IST FEINSTAUB MESSBAR?
DATENGESTÜTZTE STRATEGIEN FÜR MEHR ARBEITSSICHERHEIT

Autor: Katalin Nagy

2025

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

Vom Bauchgefühl zur Messung:
Wie datengetriebene Systeme Staubbelastung sichtbar machen

Kurzfassung

Dieses Whitepaper zeigt, wie sich Staubbelastung am Arbeitsplatz heute besser erfassen lässt – wissenschaftlich fundiert und praxisnah. Es erklärt die Unterschiede zwischen klassischen gravimetrischen Messverfahren und modernen, optischen Echtzeitmessungen. Dabei wird deutlich: Erst die Kombination beider Methoden ermöglicht eine verlässliche Bewertung und wirksame Schutzmaßnahmen. Am Beispiel von Dustlight wird gezeigt, wie neue Technologien dazu beitragen können, gesetzliche Vorgaben sicher einzuhalten – und Mitarbeitende besser zu schützen.

Inhaltsverzeichnis

Welche **Kenngrößen** spielen bei Feinstaub eine Rolle?

Wie wird Staub gemessen? - **Der traditionelle Weg**

Wie misst man Feinstaub in **Echtzeit**?

Bewertung am Arbeitsplatz - **Regulierungen**

Bewertung am Arbeitsplatz - **TWA**

Bewertung am Arbeitsplatz - **STEL**

LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

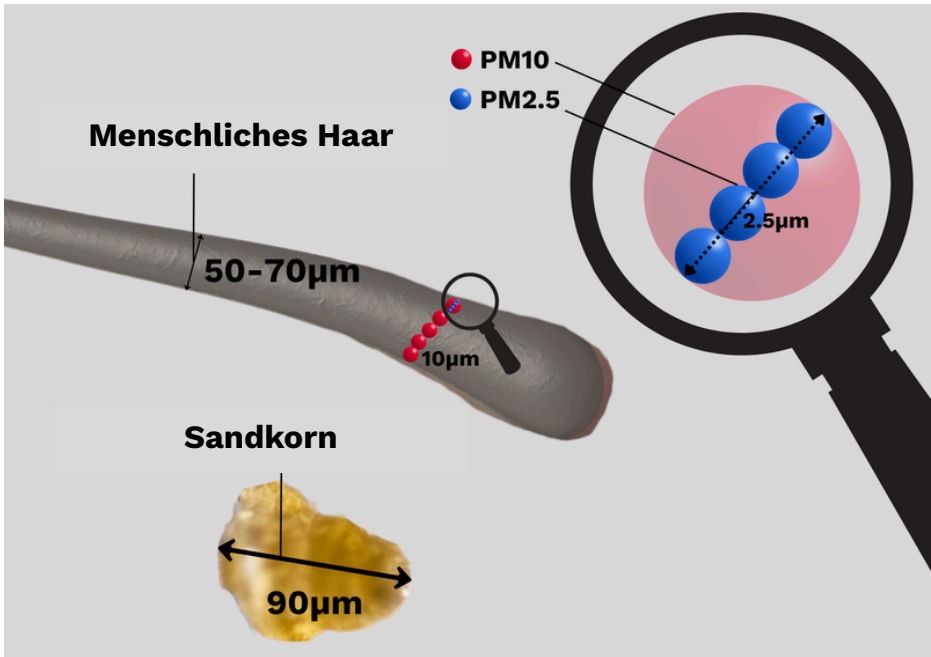
Welche Kenngrößen spielen bei Feinstaub eine Rolle

PMX

particulate matter (eng)

Diameter ausgedrückt in µm

Particulate Matter (PM), auf Deutsch Feinstaub, ist ein Sammelbegriff für eine Vielzahl **fester oder flüssiger Partikel**, die in der Luft schweben. Diese Partikel unterscheiden sich stark in **Größe, Form, Dichte, Herkunft und chemischer Zusammensetzung**. In der Arbeitsmedizin und Umweltwissenschaft werden sie üblicherweise nach ihrem **aerodynamischen Durchmesser** klassifiziert, also danach, wie sie sich beim Einatmen verhalten und in welchen Bereichen der menschlichen Atemwege sie sich ablagern.



Ist Staub messbar? - @ Dustlight

LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

Klassifizierung von PM:
PM10: Partikel ≤ 10 µm
PM4: Partikel ≤ 4 µm
PM2.5: Partikel ≤ 2.5 µm
PM1: Partikel ≤ 1 µm

Diese Kategorien sind nicht voneinander getrennt, sondern **ineinander verschachtelte Mengen**: PM1 ist in PM2.5 enthalten, PM2.5 in PM4 und so weiter. Die Partikelgröße ist deshalb so relevant, weil sie über das biologische Verhalten entscheidet – **je kleiner die Partikel, desto höher die Wahrscheinlichkeit, dass sie tiefer in die Atemwege eindringen.**

Partikeldurchmesser (µm)	Fraktion, die die Alveolen erreicht (A-Staub)
1µm	~100%
4µm	~50%
10µm	~0%

Die kumulative Durchdringungskurve veranschaulicht diesen Zusammenhang:
~100% von 1 µm Partikel erreichen die Alveolen
~50% von 4 µm Partikel gelangen in die alveolären Bereiche
~0% von 10 µm Partikel dringen bis in die tiefen Lungenabschnitte vor
Diese Korrelation bildet die Grundlage für die wissenschaftliche Unterscheidung **zwischen einatembaren (E-Staub) und alveolengängigen Staubfraktionen (A-Staub)**.

LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

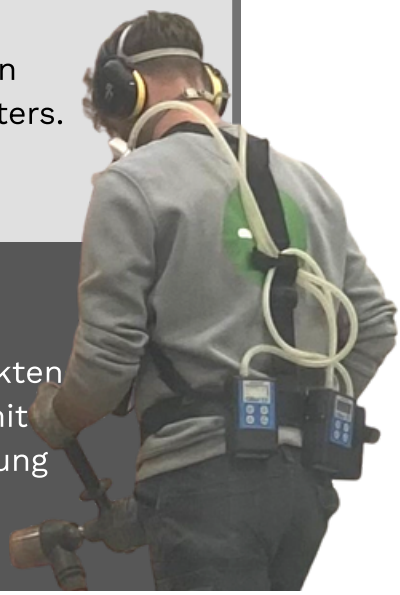
Wie wird Staub gemessen? - Der traditionelle Weg

Die gravimetrische Messung ist das klassische Verfahren der Arbeitshygiene zur Bewertung der Staubexposition von Beschäftigten.
Von den meisten internationalen Aufsichtsbehörden anerkannt, beruht diese Methode auf einem einfachen physikalischen Prinzip: **der Bestimmung der Masse der Partikel**, die über einen definierten Zeitraum auf einem **Filter gesammelt** wurden.

SCHRITT FÜR SCHRITT

1. **Filtervorbereitung:** Ein vorgewogener Membranfilter wird unter stabilen Bedingungen bezüglich Luftfeuchtigkeit und Temperatur konditioniert, um exakte Massenmessungen zu gewährleisten**.**
2. **Pumpenkonfiguration:** Eine tragbare Probenahmepumpe wird in der Atemzone befestigt und zieht während der Arbeitsschicht Luft mit definierter Förderrate durch den Filter.
3. **Staubsammlung:** Über einen Zeitraum von 6–8 Stunden werden luftgetragene Partikel gemäß den Kriterien der Größenselektion (z. B. mittels Zyklon-Vorsatz) auf dem Filter abgeschieden.
4. **Wägung nach der Schicht**: Nach der Probenahme wird der Filter ins Labor zurückgebracht, erneut konditioniert
5. und mit hochpräzisen Mikrowaagen gewogen.
6. **Konzentrationsberechnung:** Die Staubkonzentration (mg/m^3) ergibt sich aus der Massezunahme des Filters. und dem insgesamt angesaugten Luftvolumen.

Die gravimetrische Analyse gilt weithin als Referenzmethode für die Basisbewertung von Staubexposition – aufgrund ihrer Einfachheit, der direkten massenbasierten Quantifizierung, der Kompatibilität mit verschiedenen Staubarten und ihrer breiten Anerkennung in regulatorischen Rahmenwerken wie TRGS 900 und den OSHA-Grenzwerten (PEL).

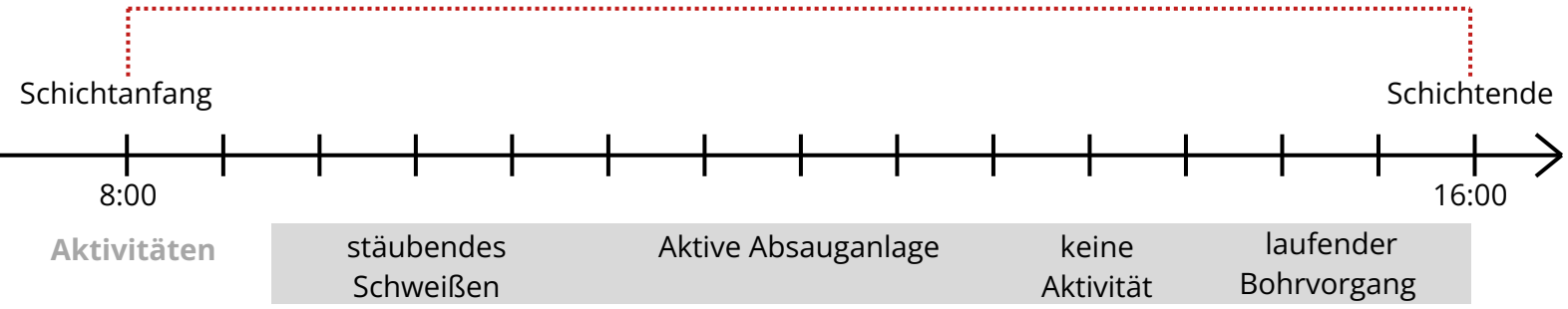


Ist Staub messbar? - @ Dustlight

LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

Ein durchschnittlicher, sehr verlässlicher Messwert –
aber ohne Aussage über Spitzenbelastungen oder konkrete Tätigkeiten.



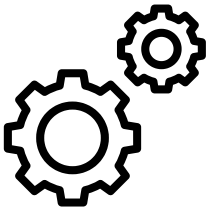
Die gravimetrische Messung erfasst die **gesamte Exposition über die volle Arbeitsschicht** hinweg.
Diese Zeitachse zeigt einen typischen 8-Stunden-Arbeitstag, in dem unterschiedliche Tätigkeiten – etwa Schweißen, Maschinenarbeit oder Ruhephasen – zu stark **schwankenden Staubbelastungen** führen. Die gravimetrische Probenahme misst die insgesamt eingeatmete Staubmasse, ohne zeitliche Unterschiede aufzulösen.
Das Ergebnis ist ein **verlässlicher Durchschnittswert**, der jedoch keine Aussage über kurzfristige Spitzen oder tätigkeitsbezogene Belastungen zulässt.

Vorteile	Nachteile
Direkte Massenbestimmung	Geringe zeitliche Auflösung
Weitreichende regulatorische Anerkennung	Verzögerte Ergebnisse
Materialunabhängig	Begrenzte Probenahmefrequenz

Ist Staub messbar? - @ Dustlight
LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich
e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

Wie misst man Feinstaub in Echtzeit?

Die optische Messung ist ein modernes, zerstörungsfreies Verfahren zur Echtzeit-Quantifizierung von Feinstaub.
Im Gegensatz zur gravimetrischen Methode, bei der Partikel über mehrere Stunden auf einem Filter gesammelt werden, zählen optische Sensoren die Partikel indirekt – indem sie analysieren, wie die Partikel beim Durchtritt durch eine Messkammer mit Licht wechselwirken.



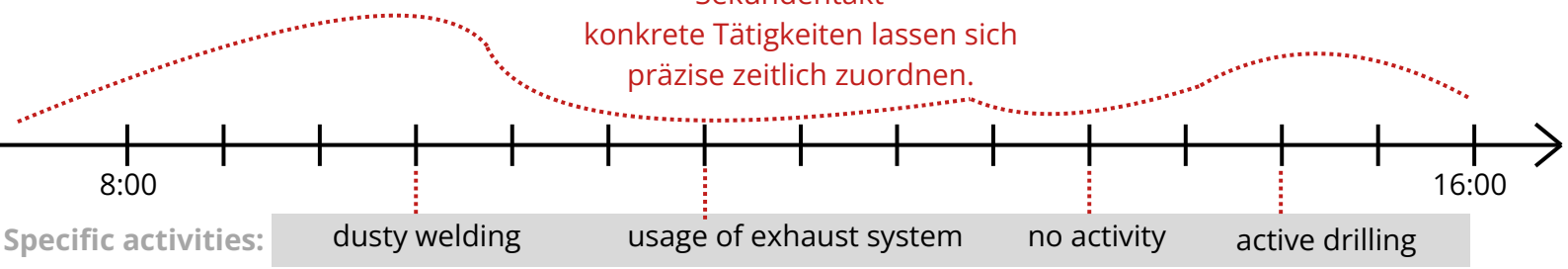
Funktionsprinzip
Die grundlegende Technologie optischer Staubsensoren basiert auf **Lichtstreuung** (Mie-Streuung). Eine Lichtquelle – meist ein **Laser** oder eine LED – sendet einen fokussierten Strahl durch ein definiertes Probenvolumen. Beim Durchtritt streuen die in der Luft befindlichen Partikel das Licht **je nach Größe, Form und Brechungsindex in unterschiedliche Richtungen**.
Ein **Photodetektor**, der in einem festen Winkel (häufig ca. 90° zum Strahl) positioniert ist, erfasst das gestreute Licht. Aus Intensität und Streumuster lassen sich folgende Informationen ableiten:

- **die Anzahl der Partikel**
- **ihre ungefähre Größenverteilung**
- **die Massenkonzentration (meist in µg/m³ oder mg/m³)**

Das Ergebnis ist ein kontinuierlicher Datenstrom mit hoher zeitlicher Auflösung , typischerweise im Bereich von **1 Sekunde bis 1 Minute.**

LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de



Die Grafik zeigt **sekündlich** erfasste Staubkonzentrationen über eine gesamte 8-Stunden-Schicht. Im Gegensatz zur gravimetrischen Methode liefern optische Sensoren zeitlich aufgelöste Messwerte, die sich direkt mit bestimmten Tätigkeiten wie Schweißen, Lüften oder Bohren verknüpfen lassen. So können **Belastungsspitzen gezielt identifiziert** und Schutzmaßnahmen in Echtzeit bewertet werden.

Vorteile	Nachteile
Echtzeit-Messung	Indirekte Massenabschätzung
Kein Laborverzug	Empfindlichkeit gegenüber Partikeleigenschaften
Mobilität	Beeinflussbar durch die Umgebung

LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

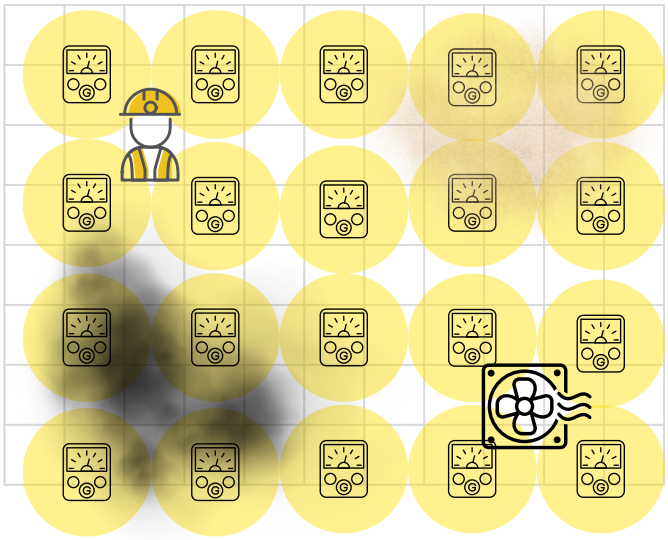
Dustlight

Bereich mit mehr manuellen Tätigkeiten als maschineller Arbeit

Erhöhter Schutzbedarf

Hoch stauberzeugende Tätigkeit oder Bereich

Effektive Absaugung und PSA-Strategien erforderlich



Tätigkeit, die hauptsächlich kleinere Partikel erzeugt

Kleinere Partikel dringen tiefer in die Alveolen ein

Bereich mit gut funktionierendem Absaugsystem

Wissensbasierte Bewertung der Schutzstrategie

Wenn die optische Messung mithilfe **mobiler, tragbarer Geräte** erfolgt, gewinnt ihre hohe **zeitliche Auflösung** eine entscheidende zusätzliche Dimension: die **räumliche Auflösung**.
Wie in der Grafik dargestellt, ermöglicht **kontinuierliche Messung** mit einem sich bewegenden Sensor die Verknüpfung von Expositionswerten mit bestimmten Orten im Arbeitsbereich.
So wird der Datenstrom einer einzelnen Person zur **raumzeitlichen Karte der Staubbelastung** – und zeigt nicht nur, wann, sondern auch wo gefährliche Belastungen auftreten.
Diese Integration erlaubt die Identifikation von:

- **Zonen mit hoher Exposition** (z. B. bei intensiver Handarbeit oder schlechter Belüftung)
- **Tätigkeiten mit starker Staubentwicklung** (z. B. Schweißen, Schneiden, Schleifen)
- **Niedrig belasteten Bereichen** mit funktionierender Absaugung
- **Regionen mit hohem Anteil lungengängiger Feinstäube** (kleinere Partikel, höheres Risiko)

Durch die Visualisierung der **Messwerte über Raum und Zeit** erhalten Sicherheitsbeauftragte ein diagnostisches Werkzeug, um Schutzstrategien zu bewerten, den Einsatz von PSA gezielt zu optimieren und Arbeitsabläufe neu zu gestalten.
Entscheidender Vorteil: Dasselbe Gerät liefert sowohl **Echtzeitwarnungen** für die einzelne Person und liefert dadurch strategisch verwertbare Standortdaten für strukturelle Verbesserungen.

LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

Bewertung am Arbeitsplatz - Regulierungen

Die berufliche Exposition gegenüber Feinstaub wird weltweit durch **konzentrationsbasierte Grenzwerte** geregelt, üblicherweise angegeben in Milligramm Staub pro Kubikmeter Luft (mg/m³). Diese Werte definieren die maximal zulässige Staubbelastung, der eine arbeitende Person über einen bestimmten Zeitraum – **meist eine 8-Stunden-Schicht** – ausgesetzt sein darf. Dieser Ansatz ist praxisnah und skalierbar, bringt jedoch mehrere wichtige Dimensionen mit sich:

Konzentration als regulatorische Kenngröße
Der Fokus auf die Massenkonzentration spiegelt sowohl die Dosis-Wirkungs-Beziehung als auch die Notwendigkeit wider, Expositionen branchen- und umgebungsübergreifend vergleichbar zu machen. Der zentrale Gedanke: Gesundheitliche Auswirkungen hängen nicht nur von der bloßen Anwesenheit von Partikeln ab, sondern von der insgesamt über die Zeit eingeatmeten Masse. Regulatorische Grenzwerte sind so festgelegt, dass sie unterhalb der Schwellen bleiben, ab denen gesundheitliche Schäden bekannt oder zu erwarten sind.

LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

Materialabhängigkeit und nationale Unterschiede

Grenzwerte für Staubexposition unterscheiden sich teils erheblich, je nach Materialtyp und gesetzlicher Regelung im jeweiligen Land. Beispiele:

- In Deutschland (TRGS 900) liegt der allgemeine Grenzwert für A-Staub bei 1,25 mg/m³
- In den USA (OSHA PELs) sind für A-Staub bis zu 5 mg/m³ zulässig
- Australien, das Vereinigte Königreich und die EU definieren eigene Grenzwerte, etwa für Holzstäube, Schweißrauch oder Steinstäube

Diese Unterschiede spiegeln sowohl unterschiedliche toxikologische Bewertungen als auch historische, wirtschaftliche und politische Faktoren wider.

Optische Messwerte in regulatorische Größen übersetzen

Moderne Sensoren wie die von Dustlight basieren auf optischen Prinzipien – sie zählen und klassifizieren Partikel anhand von **Lichtstreuun**g. Dabei wird die Staubmasse nicht direkt gemessen, sondern geschätzt auf Grundlage von:

- **Partikelgrößenverteilung**
- **angenommener Partikeldichte**
- **Kalibrierfaktoren** aus dem Abgleich mit gravimetrischen Referenzmessungen

Um regulatorischen Anforderungen zu genügen, müssen diese optischen Daten daher in Konzentrationswerte übersetzt werden. Dies geschieht über materialspezifische Umrechnungsalgorithmen, die Dichte und Form der Partikel berücksichtigen.

Das Ergebnis ist eine **Echtzeitschätzung in mg/m³**, die den Vergleich mit gesetzlichen Grenzwerten ermöglicht – auch wenn das Messprinzip grundsätzlich von der gravimetrischen Methode abweicht.

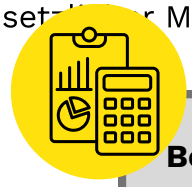
Ist Staub messbar? - @ Dustlight

LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

Bewertung am Arbeitsplatz - TWA

Ein zentrales Konzept der arbeitsmedizinischen Expositionsbewertung ist der **zeitgewichtete Mittelwert (TWA, Time-Weighted Average)**. Er definiert die durchschnittliche Konzentration einer gefährlichen Substanz – wie A-Stäube –, der eine arbeitende Person über eine reguläre **8-Stunden-Schicht** ausgesetzt sein darf, ohne gesundheitliche Beeinträchtigungen zu erleiden.
Der TWA spiegelt wider, dass das Risiko nicht **nur von der Höhe der Konzentration, sondern auch von der Dauer der Exposition abhängt**. Eine kontinuierlich niedrige Belastung kann – je nach Staubart und Wirkung – genauso schädlich oder sogar gefährlicher sein als ein einzelner kurzer Peak. Regulatorische Behörden legen verbindliche TWA-Grenzwerte fest (z. B. 1,25 mg/m³ für alveolengängigen Staub in Deutschland gemäß TRGS 900), um sicherzustellen, dass die gesamt eingeatmete Staubdosis unterhalb der Schwelle bleibt, die mit Langzeitschäden assoziiert ist. Diese Grenzwerte dienen als gesetzlicher Maßstab für Arbeitsschutz und behördliche Kontrollen.



Berechnung von TWA
Mathematisch wir der TWA wie folgt berechnet:

$$TWA = \frac{C1 \cdot t1 + C2 \cdot t2 + \ldots + Cn \cdot tn}{\sum t}$$

Wo:

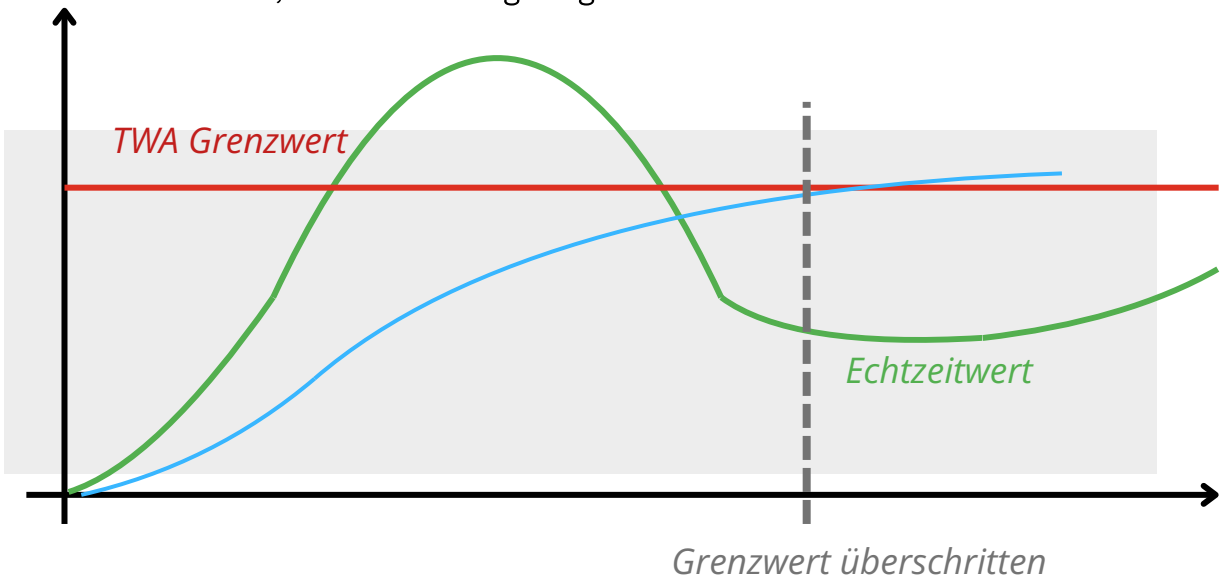
- C = Konzentration gemessen während der Zeit t
- ∑t = vollständige Zeit (meistens 8 Stunden)

Bei gravimetrischen Messverfahren wird der TWA durch einen einzelnen **Wert angenähert**, der sich aus dem Filtergewicht und dem über die Schicht geförderten Luftvolumen ergibt. Im Gegensatz dazu ermöglichen optische Echtzeitsysteme eine **dynamische Berechnung des TWA** – der Durchschnittswert wird kontinuierlich, etwa im Minutentakt, anhand der aktuellen Messdaten aktualisiert.

Ist Staub messbar? - @ Dustlight
LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich
e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

Das zentrale Prinzip des TWA ist seine **kumulative** Natur: Der Wert steigt kontinuierlich mit jeder weiteren Staubbelastung, selbst dann, wenn die aktuelle Konzentration später in der Schicht wieder sinkt. Für das Risikomanagement bedeutet das:

- Sobald der **TWA den gesetzlichen Grenzwert überschreitet**, sollte keine weitere Exposition stattfinden.
- Bereits kurze Phasen mit hoher Belastung zu Beginn der Schicht können den TWA gefährlich nahe an die zulässige Grenze bringen.
- **Frühzeitige Erkennung** und Analyse des Expositionstrends sind daher entscheidend, um rechtzeitig eingreifen zu können



Geräte wie **Dustlight** messen kontinuierlich die Staubkonzentration in der Atemzone der arbeitenden Person und ermöglichen so eine dynamische, **fortlaufende TWA-Berechnung**. Das bietet zentrale Vorteile:

- **Sofortige Übersicht** über die kumulierte Exposition im Verlauf der Schicht
- **Prognosebasierte Entscheidungen**, da sichtbar wird, wie schnell sich der TWA dem Grenzwert nähert
- **Alarmfunktionen**, die bei kritischen Schwellenwerten Mitarbeitende und Aufsichtsführende automatisch warnen
- **Digitale Protokollierung**, um TWA-Werte zu speichern, zu exportieren und für Audits oder ESG-Reporting zu nutzen

Ist Staub messbar? - @ Dustlight

LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

Bewertung am Arbeitsplatz - STEL

Während der TWA die **gesamte eingeatmete Dosis** über eine komplette Arbeitsschicht bewertet, ist der **Kurzzeitgrenzwert (STEL)** darauf ausgelegt, **akute Risiken durch kurzfristige Konzentrationsspitzen** zu erkennen. STEL schützt vor hohen, zeitlich begrenzten Belastungen, die den Tagesmittelwert kaum beeinflussen, aber dennoch sofortige oder kumulative Schäden an den Atemwegen oder anderen Organen verursachen können.
STEL definiert die **maximale Konzentration eines Gefahrstoffes**, der für einen kurzen Zeitraum – **typischerweise 15 Minute**n – eingeatmet werden darf, ohne akute Gesundheitsschäden wie Husten, Schwindel, Reizungen oder systemische Symptome zu verursachen.

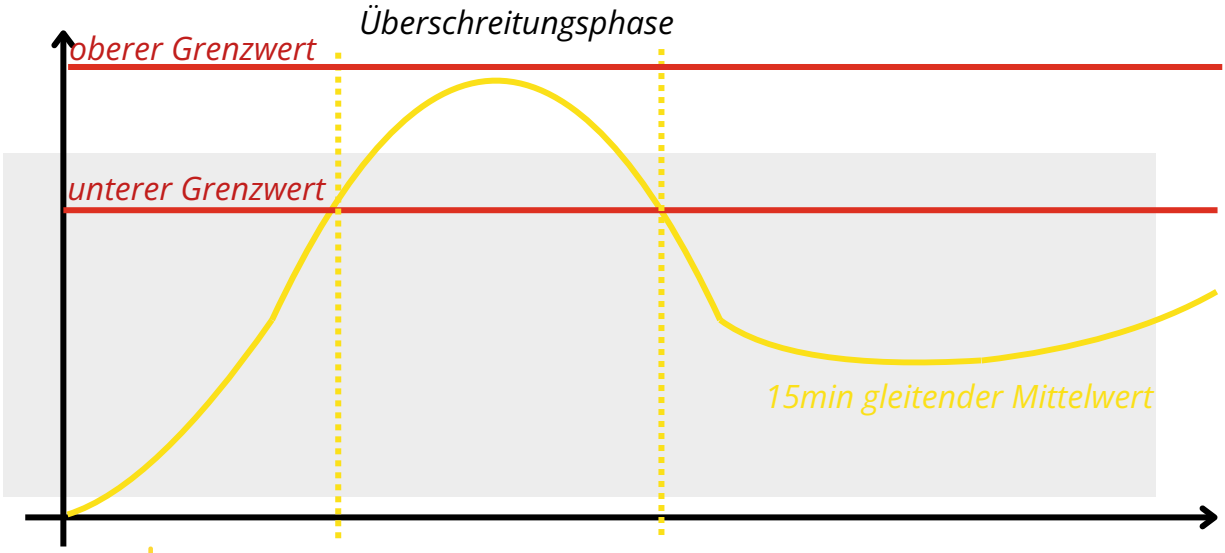
Beispielsweise kann selbst dann, wenn der TWA für alveolengängigen Staub unter dem Grenzwert von 1,25 mg/m³ liegt, **ein kurzer Peak von 6 mg/m³** beim Schweißen ein akutes Gesundheitsrisiko darstellen. Der STEL stellt sicher, dass solche **intensiven Belastungsspitzen nicht übersehen werden**, nur weil der Schichtmittelwert formal noch im grünen Bereich liegt.

Ist Staub messbar? - @ Dustlight
LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich
e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

Berechnung des STEL

Der STEL wird in der Regel als **gleitender Durchschnitt** über ein Zeitfenster berechnet – typischerweise folgendermaßen:

- Zu jedem Zeitpunkt wird **der Durchschnitt der letzten 15 Minuten** berechnet.
- Dieses Zeitfenster verschiebt sich kontinuierlich nach vorne – z. B. von **08:00–08:15**, dann **08:01–08:16** usw.
- **Wird in einem dieser Fenster der definierte Grenzwert überschritten**, wird ein **STEL-Ereignis** registriert.



Optische Systeme wie Dustlight eignen sich ideal für die **Echtzeitüberwachung von STEL-Werten**. Durch kontinuierliche Messung und zeitgestempelte Datenströme ermöglichen sie:

- **Live-Berechnung gleitender 15-Minuten-Durchschnittswerte**
- **Sofortige Warnungen**, wenn STEL-Grenzwerte überschritten werden
- **Exakte Dokumentation** aller Überschreitungsereignisse
- **Zuordnung zu bestimmten Tätigkeiten oder Orten** durch Ereignis-Tags oder Standortdaten

Ist Staub messbar? - @ Dustlight

LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

STEL Kriterien bei der Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz

Parameter	Regel	Erklärung
Gleitender Mittelwert	15 Minuten	STEL ist die durchschnittliche Exposition über jede beliebige, fortlaufende 15-Minuten-Periode.
Maximale Anzahl an Überschreitungen	≤ 4 Mal pro 8 Stunden Schicht	Maximal vier Überschreitungen pro Arbeitstag sind erlaubt.
Minimale verstrichene Zeit zwischen Überschreitungs-perioden	≥ 1 Stunde	Zwischen zwei Überschreitungen muss mindestens eine Stunde liegen.
Konzentrationsbereich	Zwischen dem **TWA limit** und einem definiertem **oberem Grenzwert.**	STEL gilt für mittlere Spitzenbelastungen – wird die obere Obergrenze überschritten, kann dies zu Abschaltung oder Notfallmaßnahmen führen.
Dauer der Belastungsspitze	≥ 15 Minuten	Jede Überschreitungsperiode ist strikt auf 15-Minuten begrenzt.

Ist Staub messbar? - @ Dustlight

LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

Regelkonform zu bleiben erfordert mehr als nur Messung.

Sicherheit hat viele Ebenen. Unsere Mission ist es, sie mit intelligenter Staubüberwachung auf ein neues Niveau zu heben.

Gravimetrische Messung bleibt das regulatorische Fundament – robust, validiert und gesetzlich anerkannt. Doch sie liefert nur eine Momentaufnahme.

Echten Schutz bietet mehr als reine Konformität.
Echtzeitbasierte, persönliche optische Messung **schließt die Lücken**: sekundenaktuelle Expositionsdaten, tätigkeitsbezogene Einblicke, mobil einsetzbar in wechselnden Umgebungen.

Erst in Kombination entsteht ein vollständiges Bild.

Dustlight ist das fehlende Puzzleteil. Durch die Verbindung der Zuverlässigkeit gravimetrischer Verfahren mit der Flexibilität der Echtzeitmessung ermöglicht Dustlight eine **intelligentere, mehrstufige Sicherheitsstrategie** – vorausschauend und auf **den Menschen** ausgerichtet.

Ein Plus für Sicherheit – über Grenzwerte hinaus.

Besuchen Sie **www.dustlight.de**, um mehr zu erfahren – oder kommen Sie direkt auf uns zu. Wir freuen uns auf den Austausch, entwickeln gemeinsam Lösungen und unterstützen Sie dabei, Staubexposition zur Vergangenheit zu machen.

Ist Staub messbar? - @ Dustlight
LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich
e. info@dustlight.de
w.www.dustlight.de

Adresse:
LatAI GmbH
Agnes-Pockels-Bogen 1
80992 Munich

Firmenbesitzer
Till Neumeier | Luca Setili
Headquarter:
Munich - Germany