

Mechanisch-irritative Effekte durch partikuläre Stäube und Fasern – Praxisbeispiele

M. Mattenkloft, N. Lamm

ZUSAMMENFASSUNG Neben der inhalativen Gefährdung und der Gefährdung der Haut können partikuläre Stäube und Fasern an Arbeitsplätzen auch sogenannte mechanisch-irritative Effekte auslösen, zum Beispiel Juckreiz, Husten- und Niesreiz, Hautrötungen und Schleimhautreizungen oder Reizungen der Augen. Da das Auftreten und die Intensität der Effekte individuell verschieden ausgeprägt sind, werden diese bei der Gefährdungsbeurteilung nicht immer ausreichend berücksichtigt. Auslöser der Belastungen sind nach bisherigen empirischen Untersuchungen unterschiedliche Arten von Partikeln. Wiederholt beobachtet werden in abgelagerten Stäuben aus den betroffenen Bereichen gröbere scharfkantige Partikel, Mineralwolle-Fasern, Carbon- und Textilglasfasern oder organische Fasern aus Geweben und Zellulosefasern. Hier werden die Probenahme und Analyse der Stäube sowie repräsentative Fallbeispiele aus der Praxis anhand mikroskopischer Aufnahmen typischer Stäube, die offenkundig mechanisch-irritative Effekte auslösen, vorgestellt.

Mechanical-irritative effects due to particulate dusts and fibres – practical examples

ABSTRACT In addition to the inhalation hazard and the hazard to the skin from particulate dusts and fibres at workplaces, these can also trigger so-called mechanical-irritative effects (e.g. itching, coughing and sneezing, irritation of the skin and mucous membranes, irritation of the eyes). Since the occurrence and intensity of these effects are individually different, they are not always sufficiently taken into account in risk assessment. According to empirical studies to date, different types of particles trigger the exposure. Coarser sharp-edged particles, mineral wool fibres, carbon and textile glass fibres, organic fibres from fabrics and cellulose fibres are repeatedly observed in deposited dusts from the affected areas. Sampling and analysis of the dusts are presented, as well as representative case studies from practice based on microscopic images of typical dusts that obviously trigger mechanical-irritative effects.

1 Einleitung

Stäube und Fasern an Arbeitsplätzen können sowohl inhalativ als auch durch ihre Wirkung über die Haut eine Gefährdung darstellen. Deutlich weniger beachtet wird aber, dass diese auch sogenannte mechanisch-irritative Effekte auslösen können. Dabei handelt es sich nicht um eine Dermatitis oder Allergie. Teilweise wird für die in der Regel reversiblen Effekte auf die Haut und die Schleimhäute auch der Begriff der „Fiberglas-Dermatitis“ verwendet, wenn bestimmte Fasern als Ursache der Effekte ausgemacht werden [1, 2]. Hierunter werden aber auch weitergehende Wirkungen durch in die Haut eingespießte Fasern erfasst. Mechanisch-irritative Effekte können aber auch durch eine ganze Reihe unterschiedlicher Arten von Stäuben verursacht werden. Sie äußern sich vor allem durch Juckreiz, Husten- und Niesreiz, Hautrötungen und Schleimhautreizungen, aber auch durch Reizungen der Augen. Ob und in welcher Intensität die Effekte auftreten, ist individuell sehr verschieden. Sie werden von den Betroffenen aber häufig als sehr belastend beschrieben. Somit stellen die Effekte ein relevantes arbeitshygienisches Problem dar, dass bei Gefährdungsbeurteilungen Berücksichtigung finden müsste. In aller Regel klingen die Effekte wieder vollständig ab, wenn die Exposition nicht mehr besteht. Im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) werden seit vielen Jahren abgelagerte Stäube aus Arbeitsbereichen, in denen Mitarbeitende über die beschriebenen Effekte klagen, phasenkontrast-mikroskopisch analysiert. Schwerpunkt dieses Beitrags ist es, die

empirischen Ergebnisse dieser Analysen an Fallbeispielen aus der Praxis vorzustellen.

2 Probenahme und Analyse

Die Probenahme abgelagerter Stäube in Arbeitsbereichen kann an unterschiedlichsten Stellen erfolgen. Eine Standardisierung ist hier kaum möglich. Die Proben können im Umfeld von Tätigkeiten an Maschinen, Anlagen oder anderen Oberflächen in direkter Umgebung (z.B. Tischflächen) genommen werden. Auch höher gelegene Positionen, an denen seltener eine Reinigung stattfindet (z.B. Verstreubungen, hohe Schränke) können beprobt werden.

Die Probenahme erfolgt zumeist durch Abwischen von Stäuben auf Oberflächen. Dies kann mit einem Gummiwischer oder noch besser mit einem Finger (mit Einweghandschuh) geschehen. Wichtig ist, dass das Abwischen des Staubes langsam durchgeführt wird, um Aufwirbelungen zu vermeiden. Je nach Belegung der Oberfläche kann eine Fläche von einigen Quadratzentimetern bis zu etwa DIN-A4-Größe abgewischt werden (**Bild 1**). Der abgewischte Staub wird entweder durch Abstreifen oder Abspülen (mit Wasser oder Ethanol) in ein Gefäß überführt (z.B. Weithalsgefäß mit Schraubverschluss). Als Medium darf in keinem Fall ein faseriges Material (z. B. Vlies, Lappen, Papiertuch) verwendet werden, da der Staub daraus nicht vollständig und wahrscheinlich nur selektiv für die folgende Analyse gewonnen werden kann. Zudem ist eine Kontamination durch Partikel aus dem Sammelmedium sehr wahrscheinlich. Auch aus Ritzen,

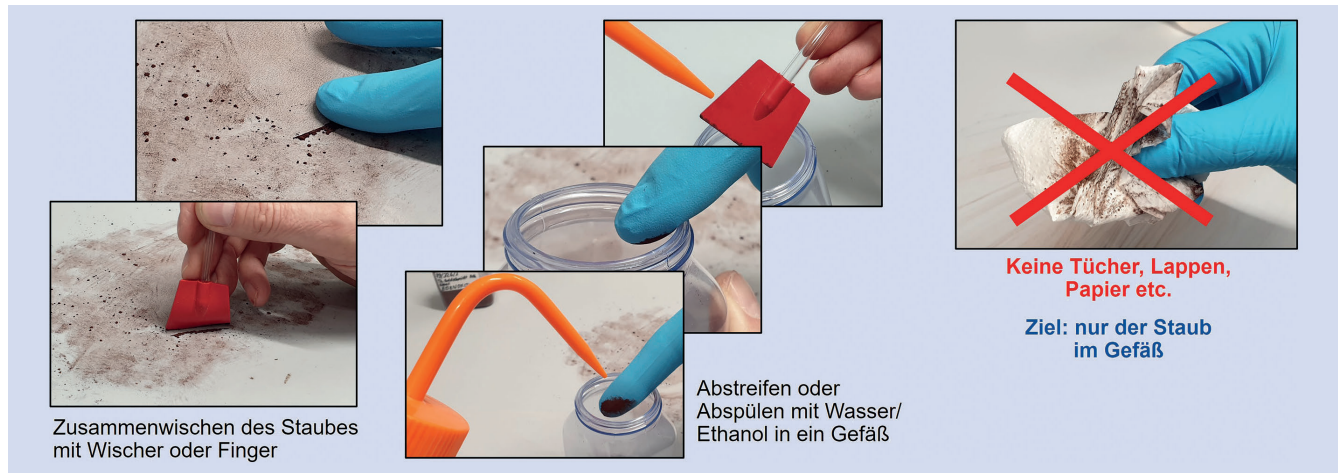


Bild 1. Vorgehensweise bei der Probenahme von abgelagerten Stäuben durch Wischproben. Foto: IFA

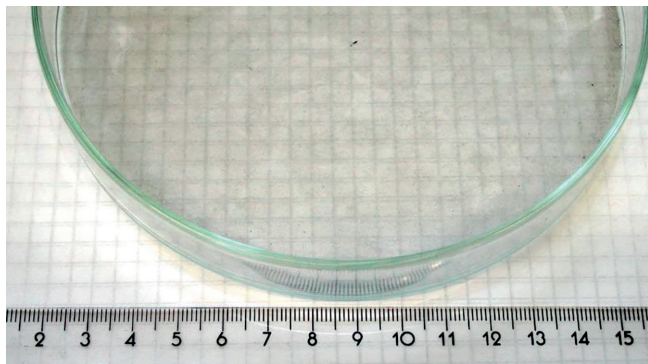


Bild 2. Sammeln von abgelagertem Staub in einer Petrischale. Foto: IFA

Fugen, verschiedensten Öffnungen oder auch aus Entstaubungsanlagen kann zum Beispiel mit Pinzetten, Löffeln und anderen Hilfsmitteln abgelagerter Staub entnommen werden. Für eine qualitative Auswertung können schon geringste Mengen Staub genügen. Um eine repräsentative Aussage zu erzielen, sollte aber eine Probenmenge von mehreren mg bis einigen g vorliegen.

Zu bedenken ist, dass Staubablagerungen die Belastung über unterschiedliche Zeiträume abbilden können. Es ist durch die Analyse nicht zu entscheiden, ob sich der Staub innerhalb der letzten Tage oder vielleicht über einen Zeitraum von Monaten abgelagert hat. Soll die aktuelle Situation ermittelt werden, kann alternativ eine offene Petrischale für einige Tage oder Wochen im Arbeitsbereich abgestellt werden, um den abgelagerten Staub zu erfassen (Bild 2). Es kann auch eine bestimmte Oberfläche gereinigt und dann nach einer bestimmten Zeit der dort abgelagerte Staub beprobt werden.

Die Analyse des abgelagerten Staubes erfolgt mittels Phasenkontrastmikroskopie. Dieses spezielle lichtmikroskopische Verfahren ist seit mehreren Jahrzehnten zur qualitativen und semiquantitativen Analyse von Stäuben etabliert. Es ermöglicht, Fasern bereits ab einem Durchmesser von $0,2\text{ }\mu\text{m}$ zu erkennen und sowohl faserförmige als auch partikuläre Stäube qualitativ anhand bestimmter optischer Eigenschaften zu identifizieren und zu unterscheiden. Bereits Jahrzehnte vor der Etablierung anderer Analyseverfahren wurde es zur optischen Bestimmung von Quarz und Asbest eingesetzt. Für die Identifizierung von Asbest in Mate-

rialproben ist es auch heute noch ein effektives Verfahren [3, 4]. Die Analyse abgelagerter Stäube zielt darauf ab, die Zusammensetzung des Staubes qualitativ so differenziert wie möglich zu ermitteln und semiquantitative Aussagen über die stoffliche Zusammensetzung zu erreichen.

3 Auftreten und Ursachen mechanisch-irritativer Effekte

Das Auftreten von mechanisch-irritativen Effekten ist individuell sehr verschieden. Wenn zwei Personen die gleichen Tätigkeiten nebeneinander durchführen, kann es sein, dass bei einer davon stark belastende Reizungen auftreten, während dies bei der anderen nicht zu beobachten ist. Aufgrund dieser individuellen Prädisposition sind auch Beschwerden Einzelner aus einer Gruppe von mehreren Personen, die im selben Umfeld tätig sind, ernst zu nehmen.

Die Feststellung, welche Arten von Staubpartikeln oder Stoffen bei Arbeitnehmenden in unterschiedlichsten Arbeitsbereichen mechanisch-irritative Effekte auslösen, kann derzeit nur indirekt erfolgen. Dort, wo Beschwerden über solche Effekte auftreten, werden von den Messtechnischen Diensten der Unfallversicherungsträger abgelagerte Stäube beprobt, die dann mikroskopisch im Hinblick auf ihre stoffliche Zusammensetzung analysiert werden. Dabei zeigen sich bestimmte Gemeinsamkeiten in den Stäuben, die Schlussfolgerungen darauf zulassen, welche Partikelarten wahrscheinlich diese reversiblen Reize auf die Haut und die Schleimhäute auslösen. Generell bleibt festzuhalten, dass alveolengängige Stäube wahrscheinlich nur untergeordnet Auslöser der Effekte sind. In aller Regel werden Partikel und Fasern in den Proben gefunden, deren Durchmesser im größeren Bereich der einatembaren Staubfraktion liegt. Die Partikeldurchmesser liegen zumeist bei 10 bis $50\text{ }\mu\text{m}$, die Länge von Fasern kann von circa $50\text{ }\mu\text{m}$ bis hinauf zu einigen Millimetern betragen. Typische Partikelarten, die in den beprobten Arbeitsbereichen immer wieder angetroffen worden sind:

- Körnige bis plättchenförmige Partikel. Diese weisen zumeist unregelmäßige und zum Teil scharfkantige oder dornförmige Begrenzungen auf.
- Splitter aus festen Schäumen (z. B. Perlit oder ausgehärteter PU-Schaum). Die Partikel zeigen scharfkantige sichelförmige Begrenzungen.

- Mineralwollen, von denen überwiegend Fasern mit Durchmesser $> 3 \mu\text{m}$ und zum Teil deutlich über $10 \mu\text{m}$ dicke Faserbruchstücke angetroffen werden. Die Fasern sind zumeist mit Bindermaterial verklebt bzw. teilbeschichtet.
- Carbon- und Textilglasfasern. Diese grundsätzlich nicht alveolengängigen Fasern (Carbonfasern mit einem Durchmesser ab ca. $5 \mu\text{m}$ bzw. Textilglasfasern mit $10 \mu\text{m}$) sind zumeist in einer Kunststoffmatrix eingebunden – sogenannte Carbonfaser- (CFK) bzw. Glasfaserkomposite (GFK) – oder in teilweise textilen Geweben oder Gelegen mit oder ohne Binder verarbeitet.
- Natürliche und synthetische organische Fasern (eine mikroskopische Differenzierung kann nicht erfolgen), die zumeist aus textilen Materialien stammen. Häufig werden dabei Fasern festgestellt, die gewunden sind, dünne Abspleißungen im Verlauf und deutliche Aufspaltungen an den Enden zeigen. Teilweise sind auch relativ starre, steife organische Fasern dabei.
- Zellulosefasern, die häufig aus Kartonagen bzw. Verpackungen freigesetzt werden. Diese zeigen unregelmäßige Dicken und zum Teil stark zergliederte Strukturen, häufig mit Ab- bzw. Aufspaltungen.

Die Erfahrung zeigt auch, dass nicht nur das Auftreten einer bestimmten Art von Partikeln zu Beschwerden führt. Teilweise werden Beschwerden als besonders intensiv und regelmäßig auftretend beschrieben, wenn in Arbeitsbereichen Partikelemissionen bei der Verwendung unterschiedlicher Produkte bzw. Materialien zusammenkommen. Solche Mischbelastungen sind zum Beispiel typisch für Labore in Versuchs- und Prüfeinrichtungen oder Werkstätten in Großbetrieben.

Die Effekte treten zum Teil lang anhaltend auf, auch wenn mit den als kritisch betrachteten Materialien nicht durchgehend gearbeitet wird. Ein Grund dafür kann die Ablagerung der Stäube in Bereichen von Räumen oder Hallen sein, die bei der regelmäßigen Reinigung nicht erfasst werden. So lagern sich Stäube zum Beispiel auf Rohren, Querstreben, hohen Schränken oder Regalen ab. Durch Erschütterungen (z. B. durch zufallende Türen), Vibrationen von Generatoren etc., impulsartige Lüftung und durch weitere Umstände werden dann immer wieder Stäube aufgewirbelt und können unabhängig von der aktuellen Tätigkeit die Reizung auf der Haut aufrecht erhalten.

Die Erfahrung hat auch gezeigt, dass die auftretenden Effekte nicht immer rein mechanischer Natur sind. Eine Kombination dieser mechanischen Reizungen mit zum Beispiel chemischen Einwirkungen kann durchaus zu unterschiedlichen Ausprägungen führen. So ist zum Beispiel ein Fall dokumentiert, bei dem die Reizwirkungen auf der Haut durch das Tragen von glasfaserverstärkten Tabletts für Mahlzeiten in einem Krankenhaus bei mehreren Personen durch den Wechsel der Farbe der Tabletts massiv verstärkt wurden. Die Herstellung der Tabletts geschah auf die gleiche Weise, die verwendeten Fasern waren die gleichen, nur die chemische Zusammensetzung der Kunststoffmatrix ist durch den anderen, zugegeben Farbstoff modifiziert worden.

4 Fallbeispiele aus der Praxis

Im Folgenden werden beispielhaft unterschiedliche Arbeitsbereiche und Tätigkeiten aufgeführt, bei denen Beschwerden über mechanisch-irritative Effekte berichtet werden. Die Abbildungen zeigen anhand von lichtmikroskopischen Aufnahmen die dabei typischerweise in Proben abgelagerter Stäube vorgefundenen Par-



Bild 3. An den Enden aufgespleißtes Stück einer organischen Faser mit ca. 10 bis $20 \mu\text{m}$ Durchmesser, umgeben von Partikeln mit etwa 5 bis $30 \mu\text{m}$ Breite (Bildbreite $570 \mu\text{m}$). Foto: IFA

tikelarten. Die Partikel wurden dafür in unterschiedliche Flüssigkeiten dispergiert.

Informationen zu den Abbildungen: Soweit nicht anders erwähnt, sind die Fotos mittels Digitalkamera bei phasenkontrastmikroskopischer Darstellung im Labor des IFA aufgenommen worden. Die Abbildungen stammen aus den Analysenberichten und enthalten teilweise noch Bemaßungen, Pfeile und Anmerkungen, die aufgrund der verkleinerten Abbildungen nicht lesbar sind, im Kontext dieser Veröffentlichung aber auch nicht relevant sind. Die Erläuterungen der dargestellten abgelagerten Stäube erfolgen jeweils im gesetzten Text mit Bildverweis, weshalb die Beschriftung der Abbildungen auf die Nennung der wesentlichen erkennbaren Partikelarten und den Maßstab beschränkt ist. Opaque Partikel erscheinen phasenkontrastmikroskopisch braunschwarz, können aber durch eine differenzierte Internstruktur durch Lichtbeugung auch hell erscheinen. Die unterschiedlichen Farben des Bildhintergrunds und bestimmter Partikel (typische Blaufärbung) entstehen durch optische Effekte der Phasenkontrastmikroskopie und werden dabei durch die Verwendung unterschiedlicher Einbettungsflüssigkeiten beeinflusst.

4.1 Emissionen bzw. Verschleppungen aus einem Versuchslabor

In einem Forschungs- und Untersuchungsinstitut wurden aus den Versuchslaboren Stäube in die Flure verschleppt und lagerten sich dort ab. Die mikroskopische Analyse zeigt einen typischen Mischstaub, der aus unterschiedlichen Komponenten besteht. Relevant sind hier zum einen organische Fasern, die teilweise in Form stumpfer Bruchstücke mit aufgespleißten Enden auftreten (**Bild 3**). Zudem treten auch scharfkantige Partikel auf, die als Glassplitter eingeordnet werden können und in den größeren Bereich der einatembaren Staubfraktion einzuordnen sind (ca. 20 bis $50 \mu\text{m}$, **Bild 4**).

4.2 Stäube aus Berstversuchen in einem Werkstofflabor

Der abgelagerte Staub aus dem Werkstoffprüflabor zeigt ähnliche Bestandteile, wie im zuvor beschriebenen Fall. Hier sind ebenfalls organische Fasern mit unterschiedlicher Länge und Aus-

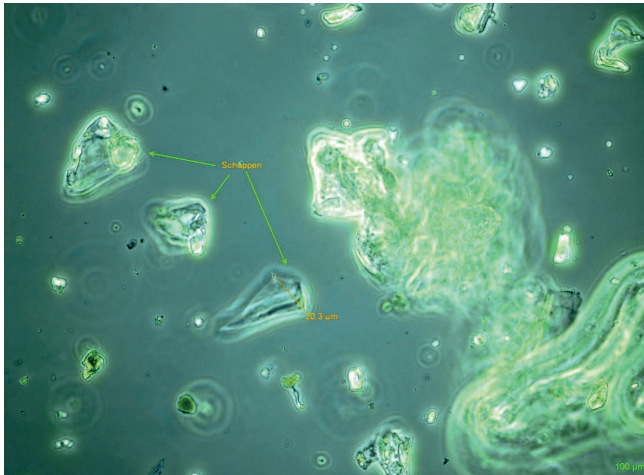


Bild 4. Neben großen Fragmenten organischer Fasern sind schuppenförmige, glasartige ca. 20 bis 50 µm große Partikel mit scharfkantig auslaufenden Begrenzungen vorhanden (Bildbreite 280 µm). Foto: IFA

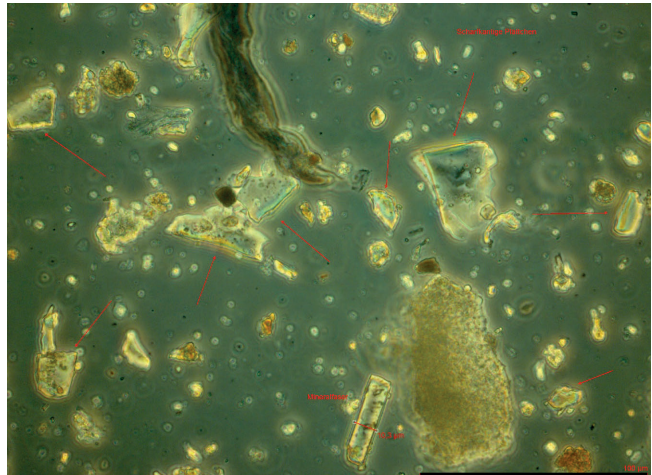


Bild 5. Bruchstück einer Textilglasfaser (unten, Durchmesser 10 µm), organische Faser (von oben ins Bild ragend), splitterförmiges scharfkantiges Partikel (ca. 35 µm Durchmesser) und weitere Partikelarten (Bildbreite 280 µm). Foto: IFA

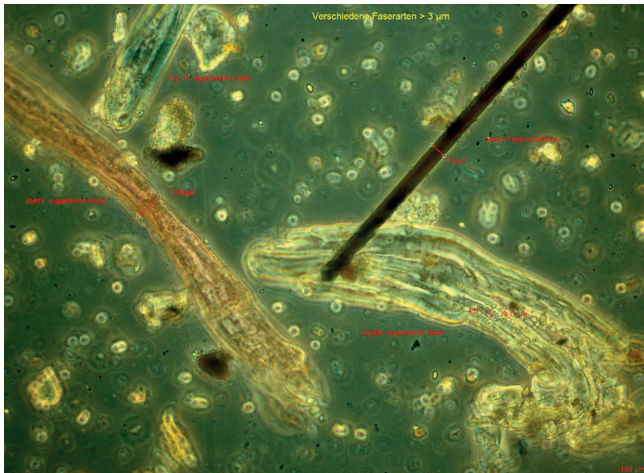


Bild 6. Neben drei organischen Fasern (verschiedene Farben) und anderen körnigen Partikeln, ragt eine braun-schwarze Carbonfaser mit 7 µm Durchmesser ins Bild (Bildbreite 280 µm). Foto: IFA

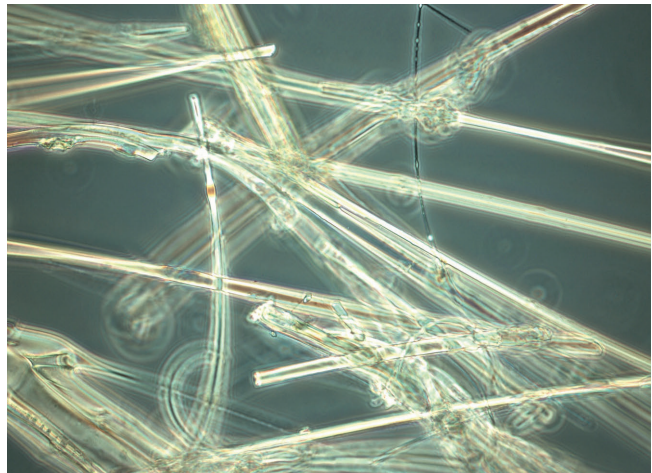


Bild 7. Fasern einer Mineralwolle mit Durchmessern zwischen 3 und 20 µm, die zum Teil mit einer Bindermasse miteinander verbunden sind (Bildbreite 280 µm). Foto: IFA

prägung vorhanden. Auch scharfkantige glasartige Splitter treten auf (**Bild 5**). Da die Berstversuche überwiegend an Carbon- und Glasfaser-Verbundwerkstoffen durchgeführt werden, sind auch hiervon Partikel in den Stäuben zu finden. Im **Bild 5** ist ein stumpf abgebrochenes Stück einer Textilglasfaser zu sehen und **Bild 6** zeigt ein mehrere Hundert µm langes Stück einer Carbonfaser (braun-schwarze Farbe).

4.3 Verwendung von Mineralwollmatten

Neben dem Einsatz als Dämmmaterial im Hochbau werden verschieden dicke Mineralwollmatten zum Beispiel auch bei der Fertigung und Montage in metallverarbeitenden Betrieben eingesetzt. Dazu werden unterschiedlich große Stücke zugeschnitten oder gestanzt und montiert. Abhängig von der Einsatzart sind die Fasermatten mit verschiedenen großen Anteilen von aufgespritzten, ausgehärteten Bindern versehen. Die in **Bild 7** dargestellten Fasern treten daher nicht nur vereinzelt, sondern auch in Form von Aggregaten mehrerer Fasern auf, aus denen die Fasern in unterschiedliche Richtungen abstehen.

4.4 Abgehängte Decke und Elektroinstallationen in einer Werkstatt

In einer Werkstatt sind bei Arbeiten an einer abgehängten Decke und den elektrischen Anlagen Stäube freigesetzt worden. Dabei handelt es sich zum einen um Mineralwolle-Fasern, die mit anderen Stoffen zusammen verpresst die Hauptmasse bestimmter Akustikplatten ausmachen (**Bild 8**). Bei den Arbeiten am Sicherungskasten sind auch Stäube mit organischen Fasern aufgetreten. Besonders auffällig in diesem Fall sind die auch in anderen Proben häufig beobachteten dünnen Abspleißungen im Verlauf der Fasern und deren zum Teil gewundener Struktur (**Bild 9**).

4.5 Maschinelles Sortieren bzw. Zählen von Papiergeld

In einer Geldsammelstelle werden Geldscheine maschinell verarbeitet. Dabei treten typischerweise zwei Arten von Stäuben auf. Zum einen werden durch das maschinelle Handling aus dem Papier Fasern freigesetzt (**Bild 10**). Zum anderen ist aber auch eine breite Palette verschiedenster Partikel zu beobachten, die wohl als



Bild 8. Mineralwolle-Fasern mit Durchmessern von 1 bis 10 µm (Bildbreite 280 µm). Foto: IFA



Bild 9. Organische Fasern, zum Teil mit gewundener Struktur und vielen Abspleißungen im Verlauf (Bildbreite 570 µm). Foto: IFA

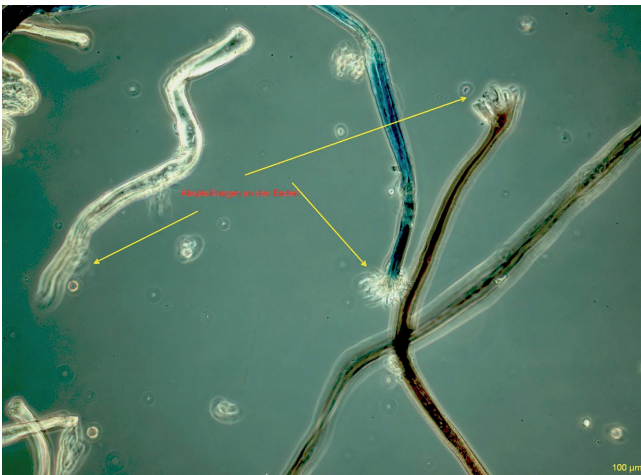


Bild 10. Organische Fasern mit Durchmessern von ca. 10 bis 20 µm und büschelartig aufgespleißten Enden (Bildbreite 570 µm). Foto: IFA

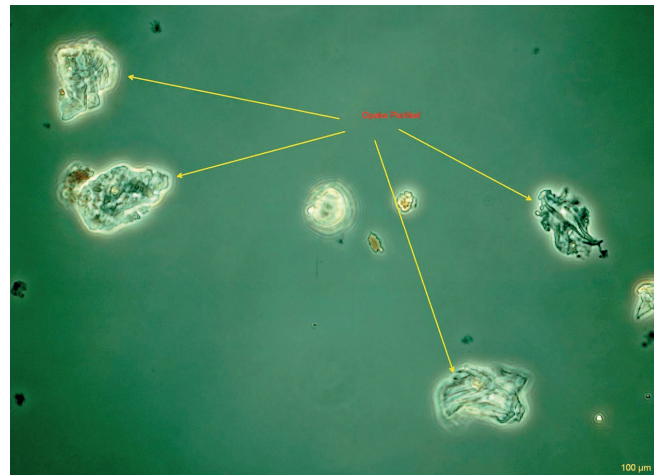


Bild 11. Schuppen- bis plättchenförmige Partikel mit Durchmessern von ca. 20 bis 30 µm und unregelmäßigen Begrenzungen (Bildbreite 280 µm). Foto: IFA

Verunreinigung durch die Nutzung an Geldscheinen haften und bei der Verarbeitung freigesetzt werden. Kritisch sind dabei wieder körnig- bzw. plättchenförmige Partikel unterschiedlicher Art im Größenbereich zwischen circa 20 und 50 µm (**Bild 11**).

4.6 Fräsen von Leiterplatten

Die für fast alle Arten elektrischer Bauteile benötigten Leiterplatten bestehen aus Kunststoffen, die mit Textilglasfaser-Geweben verstärkt sind. Beim Fräsen dieser Platinen werden Stäube freigesetzt, die Splitterbruchstücke sowohl der Textilglasfasern als auch der Kunststoffmatrix enthalten (**Bild 12**).

4.7 Herstellung von Schleifkörpern und Schleifscheiben

Bei der Herstellung von Schleifkörpern und vor allem Schleifscheiben (z. B. für Winkelschleifer) werden in aller Regel stabilisierende Gewebe aus Textilglasfasern verwendet. Durch die mechanische Bearbeitung der Produkte bei der Formgebung und dem Pressen entstehen Stäube, die Bruchstücke der Textilglasfa-

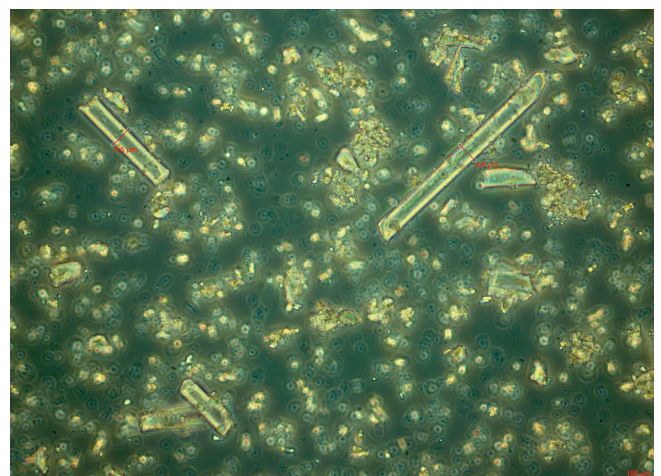


Bild 12. Bruchstücke von Textilglasfasern (Durchmesser 10 µm), umgeben von feineren Bruchstücken der Fasern und der Kunststoffmatrix (Bildbreite 280 µm). Foto: IFA

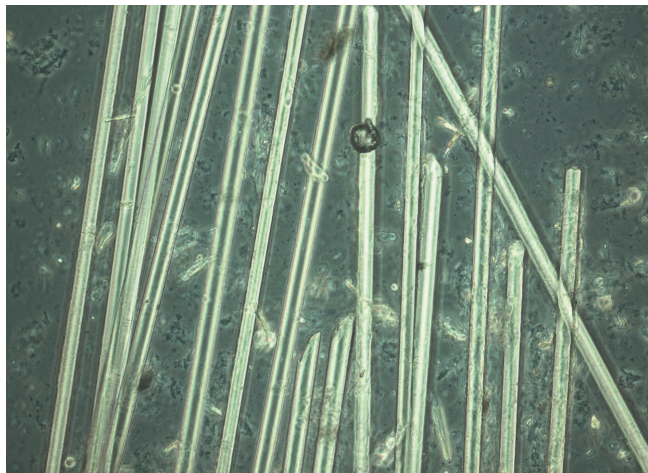


Bild 13. Bruchstücke von Textilglasfasern mit Durchmessern von 12 bis 18 µm (Bildbreite 570 µm). Foto: IFA

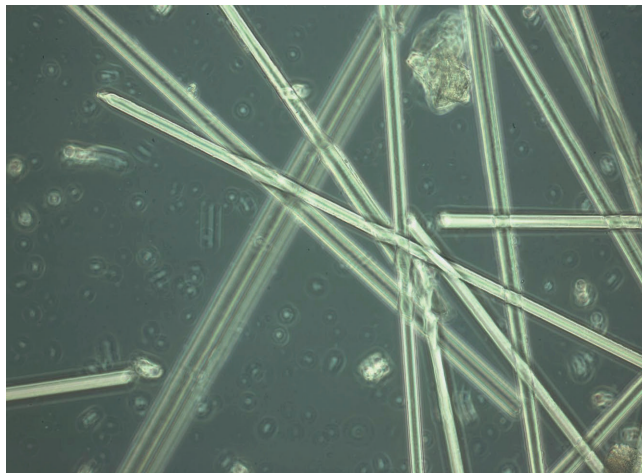


Bild 14. Bruchstücke von Textilglasfasern mit Durchmessern von 10 bis 14 µm (Bildbreite 570 µm). Foto: IFA

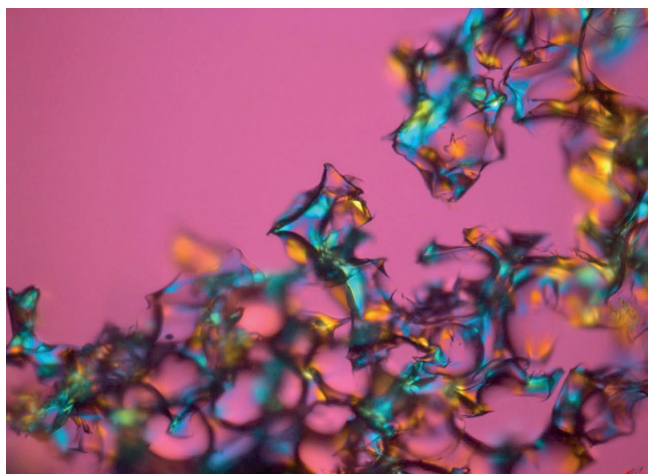


Bild 15. Scharfkantige Partikel aus zerbrochenem ausgehärtetem PU-Schaum (Bildbreite 570 µm, Darstellung mit gekreuzten Polarisatoren und Lambda-Plättchen). Foto: IFA

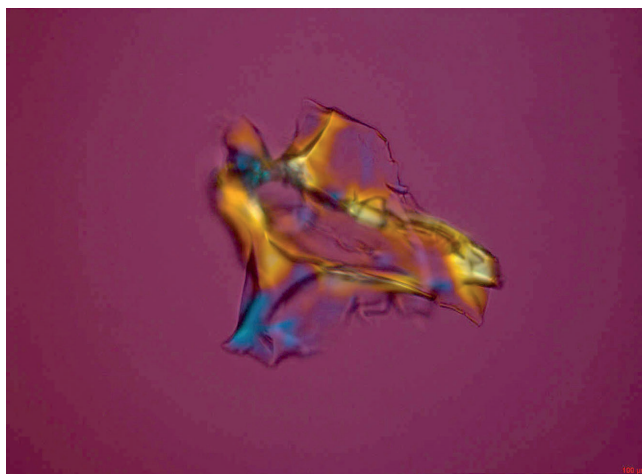


Bild 16. Einzelne Fragmente zeigen Partikelgrößen in der Größenordnung von ca. 100 µm (Bildbreite 280 µm). Foto: IFA

sern enthalten. Diese zeigen zum Teil stumpfe, teilweise aber auch spitz zulaufende Enden (**Bild 13** und **Bild 14**).

4.8 Bearbeitung von ausgehärteten Schäumen im Modellbau

Beim Fahrzeugbau wurden im Rahmen einer Vorserienfertigung Modellbauwerkstoffe aus ausgehärtetem PU-Schaum verwendet. Beim Fräsen bzw. Schleifen von Formteilen aus diesem Material werden Stäube freigesetzt, die Bruchstücke des Schaums enthalten. Diese Partikel zeigen sehr dünne, scharfkantige, zum Teil sichelförmige und spitz auslaufende Begrenzungen (**Bild 15** und **Bild 16**). Sie bestehen weitgehend aus angebrochenen sehr dünnen Blasenbegrenzungen und den Stegen des Schaums. Vergleichbare Partikel werden zum Beispiel auch bei der Verwendung von Perlit als Schüttgut-Dämmmaterial beobachtet.

4.9 Bespannung von Polstermöbeln

Bei der Herstellung von Polstermöbeln werden unterschiedlichste Stoffe aus verschiedensten natürlichen und synthetischen Fasermaterialien verwendet. Teilweise werden dabei Faserarten eingesetzt, die durch ihre Sprödhheit und Steifheit auffallen. Im vorliegenden Fall ist solch ein Fasermaterial als zwirnartiger schwarzer Faden in dem Gewebe vernäht worden (**Bild 17** und **Bild 18**). Das einzelne Faserbündel (**Bild 18**) mit den an Schnittkanten in verschiedene Richtungen auseinanderstehende Fasern ist bei Hautkontakt deutlich zu spüren. Die einzelnen Fasern zeigen keinen geraden Verlauf, sondern teilweise Knicke, haben eine variierende Dicke und sind teilweise in sich gewunden (**Bild 19**). Die bei der Verarbeitung entstehenden Stäube können sich im Arbeitsbereich ausbreiten und/oder auch an bestimmten Stellen sammeln, zum Beispiel auf Verstrebungen oder auch in Bearbeitungsmaschinen. **Bild 20** zeigt zum Beispiel ein Staub-Agglomerat mit verfilzten organischen Fasern aus einem Stoffcutter.

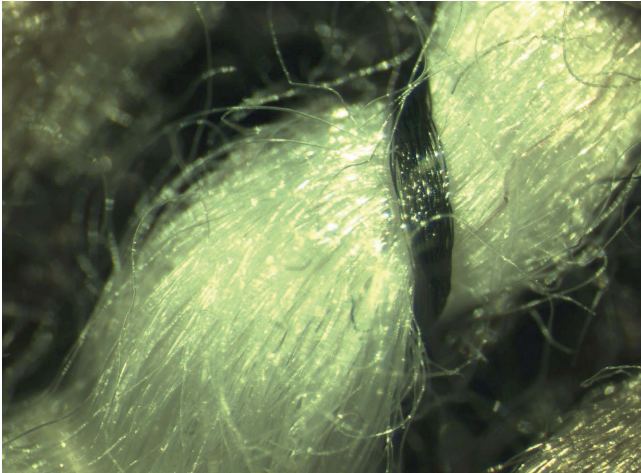


Bild 17. Verschiedene organische Fasern in einem Gewebe (Bildbreite 4,5 mm, stereomikroskopische Darstellung). Foto: IFA

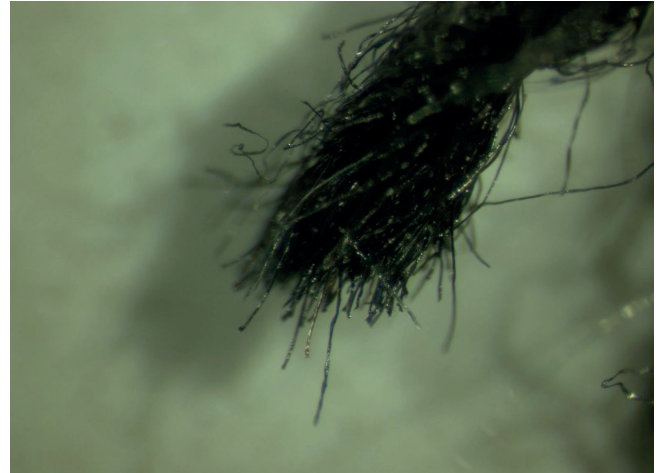


Bild 18. Zwirntartiger Faden (Breite 0,7 mm) aus Gewebe (Bild 15), der aus organischen Fasern mit einem Durchmesser von 10 bis 30 µm besteht (Bildbreite 3 mm, stereomikroskopische Darstellung). Foto: IFA

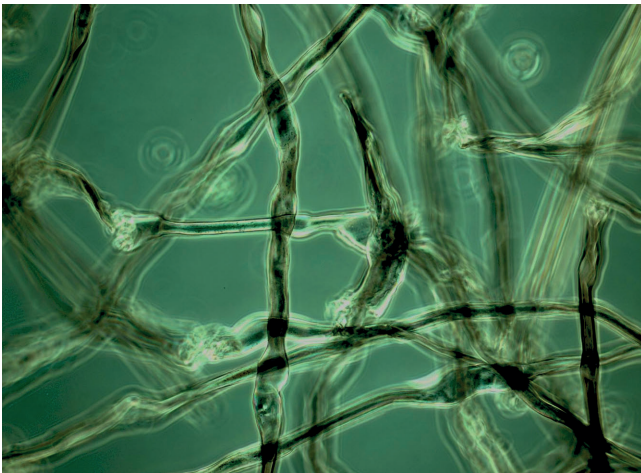


Bild 19. Organische Fasern (Durchmesser 10 bis 30 µm), die durch ihre Sprödeheit und Steifheit auffallen (Bildbreite 570 µm). Foto: IFA



Bild 20. Verfilzte organische Fasern aus unterschiedlichen Geweben (Bildbreite 18 mm, stereomikroskopische Darstellung). Foto: IFA

4.10 „Müllentsorgung“ über Kartonagen

In einem Lager im Großhandel für Eisen-, Stahl- und Nichteisen-Produkte sind bestimmte Kartonagen als besonders kritisch im Hinblick auf mechanisch-irritative Effekte erkannt worden. Auffällig war dabei die recht massive und schwere Ausführung bestimmter Pappen, die zudem beim Hantieren Staub abgegeben haben, der an den Händen haftet. Eine mikroskopische Analyse zeigte, dass in der Pappe gemahlene Abfälle verarbeitet wurden. Es finden sich Glas, Metallspäne, Kunststoffe, Farben und mineralische Stoffe, die überwiegend mit einer Partikelgröße von circa 20 µm bis zu 1 mm in die Zellulosematrix eingearbeitet wurden (**Bild 21** und **Bild 22**). Die Zellulose selbst zeigt Faserstrukturen mit alternierenden Durchmessern, Abspleißungen und teilweise dünn auslaufenden Enden (**Bild 23**). Die Handhabung derartiger Kartonagen kann über die mechanisch-irritativen Effekte hinaus zu erkennbaren Verletzungen der Haut zum Beispiel durch scharfkantige Glassplitter und Metallspäne führen.



Bild 21. Unterschiedlichste Partikelarten in Zellulosematrix eingearbeitet, mitten im Bild ein Glassplitter mit rund 1 mm Breite (Bildbreite 12 mm, stereomikroskopische Darstellung). Foto: IFA

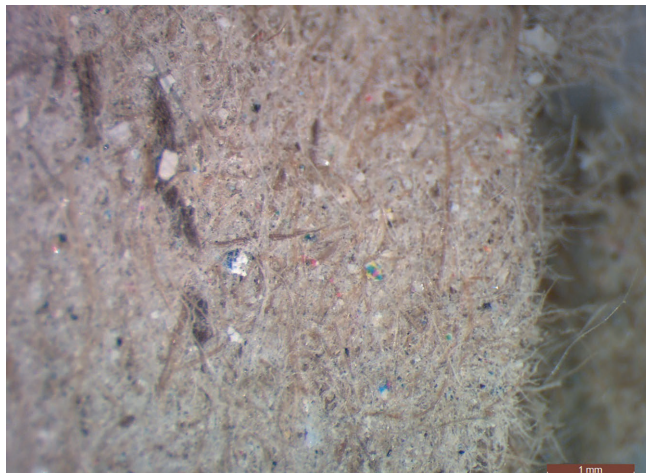


Bild 22. Unterschiedlichste Partikelarten in Zellulosematrix eingearbeitet. Im Bild an den Farben erkennbar Partikel unter anderem aus Kunststoff mit Größen von bis zu 0,5 mm (Bildbreite 7,5 mm, stereomikroskopische Darstellung). Foto: IFA

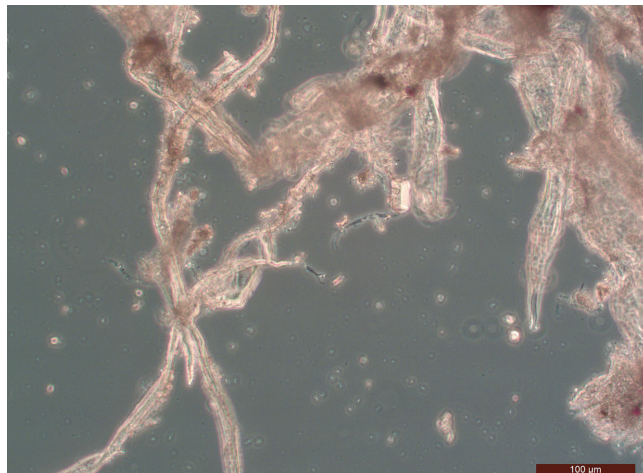


Bild 23. Zellulosefasern (Durchmesser 3 bis 13 µm), teilweise mit spitz auslaufenden Enden, zum Teil mit anhaftenden Partikeln (Bildbreite 650 µm). Foto: IFA

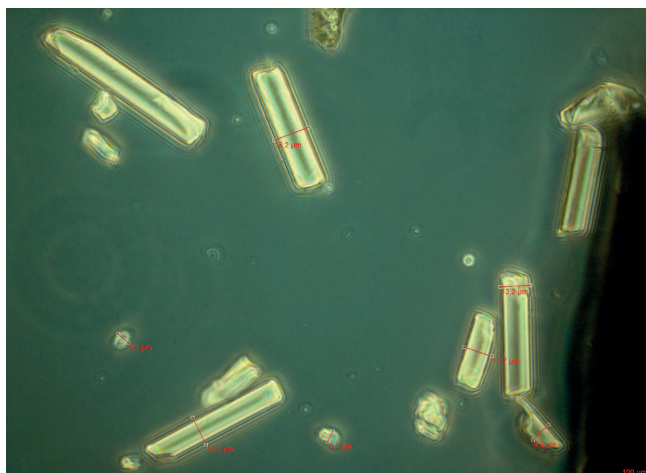


Bild 24. Splitter von Textilglasfasern mit einem Durchmesser von 10 bis 16 µm (Bildbreite 280 µm). Foto: IFA



Bild 25. Organische Fasern mit Durchmessern von ca. 23 bis 32 µm, die an mehreren Stellen mit einer Kunstharzmatrix verklebt sind (Bildbreite 650 µm). Foto: IFA

4.11 Recycling von faserverstärkten Kunststoffen

In einem kunststoffverarbeitenden Betrieb wird ein innerbetriebliches Recycling betrieben, indem ausgesonderte thermoplastische glasfaserverstärkte Kunststoffe geschreddert und als Granulat erneut eingesetzt werden. Die in dem Kunststoff zur Armierung eingesetzten Textilglasfasern werden bei diesem Vorgang ebenfalls zerbrochen und zum Teil als Splitter freigesetzt (**Bild 24**).

4.12 Revisionsarbeiten an abgehängten Decken einer Rehaeinrichtung

Bei Revisionsarbeiten an einer mit Platten abgehängten Decke sind in den freigesetzten Stäuben überwiegend zwei Faserarten festgestellt worden, die wahrscheinlich aus einem Vliesmaterial stammen, das als Abdeckung auf die Platten gelegt wurde. Es treten zum einen organische Fasern auf, die aus dem Vlies selber

stammen. Auffällig sind hier die Verklebungen der einzelnen Fasern durch eine Kunstharzmasse, die bei der Herstellung zur Stabilisierung des Vlieses aufgesprüht wurde (**Bild 25**). Durch die Verklebung treten die Fasern nicht nur vereinzelt, sondern auch als Aggregat mit mehreren herausragenden Faserenden auf. Außerdem wurden Textilglasfasern gefunden, die typischerweise als Kaschierung von Vliesen verwendet werden. Erkennbar ist auch hier eine Verklebung durch eine opake Masse, bei der es sich wahrscheinlich um eine Farbbeschichtung handelt, die zur Fixierung der Textilglasfaser-Schicht eingesetzt wurde (**Bild 26**).

4.13 Pulverbeschichtung von Metallteilen

In einem metallverarbeitenden Betrieb erfolgt der Farbauftrag auf Metallteile durch Pulverbeschichtung. Die schuppenförmigen Partikel (im mikroskopischen Bild als opake braun-schwarze rundliche Objekte zu erkennen) agglomerieren leicht und haften an anderen Partikeln und Fasern (**Bild 27** und **Bild 28**).

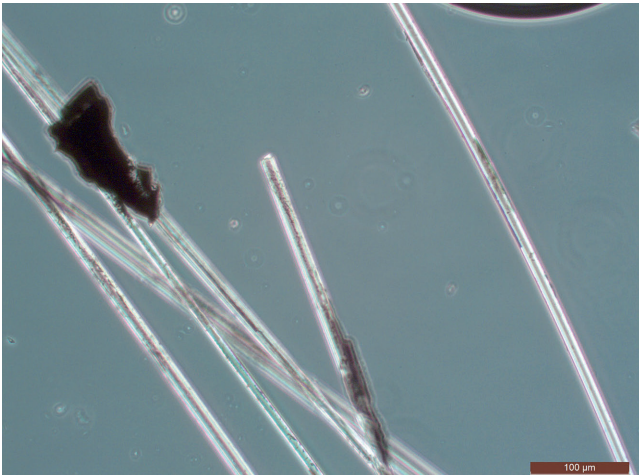


Bild 26. Bruchstücke von Textilglasfasern (Durchmesser 9 bis 12 µm), an denen zum Teil Reste einer Farbbeschichtung anhaften (Bildbreite 650 µm). Foto: IFA

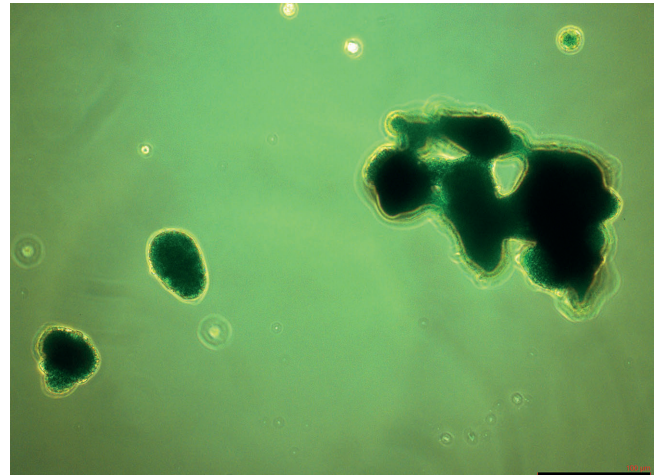


Bild 27. Rundliche Farbpartikel (Durchmesser von ca. 30 bis 50 µm), teilweise aggregiert/agglomeriert (Bildbreite 650 µm). Foto: IFA

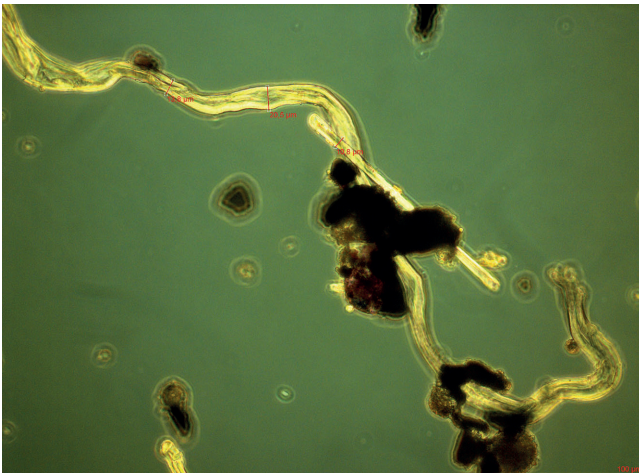


Bild 28. Rundliche Farbpartikel (Durchmesser ca. 30 bis 50 µm), teilweise aggregiert/agglomeriert und an einer organischen Faser (Durchmesser 12 bis 20 µm) und einer Textilglasfaser (Durchmesser 10 µm) haftend (Bildbreite 650 µm). Foto: IFA

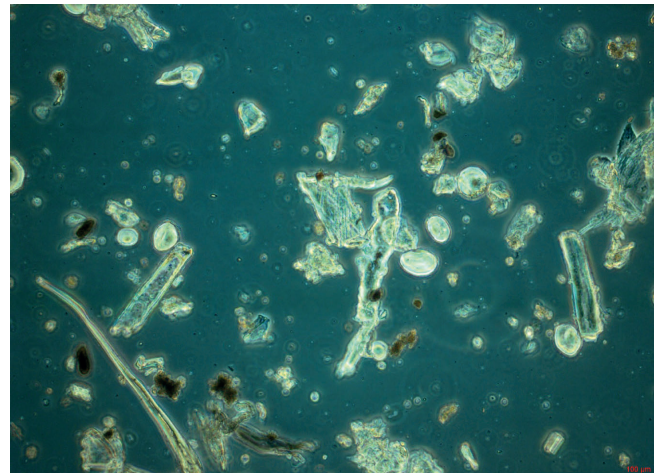


Bild 29. Verschieden geformte organische Fasern (Durchmesser 5 bis 25 µm), unregelmäßig geformte Partikel und Pollen (helle rundlich-ovale Partikel mit ca. 20 bis 30 µm Durchmesser) (Bildbreite 570 µm). Foto: IFA

4.14 Automatische Briefsortierung

In Briefverteilerzentren werden Briefe einer automatischen Briefsortierung für den weiteren Versand unterzogen. Die dabei entstehenden Mischstäube stammen einerseits aus dem Abrieb des Briefpapiers und sind andererseits aus Partikeln und Fasern unterschiedlichster Art zusammengesetzt, die an den Briefen anhaften. In dem in **Bild 29** dargestellten Fall sind unter anderem auch Pollen zu erkennen, mit denen die Post bis zum Eintreffen im Briefzentrum in Kontakt gekommen ist.

4.15 Faserverstärkte Kunststoff-Formteile

Neben Textilglas- oder Carbonfasern werden auch organische Fasern als Gelege, Gewebe oder vereinzelt in Kunststoffen zur Armierung eingesetzt. Durch die Konfektionierung der Mischfaservliese als auch Bearbeitung der Formteile werden Bruchstücke der Fasern in die Luft abgegeben. **Bild 30** und **Bild 31** zeigen Beispiele solcher organischen Fasern, die durch die mechanische

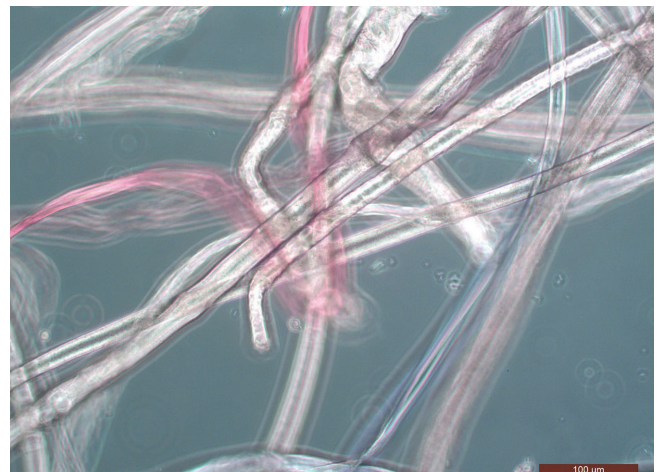


Bild 30. Organische Fasern mit Durchmessern im Bereich von 9 bis 42 µm (Bildbreite 650 µm). Foto: IFA

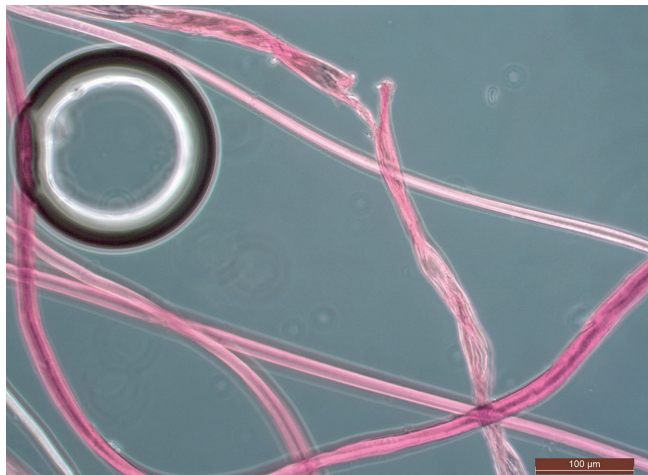


Bild 31. Organische Fasern mit Durchmessern im Bereich von 14 bis 20 µm. Eine Faser ist durch mechanische Bearbeitung aufgerissen (links im Bild eine Blase; Bildbreite 650 µm). Foto: IFA

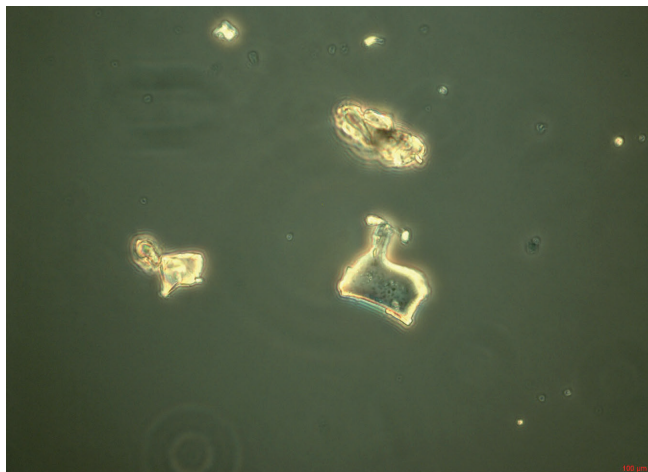


Bild 32. Scherbenförmige, unregelmäßig begrenzte Staubpartikel mit einem Durchmesser von ca. 20 bis 40 µm (Bildbreite 280 µm). Foto: IFA

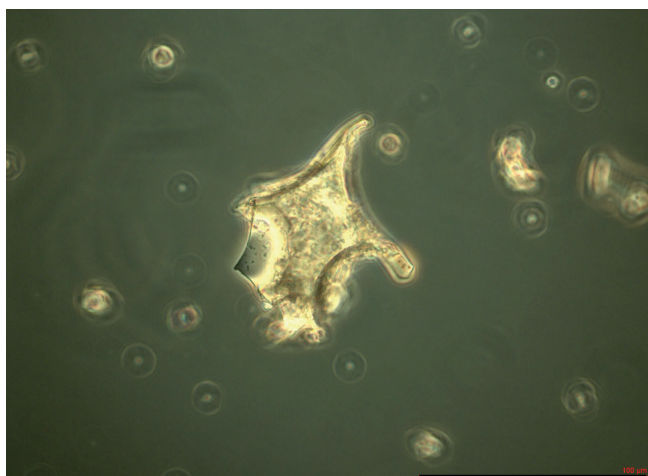


Bild 33. Scherbenförmiges, unregelmäßig begrenztes Staubpartikel mit einem Durchmesser von ca. 60 bis 70 µm (Bildbreite 280 µm). Foto: IFA

Bearbeitung aufgerissen sind oder zum Beispiel geknickte Verläufe zeigen.

4.16 Verarbeitung von Glasfaserkompositen

In einer Werkstatt werden Formteile aus glasfaserverstärkten Materialien mechanisch bearbeitet. Neben den Bruchstücken der Textilglasfasern liegen fast immer auch Bruchstücke der Matrix, in der die Fasern eingebettet sind, als Staubpartikel vor. Je spröder die Matrix ist, umso stärker ist diese Staubbildung ausgeprägt. **Bild 32** und **Bild 33** zeigen scherbenartige Partikel solcher Matrixfragmente, die unregelmäßige scharfkantige Begrenzungen aufweisen.

5 Fazit

Die dargestellten Arbeitssituationen zeigen nur einen kleinen Ausschnitt der Arbeitsbereiche, in denen mechanisch-irritative Effekte auftreten können. Ein Problem bei der Bewertung dieser Effekte ist, dass keine spezifischen Grenzwerte oder Regelungen bestehen. Die Effekte stellen für viele Arbeitnehmende aber eine zum Teil gravierende arbeitshygienische Belastung dar, die zu gesundheitlichen Problemen führen und auch die Arbeitsfähigkeit einschränken kann. Diese Belastungen sind im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung auf jeden Fall zu beachten. Die zur Behebung notwendigen Maßnahmen zielen, wie bei der inhalativen Gefährdung auch, auf die Reduzierung der Staubbildung ab (Maßnahmen nach der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 500 [5]). Der notwendige Umfang der Maßnahmen kann dabei nur über das individuell erkennbare Ausmaß der Reizwirkungen abgestimmt werden.

Literatur

- [1] Sertoli, A.; Francalanci, S.; Giorgini, S.: Fiberglass Dermatitis. Chapter 14. In: Kanerva, L. et al. (Hrsg.): Handbook of Occupational Dermatology, S. 122-134. Springer, Berlin 2020.
- [2] Altmeyer, P.; Bacharach-Buhles, M.: Fiberglasdermatitis. In: Altmeyers Enzyklopädie – Fachbereich Dermatologie. www.altmeyers.org/de/dermatologie/fiberglasdermatitis-1375.
- [3] VDI-Richtlinie 3866 Blatt 5: Bestimmung von Asbest in technischen Produkten. Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss. Beuth, Berlin 2017.
- [4] ISO 22262-1:2012-07 „Luftqualität – Feststoffe – Teil 1: Probenahme und qualitative Bestimmung von Asbest in kommerziellen technischen Produkten“. Beuth, Berlin 2012.
- [5] Technische Regel für Gefahrstoffe: Schutzmaßnahmen (TRGS 500). GMBI. (2019) Nr. 66/67, S. 1330-1366; ber. GMBI. (2020), Nr. 4, S. 88.

Dr. rer. nat. Markus Mattenklott,
Nils Lamm

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.