



BERICHT

Sicherheit der SLS-Produkte von Formlabs: Analyse der Luftqualität und Staubgefahr

In diesem Bericht werden zwei in den SLS-Anlagen von Formlabs durchgeführte Untersuchungen zusammengefasst: eine Luftqualitätsanalyse gemäß den Bestimmungen der OSHA und eine Analyse der Entflammbarkeit und Staubgefahr gemäß den Bestimmungen der NFPA. Die Ergebnisse zeigen, dass die normale Nutzung des Fuse-Ecosystems in den Einrichtungen von Formlabs kein Risiko der Schädigung der Atemwege und kein Brand- oder Explosionsrisiko darstellt.

Inhalt

Zusammenfassung	3
Beurteilung der Luftqualität durch U.S. Compliance	4
Vorgehensweise	4
Ergebnisse	5
Fazit	5
Analyse der Entflammbarkeit und Staubgefahr durch Stonehouse	6
Umfang	6
Methodologie der Analyse der Staubgefahr	6
Ergebnisse der Analyse der Staubgefahr – Geräte	7
Ergebnisse der Analyse der Staubgefahr – Gebäude	8
Fazit der Analyse der Staubgefahr	8
Reinigungsplan von Formlabs	9
Räumlichkeiten und grundlegende Ausrüstung	9
Entzündliche Materialien	9
Pulver	9
Chemikalien und Abfall	10
Fazit	11
Haftungsausschluss	12

Zusammenfassung

Formlabs' Ecosystem für das selektive Lasersintern (SLS) wurde mit dem Ziel entwickelt und produziert, eine sichere und benutzerfreundliche Erfahrung beim 3D-Druck zu bieten. Greifen Sie als primäre Quelle für Sicherheitsinformationen auf die [Gerätehandbücher](#) und die [Sicherheitsdatenblätter der Pulver](#) zurück. Zusätzliches Informationsmaterial, etwa bezüglich der Vorbereitung des Arbeitsbereichs oder Schnellstarthilfen, ist auf der [Supportseite von Formlabs](#) zu finden.

Um zusätzliche Informationen im Zusammenhang mit Gesundheitsrisiken und Sicherheit beim Umgang mit SLS-Pulvern bereitzustellen, hat Formlabs bei [U.S. Compliance](#) eine Beurteilung der Luftqualität sowie bei [Stonehouse Process Safety](#) eine Analyse der Entflammbarkeit und Staubgefahr angefordert. Beide Untersuchungen wurden in Formlabs' Forschungs- und Entwicklungseinrichtung (F&E) für SLS in Somerville, Massachusetts, USA, durchgeführt, die über ca. 60 SLS-Drucker und 15 Nachbearbeitungsgeräte verfügt.

Die Untersuchung in der F&E-Einrichtung für SLS von Formlabs erbrachte folgende Ergebnisse:

- Selbst bei einer großen Anzahl von Druckern liegt die Konzentration von Pulverpartikeln in der Luft sieben- bis 100-mal niedriger als der von der US-amerikanischen Arbeitssicherheitsbehörde OSHA (Occupational Safety and Health Administration) vorgegebene Wert.
- Die Wahrscheinlichkeit der Entzündung von Pulver wird angesichts der in die Geräte integrierten Sicherheitsvorrichtungen als sehr niedrig angesehen.
- Das Gesamtrisiko im Hinblick auf die Mitarbeitersicherheit wird als vernachlässigbar betrachtet.

Den Untersuchungsergebnissen zufolge erfordert der Betrieb des Fuse-Ecosystems in den Einrichtungen von Formlabs keine besondere persönliche Schutzausrüstung, Atemschutzmasken oder Vollsicht-Schutzbrillen. Die einzigen Anforderungen sind die Einhaltung eines regelmäßigen Reinigungsplans sowie die Verwendung einer einfachen Schutzbrille und von Nitrilhandschuhen bei der Handhabung von Pulver.

Dieses Dokument fasst die Ergebnisse und grundlegenden Erkenntnisse der Untersuchungen zusammen und gibt Richtlinien zu einer guten Reinigungspraxis beim SLS.

Beurteilung der Luftqualität durch U.S. Compliance

[U.S. Compliance](#) ist ein führendes Unternehmen im Compliance-Management im Bereich Umwelt, Gesundheit und Sicherheit, das Lösungen für die Erfüllung von OSHA-Auflagen und Beratungen zum Thema Umwelt, Gesundheit und Sicherheit anbietet. Mehr Informationen über OSHA-Bestimmungen finden Sie [auf dieser Seite](#).

VORGEHENSWEISE

U.S. Compliance führte eine Untersuchung der Luftqualität in der F&E-Einrichtung von Formlabs in Massachusetts durch, um zu ermitteln, wie stark Mitarbeitende Pulverpartikeln ausgesetzt sind. Hierfür wurde als Parameter der zeitgewichtete Mittelwert (time-weighted average, TWA) innerhalb von acht Stunden herangezogen: also der durchschnittliche Kontakt mit Pulverpartikeln in der Luft innerhalb einer achtstündigen Arbeitsschicht. Es wurden durchgängig von 9:00 Uhr bis 17:00 Uhr zwei Arten von Luftprobennahmen durchgeführt.

1. RAUMLUFTPROBE

In mehreren Arbeitsbereichen wurden Messgeräte auf Stativen aufgestellt. Es wurden Messungen in acht Räumen durchgeführt, einschließlich Ingenieurlaboren, Druckerfarmen mit großen Druckerflotten und Räumlichkeiten für das Sandstrahlen. Die Arbeitsbereiche umfassten sowohl 190 m² große Räume mit mehr als 20 Druckern der Fuse-Serie und vier Fuse Sifts als auch kleinere Räume von 35 m² Größe mit etwa zehn Druckern und vier Fuse Sifts



Formlabs' Materiallabor für F&E im Bereich SLS in Somerville ist etwa 37 m² (180 m³) groß mit mehr als zehn Druckern der Fuse-Serie und vier Fuse Sifts.

Alle SLS-Räumlichkeiten von Formlabs sind mit HLK-Systemen ausgestattet, die mindestens dreimal pro Stunde für einen vollständigen Luftaustausch sorgen. In einigen Fällen wurde die Luftwechselrate erhöht, ohne dass die bestehenden HLK-Systeme getauscht werden mussten, indem in den Fenstern Abluftventilatoren eingefügt wurden.

2. PROBENNAHME BEI MITARBEITENDEN

Einige Mitarbeitende trugen einen Arbeitstag lang Messgeräte am Körper und führten dabei alle Arbeitsaufgaben durch, die zum Betrieb einer großen Flotte von Druckern der Fuse-Serie dazugehören, ähnlich wie bei einem Fertigungsdienstleister:

- Allgemeine Laboraufgaben
- Normaler Betrieb eines Druckers der Fuse-Serie
- Normaler Betrieb des Fuse Sift
- Sandstrahlen von Druckteilen
- Einfüllen von Pulver in die Einfülltrichter
- Pulverwechsel
- Abfallmanagement
- Leeren des Saugers für die innere und äußere Reinigung des Fuse-Ecosystems

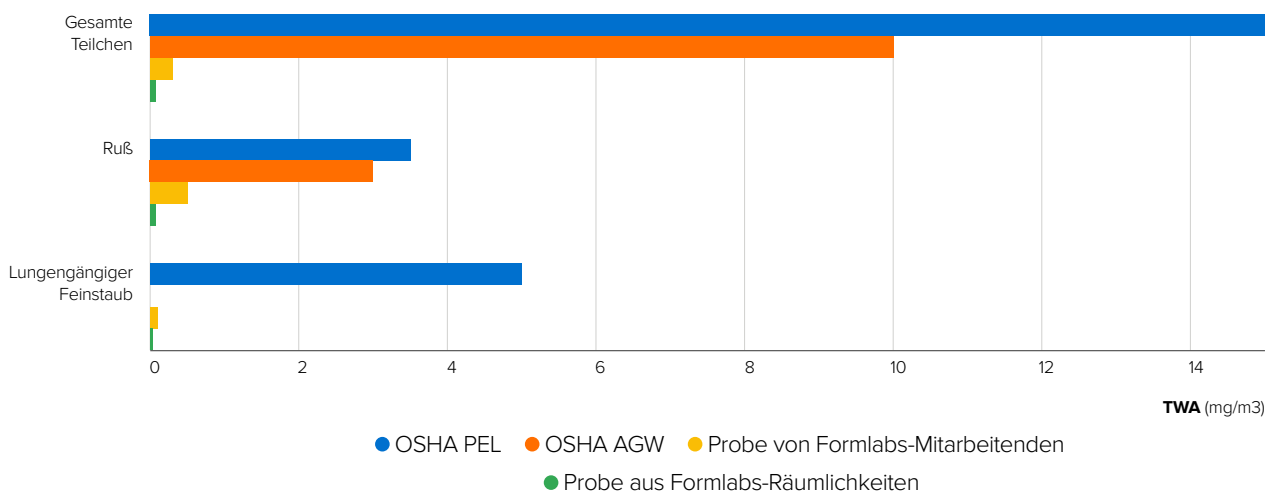
Die Tests wurden mithilfe von Luftprobekassetten durchgeführt, die auf Durchflussraten von 2,0 l/mn und 2,5 l/mn kalibriert waren. Folgende Konzentrationen wurden berücksichtigt:

1. Gesamter Feinstaub aller Pulver
2. Lungengängiger Feinstaub aller Pulver
3. Ruß aller Pulver (einige SLS-Pulver des Fuse-Ecosystems enthalten 0,1 bis 1 % lungengängigen Ruß)

Der zeitgewichtete Mittelwert (TWA) der Partikelkonzentration, die über einen Zeitraum von acht Stunden gemessen wurde, sollte unter dem von der OSHA oder einer vergleichbaren Behörde festgelegten zulässigen Belastungsgrenzwert liegen (permissible exposure limit, PEL). Der zulässige Belastungsgrenzwert für den zeitgewichteten Mittelwert gilt als das maximal zulässige Maß an Partikelbelastung, der Mitarbeitende ausgesetzt werden können, ohne dass ein Risiko von Gesundheitsschäden besteht, während der Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) die empfohlene Partikelkonzentration angibt, die nicht überschritten werden sollte.

ERGEBNISSE

Die durchschnittlichen Partikelkonzentrationen als zeitgewichteter Mittelwert, die in Formlabs' F&E-Einrichtungen für SLS gemessen wurden, und die von der OSHA bestimmten Grenzwerte.



FAZIT

Die Pulverkonzentration in der Luft, die mit einer normalen Verwendung des Fuse-Ecosystems einhergeht, liegt selbst bei Nutzung von mehr als einem Dutzend Druckern in einem Raum **sieben- bis 100-mal unter den von der OSHA empfohlenen und zugelassenen Belastungsgrenzwerten**. Eine normale Verwendung des Fuse-Ecosystems stellt kein Risiko von Gesundheitsschäden der Atemwege dar und ist mit den Bestimmungen der OSHA zur Staubbelastung vereinbar.

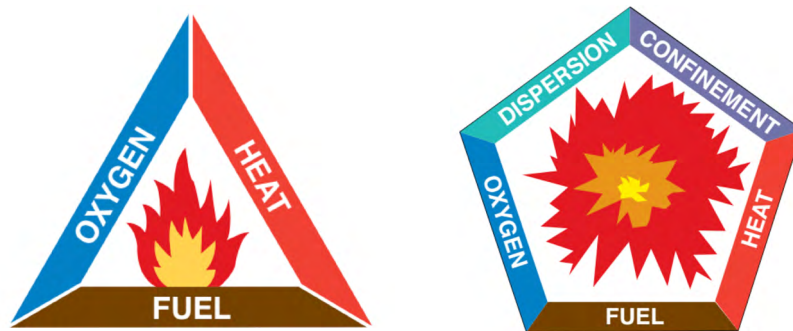
Analyse der Entflammbarkeit und Staubgefahr durch Stonehouse

[Stonehouse Process Safety](#) (Stonehouse) ist Branchenführer im Bereich der Vorbeugung von Explosionen, Bränden und versehentlicher Materialfreigabe. Das Unternehmen bietet Testdaten und Lösungen zum Prozesssicherheitsmanagement, die einer Qualitätssicherung unterliegen.

UMFANG

Stonehouse führte in Formlabs' F&E-Einrichtung für SLS im Dezember 2022 eine Analyse der Entflammbarkeit und der Staubgefahr durch. Ziel der Studie war, Formlabs dabei zu unterstützen, potenzielle Pulverbrand- und Explosionsrisiken zu identifizieren, die sich aus der Nutzung des SLS-Ecosystems ergeben. Diese Beurteilung orientiert sich an den Konsensrichtlinien und Normen der US-Brandschutzbehörde National Fire Protection Association (NFPA) für die Verarbeitung und Handhabung brennbarer teilchenförmiger Feststoffe.

Genau wie zahlreiche andere Materialien, etwa Sägespäne oder Mehl, sind SLS-Pulver brennbar und können unter bestimmten Bedingungen entflammen. Für einen Brand sind drei Faktoren erforderlich: Sauerstoff, ein Brennstoff und eine Zündquelle. Für eine Explosion mit einem brennbaren Pulver müssen zwei zusätzliche Bedingungen erfüllt werden: Die Komponenten müssen in einem begrenzten Volumen eingeschlossen sein und die Verteilung oder Konzentration des Pulvers in der Luft sollte über der unteren Explosionsgrenze (UEG) liegen.



Branddreieck und Explosionsfünfeck.

Ausgehend von diesen Kenntnissen beurteilte Stonehouse das Gefahrenpotenzial für eine Staubexplosion, indem das Team überprüfte, ob im Formlabs-SLS-Ecosystem eine oxidierende Atmosphäre, eine zuverlässige Zündquelle und ein zuverlässiger Aussetzungsmechanismus vorliegen. Sowohl die Ausrüstung als auch das Gebäude, in dem der Prozess untergebracht ist, wurden beurteilt, was die SLS-Pulver, die Drucker der Fuse-Serie, den Fuse Sift, die Arbeitsbereiche zur Pulverhandhabung und -verarbeitung und den Reinigungsprozess der Einrichtung umfasst.

METHODOLOGIE DER ANALYSE DER STAUBGEFAHR

Die Fachleute von Stonehouse führten Labortests an Proben von sechs Formlabs-Pulvern durch, um die damit verbundenen Explosivitätsdaten zu beurteilen, nämlich Nylon 12 Powder, Nylon 11 Powder, Nylon 11 CF Powder, Nylon 12 GF Powder, TPU 90A Powder und ein weiteres Pulver, das sich in der Entwicklung befindet.

Die Tests umfassten Folgendes:

1. Screening-Test (Go/No-Go) zur Feststellung, ob die Partikel explosionsfähig sind.
2. Messung der Mindestzündenergie und -temperaturen zum Auslösen eines Brandes.
3. Messung der Mindestkonzentration von Staub zur Verursachung einer Explosion (UEG).

Stonehouse untersuchte Räume, in denen brennbare Partikel vorhanden oder in Gebrauch sind, und prüfte die in diesen Räumen eingesetzte Ausrüstung zur Verarbeitung brennbarer Partikel wie etwa die Drucker und die Nachbearbeitungsgeräte der Fuse-Serie.

ERGEBNISSE DER ANALYSE DER STAUBGEFAHR – GERÄTE

Explosivität der Pulver

Stonehouse beurteilte die Zündfähigkeit der Pulver. In der untenstehenden Tabelle sind die Ergebnisse der Tests und die Interpretation der Daten zusammengefasst.

TEST	ERGEBNIS	INTERPRETATION
Explosivitätstest (Go/No-Go)	Go	Die Pulver sind explosionsfähig.
Mindestzündenergie (MZE) (mJ)	Hoch $300 < MZE < 1000$	Die Pulver haben ein geringes Risiko der Entzündung durch Funken.
Mindestzündtemperatur (Staubwolke) (MZTwolke) (°C)	Hoch $400 < MZTwolke < 440$	Die Staubwolken haben ein geringes Selbstzündungsrisiko.
Untere Explosionsgrenze (UEG) (g/m ³)	Hoch UEG = 40	Die Staubwolken haben ein geringes Explosionsrisiko.

- **Die Pulver haben ein geringes Risiko der Entzündung durch Funken und elektrostatische Entladung.** Die Mindestzündenergie (MZE) aller Pulver zählt mit einer Spanne von 300 bis 1000 mJ als hoch. Selbst eine starke Funkenentladung von ungeerdeten Geräten würde vermutlich keine ausreichende Energie erzeugen.
- **Die Pulverwolken haben ein geringes Selbstzündungsrisiko** bei Kontakt mit erhitzten Umgebungen, heißen Oberflächen und Reibungsfunken. Die Mindestzündtemperatur (MZTwolke) liegt für alle geprüften Proben über 400 °C und zählt damit als sehr hoch. Weiterhin liegt die Mindestzündtemperatur einer Staubschicht auf heißen Oberflächen (MZTschicht) über 350 °C. Dies zeigt, dass die Pulver sich nur im Brandfall entzünden würden.
- **Es müssen extrem dichte Pulverwolken entstehen, damit die Wolke entzündbar ist.** Dies ist durch den relativ hohen Wert für die untere Explosionsgrenze (UEG) im Vergleich zu den meisten organischen Produkten gegeben.

Dementsprechend werden die SLS-Pulver von Formlabs als schwer entzündlich und schwer explosionsfähig angesehen. Ausschließlich extrem dichte Pulverwolken, die in Kontakt mit offenen Flammen kommen, könnten zu einer Explosion führen. Stonehouse stellte fest, dass der Druckbetrieb in einer Weise abläuft, dass keine signifikanten Pulvermengen, egal ob in Schichten oder in Form von frei schwebenden Pulverwolken, zu erwarten sind.

Analyse der Staubgefahr durch Drucker der Fuse-Serie und Fuse Sift

- Die Drucker der Fuse-Serie nutzen einen Laser, um das Pulver Schicht für Schicht selektiv zu versintern. Der Fuse Sift ist ein geschlossenes System zur Rückgewinnung und Wiederverwertung überschüssigen Pulvers von Druckteilen.
- Die Temperaturen der Hitzequellen innerhalb des Geräts liegen weit unter den Werten für MZT, MZT_{wolke} und MZT_{schicht} der Pulver und zeigen damit, dass das Pulver sich in dem Gerät nicht entzündet.
- Alle elektrischen Komponenten innerhalb des Geräts sind gut vom Pulver isoliert und werden nicht als potenzielle Zündquellen angesehen.
- Das Volumen von Staubwolken innerhalb des Fuse Sift bei Reinigungsvorgängen wird hinsichtlich des gesamten Innenvolumens der Reinigungsstation als vergleichsweise klein beurteilt.

Jegliches zusätzliches Gerät zur Unterstützung von Reinigungsvorgängen innerhalb des Fuse Sift sollte intrinsisch sicher und für eine Umgebung nach Klasse II Unterteilung 1 (NEC 500) geeignet sein. Ein elektrisches Bürstengerät mit aufladbarer Lithium-Batterie könnte beispielsweise eine potenzielle Zündquelle darstellen.

Die Wahrscheinlichkeit der Entzündung wird angesichts der in die Druck- und Siebgeräte integrierten Sicherheitsvorrichtungen als sehr niedrig angesehen. So verfügen die Drucker der Fuse-Serie zum Beispiel über thermische Sensoren und schalten bei hohen Temperaturen von selbst ab. Auch die Folgen einer Entzündung für die Mitarbeitersicherheit werden als sehr niedrig betrachtet. Das Gesamtrisiko im Hinblick auf die Mitarbeitersicherheit wird als vernachlässigbar angesehen.

ERGEBNISSE DER ANALYSE DER STAUBGEFAHR – GEBÄUDE

Um Stichflammen oder Explosionsrisiken in der Anlage zu vermeiden, empfiehlt Stonehouse einen Reinigungsplan, der entweder die NFPA-Methode nach dem Kriterium der Schichttiefe oder die sogenannte Mass Method A anwendet, um die angesammelte Pulvermenge zu bestimmen, die eine Reinigung notwendig macht. Als Reinigungsmethode wird das Staubsaugen empfohlen, um die Entstehung von Pulverwolken und eine Ablagerung des Pulvers in höheren Lagen zu vermeiden.

Stonehouse konnte keine signifikanten Ansammlungen von entwichenem Staub in der F&E-Einrichtung für SLS von Formlabs feststellen und schloss, dass es in der Einrichtung nicht leicht zu dichten Staubwolken kommt. Das ist durch die Art des Druckvorgangs sowie durch den Effekt des unten beschriebenen einfachen Reinigungsplans zu erklären. Der SLS-Arbeitsbereich von Formlabs ist als nicht explosionsgefährdeter Bereich klassifiziert.

FAZIT DER ANALYSE DER STAUBGEFAHR

SLS-Pulver sind brennbar. Die von Stonehouse durchgeführte Analyse der Staubgefahr zeigt jedoch, dass aufgrund der Beschaffenheit der Formlabs-Pulver, der in die Geräte integrierten Sicherheitsvorrichtungen und der regelmäßigen Reinigung zur Vermeidung von Staubansammlungen nur ein vernachlässigbares Risiko von Pulverbränden oder Explosionen besteht.

Reinigungsplan von Formlabs

Das F&E-Team von Formlabs führt eine wöchentliche Reinigung durch, um zu gewährleisten, dass die Anlagen frei von pulverbedingten Gefahren bleiben. Der wesentliche Reinigungsvorgang ist das Staubsaugen aller Oberflächen zur Vermeidung der Ansammlung von Staub. Da die Formlabs-Einrichtung als „nicht explosionsgefährdeter Bereich“ eingestuft wurde, nutzt das Team einen statisch ableitenden Sauger, der den NFPA-Richtlinien für die Beförderung brennbaren Staubs entspricht (ATEX Ex II 3 D in der EU). Besuchen Sie die [Supportseite von Formlabs](#) für jegliche Dokumentationen zu den Produkten wie etwa die [Vorbereitung des Arbeitsbereichs](#). Formlabs befolgt folgende weitere bewährte Praktiken:

RÄUMLICHKEITEN UND GRUNDLEGENDE AUSTRÜSTUNG

- Die Notfallausrüstung sollte sichtbar und zugänglich sein.
- Werkzeuge, Leitern und [PSA](#) sollten zugänglich, geordnet und auf Lager sein.
- Feuerlöscher sollten gemäß den Vorgaben der NFPA in allen Gebäuden zur Verfügung stehen.
- Schaltschränke sollten geschlossen, frei zugänglich und frei von potenziellen Zündquellen sein.
- Leitende Komponenten der Ausrüstung müssen gemäß den Empfehlungen der NFPA gebunden und geerdet sein.

ENTZÜNDLICHE MATERIALIEN

- Alle entzündlichen Materialien sollten einen eigenen Lagerplatz haben.
 - Wenn die Fuse-Geräte sich in einer Werkstatt befinden, sollten Bereiche für Schweißarbeiten frei von brennbaren Materialien sein und ein Feuerlöscher sollte in unmittelbarer Nähe zur Verfügung stehen.
- Es sollte ein Prozess für die Ausführung von Heißenarbeiten gemäß NFPA befolgt werden.

PULVER

- Alle Oberflächen und Böden sollten abgesaugt werden, einschließlich höher gelegener Flächen wie Leitungen und Schächte der Klimatechnik oder Zwischendecken. Vermeiden Sie Staubschichten, die höher als eine Büroklammer sind (0,8 mm) oder die sichtbare Verfärbung von Ausrüstung durch Staub. Jegliches Pulver, dass bei der Verwendung verschüttet wird, muss sofort aufgesaugt werden.
- Alle Pulverbehälter sind verschlossen zu halten.
- Konstruktionskammern müssen zunächst gereinigt und dann an ihren Lagerplatz gestellt werden, wenn sie nicht in Benutzung sind. Ungereinigte Konstruktionskammern verteilen Staub in der Werkstatt und stellen ein Risiko der Querkontamination mit unterschiedlichen Pulvern verschiedener Konstruktionskammern dar.
- Überschüssiges, benutztes Pulver kann aus dem Fuse Sift dosiert werden, indem eine Neuzuführungsrate von 0 % eingestellt und das Pulver in eine leere Kartusche dosiert wird. Dieses Pulver sollte dann in den 55-Gallonen-Fässern gelagert werden und die Neuzuführungsrate wird für nachfolgende Anwender wieder auf die Standardeinstellung zurückgestellt.
- Im [Handbuch von Formlabs](#) finden Sie Informationen zur Pulverhandhabung, -lagerung und -entsorgung.
- Nutzen Sie leitende oder statisch ableitende Schläuche für den Pulvertransport, gemäß den Empfehlungen der NFPA.

CHEMIKALIEN UND ABFALL

- Chemikalienbehälter sollten bei Nichtbenutzung verschlossen sein, ordnungsgemäß gelagert werden und mit den vollständigen Chemikalienbezeichnungen und den damit verbundenen Gefahren beschriftet sein.
- Abfall- und Recycling-Behälter sollten geleert werden.
- Mitarbeitende sollten während der Reinigung sichere Arbeitspraktiken befolgen, Abfall ordnungsgemäß entsorgen und für unerwünschte Abfälle die Unterstützung der Abteilung für Umwelt, Gesundheit und Sicherheit in Anspruch nehmen.



Fazit

U.S. Compliance und Stonehouse Safety Process haben in den F&E-Einrichtungen für SLS von Formlabs eine Beurteilung der Luftqualität und eine Analyse der Staubgefahr durchgeführt. Beide Untersuchungen wurden in Übereinstimmung mit den Vorgaben der OSHA und NFPA absolviert. Die Ergebnisse zeigen, dass eine normale Nutzung des Fuse-Ecosystems kein Risiko der Schädigung der Atemwege und keine Brand- oder Explosionsgefahr darstellt, sofern die Sicherheitsdatenblätter der Pulver, die Handbücher der Geräte und ein angemessener Reinigungsplan befolgt werden.

Wie bereits angemerkt, ist bei der Handhabung von SLS-Pulvern in der Einrichtung von Formlabs lediglich die Nutzung einer einfachen Schutzbrille und von Nitrilhandschuhen erforderlich. Formlabs empfiehlt, sich mit den örtlichen Auflagen vertraut zu machen und diese einzuhalten, die Produktanweisungen und Reinigungspläne zu befolgen sowie den Arbeitsbereich und die Prozesse danach zu beurteilen, ob potenzielle Sicherheitsrisiken bestehen.

Haftungsausschluss

Beachten Sie, dass die in diesem Bericht vorgestellten Erkenntnisse und Schlussfolgerungen auf den beurteilten Standort beschränkt sind, nämlich die Räumlichkeiten von Formlabs in Somerville, Massachusetts, USA. Die Ergebnisse und Empfehlungen lassen sich womöglich nicht auf andere Standorte oder Einrichtungen anwenden oder übertragen, ohne eine standortspezifische Untersuchung und Analyse durchzuführen. Formlabs haftet nicht für Fehlinterpretationen oder falsche Anwendung der in diesem Bericht enthaltenen Informationen auf andere Standorte oder Umstände.

[Vertrieb kontaktieren](#)

Vertriebsanfragen Deutschland
vertrieb@formlabs.com
+49 30 88789870
formlabs.com/de

Vertriebsanfragen Europa
eu-sales@formlabs.com
+44 20 3037 8983 (UK)
+49 1573 5993322 (EU)
formlabs.com/eu

Vertriebsanfragen International
Vertriebspartner in Ihrer Region finden:
formlabs.com/de/company/partners