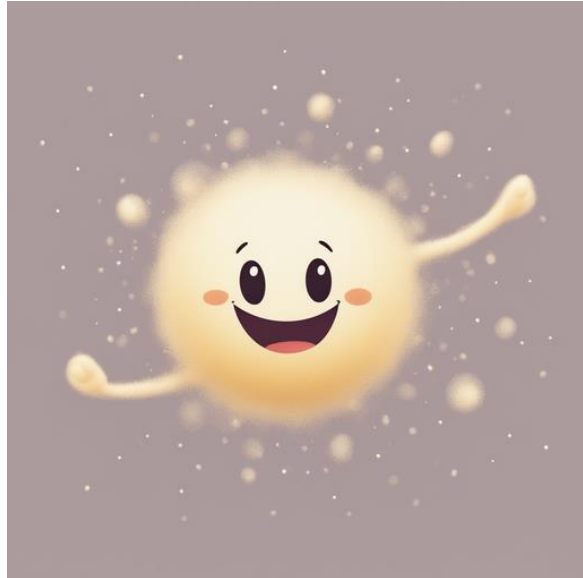


Die Geschichte vom fliegenden Partikel



Teil 1

Es war einmal ein Partikel, das frech und frei in der Luft schwebte. Es war so klein, dass es bei jeder Luftbewegung eine neue Richtungsänderung vornahm – mal nach oben, mal nach links, mal im Kreis. Zusammen mit seinen Artgenossen bildete es eine Staubwolke, die ein Mensch mit bloßem Auge aber nicht erkennen konnte.



Was wie der Beginn einer Kindergeschichte anmutet, ist in der Realität ein kaum bekannter Fakt, der dem Thema Arbeits- und Mitarbeiterschutz in produzierenden Unternehmen eine besondere Bedeutung zukommen lässt.

Industrielle Luftschadstoffe – Staub und Rauch

Industrielle Fertigungsprozesse wie Fügen, Trennen oder jegliche Form der Oberflächenbearbeitung generieren luftgetragene Schadstoffe. Grundsätzlich entstehen folgende Arten von Luftverunreinigungen:

- Gasförmige Stoffe
- Aerosole
- Dampf
- Nebel
- Rauch
- Staub

Im Folgenden soll der Fokus auf **Staub und Rauch** liegen. Doch was sind Staub und Rauch?

Staub und Rauch bestehen grundsätzlich aus Partikeln, also kleinsten Teilchen in Größen zwischen 0,01 μm und $<10 \mu\text{m}$. Zum Vergleich: Ein menschliches Haar ist zwischen 40 und 100 μm dick.

Ihre Größe variiert je nach ihrem Ursprung. So kann beispielsweise Schweißrauch Partikel in Größen zwischen 0,01 und 1 μm beinhalten, wohingegen die Partikel in Laserrauch selten größer als 0,01 μm sind – beim Ultrakurzpuls-Lasern gar im Nanometerbereich angesiedelt sind.

Bei Staub handelt es sich wie bei Rauch um fein verteilte Feststoffe. Das Schwebevermögen und die Sinkgeschwindigkeit von Staubteilchen sind von deren Größe, Form und spezifischem Gewicht abhängig. Staub entsteht in der Produktion vor allem bei der mechanischen Zerkleinerung (z.B. Mahlen, Stampfen, Schneiden), der spanabhebenden Bearbeitung (z.B. Sägen, Fräsen, Feilen, Schleifen, Polieren, Strahlen), bei industriellen Bearbeitungsprozessen mit Lasern sowie der additiven Fertigung.

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

Die geringe Größe der Partikel ist dabei der Knackpunkt, sie sind unterhalb 10 µm einatembar (E-Fraktion). Ab einer Größe von weniger als 3 µm überwinden sie die Blut-Lunge-Barriere, sind also alveolengängig/alveolär (A-Fraktion). Sie können sich dadurch im menschlichen Organismus einlagern und potenziell Krankheiten verursachen.

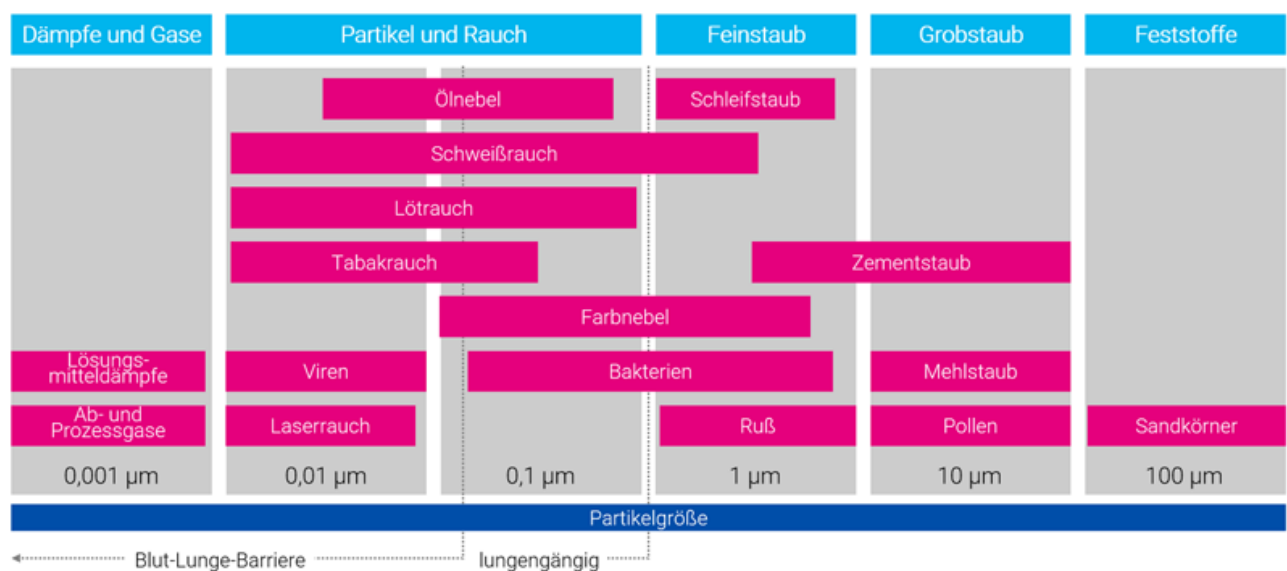


Bild 1: Partikelgrößen

Schadstoffausbreitung und Schwebeverhalten

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

Es gibt eine Vielzahl von Einflussgrößen auf die Schadstoffausbreitung im Raum, die in der folgenden Tabelle des Fachverbandes VDMA dargestellt sind:

Einfluss-Parameter	Variationsgröße
Größe und Ausdehnung der Quelle	• Punktförmig • Linienförmig • Flächig • Räumlich
Zustand der Stoffe	• Aggregatzustand • Temperatur • Dichte • Druck
Art der Freisetzung	• Eigenbewegung • Fremdbewegung
Raumluftrömung in der Umgebung der Emissionsquelle	• Störströmung
Anordnung der Quelle im Raum	• Raumkoordination
Freisetzungsort	• Ortsfest • Ortsunveränderlich
Zeitdauer der Emission	• Ständig • Zeitweise
Freigesetzte Stoffmenge	• Konzentration • Arbeitsverfahren
Physikalische und chemische Eigenschaften der Stoffe	• Sorptionsverhalten • Reaktivität • Agglomeration • Abrasivität • Brennbarkeit

Tabelle 1: Einflussgrößen auf die Schadstoffausbreitung (Quelle: VDMA)

Bei der Freisetzung von flüssigen und festen Stoffen (Nebel, Rauch, Staub) ist die Tröpfchen- bzw. Partikelgröße zu betrachten. Abhängig von ihrer Größe, Geometrie und ihrer Dichte sinken sie langsamer oder schneller zu Boden (Sedimentation). Feine und leichte Partikel können sehr lange in der Luft schweben. Bei gasförmigen Stoffen ist nur der Dichteunterschied zur umgebenden Luft zu berücksichtigen.

Die Freisetzung und Ausbreitung luftfremder Stoffe werden durch vier treibende Kräfte bestimmt: Dichteunterschiede, Druckunterschiede, äußere Kräfte und Diffusion. Diese führen zu unterschiedlichen Strömungsausprägungen und sind somit Ausgangspunkt und Grundlage bei der Planung und Auslegung von Erfassungseinrichtungen.

Das Sedimentationsverhalten feinsten Partikel ist demnach abhängig von:

- Größe, Dichte, Geometrie und Oberflächenbeschaffenheit der Partikel
- Konzentration der Partikel im Medium
- Zusammensetzung des Mediums
- Temperatur des Mediums
- Strömungsgeschwindigkeit des Mediums und
- Elektrostatische Wechselwirkung zwischen den Partikeln und dem Medium.

Feine Partikel sedimentieren tendenziell langsamer als grobkörnige Partikel. Partikel, die eine glatte Oberfläche besitzen, sedimentieren tendenziell schneller als Partikel mit einer rauen Oberfläche. Partikel, die eine starke elektrostatische Wechselwirkung mit dem Medium haben, sedimentieren tendenziell langsamer als Partikel, die keine elektrostatische Wechselwirkung haben.

Das Schwebeverhalten luftgetragener Schadstoffe lässt sich auch eindrucksvoll anhand der Sedimentationsgeschwindigkeiten verdeutlichen. Zum Beispiel hat ein Partikel mit einer Größe von 100 nm, der typischerweise bei der Laserbearbeitung entsteht, eine Sedimentationsgeschwindigkeit von gerade einmal einem Meter in zwei Wochen!



Bild 2: Sedimentation von Partikeln

Auswirkungen luftgetragener Schadstoffe auf Mensch, Maschine und Produkt

Luftgetragene Schadstoffe werden prinzipiell nach Partikelgrößen unterteilt. Diese Klassifizierung fokussiert primär den Einfluss der Emissionen auf den menschlichen Organismus. So werden luftgetragene Schadstoffe nicht nur dahingehend differenziert, ob sie hir-, nerven- oder atemwegsschädigend sind, sondern ob sie einatembar (E-Fraktion) oder alveolengängig (A-Fraktion) sind. Hierzu gibt es gesetzliche Grenzwerte gemäß DIN EN 481. Diese liegen nach TRGS (Technische Regel für Gefahrstoffe) 900 für die E-Fraktion bei 10 mg/m^3 und für die A-Fraktion bei $1,25 \text{ mg/m}^3$.

In den gesetzlichen Bestimmungen der TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) darf eine Gesamtstaub-Massenkonzentration inkl. Feinstaub von 20 mg/m^3 vorliegen. Dies gilt allerdings nur für gesundheitlich unbedenkliche Stäube und beinhaltet nicht die sogenannten KMR-Stoffe (karzinogen, mutagen, reproduktionstoxisch).

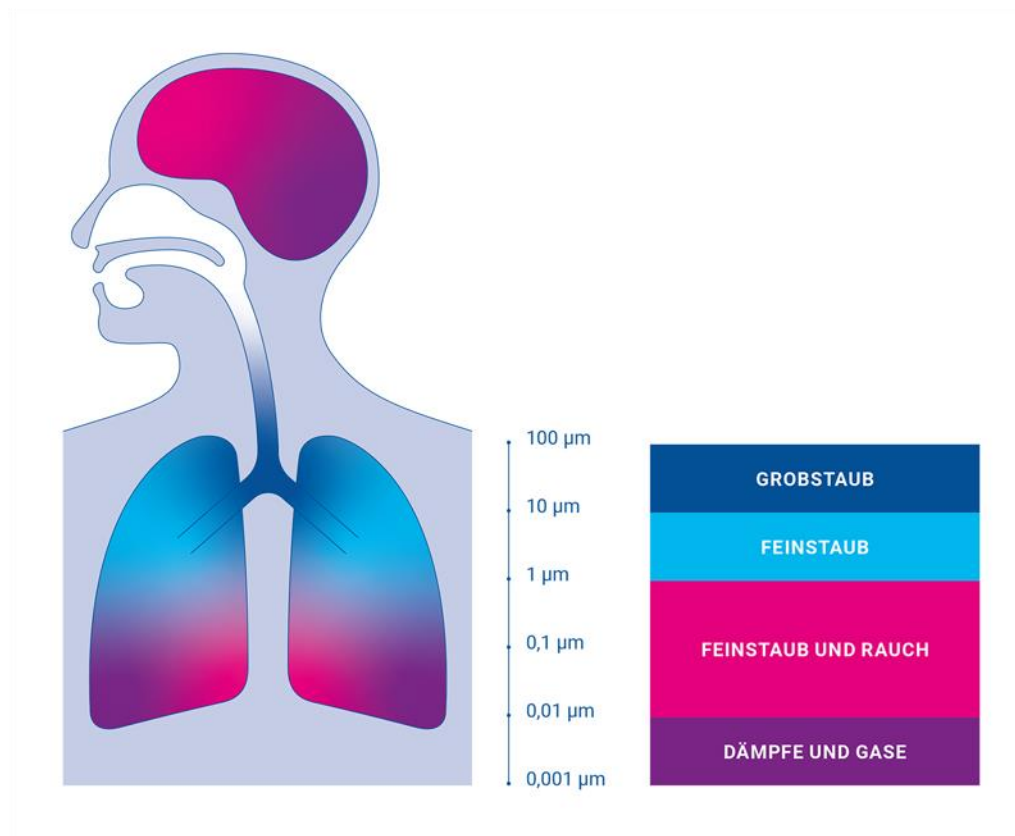


Bild 3: Der Einfluss luftgetragener Schadstoffe auf den menschlichen Organismus

Neben dem möglichen Einfluss auf die Gesundheit von Mitarbeitern in fertigenden Unternehmen können luftgetragene Schadstoffe zudem die Maschinenfunktionalität beeinträchtigen – und somit auch für Fehlproduktionen verantwortlich sein – oder aber Produkte verschmutzen. Praktische Beispiele hierfür sind u.a. die Verschmutzung des „Laserauges“ oder die Spiegel einer Laseranlage durch klebrigen Laserstaub bzw. das Absetzen von korrosiven Partikeln auf einer elektronische Baugruppe.