folgende Punkte zu definieren:

- Bei der Abnahme **vorzulegende Unterlagen:** zugesagtes Leistungsverhalten nach Angebot, Kennlinien, Gleichzeitigkeits-Vereinbarungen.
- **Zustand der Anlage:** gleichzeitig zu betreibende Verbrauchsstellen, Vorbelastung der Abscheider, Einstellung der Abluft-Führung, Einstellung von Steuerungs-/Regelungs-Einrichtungen mit Bezug zur Ventilator-Leistung, Einstellung von Komponenten zur Leistungs-Überwachung, Einstellung der Anlage zur Überprüfung von Reaktionen der gesamten Anlage oder einzelner Bauteile.
- **Festlegungen zu Messverfahren:** zu messende Parameter/Größen, zu verwendende Messgeräte, Lage der relevanten Messpunkte an oder innerhalb der Anlage, zu führende Aufzeichnungen.
- **Beurteilungskriterien für den Abnahme-Erfolg:** vor der Abnahme festzulegende Zielgrößen und zulässige Abweichungen messtechnisch nachgewiesener Leistungen zu Luftgeschwindigkeiten/Volumenströmen oder Drücken, Gefahrstoffkonzentrationen am Arbeitsplatz und/oder in der Abluft, Zielgrößen gemessener Stromaufnahmen, elektrischer Widerstände oder ermittelter Energieverbräuche, Reaktionen von Bauteilen bei besonderen Betriebszuständen und die dabei zu akzeptierenden Toleranzen im Ansprechverhalten.

Hinweis:

Die Ergebnisse der Abnahme sollten detailliert in einem schriftlichen Abnahme-Protokoll niedergelegt werden und von beiden beteiligten Parteien gegengezeichnet werden. Das dient der Rechtssicherheit bei Fragen der Vertragserfüllung. Gleichzeitig stellen die erhobenen Daten eine wichtige Grundlage bei späteren Nachmessungen und bei der Beurteilung der Ergebnisse im Rahmen wiederkehrender Prüfungen, etc. dar.

Funktionsprüfungen und -messungen können durch eine zur Prüfung befähigte Person (z. B. Hersteller der Absauganlage, Lüftungstechnische Fachfirma, sachkundige Ingenieurbüros) durchgeführt werden. Für eine abschließende Beurteilung der Wirksamkeit der Absauganlage sind Gefahrstoffmessungen nach TRGS 402 erforderlich. Diese sollten durch eine akkreditierte Messstelle durchgeführt werden.

4.4.7 Zahlungs- und Gewährleistungsbedingungen

Schon im Angebot sollten auch die späteren Rechte und Pflichten des Auftraggebers thematisiert sein. Bei den Pflichten betrifft dies insbesondere die Zahlungsbedingungen, den bestimmungsgemäßen und den Herstellervorgaben entsprechenden Betrieb (wie er z. B. in der Bedienungsanleitung definiert ist) und die Durchführung vorgegebener Wartungsarbeiten. Die Rechte beziehen sich vor allem auf die Gewährleistung des Herstellers für Ausführung, Funktion und Leistung der Anlage.

Die Zahlungsbedingungen sehen im Allgemeinen eine Ratenzahlung zu im Angebot definierten Zeitpunkten der Leistungserbringung vor. Typische Zeitpunkte für Teilzahlungen des Käufers oder der Käuferin sind:

- X Tage nach Erhalt der Auftragsbestätigung,
- X Tage nach Meldung der Versandbereitschaft der Anlagen-Bauteile durch die anbietende Firma,
- X Tage nach Anlieferung der Anlagen-Bauteile beim Käufer oder bei der Käuferin,
- X Tage nach Fertigstellung wesentlicher Anlagen-Komponenten,
- X Tage nach Fertigstellung der Montage,
- X Tage nach mängelfreier Inbetriebnahme,
- X Tage nach Rechnungsstellung.

Für die Regelung späterer Gewährleistungsansprüche des Auftraggebers muss das Angebot Aussagen zu folgenden Fragen enthalten:

1. Wann kommt die Gewährleistung zum Tragen (Definition des Gewährleistungsfalls)?
2. Welchen Zeitraum umfasst die Dauer der Gewährleistung?
3. Welchem Umfang beinhaltet die Gewährleistung (z. B. lediglich Mängelbeseitigung oder auch Ausfallentschädigung) und was ist von der Gewährleistung ausgeschlossen?

4. Welche Voraussetzungen muss der Auftraggeber bei der Anzeige eines Gewährleistungsanspruchs erfüllen (z. B. Angaben zum Zeitraum seit Auftreten oder der Kenntnisnahme des Schadens, Vorlage von Unterlagen zum Nachweis der bestimmungsgemäßen Verwendung oder des bestimmungsgemäßen Betriebs der Anlage, Nachweis über durchgeführte Prüf- und Wartungsarbeiten)?
 5. Wie muss sich der Auftraggeber nach Anzeige eines Gewährleistungsanspruchs verhalten (z. B. Umfang des (eingeschränkten) Weiterbetriebs der Anlage oder sofortiges Stillsetzen)?
 6. In welchem Zeitraum nach Anzeige des Gewährleistungsanspruchs erfolgt der Einsatz des Auftragnehmers beim Auftraggeber und bei Bedarf die Mängelbeseitigung?
- Durchführung regelmäßiger Wartungen nach Herstellervorgabe,
 - Angebot für Arbeiten zur Anpassung der Anlage an veränderte Betriebsbedingungen.

Hinweis:

Für viele Prüfungen, die in Gesetzen vorgeschrieben sind, werden an die Prüfperson besondere Anforderungen gestellt. Dies gilt besonders auch im Zusammenhang mit Prüfungen der Maßnahmen zum Explosionsschutz (z. B. Explosionsschutzmaßnahmen nach ATEX). Der Auftraggeber sollte sich daher vor Annahme eines entsprechenden Angebots die vom Auftragnehmer eingesetzte Prüfperson namentlich benennen lassen und ihre Befähigung für die vorgesehene Prüftätigkeit nachweisen lassen.

4.4.8 Angebote zu auf Dauer angelegten Betreuungsleistungen nach Übergabe der Anlage

Absauganlagen sind heute technisch sehr komplexe Gebilde. Daher stellt die Gesetzgebung (aber auch viele Hersteller in ihren Vertragsbedingungen) hohe Anforderungen an die Wirksamkeit und den sicheren Zustand solcher Anlagen. Solche Anforderungen überschreiten in der Regel die personellen und fachlichen Kompetenzen des Betreibers der Anlage. Daher ist es sinnvoll, wenn bereits das Angebot entsprechende auf Dauer angelegte Betreuungsleistungen umfasst, die der spätere Betreiber (Auftragnehmer) nach entsprechender Beauftragung nur beim Hersteller (Auftraggeber) abrufen muss.

Als für den zukünftigen Anlagenbetrieb sinnvolle Betreuungsleistungen sind unter anderem anzusehen:

- Durchführung von regelmäßigen Inspektions- und Überwachungsleistungen,
- Durchführung einer Fernüberwachung per Internet mit Zugriff auf das rechnergestützte Störungsprotokoll und die Anlagensteuerung,
- Vornahmen gesetzlich geforderter, in regelmäßigen Abständen wiederkehrender Prüfungen der ganzen Anlage oder einzelner Bauteile (z. B. nach § 7 GefStoffV und nach §§ 15,16 sowie Abschnitt 3 BetrSichV),

5 Realisierung

Nachfolgend werden die Schritte zur Realisierung des Absauganlagen-Projekts erläutert. In der Anlage 8.9 sind die Schritte von der „Definition der Anforderungen“ bis zur „Inbetriebnahme“ der Anlage durch den Käufer/die Käuferin/den Betreiber beschrieben. Aus dieser Anlage gehen auch die jeweils zu erbringenden Beiträge im Errichtungsprozess sowie die Schritte mit notwendiger Kooperation und Abstimmungsbedarf zwischen den Beteiligten hervor.

5.1 Vertragsgestaltung

Wenn die kundenseitigen Anforderungen klar formuliert wurden (z. B. in einem Pflichtenheft/Lastenheft, siehe Abschnitt 4.2), die mögliche Lieferfirma, unter Berücksichtigung dieser Anforderungen, ein klares Angebot mit einem schlüssigen Anlagenkonzept (siehe Abschnitt 4.4) vorgelegt hat, ist der nächste wichtige Schritt zur Realisierung der Absauganlage die Vertragsgestaltung eines Kaufvertrags zwischen der Angebots-Firma, die die Anlage liefert und errichtet und dem Kunden oder der Kundin, der oder die die Absauganlage später betreibt. Bei der Vertragsgestaltung handelt es sich um die schriftliche Ausgestaltung eines mindestens zweiseitigen Rechtsgeschäfts, bei dem besondere Sorgfalt geboten ist, um spätere Konflikte zwischen den Vertragsparteien nach der Realisierung im Vorfeld zu vermeiden.

Eine Absauganlage wird in der Regel von Kaufleuten gekauft und verkauft und auch andere Projektanten (z. B. Unternehmen, die Installation oder Wartung übernehmen) werden Kaufleute sein. Anders als Verbraucher und Verbraucherinnen sind sie sehr frei in der Gestaltung ihrer Verträge. Den Verträgen kann deutsches, aber auch ein anderes Recht (z. B. UN-Kaufrecht) zugrunde liegen. Regelmäßig wird die Partei, die ein geringeres Interesse am Vertragsabschluss hat, ihre standardisierten Verkaufs- oder Einkaufsbedingungen in den Vertrag einbringen wollen. Es empfiehlt sich deshalb, für den Abschluss komplexer Verträge vorab eine Beratung durch einschlägig rechtskundige Personen einzuholen oder sie die Verträge formulieren zu lassen. Unterstützen können in diesem Fall Rechtsanwältinnen und Rechtsanwälte, aber auch Verbände und Kammern, wenn ihnen Rechtsberatung erlaubt ist und sie diese Leistung für ihre Mitglieder erbringen.

Allgemein wird empfohlen, folgende Aspekte in der Vertragsgestaltung für einen Kaufvertrag über eine Absauganlage zu berücksichtigen und schriftlich zu vereinbaren:

5.1.1 Konzept der Absauganlage

Im Konzept kann sowohl auf die kundenseitigen Anforderungen (Pflichtenheft/Lastenheft, siehe Abschnitt 4.2) als auch auf das bereits vorgelegte und besprochene Angebot Bezug genommen werden. Es sollte zunächst noch einmal klar beschrieben werden, was das Ziel oder die Aufgabe der Absauganlage sein soll und mit welchem Konzept die Absauganlage diese Aufgabe erfüllen soll:

- Art der Erfassung luftfremder Stoffe (geschlossene, halb- oder offene Bauart)
- Durch welche Ausrüstung der Anlage wird sichergestellt, dass an allen Erfassungsstellen die mindestens erforderliche Erfassungsluftgeschwindigkeit erreicht wird?
- Kurze Beschreibung der Rohrleitungen mit einer Aussage zur strömungstechnisch günstigen Gestaltung und zur Luftgeschwindigkeit in den Rohrleitungen, um einerseits Ablagerungen in den Rohrleitungen zu vermeiden und andererseits keine störenden Strömungsgeräusche zu erzeugen
- Art und Funktionsweise der eingesetzten Abscheider (Massenkraftabscheider, Speicherfilter, regenerierbarer Filter, Nassabscheider, Elektrostatische Abscheider, Abscheideprinzip der Absorption oder der Adsorption, ggf. besonders vorhandene Prüfzeugnisse erwähnen)
- Art und Funktionsweise des Ventilators mit Angabe des Nennvolumenstroms und des Volumenstroms im berechneten Arbeitsbereich (erreichter Volumenstrom bei berücksichtigtem Druckverlust der gesamten Anlage)
- Angaben, wohin die Luft auf der Reinluftseite des Abscheiders geführt werden soll (Fortluft, Reinluftführung) und ob eine Wärmerückgewinnung durch die Verwendung von Wärmetauschern vorgesehen ist
- Angaben zum Entsorgungskonzept der abgeschiedenen luftfremden Stoffe
- Angaben zu schalldämmenden Maßnahmen (Schallentkopplung bei der Anbindung der Anlage an Gebäudeteile, Schalldämpfer)

Hilfreich ist immer eine Skizze oder Zeichnung der Anlage und ihrer Komponenten, bei Bedarf mit Hallenlayout.

5.1.2 Leistungen des Anlagen-Errichters (Anbieter)

Es sollten klar alle vom Anlagen-Errichter zu erbringenden Leistungen aufgelistet werden. Dazu gehören in der Regel:

- Lieferung und Lieferbedingungen,
- Auflistung der Bauteile in einer Stückliste mit Preisen,
- Aufstellung der Anlage mit Angabe der Anzahl der Monteurinnen und Monteure, Stundensätzen, veranschlagte Montagezeit, Lohnkosten und Spesen,
- Erstellung und Lieferung der Anlagendokumentation,
- Probelauf der Anlage,
- Prüfung vor Inbetriebnahme mit Abnahmeprotokoll (mit Angaben zu wiederkehrenden Prüfungen),
- Übergabe der Anlage an Kundinnen und Kunden mit Personaleinweisung des späteren Betreibers.

5.1.3 Vor-Leistungen für die Errichtung der Anlage

Im Vertrag sollte klar geregelt sein, wer für folgende Leistungen vor Errichtung der Absauganlage verantwortlich ist, damit die Errichtung, die Abnahme und der spätere Betrieb möglichst reibungslos erfolgen:

- Ggf. erforderliche behördliche Genehmigungen oder Anzeige bei der Gewerbeaufsicht
- Bereitstellung des Platzbedarfs (Innenaufstellung oder Außenaufstellung, Leitungsführung)
- Herstellung elektrischer Anschlüsse: Hier sollte klar genannt werden, was die Kundin oder der Kunde bereitzustellen hat (Versorgungsspannung, Erdung/Potentialausgleich, Kabeldicke, Absicherung mit welcher Stromstärke, fest zu verdrahtende Anschlussdose oder Steckdose); es ist auch zu klären, ob der Anlagen-Errichter oder der Kunde oder die Kundin die Elektrofachkraft organisiert, die den Anschluss der Absauganlage vornimmt.
- Herstellung von Fundamenten und Bereitstellung der Statik des Aufstellorts und der Befestigungspunkte am Gebäude
- Evtl. Bereitstellen von Montagehilfsmitteln wie Transportfahrzeuge, Gerüste, Montagebühnen, Hebezeuge etc.
- Durchführung von erforderlichen Mauer-, Dachdeck- und Stemmarbeiten, Mauer- und Dachdurchbrüchen (Achtung: Brandschutz beachten)!
- Bereitstellung von Druckluft: Für mögliche pneumatische Steuerungen der Absauganlage oder für eine automatische Abreinigung von Filterelementen wird häufig Druckluft benötigt. In diesem Zusammenhang ist im Vertrag zu klären, welche Drücke und welche

Anschlüsse von der Kundin oder vom Kunden und den späteren Betreibern bereitstehen müssen und mit welchem Druckluftbedarf gerechnet werden muss.

- Bereitstellung der Wasserversorgung für eine evtl. Funkendetektios- und -löschanlage.

5.1.4 Garantie- und Gewährleistungsbedingungen

Regelmäßig hat der Hersteller einer Anlage eine **Gewährleistungspflicht**. Ist nichts anderes vereinbart, sind für Käuferinnen und Käufer besonders die Anforderungen des § 377 HGB, mit Blick auf Mängelinreden, Rügepflichten etc., zu beachten. Für die Art und den Umfang der Gewährleistung ist auch entscheidend, ob der Vertrag seinem Wesen nach einen Verkauf oder die Erstellung eines Werks regelt. Letzteres ist vor allem bei komplexen Vorhaben oder Einzelfertigungen anzunehmen. Wer welche Ansprüche gegen wen geltend machen kann, ergibt sich aus den Besonderheiten des jeweiligen Vertragsverhältnisses, besonders dann, wenn Dritte zum Beispiel mit der Montage der Absauganlage beauftragt sind.

Gewährleistung, auch **Mängelhaftung** genannt, bedeutet im deutschen Schuldrecht „das Entstehen-Müssen“ für eine mangelhafte Leistung, besonders die Haftung für Sach- und Rechtsmängel.

Deshalb muss auch im Kaufvertrag einer Absauganlage die Firma für eine mangelhafte Ware oder Sache Gewähr leisten, die die Anlage verkauft und errichtet hat.

Das Mängelrecht beim Kaufvertrag ist durch das allgemeine Schuldrecht bestimmt; dessen Regelungen werden nur in bestimmtem Rahmen durch das Kaufvertragsrecht modifiziert, sind aber sonst anwendbar.

Im Kaufvertrag einer Absauganlage müssen sich die Partei, die verkauft/die Anlage errichtet, und die Partei, die die Anlage kauft, über den Gewährleistungsumfang und die Gewährleistungsdauer einigen. Im Rahmen der im Kaufvertrag vereinbarten Gewährleistung muss die Partei, die verkauft/die Anlage errichtet, für eine mangelhafte Ware oder Sache Gewähr leisten.

Die Gewährleistung deckt Mängel ab, die das Produkt bereits zum Zeitpunkt des Kaufs hatte. Ist das Pflichtenheft Gegenstand des Kaufvertrags, stellt jede Abweichung vom

vereinbarten Pflichtenheft (siehe Abschnitt 4.2) einen Mangel dar. Wird ein Mangel festgestellt, kann vom Verkäufer oder von der Verkäuferin verlangt werden, dass das Produkt repariert oder auf andere Weise nachgebessert wird.

Im Kaufvertrag kann auch von der Verkäuferin oder vom Verkäufer darauf aufmerksam gemacht werden, dass Verschleißteile weder einer Garantie noch der Gewährleistung unterliegen. Ebenso können Ereignisse wie Überspannungen durch Blitzschlag oder höhere Gewalt als Haftungsausschluss genannt werden.

Garantie ist im Gegensatz zur Gewährleistung eine freiwillige Leistung des Herstellers. Er kann die Dauer und die Bedingungen frei bestimmen. Die Gewährleistung bleibt daneben bestehen. Von der Gewährleistung ist die freiwillige Übernahme einer Garantie zu unterscheiden. Unter „Garantie“ kann die Partei, die eine Anlage verkauft, auch über die Gewährleistung hinaus dem Kunden oder der Kundin Garantieverprechen, zum Beispiel zu gewissen Bauteilen, geben.

5.1.5 Zahlungsmodalitäten

Es sollte klar festgelegt werden, wann der Käufer oder die Käuferin einer Absauganlage Teilzahlungen und auch die abschließende Zahlung zu leisten hat. So kann zum Beispiel vereinbart werden, dass der Kunde oder die Kundin

- eine erste Teilzahlung zu leisten hat, wenn das Material geliefert wird,
- ggf. eine weitere Teilzahlung zu leisten hat, wenn die Montage erfolgt ist,
- eine Abschlusszahlung zu leisten hat, nachdem die Anlage die Probelaufe erfolgreich bestanden hat, die Prüfung vor der eigentlichen Inbetriebnahme erfolgt ist, das Bedienerpersonal eingewiesen/geschult wurde, das Abnahmeprotokoll und die gesamte Dokumentation der Anlage ordnungsgemäß an die Partei übergeben wurde, die die Anlage gekauft hat und betreibt.

Die oben beschriebene Vorgehensweise ist für einen fairen Umgang zwischen der Firma, die die Anlage errichtet, und der Firma, die sie später betreibt, zu empfehlen, damit

- einerseits die Firma, die größere Anlagen errichtet, liquide bleibt und nicht zu viel Geld zu lange vorfinanzieren muss und

- andererseits die Firma, die die Anlage später betreibt, erst dann "die Ware" vollständig bezahlt, wenn sie auch die vollständige Leistung erhalten hat.

5.2 Probetrieb, Abnahme, Inbetriebnahme

Im zeitlichen Zusammenhang mit der Errichtung von größeren Anlagen gibt es verschiedene Stadien der sogenannten „Inbetriebnahme“. Möglicherweise nimmt der Hersteller die Anlage oder Teile davon bereits im eigenen Werk in Betrieb, um für sich selbst festzustellen, ob die Anlage oder deren wichtige Komponenten wie geplant funktionieren. Hintergrund ist, dass der Hersteller sicher sein will, dass nur funktionstüchtige Anlagenteile auf die Baustelle geliefert werden, da Fehler im Werk leichter zu finden und zu beheben sind. Normalerweise wird die Anlage dann für den Transport auf die Baustelle wieder zerlegt. In Einzelfällen kann es auch möglich sein, dass der Hersteller in diesem Stadium den Kunden oder die Kundin zu einer Teilabnahme der Anlage einlädt, sofern man die Teilabnahme nicht auf der Baustelle durchführen kann. Kundinnen und Kunden sollten einer Teilabnahme auch nur dann zustimmen, wenn sie technisch begründet ist und die Eigenschaften der abzunehmenden Komponente durch das Zerlegen für den Transport nicht verändert wird. Im Allgemeinen gehört die Erprobung der Komponenten im Herstellerwerk nicht zur Kundenabnahme.

5.2.1 Probetrieb vor der Abnahme

Nachdem die Anlage auf der Baustelle montiert und errichtet worden ist, schaltet der Techniker oder die Technikerin des Herstellers die Anlage erstmals ein und beginnt mit dem Probetrieb. **Während dieses Probetriebs wird nicht in Serie produziert!** Das bedeutet für Absauganlagen, dass die abzusaugenden Maschinen und Erfassungselemente nicht dauerhaft abgesaugt werden. Der Probetrieb ermöglicht dem Hersteller vielmehr, die Anlage auf die betrieblichen Gegebenheiten des Kunden oder der Kundin einzustellen und die Leistung der Anlage in den kritischen Betriebszuständen zu kontrollieren. Die Verantwortung im Probetrieb für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten obliegt allein dem Hersteller.

Hinweis:

In der Probetriebsphase sollte die Absauganlage noch nicht in die betrieblichen Produktionsprozesse eingebunden werden. Andernfalls kann es ungewollt zu einer stillschweigenden Abnahme durch die betreibende Firma kommen.

5.2.2 Abnahme

Wenn der Hersteller den Probetrieb der Absauganlage beendet hat und er aus seiner Sicht alle vertraglichen Vereinbarungen erfüllt, kommt es zwischen den Vertragsparteien zur Abnahme. Dabei sollten sämtliche Funktionen der Anlage demonstriert und erläutert werden. Das betrifft:

- alle vertraglich vereinbarten Betriebszustände der Anlage,
- das Verhalten der Anlage im Störfall,
- die durchzuführenden Wartungsarbeiten und regelmäßigen Prüfungen,
- die Übergabe der Anlagen-Dokumentation (siehe Abschnitt 5.3).

Die Abnahme muss auch die Ergebnisse der Kontrollmessungen (Volumenströme, Luftgeschwindigkeiten, Druckdifferenzen, Stromaufnahmen) zum Nachweis der vom Hersteller zugesicherten Anlagenleistungen (siehe Abschnitt 4.4) in den vereinbarten Betriebszuständen enthalten.

Hinweis:

Die Messungen bilden eine wesentliche Basis für die Beurteilung, ob die Anlage ausreichend leistungsfähig ist, um die Emissionen am Arbeitsplatz im geforderten Umfang zu reduzieren. Der Auftraggeber (i. d. R. der Betreiber) sollte bei den Messungen unbedingt anwesend sein oder sich von einem neutralen Fachberater oder einer neutralen Fachberaterin vertreten lassen.

Über die Abnahme der Anlage muss der Auftragnehmer (i. d. R. der Hersteller) ein Abnahme-Protokoll führen und dem Auftraggeber (i. d. R. der Betreiber) übergeben.

Sofern die Abnahme positiv erfolgt ist, nimmt der Auftraggeber die Absauganlage als Betreiber offiziell in Betrieb und übernimmt damit auch die Verantwortung für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten.

5.2.2.1 Inhalte der Abnahmeprüfung vor Erstinbetriebnahme

Bevor die Anlage vom Auftraggeber abgenommen wird, ist eine eingehende Prüfung der vertraglich vereinbarten Merkmale zu empfehlen. Sinnvoll ist es, bereits beim Vertragsabschluss festzulegen, welche Prüfungen zur Abnahme durchgeführt werden sollen. Die Prüfungen sind vom Auftragnehmer (i. d. R. der Hersteller) durchzuführen und dienen dazu, dass der Auftragnehmer dem Auftraggeber seine Vertragserfüllung nachweist. Gegebenenfalls kann auch ein vertraglich festgelegtes, neutrales Prüfinstitut die Prüfung durchführen.

Im Folgenden sind mögliche Prüfungen zu den Punkten nach Abschnitt 5.1 erläutert:

- **Erfassungen:** Sofern die Erfassung an einzelnen Emissionsquellen zum Lieferumfang gehört, sind die Erfassungen der vereinbarten Bauart entsprechend zu prüfen:
 - Geschwindigkeitsmessungen an der Einsaugstelle
 - Konstruktive Merkmale
 - Querströmungseinfluss
 - Qualitative Beurteilung über Rauchröhrchen
 - Erfassungsgrad (z. B. nach EN 1093-2, -3, -4, -8, -9 oder -11).
- **Anschluss der Erfassungen:** Der Luftvolumenstrom und der herrschende statische Unterdruck sind im anschließenden Absaugrohr zu messen. Die Geschwindigkeitshyperbel in der Rohrleitung und ausreichende Abstände zu Störstellen wie Rohrleitungsbiegungen sind dabei zu berücksichtigen. Für jede Erfassungsstelle ist der jeweils ungünstigste Betriebszustand aus der vertraglich vereinbarten Gleichzeitigkeitstabelle zugrunde zu legen. Bei filternden Abscheidern muss ein Besatz des Filters durch den Betrieb bei der Beurteilung berücksichtigt werden. Die gemessenen Werte und der jeweilige Betriebszustand der Anlage sind für wiederkehrende Prüfungen zwingend zu dokumentieren.
- **Rohrströmung:** Die Luftgeschwindigkeit in einzelnen Rohrleitungsabschnitten ist bei Feststoff- oder Flüssigkeitstransport (Aerosole) im ungünstigsten Betriebszustand für den jeweiligen Abschnitt zu prüfen. Die Geschwindigkeit muss immer oberhalb der Mindesttransportgeschwindigkeit liegen, um Ablagerungen zu vermeiden. Kritische Bereiche sind in diesem Fall Querschnittserweiterungen, Zusammenführungen, nach

denen der Gesamtquerschnitt größer als die Summe der Einzelquerschnitte ist, oder sonstige Abschnitte, in denen die Luftgeschwindigkeit herabgesetzt wird. Auch hier ist der Besatz des Filters bei der Beurteilung zu berücksichtigen.

- **Abscheider:** Der Abscheider muss den gesetzlichen und vertraglichen Bedingungen entsprechen. Besonders mit Blick auf die Anforderung an den Abscheidegrad oder die maximal auftretenden Schadstoffkonzentrationen hängt die Erlaubnis für den Betrieb der Anlage wesentlich von der erzielten Abscheidewirkung ab. Sie ist durch Prüfzeugnisse (z. B. bei Filtermaterialien) nachzuweisen. Sind bauartbedingt keine Prüfzeugnisse vorhanden (z. B. bei Nassabscheidern oder Zyklonen), muss die Abscheidewirkung durch eine Messung (z. B. nach EN 1093-6 oder -7) nachgewiesen werden.
- **Ventilator-Leistung:** Durch die Volumenstrommessung und die Messung der statischen Druckdifferenz an den Erfassungsstellen ist die ausreichende Leistung des Ventilators/der Ventilatoren bereits nachgewiesen. Zusätzlich sollte zur Beurteilung der Effizienz oder des Wirkungsgrads des Ventilators oder der Ventilatoren und der Antriebseinheit die Stromaufnahme gemessen werden.

Hinweis:

Ein Radialventilator saugt durch das Ventilator-Auge immer Luft an. Wenn der Elektroantrieb phasenvertauscht verkabelt ist und der Ventilator in der falschen Richtung läuft, reduziert sich die Leistung auf ca. 1/3 der pneumatischen Nennleistung. Diesen Fehler hört man und man kann ihn durch die erhöhte Stromaufnahme messen. Aus den Erfassungsstellen „herausblasen“ wird es niemals.

- **Abluftführung:** In den Abluftstrang wird oft eine Fortluft-/Rückluftweiche eingebaut. Deren Funktion ist zu prüfen. Sofern Sicherheitsfunktionen mit der Weiche verknüpft sind (z. B. bei Stromausfall sofort Stellung auf Fortluft, um bei Filterbrand den giftigen Rauch ins Freie abzuleiten), müssen sie durch eine Simulation ausgelöst und nachgewiesen werden.
- **Zuluft-Behandlung:** Beim Einsatz von Wärmetauschern ist der Widerstand bei maximalem Luftvolumenstrom nachzuweisen und zu dokumentieren, um bei wiederkehrenden Prüfungen Verstopfungen zu detektieren. Der Druckverlust darf bei maximalem Luftvolumenstrom

nicht soweit ansteigen, dass die Anlage den notwendigen Luftvolumenstrom an den Erfassungsstellen nicht mehr erreicht. Beim Herunterkühlen der feuchten Hallenluft im Winter kann es auf der Fortluftseite des Wärmetauschers zu Vereisungen kommen. Aus diesem Grund werden Heizregister meist auf der Saugseite eingebaut. Die Heizregister müssen praktisch geprüft (z. B. durch Messung der Temperaturdifferenz vor/nach dem Heizregister bei maximalem Luftvolumenstrom) und die Funktion muss nachgewiesen werden.

- **Entsorgung:** Die Entsorgung der abgeschiedenen Gefahrstoffe ist zu prüfen. Bei vorhandenen Zellenradschleusen oder Brikettpressen ist mindestens die Funktion und die Stromaufnahme zu prüfen. Die Zellenradschleuse darf mit dem zu erwartenden Material nicht verkleben und es dürfen an den Lamellen keine Anbackungen entstehen. Bei druckfester oder druckstoßfester Bauweise (z. B. beim Einsatz als Entkoppelungssystem) sind entsprechende Eignungsnachweise (ATEX) für die Zellenradschleuse erforderlich.
- **Lärmemissionen:** Der direkt an den Erfassungsstellen oder den nächstgelegenen Arbeitsplätzen entstehende Lärm muss gemessen und nachgewiesen werden. Wenn für die Betriebsgenehmigung im Außenbereich Anforderungen an die Lärmemission gestellt werden, ist die Einhaltung durch Messungen nachzuweisen.
- **Explosionsschutz:** Die Vollständigkeit der Anlage und ihrer Komponenten muss geprüft werden. Bei abzusaugenden, brennbaren und im Gemisch mit Luft explosionsfähigen Substanzen ist das Explosionsschutzkonzept sowie eine den zu erwartenden Belastungen entsprechende, ausreichend druckfeste oder druckstoßfeste Bauweise nachzuweisen. Außerdem muss der Hersteller die Eignung aller relevanten elektrischen oder mechanischen Komponenten für die jeweilige Explosionszone, in der die Komponenten installiert sind, mit ATEX-Konformitätserklärungen nachweisen (z. B. Füllstandsüberwachung, Sensoren, Zellenradschleusen, Regenerationseinrichtungen, Rückschlagklappen, ...).
- **Sicherheitsfunktionen:** Erforderliche Sicherheitseinrichtungen (NOT-HALT, Feuerlöschung, Funkenlöschanlage, Verriegelungen, Druckentlastungsklappen, etc.) sind auf Funktion zu prüfen oder ihre Eignung ist durch Baumusterprüfbescheinigungen nachzuweisen.

- **Funktionen zum Ausschluss von Gesundheitsgefahren:** Notwendige Funktionen zum Schutz vor Gesundheitsgefahren (z. B. eine Reststaubüberwachung) auf sind auf Funktion zu prüfen oder ihre Eignung durch eine Baumusterprüfbescheinigung nachweisen.
- **Dokumentation der Anlage:** Die notwendige Dokumentation gemäß Abschnitt 5.3 ist auf Vollständigkeit und Richtigkeit zu prüfen.

5.2.2.2 Rechtliche Relevanz

Eine Abnahme einer größeren Anlage sollte schriftlich in Bezug auf die durchgeführten Prüfungen erfolgen. Bei kleinen Entstaubern oder Industriestaubsaugern wird im Allgemeinen auf eine schriftliche Abnahme verzichtet. Die Abnahme erfolgt dann stillschweigend.

Nach BGB § 640 ist der Besteller verpflichtet, das vertragsmäßig hergestellte Werk abzunehmen, sofern nicht nach der Beschaffenheit des Werks die Abnahme ausgeschlossen ist. Wegen unwesentlicher Mängel kann die Abnahme nicht verweigert werden.

Bei der Abnahme der Absauganlage sind für den Betreiber der Anlage folgende Sachverhalte aus dem BGB zu beachten:

- Vertragsstrafen (z. B. bei Verzug) können nur verlangt werden, wenn der Betreiber sich das bei der Abnahme vertraglich vorbehält (§ 341).
- Die Verjährungsfrist für Mängelansprüche beginnt mit der Abnahme (§ 634 a).
- Bei der Abnahme mit bekanntem Mangel stehen dem Betreiber nur Ansprüche zu, wenn er sie sich bei der Abnahme vertraglich vorbehält (§ 640).
- Die Vergütung ist bei der Abnahme des Werks zu entrichten (§ 641).
- Der Hersteller trägt bis zur Abnahme die Gefahr von Schäden (z. B. Unwetter, Vandalismus, Diebstahl, etc.); danach der Betreiber (Gefahrenübergang; § 644).

Abschließend soll darauf hingewiesen werden, dass mit der Abnahme eine Beweislastumkehr stattfindet. Vor der Abnahme ist der Hersteller der Anlage in der Pflicht zu beweisen, dass die Anlage mängelfrei hergestellt wurde. Nach der Abnahme muss der Betreiber der Anlage dem Hersteller nachweisen, dass ein versteckter (bei der Abnahme nicht bekannter) Mangel bereits zum Zeitpunkt der Abnahme vorhanden war.

Durch Ingebrauchnahme (Vorsicht bei Probetrieb mit gleichzeitiger Produktivschaltung!) könnte eine konkludente (stillschweigende) Abnahme erfolgen.

Hinweis:

Die Ausführungen in diesem Abschnitt sind sehr allgemein und verkürzt gehalten und genügen keiner Rechtsberatung. Ziel ist vielmehr, beide Vertragsparteien in Bezug für die große Bedeutung der Abnahme bei der Planung und Konzeption einer Absauganlage zu sensibilisieren.

5.2.3 Inbetriebnahme

Nach einer erfolgreichen Abnahme kann die Absauganlage vom Betreiber offiziell in Betrieb genommen werden. Vor Inbetriebnahme benötigt der Betreiber allerdings für die Organisation des Arbeitsschutzes die üblichen Unterlagen nach Betriebssicherheitsverordnung:

- Gefährdungsbeurteilung (§ 3)
- Nachweis der Grundpflichten des Arbeitgebers (§ 4)
- Unterweisung und besondere Beauftragung von Beschäftigten (§ 12)
- Prüfung von Arbeitsmitteln (§ 14)

Diese Unterlagen können nicht vom Hersteller bereitgestellt werden; der Betreiber muss sie erstellen.

5.2.3.1 Hinweise zur Gefährdungsbeurteilung

Nach der Inbetriebnahme und vor der Bereitstellung für die Beschäftigten muss der Betreiber der Absauganlage eine Gefährdungsbeurteilung erstellen. Die im Rahmen der Entwicklung der Absauganlage erstellte Risikoanalyse des Herstellers hat mit der Gefährdungsbeurteilung nur leichte Überschneidungen und ist für den Betreiber nicht relevant. Die Schnittmenge wird vom Hersteller in der Bedienungsanleitung dargestellt. Dort hat der Hersteller die Restrisiken beschrieben, die aus der Risikoanalyse der Anlage hervorgegangen sind und technisch für den Hersteller nicht zu mindern waren. Außerdem beschreibt der Hersteller in der Bedienungsanleitung den erforderlichen Ausbildungsstand der Bedienpersonen sowie des Instandhaltungs- und des Wartungspersonals.

Die Gefährdungsbeurteilung des Betreibers ist anhand der Bedienungsanleitung der Absauganlage oder des Absauggeräts zu erstellen. Dabei sind nur die Restrisiken für den konkreten Anwendungsfall zu betrachten. Zusätzlich

muss der Betreiber der Anlage weitere Risiken, die aus der Umgebung der Anlage, der betrieblichen Organisation und den Schnittstellen zwischen Betriebsablauf und Absauganlage resultieren (z. B. veränderte Transportwege um die Anlage herum) berücksichtigen.

Aus diesen Informationen und der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung ergeben sich:

- Betriebsanweisungen für unterschiedliche Betriebszustände (z. B. Wechseln von Sammelsäcken, Wartungsarbeiten, Maßnahmen zur Störungsbeseitigung, etc.)
- Unterweisungsunterlagen
- Vorgaben für wiederkehrende Prüfungen (DGUV Regel 109-002; Explosionsschutzeinrichtungen – Gefahrstoffverordnung, etc.)
- Persönliche Schutzmaßnahmen

5.2.3.2 *Explosionsschutz-Dokument*

Außerdem muss der Betreiber beim Absaugen brennbarer Stoffe nach GefahrstoffVO (§ 6) vor Inbetriebnahme der Anlage ein **Explosionsschutz-Dokument** erstellen. Sinnvollerweise wird er dabei das Explosionsschutzkonzept des Herstellers der Anlage als Grundlage seiner Dokumentation berücksichtigen.

Anhang 8.7 enthält nähere Erläuterungen und Musterformulare als Grundlage für die Erstellung eines Explosionsschutz-Dokuments.

5.3 Kennzeichnung und Dokumentation

5.3.1 Einstufung von Absauganlagen

Absauganlagen sind mit einem anderen Antriebssystem als der unmittelbar eingesetzten menschlichen oder tierischen Kraft ausgestattet. Mindestens ein Teil oder eine Vorrichtung der miteinander durch Rohrleitungen und -kanäle, Gehäusekonstruktionen, etc. verbundenen Gesamtheit ist beweglich.

Die Anlage ist für eine bestimmte Anwendung zusammengefügt. Maschinen dieser Art sind:

- Ventilatoren als „Strömungsmaschinen“ (Energiequelle: Elektrizität)
- Regenerations-Einrichtungen (Energiequelle: Elektrizität oder Pneumatik)
- Schnecken und Zellenradschleusen (Energiequelle: Elektrizität)
- Absperr-Schieber und motorisch verstellbare Klappen (Energiequelle: Elektrizität oder Pneumatik)

Absauganlagen unterliegen damit im Regelfall als Ganzes den Mindestanforderungen der EG- Maschinenrichtlinie (2006/42/EG).

Sie können als „System zur Beseitigung von Emissionen“ im Einzelfall aber auch ein Sicherheitsbauteil für die angeschlossenen Maschinen darstellen (im Sinn des Anhangs V der Maschinenrichtlinie), wenn folgende Voraussetzungen gegeben sind:

- a. Gewährleistung einer Sicherheitsfunktion (Einzelfall)
- b. Gesondert in Verkehr gebracht (Regelfall)
- c. Ausfall oder Fehlfunktion gefährdet Sicherheit von Personen (Einzelfall)
- d. Für das Funktionieren der Maschine nicht erforderlich (Regelfall)

Absauganlagen können in bestimmten Fällen auch als Ganzes der Explosionsschutzrichtlinie ATEX 2014/34/EU unterliegen.

Die ATEX Richtlinie 2014/34/EU gilt nur für Geräte, die

- eine potentielle Zündquelle besitzen/darstellen **und bestimmungsgemäß**
- in einem explosionsgefährdeten Bereich betrieben werden **oder**
- mit einem explosionsgefährdeten Bereich verknüpft sind **oder**
- sich ihre eigene Ex-Zone außerhalb schaffen.

Damit ist eine Konformität nach der ATEX-Richtlinie 2014/34/EU nur dann erforderlich, wenn das Gerät in einer Zone mit möglicher explosionsfähiger Atmosphäre eingesetzt werden soll, wie ein Staubsauger oder eine kleine Absauganlage in einer Lackieranlage. Ob im Aufstellbereich der Absauganlage eine solche Zone vorliegt, muss der Betreiber der Anlage in seiner (speziellen) Gefährdungsbeurteilung und im Explosionsschutzdokument vor der Aufstellung der Anlage ermitteln und dem Hersteller im sogenannten Lastenheft vorgeben.

Im Gegenzug muss ein Gerät, bei dem der Hersteller eine Konformität nach ATEX (2014/34/EU) ausweist, auch in der entsprechenden Zone betrieben werden können. Es reicht nicht aus, dass ein explosionsfähiges Gemisch eingesaugt werden kann. Die Gesamtanlage darf dann nicht als Zündquelle dienen. Absauganlagen, die außerhalb von Gebäuden im Freien stehen, sind normalerweise vom Anwendungsbereich der ATEX-Richtlinie (2014/34/EU) ausgenommen.

Unabhängig von der Einstufung der Gesamtanlage müssen bei der Absaugung explosionsfähiger Gemische die Komponenten innerhalb der Anlagen, wie Zellenrad-schleusen, Entkoppelungseinrichtungen, Druckentlastungseinrichtungen, Sensorik oder mechanische Förderer im Rohgasbereich, die Anforderungen nach der ATEX-Richtlinie (2014/34/EU) erfüllen.

Für alle anderen Absauganlagen gelten die Anforderungen der Maschinenrichtlinie (2006/42/EG). Danach muss eine Maschine (oder Absauganlage) so konstruiert und gebaut sein, dass jedes Explosionsrisiko vermieden wird, das von

der Maschine selbst oder von Gasen, Flüssigkeiten, Stäuben, Dämpfen und anderen, von der Maschine freigesetzten oder verwendeten, Stoffen ausgeht.

In der Tabelle 5.3.1 auf Seite 144 sind die Unterschiede bei der Einstufung in die beiden anzuwendenden Richtlinien und der sich ergebende Handlungsbedarf noch einmal dargestellt.

Neben den genannten Richtlinien können unter Umständen noch folgende Richtlinien einschlägig sein:

- die Richtlinie über elektromagnetische Verträglichkeit (EMV-Richtlinie 2014/30/EU) für elektronische Bauteile innerhalb der Anlage
- die Richtlinie für einfache Druckbehälter (2014/29/EU) für kleinere Druckbehälter innerhalb der Anlage (z. B. Feuerlöscher, Druckluftbehälter für Regeneration)

5.3.2 Voraussetzungen für das Inverkehrbringen

Vollständige¹ Absauganlagen dürfen im europäischen Wirtschaftsraum nur in Verkehr gebracht werden, wenn folgende formale Kriterien erfüllt sind:

- An der Anlage (z. B. auf dem Typenschild) ist ein Symbol angebracht, mit dem die Übereinstimmung mit europäischen Richtlinien bescheinigt wird (CE-Zeichen).
- Der Hersteller der Anlage übergibt dem Betreiber eine Konformitätserklärung, mit der er die Übereinstimmung mit europäischen Richtlinien schriftlich erklärt.
- Der Hersteller erstellt und übergibt eine Betriebsanleitung für die Anlage in der Sprache des verwendenden Personenkreises.

Der Inhalt der technischen Dokumentation ist davon abhängig, welche europäischen Richtlinien für dieses Gerät, die Maschine oder die Anlage gelten. Harmonisierte europäische Normen präzisieren die Richtlinien und lösen Vermutungswirkung zur Einhaltung der jeweiligen Richtlinien aus.

¹ Hinweis: Gemäß § 46 des Interpretationsleitfadens (2017) der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG gelten Maschinen, denen lediglich die erforderlichen Hilfsmittel oder Sicherheitskomponenten, wie Schutzeinrichtungen, fehlen, nicht als unvollständige Maschinen. Auf Absauganlagen bezogen ist zu vermuten, dass Absauganlagen auch ohne Absaugrohre deshalb als vollständige Maschinen gelten.

Tabelle 5.3.1 Unterschiede bei der Einstufung von Absauganlagen

Maschinenrichtlinie (2006/42/EG)	Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) und Explosionsschutzrichtlinie ATEX (2014/34/EU)
Konsequenzen und Handlungsbedarf:	
<p>1. Explosionsfähige Atmosphäre innerhalb der Maschine (Prozess)</p>	<p>1. Explosionsfähige Atmosphäre außerhalb der Maschine (Aufstellung)</p>
<p>2. Sicherheit in der Verantwortung des Herstellers</p>	<p>2. Hersteller liefert Maschine in explosionsgeschützter Ausführung nach ATEX.</p>
<p>3. Info des Herstellers an Betreiber für dessen Explosionsschutzdokument und zur Überprüfung der Aufstellung (mögliche Zündquelle)</p>	<p>3. Betreiber legt Zone im Aufstellungsbereich fest.</p>
<p>4. Konformitätserklärung nach Richtlinie 2006/42/EG</p>	<p>4. Konformitätserklärung nach Richtlinien 2014/34/EU UND 2006/42/EG</p>

5.3.3 Kennzeichnung der Maschine/Anlage

Um nach außen zu verdeutlichen, dass für die Maschine/Anlage vom Hersteller ein Konformitätsbewertungsverfahren durchgeführt worden ist und die Maschine/Anlage im europäischen Wirtschaftsraum rechtmäßig in Verkehr gebracht werden darf, muss der Hersteller eine gut sichtbare Kennzeichnung (Symbol) an der Maschine, das so-



Abb. 5.3.1 Kennzeichnung nach Maschinenrichtlinie (Richtlinie 2006/42/EG, Anhang III)

genannte CE-Zeichen, anbringen. Die Form der Kennzeichnung ist verbindlich vorgeschrieben (siehe Abbildung 5.3.1).

Bei der Kennzeichnung ist zu unterscheiden, ob dem Konformitätsbewertungsverfahren eine Beurteilung nach der Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) und/oder nach der Explosionsschutzrichtlinie ATEX (2014/34/EU) zugrunde liegt. Die Gestaltung der Kennzeichnung ist nach beiden Richtlinien genormt.

Das „CE-Zeichen“ kann entweder gesondert neben dem Typenschild angebracht werden oder auch Bestandteil des Typenschilds sein (siehe Abbildung 5.3.2). Das Typenschild enthält noch zusätzliche Details zur Bezeichnung der Maschine, zu ihren wesentlichen technischen Leistungsdaten und zum Hersteller.

Das „CE-Zeichen“ muss dauerhaft an der Maschine angebracht sein.

Firmenbezeichnung und Anschrift:	Mustermann GmbH Windstrasse 1 D-12345 Musterstadt
Absauganlage Fleißige Biene	
CE	
Baureihe:	RVA
Typ:	450
Seriennummer:	4723
Baujahr	2018
Nennvolumenstrom statischer Unterdruck bei Nennvolumenstrom	6.927 m ³ /h 2.500 Pa
Nennstrom	22 A
Nennspannung	400 V
elektrische Frequenz	50 Hz
Gewicht	1150

Abb. 5.3.2 Beispiel eines Maschinentypschilds nach der Maschinenrichtlinie (Richtlinie 2006/42/EG, Anhang III)

Eine Kennzeichnung nach ATEX enthält zusätzliche Angaben, die für die Beurteilung des Explosionsschutzes und für die sich daraus ergebenden Gefährdungen von Bedeutung sind (siehe Abbildung 5.3.3).

Warnhinweise:

Je nach ihrer Beschaffenheit und den von der Maschine ausgehenden (Rest-)Gefährdungen müssen auf der Maschine **zusätzlich** alle für die Sicherheit bei der Verwendung wesentlichen Hinweise angebracht sein.

5.3.4 Konformitätserklärung/Einbauerklärung

Der Hersteller muss dem Gerät oder der Anlage eine EG-Konformitätserklärung oder eine EG-Einbauerklärung (siehe Abbildung 5.3.4 auf Seite 147) beifügen und sicherstellen, dass dieses Dokument dem Gerät/der Maschine/der Anlage beiliegt. Das gilt auch für den Fall, dass der Betreiber einzelne Anlagenteile (z. B. Ventilatoren, Filteranlagen oder Rohrleitungen) gebraucht erwirbt und sie zu einer Anlage neu zusammenfügt. In diesem Fall übernimmt der Betreiber auch die Herstellerverantwortung. Die Risikoanalyse ist nicht Inhalt der Dokumentation für den Betreiber. Die Angaben für die Gefährdungsbeurteilung stehen für den Betreiber in der Bedienungsanleitung.

Zu einer vollständigen Kennzeichnung gehören darüber hinaus Angaben

- zur Temperaturklasse;
- zur Explosionsgruppe;
- ggf. zu der/n angewendeten Zündschutzart(en);
- ggf. Zertifizierung durch eine benannte Stelle.

zündschutzartspezifische Kennzeichnung: „Ex“ für **explosionsschutzgeschützte** Geräte (elektrisch als auch nicht-elektrisch)

Zündschutzart(en) mit dem „Level of Protection“

Abb. 5.3.3 Beispiel einer Kennzeichnung nach ATEX-Richtlinie (Richtlinie 2014/34/EU, Anhang II)

5.3.4.1 Einbauerklärung

Die Einbauerklärung wird mit unvollständigen Maschinen ausgeliefert. Eine unvollständige Maschine stellt eine Gesamtheit von Komponenten dar, die fast eine Maschine bildet, für sich genommen aber keine bestimmte Funktion erfüllen kann. Eine vollständige Absauganlage ist keine unvollständige Maschine; auch bei Einbau in eine Maschine, als Teil der Maschine, ist die Absaugung als Komponente eine Maschine nach Definition der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG. In den seltensten Fällen ist eine Absauganlage unvollständig. Einzelne Komponenten von Absauganlagen, wie ein Ventilator mit elektrischem Antrieb ohne Steuerung, können als unvollständige Maschine mit Einbauerklärung in Verkehr gebracht werden. Der Interpretationsleitfaden der Maschinenrichtlinie macht jedoch die Einschränkung, dass „Maschinen, die für sich genommen eine bestimmte Anwendung ausführen können und bei denen lediglich die erforderliche Schutz Einrichtung oder Sicherheitsbauteile fehlen, nicht als unvollständige Maschine gelten“. Solche Maschinen sind als unsichere Maschinen definiert und dürfen deshalb nicht unverändert verwendet werden. Der Betreiber sollte darauf achten, dass alle gelieferten Maschinen (z. B. Ventilatoren, Filtereinheiten, Austrageinheiten, etc.) eine eigene EG-Konformitätserklärung besitzen oder ein mit den Vorgängen vertrautes Generalunternehmen die unvollständigen Maschinen zu einer Absauganlage zusammenbaut und eine Konformitätserklärung für die gesamte Anlage ausstellt.

Achtung:

Bei Inbetriebnahme von Anlagen, die aus unvollständigen Maschinen und/oder vom Betreiber hinzugefügten Komponenten bestehen, wird der Betreiber zum Hersteller und muss die „EG-Konformität“ erklären. Der Betreiber übernimmt damit für die Anlage die vollständige Verantwortung des Herstellers.

Der Hersteller einer unvollständigen Maschine kann nicht alle Anforderungen der Maschinenrichtlinie erfüllen.

ABER: Der Satz „Hiermit erklären wir, dass die Maschine folgenden einschlägigen Bestimmungen der Richtlinie 2006/42/EG entspricht“, mit Angabe der erfüllten Bestimmungen, **darf nicht fehlen!**

Der Ersteller der Gesamt-Konformitätserklärung muss – neben der Einbauerklärung – eine Montageanleitung erhalten. Im Rahmen der Beschreibung der Gesamtmaschine erstellt der Hersteller der Gesamtmaschine eine die Maschine mit ihren unvollständigen Komponenten umfassende Bedienungsanleitung. Durch die Einbauerklärung wird sichergestellt, dass der Komponentenhersteller seiner Dokumentationspflicht nachgekommen ist.

5.3.4.2 Konformitätserklärung

Mit der Konformitätserklärung bestätigt der Hersteller eines verwendungsfertigen Geräts oder einer verwendungsfertigen Maschine/Anlage die Übereinstimmung mit den jeweils einschlägigen europäischen Richtlinien. Dazu führt er ein sogenanntes Konformitätsbewertungsverfahren durch, zu dem unter anderem auch eine Risikobeurteilung zur Ermittlung vorhandener Risiken während des Betriebs der Maschine gehört. Das Bewertungsverfahren kann er auch einer autorisierten Prüfstelle übertragen, wozu er bei den in Anhang IV der Maschinenrichtlinie gelisteten, besonders gefährlichen Maschinen, auch verpflichtet ist.

Mit der Konformitätserklärung bescheinigt der Hersteller, dass er die Risiken bewertet und gemäß den Mindestvorschriften der Richtlinien beseitigt hat. Er trägt damit für den Zeitpunkt des Inverkehrbringens die volle Verantwortung. Auf nicht zu beseitigende Restrisiken muss er den Betreiber in seiner Betriebsanleitung hinweisen, die dieser im Zuge seiner Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen hat.

Vom Betreiber veranlasste nachträgliche Veränderungen an der Maschine oder der Anlage können dazu führen, dass die Maschine, beziehungsweise die Anlage, zur Neumaschine wird und die Herstellerverantwortung auf den Betreiber übergeht. Das gilt besonders dann, wenn die Änderungen zu zusätzlichen oder höheren Gefährdungen führen.

Um nachträgliche Änderungen zu vermeiden, sollte sorgfältig geplant werden. Für nachträgliche Änderungen muss der Betreiber nach dem Interpretationspapier des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales „Wesentliche Veränderungen von Maschinen“ vom 9. April 2015 bewerten, ob eine wesentliche Veränderung vorliegt. In einem solchen Fall wäre ein neues Konformitätsbewertungsverfahren durchzuführen.

EG-Einbauerklärung

Firmenbezeichnung und Anschrift:	Mustermann GmbH Windstrasse 1 D-12345 Musterstadt
Bevollmächtigte(r) zur Zusammenstellung der Technischen Unterlagen mit Anschrift:	Frau Fleißig Windstrasse 1 D-12345 Musterstadt

Radialventilator mit elektrischem Antrieb

zum Fördern von staubarmer Luft aus einem vorgesetzten Filter mit geringem Unterdruck.

Modell:	RVA
Typ:	450
Seriennummer:	4723
Handelsbezeichnung:	Wirbelwind

Hiermit erklären wir, dass der Radialventilator folgenden einschlägigen Bestimmungen nach Anhang I der Richtlinie 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie) entspricht:

1.1.2, 1.1.3, 1.1.5, 1.3.2, 1.3.3, 1.4.1, 1.4.2, 1.5.1, 1.5.2, 1.5.4, 1.5.5, 1.5.6, 1.5.7, 1.5.10, 1.5.11, 1.5.12, 1.5.13, 1.5.14, 1.5.15, 1.5.16 und 1.7.

Hiermit erklären wir, dass die technischen Unterlagen gemäß Richtlinie 2006/42/EG Anhang VII Teil B erstellt wurden.

Im Weiteren erklären wir, dass der Radialventilator auch den Bestimmungen folgender Richtlinien entspricht:

EG-Richtlinie Elektromagnetische Verträglichkeit 2014/30/EU

Referenzen laut Veröffentlichungen im Europäischen Amtsblatt (ABl L) vom 09.03.2018:

EN ISO 12100:2010	Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsgrundsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung
EN 60 204-1:2006	Sicherheit von Maschinen- Elektrische Ausrüstung von Maschinen, Teil 1 Allgemeine Anforderungen

Wir verpflichten uns, die speziellen Unterlagen auf begründeten Verlangens einzelstaatlichen Stellen in Papierform auf dem Postweg zur Verfügung zu stellen.

Die unvollständige Maschine darf erst in Betrieb genommen werden, wenn festgestellt wurde, dass die Maschine, in die die unvollständige Maschine eingebaut wurde, den Bestimmungen dieser Richtlinie entspricht.

Musterstadt, 24.04.2018

Geschäftsführer(in) der Mustermann GmbH

Abb. 5.3.4 Beispiel einer Einbauerklärung für eine unvollständige Maschine

EG-Konformitätserklärung

Firmenbezeichnung und Anschrift: Mustermann GmbH
Saubere Luft Strasse 1
D-12345 Musterstadt

Bevollmächtigte(r) zur Zusammenstellung
der Technischen Unterlagen mit Anschrift: Frau Fleißig
Saubere Luft Strasse 1
D-12345 Musterstadt

Entstauber

zum Erfassen, Fördern und Abscheiden von Holzstaub und Holzspänen an einzelnen oder mehreren Staubquellen.

Modell: ABC
Typ: 180
Seriennummer: 4723
Handelsbezeichnung: Fleißige Biene

Hiermit erklären wir, dass der Entstauber allen einschlägigen Bestimmungen der Richtlinie 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie) entspricht.

Im Weiteren erklären wir, dass der Entstauber auch den Bestimmungen folgender Richtlinien entspricht:
EG-Richtlinie Elektromagnetische Verträglichkeit 2014/30/EU

Fundstelle der angewandten harmonisierten Normen: Europäische Amtsblatt (ABl L) vom 09.03.2018

EN ISO 12100:2010 Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung

EN 60204-1:2006 Sicherheit von Maschinen- Elektrische Ausrüstung von Maschinen, Teil 1 Allgemeine Anforderungen

EN ISO 4414:2010 Fluidtechnik – Allgemeine Regeln und sicherheitstechnische Anforderungen an Pneumatikanlagen und deren Bauteile

Fundstelle der angewandten sonstigen Normen: DIN e. V.
Am DIN-Platz Burggrafenstraße 6
10787 Berlin

prEN 16770:2014 Sicherheit von Holzbearbeitungsmaschinen – Absauganlagen für Holzstaub und Späne für Innenaufstellung – Sicherheitstechnische Anforderungen

Musterstadt, 24.04.2018

Geschäftsführer(in) der Mustermann GmbH

Abb. 5.3.5 Beispiel einer Konformitätserklärung nach Maschinenrichtlinie für einen verwendungsfertigen Entstauber

EG-Konformitätserklärung (XXXX¹)

Zellenradschleuse

zur explosionstechnischen Trennung von Bereichen unterschiedlicher Zoneneinteilung mit Materialtransport.

Modell: ZRS
Produkt: 1205
Seriennummer: 472

Firmenbezeichnung und Anschrift: Mustermann GmbH
Saubere Luft Strasse 1
D-12345 Musterstadt

Der Hersteller stellt in alleiniger Verantwortung die Konformitätserklärung aus.

Zellenradschleuse ABC 180

Hiermit erklären wir, dass die oben genannte Zellenradschleuse die einschlägigen Harmonisierungsvorschriften der Union erfüllt:

EU-Richtlinie ATEX 2014/34/EU
EG-Richtlinie über Maschinen 2006/42/EG
EG-Richtlinie Elektromagnetische Verträglichkeit 2014/30/EU

Angabe der einschlägigen harmonisierten Normen oder der anderen technischen Spezifikationen, die der Konformitätserklärung zugrunde gelegt wurden:

EN ISO 12100:2010 Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung
EN 1127-1:2011 Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik

Die notifizierte Stelle **Explosionsexperte, 1234**, hat die **Bewertung des Qualitätssicherungssystems** durchgeführt und folgende Bescheinigung ausgestellt:

2018/12345/abc vom 02.03.2018

Musterstadt, 24.04.2018

Geschäftsführer(in) der Mustermann GmbH

¹ Der Hersteller kann der Konformitätserklärung freiwillig eine Nummer vergeben

In Bezug auf Absauganlagen oder deren Komponenten beziehen sich die Konformitätserklärungen entweder auf die Maschinenrichtlinie (Beispiel siehe Abbildung 5.3.5) und/oder auf die Explosionsschutzrichtlinie (ATEX) (Beispiel siehe Abbildung 5.3.6).

Achtung!

Der Satz „Hiermit erklären wir, dass die Maschine allen einschlägigen Bestimmungen der Richtlinie 2006/42/EG entspricht“ darf nicht fehlen.

Sofern es sich bei der Absauganlage um ein Sicherheitsbauteil handelt, müssen weitere Anforderungen erfüllt werden (siehe Abschnitt 5.3.4.4).

Hinweis 1:

Eine Konformität nach Maschinenrichtlinie schließt die Einhaltung der ATEX-Richtlinie und der Richtlinie für einfache Druckbehälter aus. Die Konformitätserklärungen der von diesen Richtlinien betroffenen Komponenten sind der technischen Kundendokumentation beizufügen.

Hinweis 2:

Formal ist die Fundstelle einer harmonisierten Norm das Europäische Amtsblatt (ABl L) mit Erscheinungsdatum. Üblich ist aber, dass die Hersteller nur die jeweils angewandte EN-Norm nennen. Beim Bezug auf eine harmonisierte Norm ist sie vollständig umzusetzen. Alternativ muss der Hersteller jede Abweichung von der Norm nennen.

5.3.4.3 Gesamtkonformitätserklärung

Absauganlagen können aus mehreren „einbaufertigen“ Maschinen (z. B. Ventilatoren, Schnecken, Zellenrad-schleusen, Absperrschiebern, Druckgeräten, Brikettierpressen, etc.), oder aus weiteren, für das sichere Funktionieren wichtigen Bauteilen bestehen. Deshalb müssen zum Beispiel Rohrleitungen bedarfsgerecht dimensioniert und montiert sein, um die notwendigen Luftgeschwindigkeiten innerhalb der Anlage zu gewährleisten.

Für die eingebauten Komponenten liegen in der Regel von deren Herstellern eigenständige Konformitäts- oder Einbauerklärungen vor. Der Hersteller der Absauganlage muss für die Gesamtanlage ein Gesamtkonformitätsbewertungsverfahren durchführen. Dabei kann er die Konformitäts- oder Einbauerklärungen der verbauten Komponenten berücksichtigen. In diesem Fall sind der korrekte Einbau oder

die bestimmungsgemäße Verwendung der Einzelkomponenten und besonders die Schnittstellen zwischen den beschriebenen Komponenten zu bewerten. Das Ergebnis wird dann in einer Gesamtkonformitätserklärung dokumentiert. In die technische Dokumentation der Gesamtanlage sind die Dokumente der Komponenten aufzunehmen.

Für den Betreiber ergibt sich die wesentliche Frage, wie weit, also bis zu welchem Bestandteil/Bauteil, erstreckt sich der Geltungsbereich der Gesamtkonformitätserklärung?

Im Regelfall wird das die Schnittstelle zwischen dem Anschlussstutzen der Bearbeitungsmaschine und der Maschinenanschluss-Rohrleitung der Absauganlage sein. Die für die Auslegung der Absauganlage wesentlichen „Schnittstellendaten“ der Bearbeitungsmaschine (z. B. Luftmenge oder Volumenstrom, Luftgeschwindigkeit, erforderlicher Unterdruck zur Erzielung der Luftgeschwindigkeit) müssen aus der Betriebsanleitung der Bearbeitungsmaschine hervorgehen.

Erfassungselemente, die nicht an einer Bearbeitungsmaschine angebracht sind, sollten Bestandteil der Gesamtkonformitätserklärung des Absauganlagen-Herstellers sein.

In Ausnahmefällen muss die Absauganlage die Funktion einer Sicherheitseinrichtung für eine Bearbeitungsmaschine übernehmen (siehe Abschnitt 5.3.4.4 Fall 3). In diesem Sonderfall muss sich die Gesamtkonformitätserklärung auf die Bearbeitungsmaschine, einschließlich der angeschlossenen Absauganlage, erstrecken. Dabei können entweder der Hersteller der Bearbeitungsmaschine (Regelfall) oder der Hersteller der Absauganlage (Ausnahmefall) als Ersteller der Gesamtkonformitätserklärung fungieren.

Hinweis:

Fügt der Betreiber die Absauganlage aus vorhandenen oder (gebraucht) erworbenen Einzelkomponenten selbst zusammen, gilt er als „Inverkehrbringer“ und übernimmt somit selbst die Verantwortung eines Herstellers für die Erstellung der Gesamtkonformitätserklärung. Da ein Betreiber im Regelfall mit den gesetzlichen und technischen Anforderungen an solche Anlagen nicht vertraut ist, ist von einer solchen Vorgehensweise aus rechtlichen und praktischen Gründen abzuraten.

5.3.4.4 Einordnung von Absauganlagen im Hinblick auf unterschiedliche Gefährdungen

Im Folgenden sollen drei unterschiedliche Fälle zur Bewertung von Anlagen zur Absaugung von Emissionen an/aus Maschinen und deren Einstufung in Bezug auf die vorgenannten Sachverhalte betrachtet werden:

Fall 1: Durch Emission von Substanzen oder Stäuben bei ungenügender Absaugung dauerhafte, das heißt, nicht nur kurzfristige, Gefährdung der Gesundheit der Beschäftigten (Regelfall):

Maßnahmen Maschinenhersteller: Keine

Notwendige Erklärungen: einzelne Konformitätserklärungen (z. B. Absauganlage, Bearbeitungsmaschine) ausreichend

Fall 2: Durch Emission von Substanzen oder Stäuben bei ungenügender Absaugung auch kurzfristige Gefährdung von Beschäftigten bei ungenügender Absaugung durch die Maschine (z. B. Explosionsgefahr):

Maßnahmen Maschinenhersteller:

- Bearbeitungsmaschine schaltet sich im Gefahrenfall selbstständig ab (z. B. bei Unterschreitung eines Mindestunterdrucks im Absaugstutzen).
- Sicherheitsfunktion ist, gemäß dem Risikographen nach EN ISO 13849-1, eingestuft und umgesetzt.

Notwendige Erklärungen: einzelne Konformitätserklärungen (z. B. Absauganlage, Bearbeitungsmaschine) ausreichend

Hinweis:

Ob die Anforderungen der Maschinenrichtlinie an eine Sicherheitsfunktion auch bei langfristigen, gesundheitlichen Gefährdungen durch Emissionen angewendet werden können, bleibt offen. Nach ASRA 3.6 „Lüftung“ muss bei Gesundheitsgefahren der Ausfall oder die Störung einer Lüftungsanlage durch eine Warneinrichtung angezeigt werden (Abschnitt 6.7). In Anlehnung daran wäre auch bei dem kurzfristigen Ausfall der Absauganlage keine Gefährdung der Beschäftigten im Sinne der Maschinenrichtlinie vorhanden und eine Warneinrichtung, zum Beispiel bei überhöhtem Filterdruckverlust und damit Unterschreitung der Mindest-Luftgeschwindigkeit an der Absauganlage, ausreichend. Das gilt nur, wenn sich durch eine Konzentrationserhöhung keine kurzfristigen Gefährdungen (z. B. Explosionsgefährdung) oder Gesundheitsschäden (z. B. Vergiftung, Reizung, Verätzung, etc.) ergeben können.

rationserhöhung keine kurzfristigen Gefährdungen (z. B. Explosionsgefährdung) oder Gesundheitsschäden (z. B. Vergiftung, Reizung, Verätzung, etc.) ergeben können.

Fall 3: Gefährdungen aus Emissionen im Zusammenhang mit dem Maschinenbetrieb bei gleichzeitig ungenügender Absaugung, wobei die Sicherheitsfunktion für die Maschine an die Absauganlage ausgelagert wird:

In diesem Fall ergibt sich ein produktions- und sicherheitstechnischer Zusammenhang zwischen Bearbeitungsmaschine und Absauganlage. Damit fällt die Logikeinheit der erforderlichen Sicherheitsfunktion unter Anhang IV der Maschinenrichtlinie (2006/42/EG).

Maßnahmen Maschinenhersteller:

- Beschreibung der Schnittstelle Maschine/Absauganlage
- Sicherheitsfunktion ist gemäß dem Risikographen nach EN ISO 13849-1 eingestuft und maschinenseitig umgesetzt.
- Absauganlage übernimmt Sicherheitsfunktion gemäß der Einstufung im Risikographen nach EN ISO 13849-1 (Beschreibung in Maschinen-Bedienungsanleitung und Umsetzung durch Absauganlagen-Hersteller).
- Sicherer Eingang zum sofortigen Abschalten der Maschine durch die Absauganlage

Notwendige Erklärungen: Gesamtkonformitätserklärung (für Bearbeitungsmaschine + Absauganlage **als Einheit**).

5.3.5 Betriebsanleitungen

Die mitzuliefernde Betriebsanleitung muss in der Sprache des Verwenders oder der Verwenderin (z. B. deutsch) artikuliert sein und folgende Mindestangaben enthalten:

5.3.5.1 Bestimmungsgemäße Verwendung/ Vorhersehbare Fehlanwendung

Der Maschinenrichtlinie gemäß muss der Hersteller die bestimmungsgemäße Verwendung der Maschine und Warnhinweise für Fehlanwendungen, zu denen es erfahrungsgemäß kommen kann, beschreiben. Bei Absauganlagen sind das besonders:

- Material und Aggregatzustände (Gase/Aerosole/Stäube), die abgesaugt werden dürfen (z. B. „nur nichtbrennbare Stäube“)
- zugehörige Stoffeigenschaften (KST-Wert, Mindestzündenergie, Dichte, Partikelgröße, etc.)
- Ausschluss von Stoffen und/oder Stoffeigenschaften
- Einsaugen von Zündfunken/Zündquellen: zulässig oder ausgeschlossen
- Aufsaugen von Flüssigkeiten oder Flüssigkeiten/Staub/Luftgemischen: zulässig oder ausgeschlossen
- Einsaugen von explosiven Gasen: zulässig oder ausgeschlossen
- Betrieb in explosionsgefährdeten Bereichen: zulässig oder ausgeschlossen
- Hinweise zur Aufnahme in das Explosionsschutzdokument

Achtung!

Die Anlage darf nur bestimmungsgemäß verwendet werden. Das bedeutet: Der Betreiber darf nur Materialien und Stoffe mit Eigenschaften absaugen, die der Hersteller der Absauganlage ausdrücklich zulässt.

5.3.5.2 Detaillierte Beschreibung der Ausstattung und Funktion

Die Betriebsanleitung muss eine allgemeine Beschreibung der Absauganlage enthalten, damit Fragen zu folgenden Punkten ausreichend beantwortet werden:

- Wo sind die von den Herstellerbescheinigungen erfassten Grenzen der Absauganlage (siehe hierzu den Hinweis auf Seite 153)? Beinhalten diese:
 - das Rohrsystem?
 - die Erfassungen?
 - die Entsorgung, z. B. Transportanlage oder Leitungen in ein (Zwischen-)Lager?
- Welche Haupt-Anschlussdurchmesser (eventuell auch mehrere) für die belastete Rohrluft hat die Absauganlage?
- Welche technischen Leistungsgrenzen hat die Absauganlage (Nennvolumenstrom, Unterdruck bei Nennvolumenstrom, Nennluftgeschwindigkeit, Kennlinien der Ventilatoren, etc.)?
- Mit welchen Energieträgern wird die Anlage versorgt und wo werden sie innerhalb der Anlage benötigt (elektrische Energie, Druckluft)?
- Wie gestaltet sich die Anlagensteuerung/-regelung?
 - Wo steht der Schaltschrank?
 - Welche Sensorik wird zur Steuerung verwendet (An-/Abschalten von Bearbeitungsmaschinen; Funktion von Brandmeldern, Füllstands-Überwachung, Display, etc.)?
 - Welche Funktionen werden gesteuert (An-/Abschalten des Ventilators; Rück- und Abluft, etc.)?
- Handelt es sich um eine Überdruck- oder Unterdruck-Anlage? In welchen Anlagenteilen herrscht Unterdruck oder Überdruck?
- Welche Abscheidetechnik wird verwendet (Abscheider-Typ, Abscheider-Belastung, etc.)? Wo wird abgeschieden?
- Welche Regenerationstechnik wird verwendet (motorische Rüttelung, Druckluftimpuls, Luftspülung, Wasserspülung, etc.)?
- Gibt es bei brennbaren Gasen/Aerosolen/Stäuben explosionsgefährdete Bereiche innerhalb der Anlage, und wurden diese Bereiche in Zonen eingeteilt?

In konkreten Einzelfällen sind weitere wichtige, aber hier nicht genannte Fragestellungen zu beantworten.

Wichtiger Hinweis:

Es muss besonders erläutert werden, ob die Erfassungselemente und die Anschluss-Rohrleitungen zur Absauganlage oder eventuell zu den abgesaugten Maschinen gehören.

Besonders wichtig ist dabei die Schnittstelle zwischen der Absauganlage und den Erfassungselementen oder den Maschinenstutzen.

Der Betreiber sollte darauf achten, dass der Absauganlagen-Hersteller die Rohrleitungen in seine Konformitätserklärung aufnimmt. Durch ein falsch dimensioniertes Rohrleitungssystem oder eine unsachgemäße Schiebersteuerung können Gefährdungen entstehen, die der Betreiber nicht ausreichend bewerten kann.

5.3.5.3 Beschreibung der Maßnahmen zur Wartung, Instandhaltung und Prüfung

Laut der Maschinenrichtlinie müssen die von der Benutzerin oder vom Benutzer durchzuführenden Einrichtungs- und Wartungsarbeiten, die zu treffenden vorbeugenden Wartungsmaßnahmen und die im späteren Betrieb durchzuführenden regelmäßigen Prüfungen (siehe auch Abschnitt 6.4) beschrieben werden. Außerdem sind Anweisungen zum sicheren Einrichten und Warten einschließlich der dabei zu treffenden Schutzmaßnahmen anzugeben. Zeichnungen, Schaltpläne oder Wartungsanweisungen unterstützen die Wartung und Instandhaltung der Anlage:

- Übersichtszeichnungen der Gesamtanlage mit Rohrsystem und Erfassungselementen/Maschinenanschlüssen, Absperrschiebern, Revisionsöffnungen, Funkenlöschanlage, Brandschutzklappen und Rückschlagklappen
- Wartungspunkte
- Welche besonderen Schutzmaßnahmen (z. B. nicht funkenreißende Werkzeuge, Atemschutz) sind bei den unterschiedlichen Arbeiten zu beachten?
- elektrische, pneumatische und hydraulische Schaltpläne
- ggf. Übersicht über das Feuerlöschsystem
- ggf. Angaben zu Druckentlastungseinrichtungen und Entkoppelungsanlagen
- Antriebe, Schmierstellen
- Detailzeichnungen, Einzelkomponenten (z. B. Regeneration, Austragung, Brandschutzklappen, Rückschlagklappen, Zellenradschleusen, etc.)
- Wartungs-/Instandhaltungsplan
- usw.

Folgendes sollte aus den den Schaltplänen (elektrisch/pneumatisch/hydraulisch) hervorgehen:

- Sensoren,
- Eingänge zu sowie Ausgänge von Ventilator-Motoren, Stellantrieben und sonstigen Aktoren,
- Umsetzung der Sicherheitsfunktionen,
- Stückliste,
- Bauteilkennzeichnung zum Auffinden der Bauteile im Schaltschrank,
- Absicherung der einzelnen Leitungsabschnitte und farbliche Kennzeichnung der Leitungen,
- Gesamtabsicherung der Anlage
- usw.

Hinweis:

Bei der Wartung und Instandhaltung dürfen nur die vom Hersteller in der Betriebsanleitung spezifizierten Ersatzteile verwendet werden, wenn sie sich auf die Sicherheit und Gesundheit des Bedienpersonals auswirken.

5.3.5.4 Zusätzliche Anforderungen bei ATEX-Anlagen (2014/34/EU Anhang II)

In Bezug auf die ATEX-Richtlinie gibt es für Geräte, die in einem explosionsfähigen Bereich betrieben werden, folgende zusätzliche Anforderungen:

- Angaben zu Restrisiken aus Flammen- und Druckauswirkungen im Außenbereich sind erforderlich und, im besonderen Fall, die Markierung von gefährdeten Bereichen vor Druckentlastungseinrichtungen.
- Es sind Angaben erforderlich, nach denen zweifelsfrei entschieden werden kann, ob die Verwendung eines Geräts (entsprechend seiner ausgewiesenen Kategorie) oder eines Schutzsystems in dem vorgesehenen Bereich unter den zu erwartenden Bedingungen gefahrlos möglich ist.
- Außerdem sind Angaben zu elektrischen Kenngrößen und auftretenden Drücken, zu höchsten Oberflächentemperaturen sowie zu anderen kritischen Kenngrößen (teilweise auch gemäß der Maschinenrichtlinie) gefordert.

5.3.6 Weitere Dokumente, die für die Genehmigung von Absauganlagen von Bedeutung sein können

In einigen Bundesländern werden Genehmigungsanforderungen für Absauganlagen (baurechtlich und emissionschutzrechtlich) gestellt. Der Betreiber sollte für solche Fälle folgende Dokumente vorhalten:

- Nachweis der Emissionen in die Umgebung,
- Nachweis des Reststaubgehalts/der Restschadstoffbelastung/der Emissionen bei Rückführung der abgesaugten Luft in den Arbeitsbereich,
- Angaben zur Lärmemission,
- Nachweis der Feuerfestigkeit des Gehäuses und sonstiger, für den Brandschutz wichtiger Komponenten,
- Nachweis der Flammenreichweite und Druckausbreitung im Außenbereich für die Schutzmaßnahme „Druckentlastung“,
- eine Ausweisung von Schutzzonen um die Anlage (Aufenthaltsverbote, Rauchverbote, Anforderungen an Nachbargebäuden etc.) bei Brand- und Explosionsgefährdung,
- das vor Inbetriebnahme zur erstellende Explosionsschutzdokument (vom Betreiber zu erstellen),
- Festigkeits- und Standfähigkeitsnachweise für große Filteranlagen (Wind, Erdbeben, Brand, Löschwasser, maximale Beladung, etc.),
- für die Baugenehmigung erforderliche Dokumente,
- für Wasser- und Abwasseranschlüssen erforderliche Angaben,
- usw.

Nicht jede Absauganlage besitzt alle aufgeführten Eigenschaften oder eine Absauganlage muss weitere Anforderungen erfüllen, die hier nicht aufgeführt sind. Für das jeweilige Gerät oder die Anlage ist deshalb eine Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde notwendig.

5.4 Genehmigungen

5.4.1 Baugenehmigung

Nach Musterbauordnung sind bauliche Anlagen mit dem Erdboden verbundene, aus Bauprodukten hergestellte Anlagen. Mobile Geräte (mobile Entstauber) fallen deshalb grundsätzlich nicht unter die Bauordnung.

Wenn es sich jedoch um größere Absauganlagen handelt, deren Anlagenkomponenten

- ein eigenes Fundament benötigen, oder
- fest mit einem Gebäude verbunden sind, oder
- unter Umständen mehrere Brandabschnitte durchlaufen, oder
- Luftschadstoffe ins Freie fördern und an die Umwelt abgeben, oder
- mit Nassabscheidern arbeiten und sowohl Schlamm als auch Abwasser als Nebenprodukte erzeugen,

ist im Einzelfall gemeinsam mit der zuständigen Behörde zu prüfen, ob eine Genehmigung vor der Errichtung der Anlage eingeholt werden muss.

Auch wenn es auf Bundesebene eine sogenannte Musterbauordnung gibt, die allen Bundesländern als Richtschnur gelten soll, sind allein die Landesbauordnungen der einzelnen Bundesländer rechtlich bindend. Zuständige Behörden können kommunale, städtische oder auch Kreisbehörden sein.

Wenn die Aufstellung einer Absauganlage im Außenbereich geplant ist, sollte mit der zuständigen Behörde geklärt werden, ob und – wenn ja – in welchem Umfang, ein Bauantrag und eine Baugenehmigung erforderlich sind.

5.4.2 Genehmigung für den Betrieb einer Absauganlage nach Umweltrecht

Vorrangig dienen Absauganlagen dem Zweck, die Luft an den Arbeitsplätzen gesundheitlich zuträglich zu machen, indem luftfremde Stoffe in möglichst konzentrierter Form aus dem Arbeitsbereich der Beschäftigten abgesaugt werden. Wird diese Luft weiter an die Umwelt ins Freie abgegeben (gereinigt oder nicht gereinigt), greift das Bundes-Immissionsschutzgesetz. Wird dann der luftfremde Stoff in einem Abscheider aufkonzentriert (z. B. in Form von Staub oder feuchtem Schlamm), handelt es sich formal erst einmal um Abfall und es greifen das Kreislaufwirtschaftsgesetz und die Abfallgesetze der einzelnen Bundesländer. Wenn aber zum Beispiel der abgeschiedene Staub im eigenen Betrieb thermisch verwertet wird, handelt es sich bei diesem Staub nicht um Abfall. Auch wenn im Betrieb angefallene Metallreste im eigenen Betrieb direkt wieder eingeschmolzen werden, sind die Metallreste kein Abfall. Besonders bei Nassabscheidern bleibt oft noch belastetes Wasser zurück, das nicht einfach ohne Vorbehandlung in Oberflächengewässer abgeleitet werden darf – hier greifen das Wasserhaushaltsgesetz, das Abwasserabgabengesetz und die Wasserverordnung.

5.4.2.1 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)

Im Anhang 1 der vierten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) sind tabellarisch Anlagen gelistet, die einer Genehmigung bedürfen. Darunter fallen aber auch eigenständig betriebene Anlagen zur Behandlung von Abgasen (Verminderung von Luftschadstoffen) genehmigungsbedürftiger Anlagen. Das kann dann auch Absauganlagen, zum Beispiel in Kraftwerken und Gießereien, betreffen.

§ 1 der 4. BImSchV stellt eine weitere Konkretisierung der genehmigungsbedürftigen Anlagen dar:

- Nach objektiven Umständen ist zu erwarten, dass die Anlage länger als zwölf Monate am selben Ort betrieben wird.
- Die in Anhang 1 erwähnten maßgeblichen Leistungsgrenzen und Anlagengrößen sind am rechtlichen und tatsächlich möglichen Betriebsumfang zu messen. Es ist in diesem Zusammenhang unerheblich, ob beispielsweise eine Volllast vorliegt oder nicht.
- Führt eine Anlagenerweiterung dazu, dass die Leistungsgrenze oder die Betriebsgröße erstmalig über-

schritten wird, ist für die gesamte Anlage eine Genehmigung erforderlich.

- Betreiber ist jede natürliche oder juristische Person oder Personenmehrheit, die die Anlage auf eigene Rechnung und in eigener Verantwortung führt.

Reichweite der Genehmigungsbedürftigkeit:

- Nach § 1 II Nr. 1 der 4. BImSchV erstreckt sich das Genehmigungserfordernis auf alle Anlagenteile und Verfahrensschritte, die zum Betrieb notwendig sind.
- Aber auch für Nebeneinrichtungen kann das Genehmigungserfordernis nach § 1 II Nr. 2 gelten, wenn ein räumlicher und betriebstechnischer Zusammenhang und eine Bedeutung, unter anderem für das Entstehen von schädlichen Umwelteinwirkungen, besteht.

Zur konkreten Einstufung, ob es sich um eine genehmigungsbedürftige Absauganlage handelt oder nicht, müssen die Anlagendaten mit den an die Umwelt abgegebenen Schadstoffmengen als Konzentrationswert oder als Summenwert pro Jahr bekannt sein.

5.4.2.2 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) und Abfallgesetze der Bundesländer

Weil an den Abscheidern Staub und Schlamm anfallen, muss auch das Abfallrecht betrachtet werden.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz des Bundes wird ergänzt und konkretisiert durch die Abfallgesetze der Länder. Aufgrund der konkurrierenden Gesetzgebungszuständigkeit des Bundes für die Abfallwirtschaft (Art. 74 Abs. 1, Nr. 24 GG) ist die Anwendung landesrechtlicher Vorschriften jedoch nur in den Bereichen möglich, die nicht bereits durch Bundesrecht erfasst worden sind. Die Landesabfallgesetze betreffen im Wesentlichen Fragen des Vollzugs, zum Beispiel die Bestimmung der entsorgungspflichtigen Körperschaften und der im Abfallbereich zuständigen Behörden.

Mit dem KrWG wurde eine Regelung eingeführt, um die Abgrenzung zwischen Abfall und nicht dem Abfallrecht unterfallenden Nebenprodukten (§ 4) zu regeln: Ein Nebenprodukt ist ein Stoff, der bei der Herstellung eines anderen Stoffs oder Produkts anfällt. Es ist also nicht Hauptzweck der Herstellung. Ein Nebenprodukt muss außerdem vier Voraussetzungen erfüllen:

- Eine Weiterverwendung des Stoffs muss sichergestellt sein.

- Eine über ein normales industrielles Verfahren hinausgehende Vorbehandlung ist entbehrlich.
- Die Erzeugung des Stoffs ist integraler Bestandteil eines Herstellungsprozesses.
- Die weitere Verwendung ist rechtmäßig (Erfüllung aller Produkt-, Umwelt- und Gesundheitsschutzanforderungen und Unschädlichkeit für Mensch und Umwelt).

Maßgeblich ist das Gefährdungspotenzial des Abfalls. Der Transport ungefährlicher Abfälle muss in jedem Fall nach § 53 KrWG angezeigt werden. Für gefährliche Abfälle besteht eine Erlaubnispflicht nach § 54 KrWG. Dabei gelten nach dem KrW-/AbfG unbefristet erteilte Transportgenehmigungen als Beförderungserlaubnis fort. Für Firmen, die im Rahmen wirtschaftlicher Unternehmen, das heißt, aus Anlass einer anderweitigen gewerblichen oder wirtschaftlichen Tätigkeit, die nicht auf die Sammlung oder Beförderung von Abfällen gerichtet ist, diese Abfälle sammeln oder befördern, besteht die Anzeige- und Erlaubnispflicht.

5.4.2.3 *Wasserhaushaltsgesetz (WHG), Abwasserabgabengesetz (AbwAG) und Abwasserverordnung*

Besonders bei Nassabscheidern wird nicht nur die Luft von luftfremden Stoffen gereinigt, sondern die luftfremden Stoffe bleiben im Wasser und setzen sich zum Beispiel in Form von Schlamm ab. Das restliche beladene Wasser muss oft aufbereitet werden, bevor es zum Beispiel in das öffentliche Abwasserkanalsystem oder in Oberflächengewässer abgegeben werden darf. Den rechtlichen Rahmen dazu geben das Wasserhaushaltsgesetz (WHG), das Abwasserabgabengesetz (AbwAG) und die Abwasserverordnung vor:

Nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) unterliegt eine Vielzahl möglicher Gewässerbenutzungen einer staatlichen Gestattungspflicht. Darunter fallen besonders die Nutzungen, die eine Verschmutzung der Gewässer durch Schadstoffe verursachen. Die Einleitung von Abwasser in ein Gewässer erfordert deshalb eine behördliche Gestattung in Form der sogenannten wasserrechtlichen Erlaubnis nach § 10 WHG. Eine solche Erlaubnis darf die Behörde nur erteilen, wenn die Schadstofffracht des Abwassers so geringgehalten wird, wie es unter Einhaltung des jeweils in Betracht kommenden Verfahrens nach dem Stand der Technik möglich ist (§ 57 Abs. 1 WHG). Wer Abwasser einleiten will, ist also gezwungen, sein Abwasser durch

technische Behandlungsverfahren auf einen bestimmten Qualitätszustand zu bringen, bevor es in ein Gewässer eingeleitet werden kann.

Die emissionsbezogenen Anforderungen, die den Stand der Technik definieren sollen, sind von der Bundesregierung in der sogenannten Abwasserverordnung (Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer – AbwV) festgelegt. Sie enthält neben Rahmenvorschriften und Bestimmungen zu einzelnen Analyse- und Messverfahren in ihren derzeit 57 Anhängen spezielle schadstoffbezogene Anforderungen an Abwasser aus verschiedenen Herkunftsbereichen und Produktionszweigen.

Fällt Abwasser aus einer Absauganlage mit Nassabscheider an, sollte die zuständige Behörde bereits in der Planungsphase informiert werden.

6 Betrieb, Wartung Instandhaltung und wiederkehrende Prüfungen

6.1 Bestimmungsgemäßer Betrieb

Absauganlagen müssen bestimmungsgemäß nach den Vorgaben des Herstellers (siehe Betriebsanleitung) betrieben werden. Das gilt besonders für die Art, den Aggregatzustand, die Zusammensetzung und den Zustand der abgesaugten Schadstoffe.

Absauganlagen dürfen nicht unbefugt außer Betrieb genommen werden.

Bewegliche Erfassungselemente sind möglichst dicht an die Entstehungsstelle der Luftverunreinigungen heranzuführen. Bei der Positionierung muss die Bewegungsrichtung der Luftverunreinigungen berücksichtigt werden. Die Erfassungselemente sind so nachzuführen, dass Luftverunreinigungen sicher erfasst und nicht durch den Atembereich der Beschäftigten geführt werden.

Die Luftführung ist so zu gestalten, dass keine Zuglufterscheinungen auftreten.

Brennbare Luftverunreinigungen und solche, die mit Luft eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bilden können, dürfen nicht gemeinsam mit:

1. zur Funkenbildung neigenden Luftverunreinigungen,
2. selbstentzündlichen Luftverunreinigungen,
3. brandfördernden Luftverunreinigungen,
4. Abgasen von Verbrennungsprozessen

abgesaugt werden. Selbstentzündliche Luftverunreinigungen sind zum Beispiel Metallstäube (z. B. pyrophores Eisen, Magnesium- oder Titanlegierungen) in feinsten Verteilung und Stoffe, die miteinander unter Wärmeentwicklung reagieren, wie Kunstharz- und Nitrolacke bei der Verarbeitung von Beschichtungsstoffen. Brandfördernde Luftverunreinigungen sind zum Beispiel Chromtrioxid, erhöhte Sauerstoffkonzentration, Ozon und Peroxide.

Lassen sich die genannten Verunreinigungen im praktischen Betrieb der Anlage nicht ausschließen, muss dieser Sachverhalt bereits bei der Planung der Anlage berücksichtigt und die Anlage entsprechend gestaltet werden.

6.2 Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten an Absauganlagen

Die Wirksamkeit jeder Absauganlage ist auf Dauer immer nur so gut wie ihre Reinigung und Instandhaltung.

Dazu ist am besten ein Instandhaltungs- und Reinigungsplan aufzustellen, in dem die betreffenden Anlagenteile, die Inspektions- und Reinigungsintervalle sowie die Verantwortlichkeiten festgelegt sind. Bei der Aufstellung der Instandhaltungs- und Reinigungspläne müssen die Angaben in den zugehörigen Betriebsanleitungen des Liefers oder des Herstellers ebenso berücksichtigt werden, wie die Tätigkeiten an der Absauganlage innerhalb der Gefährdungsbeurteilung.

Umfang und Häufigkeit der Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten richten sich zum Beispiel nach:

- der Größe und der Art der Anlage,
- der Einsatzhäufigkeit,
- der Art und der Menge der Luftverunreinigungen.

Die Instandhaltung umfasst alle Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustands sowie zur Bewahrung und Wiederherstellung des Sollzustands. Dazu gehören Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung.

Absauganlagen müssen für Instandsetzungs- und Verbesserungsarbeiten außer Betrieb gesetzt und gegen unbefugtes Ingangsetzen gesichert werden. Im Rahmen der Erstellung des Reinigungs- und Instandhaltungsplans wird darüber hinaus festgelegt, ob und bei welcher anderen Tätigkeit (Reinigung, Inspektion, Wartung) die Anlage außer Betrieb gesetzt werden muss.

Arbeitsprozesse, bei denen mit Luftverunreinigungen in gefährlicher Konzentration zu rechnen ist, müssen manuell unterbrochen werden, wenn nicht durch eine Verriegelung ein Austritt der Luftverunreinigungen in den Arbeitsbereich verhindert ist.

Das Reinigen von Anlagenteilen, besonders von Rohrleitungen und Abscheidern, sowie das Entfernen der abgelagerten oder abgeschiedenen Luftverunreinigungen ist so durchzuführen, dass Aufwirbelungen auf ein Minimum begrenzt werden und somit

1. Brand- und Explosionsgefahren vermieden werden,
2. die vorstehend genannten Luftverunreinigungen möglichst nicht in die Umgebungsluft gelangen,
3. die Beschäftigten nicht durch dabei freiwerdende Luftverunreinigungen gefährdet werden.

Brand- und Explosionsgefahren werden zum Beispiel vermieden durch die Verwendung von

- nach DIN EN 60335-2-69; Anhang AA geprüften Industriestaubsaugern der zündquellenfreien Bauart Zone 22 (früher Bauart B1) und
- nicht funkenreißenden Werkzeugen.

Hinweis:

In explosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 21 und 22 können Stahlwerkzeuge verwendet werden, sofern weder Funkengarben noch heiße Oberflächen (z. B. beim Bohren) entstehen (TRBS 2152 Teil 3, Anhang zu 5.4.2 Absatz 5, bzw. EN 1227 – 1, Anhang A). Vorsicht ist allerdings geboten, wenn aus Ablagerungen brennbare Dämpfe freigesetzt werden können.

Luftverunreinigungen gelangen nicht in die Umgebungsluft, wenn zum Beispiel:

- zur Beseitigung von Luftverunreinigungen in Rohrleitungen geeignete Industriestaubsauger verwendet werden,
- Abscheider erst geöffnet werden, nachdem die automatische Abreinigung und die Bewegungen der geförderten Luft zum Stillstand gekommen sind,
- außerhalb zu reinigende Abscheider, z. B. Kollektoren von elektrischen Abscheidern, nicht mit Druckluft, sondern mit Waschflüssigkeit gereinigt werden,
- zum Entfernen gesammelter Luftverunreinigungen Sammelbehälter für den einmaligen Gebrauch vorhanden sind, die nach Befüllung vorsichtig vom Abscheider getrennt und sofort sicher verschlossen werden.

Eine Gefährdung kann sich auch dann ergeben, wenn Filter durch krankheitserregende Keime oder radioaktive Stoffe belastet sind. Besteht diese Möglichkeit, sollten vor Beginn der Reinigungsarbeiten

- der Grad der Belastungen festgestellt und
- entsprechende Schutzmaßnahmen festgelegt werden.

Mit Instandhaltungs- und Instandsetzungsarbeiten darf erst begonnen werden, wenn in den Anlagen keine Luftverunreinigungen mehr in zündfähigen oder gesundheitsgefährlichen Konzentrationen vorhanden sind.

Ist nach dem Außerbetriebsetzen von Anlagen zusätzlich mit Luftverunreinigungen in gesundheitsgefährlichen Konzentrationen zu rechnen, muss der Betreiber dafür sorgen, dass Instandhaltungsarbeiten nur mit persönlichen Schutzausrüstungen (z. B. Atemschutz, Handschuhe) durchgeführt werden.

Können Luftverunreinigungen in gesundheitsgefährlicher Konzentration auch auf andere Personen einwirken, hat der Betreiber dafür zu sorgen, dass diese Personen während der Instandsetzungs- und Reinigungsarbeiten die Gefahrenbereiche verlassen. Diese Bereiche dürfen nur mit persönlichen Schutzausrüstungen betreten werden.

Die Lagerung und Entsorgung angefallener Luftverunreinigungen muss gefahrlos in geeigneten Behältern erfolgen.

Bei Instandsetzungsarbeiten dürfen der Sicherheit dienende Anlagenteile nur gegen gleichwertige Teile ausgetauscht werden. Der Sicherheit dienende Anlagenteile sind zum Beispiel:

- Schalter und Antriebsmotoren in explosionsgeschützter Ausführung,
- Filterelemente, besonders bei der Rückführung der gereinigten Luft in den Arbeitsraum,
- Einrichtungen zur Verriegelung.

Bei Störungen an lufttechnischen Anlagen müssen, sofern mit Luftverunreinigungen in gesundheitsgefährlichen Konzentrationen zu rechnen ist, dort Beschäftigte die

1. Arbeitsprozesse unterbrechen und
2. Gefahrenbereiche verlassen.

Außerdem muss dafür gesorgt werden, dass in besonderen Fällen, wenn persönliche Schutzausrüstung unbedingt erforderlich ist, Gefahrenbereiche auch nur mit entsprechender PSA betreten werden. Störungen können zum Beispiel folgende Gründe haben:

- Ventilator-Ausfall,
- defekte Filter,
- Ansatzbildungen und Ablagerungen im Leitungssystem,
- mangelhafte Filterwirkung, besonders während der Rückführung der gereinigten Luft in den Arbeitsraum.

Störungen können aber auch durch den Arbeitsprozess verursacht werden, zum Beispiel durch

- stärkere chemische Reaktion bei falscher Dosierung,
- mangelhafte Temperaturbegrenzung.

Ablagerungen von brennbaren Stäuben oder ausreagierten brennbaren Gefahrstoffen erhöhen die Brandlast im Betrieb. Stäube entwickeln bereits bei Ablagerungen mit einer Schichtdicke von etwa 1 mm kleine Entstehungsbrände, die sich in kurzer Zeit zu einem unkontrollierbaren Brand ausweiten können. Erfahrungen zeigen, dass Löschversuche in solchen Fällen erfolglos sind und Personen Schaden nehmen können.

Große Staub-Schichtdicken wirken wärmeisolierend und können auf diese Weise die Kühlung der Motoren oder der Antriebe beeinträchtigen, sodass sie sich stark erwärmen und zur Zündquelle für Glimmbrände werden können.

Um die genannten Risiken auszuschließen, müssen im Bereich der Absauganlagen Ablagerungen regelmäßig beseitigt werden, besonders an schwer zugänglichen Stellen (z. B. Leitungen, Kabelkanäle). Die Reinigung muss durch Aufsaugen in regelmäßigen Abständen erfolgen.

6.3 Betriebsanweisungen

Für das bestimmungsgemäße Betreiben, für die Instandhaltung und Reinigung, bei Störungen und für die Prüfung sind Betriebsanweisungen unter Berücksichtigung der vom Hersteller mitgelieferten Betriebsanleitung aufzustellen, in der die erforderlichen sicherheitstechnischen Hinweise enthalten sind.

Sicherheitstechnische Hinweise sind besonders dann erforderlich, wenn:

- verschiedene Betriebszustände möglich sind,
- Arbeiten mit Zündgefahr durchgeführt werden,
- Warneinrichtungen vorhanden sind,
- eine erforderliche Vor- und Nachlaufzeit festgelegt ist,
- Verwendungseinschränkungen bestehen,
- Arbeiten in Luftleitungen notwendig sind (siehe auch DGUV Regel 113-004 „Behälter, Silos und enge Räume; Teil 1: Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen“).

Außerdem sind sicherheitstechnische Hinweise zu geben für

- das Wechseln von Filterelementen,
- die Instandhaltung,
- Prüfungen,
- die Anordnung und Nachführung von Erfassungseinrichtungen,
- Verhaltensmaßnahmen im Störungs- oder Gefahrfall.

Die Betriebsanweisung sollte, besonders bei größeren Anlagen, ein Anlagenschema enthalten.

6.4 Wiederkehrende Prüfungen

Eine Absauganlage ist in ihrer Gesamtheit keine Überwachungsbedürftige Anlage im Sinne der Betriebssicherheitsverordnung. Um einen betriebssicheren Zustand zu erhalten, müssen an Absauganlagen nicht nur Instandhaltungsarbeiten, sondern auch Prüfungen durchgeführt werden. Die Betriebssicherheitsverordnung legt im Wesentlichen die nachfolgend genannten Prüfpflichten fest.

Der Betreiber legt die Prüffristen im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung (bzw. im Explosionsschutz-Dokument) fest, unter Beachtung der oben genannten Mindestanforderungen. Dabei sollten Angaben und Empfehlungen der Herstellfirmen berücksichtigt werden. Der Betreiber hat für fristgerechte Nachprüfungen zu sorgen. Die Prüfungen und ihre Ergebnisse müssen dokumentiert werden.

6.4.1 Prüfung der Funktionsfähigkeit

Die Anlage ist jeweils vor Arbeitsbeginn auf ihre Funktionsfähigkeit zu prüfen. Vor der ersten Inbetriebnahme (siehe Abschnitt 5.2), regelmäßig in mindestens jährlichen Abständen und nach wesentlichen Änderungen ist die Absauganlage durch eine zur Prüfung befähigte Person auf ordnungsgemäße Installation, Funktion und Aufstellung zu prüfen (siehe DGUV Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“).

6.4.2 Prüfungen zum Explosionsschutz

Damit die für den Explosionsschutz getroffenen Schutzmaßnahmen dauerhaft aufrechterhalten werden können, muss ein Prüf- und Überwachungskonzept erstellt werden. Darin sind die Prüffart, der Prüfumfang, die Prüftiefe und die Prüffrist festgelegt. Der Umfang des Prüf- und Überwachungskonzepts ist im Explosionsschutzdokument zu beschreiben. Dabei sind folgende Prüfungen zu unterscheiden:

- 1. Prüfungen von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen:** Dabei ist das gesamte Explosionsschutzkonzept, einschließlich der Zoneneinteilung und der festgelegten technischen und organisatorischen Maßnahmen des Explosionsschutzes, zu prüfen. Die Prüfung ist vor erstmaliger Inbetriebnahme und wiederkehrend spätestens alle sechs Jahre durchzuführen. Personen mit der Befähigung nach Nummer 3.3 des Anhangs 2 Abschnitt 3 BetrSichV führen die Prüfung durch.
- 2. Prüfungen an explosionsgeschützten Geräten, Schutzsystemen, Sicherheits-, Kontroll- und Regeleinrichtungen** im Sinne der EG-Richtlinie 2014/34/EU (z. B. Berstscheiben, Zellenradschleusen, Leuchten innerhalb von Filtern, Ventilatoren in Abluftleitungen): Sie müssen zusammen mit ihren Verbindungseinrichtungen als Bestandteil einer Anlage in einem explosionsgefährdeten Bereich und in ihrer Wechselwirkung mit anderen Anlagenteilen wiederkehrend mindestens alle drei Jahre geprüft werden. Personen mit der entsprechenden Befähigung (nach Nummer 3.1 des Anhangs 2 Abschnitt 3 BetrSichV) führen die Prüfungen durch.
- 3. Lüftungsanlagen, Gaswarn- und Inertisierungseinrichtungen** sind, unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit anderen Anlagenteilen, zusätzlich zu 1. und 2. wiederkehrend jährlich durch eine zur Prüfung befähigte Person (nach Nummer 3.1 des Anhangs 2 Abschnitt 3 BetrSichV) zu prüfen.

Statt der wiederkehrenden Prüfungen nach 2 und 3 ist ein Instandhaltungskonzept zulässig, wenn dadurch dauerhaft die Explosionssicherheit der Anlage gewährleistet wird.

Gemäß GefStoffV § 6 Absatz (4) müssen Arbeitgeber und Arbeitgeberinnen im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung ermitteln, ob die abzuscheidenden Stoffe gefährliche explosionsfähige Gemische bilden können.

Die Gefährdungen durch gefährliche explosionsfähige Gemische sind in einem Explosionsschutzdokument auszuweisen (gemäß GefStoffV § 6 Absatz (9)). Daraus müssen sich auch die getroffenen Schutzmaßnahmen ergeben.

Wenn die Gefährdungsbeurteilung ergibt, dass sich keine gefährlichen explosionsfähigen Gemische bilden können, sind Explosionsschutzmaßnahmen nicht erforderlich. Zudem werden auch keine explosionsgefährdeten Bereiche (Zonen) ausgewiesen und der Abscheider ist nicht überwachungsbedürftig.

Wenn die Gefährdungsbeurteilung ergibt, dass sich gefährliche explosionsfähige Gemische bilden können, müssen Maßnahmen zum Schutz vor Explosionen getroffen werden und es können darüber hinaus Zonen ausgewiesen werden.

Die Gesamtheit der explosionsschutzrelevanten Arbeitsmittel, einschließlich der Verbindungselemente, ist eine überwachungsbedürftige Anlage, im Sinne des Dritten Abschnitts und Anhang 2 Abschnitt 3 der BetrSichV.

Gemäß BetrSichV §§ 15 und 16 sowie Anhang 2, Abschnitt 3, Nummer 4.1, 5.1, 5.2 und 5.3, müssen Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber sicherstellen, dass überwachungsbedürftige Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen vor erstmaliger Inbetriebnahme und wiederkehrend auf Explosionssicherheit geprüft werden. In Tabelle 6.4.1 ist eine allgemeine Übersicht der zu prüfenden Gegenstände und die zugehörigen maximalen Fristen für die Prüfung dargestellt.

Die Technische Regel für Betriebssicherheit 1201 Teil 1 (TRBS 1201 Teil 1) konkretisiert die Pflichten von Arbeitgeberinnen und Arbeitgebern in Bezug auf die erforderlichen Prüfungen der überwachungsbedürftigen Anlagen.

Die jährlichen und 3-jährlichen Prüfungen dürfen außer von zugelassenen Überwachungsstellen (ZÜS) auch von zur Prüfung befähigten Personen nach BetrSichV Anhang 2, Abschnitt 3, Nummer 3.1, durchgeführt werden. Die 6-jährlichen Prüfungen sind von einer ZÜS oder einer zur Prüfung befähigten Person nach BetrSichV Anhang 2, Abschnitt 3, Nummer 3.3, durchzuführen.

Gemäß BetrSichV Anhang 2, Abschnitt 3, Nummer 5.4, kann auf die wiederkehrenden Prüfungen nach Nummer 5.2 und 5.3 verzichtet werden, wenn Arbeitgeber und Arbeitgeberinnen im Rahmen der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung ein Instandhaltungskonzept festgelegt haben, das gleichwertig sicherstellt, dass ein sicherer Zustand der Anlage aufrechterhalten wird und die Explosionssicherheit dauerhaft gewährleistet ist. Dieses Dokument ist ständig am Betriebsort aufzubewahren (auch elektronisch) und der Behörde auf Verlangen vorzulegen.

Tabelle 6.4.1 Maximale Fristen zur Prüfung von überwachungsbedürftigen Anlagen in Bezug auf den Explosionsschutz gemäß BetrSichV Anhang 2, Abschnitt 3, Nummer 4.1, 5.1, 5.2 und 5.3

Gegenstand der Prüfung	Vor Inbetriebnahme	Wiederkehrend		
		Jährlich	3 Jahre	6 Jahre
	BetrSichV, Anhang 2, Abschnitt 3			
	Nr. 4.1	Nr. 5.3	Nr. 5.2	Nr. 5.1
Unmittelbar dem Explosionsschutz dienende Lüftungsanlagen (z. B. zur Vermeidung explosionsfähiger Atmosphären)	X	X		
Gaswarn- und Inertisierungs-Einrichtungen	X	X		
Bauteile zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen	X		X	
Vollständigkeit und Plausibilität der zur Prüfung verwendeten technischen Unterlagen	X			X
Prüfungen nach BetrSichV Anhang 2 Abschnitt 3 Nr. 4.1 Satz 7 vollständig durchgeführt und geprüft, ob die dabei festgestellten Mängel behoben wurden	X			
Vollständigkeit der Protokolle der jährlichen und 3-jährlichen Prüfungen				X
Gewährleistung der sicheren Verwendung der Anlage gemäß BetrSichV	X			X
Eignung und Funktionsfähigkeit der technischen Maßnahmen und Eignung der organisatorischen Maßnahmen zum Explosionsschutz	X			X
Ggf. Eignung eines alternativen Instandhaltungskonzepts (gemäß Nummer 5.4)				X

6.4.3 Beispiele für Anlagenkomponenten bei wiederkehrender Prüfung

- Sichtprüfung der Erfassungselemente auf Beschädigung
- Funktionsprüfung der Absperrschieber
- Sichtprüfung der Rohrleitungen und Flexschlauch-Übergänge auf Dichtigkeit und elektrostatisch leitfähige Verbindung
- Sichtprüfung der Ventilatoren auf Dichtigkeit, Unwucht und Geräusch
- Sichtprüfung von Laufrad und Einströmdüse von Ventilatoren auf Beschädigung und Abnutzung
- Sichtprüfung des Filtergehäuses auf Dichtigkeit, der Druckentlastungseinrichtungen auf Beschädigung
- Prüfung des Filtermaterials auf Beschädigung und festen Sitz
- Funktionsprüfung der Filter-Regenerationseinrichtung
- Funktionsprüfung von Brandschutz- und Rückschlagklappen
- Sichtprüfung der Zellenradschleusen, z. B. auf Beschädigung der Dichtlippen
- Funktionsprüfung der Umschalteneinrichtung Rückluft/ Abluft
- Kontrolle auf Ablagerungen im Rückluftkanal
- Funktionsprüfung der Reststaubgehalts-Überwachungseinrichtung
- Prüfung der Funkenlöschanlage
- Sichtprüfung einer Lagereinrichtung auf Dichtigkeit, der Druckentlastungseinrichtungen auf Beschädigung
- Sichtprüfung der Steigleitern und Podeste an Lagereinrichtungen auf Beschädigung
- Funktionsprüfung der Zugänge auf Gängigkeit von Schlössern, Riegeln, Scharnieren, etc.
- Funktionsprüfung der elektrischen Verriegelungsschalter für Austrageinrichtungen
- Funktions- und Dichtigkeitsprüfung von Förder-einrichtungen sowie von Branderkennungs- und Löscheinrichtungen
- Prüfung der elektrischen und pneumatischen Komponenten

6.4.4 Prüfung nach Instandsetzung

Wenn bei der Instandsetzung eines Geräts, eines Schutzsystems oder einer Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtung im Sinne der Richtlinie 2014/34/EU ein Teil betroffen ist, von dem der Explosionsschutz abhängt, ist eine Prüfung durch eine nach Anhang 2, Abschnitt 3 Nummer 3 der BetrSichV zur Prüfung befähigte Person durchzuführen. Die Prüfung darf auch vom jeweiligen Hersteller durchgeführt werden. Der Hersteller hat in diesem Fall zu bestätigen, dass das Gerät, das Schutzsystem oder die Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtung in den für den Explosionsschutz wesentlichen Merkmalen den Anforderungen der BetrSichV entspricht.

Anmerkung:

Routinemäßige Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten dienen zur Bewahrung des Sollzustands und zur Sicherstellung der Anlagenverfügbarkeit. Sie werden von Fachpersonal durchgeführt und gehören gemäß BetrSichV zum Betrieb der Anlage.

Diese Arbeiten – auch vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen –, die nach betrieblichen Festlegungen dokumentiert sind, fallen nicht unter die Prüfverpflichtungen gem. § 15 und die Dokumentationsverpflichtungen gemäß § 17 BetrSichV, sofern die überwachungsbedürftige Anlage dadurch nicht geändert wird.

6.5 Unterweisungen der Beschäftigten

In angemessenen Zeitabständen, jedoch mindestens einmal jährlich, muss eine ausreichende Anzahl von fachlich geeigneten Beschäftigten zum Löschen von Bränden in Lagerbehältern oder Abscheidern von Absauganlagen sowie zur Funktion der Feuerlöscheinrichtung unterwiesen werden. Wichtige Unterweisungspunkte sind:

Im Brandfall muss

- die weitere Zufuhr von Material und
- das Abreinigen des Filters verhindert und
- in Anlagen, bei denen das Abreinigen mit dem Stillsetzen der Ventilatoren gekoppelt ist, der Hauptschalter für die gesamte Absauganlage betätigt werden.

Die Beschäftigten sind auch zu den Explosionsgefahren an der Anlage zu unterweisen zu:

- der Bedeutung der Kennzeichnungen
- dem Verhalten im Brandfall
- dem Verbot von Feuerarbeiten
- dem Verhalten in explosionsgefährdeten Bereichen
- Aufenthalts- und Zugangsverboten

6.6 Melden von Bränden und Explosionen

Brände und Explosionen in Lagerbehältern und Abscheidern (z. B. Filteranlagen) müssen den Unfallversicherungsträgern und der Aufsichtsbehörde unverzüglich angezeigt werden. Dies gilt auch für Fälle ohne Personenschaden.

7 Vorschriften, Regeln, Veröffentlichungen

Die folgenden Schriften enthalten wesentliche Forderungen für das sichere Errichten und Betreiben von Absauganlagen:

7.1 Gesetze/Verordnungen, Technische Regeln

Gesetze/Verordnungen, Technische Regeln	
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch der Bundesrepublik Deutschland
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
BetrSichV	Betriebsicherheitsverordnung
TRBS 1201, Teil 1	Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen und Überprüfung von Arbeitsplätzen in explosionsgefährdeten Bereichen
TRBS 2152	Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre (Teil 0 bis Teil 4)
ArbStättV	Arbeitsstättenverordnung
ASR A3.6	Lüftung
ProdSG	Produktsicherheitsgesetz
9. ProdSGV	Maschinenverordnung
11. ProdSGV	Explosionsschutzverordnung
ChemG	Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
TRGS 402	Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition
TRGS 420	Verfahrens- und stoffspezifische Kriterien (VSK) für die Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition
TRGS 509	Lagern von flüssigen und festen Gefahrstoffen in ortsfesten Behältern sowie Füll- und Entleerstellen für ortsbewegliche Behälter
TRGS 510	Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern
TRGS 519	Asbest: Abbruch-, Sanierungs-, Instandhaltungsarbeiten
TRGS 521	Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle
TRGS 553	Holzstaub
TRGS 558	Tätigkeiten mit Hochtemperaturwolle
TRGS 560	Lufrückführung bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, erbgutverändernden und fruchtbarkeitsgefährdenden Stäuben
TRGS 720	Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines
TRGS 721	Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Beurteilung der Explosionsgefährdung
TRGS 722	Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre

Gesetze/Verordnungen, Technische Regeln	
TRGS 727	Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen
TRGS 900	Arbeitsplatzgrenzwerte
TRGS 905	Verzeichnis krebserzeugender, keimzellmutagener oder reproduktionstoxischer Stoffe
TRGS 906	Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV
TRGS 910	Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
4. BImSchV	Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen
7. BImSchV	Verordnung zur Auswurfbegrenzung von Holzstaub
12. BImSchV	Störfall-Verordnung
StörfallV	Störfallverordnung mit TAA-GS-33 Leitfaden „Explosionsfähige Staub-Luft-Gemische und Störfallverordnung“
EVPG	Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz
EnEV	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden
AbfG	Abfallgesetz
AVV	Abfallverzeichnisverordnung
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
AbwAgbG	Abwasserabgabengesetz
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
	Bauordnungen der Länder

7.2 Europäische Richtlinien und Normen

Europäische Richtlinien und Normen	
1999/92/EG	(ATEX 137) Richtlinie 199/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können
2005/32/EG	Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates
2006/42/EG	Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)
2009/125/EG	Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Ökodesign-RL)
2014/29/EU	Richtlinie 2014/29/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung einfacher Druckbehälter auf dem Markt (Neufassung)
2014/30/EU	Richtlinie 2014/29/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit
2014/34/EU	(ATEX 114) Richtlinie 2014/34/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen
EU-Verordnung 640/2009	Verordnung (EG) Nr. 640/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren
IEC 60034-30-1:2014-03	Drehende elektrische Maschinen Teil 30-1: Wirkungsgrad-Klassifizierung von netzgespeisten Drehstrommotoren (IE-Code)
DIN EN 2:2005-01	Brandklassen
DIN EN 741:2011-06	Stetigförderer und Systeme – Sicherheitsanforderungen und ihre Komponenten zur pneumatischen Förderung von Schüttgut
DIN EN 1127-1:2017-12	Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik
DIN EN 1366-7:2009-04	Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen – Teil 7: Förderanlagen und ihre Abschlüsse
DIN EN 1822:2017-07	Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) – Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung
DIN EN 12215:2010-06	Beschichtungsanlagen – Spritzkabinen für flüssige organische Beschichtungsstoffe – Sicherheitsanforderungen
DIN EN 12779:2016-03	Sicherheit von Holzbearbeitungsmaschinen – Absauganlagen für Holzstaub und Holzspäne – sicherheitsbezogene Leistung und sicherheitstechnische Anforderungen
DIN EN 13355:2010-06	Beschichtungsanlagen – Kombinierte Spritz- und Trocknungskabinen – Sicherheitsanforderungen
DIN EN 13501 (Reihe)	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten

Europäische Richtlinien und Normen	
DIN EN 14373:2019-03	Explosions-Unterdrückungssysteme
DIN EN 14460:2018-04	Explosionsfeste Geräte
DIN EN 14491:2012-10	Schutzsysteme zur Druckentlastung von Staubexplosionen
DIN EN 14797:2007-03	Einrichtungen zur Explosionsdruckentlastung
DIN EN 14986:2017-04	Konstruktion von Ventilatoren für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen
DIN EN 14994:2007-05	Schutzsysteme zur Druckentlastung von Gasexplosionen
DIN EN 15089:2009-07	Explosions-Entkopplungssysteme
DIN EN 15251:2012-12	Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik
DIN EN 16009:2011-10	Einrichtungen zur flammlosen Explosionsdruckentlastung
DIN EN 16447:2014-09	Rückschlagklappen zur explosionstechnischen Entkopplung
DIN EN 16770:2018-12	Sicherheit von Holzbearbeitungsmaschinen – Absauganlagen für Holzstaub und Späne für Innenaufstellung – Sicherheitstechnische Anforderungen
DIN EN 16798-3:2017-11	Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 3: Lüftung von Nichtwohngebäuden – Leistungsanforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme (Module M5-1, M5-4)
DIN EN 60079-0:2014-06	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 0: Betriebsmittel – Allgemeine Anforderungen
DIN EN 60079-17:2014-10	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 17: Prüfung und Instandhaltung elektrischer Anlagen in Ex-Atmosphäre
DIN EN 60079-28:2016-04	Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 28: Schutz von Geräten und Übertragungssystemen, die mit optischer Strahlung arbeiten
DIN EN 60204-1:2014-10	Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
DIN EN 60335-2-69:2015-07	Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Teil 2–69: Besondere Anforderungen für Staub- und Wassersauger für den gewerblichen Gebrauch
DIN EN 60529:2014-09	Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)
DIN EN 62305 (Reihe)	Blitzschutz, Teil 1–4
DIN EN ISO 7730:2006-05	Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit
DIN EN ISO 12100: 2011-03	Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung
DIN EN ISO 13849-1:2016-06	Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze

Europäische Richtlinien und Normen	
DIN EN ISO 4414:2011-04	Fluidtechnik – Allgemeine Regeln und sicherheitstechnische Anforderungen an Pneumatik-anlagen und deren Bauteile
DIN EN ISO 16890:2017-08	Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik
DIN EN ISO/IEC 17065:2013-01	Konformitätsbewertung – Anforderungen an Stellen, die Produkte, Prozesse und Dienst-leistungen zertifizieren
DIN EN ISO 80079-36:2016-12	Explosionsfähige Atmosphären – Teil 36: Nicht-elektrische Geräte für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen – Grundlagen und Anforderungen
DIN EN ISO 80079-37:2016-12	Explosionsfähige Atmosphären – Teil 37: Nicht-elektrische Geräte für den Einsatz in explosi-onsfähigen Atmosphären – Schutz durch konstruktive Sicherheit „c“, Zündquellenüberwa-chung „b“, Flüssigkeitskapselung „k“

7.3 DGUV Vorschriften- und Regelwerk

DGUV Vorschriften- und Regelwerk	
DGUV Regel 109-002	Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen
DGUV Regel 113-001	Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)
DGUV Regel 113-004	Behälter, Silos und enge Räume –Teil 1: Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen
DGUV Information 205-001	Arbeitssicherheit durch vorbeugenden Brandschutz
DGUV Information 209-044	Holzstaub
DGUV Information 209-045	Absauganlagen und Silos für Holzstaub und -späne – Brand- und Explosionsgefährdungen
DGUV Information 209-046	Lackierräume und -einrichtungen für flüssige Beschichtungsstoffe – Bauliche Einrichtungen, Brand- und Explosionsschutz, Betrieb
DGUV Information 209-073	Arbeitsplatzlüftung – Entscheidungshilfen für die betriebliche Praxis
DGUV Information 209-083	Silos für das Lagern von Holzstaub und spänen – Bauliche Gestaltung, Betrieb
DGUV Information 209-084	Industriestaubsauger und Entstauber
DGUV Information 213-106	Explosionsschutzdokumente

7.4 DIN-Normen und VDI-Richtlinien

DIN-Normen und VDI-Richtlinien	
DIN 4102 (Reihe)	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
DIN 18093:2017-10	Feuer- und/oder Randschutzabschlüsse – Einbau und Wartung
DIN 18230 (Reihe)	Baulicher Brandschutz im Industriebau
DIN 69901-5:2009-01	Projektmanagement – Projektmanagementsysteme
VDI 2262:2013-06	Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe
VDI 3676: 2018-11	Abgasreinigung – Massenkraftabscheider
VDI 3677:2010-11	Filternde Abscheider – Oberflächenfilter
VDI 3678 (1 + 2):2010/2011	Elektrische Abscheider
VDI 3679 (Reihe)	Nassabscheider
VDI 3802:2014-09	Raumlufttechnische Anlagen für Fertigungsstätten
VDI 3803-4:2012-09	Raumlufttechnik, Geräteanforderungen – Luftfiltersysteme
	VDI-Wärmeatlas, 10. Auflage, Berlin: Springer 2006

7.5 Bestimmungen der Sachversicherer

Bestimmungen der Sachversicherer	
VdS 2008:2009-07	Feuergefährliche Arbeiten – Richtlinien für den Brandschutz
VdS 2010:2015-04	Risikoorientierter Blitz- und Überspannungsschutz – Richtlinien zur Schadenverhütung
VdS 2029:2000-10	Holzbearbeitende und Holzverarbeitende Betriebe – Richtlinien für den Brandschutz
VdS 2093:2017-08	Richtlinien für Feuerlöschanlagen – Feuerlöscher mit Kohlendioxid – Planung und Einbau
VdS 2106:2012-12	Richtlinien für Funkenerkennungs-, Funkenausscheidungs- und Funkenlöschanlagen – Planung und Einbau
VdS 2108:2018-01	Richtlinien für Schaumlöschanlagen – Planung und Einbau
VdS 2109:2018-01	Richtlinien für Sprühwasser-Löschanlagen – Planung und Einbau
VdS 2234:2018-01	Brand- und Komplextrennwände – Merkblatt für die Anordnung und Ausführung
VdS 2241:2014-07	Betriebsbuch für Funkenlöschanlagen
VdS 2380:2016-06	Feuerlöschanlagen mit nicht verflüssigten Inertgasen – Planung und Einbau
VdS 2490:2012-12	Anerkannte Errichterfirmen für Brandschutzanlagen
VdS CEA 4001:2018-01	Richtlinien für Sprinkleranlagen – Planung und Einbau

7.6 VDMA-Publikationen

VDMA-Publikationen	
VDMA (2015-02)	Luftfilterinformation – Filterklassen der Raumluft- und Entstaubungstechnik (in Überarbeitung)
VDMA-Leitfaden	Entstaubungsanlagen – Brand- und Explosionsschutz (2019/03)
VDMA-Positionspapier	ATEX-Richtlinie – Filternde Abscheider (2017/02)
VDMA-Positionspapier	Maschinenrichtlinie für Filtersysteme und Abscheider (2017/02)
VDMA-Broschüre	Lufrückführung bei der Absaugung von Rauch und Staub (2015/03)

7.7 Literatur

Literatur	
[1]	Schreinerei-Betriebsbeispiele, Planungshilfen 10, Haus der Wirtschaft, Landesgewerbeamt Baden-Württemberg
[2]	F. Kremers, A. Becker, B. Detering, G. Rauch, J. Wolf: Ermittlung der Ursachen von Bränden und Explosionen in Mitgliedsbetrieben der Holz-Berufsgenossenschaft Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 61/2001 Nr. 9, Springer-VDI-Verlag
[3]	BIA-Report 12/1997: Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften
[4]	VDMA-Allgemeine Lufttechnik Leitfaden: Erfassen luftfremder Stoffe – Frische Luft am Arbeitsplatz (in Überarbeitung)
[5]	Stoffdatenbank – Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
[6]	Walz, A., Optimierung von Einrichtungen zur Stofferfassung, Stoffausbreitung durch Thermik, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Fb 836
[7]	Biegert, B., Katalog technischer Maßnahmen zur Luftreinhaltung am Arbeitsplatz: Lufttechnische Maßnahmen – Dokumentation von Erfassungseinrichtungen; Fb 834
[8]	Biegert, B., Dittes, W., Katalog technischer Maßnahmen zur Luftreinhaltung – Konzeption, Auswahl und Auslegung von Einrichtungen; Fb 834
[9]	BGIA-Report 5/2005: Lufttechnik in Industriehallen
[10]	BIA-Report 2/2004: Thermisches Spritzen – Gefahrstoffe Messungen und Schutzmaßnahmen
[11]	Thomas Winkler (Imtech Deutschland): Absaugtechnik in der Industrie, Vortrag am 10.12.2013
[12]	Frech, G., Scholer, W.: Entwicklung numerischer Berechnungsverfahren von Schadstofferefassungseinrichtungen, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Fb 677
[13]	Pfeiffer, W.: Absaugluftmengen von Erfassungseinrichtungen offener Bauart, Staub- Reinhaltung der Luft 42/1982 Nr. 8, Springer-VDI-Verlag
[14]	Bohl, W.: Technische Strömungslehre, Kamprath-Reihe Technik, 9. Auflage 1991
[15]	Siegel, W.: Pneumatische Förderung, Vogel-Fachbuch: Verfahrenstechnik, 1. Auflage 1991
[16]	Löffler, F.: Staubabscheidung mit Schlauchfiltern und Taschenfiltern, Vieweg-Verlag, 2. Auflage 1991
[17]	Eck, B.: Ventilatoren, Springer Verlage, 5. Auflage 1991
[18]	Bartknecht, W.: Explosionsschutz, Springer-Verlag, 1993

Literatur

- [19] Dittes W, Goettling D, Wolf H: Arbeitsplatzluftreinhaltung – Schadstofffassungseinrichtungen in der Fertigungstechnik, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Fb 438
- [20] Heisel, U. Dressler, M.: Grundlagenuntersuchungen zum Späneflug bei der Trockenbearbeitung metallischer Werkstoffe zur optimierten Auslegung von Spänefassungselementen und Werkzeugen durch Simulationsrechnung; Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben; Lehrstuhl und Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart; Februar 2006
- [21] Scheurich, H, Dressler, M.: Ermittlung des Späneauswurfs aus dem Werkzeug und Dokumentation des Spanflugverhaltens im Spanraum; Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart; Juni 2000
- [22] Froschmeier, T., Dressler, M.: Bestimmung des cw- Wertes von Holzpartikeln aus spanenden Bearbeitungsverfahren; Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart; Juli 2001
- [23] Heisel, U. Dressler, M.: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Auslegung von Absaughauben bezüglich der Spänefassung durch Simulationsrechnung
- [24] Schmidt, Michael: Luftreinhaltung am Arbeitsplatz, Manuskript zur Vorlesung des Institut für Gebäude -Energetik der Universität Stuttgart
- [25] Lehnhäuser F: Erfassungstechnik und Hinweise zu Dimensionierung, BIA-Report 5/2005
- [26] Leidmann, H: Theorie der Strömungsvorgänge in Holzabsauganlagen, Skriptum FH Rosenheim, 1992
- [27] Tucholke, P.: Untersuchungen zum Energieeinsparpotential von Radialventilatoren in Lüftungs- und Klimageräten, Studienarbeit, Versorgungs- und Umwelttechnik, Berlin, 2010
- [28] Grundmann, R, und Schönholtz, F: Grundlagen der Ventilatorentechnik, Technische Publikation, Bad Hersfeld, Trox tlt-Technik, 2013
- [29] Trogisch, A.: Planungshilfen Lüftungstechnik. Müller-Verlag, Hüthig, 2009
- [30] W. Fritz / H. Kern: Reinigung von Abgasen, Umweltmagazin, Vogel Buchverlag, Würzburg, 2. Auflage 1990
- [31] „Versuche zur katalytischen Nitratentfernung aus Abwasser einer Rauchgasentschwefelungsanlage“, Diplomarbeit J. V. Ohlig, Fachhochschule für Technik, Mannheim 1993
- [32] Planungshinweise der Fa. Infastaub GmbH, Niederstedter Weg 19, 61348 Bad Homburg
- [33] Klaus Sattler: Thermische Trennverfahren, Grundlagen, Auslegung, Apparate, VCH-Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1988
- [34] Rietschel, Raumklimotechnik Band 1: Grundlagen, 16. Auflage, Springer-Verlag
- [35] Recknagel, Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Oldenbourg Industrieverlage GmbH
- [36] E. Samal, Grundriß der praktischen Regelungstechnik, R. Oldenbourg Verlag
- [37] Experimentelle Untersuchungen zum Ablauf von Gas- und Staubexplosionen in druckentlasteten Reaktionsgefäßen, Dissertation Dipl.-Ing. Marc Scheid, Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät (Ingenieurwissenschaftlicher Bereich) der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 2005
- [38] Bothe, Graube, Johannsmeyer: Zündgefahr durch optische Strahlung; Ex-Zeitschrift 2008, Seiten 48-54, Fa. Stahl
- [39] Grundlagen Staub-Explosionsschutz, R.Stahl Explosionsschutz
- [40] Explosionsschutz nach ATEX an Absauganlagen, Fa. Keller-Lufttechnik
- [41] VDI-Richtlinie 3676 Blatt 1:1999-10 Massenkraftabscheider, Beuth-Verlag
- [42] DGUV-Information 209-073, Arbeitsplatzlüftung – Entscheidungshilfen für die betriebliche Praxis, Carl-Heymanns-Verlag, April 2007

8 Anhang

(allgemeingültige Checklisten, etc.)

8.1 Stoff-Eigenschaften, Freisetzungs- und Ausbreitungs-Mechanismen

Stoff-(Gemisch)-Bezeichnung:

Aggregatzustand:

Staub, Späne Aerosol (Rauch, Dampf, Nebel) Gas

Freisetzungsmechanismus:

<input type="checkbox"/> Mechanische Staubbildung	<input type="checkbox"/> Chemische Reaktion	<input type="checkbox"/> Sublimation (fest → gasförmig)	<input type="checkbox"/> Nebelbildung infolge mechanischer Zerstäubung, Kondensation von ungesättigtem Dampf	<input type="checkbox"/> Verdunstung aus einer Flüssig- keitsoberfläche
---	---	---	---	--

Gefährliche Eigenschaften:

<input type="checkbox"/> Entzündbar extrem, leicht, normal	<input type="checkbox"/> Brandfördernd	<input type="checkbox"/> Brennbar, explo- sionsfähig im Ge- misch mit Luft	<input type="checkbox"/> Ätzend	<input type="checkbox"/> Giftig, sehr giftig	<input type="checkbox"/> Reizend, gesund- heitschädlich
<input type="checkbox"/> Gesundheitsschädlich, kanzerogen, mutagen, reproduktionstoxisch, atemwegsbelastend, toxisch, Allergie auslösend					<input type="checkbox"/> Umweltgefährlich

Ausbreitungsmechanismus:

<input type="checkbox"/> Luftgetragen	<input type="checkbox"/> Thermik (Dichtedifferenz)	<input type="checkbox"/> Fallströmung (Dichtedifferenz)	<input type="checkbox"/> Freistrahл (Druckdifferenz)	<input type="checkbox"/> Anfangsimpuls (äußere Kräfte)	<input type="checkbox"/> Diffusion (Konzen- trationsdifferenz)
--	--	---	--	--	--

Randbedingungen von Emission und Quelle:

<i>Zeitdauer der Emission:</i>	<input type="checkbox"/> ständig	<input type="checkbox"/> zeitweise		
<i>Freisetzungsort:</i>	<input type="checkbox"/> ortsfest	<input type="checkbox"/> ortsveränderlich		
<i>Größe und Ausdehnung der Quelle:</i>	<input type="checkbox"/> punktförmig	<input type="checkbox"/> linienförmig	<input type="checkbox"/> großflächig	<input type="checkbox"/> räumlich
<i>Raumluftströmung in der Umgebung der Quelle:</i>	<input type="checkbox"/> Störströmung vorhanden	<input type="checkbox"/> _____ m/s	Luftgeschwindigkeit ca.	
<i>Physikalisch-chemische Eigenschaften:</i>	<input type="checkbox"/> Sorption	<input type="checkbox"/> Agglomeration	<input type="checkbox"/> Reaktivität	<input type="checkbox"/> Abrasivität
<i>Freigesetzte Stoffmenge (Konzentration):</i>	_____	mg/m ³	g/h	ppm

8.2 Wichtige Kennzahlen des freigesetzten Stoffs

Wichtige Kennzahlen des freigesetzten Stoffs				
BESCHAFFENHEIT DES STOFFS				
Temperatur:	Stoff:	_____ [°C]	Luft:	_____ [°C]
Dynamische Viskosität:	Stoff:	_____ [Pa s]	Luft:	_____ [Pa s]
Dichte:	Stoff:	_____ [kg/m ³]	Luft:	_____ [kg/m ³]
Dichteverhältnis:	$DV = \frac{\rho_{\text{Stoff}}}{\rho_{\text{Luft}}}$	<input type="checkbox"/> > 1 <input type="checkbox"/> < 1		
Molare Masse:	Stoff:	_____ [kg/kmol]	Luft:	_____ [kg/kmol]
Dampfdruck: (bei Flüssigkeiten)		_____ [hPa]		
GRENZWERTE				
Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)		_____ Wert	_____ Einheit	
Emissionsgrenzwert (BlmSchG)		_____ Wert	_____ Einheit	
Emissionsgrenzwert (GefStoffV)		_____ Wert	_____ Einheit	
KENNWERTE ZUM BRAND- UND EXPLOSIONSSCHUTZ				
<i>Flüssigkeiten:</i>				
	Flammpunkt (FP): _____ [°C]	Brennpunkt (BP): _____ [°C]		
	Unterer Explosionspunkt (UEP): _____	Oberer Explosionspunkt (OEP): _____		
	Wert und Einheit	Wert und Einheit		
<i>Abgelagerte Stäube:</i>				
	Glimmtemperatur (GT): _____ [°C]	Brennverhalten Brennzahl (BZ): _____		
	Schwelppunkt (SP): _____ [°C]	Staubungszahl: _____ [-]		
<i>Aufgewirbelte Stäube:</i>				
	Feinheit (mediane Korngröße): _____ [µm]	Wassergehalt: _____ [%]		
	Mindestzündtemperatur(MZT): _____ [°C]			
<i>Dämpfe, Nebel, Stäube, Gase:</i>				
	Zündtemperatur (ZT): _____ [°C]	Mindestzündenergie (MZE): _____ [mJ]		
	Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK): _____ [%]	Selbstentzündungs- temperatur (SET): _____ [°C]		
	Untere Explosionsgrenze (UEG): _____	Obere Explosionsgrenze (OEG): _____ (nicht für Stäube)		
	Wert und Einheit	Wert und Einheit		
	Max. Explosions(über)druck (p _{max}): _____ [bar]	Max. Druckerhöhungsgeschwindigkeit (K _{max}): _____ [bar m/s]		

8.3 Volumenströme und korrespondierende Druckverluste von hydraulisch glatten Rohrleitungen gebräuchlicher Nennweiten bei üblichen Luftgeschwindigkeiten

Luftgeschwindigkeit (m/s)	Volumenströme in m ³ /h							Druckverluste in Pa/lfm						
	DN 80	DN 100	DN 120	DN 140	DN 160	DN 180	DN 200	DN 80	DN 100	DN 120	DN 140	DN 160	DN 180	DN 200
5	90	141	204	277	362	458	565	5	3	3	2	2	2	1
10	181	283	407	554	724	916	1.131	16	12	9	8	7	6	5
15	271	424	611	831	1.086	1.374	1.696	32	24	20	16	14	12	11
17	308	481	692	942	1.230	1.557	1.923	40	31	24	20	17	15	13
18	326	509	733	998	1.303	1.649	2.036	44	34	27	23	19	17	15
19	344	537	774	1.053	1.375	1.741	2.149	49	37	30	25	21	18	16
20	362	565	814	1.108	1.448	1.832	2.262	53	41	33	27	23	20	18
21	380	594	855	1.164	1.520	1.924	2.375	58	45	36	30	25	22	20
22	398	622	896	1.219	1.592	2.015	2.488	63	48	39	32	28	24	21
23	416	650	936	1.275	1.665	2.107	2.601	69	53	42	35	30	26	23
25	452	707	1.018	1.385	1.810	2.290	2.827	80	61	49	41	35	30	27
33	543	848	1.221	1.663	2.171	2.748	3.393	111	85	68	57	49	42	37
35	633	990	1.425	1.940	2.533	3.206	3.958	146	112	90	75	65	56	50

8.4 Strömungswiderstands-Beiwerte von Rohrbauteilen

<p>90°</p>		<p>45°</p>		<p>5 □</p>		<p>7 ○</p>		<p>8</p>	
r/d	ζ	r/d	ζ	r/d	ζ	○	ζ	$A = A_1 + A_2$ bezogen auf V_1 :	
0,5	0,39	2d	0,05	Leitblech		0,5	1,1	V_1/V	ζ
2d	0,33	Ecke scharf		gerundet		1,0	0,4	0,4	6,3
4d	0,19	-	0,5	2d	0,8	1,5	0,25	0,6	2,8
<p>90°</p>		<p>135°</p>		Ecke sch.		Leitblech		bezogen auf V_2 :	
r =	ζ	r =	ζ	1,3	0,5			ζ = 0...0,5	
d	0,55	d	0,35	<p>6 □</p>		□			
2d	0,45	2d	0,25	ζ = 0,15		r/d	ζ		
3d	0,35	3d	0,25			0,5	1,1		
						1,0	0,25		
						1,5	0,15		
						2,0	0,1		

<p>9</p>		<p>11</p>		<p>13</p>		<p>15</p>		<p>17</p>	
V/V_A	ζ	V_2/V_1	ζ	r/d	ζ	A_2/A_1	ζ ₂	r/d	ζ
0,6	0,8	0,4	5,0	0,5	1,3	0,2	0,45	1,5	0,4
0,8	0,3	0,6	2,2	0,75	0,9	0,4	0,3	Öffnungen	
1,0	0,1	0,8	1,2	1,0	0,8	0,6	0,2	<p>18</p>	
<p>10</p>		<p>Diffusor</p>		<p>Konfusor</p>		<p>16</p>		a) ζ ○ = 0,9 ζ □ = 1,3 b) ζ = 0,1 ζ = 0,6 c) ζ = 1,0	
ζ ₁ = 0									
r/d	ζ	$A_2/A_1 \geq 0,1$		ζ = 0,01 bis 0,08		r/d	ζ		
1	0,3					2	0,6		
2	0,15	ζ ≈ 0,1				4	0,4		
3	0,01					6	0,2		

8.6 Maximal zulässige Emissionen nach TA-Luft (24. Juli 2002)

Stoffe	Maximaler Massenstrom	Maximale Massenkonzentration
STAUBFÖRMIGE STOFFE		
Gesamtstaub, einschließlich Feinstaub	0,20 kg/h	20 mg/m ³
Quecksilber und seine Verbindungen Thallium und seine Verbindungen	0,25 g/h	0,05 mg/m ³
Blei Cobalt Nickel Selen Tellur und ihre jeweiligen Verbindungen	2,5 g/h	0,5 mg/m ³
Antimon Chrom Cyanide Fluoride Kupfer Mangan Vanadium Zinn und ihre jeweiligen Verbindungen	5 g/h	1 mg/m ³
GASFÖRMIGE ANORGANISCHE STOFFE		
Arsenwasserstoff Chlorcyan Phosgen Phosphorwasserstoff	2,5 g/h	0,5 mg/m ³
Brom und seine gasförmigen Verbindungen Chlor Cyanwasserstoff Fluor und seine gasförmigen Verbindungen Schwefelwasserstoff	15 g/h	3 mg/m ³
Ammoniak gasförmige anorganische Chlorverbindungen	0,15 kg/h	30 mg/m ³
Schwefeloxide Stickstoffoxide	1,8 kg/h	0,35 g/m ³
ORGANISCHE STOFFE		
Organische Stoffe, ausgenommen staubförmige organische Stoffe	0,50 kg/h	50 mg/m ³
Stoffe nach Anhang 4 der TA-Luft	0,10 kg/h	20 mg/m ³

Stoffe	Maximaler Massenstrom	Maximale Massenkonzentration
1-Brom-3-Chlorpropan 1,1-Dichlorethan 1,2-Dichlorethan, cis und trans Essigsäure Methylformiat Nitroethan Nitromethan Octamethylcyclotetrasiloxan 1,1,1-Trichlorethan 1,3,5- Trioxan	0,50 kg/h	0,10 g/m ³
KREBSERZEUGENDE STOFFE		
Arsen und seine Verbindungen Benzo(a)pyren Cadmium und seine Verbindungen Wasserlösliche Cobaltverbindungen Chrom(VI)verbindungen	0,15 g/h	0,05 mg/m ³
Acrylamid, Acrylnitril, Dinitrotoluole, Ethylenoxid, Nickel und seine Verbindungen 4-Vinyl-1,2-cyclohexen-diepoxyd	1,5 g/h	0,5 mg/m ³
Benzol Bromethan 1,3-Butadien 1,2-Dichlorethan 1,2-Propylenoxid (1,2-Epoxypropan) Styroloxid o-Toluidin Trichlorethen Vinylchlorid	2,5 g/h	1 mg/m ³
Dioxine und Furane nach Anhang 5 TA-Luft	0,25 µg/h	0,1 ng/m ³
FASERN		
Asbestfasern (z. B. Chrysotil, Krokydolith, Amosit)		1 · 10 ⁴ Fasern/m ³
Biopersistente Keramikfasern (z. B. Aluminiumsilikat, Aluminiumoxid, Siliciumcarbid, Kaliumtitanat)		1,5 · 10 ⁴ Fasern/m ³
Biopersistente Mineralfasern		5 · 10 ⁴ Fasern/m ³

8.7 Explosionsschutz-Dokument

Allgemeine Hinweise:

Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber müssen nach § 6 Abs. 9 Gefahrstoffverordnung unabhängig von der Zahl der Beschäftigten im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 5 Arbeitsschutzgesetz ein Explosionsschutzdokument erstellen. Diese Forderung gilt für alle Bereiche, bei denen ohne Anwendung von Schutzmaßnahmen gefährliche explosionsfähige Gemische entstehen oder vorhanden sein können.

Im Bereich des Absaugens und Lagerns sind das besonders:

- geschlossene Lagerstätten (z. B. Silos),
- Anlagen zur Beseitigung und Filterung (z. B. Absauganlagen) sowie
- Anlagen zum Abtransport des Materials (Förderanlagen).

In Einzelfällen kann diese Forderung auch andere Bereiche (z. B. Filteraufstellräume, Arbeitsräume, Heizräume) betreffen.

Die Inhalte des Explosionsschutzdokuments sind Teil der umfassenden Gefährdungsbeurteilung, die von Unternehmerinnen und Unternehmern verpflichtend durchzuführen ist. Das Explosionsschutzdokument enthält das Ergebnis der Beurteilung der Gefährdungen durch explosionsfähige Gemische und die Darlegung des Explosionsschutzkonzepts.

Außerdem sollen Arbeitgeber und Arbeitgeberinnen mithilfe dieses Dokuments nachweisen, mit welchen Maßnahmen sichergestellt ist, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Explosion minimiert wird und ihre eventuellen Auswirkungen auf ein möglichst ungefährliches Maß reduziert werden.

Sowohl die Beurteilung von Gefährdungen durch explosionsfähige Gemische als auch die Festlegung von geeigneten Schutzmaßnahmen muss von fachkundigen Personen (§ 2, Abs. 16 und § 6, Abs. 11 GefStoffV) vorgenommen werden. Sind solche Personen im Betrieb nicht vorhanden, muss externe, fachkundige Unterstützung hinzugezogen werden. Dazu können die Unfallversicherungsträger, die zuständigen staatlichen Ämter sowie privatwirtschaftliche Beratungsinstitutionen angesprochen werden.

Das Explosionsschutzdokument ist grundsätzlich für alle Betriebszustände und Tätigkeiten zu erstellen. Dabei sind auch Betriebszustände zu berücksichtigen, bei denen es in der Vergangenheit betriebs- oder branchenspezifisch zu Ereignissen und Schadenfällen gekommen ist. Das ist bei Absauganlagen, Förderanlagen und Silos grundsätzlich der Fall.

Ein Explosionsschutzdokument ist auch dann erforderlich, wenn technische oder organisatorische Maßnahmen zur sicheren Vermeidung von gefährlichen explosionsfähigen Gemischen getroffen werden. Technische Maßnahmen zur sicheren Vermeidung von explosionsfähiger Atmosphäre können zum Beispiel Absaugungen und andere Lüftungsanlagen sein. Sie müssen gemäß Anhang 2 Abschnitt 3 Nr. 4.1 und Nr. 5.3 BetrSichV auf Funktion und Wirksamkeit geprüft werden. Dabei handelt es sich um Prüfungen zum Explosionsschutz, die nach § 6 Abs. 9 GefStoffV zu den Inhalten eines Explosionsschutzdokuments gehören.

Für im Einzelfall auftretende, seltene, oder örtlich und zeitlich begrenzte Tätigkeiten unter wechselnden Bedingungen, wie Störungsbeseitigung, sind Maßnahmen auf der Grundlage der Gefährdungsbeurteilung festzulegen und durchzuführen. Hierzu kann ein Freigabeverfahren gemäß Anhang 1 Nr. 1.4 Abs. 2 GefStoffV verwendet werden. Für Instandhaltungsarbeiten sind die Vorgaben der TRBS 1112 Teil 1 zu berücksichtigen.

Die Verantwortung für die Erstellung eines Explosionsschutzdokuments liegt zunächst bei den Arbeitgeberinnen und Arbeitgebern. Sie können die Aufgabe zur Erstellung des Explosionsschutzdokuments zum Beispiel per betrieblicher Organisation oder Arbeitsvertrag delegieren. Besitzen sie selbst nicht die erforderliche Fachkunde, müssen sie sich fachkundig beraten lassen. Für die Entwicklung eines tragfähigen Explosionsschutzkonzepts ist die Beteiligung von Personen, die Tätigkeiten mit gefährlichen explosionsfähigen Gemischen durchführen oder von Personen, die für diese Betriebsbereiche verantwortlich sind, erforderlich.

Wesentlicher Inhalt des Explosionsschutzdokuments ist die Darstellung des Explosionsschutzkonzepts, das heißt, der Gesamtheit der technischen und organisatorischen Maßnahmen, die auf Basis der Gefährdungsbeurteilung getroffen wurden.

Das Explosionsschutzdokument muss in Bezug auf die Ableitung und die Beschreibung des Explosionsschutzkonzepts nachvollziehbar sein. Eine übersichtliche Gliederung und eine gute Lesbarkeit unterstützen das. Hierzu trägt eine ausgewogene Aufteilung der Inhalte und Informationen auf Text und Anhänge des Explosionsschutzdokuments bei. Detailliertere Informationen können zum Beispiel in Anhängen zum Explosionsschutzdokument abgelegt werden.

Zunächst müssen Informationen über das Arbeitsumfeld, den Arbeitsplatz, die Arbeitsmittel, das Verfahren, die Arbeitsstoffe und die durchzuführenden Tätigkeiten gesammelt werden. Hieraus wird dann abgeleitet, welche Schutzmaßnahmen erforderlich sind und für welche Arbeitsmittel, Verfahrensschritte, Tätigkeiten und Stoffe diese Schutzmaßnahmen gelten.

Das Explosionsschutzdokument kann auch Bestandteil einer allgemeinen oder umfassenderen Sicherheitsdokumentation sein. Die Ablage ist auch in elektronischer Form, zum Beispiel in einer Datenbank, möglich.

Verweise auf bereits vorhandene Dokumentationen (z. B. Betriebsanleitungen für Maschinen, Betriebsanweisungen, Lagepläne, Erlaubnisse nach BetrSichV, Genehmigungen) können Bestandteil des Explosionsschutzdokuments sein.

Für Betriebe mit mehreren Anlagen kann eine Aufteilung des Explosionsschutzdokuments in einen allgemeinen und einen oder mehrere anlagenspezifische Teile sinnvoll sein. Im allgemeinen Teil werden übergreifende Maßnahmen dokumentiert, wie Unterweisung und Arbeitsfreigabesysteme, im anlagenspezifischen Teil zum Beispiel die verwendeten Stoffe und die Zoneneinteilung.

Das Dokument ist vor Inbetriebnahme von Räumen und Anlagen zu erstellen und bei organisatorischen oder technischen Änderungen anzupassen.

Nähere Einzelheiten können der DGUV Information 213-106 „Explosionsschutzdokument“ entnommen werden. Muster-Explosionsschutzdokumente für unterschiedliche Stoffe und Anlagen-Konstellationen siehe www.bghm.de, Webcode 425. Geeignete Formblätter für die Beurteilung von Gas/Dampf/Nebel-Luft-Gemischen bzw. Staub-Luft-Gemischen sind nachfolgend abgedruckt.

Explosionsschutzdokument

Formblatt 1

Allgemeine Angaben				
Name und Adresse des Unternehmens				
Gewerbebezweig				
Zuständiger Unfallversicherungsträger				
Mitgliedsnummer				
Betriebsstätte				
Verantwortlich für die Beurteilung				
	Explosionsgefährdete Bereiche	Explosionsgefahr durch *		Siehe Blatt Nr.
		Gase, Dämpfe, Nebel	Stäube	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
Datum: _____			Unterschrift: _____	
			Blatt Nr. _____	

Formblatt 1: Allgemeine Angaben

Formblatt 2: Beurteilung der Explosionsgefahr durch Gase, Dämpfe, Nebel in Räumen/Bereichen

Formblatt 3: Beurteilung der Explosionsgefahr durch Stäube in Anlagen/Räumen

* Zutreffendes ankreuzen

Explosionsschutzdokument

Beurteilung der Explosionsgefahr durch Gase, Dämpfe, Nebel in Räumen/Bereichen

Formblatt 2, Seite 1 / 2

Explosionsgefährdeter Bereich:			
Raum:	Verantwortliche(r):		
Gas, Nebel, Dampf/ Beschichtungsstoff	<input type="checkbox"/> Sicherheitsdatenblatt vorhanden (1) <input type="checkbox"/> im Gefahrstoffkataster eingetragen		
(für Anwendung des Flammpunktkriteriums)	<input type="checkbox"/> Flammpunkt < 21 °C	<input type="checkbox"/> Flammpunkt ≥ 21 °C	
Beschreibung der Anlage /der Verfahren			
ZONENEINTEILUNG IN RAUM / BEREICH	Zone ⁽³⁾	KEINE EX-ZONE	BEURTEILUNGSGRUNDLAGE ⁽⁴⁾
1.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
TECHNISCHE SCHUTZMASSNAHMEN			
• Verhinderung oder Einschränkung der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre (z. B. durch natürliche oder technische Lüftung oder Absaugung) (5)			
<input type="checkbox"/> nicht zutreffend			
• Verhinderung der Zündung explosionsfähiger Atmosphäre (Vermeidung wirksamer Zündquellen) (6)			
<input type="checkbox"/> nicht zutreffend			
Ausführung der elektrischen Geräte: (7)			
<input type="checkbox"/> Geräte entsprechen der RL 2014/34/EU (für Geräte, die ab 01.07.2003 in Verkehr gebracht wurden).			
<input type="checkbox"/> Geräte entsprechen der Elex-V (für Altgeräte, die bis 30.06.2003 in Verkehr gebracht wurden).			
<input type="checkbox"/> Die Bewertung der Altgeräte zur sicheren Verwendung in der jeweiligen EX-Zone ist erfolgt.			
Ausführung der nichtelektrischen Geräte: (8)			
<input type="checkbox"/> Geräte entsprechen der RL 2014/34/EU (für Geräte, die ab 01.07.2003 in Verkehr gebracht wurden).			
<input type="checkbox"/> Die Bewertung der Altgeräte zur sicheren Verwendung in der jeweiligen EX-Zone ist erfolgt.			
Datum: _____		Unterschrift: _____	
		Blatt Nr. _____	

() siehe nachfolgende Erläuterungen zum Formblatt 2

Formblatt 2, Seite 2 / 2

Explosionsgefährdeter Bereich:

Raum:

Verantwortliche(r):

TECHNISCHE SCHUTZMASSNAHMEN (FORTSETZUNG)

• Konstruktive Maßnahmen, die die Explosionsauswirkungen auf ein unbedenkliches Maß beschränken (9)

 nicht zutreffend

• Zusätzliche technische Maßnahmen zur Verringerung des Restrisikos (10)

 nicht zutreffend

ORGANISATORISCHE SCHUTZMASSNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER SICHERHEIT UND DES GESUNDHEITSSCHUTZES DER BESCHÄFTIGTEN IN EXPLOSIONSGEFÄHRDETEN BEREICHEN

Anlage / Raum

Schriftliche Betriebsanweisung
vorhanden | zu erstellen bis

Unterweisung der Beschäftigten erfolgt am ... (11)

• Zusätzliche organisatorische Maßnahmen für gefährliche Tätigkeiten (z. B. Arbeitsfreigaben) (12)

• Kennzeichnung explosionsgefährdeter Bereiche entsprechend GefStoffV Anhang I Nr. 1.6 Absatz 5 (13)

 vorhanden vorzunehmen bis _____

• Regelmäßige Reinigung der explosionsgefährdeten Bereiche (14)

Ist die regelmäßige Reinigung gemäß Betriebsanweisung sichergestellt?

ja

nein

• Prüfung der Arbeitsplätze/Arbeitsmittel (15)

Ist vor der erstmaligen Nutzung eine Prüfung durch eine zur Prüfung befähigte Person erfolgt?

ja

nein

Erfolgen regelmäßige Prüfungen?

ja

nein

Prüfintervalle: _____

• Weitere Dokumente/Anlagen:

 Sicherheitsdatenblätter (Ordner _____) Gefahrstoffkataster (Ordner _____) Lageplan (Ordner _____) Ex-Zonenplan (Ordner _____) Prüfbescheinigungen (Ordner _____) _____

Datum: _____ Unterschrift: _____

Blatt Nr. _____

() siehe nachfolgende Erläuterungen zum Formblatt 2

Erläuterungen zu dem Formblatt 2

- (1) Hier ist der Beschichtungsstoff bzw. sind die Gase, Dämpfe, Nebel zu nennen, die explosionstechnisch die kritischsten Stoffeigenschaften besitzen (z. B. niedrigster Flammpunkt, niedrigste UEG).
- (2) Hier ist die Anlage/Einrichtung mit ihren wesentlichen Bestandteilen aufzuführen und die eingesetzten Verfahren sind kurz zu beschreiben.
- (3) Hier sind die jeweiligen Zonen für den Raum/Bereich zu nennen, z. B. bei der Verarbeitung von Beschichtungsstoffen mit einem Flammpunkt < 21°C: Zone 1 im Umkreis von 2,5 m um die Verarbeitungsstelle und darüber hinaus Zone 2 im Umkreis bis 5 m um die Verarbeitungsstelle.

Zoneneinteilung:

Explosionsgefährdete Bereiche können nach Häufigkeit und Dauer des Auftretens von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre in Zonen unterteilt werden.

Zone 0 ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln **ständig**, über lange Zeiträume oder **häufig** vorhanden ist.

Zone 1 ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb **gelegentlich** eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann.

Zone 2 ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln **normalerweise nicht** oder aber **nur kurzzeitig** auftritt.

- (4) Als Beurteilungsgrundlage für die Zoneneinteilung können DGUV Vorschriften, Regeln und Informationen, technische Regeln und Normen herangezogen werden, z. B. DGUV Regel 113-001, DGUV Information 209-046, EN 12215.
- (5) Die Verhinderung oder die Einschränkung der Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre kann z. B. durch die folgenden technischen Maßnahmen erreicht werden:

- Absaugung an der Entstehungsstelle
- Gezielte technische Lüftungsmaßnahmen

Dabei ist die Abschätzung der maximal freigesetzten Menge (Quellstärke) von Gasen, Dämpfen und Nebeln, die explosionsfähige Atmosphäre bilden können, notwendig.

- (6) Beim Einsatz von elektrischen und nichtelektrischen Geräten und Werkzeugen innerhalb explosionsgefährdeter Bereiche müssen Zündquellen sicher vermieden werden. Das bedeutet, dass z. B. elektrische Betriebsmittel, bei deren Betrieb Funken entstehen können (z. B. elektrische Handmaschinen mit Kollektormotoren), unvorschriftsmäßige Handleuchten und funkenreißende Handwerkzeuge aus diesen Bereichen ferngehalten werden müssen.
- (7) Sind elektrische Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen vorhanden, müssen diese Geräte so beschaffen sein, dass sie keine wirksamen Zündquellen darstellen können. Handelt es sich um Geräte oder Komponenten, die bereits vor dem 30.06.2003 in Verkehr gebracht wurden, muss die EG-Richtlinie 2014/34/EU nicht rückwirkend auf diese Geräte angewandt werden. Es muss aber geprüft werden, ob die Geräte oder die Komponenten in der vorliegenden Zone sicher verwendet werden können. Elektrische Geräte, die ab dem 01.07.2003 in Verkehr gebracht wurden, müssen der RL 2014/34/EU entsprechen und für den Einsatz in den jeweiligen Zonen geeignet sein (siehe Tabelle). Die Hersteller- bzw. Konformitätserklärungen müssen vorliegen und die Geräte müssen vollständig gekennzeichnet sein.

Gerätegruppe II	Geräte-kategorie 1 G	Geeignet für den Einsatz in Zone 0, 1 und 2
	Geräte-kategorie 2 G	Geeignet für den Einsatz in Zone 1 und 2
	Geräte-kategorie 3 G	Geeignet für den Einsatz in Zone 2

- (8) Auch für nichtelektrische Geräte und Werkzeuge in explosionsgefährdeten Bereichen, die seit 01.07.2003 in Verkehr gebracht wurden, muss wie bei elektrischen Geräten eine Hersteller- bzw. Konformitätserklärung im Sinne der Richtlinie 2014/34/EU

vorliegen. Alle Geräte müssen für den Einsatz in den jeweiligen Zonen geeignet (siehe vorherige Tabelle) und vollständig gekennzeichnet sein.

- (9) Kann die Bildung explosionsfähiger Atmosphäre oder das Vorhandensein wirksamer Zündquellen in Anlagen und Behältern nicht sicher ausgeschlossen werden, müssen konstruktive Maßnahmen getroffen werden, die die Auswirkungen möglicher Explosionen auf ein unbedenkliches Maß reduzieren. Solche Maßnahmen sind:
- Explosionsfeste Bauweise von Behältern und Apparaturen
 - Explosionsunterdrückung durch schnelles Einblasen von Löschmitteln in Behälter und Apparaturen
 - Explosionsdruckentlastung von Behältern und Apparaturen durch Freigabe von definierten Querschnitten zur Abfuhr des Drucks und des Flammenstrahls in eine ungefährliche Richtung (meist in Verbindung mit explosionstechnischer Entkopplung)
 - Verhinderung der Flammen- und Explosionsübertragung (Explosionstechnische Entkoppelung), z. B. durch mechanisches Schnellabsperren oder Ausschleusen

Die vorbeschriebenen konstruktiven Schutzmaßnahmen können **nur** in Bereichen eingesetzt werden, in denen sich bei bestimmungsgemäßem Betrieb keine Personen aufhalten dürfen.

- (10) Zusätzliche technische Maßnahmen können z. B. in der Zugabe von gasförmigen Inertstoffen (Stickstoff, Kohlendioxid) oder Wasserdampf bestehen. Diese Schutzmaßnahmen können wegen der Sauerstoffverdrängung nur in Bereichen eingesetzt werden, in denen sich bei bestimmungsgemäßem Betrieb keine Personen aufhalten dürfen.
- (11) Zur Unterweisung der Beschäftigten, die in explosionsgefährdeten Bereichen tätig werden sollen, müssen schriftliche Betriebsanweisungen vorliegen. Darin sind Informationen zu den Explosionsgefahren sowie Maßnahmen zu ihrer Abwendung aufzunehmen. Personen, die mit der Durchführung von Instandsetzungs-, Wartungs-, Umbau- und Reinigungsarbeiten beauftragt werden, müssen eine angemessene spezielle Unterweisung erhalten. Die Unterweisung ist zu

protokollieren. Die Teilnehmenden bestätigen durch Unterschrift die Teilnahme an der Unterweisung.

- (12) Für gefährliche Tätigkeiten (z. B. Schweiß-, Schneid-, Trenn-, Schleif- und sonstige Feuerarbeiten) in explosionsgefährdeten Bereichen müssen schriftliche Arbeitsfreigaben (Erlaubnisscheinverfahren) eingeführt sein. Ein Muster für einen Erlaubnisschein kann der DGUV Information 209-046 entnommen werden.
- (13) An den Zugängen zu explosionsgefährdeten Bereichen muss folgende Kennzeichnung (siehe DGUV Information 209-046) vorgenommen werden:
- Warnzeichen „Warnung vor explosionsfähiger Atmosphäre“
 - Verbotsschilder „Feuer, offenes Licht und Rauchen verboten“
 - Verbotsschilder „Zutritt für Unbefugte verboten“.
- (14) Materialablagerungen von brennbaren Beschichtungsmitteln und Stäuben in explosionsgefährdeten Bereichen können zu zusätzlichen Brandgefahren und im Fall der Aufwirbelung auch zu Explosionsgefahren führen. Um diese Gefahren zu unterbinden, müssen die Ablagerungen regelmäßig entfernt werden. Der Umfang und die Intervalle der Reinigungsmaßnahmen müssen in der Betriebsanweisung festgelegt sein.

- (15) Vor der erstmaligen Nutzung von Arbeitsplätzen in explosionsgefährdeten Bereichen muss die Explosionssicherheit der Arbeitsplätze einschließlich der Arbeitsmittel überprüft werden. Die Überprüfung ist von einer zur Prüfung befähigten Person durchzuführen, die über besondere Kenntnisse auf dem Gebiet des Explosionsschutzes verfügt.

Bei überwachungsbedürftigen Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen sind neben der Erstprüfung auch wiederkehrende Prüfungen erforderlich (spätestens alle 3 Jahre).

Bei anderen Anlagen und Einrichtungen in explosionsgefährdeten Bereichen muss der Betreiber nach den Herstellerangaben und -empfehlungen entscheiden, wann wiederkehrende Prüfungen notwendig werden. Der Betreiber hat für fristgerechte Nachprüfungen Sorge zu tragen. Die Prüfungen sind mit ihren Prüfergebnissen zu dokumentieren.

Explosionsschutzdokument

Beurteilung der Explosionsgefahr durch Stäube in Anlagen/Räumen

Formblatt 3, Seite 1 / 2

Bezeichnung der Anlage:				
Aufstellort/Raum:		Verantwortliche(r):		
Brennbare Stäube				(1)
Stoffdaten des kritischsten Staubs	Zündtemperatur: _____	Untere Explosionsgrenze: _____		(2)
	Glimmtemperatur: _____	Staubexplosionsklasse: _____		
		Mindestzündenergie: _____		
Beschreibung der Anlage				(3)
ZONENEINTEILUNG IN RAUM / BEREICH	ZONE (4)	KEINE EX-ZONE	BEURTEILUNGSGRUNDLAGE	
1.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
2.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
3.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
4.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
5.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
6.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
7.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
TECHNISCHE SCHUTZMASSNAHMEN				
• Verhinderung oder Einschränkung der Bildung explosionsfähiger Atmosphère (z. B. durch wirksame Absaugung)				(6)
<input type="checkbox"/> nicht zutreffend				
• Verhinderung der Zündung explosionsfähiger Atmosphère (Vermeidung wirksamer Zündquellen)				(7)
<input type="checkbox"/> nicht zutreffend	Ausführung der elektrischen Geräte:			(8)
	<input type="checkbox"/> Geräte entsprechen der RL 2014/34/EU (für Geräte, die ab 01.07.2003 in Verkehr gebracht wurden).			
	<input type="checkbox"/> Geräte entsprechen der Elex-V (für Altgeräte, die bis 30.06.2003 in Verkehr gebracht wurden).			
	<input type="checkbox"/> Die Bewertung der Altgeräte zur sicheren Verwendung in der jeweiligen EX-Zone ist erfolgt.			
<input type="checkbox"/> nicht zutreffend	Ausführung der nichtelektrischen Geräte:			(9)
	<input type="checkbox"/> Geräte entsprechen der RL 2014/34/EU (für Geräte, die ab 01.07.2003 in Verkehr gebracht wurden).			
	<input type="checkbox"/> Die Bewertung der Altgeräte zur sicheren Verwendung in der jeweiligen EX-Zone ist erfolgt.			
Datum: _____		Unterschrift: _____		Blatt Nr. _____

() siehe nachfolgende Erläuterungen zum Formblatt 3

Formblatt 3, Seite 2 / 2

Bezeichnung der Anlage:		
Aufstellort/Raum:	Verantwortliche(r):	
TECHNISCHE SCHUTZMASSNAHMEN (FORTSETZUNG)		
• Konstruktive Maßnahmen, die die Explosionsauswirkungen auf ein unbedenkliches Maß beschränken (10)		
<input type="checkbox"/> nicht zutreffend	<input type="checkbox"/> Explosionsdruckfeste Bauweise	(11)
<input type="checkbox"/> nicht zutreffend	<input type="checkbox"/> Explosionsdruckstoßfeste Bauweise	
<input type="checkbox"/> nicht zutreffend	<input type="checkbox"/> Explosionsunterdrückung	
<input type="checkbox"/> nicht zutreffend	<input type="checkbox"/> Explosionsdruckentlastung	
<input type="checkbox"/> nicht zutreffend	<input type="checkbox"/> Verhinderung der Flammen- und Explosionsübertragung	
<input type="checkbox"/> nicht zutreffend	<input type="checkbox"/> Sonstige Maßnahmen	
• Zusätzliche technische Maßnahmen zur Verringerung des Restrisikos (12)		
<input type="checkbox"/> nicht zutreffend		
ORGANISATORISCHE SCHUTZMASSNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER SICHERHEIT UND DES GESUNDHEITSSCHUTZES DER BESCHÄFTIGTEN IN EXPLOSIONSGEFÄHRDETEN BEREICHEN		
Anlage / Raum	Schriftliche Betriebsanweisung	Unterweisung der Beschäftigten erfolgt am ... (13)
	vorhanden	zu erstellen bis
	<input type="checkbox"/>	_____
	<input type="checkbox"/>	_____
• Zusätzliche organisatorische Maßnahmen für gefährliche Tätigkeiten (z. B. Arbeitsfreigaben) (14)		
• Kennzeichnung explosionsgefährdeter Bereiche entsprechend GefStoffV Anhang I Nr. 1.6 Absatz 5 (15)		
<input type="checkbox"/> vorhanden		
<input type="checkbox"/> vorzunehmen bis _____		
• Regelmäßige Reinigung der explosionsgefährdeten Bereiche/Beseitigung von Staubablagerungen (16)		
Ist die regelmäßige Reinigung gemäß Betriebsanweisung sichergestellt? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
• Prüfung der Arbeitsplätze/Arbeitsmittel (17)		
Ist vor der erstmaligen Nutzung eine Prüfung durch eine zur Prüfung befähigte Person erfolgt? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Erfolgen regelmäßige Prüfungen? <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein		
Prüfintervalle: _____		
• Weitere Dokumente/Anlagen:		
<input type="checkbox"/> Lageplan (Ordner _____)	<input type="checkbox"/> Ex-Zonenplan (Ordner _____)	
<input type="checkbox"/> Prüfbescheinigungen (Ordner _____)	<input type="checkbox"/> _____	
Datum: _____	Unterschrift: _____	Blatt Nr. _____

Erläuterungen zu dem Formblatt 3

- (1) Hier ist der brennbare Staub (Korngröße $\leq 0,5$ mm) zu nennen, der explosionstechnisch die kritischsten Stoffeigenschaften besitzt (z. B. niedrigste Zündtemperatur, niedrigste UEG).
- (2) Zündtemperatur (ZT): niedrigste Temperatur zum Entzünden eines Staub-Luft-Gemischs

Glimmtemperatur (GT): niedrigste Temperatur zum Entzünden einer Staubschicht von 5 mm Dicke

Untere Explosionsgrenze (UEG): niedrigste Konzentration eines Stoffes in Luft, bei der durch Zündung eine Explosion ausgelöst werden kann

Staubexplosionsklasse (St): Klasseneinteilung nach Explosionsfähigkeit

Mindestzündenergie: Niedrigster Wert der kapazitiv gespeicherten Energie zum Entzünden eines Staub-Luft-Gemischs bei Atmosphärendruck und Raumtemperatur

Spezielle Stoffdaten von Stäuben können dem BIA-Report 12/97 „Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben“ im Internet unter: <http://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-staub-ex/index.jsp> und Stoffdaten von Holzstaub der DGUV Information 209-045 entnommen werden.

- (3) Hier ist die Kurzbeschreibung der Einrichtung/Anlage mit ihren wesentlichen Bestandteilen aufzuführen.
- (4) Hier sind die jeweiligen Zonen für den Raum zu nennen, z. B. bei Filteraufstellräumen in denen sich Staubablagerungen bilden können: Zone 22, Silos zur Holzstaublagerung bei kontinuierlicher bzw. zeitlich überwiegender Befüllung: Zone 20.

Zoneneinteilung:

Explosionsgefährdete Bereiche können nach Häufigkeit und Dauer des Auftretens von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre in Zonen unterteilt werden.

Zone 20 ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der

Luft enthaltenem Staub **ständig, über lange Zeiträume oder häufig** vorhanden ist.

Zone 21 ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb **gelegentlich** eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem Staub bilden kann.

Zone 22 ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem Staub **normalerweise nicht** oder aber **nur kurzzeitig** auftritt.

- (5) Beispiele zur Zoneneinteilung beim Auftreten von Holzstäuben sind in der DGUV Information 209-045 enthalten. Als weitere Beurteilungsgrundlage für die Zoneneinteilung können DGUV Regeln (z. B. DGUV Regel 113-001) und Informationen, Normen und technische Regelwerke (z. B. VDI-Richtlinien) herangezogen werden.
- (6) Die Verhinderung oder die Einschränkung der Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre in Räumen kann z. B. durch die folgenden technischen Maßnahmen erreicht werden:
- Absaugung von Stäuben an der Entstehungsstelle,
 - Verhinderung von Staubaustritten und -ablagerungen.

Dabei kann die Leistung und Konzeption von Absauganlagen wesentlich dazu beitragen, dass Freisetzen von Stäuben stark eingeschränkt bzw. vermieden werden (z. B. ausreichende Ventilator-Leistungen, Betrieb der Anlagen im Unterdruck).

- (7) Wirksame Zündquellen zur Zündung explosionsfähiger Staub-Luft-Gemische können sein:
- Offenes Feuer, Rauchen, Glimmnester
 - Mechanische Funken durch Werkzeuge, Schlag- und Reibfunken durch Metallteile
 - Funkenflug bei Schweiß- und Trennschleifarbeiten
 - Heißgelaufene Antriebe/heiße Oberflächen
 - Elektrostatische Entladungen mit hoher Energie oder Blitzschlag
 - Kurzschlüsse und Schaltfunken bei elektrischen Betriebsmitteln

Von den vorgenannten Zündquellen lassen sich durch technische Maßnahmen vermeiden:

- Schlag- und Reibfunken durch Metallteile: Ausschneiden der Metallteile, z. B. durch Einsatz von Magnet- oder Schwerkraftabscheidern
- Elektrostatische Entladungen: durchgängige Erdung aller Anlagenteile
- Kurzschlüsse, Schaltfunken beim Benutzen elektrischer Betriebsmittel: richtige Auswahl der elektrischen Betriebsmittel hinsichtlich Schutzart/ Ex-Schutz-Kategorie
- Blitzschlag: durch Blitzschutzeinrichtungen.

- (8)** Sind elektrische Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen vorhanden, müssen diese Geräte so beschaffen sein, dass sie keine wirksamen Zündquellen darstellen können. Handelt es sich um Geräte oder Komponenten, die bereits vor dem 30.06.2003 in Verkehr gebracht wurden, muss die EG-Richtlinie 2014/34/EU nicht rückwirkend auf diese Geräte angewandt werden. Es muss aber geprüft werden, ob die Geräte bzw. die Komponenten in der vorliegenden Zone sicher verwendet werden können. Elektrische Geräte, die ab dem 01.07.2003 in Verkehr gebracht wurden, müssen der RL 2014/34/EU entsprechen und für den Einsatz in den jeweiligen Zonen geeignet sein (siehe Tabelle). Die Hersteller- bzw. Konformitätserklärungen müssen vorliegen und die Geräte müssen vollständig gekennzeichnet sein.

Gerätegruppe II	Geräte-kategorie 1 D	Geeignet für den Einsatz in Zone 20, 21 und 22
	Geräte-kategorie 2 D	Geeignet für den Einsatz in Zone 21 und 22
	Geräte-kategorie 3 D	Geeignet für den Einsatz in Zone 22

- (9)** Auch nichtelektrische Geräte (z. B. Druckluft-Regenerationseinrichtungen, mechanische Förder-einrichtungen) und Werkzeuge können wirksame Zündquellen darstellen, z. B. durch mechanisch erzeugte Funken und heiße Oberflächen. Angaben hierzu können u. a. der Betriebsanleitung sowie der technischen Dokumentation entnommen werden. Für nichtelektrische Geräte, die seit 01.07.2003 in Verkehr gebracht wurden, müssen wie bei elektrischen Geräten Hersteller- bzw. Konformitätserklärung und Betriebsanleitung im Sinne der Richtlinie

2014/34/EU vorliegen. Alle Geräte müssen für den Einsatz in den jeweiligen Zonen geeignet (siehe Tabelle) und vollständig gekennzeichnet sein.

- (10)** Kann die Bildung explosionsfähiger Atmosphäre oder das Vorhandensein wirksamer Zündquellen in Anlagen und Bereichen nicht sicher ausgeschlossen werden, müssen konstruktive Maßnahmen getroffen werden, die die Auswirkungen möglicher Explosionen auf ein unbedenkliches Maß reduzieren. Solche Maßnahmen sind:
- Explosionsfeste Bauweise von Behältern und Apparaturen.
 - Explosionsunterdrückung durch schnelles Einblasen von Löschmitteln in Behälter und Apparaturen.
 - Explosionsdruckentlastung von Behältern und Apparaturen durch Freigabe von definierten Querschnitten zur Abfuhr des Drucks und des Flammenstrahls in eine ungefährliche Richtung.
 - Verhinderung der Flammen- und Explosionsübertragung (Explosionstechnische Entkoppelung), z. B. durch mechanisches Schnellabsperren oder Ausschleusen.

Die vorbeschriebenen konstruktiven Schutzmaßnahmen können nur in Bereichen eingesetzt werden, in denen sich beim bestimmungsgemäßen Betrieb (Normalbetrieb*) keine Personen aufhalten dürfen.

- (11)** Als sonstige Maßnahme zur Unterstützung der vorbeschriebenen Schutzmaßnahmen kann besonders die Prozessleittechnik/Konzentrationsüberwachung (z. B. Reststaubgehaltsmessung mit automatischer Anlagenabschaltung) angewendet werden.
- (12)** Zusätzliche technische Maßnahmen können z. B. der Einbau von Funkendetektions- und -löschanlagen in die Absaugleitungen sein.
- (13)** Zur Unterweisung der Beschäftigten, die in explosionsgefährdeten Bereichen tätig werden sollen, müssen schriftliche Betriebsanweisungen vorliegen. Darin sind Informationen zu den Explosionsgefahren sowie Maßnahmen zu ihrer Abwendung aufzunehmen. Personen, die mit der Durchführung von Instandsetzungs-, Wartungs-, Umbau- und Reinigungsarbeiten beauftragt werden, müssen eine

angemessene spezielle Unterweisung erhalten. Die Unterweisung ist zu protokollieren. Die Teilnehmenden bestätigen durch Unterschrift die Teilnahme an der Unterweisung.

- (14) Für gefährliche Arbeiten (z. B. Schweiß-, Schneid-, Trenn-, Schleif- und sonstige Feuerarbeiten) in explosionsgefährdeten Bereichen müssen schriftliche Arbeitsfreigaben (Erlaubnisscheinverfahren) eingeführt sein. Ein Muster für einen Erlaubnisschein kann der z. B. der DGUV Information 209-045 entnommen werden.
- (15) An den Zugängen zu explosionsgefährdeten Bereichen muss folgende Kennzeichnung vorgenommen werden:
- Warnzeichen „Warnung vor explosionsfähiger Atmosphäre“
 - Verbotsschilder „Feuer, offenes Licht und Rauchen verboten“
 - Verbotsschilder „Zutritt für Unbefugte verboten“.
- (16) Staubablagerungen von brennbaren Stäuben in gefährdender Menge (Schichtdicken ≥ 1 mm) können zu Brandgefahren und im Fall der Aufwirbelung auch zu Explosionsgefahren führen. Um diese Gefahren zu unterbinden, müssen diese Ablagerungen regelmäßig entfernt werden. Umfang und Intervall der Reinigungsmaßnahmen müssen in der Betriebsanweisung festgelegt sein.
- (17) Sind in explosionsgefährdeten Bereichen Einrichtungen oder Anlagen vorhanden, die wiederkehrende Prüfungen erfordern, muss der Betreiber die Prüffristen ermitteln und für eine fristgerechte Prüfung der Einrichtungen Sorge tragen. Die Prüfungen sind mit ihren Prüfergebnissen zu dokumentieren.



(*) **Normalbetrieb** ist der Zustand, in dem Anlagen und Geräte innerhalb ihrer Auslegungsparameter betrieben werden. Die Freisetzung geringer Mengen brennbarer Stoffe kann zum Normalbetrieb gehören, z. B. geringe Leckagen, Staubemissionen beim Sack- oder Behälterwechsel.

Nicht zum Normalbetrieb gehören Störungen, z. B. Platzen eines oder mehrerer Filterschläuche, die die Abschaltung und Instandsetzung der Anlage erfordern.

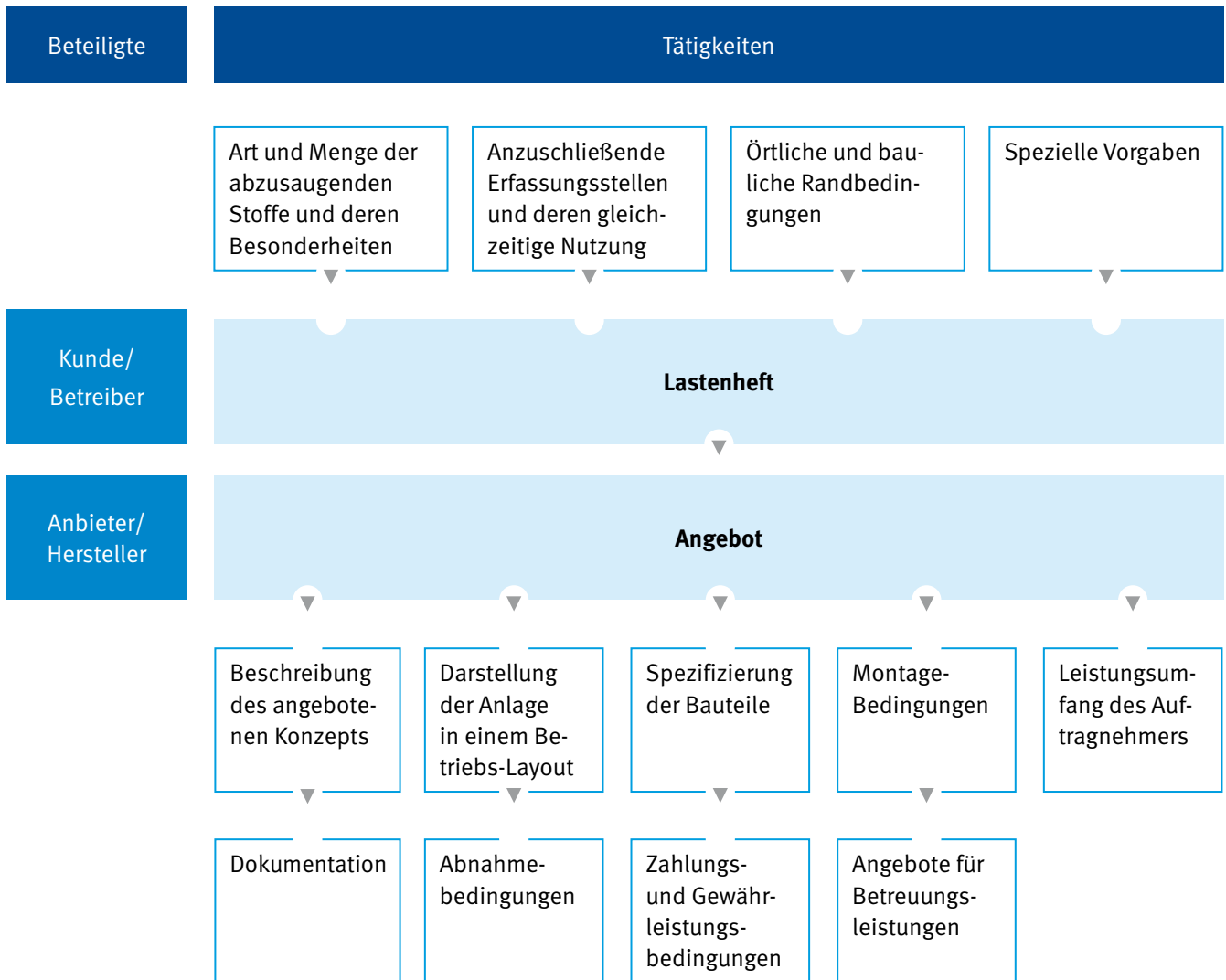
Liste explosionsgeschützter Geräte

Anlage zum Explosionsschutzdokument

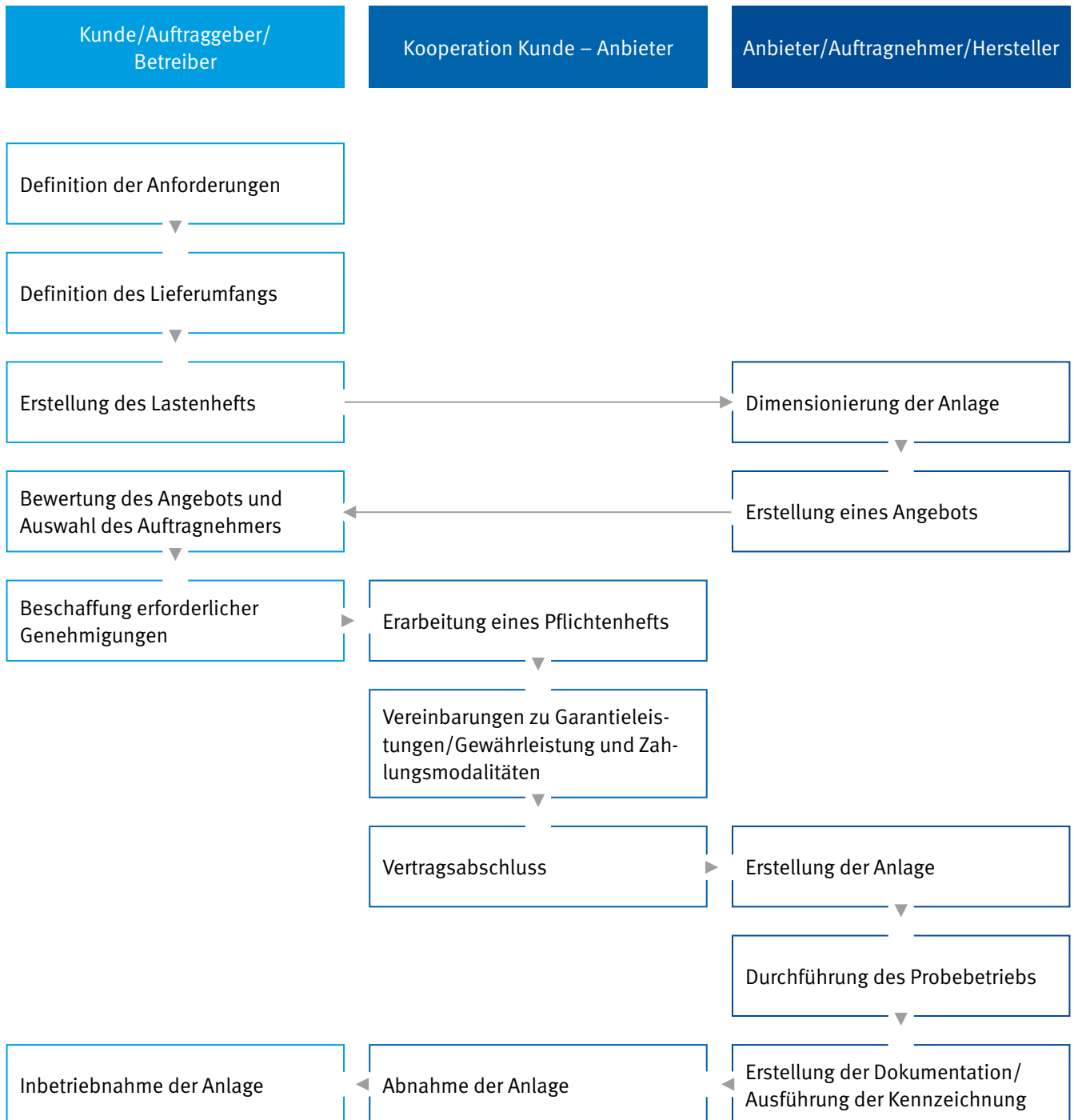
Formblatt 4

Geräteliste für Raum/Bereich:								
Mindestanforderungen entsprechend der ermittelten Ex-Zonen und der sicherheitstechnischen Kenngrößen	Ausführung nach ElexV*		Ausführung nach ATEX					
	 J/N	Schutzart IP...	Gerätegruppe	Geräte-kategorie	Explosi-onsgrup-pe	Tempera-turklasse		
ELEKTRISCHE GERÄTE (z. B. elektrische Motoren, Schalter, Leuchten)								
Bezeichnung	Ausführung nach ElexV*		Ausführung nach ATEX				Zünd-schutz-art	Mindestanforde-rungen erfüllt J/N
	 J/N	Schutzart IP...	Gerätegruppe	Geräte-kategorie	Explosi-onsgrup-pe	Tempera-turklasse		
NICHELEKTRISCHE GERÄTE (z. B. Förderbänder, Getriebe, pneumatische Pumpen)								
Bezeichnung	Ausführung nach ATEX J/N	Gerätegruppe	Geräte-kategorie	Explosi-onsgrup-pe	Tempera-turklasse	Zünd-schutz-art	Mindestanforde-rungen erfüllt J/N	

8.8 Notwendige Tätigkeiten der Beteiligten zur Erstellung eines sachgerechten Angebots



8.9 Der Weg von der Definition der Anforderungen an die Anlage bis zu deren Inbetriebnahme



8.10 Bildnachweis

BGHM: Titel, Abbildungen 3.1.1, 3.1.2a–c, 3.2.1–3.2.6, 3.3.3, 3.3.4 a–b, 3.4.1–3.5.11, 3.6.1, 3.7.1, 3.7.2, 3.7.3, 3.8.1–3.8.7, 3.8.13–3.8.18, 3.9.1, 3.9.5, 3.9.6–3.9.10b, 4.1.1a–c, 4.1.2–4.1.6, 4.1.10, 4.1.12, 4.1.13, 4.3.1, 4.3.3–4.3.12, 4.4.2; Tabelle 3.5.3
Abb. 1–3, 5, 6; Tabelle 3.5.6 Abb. 3; Tabelle 4.1 Abb. 1–6
Schuko H. Schulte-Südhoff GmbH: 3.3.1a – b, 3.8.11a–d
Dalap GmbH: Abbildungen 3.3.2, 3.8.12a–b,
Scheuch GmbH: Tabelle 3.5.3 Abb. 4
Lothor GmbH: Tabelle 3.5.6 Abb. 1
Bernd Münstermann GmbH & Co. KG: Tabelle 3.5.6 Abb. 4, 7
Kiess GmbH & Co KG: Tabelle 3.5.6 Abb. 5, 6
HJS Emission Technology: Tabelle 3.5.6 Abb. 8
Trox GmbH: Tabelle 3.6.2 Abb. 1–4, Abbildung 3.9.4,
Kienzler Textile Ventilation GmbH: Tabelle 3.6.2 Abb. 5
Electro-Mation GmbH: Abbildungen 3.8.8, 3.8.9
WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG: Abbildung 3.8.10
Minimax GmbH & Co. KG: Abbildung 3.9.2
Scheuch LIGNO GmbH: Abbildungen 3.9.3, 3.9.7a, 3.9.11, 4.4.1a–b
Keller Lufttechnik GmbH + Co.KG: Tabelle 3.9.10 Abb. 1–7
Höcker Polytechnik GmbH: Abbildung Abbildungen 4.1.7, 4.1.9
Nilfisk GmbH: Abbildung 4.1.11

**Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-9876
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de