

Energieeffizienz-Leitfaden für Absauganlagen

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autor: Mag. DI Konstantin Kulterer

Wien, 2025. Stand: 30.1.2025

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des BMK und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen:

Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an

eebetriebe@energyagency.at

Inhalt

1 Einleitung und Hintergrund.....	5
1.1 Arten von Absauganlagen.....	5
1.1.1 Unterscheidung nach Anzahl der erfassten Absaugstellen.....	6
1.1.2 Unterscheidung nach Grad der Quellumschließung.....	7
1.1.3 Arten von Punktabsaugungen.....	9
1.2 Rechtlicher Hintergrund.....	12
1.3 Vorgeschriebene Messungen und Energierelevanz.....	15
1.3.1 Vollständigkeits- und Wirksamkeitsprüfung.....	16
1.3.2 Jährliche Prüfung.....	18
2 Erfassung, Auswahl und Vor-Ort-Prüfung der Anlagen.....	20
2.1 Erfassung und Auswahl der Anlagen.....	20
2.2 Überprüfung Luftgeschwindigkeit.....	22
2.2.1 Ermittlung aktueller Luftgeschwindigkeit.....	23
2.2.2 Erforderliche Luftgeschwindigkeit.....	24
2.2.3 Berechnung von Absauganlagen.....	28
2.3 Check für Vor-Ort-Besichtigung.....	28
3 Einsparmaßnahmen.....	30
3.1 Vermeiden oder Vermindern von gefährlichen Arbeitsstoffen.....	30
3.2 Optimierung des Betriebs von Absauganlagen.....	31
3.3 Betriebszeiten verkürzen.....	36
3.4 Volumenstrom reduzieren.....	36
3.5 Einsatz von Wärmerückgewinnung und Umluft.....	39
3.6 Einsatzort, Umbau und Austausch der Ventilatoren.....	42
3.7 Umbau von Rohrleitungen und Vermeidung von Undichtheiten.....	45
3.8 Optimierung der Reinigungsanlagen und Filter.....	47
3.8.1 Tiefenfilter.....	49
3.8.2 Oberflächenfilter oder Abreinigungsfilter.....	50
3.8.3 Nassabscheider.....	54
3.8.4 Elektrofilter.....	55
3.8.5 Aktivkohlefilter.....	56
3.9 Abtransport der abgeschiedenen Stoffe.....	57
4 Anhang: Berechnungsformeln zu baulichen Veränderungen bei Erfassungseinrichtungen.....	59
Über klimaaktiv.....	62

Kontakt	62
Tabellenverzeichnis.....	63
Abbildungsverzeichnis.....	64
Formelverzeichnis	65
Literaturverzeichnis	66

1 Einleitung und Hintergrund

Da in der Industrie die Absaugung zwischen 10 und 15 % des Strombedarfs ausmacht (in der Holzindustrie bis zu 50 %), sollte die rationelle Nutzung oberstes Gebot sein. Die Ventilatoren der Absauganlagen werden elektrisch angetrieben. Absauganlagen benötigen oft mehr Energie als die angeschlossene Maschine. Zudem verfügen sie über einen schlechten Wirkungsgrad. Daher zählen die Absauganlagen neben den Trockenkammern zu den größten Verbrauchern an elektrischer Energie in den Sägewerken (vergleiche Albert, Bodden & Tech, 2003; Reisenbichler, 2009).

In der Industrie werden Absauganlagen überall dort eingesetzt, wo Staub, Späne, Gas, Dampf, Rauch (zum Beispiel Schweißrauch, Gießereien) oder Ölnebel (zum Beispiel Bearbeitungsmaschinen) am Arbeitsplatz entstehen und den Arbeitsprozess stören oder gesundheitliche Schäden verursachen. Die Emission sollte aus gesundheitlichen und prozessbedingten, aber auch energetischen Gesichtspunkten möglichst am Ort des Entstehens erfasst und entfernt werden (Punkt- oder Quellenabsaugung). Kommt es zu keiner gesundheitlichen Beeinträchtigung beziehungsweise ist die Emission gering, kann aus energetischer Sicht auch eine Flächenabsaugung (zum Beispiel über Raumlüftung) sinnvoll sein (Recknagel, Sprenger & Albers, 2022).

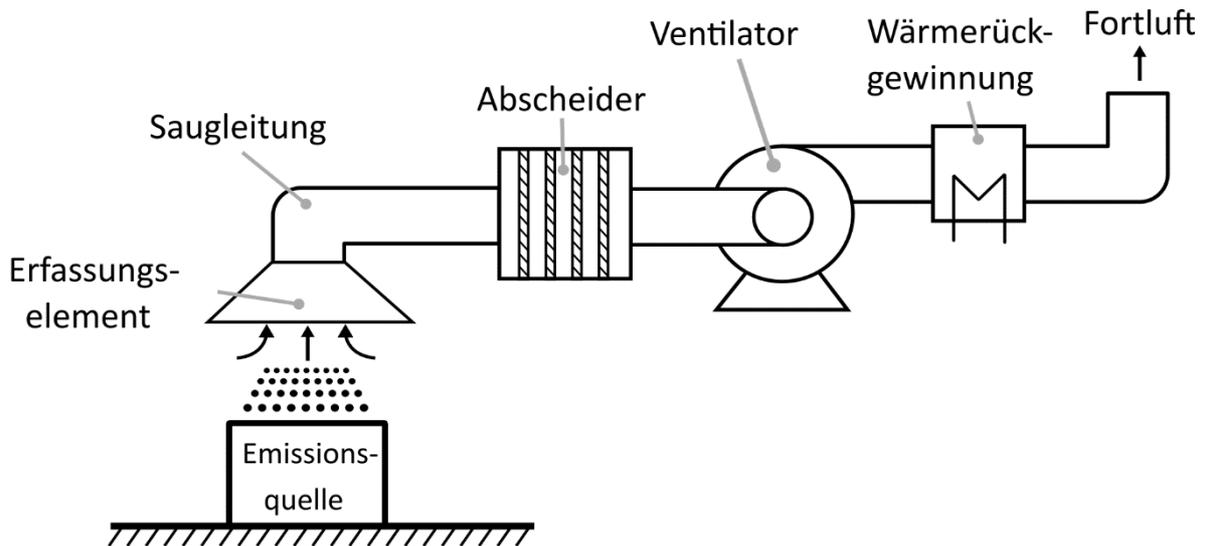
Dieser Leitfaden konzentriert sich auf die Punkt- und Quellenabsaugung. Er enthält daher nur ausgewählte Informationen zur Flächenabsaugung, wozu beispielsweise die Absaugung über die Raumluft gehört, also Hallenbelüftungssysteme. Generell benötigt diese Form der Absaugung im Gegensatz zur Punkt- oder Quellenabsaugung ein Vielfaches mehr an Energie zur Umwälzung des Volumenstroms (teils bis zum 100-Fachen).

Um den Strombedarf des Ventilators sowie etwaige Heiz- und Kühlleistungen aufgrund von hoher Absaugung zu reduzieren, sind zwei Faktoren entscheidend: Einerseits muss der Absaugvolumenstrom sorgfältig dimensioniert werden, andererseits ist die Installation der Energierückgewinnung beziehungsweise Umluft sehr wichtig.

1.1 Arten von Absauganlagen

Generell ist eine Absauganlage wie in Abbildung 1 aufgebaut.

Abbildung 1: Schema einer industriellen Absauganlage



Quelle: Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (AEA) nach Recknagel, Sprenger & Albers (2022)

Die entstehende Emission von luftfremden Stoffen an der Stoffquelle wird durch den Luftstrom (erzeugt durch einen Ventilator) über eine Erfassungseinrichtung erfasst, in einer Rohrleitung transportiert und in einem Abscheider aus dem Luft- oder Gasstrom entfernt. Im Fortluftkanal befindet sich gegebenenfalls eine Wärmerückgewinnung. So kann entweder die gereinigte Abluft wieder in den Raum über Umluft eingebracht oder zumindest ein Wärmetauscher installiert werden (bei krebserregenden Gasen und Dämpfen darf die gereinigte Abluft nicht mehr rückgeführt werden).

1.1.1 Unterscheidung nach Anzahl der erfassten Absaugstellen

Allgemein kann weiters noch in folgende vier Absaugungssysteme unterschieden werden.

Bei **Entstaubern** handelt es sich um Kompaktgeräte (beispielsweise in der Holzbearbeitung) mit einem maximalen Volumenstrom von ungefähr 6.000 bis 8.000 m³/h. Sie umfassen Ventilator, Filterelement und Staubsammeleinrichtung in einem Gerät und können auch ortsveränderlich sein. Sie dienen zur Absaugung einzelner oder weniger Verbraucher. Sie können auch an einzelne Rohrnetze angeschlossen werden, wobei die maximal vertretbare Gleichzeitigkeit sehr gering ist, also ein bis drei Absaugstellen. Die Anlagen müssen daher mit Automatikschieber zur Sicherstellung ausreichender Absaugleistung installiert werden (DGUV, 2020). Aufgrund des geringen

Platzes haben sie keine Vorabscheidung. Im Betrieb muss gewährleistet werden, dass die Abfüllsäcke für das Material nicht in die Filter eingesaugt werden. Größere oder faserförmige Stoffbestandteile können aufgrund der kleinen Durchmesser der Filterpatronen möglicherweise zu Verstopfungen führen.

Einzelabsaugung bedeutet, dass jede Bearbeitungsmaschine mit einem Ventilator ausgerüstet und über eine Rohrleitung mit dem Abscheidesystem verbunden ist (vor allem in der Holzindustrie im Einsatz). Der Ventilator kann daher auch an die Maschinenlaufzeit angepasst werden; besonders bei kurzen Einschaltzeiten ist dieses System effizient. Allerdings bestehen wirtschaftliche Nachteile aufgrund der höheren Investitionskosten für Rohre und Ventilatoren.

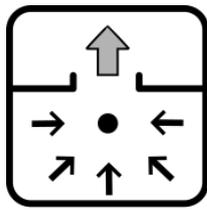
Bei **Zentralabsaugungsanlagen** werden die einzelnen Maschinen über eine Stichleitung mit einem gemeinsamen Ventilator und Abscheidesystem verbunden. Das System ist auf den maximal möglichen Gleichzeitigkeitsfaktor ausgelegt, die Leitungen sollen den gleichen Widerstand aufweisen. Über ein Abschiebersystem können die einzelnen Stichleitungen zu- und abgeschaltet werden. Die Investitionskosten sind im Vergleich zur Einzelabsaugung geringer. Der Betrieb ist vor allem dann effizient, wenn die Maschinen im Dauerbetrieb laufen. Umgekehrt ist sie für Betriebe mit stark wechselnden Luftanforderungen eine ungünstige Lösung. Die einzelnen Stränge benötigen zur Vermeidung von Ablagerungen hohe Transportvolumenströme, die für die einzelnen Verbrauchsstellen eigentlich nicht erforderlich sind. Daher sind für Zustände von geringerem Volumenstrom zusätzliche Maßnahmen zur Vermeidung der Ablagerungen erforderlich (DGUV, 2020).

Die **Gruppenabsaugung** ist ein Kompromiss zwischen Einzel- und Zentralabsaugung. Die einzelnen Maschinen werden Gruppen zugordnet, die jeweils einen Ventilator haben. Auch hier sollen Schieber zum Absperren einzelner Absaugkanäle verwendet werden (Albert, Bodden & Tech, 2003).

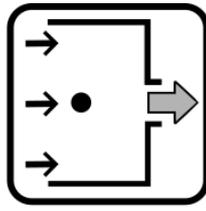
1.1.2 Unterscheidung nach Grad der Quellumschließung

Weiters werden Absauganlagen beziehungsweise Erfassungssysteme gemäß VDI 2262-4 (2006) in folgende Kategorien nach dem Grad der Quellumschließung eingeteilt:

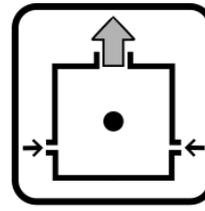
Abbildung 2: Arten von Erfassungseinrichtungen nach Grad der Quellumschließung



offene
Systeme



halboffene
Systeme



geschlossene
Systeme

Quelle: VDI 2262-4 (2006)

Geschlossene Systeme: Die Emissionsquelle ist von allen Seiten von der Erfassungseinrichtung durch Einhausungen und Kapselungen umschlossen.

Bei der **halboffenen Bauart** befindet sich die Schadstoffquelle innerhalb der Erfassungseinrichtung, diese ist aber im Unterschied zu geschlossenen Systemen an einer Seite offen. Dazu gehören neben Absaugständen und Maschineneinkleidungen auch Arbeitstische und Arbeitskabinen:

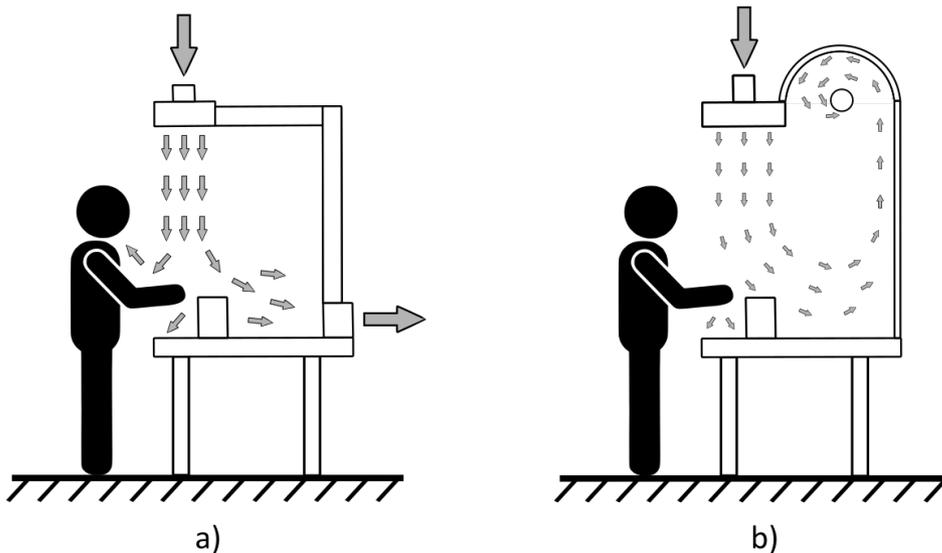
Arbeitstische dienen der Bearbeitung kleinerer Werkstücke (Schleifen, Schweißen, Lötten) oder zum Umfüllen, Mischen oder Wiegen von staubförmigen Stoffen. Die Absaughaube umfasst den Arbeitstisch dreiseitig, nur die Bedienungsseite bleibt offen. Erfassungsströme pro Meter Tischbreite liegen bei 1.000 bis 4.000 m³/h.

Arbeitskabinen (Absaugstand) werden zur Bearbeitung größerer Bauteile eingesetzt. Das zu bearbeitende Werkstück sollte innerhalb der Kabine liegen, und die Impulsrichtung der Stofffreisetzung sollte in Richtung des Erfassungsluftstroms erfolgen, beispielsweise durch drehbare Tische oder mehrachsige Manipulatoren. Erfassungsluftströme liegen bei 2.000 bis 3.000 m³/h pro Meter Kabinenbreite, abhängig von der Bauhöhe.

Halboffene Systeme eignen sich zur Kombination mit unterstützender Luftzufuhr. Dabei wird versucht, die Öffnungsfläche mit impulsbehafteten Luftstrahlen abzuschirmen oder die Arbeitsfläche mit impulsarmer Verdrängungsströmung zu überdecken. Am wirkungsvollsten ist bei Luftführung von oben nach unten die Absaugung unten anzubringen und mit impulsarmer Zuluft teilflächig von oben auszuführen. Eine weitere, effiziente Variante ist bei Luftführung von oben vorne, diese mit impulsarmer Zuluft

teilflächig von vorne auszuführen und die Absaugung dahinter mit einer oben angebrachten Wirbelhaube zu installieren (VDI 2262-4, 2006).

Abbildung 3: Effiziente Arten von halboffenen Systemen mit Zuluftunterstützung
teilflächig von oben nach unten: Absaugung unten (linke Darstellung, a) oder oben mit Wirbelhaube (rechte Darstellung, b)



Quelle: AEA nach VDI 2262-4 (2006)

Bei **offenen Systemen** gibt es einen Abstand zwischen Emissionsquelle und Erfassungseinrichtung. Sie werden dort eingesetzt, wo der Arbeitsprozess keine halboffenen oder offenen Systeme erlaubt, da diese wesentlich höhere Luftströme und damit mehr Energieeinsatz benötigen. Man unterscheidet beispielsweise zwischen Saugöffnungen (rechteckig, kreisförmig), Hauben, Saugschlitze und Randabsaugung.

1.1.3 Arten von Punktabsaugungen

Bei der Punktabsaugung gibt es eine Vielzahl unterschiedlichster Bauformen. Ziel ist es, die Emission mit einem Minimum an Luftvolumenstrom zu erfassen. Dies spart nicht nur Energie am Ventilator, sondern auch Energie, die für die nachströmende Luft zur Konditionierung aufgebracht werden muss.

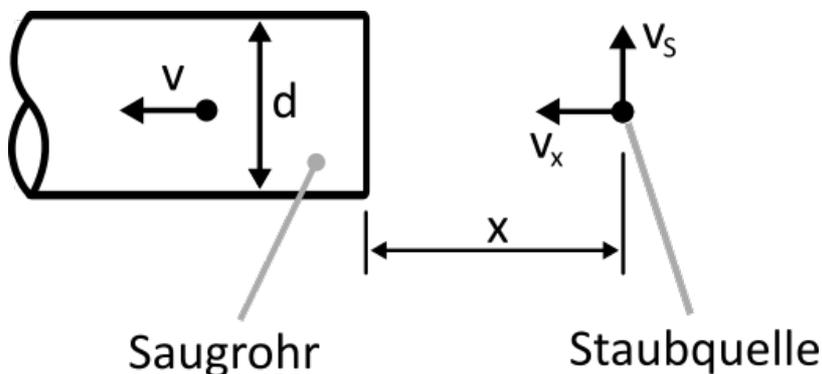
Am besten wäre es, die Emissionsquelle vollständig zu umfassen. Da dies jedoch oft nicht möglich ist, weil andernfalls der Arbeitsbereich eingeschränkt oder gar unerreichbar wäre,

soll die Erfassungseinrichtung möglichst nahe am Entstehungsort der Emission installiert und speziell für diese Emission geeignet sein. Grob wird nach Recknagel, Sprenger & Albers (2022) in drei verschiedene Erfassungseinrichtungen unterschieden:

1. Freie Saugöffnung (mit oder ohne Flansch)
2. Saughauben
3. Saugschlitze (mit oder ohne Flansch)

Die **freie Saugöffnung** ist die einfachste aller Erfassungseinrichtungen. Abbildung 4 zeigt, wie eine freie Saugöffnung funktioniert. Das Saugrohr saugt Luft, respektive Emissionen, direkt an. Dabei wird ebenfalls die Luft um das Rohr angesaugt (ähnlich wie bei einem Staubsauger ohne Aufsatz). Die Sauggeschwindigkeit nimmt mit steigender Entfernung zum Saugrohr rasch ab. Details dazu siehe Kapitel 3.2 und im Anhang. Eine Verbesserung der Saugkraft kann erreicht werden, wenn am Ende des Rohres ein Flansch befestigt wird. Dadurch wird die Saugkraft verstärkt nach vorne gerichtet. Dadurch steigt die Erfassungsgeschwindigkeit um ein Drittel und der erforderliche Volumenstrom kann um ein Drittel gesenkt werden (Recknagel, Sprenger & Albers, 2022).

Abbildung 4: Freie Saugöffnung



Anmerkung: v : Luftgeschwindigkeit im Transportrohr; d : Durchmesser; x : Abstand zur Emissionsquelle; v_x : Erfassungsgeschwindigkeit; v_s : Geschwindigkeit der Stoffströmung

Quelle: AEA nach Recknagel, Sprenger & Albers (2022)

Bei **Saughauben** gibt es verschiedene Ausführungsformen. Grundsätzlich wird nach der Position der Hauben unterschieden:

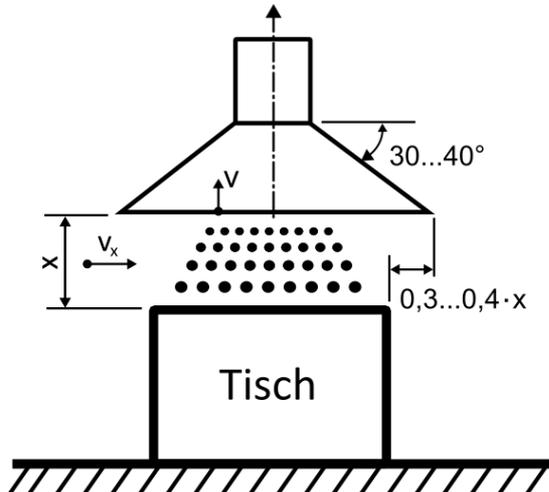
- Oberhauben (frei hängende Hauben)
- Seitenhauben
- Unterhauben

Weiters gibt es auch unterschiedliche Leitbleche, die zum Einsatz kommen können. Dabei wird nach Recknagel, Sprenger & Albers (2022) in folgende Arten unterschieden:

- vierseitig offene Hauben
- dreiseitig offene Hauben
- zweiseitig offene Hauben
- einseitig offene Hauben

Bei der Entwicklung von Saughauben ist besonders auf die Eigenbewegung der Schadstoffe Rücksicht zu nehmen. Diese werden von unterschiedlichen Faktoren wie thermischem Auftrieb oder Querströmung beeinflusst.

Abbildung 5: Oberhaube



Anmerkung: v : Luftgeschwindigkeit in Haubenfläche; x : Abstand zur Emissionsquelle; v_x : Erfassungsgeschwindigkeit

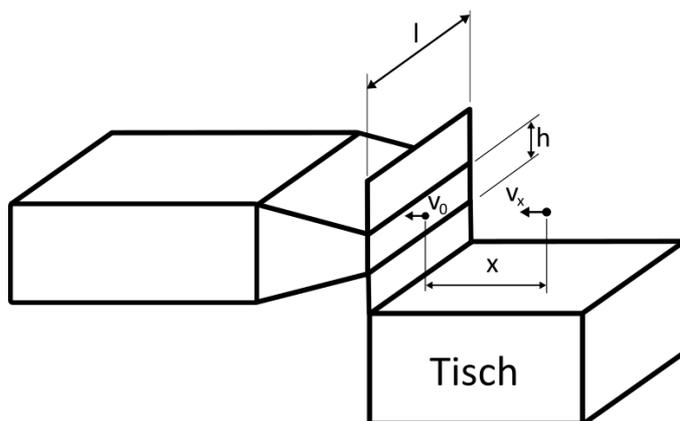
Quelle: AEA nach Recknagel, Sprenger & Albers (2022)

Wie auch bei der freien Saugöffnung sollte die Haube möglichst nahe an der Quelle angebracht werden, um den Volumenstrom zu reduzieren. Weiters gilt, dass die Haube immer größer als die Arbeitsfläche sein sollte (in der Regel circa 0,3- bis 0,4-mal so groß

wie der Abstand von Arbeitsfläche zur Haubenkante), siehe Abbildung 5 (Recknagel, Sprenger & Albers, 2022).

Saugschlitze haben im Allgemeinen den Vorteil, dass sie das Arbeitsfeld ungehindert freilassen. Sie werden oft in Verbindung mit Bädern (Galvanik) eingesetzt, da sie seitlich montiert über die ganze Länge oder Breite des Bades absaugen können. Ab einer gewissen Größe des Bades (Breite ab circa 1,5 m) sollte ebenfalls ein Blasschlitz installiert werden, um eine noch bessere Absaugung zu gewährleisten. Auch Saugschlitze können mit Flansch ausgestattet sein, dabei gilt auch die Wand eines Beckens als Flansch. Abbildung 6 zeigt einen Saugschlitz mit zweifachem Flansch. Dabei ist die obere Seite mit einem Flansch versehen, auf der unteren Seite dient der Beckenrand als Flansch.

Abbildung 6: Saugschlitz mit zweiseitigem Flansch



Anmerkung: v_0 : Luftgeschwindigkeit im Saugschlitz; l : Länge des Saugschlitzes; h : Höhe des Saugschlitzes; x : Abstand zur Emissionsquelle; v_x : Erfassungsgeschwindigkeit

Quelle: AEA nach Recknagel, Sprenger & Albers (2022)

1.2 Rechtlicher Hintergrund

Die Verbreitung der industriellen Absaugung steigt mit den zunehmenden Anforderungen an den Arbeits- und Umweltschutz.

Beispiele für Stoffe, die abgesaugt werden beziehungsweise abgesaugt werden müssen, sind:

- Schweißrauche
- Kühlschmierstoffe
- Staube (auch explosionsfähige), zum Beispiel Holz- und Mehlstaub
- Chrom(VI)-Verbindungen
- Mangan und seine Verbindungen
- Weitere gefährliche Arbeitsstoffe: Kohlenwasserstoffe, Lösemitteldämpfe, Stick-, Schwefel-, Kohlenstoffoxide, Benzol

Manche dieser Stoffe entstehen bei Bearbeitung oder Verwendung eigentlich unbedenklicher Materialien, die nicht als Gefahrstoffe gekennzeichnet sind, wie zum Beispiel Mehl oder Holz.

In vielen Fällen ist die Absaugung behördlich oder gesetzlich vorgeschrieben.

Folgende Gesetze sind relevant (AUVA, 2018a):

- Grenzwerteverordnung (GKV)
- Verordnung explosionsfähige Atmosphären (VEXAT)

Zur Einstufung krebserzeugender Arbeitsstoffe sind folgende rechtlichen Vorgaben relevant:

- Anhang III der GKV
- Chemikaliengesetz
- EU 1272/2008; „Classification, Labelling and Packaging“-Verordnung (CLP-VO)
- Pflanzenschutzmittelgesetz
- Verordnung für biologische Arbeitsstoffe

Folgende rechtliche Vorgaben enthalten weitere Emissions- und Immissionsbeschränkungen:

- Gewerbeordnung
- Volatic Organic Compounds (VOC)-Anlagen-Verordnung
- Feuerungsanlagenverordnung
- Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen
- Immissionsschutzgesetz – Luft

Gesundheitsgrenzwerte werden in Werte für „Maximale Arbeitsplatz-Konzentration“ und für „Technische Richtkonzentration“ unterteilt. Diese Werte finden sich in der Grenzwerteverordnung (GKV).

Die sogenannten **MAK-Werte (Maximale-Arbeitsplatz-Konzentrations-Werte)** sind definierte Luftgrenzwerte und müssen eingehalten werden. Diese Luftgrenzwerte sind in Österreich einerseits per Gesetz vorgeschrieben, andererseits können diese per Bescheid erlassen werden. MAK-Werte werden für gesunde Personen im erwerbsfähigen Alter festgelegt.

„Der MAK-Wert ist der Mittelwert in einem bestimmten Beurteilungszeitraum, der die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz angibt, die nach dem jeweiligen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse auch bei wiederholter und langfristiger Exposition im Allgemeinen die Gesundheit von Arbeitnehmern nicht beeinträchtigt und diese nicht unangemessen belästigt.“ (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, 1994, § 45, Absatz 1)

„Steht ein Arbeitsstoff, für den ein MAK-Wert festgelegt ist, in Verwendung, müssen Arbeitgeber dafür sorgen, dass dieser Wert nicht überschritten wird. Arbeitgeber haben anzustreben, dass dieser Wert stets möglichst weit unterschritten wird.“
(ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, 1994, § 45, Absatz 3)

Die **TRK-Werte (Technische-Richtkonzentrations-Werte)** sollen das Risiko einer Gesundheitsbeeinträchtigung vermindern, können diese aber nicht ausschließen. Sie werden für Arbeitsstoffe festgelegt, für die keine als unbedenklich geltenden Konzentrationen angegeben werden, zum Beispiel krebserzeugende Arbeitsstoffe (AUVA, 2018b).

„Der TRK-Wert (Technische Richtkonzentration) ist der Mittelwert in einem bestimmten Beurteilungszeitraum, der jene Konzentration eines gefährlichen Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz angibt, die nach dem Stand der Technik erreicht werden kann und die als Anhalt für die zu treffenden Schutzmaßnahmen und die messtechnische Überwachung am Arbeitsplatz heranzuziehen ist. TRK-Werte sind nur für solche gefährlichen Arbeitsstoffe festzusetzen, für die nach dem jeweiligen Stand der Wissenschaft keine toxikologisch-arbeitsmedizinisch begründeten MAK-Werte aufgestellt werden können.“ (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, 1994, § 45, Absatz 2)

Steht ein Arbeitsstoff, für den ein TRK-Wert festgelegt ist, in Verwendung, müssen Arbeitgeber dafür sorgen, dass dieser Wert stets möglichst weit unterschritten wird (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz, 1994, § 45, Absatz 4).

Brennbare Stäube und Gase

Falls brennbare Stäube und Gase abgesaugt werden, muss der Volumenstrom so gewählt werden, dass die untere Explosionsgrenze nicht erreicht wird.

Für diesen Fall sind spezielle technische Vorschriften einzuhalten. Vereinfacht zusammengefasst: Ventilatoren und Rohrleitungen müssen geerdet sein, um elektrostatische Aufladung zu verhindern. Die Ventilatoren müssen auch explosionsgeschützt sein.

Bei der Absaugung von Gemischen aus brennbaren Gasen, Dämpfen und Stäuben sind in der gesamten Absaugungsanlage, inklusive Filterstoffe und Abscheider, elektrisch leitende Materialien zu verwenden. Die Rohrleitungen müssen mit Explosionsklappen sowie die Abscheider explosionsdruckfest und mit Explosionsklappen zur Druckentlastung ausgerüstet sein (Recknagel, Sprenger & Albers, 2022).

1.3 Vorgeschriebene Messungen und Energierelevanz

Absaugeinrichtungen müssen wiederkehrend geprüft werden. Sämtliche Bestandteile, wie Ventilatoren, Filter, Rohrleitungen, Sensoren, Sicherheitseinrichtungen, werden während des Betriebs belastet, abgenutzt, verschmutzt und manchmal auch beschädigt. Dies kann dazu führen, dass gefährliche Arbeitsstoffe nicht mehr sicher abgesaugt, Grenzwerte nicht mehr eingehalten oder explosionsfähige Atmosphären nicht verhindert werden und die Gesundheit beeinträchtigt wird. Neben einer regelmäßigen Wartung und Instandsetzung ist daher zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs auch eine Prüfung notwendig. Dies ist auch gesetzlich geregelt (Tallian & Holzleitner, 2023).

Für arbeitsrechtlich relevante Absauganlagen liegen daher in Betrieben Messprotokolle vor, die für die energetische Analyse relevant sind beziehungsweise sein können. Bei Durchsicht der Protokolle finden sich oft aktuelle Daten zu tatsächlichem Volumenstrom, Luftwechselraten, Luftgeschwindigkeiten, aufgenommener elektrischer Leistung des

Ventilators oder Ähnlichem. Im Nachfolgenden werden dazu einige relevante Vorschriften genannt:

Absauganlagen sind

- vor der ersten Inbetriebnahme und
- in weiterer Folge in regelmäßigen Zeitabständen (einmal im Kalenderjahr, längster Abstand 15 Monate) zu überprüfen (§ 32 GKV).

Die Prüfungen sind zu dokumentieren – Umfang und Ergebnisse müssen eindeutig und nachvollziehbar sein – und die Prüfungen müssen von geeigneten fachkundigen und dazu berechtigten Personen nach den Regeln der Technik durchgeführt werden. Die Grundlage für die Prüfung ist die ÖNORM EN 12599: Lüftung von Gebäuden – Prüf- und Messverfahren für die Übergabe raumlufttechnischer Anlagen (Tallian & Holzleitner, 2023).

1.3.1 Vollständigkeits- und Wirksamkeitsprüfung

Vor der ersten Inbetriebnahme muss die Wirksamkeit der Absauganlagen nachgewiesen werden. Bei der Vollständigkeitsprüfung wird unter anderem geprüft, ob alle projektierten und notwendigen Komponenten und Bauelemente installiert und für den Anwendungsfall geeignet sind (Tallian & Holzleitner, 2023).

Die genaueste Methode zum Nachweis der Wirksamkeit ist die Arbeitsplatzmessung: Werden bei dieser Messung die Grenzwerte (MAK oder TRK) ausreichend unterschritten, ist die Wirksamkeit der Absaugeinrichtung nachgewiesen. „Parallel dazu werden Luftgeschwindigkeiten gemessen. Bei den nachfolgenden jährlich wiederkehrenden Messungen reicht es oftmals, nur mehr Luftgeschwindigkeiten zu messen und diese mit der Referenz der erstmaligen Prüfung zu vergleichen.“ (Tallian & Holzleitner, 2023)

Der Nachweis, dass die installierte Absaugeinrichtung die beabsichtigten Grenzwerte einhält, wird in der Praxis allerdings sehr selten durchgeführt, zum Beispiel aufgrund fehlenden Wissens, fachlich falscher Prüfung oder fehlender Messpunkte in der Anlage (Tallian & Holzleitner, 2023).

Für Anlagen, bei denen diese Messung auch während des Betriebs erfolgt, wird die Einhaltung der Grenzwerte meist nicht automatisiert, sondern manuell in bestimmten Intervallen gemessen. Filterdurchbrüche führen meist zu massiven Überschreitungen der Grenzwerte und werden oft mit Durchbruchsensoren detektiert.

Für einige ausgewählte Anwendungen gibt es festgelegte Standards beziehungsweise technische Erfahrungswerte, wodurch vereinfacht Luftgeschwindigkeitsmessungen als Wirksamkeitsnachweis ausreichend sind (Tallian & Holzleitner, 2023). Beispielsweise ist eine sogenannte Grenzwertvergleichsmessung nicht erforderlich, wenn durch eine Bewertung nach dem Stand der Technik nachgewiesen wird, dass die anzuwendenden Grenzwerte unterschritten werden. Die Bewertung nach dem Stand der Technik erfolgt anhand von Normen und ähnlichen technischen Regelwerken:

Diese Regelwerke ermöglichen die Berechnung von Konzentrationen, beispielsweise die ÖNORM EN 16985 (Ausgabe 2019) „Lackierkabinen für organische Beschichtungsstoffe – Sicherheitsanforderungen“. Alternativ kann auf Basis von Hintergrundmessungen gezeigt werden, dass durch Einhalten bestimmter Parameter auch Konzentrationen unter dem Grenzwert liegen. Ein Beispiel ist das Einhalten von Luftgeschwindigkeiten bei der Absaugung gemäß den „Technischen Regeln für Gefahrstoffe – Holzstaub (TRGS 553)“ (BMAW, 2024).

Das bedeutet, dass eine Kontrollmessung eine Messung der Mindestluftgeschwindigkeit am Anschlussstutzen (Schnittstelle: Übergang von der Maschine oder Anlage zum Rohrsystem) sein kann.

Im Bereich Holzstaub bei stationären Maschinen (Holzbearbeitungsmaschinen) ist die Bedingung für das Entfallen der Grenzwertvergleichsmessung das Vorliegen sogenannter staubgeminderter Betriebsarten, wobei bestimmte Konstruktionsmerkmale, Mindestanschlussdurchmesser, Mindestluftgeschwindigkeiten und Mindestvolumenströme erfüllt sind. Meist sind das für Maschinen mit Holzstaub 20 m/s, bei hoher Zerspanungsleistung 28 m/s als Mindestluftgeschwindigkeiten beziehungsweise zwischen 820 und 1830 m³/h als Mindestvolumenströme. Die Mindestanschlussdurchmesser liegen je nach Maschine zwischen 80 mm und 160 mm. (BMA, 2020). Damit ist sichergestellt, dass es sich um einen staubarmen Arbeitsplatz handelt (der TRK-Wert von 2 mg/m³ Luft wird eingehalten) und dass die Wirksamkeit der Absaugung gegeben ist.

Weitere Anwendungen, bei denen vereinfacht immer Luftgeschwindigkeitsmessungen als Wirksamkeitsnachweis herangezogen werden können, sind:

Spritzlackierarbeiten: Je nach Art der Luftführung sind Mindestluftgeschwindigkeiten über die Messfläche einzuhalten, zum Beispiel bei vertikal belüfteten Kabinen mindestens 0,3 m/s und bei horizontal belüfteten Kabinen mindestens 0,4 m/s, gemessen mit einem richtungsabhängigen Anemometer. (Tallian & Holzleitner, 2023)

Schweißraucherfassung: „Bei üblichen Punktabsaugungen mit Standarderfassungselementen (Niedrigvakuumanlagen) ist eine wirksame Absaugleistung dann gegeben, wenn bei richtig positioniertem Erfassungselement der Absaugvolumenstrom größer als 900 m³/h ist“. (Tallian & Holzleitner, 2023)

Kfz-Abgasabsaugungen: Als Grundlage für die Berechnung des erforderlichen Abgasvolumenstroms kann die Berechnungsformel nach den „Technischen Regeln für Gefahrstoffe; Abgase von Dieselmotoren (TRGS 554)“ herangezogen werden. „Dabei ergibt sich beispielsweise für Prüfplätze von Pkw ein Absaugvolumen von mindestens 600 m³/h und bei Prüfplätzen für Lkw von mindestens 1.200 m³/h pro Absaugstelle.“ (Tallian & Holzleitner, 2023)

Wiederholte Kontrollmessungen können auch entfallen, wenn gemäß § 29 Absatz 2 GKV eine längerfristige Einhaltung des Grenzwertes festgestellt wird (BMAW, 2024).

1.3.2 Jährliche Prüfung

Außerdem sind bei jeder Prüfung einer Absaugeinrichtung immer eine Sicht- und Funktionsprüfung sowie Messungen durchzuführen:

Sichtprüfung

„Bei der Funktionsprüfung wird (durch Sichtprüfung) kontrolliert, ob die einzelnen Bauelemente funktionsgerecht eingebaut und wirksam sind. Je nach Art und Ausführung der Absaugeinrichtung können sich folgende Inhalte (nur auszugsweise) ergeben:

- Sichtprüfung optischer Gesamteindruck (zum Beispiel keine auffälligen Staubablagerungen)

- Sichtprüfung der Erfassungselemente (zum Beispiel Beschädigung, Einstellmöglichkeiten)
- Sichtprüfung der Rohrleitungen und Flexschlauch-Anschlüsse (zum Beispiel auf Dichtigkeit und elektrostatisch leitfähige Verbindung, Beschädigung)
- Sichtprüfung des Filtergehäuses (zum Beispiel auf Dichtigkeit, eventuell Druckentlastungseinrichtungen)
- Funktionsprüfung der Absperrschieber
- Funktionsprüfung von Brandschutz- und Rückschlagklappen, Umschaltklappen
- Funktionsprüfung von Sicherheitseinrichtungen (zum Beispiel Drucksensoren, Volumenstromüberwachungen)
- usw.“ (Tallian, Holzleitner, 2023)

Messung

Bei der Messung im Rahmen der jährlichen Überprüfung hat der abgesaugte Volumenstrom normalerweise den größten Einfluss, daher sind Luftgeschwindigkeitsmessungen fast immer notwendig. In einigen Fällen wird auch die elektrische Stromaufnahme des Ventilators und/oder die Temperatur gemessen.

Die Messung darf nur von qualifiziertem Personal erfolgen. Dennoch sind hier die wichtigsten Punkte nach Tallian & Holzleitner (2023) angeführt, falls diese im Zuge der Untersuchung relevant sind:

- Die Messstelle (Bohrung) soll sich in einem geraden Rohrleitungsabschnitt befinden, sodass es zu einem beruhigten Luftdurchstrom kommt und keine Turbulenzen auftreten.
- Schläuche und Erfassungselemente sind korrekt angeschlossen und eingestellt, sodass keine verfälschten Messungen erfolgen.
- Als Messgerät wird ein Staudruckrohr/Pitotrohr empfohlen, da es unempfindlich gegenüber Staub ist und nur eine relativ kleine Messbohrung benötigt.

Werden brennbare Stoffe abgesaugt, muss zusätzlich zur Prüfung nach der Grenzwertverordnung die Prüfung der Explosionssicherheit gemäß der Verordnung explosionsfähige Atmosphären (VEXAT) erfolgen (BMAW, 2024).

2 Erfassung, Auswahl und Vor-Ort-Prüfung der Anlagen

Industrielle Absauganlagen machen 10 bis 15 % des Strombedarfs in der Industrie aus. In der Holzindustrie kann dieser Anteil sogar bis zu 50 % betragen (Albert, Bodden & Tech, 2003). Daher kann bei einer effizienten Absaugung sehr viel Einsparungspotenzial gehoben werden. Diese Einsparungen finden sich nicht nur auf der Stromseite, sondern auch auf der Heiz- und Kälteseite. Eine konsequente Umsetzung von Effizienzmaßnahmen kann den Strombedarf einer typischen Anlage (circa 20 Jahre alt) um 50 % reduzieren. Die vorgestellten Maßnahmen amortisieren sich je nach konkreter Anwendung teilweise innerhalb kurzer Zeit.

2.1 Erfassung und Auswahl der Anlagen

Zunächst gilt es, die im Betrieb befindlichen Absauganlagen zu erfassen. Dazu ist eine Liste sämtlicher Anlagen zu erstellen und folgende Daten je Anlage zu erheben:

- Anzahl und Art der Anlagen
- Installierte elektrische Leistung (oder tatsächliche Leistung)
- Volumenstrom
- Anteil Frischluft
- Betriebsstunden pro Tag
- Arbeitstage im Jahr
- Art der Regelung (manuell, automatisch) und Abhängigkeiten mit anderen Anlagen des Betriebs (zum Beispiel Gruppenschaltung)
- Eingebaute Wärmerückgewinnung

Diese Daten können teilweise folgenden Dokumenten entnommen werden:

- Lüftungsschema
- Betriebsanlageneignung
- Messprotokolle (aus jährlichen Prüfungen)
- Typenschilder (bei Motoren für die Ventilatoren)

- Information von Mitarbeiter:innen

Zur Bewertung des Energieinhalts der Abluft während der Heizperiode kann untenstehende Tabelle dienen. Falls die Halle generell klimatisiert wird, kann die Berechnung auch die Kälteleistung und Leistung zur Be- und Entfeuchtung berücksichtigen (Details siehe klimaaktiv Lüftungsleitfaden, abrufbar unter: <https://www.klimaaktiv.at/en/fachpersonen/prozesse/technologien>). Diese Bewertung wurde auf Basis von Daten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik/ZAMG (Standort Tulln) für folgende Parameter durchgeführt:

- Heizperiode 1. Oktober bis 30. April im Osten Österreichs
- Mittlere Tagestemperaturen für den Zeitraum von Montag bis Freitag (werktags, also ohne Feiertage und Wochenenden, keine Urlaubszeit berücksichtigt), jeweils von 8:00 bis 16:00 Uhr
- Aufwärmung der Luft durch Umgebungstemperatur auf Raumlufttemperatur (20 °C)

Tabelle 1: Energieverlust durch Absaugung der Wärmeenergie

Abluftvolumenstrom [m ³ /h]	Energieinhalt Raumluft pro Stunde pro Tag für ein Jahr (nur sensible Wärme) [kWh/a] 8–16 Uhr	Anteil Frischluft Berechnung (1-Anteil Umluft) [%]	Wirkungsgrad Heiz-Verteilsystem (circa 85 %)	Energieverlust [kWh/a]
5.000	2.663	Auszufüllen	Auszufüllen	Auszufüllen
10.000	5.326	Auszufüllen	Auszufüllen	Auszufüllen
20.000	10.652	Auszufüllen	Auszufüllen	Auszufüllen

Quelle: AEA

Weiters ist der Strombedarf des Ventilators zu bewerten, was mithilfe folgender Tabelle für unregelmäßige Ventilatoren erfolgen kann. Bei geregelten Ventilatoren ist zu überprüfen, ob die Steuerung des Frequenzumrichters relevante Informationen speichert, beziehungsweise sind bei der Begehung die entsprechenden Daten aufzunehmen (zum Beispiel Anzeige der aufgenommenen Leistung in kW, Frequenzanzeige in Hz (Hertz) oder Ähnliches).

Tabelle 2: Berechnung des Strombedarfs des Ventilators

Bezeichnung	Installierte Leistung (Typenschild) [kW]	Auslastungsfaktor (circa 75 % von Typenschild)	Effektive Leistung* [kW]	Laufzeit pro Tag [h]	Arbeitstage pro Jahr [d]	Energieverbrauch pro Jahr [kWh/a]
Absauganlage 1	2.663	Auszufüllen	Auszufüllen	Auszufüllen	Auszufüllen	Auszufüllen
Absauganlage 2	5.326	Auszufüllen	Auszufüllen	Auszufüllen	Auszufüllen	Auszufüllen

*Überprüfungsprotokoll, falls ausgewiesen, oder Messung

Quelle: AEA

Formel 1: Berechnung des Stromverbrauchs pro Jahr in kWh

$$Q = P_N \cdot A_f \cdot t_d \cdot a$$

Q	[kWh]	Energieverbrauch pro Jahr
P_N	[kW]	Nennleistung
A_f	[-]	Auslastungsfaktor
t_d	[h]	Laufzeit pro Tag
a	[-]	Arbeitstage pro Jahr

2.2 Überprüfung Luftgeschwindigkeit

Eine effektive Absaugung bedingt eine geeignete Luftgeschwindigkeit in der Rohrleitung. Diese wird durch Fachfirmen ausgelegt, und falls vorhanden, sollten zunächst die Auslegungsdaten mit den tatsächlichen Betriebsdaten verglichen werden.

Ist die Luftgeschwindigkeit zu niedrig, besteht die Gefahr, dass sich die abgesaugten Stoffe in den Leitungen anlagern. Das gilt besonders bei verzweigten und volumenstromveränderlichen Anlagen und tritt typischerweise auf, wenn Erfassungseinrichtungen aus Gründen der Energieeinsparung mithilfe von Klappen

zweitweise abgesperrt und die Sammelleitungen dann nur mit einem Teilluftstrom betrieben werden (Lehnhäuser, 2024).

Ist eine Absaugung nicht genügend wirksam, reicht eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im Rohr nicht unbedingt aus, um die notwendige Erfassungsgeschwindigkeit am Entstehungsort der Schadstoffbelastung zu gewährleisten. Zuerst müssen andere Parameter geprüft werden:

- Ungeeignete Erfassungseinrichtung
- Zu große Entfernung zwischen Erfassungseinrichtung und Schadstoffquelle
- Zu starke Querströmungen aufgrund von Querlüftungen über offene oder undichte Hallentore
- Erhöhte Schadstoffbelastung

Die Luftgeschwindigkeit beziehungsweise der Volumenstrom hat einen großen Einfluss auf dem Strombedarf sowie auf den Heiz- und Kühlbedarf. Es sollte daher in erster Linie geprüft werden, ob diese nicht zu hoch sind.

Die nachfolgende Untersuchung ermöglicht eine grobe Einschätzung, ob die von der Erfassungseinrichtung geförderten Volumenströme innerhalb von publizierten Erfahrungswerten liegen. Bei Überschreitungen, insbesondere bei größeren Anlagen, kann sie Hinweise auf mögliche Optimierungsmaßnahmen geben.

Folgende Werte der Bestandsanlage sind zu erfassen (Details weiter unten):

- Art der Schadstoffbelastung
- Art der Erfassungseinrichtung
- Entfernung der Erfassungseinrichtung von der Schadstoffquelle
- Luftgeschwindigkeit im Rohr beziehungsweise geförderter Volumenstrom

2.2.1 Ermittlung aktueller Luftgeschwindigkeit

Grundsätzlich werden in der Absaugtechnik folgende Geschwindigkeiten unterschieden:

- Geschwindigkeit der Stoffströmung beziehungsweise Eigengeschwindigkeit des Schadstoffteilchens
- Geschwindigkeit der Querströmung oder Störluftbewegung

- Erfassungsluftgeschwindigkeit beziehungsweise Ansauggeschwindigkeit, die beim Schadstoffteilchen vorliegt
- Transport- oder Fördergeschwindigkeit: Geschwindigkeit im Saugrohr

Die Erfassungsgeschwindigkeit ist die maßgebliche Geschwindigkeit für die Auslegung von Absauganlagen. Sie muss größer oder gleich sein der Eigengeschwindigkeit plus der Geschwindigkeit der Querströmung, um eine korrekte Erfassung zu gewährleisten.

Für die energetische Optimierung von Absauganlagen wird in diesem Leitfaden aber die Überprüfung der Transportgeschwindigkeit im Rohr vorgeschlagen. Daher ist als Erstes die aktuelle Luftgeschwindigkeit im Rohr zu ermitteln. Dieser Wert kann über eine bereits erfolgte Messung anlässlich der jährlichen Überprüfung ermittelt werden (siehe Kapitel 1), über eine neue Messung oder über eine Abschätzung des geförderten Volumenstroms und den Rohrdurchmesser. Die Luftgeschwindigkeit ergibt sich dann durch Division des Volumenstroms durch die Fläche des Rohrquerschnitts:

Formel 2: Berechnung des Volumenstroms

$$\dot{V} = v \cdot A \quad \text{für Zylinder: } A = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

\dot{V}	[m ³ /h]	Volumenstrom
v	[m/h]	Geschwindigkeit
A	[m ²]	Querschnitt
d	[m]	Rohrdurchmesser

2.2.2 Erforderliche Luftgeschwindigkeit

Die folgenden Informationen geben grobe Richtwerte für die je nach Erfassungseinrichtung unterschiedlich erforderlichen Geschwindigkeiten. Auf dieser Basis können die tatsächlichen Luftgeschwindigkeiten durch den Vergleich mit den erforderlichen bewertet werden.

Bei der Berechnung des Volumenstroms unterscheidet man grob in Punktabsaugung und Flächenabsaugung. Bei der Flächenabsaugung, welche auch über die Raumlüftung erfolgen kann, wird der erforderliche Volumenstrom über die entstehenden Schadstoffkonzentrationen ermittelt. Bei der Punktabsaugung fließen in die Berechnung des Volumenstroms mehrere Faktoren wie Erfassungseinrichtung, Abstand zur

Schadstoffquelle, Art der Schadstoffquelle und so weiter ein (Recknagel, Sprenger & Albers, 2022).

Flächenabsaugung/Hallenbelüftung

Bei einer Flächenabsaugung wird der Volumenstrom über die entstehenden Konzentrationen ermittelt. Wichtig ist dabei die Höhe der Schadstoffkonzentration in der Zuluft beziehungsweise der Massenstrom der Emission im Entstehungsraum. Über nachfolgende Gleichung kann der notwendige Volumenstrom nach Recknagel, Sprenger & Albers (2022) berechnet werden:

Formel 3: Berechnung des erforderlichen Zuluftvolumenstroms bei der Abführung weiterer Emissionen bei Flächenabsaugungen

$$\dot{V}_{ZUL} = \frac{\dot{m}_{Em}}{(C_{RAL} - C_{ZUL})}$$

\dot{V}_{ZUL}	[m³/h]	Zuluftvolumenstrom
\dot{m}_{Em}	[mg/h]	Massenstrom der Emission im Raum
C_{RAL}	[mg/m³]	Zulässige Konzentration im Raum (MAK-Wert)
C_{ZUL}	[mg/m³]	Konzentration in der Zuluft

Punktabsaugung

Bei Punktabsaugungen müssen viele verschiedene Faktoren wie die Geometrie der Erfassungseinheit beziehungsweise des Arbeitsbereichs oder die Geschwindigkeiten der Emission berücksichtigt werden. Daher erfolgt die Ermittlung der zu entfernenden Volumenströme oft anhand von Erfahrungswerten. Auf folgende Richtgeschwindigkeiten wird in der Praxis ausgelegt (AUVA, 2018a):

Tabelle 3: Übliche Fördergeschwindigkeiten im Absaugrohr

Fördergut	Fördergeschwindigkeit in m/s
Rauch	9–14

Fördergut	Fördergeschwindigkeit in m/s
Staub	11–14
Späne	14–20
Brand- und explosionsfähiger Staub	> 20

Quelle: AUVA, 2018a

Die Geschwindigkeit in der Rohrleitung wird in der Regel zwischen 10 m/s und 20 m/s gewählt. Einerseits soll sie so niedrig wie möglich sein, um starke Druckverluste und damit einen großen Energieverbrauch zu vermeiden, andererseits jedoch ausreichend hoch, um den hydraulischen Transport der abgesaugten Stoffe zum Abscheider zu gewährleisten. In Ausnahmefällen, wenn wenig Platz vorhanden ist oder Späne anfallen, können Geschwindigkeiten von 40 m/s notwendig sein (Recknagel, Sprenger & Albers, 2022).

Für Holzstaub gibt es gesetzliche Vorgaben. Am Anschlussstutzen der abzusaugenden Maschine und auch in den Rohrleitungen muss eine mittlere Luftgeschwindigkeit von 20 m/s und bei feuchten Spänen von 28 m/s gewährleistet sein (AUVA, 2018a).

Für den sicheren Abtransport des angesaugten Materials sollten für die nachfolgenden Fördergüter die genannten Geschwindigkeiten im Transportrohr erreicht werden (VDI 2262-4, 2006):

Tabelle 4: Fördergeschwindigkeiten im Absaugrohr

Fördergut	Fördergeschwindigkeit in m/s
Kurze Textilfasern	≥ 16
Papierschnitzel	≥ 16
Mehlstaub	≥ 16
Feiner Holzstaub	16–18*
Feiner Sand, trocken	16–20
Grober Sand	20–22
Schleifstaub (vom Glasschleifen)	18–24

Fördergut	Fördergeschwindigkeit in m/s
Kleine Holzspäne	> 20
Staub von Gussputzerei	18–20
Stein- und Gummistaub	18–20
Größere Metallspäne	20–24
Fördergut durch pneumatische Förderung gefördert	> 28
Feuchtes Sägemehl	> 28
Große Holzspäne	> 28
Leicht schwebende Stäube (zum Beispiel von Schweißerei)	12–15
Baustoffe (beim Spritzen und Konsolidieren)	Bis 40
Kühlschmierstoff-Aerosole	12–15

* für Holzstaub sind in Österreich Mindestgeschwindigkeiten von 20 bis 28 m/s erforderlich

Quelle: VDI 2262-4 (2006)

Störströmungen

Bei der Beurteilung notwendiger Luftgeschwindigkeiten beziehungsweise der Auslegung von Erfassungseinrichtungen sind sogenannte Störströmungen relevant. Sie beeinflussen die Ausbreitung der Stoffemissionen, aber auch die Geschwindigkeiten vor der Erfassungseinrichtung.

Störströmungen entstehen durch offene Tore, Türen und Fenster, durch Nachströmung von abgesaugten Luftströmen, Nachströmung bei freier Lüftung, durch lokale Luftbewegungen wie Gebläse oder Fördermittelbewegungen und durch raumluftechnische Anlagen.

Als Richtwerte werden angesetzt (Recknagel, Sprenger & Albers, 2022, Seite 2015):

- Bei Industriehallen mit ausgeglichener Luftstrombilanz und mechanischer Luftzufuhr 0,3 bis 0,5 m/s: Dies ist bei offenen Erfassungseinrichtungen die untere Grenze für die Erfassungsgeschwindigkeit.

- Bei natürlicher Lüftung, in Abhängigkeit von Kühllast und Zuluft, Querströmungen bis 3 m/s: Diese Art von Luftströmung vermindert die Wirksamkeit offener Erfassungssysteme sehr stark.

2.2.3 Berechnung von Absauganlagen

Im Anhang sind die Formeln für den Zusammenhang aus Entfernung, Geometrie der Erfassungseinheit und Transportgeschwindigkeit beziehungsweise Volumenstrom für die unterschiedlichen Absaugeinrichtungen angegeben. Diese Formeln können auch zur Bewertung von Einsparmaßnahmen in diesen Bereichen verwendet werden.

Dazu zählen:

- freie Saugöffnungen (dazu siehe auch das Beispiel in Kapitel 3.2),
- Saugschlitze und
- Saughauben.

2.3 Check für Vor-Ort-Besichtigung

Die Auswahl der Erfassungseinrichtungen hat wesentlichen Einfluss auf die abgesaugte Luftmenge, die Anlagenauslegung und damit auf den Energiebedarf. Folgende Grundregeln sind für eine wirksame, das heißt auch effiziente, Absaugung zu beachten (AUVA, 2018a; BMA, 2020). Sie können bei der Vor-Ort Begehung als Checkliste dienen, um zu überprüfen, ob die Absaugung gut gestaltet ist:

- Die Erfassungseinrichtungen sind so nah wie möglich an der Quelle des gefährlichen Arbeitsstoffes zu positionieren.
- Bei ortsveränderlichen Quellen von gefährlichen Arbeitsstoffen muss die Erfassungseinheit ebenfalls mobil sein und nachgeführt werden können.
- Je stärker die Eigenbewegung des kontaminierten Luftstroms bereits in Richtung der Absaugung wirkt, umso niedriger kann die Menge des Erfassungsluftstroms ausfallen. Die Absaugöffnung sollte möglichst in Richtung des Späneflusses angeordnet sein.
- Störströme sind durch Leitelemente (Leitbleche) oder Wände vom eigentlichen Erfassungsluftstrom abzuschirmen.
- Geschlossene Systeme haben die beste Erfassungswirkung, offene die schlechteste Erfassungswirkung

- Die Erfassungselemente sollten möglichst dicht am Werkstück angeschlossen sein, welches dabei so weit wie möglich umschlossen sein sollte.

Eine Kontrolle der Absauganlagen auf augenscheinliche Mängel hat täglich zu erfolgen. Funktionskontrollen sind einmal im Monat durchzuführen. Dabei sind zu prüfen:

- Beschädigung von Erfassungselementen
- Beschädigung oder Verstopfung von Förderleitungen
- Beschädigung oder Verstopfung von Filtern
- Funktion von Abreinigungs- und Austragseinrichtungen

Die wiederkehrende Überprüfung von mechanischen Lüftungs- und Absauganlagen sowie Absauggeräten muss gemäß GKV § 32 mindestens einmal jährlich erfolgen.

3 Einsparmaßnahmen

3.1 Vermeiden oder Vermindern von gefährlichen Arbeitsstoffen

Aufgrund kontinuierlicher technischer Entwicklungen sollte immer wieder überprüft werden, ob neue Möglichkeiten bestehen, den Umgang mit Arbeitsstoffen zu vermeiden, die abgesaugt werden müssen. Dies kann durch Umstellung oder Ersatz des Verfahrens oder durch den Einsatz umwelt- oder gesundheitsschonender Substanzen erfolgen. Nach § 42 ArbeitnehmerInnenschutzgesetz dürfen eindeutig krebserzeugende Stoffe nicht verwendet werden (Ersatzpflicht), wenn mit nicht oder weniger gefährlichen Arbeitsstoffen ein gleichwertiges Arbeitsergebnis erzielt werden kann.

Vermeiden beziehungsweise Ersatz des Stoffes oder Fertigungsverfahrens (Woyzella, 2024):

- Verwendung von Lacken auf Wasserbasis statt lösemittelhaltiger Lacke
- Ersetzung des Schweißens durch Nieten, Clinchen, Kleben oder Schrauben
- Einsatz von Pulverbeschichtung
- Ersetzung der Zerspanung mit wassergemischten Kühlschmierstoffen durch trockene Zerspanung

Vermindern (Woyzella, 2024):

- Emissionsminderung durch Reduzierung des Gefahrstoffs (zum Beispiel durch Verwendung optimaler Schweißparameter)
- Einsatz emissionsarmer Schweißverfahren, zum Beispiel Unterpulverschweißen, Gasschweißen, Wolfram-Inertgas-Schweißen, Laserstrahlschweißen
- Beschichtung mit Pinsel, Rolle oder Tauchlackieren
- Steinbearbeitung durch Nassbearbeitung
- beim Einsatz von wassergemischten Kühlschmierstoffen Umstellung auf Minimalmengenschmierung oder Optimierung der Prozessparameter
- Verwendung der richtigen Art und ausreichenden Menge des Kühlschmierstoffs am Werkzeug

- Regelmäßige Wartung der Werkzeugmaschine (zur Verminderung der Kühlschmierstoffnebel)
- Lagerung von mit Kühlschmierstoff benetzten Werkstücken in geschlossenen Behältern

3.2 Optimierung des Betriebs von Absauganlagen

Generell muss bei Hallenbelüftungssystemen ein Vielfaches (das 10- bis 100-Fache) der Luft umgewälzt werden, wie es bei Punkt- oder Quellabsaugungen der Fall ist. Daher sollte immer zuerst überlegt werden, ob die einzelnen Schadstoffquellen nicht gesondert abgesaugt werden können.

Die erforderlichen Transportgeschwindigkeiten in Absauganlagen, das heißt der notwendige geförderte Volumenstrom und damit der Strombedarf, hängen in hohem Maße von folgenden Aspekten ab:

- Querströmungen (horizontal oder vertikal)
- Entfernung der Erfassungseinrichtung von der Quelle
- Größe der Erfassungseinrichtung
- Positionierung der Erfassungseinrichtung

Eine hinsichtlich dieser Aspekte ungünstig betriebene oder gebaute Anlage hat meist auch einen niedrigen „Erfassungswirkungsgrad“. Verbesserungen in diesen Bereichen führen nicht unbedingt zu Energieeinsparungen, falls die schlechte Erfassung der Schadstoffe vorher nicht relevant war, sondern führen „nur“ zur verbesserten Abfuhr der Schadstoffe.

Eine bewährte Lösung, um Schadstoffe so nah wie möglich an der Quelle aufzufangen, ist der Einsatz eines gelenkigen Absaugarms. Beispiele für Anwendungsgebiete sind:

- Löten
- Schweißen
- Schleifen

Insbesondere bei Verwendung von Saugarmen spielt der konkrete Umgang damit eine Rolle. Bei der Gestaltung des gesamten Arbeitsplatzes/Raumes gelten folgende Empfehlungen (Nederman, 2018):

- Hohe Hintergrundluftgeschwindigkeiten sind zu vermeiden, insbesondere vertikale Querströmungen von oben.
- Ein Arbeitstisch hat eine leitende und blockierende Wirkung, die die Erfassungseffizienz verbessert.
- Vertikale Trennwände haben bei vertikaler Querströmung keine oder nur eine geringe Auswirkung auf den Erfassungsgrad.

Für die Positionierung der Haube sollen folgende Punkte beachtet werden:

- Der Abzugsarm sollte seitlich in Tischnähe platziert werden, wenn die Schadstoffwolke eine geringe Aufwärtsgeschwindigkeit hat. Dies führt zu einer höheren Erfassungseffizienz bei niedrigeren Luftströmen, selbst wenn die Querströmung hoch ist. Dies bedeutet ein energieeffizienteres lokales Absaugsystem.
- Eine seitlich angeordnete Haube stört den Arbeitsprozess weniger und kann näher an der Verschmutzungsquelle platziert werden.
- Die Haube soll so nah wie möglich an der Verschmutzungsquelle positioniert werden. In Fällen, in denen mehr Abstand erforderlich ist, sollte eine größere Haube verwendet werden, um den Erfassungsbereich zu erweitern. Andernfalls bleibt nur die Erhöhung der Luftgeschwindigkeit, was jedoch den Energieeinsatz steigert.

Art und Größe der Haube: Es sollten immer größere Abzugshauben verwendet werden, die den Prozess abdecken, wenn genügend Platz um die Verschmutzungsquelle herum vorhanden ist.

Erfassungsbereich: Es ist wichtig, dass sich der Erfassungsbereich mit dem Arbeitsbereich überschneidet. Ist dies nicht der Fall, sollte eine größere Haube angebracht werden, um den Erfassungsbereich zu vergrößern. Wenn dies nicht möglich ist, muss der Luftstrom erhöht werden.

Energetische Bewertung durch Verringerung des Abstands

Die Luftgeschwindigkeit verringert sich stark in Abhängigkeit des Abstands. Bei einem Abstand von einem Durchmesser (1 D) zur Saugöffnung beträgt die Luftgeschwindigkeit nur mehr 1/10 der Geschwindigkeit im Rohr.

Beispiel Abstandsverringern

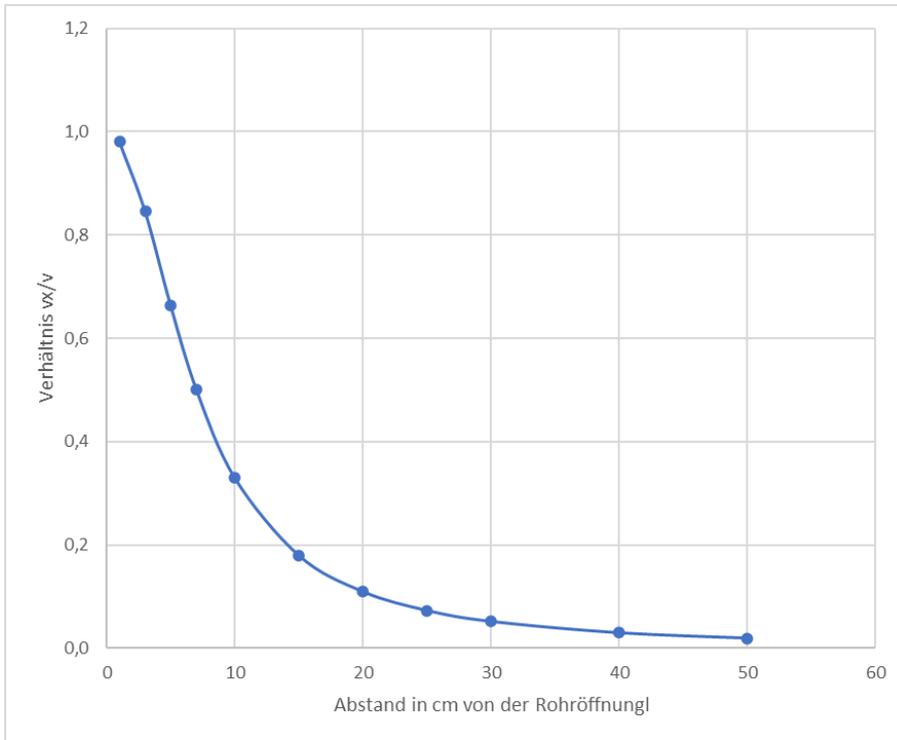
Bei Annahme einer nachführbaren Schweißrauchabsaugung in einem Abstand von 50 cm (Erfassungsgeschwindigkeit 5 m/s) ergibt sich ein Auslegungsvolumenstrom von 4.160 m³/h. Diese Anlagen sollten auf einen Anschlussdurchmesser von 280 mm ausgelegt sein, was einer Transportgeschwindigkeit im Rohr von 18,8 m/s entspricht. Bei Verkleinerung des Abstands auf 40 cm, verringert sich der notwendige Erfassungsvolumenstrom auf 2.650 m³/h oder um 36 %, was einer Senkung des erforderlichen hydraulischen Leistungsbedarfs von 74 % entspricht. Bei einer Verringerung des Abstands auf 30 cm ergibt sich sogar eine Änderung des erforderlichen Volumenstroms um 65 % beziehungsweise einer Abnahme der erforderlichen Leistung um 86 %.

Tabelle 5: Änderung des erforderlichen Volumenstroms bei gleicher Erfassungsgeschwindigkeit durch Verringerung des Abstands

Abstand	Erfassungsgeschwindigkeit	Volumenstrom Anschluss- durchmesser	Änderung Volumenstrom	Änderung erforderlicher Leistung	Transportge- schwindigkeit
50 cm	0,5 m/s	4160 m ³ /h 280 mm	0 %	0 %	18,8 m/s
40 cm	0,5 m/s	2650 m ³ /h 225 mm	-36 %	-74 %	18,5 m/s
30 cm	0,5 m/s	1500 m ³ /h 180 mm	-65 %	-86 %	16,4 m/s

Quelle: VDI 2262-4 (2006); AEA-Berechnung

Abbildung 7: Geschwindigkeitsdiagramm: Abnahme Geschwindigkeit im Abstand von x (cm) (v_x) im Verhältnis zu Geschwindigkeit im Rohr (v) bei Rohrdurchmesser von 25 cm



Quelle: Recknagel, Sprenger & Albers, 2022; AEA-Berechnung

Die sich ergebende Volumenstromänderung durch einen kürzeren Abstand kann für runde, rechteckige und quadratische Saugöffnungen mit und ohne Flansch mit folgender Formel berechnet werden:

Formel 4: Änderung des Volumenstroms bei Änderung von Abstand und Fläche der Saugöffnung

$$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \frac{10 \cdot x_{neu}^2 + A}{10 \cdot x_{alt}^2 + A}$$

\dot{V}	[m ³ /h]	Volumenstrom (neu und alt)
x	[m]	Axiale Entfernung von der Saugöffnung (neu und alt)
A	[m ²]	Fläche der Saugöffnung

Für die Abnahme der erforderlichen Leistung kann folgende Formel herangezogen werden. Diese Formel rechnet nicht den rein kubischen Zusammenhang und geht davon aus, dass bei Nutzung eines Frequenzumrichters nicht die gesamte theoretische Einsparung umgesetzt werden kann und die Leistung nicht unter 25 % gesenkt werden kann:

Formel 5: Änderung der erforderlichen Leistung durch Änderung des Volumenstroms bei Nutzung eines Frequenzumrichters (konservativ berechnet)

$$P_2 = \left(0,25 + 0,75 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right)^3 \right) \cdot P_1$$

P [kW] Leistung des Motors (1=aktuell; 2=optimiert)

\dot{V} [m³/h] Volumenstrom (1=aktuell; 2=optimiert)

Tabelle 6: Senkung der erforderlichen Leistung bei Verringerung des Abstands bei sonst konstanten Bedingungen gegenüber dem Abstand von 50 cm

$P_{\text{neu}}/P_{\text{alt}}$ [%]	$V_{\text{neu}}/V_{\text{alt}}$ [%]	x_{neu} [cm]	x_{alt} [cm]	A [mm ²]
65	81	45	50	491
45	65	40	50	491
34	50	35	50	491
29	37	30	50	491

Wobei: P [kW]: Erforderliche Leistung nach (neu) und vor (alt) Optimierung; \dot{V} [m³/s]: Volumenstrom x nach (neu) und vor (alt) Optimierung; x [cm]: Axiale Entfernung von der Saugöffnung nach (neu) und vor (alt) Optimierung; A [mm²]: Fläche der Saugöffnung;

Quelle: Recknagel, Sprenger & Albers, 2022; AEA-Berechnung

Die Formeln für andere Arten der Absaugeinrichtungen sind im Anhang zu finden. Für diese sind aber im Regelfall investive Maßnahmen erforderlich, um die Abstände zu verändern.

3.3 Betriebszeiten verkürzen

Eine sehr einfache, aber wirkungsvolle Maßnahme ist, die Betriebszeiten der Absaugung nach dem Bedarf zu steuern. Viele Anlagen laufen konstant, auch wenn sie nicht benötigt werden. Bereits eine einfache Abschaltung der Anlage bringt enormes Einsparungspotenzial. Wird die Anlage (etwa während der Nacht, am Wochenende oder in Produktionsferien) nicht benötigt, sollte sie beispielsweise über eine Zeitschaltuhr abgeschaltet werden.

Eine weitere Möglichkeit ist das Koppeln von Absauganlagen an den Betrieb der Maschinen, was insbesondere bei Einzelabsaugungen einfach umzusetzen ist. Wird die Maschine in Betrieb genommen, läuft automatisch auch die Absauganlage an und schaltet sich wieder aus, wenn die Maschine nicht mehr läuft. Ungünstiger ist die Kopplung der Absauganlagen an die Beleuchtung oder den Hauptschalter, da sie dann sehr oft läuft, obwohl kein Bedarf besteht.

Einsparungen können nach folgender Formel ermittelt werden, wobei neben den Stromkosten auch die Heizungskosten zu berücksichtigen sind:

Formel 6: Jährliche Kosteneinsparung bei Verringerung der Betriebszeit

$$\Delta K = \dot{V}_V \cdot (t_{alt} - t_{neu}) \cdot k(V)_{S,W,K,WK}$$

ΔK	[€/a]	Kosteneinsparung pro Jahr
\dot{V}_V	[m ³ /h]	Nennvolumenstrom des Ventilators
t	[h/a]	Betriebszeit
$k(V)_{S,W,K,WK}$	[€/m ³]	Spezifische Kosten für Strom, Wärme, Kühlung, Wartung

3.4 Volumenstrom reduzieren

Als erste Maßnahme sollte die genaue Bestimmung des Volumenstroms erfolgen.

„Bei Zentral- und Gruppenabsaugungen werden mehrere Maschinen über einen zentralen Ventilator abgesaugt. Durch Schließen der nicht benötigten Absaugkanäle durch Schieber kann die Ventilatorleistung angepasst werden. Sobald eine Bearbeitungsmaschine nicht in Betrieb ist, wird die Drehzahl des Absaugventilators so weit abgesenkt, dass nur die

Absaugung der anderen Maschinen noch gewährleistet ist. Jeder Maschine wird dazu eine Mindestdrehzahl zugeordnet und die Untergrenze zur Sicherstellung des pneumatischen Transports definiert. Die Maschinenerkennung weiß, wo gearbeitet wird, und saugt nur dort ab. Das bedeutet in Verbindung mit einem Frequenzumrichter bis zu 60 % Energieersparnis und saubere Luft, da die Absaugung automatisch anläuft. Zusammen mit pneumatischen Schiebern ergibt sich so eine hohe Ersparnis an Energie und auch an Arbeitszeit.“ (AL-KO THERM, 2023)

Durch den Einbau eines Frequenzumrichters (inklusive Sensor) kann genau auf den benötigten Volumenstrom geregelt werden. Dadurch vermeidet man überschüssige Absaugung und reduziert nicht nur Stromkosten, sondern auch Heiz- und Kühlleistungen. Oft wird der Volumenstrom um über 50 % reduziert. Die erforderliche Leistungsaufnahme des Ventilators würde sich theoretisch um circa 87 % reduzieren. Die tatsächliche Leistungsaufnahme hängt aber von der Regelungsart ab. Bei der Nutzung von Formel 8, die die Einsparung konservativ schätzt, reduziert sich die Leistung noch immer um 66 %.

Auch bei Ventilatoren ohne Drehzahlregelung, die über Schieber gesteuert werden, nimmt im gedrosselten Betrieb die Leistungsaufnahme nur um bis zu 20 % ab (Albert, Bodden & Tech, 2003).

Gleichzeitig zu dieser Maßnahme kann ein Ventilator- beziehungsweise Motortausch vorgenommen werden. Effiziente Ventilatoren respektive Motoren können Wirkungsgradverbesserungen von über 10 % erreichen, was erhebliche Energieeinsparungen möglich macht

Die Regelung kann manuell durch den Betreiber erfolgen, aber auch automatisiert über verschiedene Signale. Frequenzumrichter regeln bei mehreren Absaugsträngen typischerweise auf Unterdruck vor dem Filtereintritt, um zum Beispiel einen steigenden Differenzdruck an den Filterelementen zu kompensieren und beim Zu- oder Wegschalten eines Zweiges konstante Volumenströme in den anderen Zweigen sicherzustellen (Rott, 2025).

Aber auch folgende Sensoren werden üblicherweise in der Absaugtechnik verwendet (Rott, 2025):

- Staubmessung: Messung des Reststaubgehalts in der Reingasleitung, nach dem Filter
- Schadstoffmessung

- Messung der Geschwindigkeit und daraus Berechnung des Volumenstroms, Regelung auf Mindestgeschwindigkeit beziehungsweise Mindestvolumenstrom an einem Punkt

Einsparberechnung zur Verringerung des Volumenstroms

Folgende Formeln geben die Zusammenhänge zwischen der Verringerung des Volumenstroms und der Änderung der aufgenommenen Leistung wieder. Damit kann die erwartete Kosteneinsparung berechnet werden. Für eine genaue Berechnung muss dazu für jeden Lastpunkt beziehungsweise jedem Volumenstrom die Betriebszeit abgeschätzt werden.

Formel 7: Theoretische Änderung der erforderlichen Leistung durch Änderung des Volumenstroms

$$\left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^3 = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

\dot{V}	[m ³ /h]	Volumenstrom (1=aktuell; 2=optimiert)
P	[kW]	Leistung des Motors (1=aktuell; 2=optimiert)

Formel 8: Berechnung der aufgenommenen Leistung des Motors nach Änderung des Volumenstroms mittels Frequenzumrichter (konservativ berechnet)

$$P_2 = \left(0,25 + 0,75 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^3\right) \cdot P_1$$

P	[kW]	Leistung des Motors (1=aktuell; 2=optimiert)
\dot{V}	[m ³ /h]	Volumenstrom (1=aktuell; 2=optimiert)

Formel 9: Jährliche Kosteneinsparung bei Verringerung des Volumenstroms

$$\Delta K = (V_{alt} - V_{neu}) \cdot t \cdot k(V)_{S,W,K,WK}$$

ΔK	[€/a]	Kosteneinsparung pro Jahr
\dot{V}	[m ³ /h]	Volumenstrom (alt und neu)
t	[h/a]	Betriebszeit
$k(V)_{S,W,K,WK}$	[€/m ³]	Spezifische Kosten für Strom, Wärme, Kühlung, Wartung

3.5 Einsatz von Wärmerückgewinnung und Umluft

Diese Maßnahme ist vor allem relevant, wenn aus beheizten beziehungsweise gekühlten Hallenteilen abgesaugt wird, noch keine Wärmerückgewinnung installiert ist und kein oder nur geringer Umluftbetrieb herrscht. Zunächst sind die aktuellen Einstellungen der Umluftklappe zu prüfen und die ursprüngliche Auslegung in den Planungsunterlagen festzustellen.

Ist kein Umluftbetrieb installiert, müssen die abgesaugten Volumenströme durch frische Luft in der Produktionshalle ersetzt werden. Dabei können hohe Konditionierungskosten (Wärme im Winter, Kälte im Sommer sowie eventuell Be- und Entfeuchtung) entstehen. Diese Energiemenge kann über die Differenzen zwischen den stündlichen Außentemperaturen am Standort – während der Heiz- beziehungsweise Kühlperiode und der Betriebszeit der Absauganlagen –, den erforderlichen Temperaturen in der Halle und den Volumenströmen errechnet werden (siehe Tabelle 1).

Durch eine Wärmerückgewinnung kann bis zu 80 % der Wärme beziehungsweise auch Kälte wieder verfügbar gemacht werden.

Formel 10: Jährliche Kosteneinsparung durch Wärmerückgewinnung

$$\Delta K = P_{ABL} \cdot \Phi \cdot t \cdot k(E)_{W,K}$$

ΔK	[€/a]	Kosteneinsparung pro Jahr
P_{ABL}	[kW]	Energieinhalt der Abluft
Φ	[-]	Rückwärmezahl
t	[h/a]	Betriebszeit pro Jahr
$k(V)_{S,W,K,WK}$	[€/kWh]	Spezifische Kosten für Wärme und Kühlung

Ist die gereinigte Abluft nicht gesundheitsschädlich (es wurden keine Dämpfe oder Gase entfernt, sondern nur Staub oder Späne), kann die Luft ganz oder zum Teil als Umluft geführt werden. Dadurch werden Verluste der Wärme- und Kälteenergie reduziert beziehungsweise verhindert:

„Es ist aber zu beachten, dass einerseits im Rahmen dieser Umluftnutzung generell keine Luft in Arbeitsbereiche rückgeführt wird, die vorher nicht belastet waren – andererseits ist aber trotzdem die Möglichkeit der Luftführung ins Freie in den Sommermonaten zu nützen.“ (AUVA, 2018a, Seite 11; siehe auch BMWA, 2024, § 15)

Bei Verwendung von eindeutig krebserzeugenden Arbeitsstoffen (Gasen, Dämpfen, Schwebstoffen) ist die Rückführung der Abluft von Klimaanlage, Lüftungsanlagen oder Absaugeinrichtungen (Absauganlagen oder Absauggeräten) in Räume – auch wenn diese Abluft gereinigt ist – grundsätzlich verboten (Umluftverbot), siehe Grenzwerteverordnung (BMA, 2024, § 15). Von dieser Forderung sind jedoch unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen (geregelt in der Grenzwerteverordnung 2011) Ausnahmen zur Luftrückführung möglich.

Die Möglichkeiten zur Luftrückführung sind bei Verwendung von eindeutig krebserzeugenden Schwebstoffen für Absauganlagen (und Absauggeräte) sowie für Klima- und Lüftungsanlagen unterschiedlich geregelt. Für Absauganlagen und Absauggeräte ist die Luftrückführung bei Verwendung von eindeutig krebserzeugenden Schwebstoffen (gilt nicht für Gase und Dämpfe) erlaubt, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

- Es wird ein Zwanzigstel des entsprechenden TRK-Wertes unterschritten.

Oder:

- Es wird ein Zehntel des entsprechenden TRK-Wertes unterschritten,
- und die gesamte Staubbelastung in der rückgeführten Luft beträgt maximal 1 mg/m³,
- und der Umluftanteil an der Zuluft beträgt höchstens 50 %.

Nach BMA (2020, Seite 8 f.) bestehen folgende Vorgaben für Holzstaub:

„Als ausreichend gereinigt gilt die rückgeführte **Luft aus Lüftungs- und Klimaanlage**, wenn durch eine staubtechnische Prüfung die Unterschreitung von 0,1 mg/m³ Holzstaub beziehungsweise von 0,2 mg/m³ Holzstaub bei einem Umluftanteil von 50 % nachgewiesen werden kann.

Als ausreichend gereinigt gilt die rückgeführte **Luft aus Absauganlagen und -geräten**, wenn folgende Filter eingesetzt und entsprechend den Angaben der Hersteller instandgehalten und gewartet werden:

Bei Anlagen, bei denen **höchstens 50 % der Luft** rückgeführt wird, muss der Durchlassgrad des Filtermaterials weniger als 0,5 % betragen. Entstauber, die die Anforderungen der ÖNORM EN 16770 erfüllen (Reststaubkonzentration < 0,1 mg/m³), erfüllen die notwendigen Voraussetzungen.

Diese Bestimmung ist weiters erfüllt durch:

- die Kennzeichnung BG Holzstaubgeprüft ,H2' am Entstauber,
- den Nachweis der Filtermaterialqualität der Staubklasse ,G, C, K1 oder K2' nach ZH 1/487 oder
- den Nachweis der Filtermaterialqualität der Staubklasse ,M' nach EN 60335-2-69:2009 AA.

Bei Anlagen, bei denen **mehr als 50 % der Luft** rückgeführt wird, muss der Durchlassgrad kleiner als 0,1 % sein. Diese Bestimmung ist erfüllt durch:

- die Kennzeichnung BG Holzstaubgeprüft ,H3' am Entstauber oder
- den Nachweis der Filtermaterialqualität ,M' nach EN 60335-2-69:2009 AA.

Die Filterflächenbelastung darf in beiden Fällen 150 m³/m²h (bei Entstaubern 200 m³/m²h) nicht überschreiten.

Bei Absauganlagen mit Rückluftführung muss sichergestellt werden, dass im Falle einer Beschädigung des Filtermaterials (Schlauchbruch) der Eintrag von Staub in die Arbeitsräume so gering wie möglich gehalten wird. Hierzu ist eine Reststaubgehaltsüberwachung oder eine wöchentliche Prüfung der Filterelemente auf Beschädigung erforderlich. Im Störfall muss von Rückluft auf Fortluft umgeschaltet werden. Beschädigte Filterelemente müssen umgehend ausgetauscht werden.

Die Einsatzdauer von Filterschläuchen hängt von der Dauer des Einsatzes der Absauganlage sowie von der Regelmäßigkeit der Abreinigung der Filterschläuche ab. Grundsätzlich müssen Filterschläuche laut den Angaben der Hersteller ausgetauscht werden.“

3.6 Einsatzort, Umbau und Austausch der Ventilatoren

Oft sind Ventilatoren vor dem Gasreinigungssystem eingebaut. Sie befinden sich zwischen den Maschinen, die abgesaugt werden müssen, und dem Filter. Daher müssen diese Ventilatoren verunreinigtes Abgas fördern können (zum Beispiel mit Sägespänen oder mit Lackdämpfen beladene Luft). Unterschieden wird bei den meist in der Ablufttechnik eingesetzten Radialventilatoren zwischen offenen Laufrädern mit einer Scheibe und oft geraden Flügeln sowie geschlossenen Laufrädern mit zwei Scheiben und dazwischenliegenden geraden oder gekrümmten Flügeln.

Ventilatoren für Transportleitungen sind speziell konstruiert und können oft nur 50 % des aufgenommenen Stroms in „Transportenergie“ umwandeln. Das Laufrad muss sehr offen gebaut werden, weil Staub und Späne durchgeführt werden und diese sich in geschlossenen Laufrädern verheddern könnten. Dadurch entsteht aber auch hoher Verschleiß am Laufrad, wodurch der Wirkungsgrad noch geringer wird. Die Ventilatoren haben oft gerade Schaufeln und sind daher besonders verkrustungssicher.

Die verunreinigte Luft wird in die Filteranlage gedrückt, die dann unter Überdruck (Überdruckanlagen oder Rohluftanlagen) steht. Bei Neuanlagen werden diese rohseitigen Ausführungen nur für Gruppenabsaugungen mit gleichmäßigem Luftleistungsbedarf konzipiert. Für Zentralabsaugungen werden sie nur in Ausnahmefällen für Kleinstanlagen mit wenigen Absaugstellen und einheitlicher Luftleistung eingesetzt (DGUV, 2020).

Trotzdem ist aber auch im rohluftseitigen Bereich die Auswahl des Ventilators von der Form der transportierten Späne abhängig. Bei ausschließlichem Anfall von Staub und feinen Spänen können ebenfalls geschlossene Laufräder eingesetzt werden, die Wirkungsgrade über 83 % erreichen können (Albert, Bodden & Tech, 2003, Seite 112). Moderne Ausführungen von offenen Laufrädern mit gekrümmten Schaufeln können Wirkungsgrade von über 65 % erreichen.

Platziert man die Ventilatoren nach der Reinigung (Reinluftanlagen), steht das Gehäuse des Filters unter Unterdruck (Unterdruckanlagen). Das Laufrad kann als Hochleistungslaufrad (geschlossenes Laufrad mit rückwärts gekrümmten Schaufeln) ausgeführt werden, wodurch höhere Wirkungsgrade von beispielsweise über 85 % erreicht werden und die Umsetzung des Stroms in kinetische Energie steigt (AUVA, 2018a; Albert, Bodden & Tech, 2003). Weitere Vorteile sind der geringere Verschleiß der Laufräder. Außerdem sind vom Ventilator erzeugte Zündquellen außerhalb der explosionsfähigen Atmosphäre. Ein Nachteil ist, dass moderne Bearbeitungsmaschinen Unterdrücke am Filter von 3.000 bis 5.000 Pa benötigen, wodurch sie den Einsatz von Stützventilatoren in einzelnen Strängen erfordern.

Formel 11: Jährliche Kosteneinsparung durch Verringerung der erforderlichen Motorleistung

$$\Delta K = (P_{M,1} - P_{M,2}) \cdot t \cdot k(E)_s$$

ΔK	[€/a]	Jährliche Einsparung
P_M	[kW]	Zugeführte Motorleistung (1=aktuell und 2=optimiert)
t	[h/a]	Betriebsstunden pro Jahr
$k(E)_s$	[€/kWh]	Spezifische Kosten für Strom

Die ökonomische Bewertung der Erhöhung des Wirkungsgrades eines neuen Ventilators erfolgt über die Differenz des Wirkungsgrades. Dabei ist der Gesamtwirkungsgrad einzusetzen.

Formel 12: Wirkungsgraddifferenz

$$\eta_{Diff} = 1 - \left(\frac{\eta_{err}}{\eta_{neu}} \right)$$

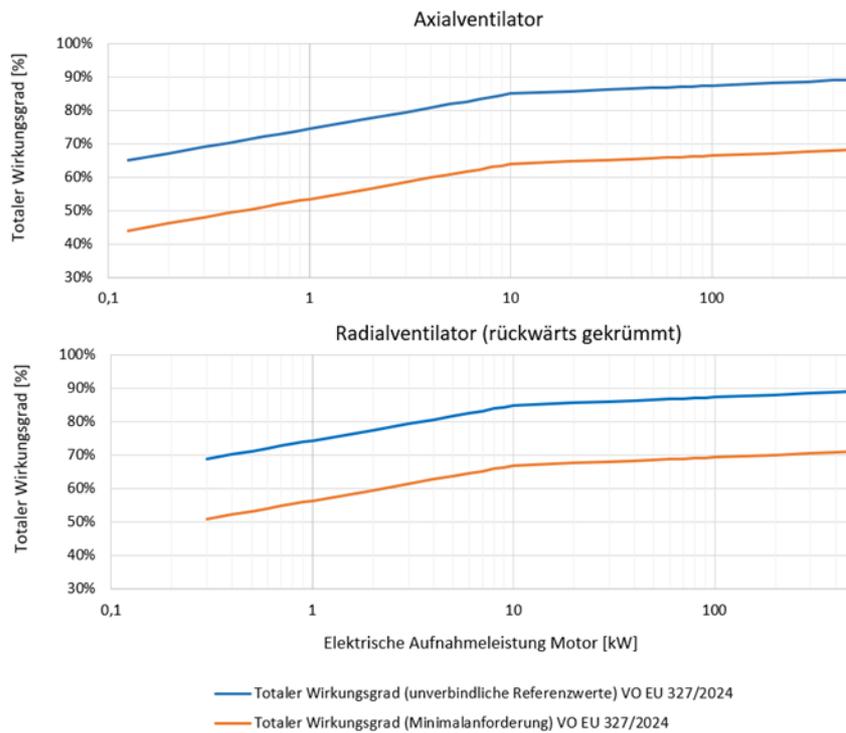
η_{Diff}	[-]	Wirkungsgraddifferenz
η_{err}	[-]	Errechneter Wirkungsgrad
η_{neu}	[-]	Wirkungsgrad neu

Formel 13: Berechnung der Kosteneinsparung pro Jahr bei Wirkungsgradänderung

$$\Delta K = \left(\frac{P_{el}}{\eta_{Diff}} \right) \cdot t \cdot k(E)_s$$

ΔK	[€/a]	Kosteneinsparung pro Jahr
P_{el}	[kW]	Elektrische Leistung
η_{Diff}	[-]	Wirkungsgraddifferenz
t	[h/a]	Betriebsstunden pro Jahr
$k(E)_s$	[€/kWh]	Spezifische Kosten für Strom

Abbildung 8: Mindest- und Maximalwirkungsgrade für Ventilatoren für saubere Abluft nach der EU-Verordnung zu Ökodesign-Vorgaben von Ventilatoren



Quelle: AEA nach EU Verordnung 327/2024

3.7 Umbau von Rohrleitungen und Vermeidung von Undichtheiten

Rohrleitungen sind in vielen Betrieben im Laufe der Zeit „mitgewachsen“. Sie überbrücken dann große Strecken, haben viele Abzweigungen, unterschiedliche Durchmesser oder auch schlecht bedienbare Schieber, was zu Druck- und Geschwindigkeitsverlusten und damit erhöhtem Energieaufwand führt. Zudem können poröse und defekte Abdichtungen Luft- und Druckverluste sowie eine Verunreinigung der Luft begünstigen (AL-KO THERM, 2023).

Bei Rohrleitungen und Ventilatoren sollte daher auf folgende Punkte geachtet werden:

Durch die Absaugung von klebrigen Stäuben und Spänen kann es bei nicht ausreichender Geschwindigkeit im Rohr zu einer Verlegung beziehungsweise Anhaftung von Schmutz in den Rohrleitungen kommen (vor allem in der Metall- und Holzindustrie). Dadurch steigt der Druckverlust, was wiederum den Volumenstrom reduziert beziehungsweise die

Leistungsaufnahme steigert. Daher sollten die Rohrleitungen regelmäßig gereinigt und auf Ablagerungen kontrolliert werden, vor allem in horizontalen Leitungen und vor starken Krümmungen. Dies kann visuell über Revisionsöffnungen und akustisch durch Klopfen an der Leitung erfolgen. Komplizierter wäre die Überprüfung des Druckverlustes (DGUV, 2020).

In diesem Zusammenhang sollte auch die Dichtheit in der Umgebung der Ventilatoren geprüft werden, insbesondere muss die Revisionstür geschlossen sein. Besonderes Augenmerk ist auf die Dichtheit der Filtergehäuse zu legen.

Besonders große Druckverluste entstehen durch senkrecht in den Hauptstrang einmündende Nebenstränge, Richtungsänderungen und Querschnittsveränderungen. Bei einem Neubau einer Absauganlage soll darauf geachtet werden, möglichst große, runde und gerade Rohrleitungen und bei Umlenkungen große Radien einzubauen. Das reduziert ebenfalls den Druckverlust und erleichtert das Reinigen.

Unnütze Querschnittsveränderungen sind zu vermeiden. Bei einer Querschnittserweiterung kommt es (in Strömungsrichtung) vor dem Übergang zum weiteren Leitungsrohr im kleineren Sammelkanal zu einer großen, verlustreichen Absauggeschwindigkeit, die im hinteren Bereich des Sammelrohrs stark absinkt, wodurch sich dort Ablagerungen bilden können. In der Folge werden die Absauggeschwindigkeiten dann so erhöht, bis dies wieder vermieden wird. Besser wäre es, durch sachgerechte Konstruktion der Absaugleitung den Energieeinsatz zu vermindern. So sollte zum Beispiel der Leitungsquerschnitt über eine längere Strecke in Strömungsrichtung ausgeweitet werden.

Für Reinigung, Montage und Reparatur ist auf genügend Platz und zugängliche Wartungsöffnungen zu achten. Nach Optimierung der Rohrleitung durch Reduktion der Verluste und Druckverluste kann die Kosteneinsparung über folgende Formel berechnet werden.

Formel 14: Berechnung der Kosteneinsparung pro Jahr durch Änderung des Volumenstroms beziehungsweise Änderung des Druckverlustes

$$\Delta K = \frac{(\dot{V}_{alt} - \dot{V}_{neu}) \cdot (\Delta p_{alt} - \Delta p_{neu})}{\eta_{ges}} \cdot t \cdot k(E)_S$$

ΔK	[€/a]	Kosteneinsparung pro Jahr
\dot{V}	[m ³ /s]	Gesamtvolumenstrom der Anlage (alt und neu)
Δp	[Pa]	Gesamtdruckverlust (alt und neu)
η_{ges}	[-]	Gesamtwirkungsgrad (Ventilator, Antrieb, Motor)
t	[h/a]	Betriebszeit der Anlage pro Jahr
$k(E)_S$	[€/Wh]	Spezifische Kosten für Strom

3.8 Optimierung der Reinigungsanlagen und Filter

Dem Filter und der Gasreinigungsanlage sollte besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Sie haben nicht nur die Aufgabe, die Verschmutzung aus dem Gas zu entfernen, sondern schützen durch die Reinigung gleichzeitig alle nachfolgenden Geräte (zum Beispiel Ventilator oder Wärmetauscher) sowie die Umwelt. In diesem Kapitel werden zunächst für alle Filter geltende Zusammenhänge hinsichtlich Energieeffizienz erläutert, im Anschluss wird auf zwei häufige Filterarten (Tiefen- und Oberflächenfilter) eingegangen. Am Ende des Kapitels sind ausgewählte Informationen zu weiteren Abscheidemechanismen angeführt (zum Beispiel Elektrofilter und Aktivkohlefilter).

Grundsätzlich sollten folgende Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs von Filtersystemen betrachtet werden (Schuko, 2024; Rott 2025; Albert, Bodden & Tech, 2003):

- Filter möglichst nahe der Absaugstelle anordnen
- Auf eine möglichst kurze und gerade Rohrverbindung zum Filter achten
- Geeignete Filter je nach erforderlicher Schadstoffkonzentration nach dem Filter verwenden (Oberflächen- statt Tiefenfilter oder Patronen- statt Schlauchfilter, je nach Anwendungsfall)
- Auf geringen Filterwiderstand durch materialbezogene Auswahl des richtigen Filtermediums achten
- Auf niedrige Filterflächenbelastung achten
- Vom Hersteller maximal angegebenen Druckabfall überwachen

- Filterregeneration rechtzeitig auslösen (Zykluszeit)
- Vorabscheider gezielt einsetzen
- Fliehkraftabscheider vermeiden, falls nicht unbedingt erforderlich

Als Vorabscheider können beispielsweise eingesetzt werden (DGUV, 2020):

- Schwerkraftabscheider (Absetzkammern) zur Vorabscheidung größerer Partikel
- Prallabscheider zur Abscheidung von Funken
- Magnetabscheider zur Abscheidung von Metallteilen
- Zyklone zur Vorabscheidung größerer Staubmengen für Volumenströme über 100.000 m³/h

Vorabscheider haben immer einen zusätzlichen Druckverlust, entlasten aber den Hauptabscheider (Filter) und verlängern dessen Standzeit. Fliehkraftabscheider führen zu den größten Druckverlusten und sind daher nur dann einzusetzen, wenn sie wirklich notwendig sind.

In Filtern sowie auch anderen Reinigungsanlagen haften die Verunreinigungen an und werden so aus der Abluft entfernt. Durch diese Anhaftung (Filterkuchen) werden Filter über kurz oder lang verstopft, was zu einer deutlichen Druckerhöhung führt. Diese Druckerhöhung muss der Ventilator überwinden, was einen größeren Strombedarf zur Folge hat, oder der Volumenstrom reduziert sich. Neben der Installation eines geeigneten Vorabscheiders oder einer Vorfilterstufe ist die Wartung/Reinigung von Filtern daher essenziell für die effiziente Nutzung einer Absaugung. Differenzdruckmessungen geben hierbei den genauesten Überblick darüber, wann ein Filter gewechselt werden sollte. Rein zeitliche Filterwechselintervalle sind hingegen kaum zu empfehlen, da dies mehrere Nachteile mit sich bringt:

- Filter wird zu spät getauscht: Wechselintervall ist zu lange, wodurch über einen bestimmten Zeitraum zu viel Energie verbraucht wird
- Filter wird zu früh getauscht: Wechselintervall ist zu kurz, wodurch zwar weniger Energie verbraucht wird, jedoch die Filterleistung nicht gänzlich ausgenutzt wird und zu viele Filter verwendet werden (Kostenfaktor Filter)

Andere Systeme (siehe Kapitel „Oberflächenfilter und Abreinigungsfilter“) arbeiten mit einem Lagerraum unter dem Filter. Dieser sollte regelmäßig gereinigt beziehungsweise

entleert werden. Wenn kein Material mehr in den Lagerraum fallen kann, wird der Filter noch schneller verstopft.

Bei bestehenden Anlagen mit kleinem Luftstrom und statischem Filtersystem – also einem Filtersystem, das nicht regeneriert, sondern getauscht wird – kann ein Zwei-Filter-System zur Erhöhung der Standzeit des Filters überlegt werden. Dabei ist vor dem eigentlichen Feinfilter ein Grobfilter eingebaut, um größere Verunreinigungen abzufangen. Dadurch werden die Laufzeiten der Feinfilter zwar verlängert, aber ein solches System hat auch höhere Druckverluste. Für höhere Volumenströme sind daher regenerative beziehungsweise abreinigbare Filtersysteme zu bevorzugen.

Für die Berechnung der Kosteneinsparung wird folgende Gleichung angesetzt:

Formel 15: Berechnung der Kosteneinsparung pro Jahr durch Änderung des Druckverlustes

$$\Delta K = \frac{\dot{V} \cdot (\Delta p_{alt} - \Delta p_{neu})}{\eta_{ges}} \cdot t \cdot k(E)_S$$

ΔK	[€/a]	Kosteneinsparung pro Jahr
\dot{V}	[m³/s]	Gesamtvolumenstrom der Anlage
Δp	[Pa]	Gesamtdruckverlust (alt und neu)
η_{ges}	[-]	Gesamtwirkungsgrad (Ventilator, Antrieb, Motor)
t	[h/a]	Betriebszeit der Anlage pro Jahr
$k(E)_S$	[€/Wh]	Spezifische Kosten für Strom

3.8.1 Tiefenfilter

Tiefenfilter werden als Grob-, Feinstaub- und Schwebstofffilter eingesetzt. Zur Feinstaubabscheidung werden hauptsächlich Vliese und Filze (Nadelfilze) verwendet. Der Filtereffekt ergibt sich dadurch, dass Partikel, die größer als die Poren des Filtergeflechts sind, zurückgehalten werden und sich auf dem Geflecht anlagern (Berger et alia, 2005).

Bei Tiefenfiltern werden auch Partikel, die kleiner als die Porenweite sind, durch Anlagern in der Tiefe der Filter zurückgehalten. Diese Anlagerungen führen zu einer Verringerung des freien Querschnitts und damit zu einem erhöhten Druckverlust, welcher sich in einer steigenden Stromaufnahme des Ventilatormotors auswirkt (Berger et alia, 2005). Ab einem gewissen, vom Hersteller angegebenen maximalen Druckverlust, der gleichzeitig

dem Mindestvolumenstrom entspricht, muss der ganze Filter gewechselt werden. Dies kann über einen Differenzdruck- oder Strömungswächter angezeigt werden. Die Standzeiten können maximal sechs Monate betragen (DGUV, 2020).

Tiefen- oder Speicherfilter werden insbesondere bei niedriger Partikelbelastung von unter 5 mg/m^3 (bis 20 mg/m^3), für feinste Stäube und bei Volumenströmen zwischen 500 und $100.000 \text{ m}^3/\text{h}$ eingesetzt. Die Druckverluste betragen bis zu 600 Pa. Anwendungsgebiete sind Raumlufthanlagen, Farb- und Ölnebelabscheidung sowie Sekundär- und Sicherheitsfilter nach Abreinigungsanlagen (sogenannte Polizeifilter). Auch HEPA-Filter zählen zu den Tiefenfiltern.

3.8.2 Oberflächenfilter oder Abreinigungsfilter

Das Einsatzgebiet von Oberflächenfiltern sind hohe Staubbelastungen, sie werden als Entstaubungsfilter eingesetzt. Hierbei erfolgt die Abscheidung der Partikel auf der Oberfläche des Filtermaterials beziehungsweise dem sich bildenden Filterkuchen. Mit zunehmender Abscheidung steigt der Differenzdruck (und damit der Energieverbrauch des Lüfters), aber auch die Abscheidewirkung. Oberflächenfilter werden daher regelmäßig abgereinigt.

Auch diese Filter haben einen gewissen Anteil an Tiefenfiltration: Schlauch- und Taschenfilter aus Nadelfilz müssen zunächst Staub über Tiefenfiltration aufnehmen, um eine entsprechende Abscheideleistung zu erreichen, was energetisch ungünstig ist. Verbesserungen werden durch den Herstellungsprozess des Filzens mittels Wasserstrahlverfahren erzielt oder dadurch, dass das Medium leichter und dünner produziert wird (Rott, 2024).

Abgesehen davon ist es aus energetischer Sicht bei der Herstellung von regenerativen Filtermedien entscheidend, den Anteil an Tiefenfiltration so gering wie möglich zu halten. Mit einer Membran gelingt es effizient, Tiefenfiltration zu vermeiden, jedoch erzeugt die Membran einen zusätzlichen Widerstand. Moderne Nanogewebe, die in qualitativer Herstellung praktisch keinen zusätzlichen Beitrag zum Differenzdruck leisten, sind dazu sehr gut geeignet (Rott, 2024).

Anwendungsgebiete sind die Abscheidung trockener Partikel aus industriellen Abgasen und Abluft. Typische Beispiele sind Patronen-, Schlauch- oder Taschenfilter:

Patronenfilter verfügen im Vergleich zu Schlauchfiltern über die zehnfache Fläche bei gleichem Raum, was zur Verringerung des Druckverlustes ebenfalls um diesen Faktor führt. Sie eignen sich insbesondere für trockene und frei fließende Stäube bei geringer Filterflächenbelastung. Ihr Druckverlust beträgt zwischen 800 und 2.000 Pa, bei einer Rohgasbelastung von 20 g/m³. (DGUV, 2020).

Filtertaschen bei Taschenfiltern werden über ebene, plattenförmige Rahmen gespannt, die an einer Seite für die gereinigte Luft offen sein müssen. Die Rohluft durchströmt von oben oder horizontal durch das Filtergehäuse. Taschenfilter werden insbesondere bei hoher Partikelbelastung durch trockene Partikel aus industrieller Abluft und Abgasen von bis zu 100 g/m³ eingesetzt. Die Druckverluste bewegen sich zwischen 600 und 2.000 Pa (DGUV, 2020).

Grundsätzlich ist bei Schlauchfiltern das Filtermedium als Schlauch geformt. Schlauchfilter werden insbesondere bei hoher Partikelbelastung von bis zu 100 g/m³ eingesetzt. Die Druckverluste bewegen sich zwischen 1.000 und 2.000 Pa bei stärkerer Beladung. Vorteile im Betrieb sind die hohe Standzeit aufgrund Abreinigungsfähigkeit und die hohe mögliche Oberflächenbelastung. Sie sind insbesondere bei Großanlagen kostengünstig, die Aufstellung erfolgt aufgrund ihrer Höhe dann im Freien.

Der optimale Betriebspunkt eines Schlauchfilters (aber auch anderer Abreinigungsfilter) und damit der Energieverbrauch sind unter anderem abhängig von folgenden Faktoren: Abscheidewirkung, Oberflächenbelastung, Filterfläche, Schlauchlänge, Gestaltung der Roh- und Reingaskammern und der Steuerklappen und Zykluszeit. Ein weiteres Kriterium sind Prozessparameter wie Volumenstrom, Rohgaskonzentration, Temperatur und so weiter (Intensiv-Filter, 2012). Wichtig sind auch gekammerte Ausführungen und die Abschaltung einzelner Module während der Abreinigung (Klein, Schrooten, Neuhaus & Kräbs, 2009).

Die Abreinigung von Filtern für geringe Filterbelastungen kann bei flexiblem, unbeschichtetem Filtermaterial, während der Betriebspausen durch Rüttelung erfolgen (DGUV, 2020). Bei der Spülluftabreinigung kann die aktuell nicht mit Rohgas beaufschlagte Filterfläche auch während des Betriebs gespült werden; dazu sind aber größere Filterflächen und große Luftmengen erforderlich. Druckimpulsverfahren sind auch bei hochbelastetem und beschichtetem Filtermaterial möglich, allerdings ist dazu Druckluft notwendig (DGUV, 2020). Besonderes Augenmerk ist dabei auf die Dichtheit der Filtergehäuse zu legen; es besteht die Gefahr von Emissionen, insbesondere während der

pneumatischen Offlineabreinigung, bei der die Filteranlage sich nicht im Unterdruck befindet.

Weiters können Leckagen im Betrieb im Filtergehäuse zu Querströmungen mit hoher Geschwindigkeit führen und dadurch das Abreinigen leichter Stäube erheblich beeinträchtigen. In der Folge steigen die Differenzdrücke an den Elementen.

Die Filterdurchströmung erfolgt von außen nach innen, die Abreinigung geschieht beispielsweise mit dem Jet-Pulse-Verfahren, also mittels eines Stoßes mit Druckluft in den Schlauch. Das Material fällt dann nach unten in Behälter, wovon es manuell oder mittels Zellenradschleuse ausgetragen und anhand eines Förderventilators in ein Silo gefördert wird. Die Druckluftstöße erfolgen in vorher festgelegten Intervallen, also durch eine feste Zeitsteuerung, oder über Differenzdruck, also nach variablen Zykluszeiten.

Eine weitere Möglichkeit ist die kontinuierliche Anpassung des Abreinigungsdrucks an die jeweiligen Betriebsbedingungen. Auch hier dient der Filterdifferenzdruck als Regelgröße der vordruckgeregelten Abreinigung. Beispielsweise erfolgt eine Druckerhöhung, wenn die Druckdifferenz am Filter mehr als 800 Pa beträgt.

Bei den Injektoren gibt es unterschiedliche Verfahren, die sich auch hinsichtlich des Energiebedarfs unterscheiden. Beispielsweise gibt es Blasdüsen, die den sogenannten Coanda-Effekt nutzen, also Sekundärluft anziehen (Klein, Schrooten, Neuhaus & Kräbs, 2009).

Die Bestimmung der für den Energieverbrauch optimalen Zykluszeit, das heißt die Häufigkeit der Abreinigung, muss empirisch, also im Betrieb, erfolgen. Dazu müsste allerdings eine Messung des Strombedarfs des Ventilators und der Druckluft (zum Beispiel Druckluftmengenmessung) durchgeführt werden.

Über den gesamten Stromverbrauch von Druckluft zur Abreinigung und von Ventilatoren zur Luftförderung durch den Filter ergeben sich folgende Zusammenhänge:

Bei sehr kurzen Zykluszeiten ist der Druckluftverbrauch der wichtigste Einflussfaktor auf die Betriebskosten. Bei Verlängerung der Zykluszeit sinkt zunächst der Gesamtbedarf; nach dem Durchschreiten eines Minimalwertes (optimaler Betriebspunkt) steigen die Betriebskosten aufgrund des erhöhten Widerstands durch den Filterkuchen und des erhöhten Stromverbrauchs des Ventilators wieder an.

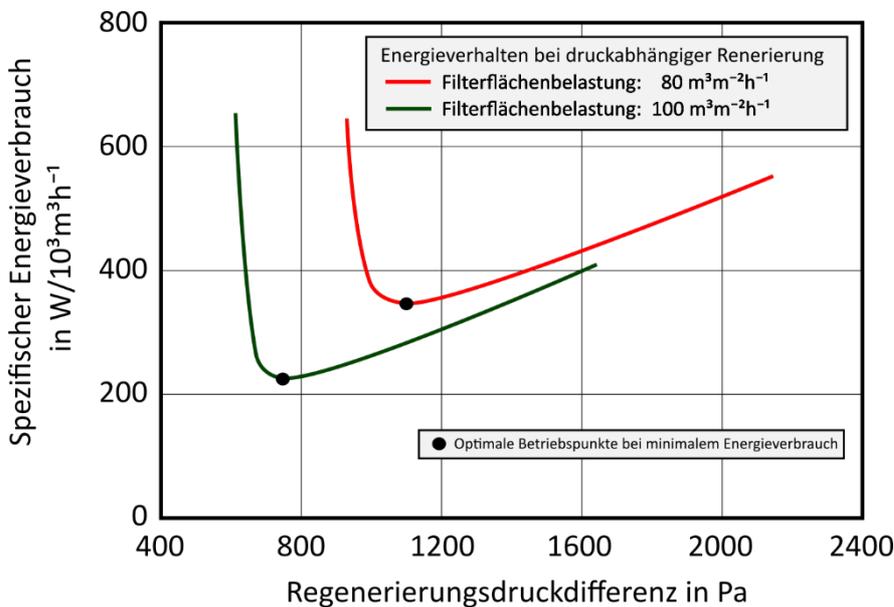
Niedrige Werte des Anlagendruckverlustes zeigen in der Tendenz niedrigere Betriebskosten aufgrund der geringeren Bedeutung der Druckluftkosten gegenüber den Kosten für die Motorleistung des Ventilators. Dies ergibt einen optimalen Arbeitspunkt bei relativ kurzen Zykluszeiten.

Bei hohen Rohgasstaubgehalten liegt der Betriebspunkt mit maximaler Energieeffizienz bei sehr kurzen Zykluszeiten, da der Energiebedarf durch den hohen Widerstand des schnell wachsenden Filterkuchens bestimmt wird.

Bei sehr geringen Rohgasstaubbelastungen (zum Beispiel $\leq 20 \text{ g/m}^3$) liegt der optimale Betriebspunkt bei längeren Zykluszeiten der Abreinigung.

In nachstehender Abbildung sind zwei Beispiele angeführt.

Abbildung 9: Spezifischer Energieverbrauch für die Rohgasfilterung in Abhängigkeit der Filterflächenbelastung und der Regenerierungsdruckdifferenz



Eine Verkürzung der Zykluszeit, das heißt häufigeres Abblasen, führt zu (Heidenreich, 2024):

- Geringerem Differenzdruck und damit Reduktion des Energieverbrauchs der Ventilatoren

- Grundsätzlich reduziertem notwendigen Druck (geringere mechanische Belastung des Filterschlauchs)
- Erhöhung des Druckluftverbrauchs für die häufigere Abreinigung
- Höhere Emissionen (aufgrund geringerer Abscheidewirkung des reduzierten Filterkuchens)

3.8.3 Nassabscheider

In Nassabscheidern werden die abzuscheidenden Partikel oder Aerosole mit einer Waschflüssigkeit in Kontakt gebracht, um sie darin zu binden. Dann wird das entstehende Partikel-Flüssigkeits-Gemisch vom Luftstrom entfernt. Nassabscheider werden nach ihren Abscheideprinzipien in verschiedene Bauformen eingeteilt, zum Beispiel Waschtürme, Strahlwäscher, Wirbelwäscher, Rotationswäscher oder Venturiwäscher (LET Meschede GmbH, 2024; DGUV, 2020).

Nassabscheider werden besonders bei nassen, klebrigen, brennbaren und explosionsfähigen Stäuben eingesetzt. Neben der Abscheidung von Stäuben werden auch die Effekte der Schadgasabsorption oder Gaskühlung ausgenutzt. Aufgrund des relativ hohen Druckverlustes verursachen Nassabscheider höhere Betriebskosten als andere Mechanismen. Außerdem besteht zusätzlicher Aufwand für die Abwasseraufbereitung und die Schlammentsorgung, bei der auch Verkeimung möglich ist (DGUV, 2024).

Tabelle 7: Parameter von Nassabscheidern

Parameter	Waschturm	Strahlwäscher (2-stufig)	Wirbelwäscher	Rotationswäscher (2-Stufig)	Venturiwäscher
Grenzkorndurchmesser [μm]	0,7–1,5	0,8–0,9	0,6–0,9	0,1–0,5	0,05–0,2
Relativgeschwindigkeit [m/s]	1	10–25	8–20	25–70	40–150
Druckverlust Δp [Pa]	200–2.500	0	1.500–2.800	400–1.000	3.000–20.000
Wasserverbrauch pro	0,05–5	5–20 (pro Stufe)	Auslegungsspezifisch	1–3 (pro Stufe)	0,5–5

Parameter	Waschturm	Strahlwäscher (2-stufig)	Wirbelwäscher	Rotations- wäscher (2- Stufig)	Venturi- wäscher
Gasvolumen [l/m ³]					
Energie- verbrauch pro Gasvolumen [kWh/1.000 m ³]	0,2–1,5	1,2–3	1–2	2–6	1,5–6

Quelle: DGUV (2020)

3.8.4 Elektrofilter

Elektrofilter oder elektrostatische Abscheider können durch die Einwirkung eines elektrischen Feldes feste oder flüssige Partikel aus dem Luftraum abscheiden. Zunächst erfolgt die unipolare Aufladung der luftfremden Stoffe im elektrischen Feld im Ionisator. Voraussetzung ist daher, dass die Stoffe einen bestimmten elektrischen Mindestwirkungsgrad besitzen. Im Ionisator sind parallel, zwischen geerdeten Platten, Sprühelektroden gespannt und an eine meistens positive Hochspannungsquelle (8–14 kV) angeschlossen.

Danach lagern sich die Partikel auf der Niederschlags Elektrode ab. Die Elektrode besteht aus parallel angeordneten Aluminium- oder Edelstahlplatten, die ebenfalls an eine Hochspannungsquelle (4–7 kV) angeschlossen sind. Dort bildet sich eine Schicht, die regelmäßig entfernt werden muss, um ungehinderten Ladungstransport zu gewährleisten. Dies kann auch wie bei einem Nass-Elektrofilter über einen ständigen Wasser-Rieselfilm erfolgen (DGUV, 2020; LET Meschede, 2024; DGUV, 2024).

Elektrofilter haben einen geringen Druckverlust und ermöglichen Abscheidegrade von 99 %. Sie können sehr feine Partikel (bis zu 0,01 µm) effizient abscheiden.

Die Ausbildung der Sprühdrähte, die Anzahl der Ionisationsstufen und die Höhe der Ionisationsspannung beziehungsweise des Sprühstroms sind auf Basis praktischer Erfahrungen und theoretischer Planungen entsprechend dem jeweiligen Bedarfsfall auszulegen. Eine modulare Auslegung erleichtert die Anpassung an die tatsächliche Anforderung.

Weiters sollte die Luftgeschwindigkeit nicht zu hoch eingestellt sein, da der Abscheidegrad mit zunehmender Geschwindigkeit abnimmt. Die auf den Plattenelektroden abgelagerten Kühlschmierstoffbestandteile können aufgrund der Schwerkraftwirkung abfließen, wenn sie nicht verharzen oder sich auf andere Weise anlagern. Das Abreinigungsverhalten ist bei dünnflüssigen Substanzen besser als bei dickflüssigen. Abgeschiedene Feststoffe können den Abreinigungsvorgang verschlechtern oder verhindern. Wasseranteile in der Luft stören ebenfalls die Wirkung des Abscheiders durch Entstehung von Kurzschlussströmen, weswegen sie zum Beispiel für wassergemischte Kühlschmierstoffe nicht empfohlen werden (DGUV, 2024).

Der Energiebedarf zum Betreiben elektrischer Abscheider ist gering. Sie eignen sich besonders zur Reinigung großer Gasmengen mit hohen Temperaturen und werden daher bei metallurgischen Prozessen, in Zementwerken oder Müllverbrennungsanlagen eingesetzt (Electricity-Magnetism, 2024).

3.8.5 Aktivkohlefilter

Der Aktivkohlefilter arbeitet durch Adsorption, genauer gesagt durch Physisorption. Das bedeutet, dass sich bestimmte in der Luft vorhandene Gase in den Poren des Kohlenstoffs festsetzen. Die Luft, die den Filter verlässt, wird dann von diesen adsorbierten Gasen gereinigt. Bei der Physisorption wird das Adsorbat durch physikalische Kräfte gebunden, die beteiligten Stoffe daher nicht chemisch verändert. Diese Kräfte sind nicht stark, weshalb die Bindungsenergie zwischen Adsorbat und Absorbat nicht sehr groß ist und dieser Vorgang grundsätzlich reversibel bleibt (VDI 3928, 2017).

Man unterscheidet zwischen regenerativen Anwendungen, wo zum Beispiel durch Einsatz von Dampf die Aktivkohle regeneriert und das abgeschiedene Lösemittel wieder verwendet werden kann, und nichtregenerativen Anwendungen, bei denen das Filtermaterial getauscht und entsorgt werden muss. Erst für Anwendungen, bei denen die gesamte jährliche Emissionsmenge über 10 t pro Jahr liegt, wird von Herstellern die regenerative Anwendung empfohlen (Dürr AG, 2024).

Aktivkohlefilter sind besonders geeignet, um Lösemitteldämpfe (zum Beispiel flüchtige organische Verbindungen/VOCs) oder Kühlschmierstoffdämpfe zu entfernen. Methan wird nicht adsorbiert. Aufgrund der hohen Kosten für Betrieb und Entsorgung werden sie allerdings zur Abscheidung von Kühlschmierstoffen nicht eingesetzt. (DGUV, 2024).

3.9 Abtransport der abgeschiedenen Stoffe

Das ausgefilterte Material (zum Beispiel Stäube oder Späne) wird, wenn es nicht über eine längere Zeit im Bereich der Absauganlage verbleiben kann, einem Silo zugeführt. Silofilter oder kleinere, kompakte Anlagen (Entstauber) beinhalten eine Absackeinrichtung und müssen getauscht oder regelmäßig entleert werden. Bei allen anderen Anlagentypen ist eine weitere Förderung notwendig. Die Auswahl des Transportsystems ist von der Transportmenge und der Entfernung abhängig (DGUV, 2020; Albert, Bodden & Tech, 2003).

Bei kurzen, geraden Förderwegen zwischen Filter und Silo sollten energieeffiziente, mechanische Förderer eingesetzt werden, zum Beispiel Vibrorinnen, Schnecken, Förderbänder oder Kratzkettenförderer (Albert, Bodden & Tech, 2003). Im Gegensatz zu den im Folgenden beschriebenen Systemen kann die Abtransportgeschwindigkeit an das tatsächlich anfallende Material angepasst werden.

Besonders in Handwerksbetrieben mit niedrigem Materialanfall erfolgt der Transport über Niederdruck-Förderanlagen (DGUV, 2020). Bei diesen offenen Systemen wird Transportluft aus der Umgebung angesaugt; das gefilterte Material wird über eine Filteraustragsschleuse in den Luftstrom eingebracht und weiter transportiert. Die eingebrachte Luft entweicht über einen Filter, der als Einbau- oder Aufsatzfilter ausgeführt wird, also sich innerhalb oder außerhalb des Silos befindet. Um den Überdruck im Silo gering zu halten, müssen die Filter regelmäßig gereinigt werden.

Bei holzverarbeitenden Betrieben kommen oft geschlossene Systeme zum Einsatz. Bei Entfernungen bis circa 100 m fördern eine oder mehrere Zellradschleusen das Material in Ringleitungen. Dort wird es durch einen Transportventilator über eine Steigleitung ins Silo geblasen. Dazu sind Fördergeschwindigkeiten von 20 m/s erforderlich, bei nasser Späne sogar 28 m/s, bei größeren Materialbeladungen noch höhere Geschwindigkeiten. Im Silo wird größeres Material abgelagert, kleines Material wird wieder in die Ringleitung mitgerissen. Alternativ sind Abscheider (Zyklone, Filter) zwischengeschaltet, die eine Aufkonzentrierung verhindern. In diesem Fall erfolgt der Materialeintrag ins Silo nach dem Abscheider über eine Zellradschleuse. Der Ventilator kann aber auch im Reingasstrom nach dem Silo installiert sein, was einen effizienteren Betrieb gewährleistet.

Der Vorteil der geschlossenen Systeme liegt darin, dass die Silos theoretisch druckfrei bleiben. Tatsächlich kommt es aber durch Leckluftstrme und unterschiedliche

Gutbeladung im Lagerbehälter zu Über- und Unterdrücken. Ohne gesonderte Abscheider verschlechtert sich im Laufe der Zeit die Abscheidewirkung im Silo, wodurch es zu höherer Gutbeladung in der Saugleitung und danach auch in der Druckleitung kommt. Dies kann die Funktion des Ventilators vermindern und eine Verstopfung der Leitung begünstigen (DGUV, 2020). Daher sollten offene Systeme bevorzugt beziehungsweise Systeme installiert werden, die Über- und Unterdrücke im Silo ausgleichen.

Bei einer Entfernung von 150 m kommen Einrohrsysteme zum Einsatz, wobei das Material entweder direkt aus der Filteranlage abgesaugt oder über eine Zellschleuse zugeführt wird. Bei einer Entfernung von über 150 m sind pneumatische Mitteldruckanlagen mittels Drehkolbenverdichter zur Erzeugung des Förderstroms empfohlen. Eine weitere Möglichkeit stellt die Brikettpresse dar.

4 Anhang: Berechnungsformeln zu baulichen Veränderungen bei Erfassungseinrichtungen

Tabelle 8: Formelsammlung zur Berechnung von offenen Saugöffnungen mit und ohne Flansch (siehe Abbildung 4)

Art der Öffnung	Verhältnis der Luftgeschwindigkeiten	Volumenstrom	Verhältnis der Volumenströme bei Änderung Abstand
Freie Saugöffnung ohne Flansch	$\frac{v_x}{v} = \frac{A}{10 \cdot x^2 + A}$	$\dot{V} = v \cdot A = (10 \cdot x^2 + A) \cdot v_x$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \frac{10 \cdot x_{neu}^2 + A}{10 \cdot x_{alt}^2 + A}$
Freie Saugöffnung mit Flansch	$\frac{v_x}{v} = 1,33 \cdot \frac{A}{10 \cdot x^2 + A}$	$\dot{V} = v \cdot A = \left(\frac{10 \cdot x^2 + A}{1,33}\right) \cdot v_x$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \frac{10 \cdot x_{neu}^2 + A}{10 \cdot x_{alt}^2 + A}$

Wobei: v [m/s]: Luftgeschwindigkeit im Transportrohr; vx [m/s]: Luftgeschwindigkeit in der Entfernung; x [m]: Axiale Entfernung von der Saugöffnung; A [m²]: Fläche der Saugöffnung; \dot{V} [m³/s]: Volumenstrom

Quelle: Recknagel, Sprenger & Albers, 2022; AEA-Berechnung

Tabelle 9: Formelsammlung zur Berechnung von Saughauben (siehe Abbildung 5)

Art der Öffnung	Verhältnis der Luftgeschwindigkeiten	Volumenstrom	Verhältnis der Volumenströme bei Änderung Abstand, Fläche
Oberhauben	$\frac{v_x}{v} = \frac{0,5 \cdot A}{x \cdot U}$	$\dot{V} = v \cdot A = 2 \cdot x \cdot U \cdot v_x$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \frac{x_{neu} \cdot U_{neu}}{x_{alt} \cdot U_{alt}}$
Seitenhauben ohne Flansch	$\frac{v_x}{v} = \frac{A}{5 \cdot x^2 + A}$	$\dot{V} = v \cdot A = (5 \cdot x^2 + A) \cdot v_x$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \frac{5 \cdot x_{neu}^2 + A_{neu}}{5 \cdot x_{alt}^2 + A_{alt}}$

Art der Öffnung	Verhältnis der Luftgeschwindigkeiten	Volumenstrom	Verhältnis der Volumenströme bei Änderung Abstand, Fläche
Seitenhauben mit Flansch	$\frac{v_x}{v} = 1,33 \cdot \frac{A}{5 \cdot x^2 + A}$	$\dot{V} = v \cdot A = 0,75 \cdot (5 \cdot x^2 + A) \cdot v_x$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \frac{5 \cdot x_{neu}^2 + A_{neu}}{5 \cdot x_{alt}^2 + A_{alt}}$
Unterhauben	$\frac{v_x}{v} = \frac{A}{10 \cdot x^2 + A}$	$\dot{V} = v \cdot A = (10 \cdot x^2 + A) \cdot v_x$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \frac{10 \cdot x_{neu}^2 + A_{neu}}{10 \cdot x_{alt}^2 + A_{alt}}$

Wobei: v [m/s]: Luftgeschwindigkeit im Transportrohr; v_x [m/s]: Luftgeschwindigkeit in der Entfernung; x [m]: Axiale Entfernung von der Saugöffnung; A [m²]: Fläche der Saugöffnung; U [m]: Umfang der Saugöffnung; \dot{V} [m³/s]: Volumenstrom

Quelle: Recknagel, Sprenger & Albers, 2022; AEA-Berechnung

Tabelle 10: Formelsammlung zur Berechnung von Saugschlitzten (siehe Abbildung 6)

Art der Öffnung	Verhältnis der Luftgeschwindigkeiten	Volumenstrom	Verhältnis der Volumenströme bei Änderung Abstand, Fläche
Saugschlitz frei ansaugend	$\frac{v_x}{v} = 0,25 \cdot \frac{h}{x}$	$\dot{V} = v \cdot A = \left(4 \cdot \frac{x}{h}\right) \cdot v_x \cdot A$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \frac{\left(\frac{x_{neu}}{h_{neu}}\right) \cdot A_{neu}}{\left(\frac{x_{alt}}{h_{alt}}\right) \cdot A_{alt}}$
Saugschlitz mit einseitigem Flansch	$\frac{v_x}{v} = 0,33 \cdot \frac{h}{x}$	$\dot{V} = v \cdot A = \left(3,03 \cdot \frac{x}{h}\right) \cdot v_x \cdot A$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \frac{\left(\frac{x_{neu}}{h_{neu}}\right) \cdot A_{neu}}{\left(\frac{x_{alt}}{h_{alt}}\right) \cdot A_{alt}}$
Saugschlitz mit zweiseitigem Flansch	$\frac{v_x}{v} = 0,5 \cdot \frac{h}{x}$	$\dot{V} = v \cdot A = \left(2 \cdot \frac{x}{h}\right) \cdot v_x \cdot A$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \left(\frac{W_{neu}}{W_{alt}}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{L_{neu}}{L_{alt}}\right)^{0,8}$
Saugschlitz bei Bädern, auf einer Badseite mit Flansch (Beckenrand)	Keine Angabe	$\dot{V} = 2 \cdot v_x \cdot L \cdot W \cdot \left(\frac{W}{L}\right)^{0,2}$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \left(\frac{W_{neu}}{W_{alt}}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{L_{neu}}{L_{alt}}\right)^{0,8}$
Saugschlitz bei Bädern, auf einer Badseite ohne Flansch	Keine Angabe	$\dot{V} = 3 \cdot v_x \cdot L \cdot W \cdot \left(\frac{W}{L}\right)^{0,2}$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \left(\frac{W_{neu}}{W_{alt}}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{L_{neu}}{L_{alt}}\right)^{0,8}$

Art der Öffnung	Verhältnis der Luftgeschwindigkeiten	Volumenstrom	Verhältnis der Volumenströme bei Änderung Abstand, Fläche
Saugschlitz bei Bädern, auf beiden Badseiten mit Flansch	Keine Angabe	$\dot{V} = 2 \cdot v_x \cdot L \cdot W \cdot \left(\frac{W}{2 \cdot L}\right)^{0,2}$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \left(\frac{W_{neu}}{W_{alt}}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{L_{neu}}{L_{alt}}\right)^{0,8}$
Saugschlitz bei Bädern, auf beiden Badseiten ohne Flansch	Keine Angabe	$\dot{V} = 3 \cdot v_x \cdot L \cdot W \cdot \left(\frac{W}{2 \cdot L}\right)^{0,2}$	$\frac{\dot{V}_{neu}}{\dot{V}_{alt}} = \left(\frac{W_{neu}}{W_{alt}}\right)^{1,2} \cdot \left(\frac{L_{neu}}{L_{alt}}\right)^{0,8}$

Wobei: v [m/s]: Luftgeschwindigkeit im Transportrohr; v_x [m/s]: Luftgeschwindigkeit in der Entfernung; x [m]: Axiale Entfernung von der Saugöffnung beziehungsweise Abstand zwischen Emissionsquelle und Ansaugöffnung; A [m²]: Fläche der Saugöffnung; \dot{V} [m³/s]: Volumenstrom; h [m]: Höhe der Ansaugöffnung; L [m]: Länge des Bades; W [m]: Breite des Bades

Quelle: Recknagel, Sprenger & Albers, 2022; AEA-Berechnung

Über klimaaktiv

klima**aktiv** ist die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Seit 2004 bietet sie in den Themenschwerpunkten „Bauen und Sanieren“, „Energiesparen“, „Erneuerbare Energie“ und „Mobilität“ ein umfassendes, ständig wachsendes Spektrum an Information, Beratung sowie Weiterbildung und setzt Standards, die international Vorbildcharakter haben.

klima**aktiv** zeigt, dass jede Tat zählt: Jede und jeder in Kommunen, Unternehmen, Vereinen und Haushalten kann einen aktiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Damit trägt die Initiative zur Umsetzung des nationalen Energie- und Klimaplanes (NEKP) für Österreich bei. Näheres unter klimaaktiv.at

Das klima**aktiv**-Programm Betriebe setzt gezielt Impulse zur Erhöhung der Energieeffizienz in österreichischen Produktions- und Gewerbebetrieben und unterstützt diese auf ihrem Weg in Richtung Klimaneutralität. Informationen, Angebote und Good-Practice-Beispiele von umgesetzten Maßnahmen finden Sie unter klimaaktiv.at/effizienz.

Kontakt

Strategische Gesamtsteuerung klima**aktiv**

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Sektion Klima und Energie

Abteilung VI/12 - Dialog zu Energiewende und Klimaschutz

Stubenbastei 5, 1010 Wien

Programmmanagement klima**aktiv** Betriebe

Österreichische Energieagentur

Petra Lackner

eebetriebe@energyagency.at

klimaaktiv.at/effizienz

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energieverlust durch Absaugung der Wärmeenergie	21
Tabelle 2: Berechnung des Strombedarfs des Ventilators.....	22
Tabelle 3: Übliche Fördergeschwindigkeiten im Absaugrohr	25
Tabelle 4: Fördergeschwindigkeiten im Absaugrohr.....	26
Tabelle 5: Änderung des erforderlichen Volumenstroms bei gleicher Erfassungsgeschwindigkeit durch Verringerung des Abstands.....	33
Tabelle 6: Senkung der erforderlichen Leistung bei Verringerung des Abstands bei sonst konstanten Bedingungen gegenüber dem Abstand von 50 cm.....	35
Tabelle 7: Parameter von Nassabscheidern.....	54
Tabelle 8: Formelsammlung zur Berechnung von offenen Saugöffnungen mit und ohne Flansch (siehe Abbildung 4).....	59
Tabelle 9: Formelsammlung zur Berechnung von Saughauben (siehe Abbildung 5)	59
Tabelle 10: Formelsammlung zur Berechnung von Saugschlitzten (siehe Abbildung 6)	60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema einer industriellen Absauganlage.....	6
Abbildung 2: Arten von Erfassungseinrichtungen nach Grad der Quellumschließung.....	8
Abbildung 3: Effiziente Arten von halboffenen Systemen mit Zuluftunterstützung teilflächig von oben nach unten: Absaugung unten (linke Darstellung, a) oder oben mit Wirbelhaube (rechte Darstellung, b).....	9
Abbildung 4: Freie Saugöffnung	10
Abbildung 5: Oberhaube	11
Abbildung 6: Saugschlitz mit zweiseitigem Flansch	12
Abbildung 7: Geschwindigkeitsdiagramm: Abnahme Geschwindigkeit im Abstand von x (cm) (v_x) im Verhältnis zu Geschwindigkeit im Rohr (v) bei Rohrdurchmesser von 25 cm .	34
Abbildung 8: Mindest- und Maximalwirkungsgrade für Ventilatoren für saubere Abluft nach der EU-Verordnung zu Ökodesign-Vorgaben von Ventilatoren.....	45
Abbildung 9: Spezifischer Energieverbrauch für die Rohgasfilterung in Abhängigkeit der Filterflächenbelastung und der Regenerierungsdruckdifferenz	53

Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung des Stromverbrauchs pro Jahr in kWh	22
Formel 2: Berechnung des Volumenstroms.....	24
Formel 3: Berechnung des erforderlichen Zuluftvolumenstroms bei der Abführung weiterer Emissionen bei Flächenabsaugungen.....	25
Formel 4: Änderung des Volumenstroms bei Änderung von Abstand und Fläche der Saugöffnung.....	34
Formel 5: Änderung der erforderlichen Leistung durch Änderung des Volumenstroms bei Nutzung eines Frequenzumrichters (konservativ berechnet)	35
Formel 6: Jährliche Kosteneinsparung bei Verringerung der Betriebszeit	36
Formel 7: Theoretische Änderung der erforderlichen Leistung durch Änderung des Volumenstroms	38
Formel 8: Berechnung der aufgenommenen Leistung des Motors nach Änderung des Volumenstroms mittels Frequenzumrichter (konservativ berechnet)	38
Formel 9: Jährliche Kosteneinsparung bei Verringerung des Volumenstroms.....	39
Formel 10: Jährliche Kosteneinsparung durch Wärmerückgewinnung.....	40
Formel 11: Jährliche Kosteneinsparung durch Verringerung der erforderlichen Motorleistung.....	43
Formel 12: Wirkungsgraddifferenz	44
Formel 13: Berechnung der Kosteneinsparung pro Jahr bei Wirkungsgradänderung	44
Formel 14: Berechnung der Kosteneinsparung pro Jahr durch Änderung des Volumenstroms beziehungsweise Änderung des Druckverlustes.....	47
Formel 15: Berechnung der Kosteneinsparung pro Jahr durch Änderung des Druckverlustes.....	49

Anmerkung: Die Formeln, die im Anhang angeführt sind, scheinen nicht im Formelverzeichnis auf.

Literaturverzeichnis

Albert J.; Bodden P.; Tech, T. (2003): Rationelle Energienutzung im holzbe- und verarbeitendem Gewerbe, Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden

AL-KO THERM GmbH (2023): AL-KO Absaugtechnik, Energie Sparen – Margen steigern. Abgerufen am 5.12.2024 von https://alko-extractionstechnology.com/wp-content/uploads/2023/08/ALKO-Absaugtechnik_Energie-Sparen_2023.pdf

ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (1994): Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich Nummer 459/1994

AUVA – Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (2018a): M Plus 911 Sicherheit Kompakt, Absauganlagen, Sicherheitsinformationen für Führungskräfte, Wien

AUVA – Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (2018b): M Plus 314 Sicherheit Kompakt, Krebserzeugende Arbeitsstoffe erkennen und handhaben, Sicherheitsinformationen für Führungskräfte, Wien

Berger, H.; Bachmann, G.; Cremer, P.; Dechant, A.; Eisenhut, T.; Kolleger, A.; Passath, J.; Tagwerker, C. (2005): Energieeffiziente Technologien und effizienzsteigernde Maßnahmen, Umweltbundesamt, Wien

BMA – Bundesministerium für Arbeit, Sektion II – Arbeitsrecht und Zentral-Arbeitsinspektorat (2020): Holzstaub, Leitfaden, Wien

BMAW – Bundesministerium für Arbeit und Wirtschaft, Sektion Arbeitsrecht und Zentral-Arbeitsinspektorat (2024): Kommentierte Grenzwerteverordnung. Abgerufen am 6.12.2024 von https://www.arbeitsinspektion.gv.at/Arbeitsstoffe/Grenzwerte/Kommentierte_Grenzwerteverordnung.html#heading_32_Pruefungen

DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V., Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Absauganlagen (2020): Konzeption, Planung, Realisierung und Betrieb, DGUV-209-200

DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (2024): Abscheider. Abgerufen am 6.12.2024 von <https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/kuehlschmierstoffe/lexikon/abscheider/index.jsp>

Dürr AG (2024): Sorpt.X CA – Aktivkohlefilter. Abgerufen am 5.12.2024 von <https://www.durr.com/de/produkte/umwelttechnik/abgas-und-abluftreinigung/sorpt-x-sorptive-verfahren/sorpt-x-ca>

Electricity-Magnetism (2024): Wie funktioniert ein elektrostatischer Abscheider? Abgerufen am 6.12.2024 von <https://www.electricity-magnetism.org/de/wie-funktioniert-ein-elektrostatischer-abscheider/>

Gerstbauer, C.; Sibille, E.; Kulterer, K.; Dimov, D. (2025): klimaaktiv Leitfaden für Audits an Lüftungsleitfaden, Herausgeber Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Heidenreich, R.: (2024): Ganzheitlicher Ansatz für Energieeffizienz der Lufttechnik in Produktionshallen, aus VDI-Veranstaltung „Lufttechnik in der Industrie“, 15.5.2024

Intensiv-Filter GmbH & Co. KG (2012): Ermittlung der optimalen Zykluszeit für Schlauchfilteranlagen durch das Filter-Expertensystem. Abgerufen am 6.12.2024 von <https://pro-4-pro.com/de/produkt/24845-ermittlung-der-optimalen-zykluszeit-fuer-schlauchfilteranlagen-durch-das-filter-expertensystem-proexpertise.html>

Klein, G.-M., Schrooten, Neuhaus, T., Kräbs, R. (2009): Energieeffiziente Jet-Pulse-Entstaubungsanlagen, in Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft Sonderdruck 7/2009; Herausgeber: BGIA – Institut für Arbeitsschutz und Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL (Klein, Schrooten, Neuhaus & Kräbs, 2009)

Lehnhäuser, F. (2024): Zum Anlagenbetrieb in der Industrie, aus VDI-Veranstaltung „Lufttechnik in der Industrie“, 15.5.2024

LET Meschede GmbH (2024): Kühlschmierstoffe /Öl- und Emulsionsnebelabscheidung. Abgerufen am 6.12.2024 von https://www.let-meschede.de/wp-content/uploads/oelnebelabscheider_emulsionsnebelabscheider_kuehlschmierstoffe.pdf

Nederman Holding AB (2018): Improve Air Quality and Energy Efficiency by Optimizing Capture Efficiency with Nederman Articulated Extraction Arms (AEA), Whitepaper

Recknagel, H.; Sprenger, E.; Albers, K.J. (2022): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2021/2022, 80. Auflage, Oldenbourg-Verlag. München

Reisenbichler, R. (2009): Energieeffizienzsteigerung durch standardisierte Energieaudits in Industrie und produzierendem Gewerbe, Wien

Rott, A., IMEX Filtertechnik GmbH (2025): Experteninterview zu Energieeffizienzmaßnahmen im Bereich technischer Absaugung und Filtertechnik, durchgeführt von Konstantin Kulterer (AEA) am 21.1.2025

Schuko H. Schulte Südhoff GmbH (2024): Energieeffizienz & Fördermittel für Absaug- und Filteranlagen. Abgerufen am 5.12.2024 von <https://www.schuko.de/de/beratung-service/energieeffizienz-foerdermittel>

Tallian, C.; Holzleitner, G. (2023): Richtige Prüfung und Dokumentation von Absaugeinrichtungen, Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA). Abgerufen am 6.11.2024 von <https://www.sicherearbeit.at/ausgaben/2023/ausgabe-2-2023/richtige-pruefung-und-dokumentation-von-absaugeinrichtungen>

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2006): VDI 2262-4: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe, Erfassen luftfremder Stoffe

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (2017): VDI 3928: Abgasreinigung durch Chemisorption

Woyzella, R. (2024): Rechtsgrundlagen, aus VDI-Veranstaltung „Lufttechnik in der Industrie“, 15.5.2024

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 (0) 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at