

SICHERHEITSWERK · TRANSDISZIPLINÄRES FACHPAPER

Öffentlicher Strang · mit Quellen

Unfallschutz und Personenschutz in der additiven Fertigung

Eine transdisziplinäre Gefahrentaxonomie: elektrisch, chemisch, mechanisch, biologisch – über Verfahren, Betriebe, Branchen und Materialien

Thomas [Nachname] · Schichtwerk, Wien

office@schicht-werk.eu · schicht-werk.eu

Version 1.0 · Juni 2026 · Transdisziplinäres Paper zum SICHERHEITSWERK

Hinweis

Dieses Paper beschreibt den Stand der Technik (Juni 2026) transdisziplinär und ist keine Rechtsberatung. Es ergänzt das ARBEITSSCHUTZWERK um eine systematische Gefahrenklassen-Sicht. Schichtwerk ist Lohnfertiger; die Umsetzungsverantwortung liegt beim Arbeitgeber.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung: eine transdisziplinäre Sicht.....	3
2. Systematik der Gefahrenklassen.....	3
3. Elektrische Gefahren.....	3
3.1 Gefährdungsbild.....	3
3.2 Schutzmaßnahmen.....	3
4. Chemische Gefahren.....	3
5. Mechanische Gefahren.....	4
5.1 Quellen mechanischer Gefährdung.....	4
6. Biologische Gefahren.....	4
6.1 Schutzmaßnahmen.....	4
7. Differenzierung nach Verfahren.....	4
8. Differenzierung nach Betrieben und Branchen.....	4
9. Differenzierung nach Materialien.....	5
10. Personenschutz: PSA nach Gefahrenklasse.....	5
11. Unfallschutz: Prävention, Notfall, Erste Hilfe.....	5
12. Transdisziplinäre Synthese.....	5
Erklärungen.....	5
Literaturverzeichnis.....	6

In Word per Rechtsklick → „Felder aktualisieren“.

1. Einleitung: eine transdisziplinäre Sicht

Sicherheit in der additiven Fertigung wird häufig fragmentiert behandelt – Emissionen hier, Maschinenrecht dort. Tatsächlich überlagern sich an einem einzigen Druckarbeitsplatz Gefährdungen aus mehreren Disziplinen: Elektrotechnik, Chemie, Maschinenbau und Biologie. Dieses Paper ordnet den Unfall- und Personenschutz nach einer durchgängigen Gefahrentaxonomie und differenziert sie anschließend nach Verfahren, Betrieben/Branchen und Materialien.

Methodisch folgt die Risikobeurteilung der Grundsystematik der Maschinensicherheit nach ISO 12100 (Identifikation, Risikoeinschätzung, -bewertung, Minderung in der Rangfolge Konstruktion – technische Schutzmaßnahmen – Benutzerinformation), ergänzt um die arbeitshygienische STOP-Hierarchie.^[1]

Schlüsselwörter: Unfallschutz; Personenschutz; Gefahrentaxonomie; additive Fertigung; elektrische/chemische/mechanische/biologische Gefährdung; Risikobeurteilung; PSA; transdisziplinär

2. Systematik der Gefahrenklassen

Die folgende Taxonomie strukturiert das gesamte Paper. Vier Hauptklassen (elektrisch, chemisch, mechanisch, biologisch) werden um drei Querschnittsklassen (thermisch, optisch/Strahlung, ergonomisch/psychisch) ergänzt.

Klasse	Primäre Quelle	Leitgröße / Wirkung
Elektrisch	Netz, Netzteil, Heizbett, Laser-Treiber	Stromschlag, Brand, ESD
Chemisch	Filament-/Harz-Emissionen, Lösemittel	Inhalation, Sensibilisierung
Mechanisch	bewegte Achsen, Nachbearbeitung	Quetschung, Schnitt, Druck
Biologisch	Bioprinting, Keime in Bädern, Biofilm	Infektion, Kontamination
Thermisch (quer)	Düse, Heizbett, Tempern	Verbrennung
Optisch (quer)	UV-Aushärtung, Laser	Augen-/Hautschädigung
Ergonomisch (quer)	Daueraufsicht, Feinarbeit	Belastung, Stress

3. Elektrische Gefahren

Desktop-3D-Drucker enthalten Netzteile (oft 24 V DC aus 230 V AC), hochstromführende Heizpatronen und Heizbetten sowie Schrittmotor-Treiber. Brandereignisse sind dokumentiert: thermische Runaway-Vorfälle durch defekte Heizpatronen, unzureichende Klemmverbindungen oder Firmware ohne Thermal-Runaway-Schutz zählen zu den häufigsten Schadensursachen im FDM-Bereich.^[2]

3.1 Gefährdungsbild

- Direktes/indirektes Berühren spannungsführender Teile (Netzteil offen, beschädigte Kabel).
- Brand durch thermisches Runaway (Heizpatrone, lose Schraubklemmen, MOSFET-Defekt).
- Elektrostatische Entladung (ESD) – v. a. bei Pulver-/Harzhandhabung und in trockener Umgebung; ESD ist zugleich Zündquelle für IPA-Dämpfe.
- Laser-Treiberelektronik (CO₂-/Diodenlaser) mit Hochspannung.

3.2 Schutzmaßnahmen

Elektrische Schutzmaßnahmen

Geräte mit Thermal-Runaway-Schutz und geprüftem Netzteil (CE, IEC 60335/62368); FI/RCD-Schutzschalter.
Brandgerechte Aufstellung (nicht auf brennbarem Untergrund, freistehend), Rauchmelder, Druckfarm mit Abschaltkonzept.
ESD-Maßnahmen: Erdung, leitfähige Böden/Behälter bei Pulver/IPA; Luftfeuchte beachten.
Regelmäßige Prüfung ortsveränderlicher elektrischer Betriebsmittel.

4. Chemische Gefahren

Die chemische Gefahrenklasse ist im ARBEITSSCHUTZWERK ausführlich behandelt; hier in Kurzform: FDM emittiert ultrafeine Partikel und VOC (Styrol aus ABS/ASA, Caprolactam aus Nylon), Photopolymere enthalten hautsensibilisierende (Meth-)Acrylate (H317), Isopropanol ist brand-/explosionsgefährlich. Grundlage sind CLP- und REACH-Verordnung sowie die Grenzwertverordnung.^[3]

- Inhalativ: Quellabsaugung, HEPA H13 + Aktivkohle, geschlossener Bauraum.
- Dermal: Nitril/Butyl-Handschuhe, Hautschutzplan; (Meth-)Acrylat-Sensibilisierung ist dauerhaft.
- Brand/Explosion IPA: Flammpunkt 12 °C, geerdete Behälter, Ex-Schutz (Querverweis Klasse Elektrisch/ESD).

5. Mechanische Gefahren

3D-Drucker sind Maschinen; die mechanische Gefahrenbeurteilung folgt ISO 12100 und der Maschinen-Verordnung (EU) 2023/1230 (ab 20.01.2027; bis dahin RL 2006/42/EG). Relevante Gefährdungen sind Quetsch- und Scherstellen bewegter Achsen, Einzugsstellen, sowie Schnitt- und Stichverletzungen bei der Nachbearbeitung.^[4]

5.1 Quellen mechanischer Gefährdung

Phase	Gefahr	Maßnahme
Druck	bewegte Achsen, Heizbett-Hub	Einhausung, Türverriegelung
Harz-Handling	Spritzer, scharfe Bauplatte	Tropfschutz, Handschuhe
Entfernen	Spachtel, Cutter	schnittfeste Handschuhe, Vorrichtung
Nachbearbeitung	Schleifen, Fräsen, Druckluft	Schutzbrille, Absaugung, Lärmschutz
Wartung	Klemmstellen, Federn	Energiefreischaltung (LOTO)

6. Biologische Gefahren

Biologische Gefährdungen sind in der klassischen Kunststoff-AM gering, gewinnen aber an Bedeutung: (a) im Bioprinting mit lebenden Zellen/Hydrogelen (Biostoffe nach Verordnung biologische Arbeitsstoffe; Sterilität, Risikogruppen), (b) durch mikrobielle Kontamination von Wasch-, Wasser- und IPA-Bädern sowie wassergekühlten Lasersystemen (Biofilm, Legionellen-Risiko in stehendem Wasser), (c) bei Lebensmittelkontakt durch Besiedelung der rauen, porösen FDM-Oberfläche.^[5]

6.1 Schutzmaßnahmen

- Bioprinting: Sicherheitswerkbank passender Klasse, Sterilarbeit, Biostoff-Evaluierung, Risikogruppen-Zuordnung, Desinfektion.
- Bäder/Kühlwasser: regelmäßiger Wechsel, kein Stillstand-Wasser, Biozid/Reinigung, Legionellen-Prävention.
- Lebensmittelkontakt: glatte/versiegelte Oberflächen, Einmalgebrauch oder zertifizierte Materialien (EU 1935/2004, 10/2011); raue FDM-Teile sind kritisch.

Querschnitt Biologisch × Chemisch

Antimikrobielle Additive (z. B. Silber, Kupfer) verschieben das Gefährdungsbild zurück ins Chemisch-Toxische – Wirkung und Grenzwerte gesondert beurteilen.

IPA wirkt selbst mikrobizid, schützt aber nicht vor Biofilm in verdünnten/ermüdeten Bädern.

7. Differenzierung nach Verfahren

Verfahren	dominante Klassen	Besonderheit
FDM/FFF	chemisch, thermisch, elektrisch	UFP/VOC, Heizbett-Brand
SLA/DLP/MSLA	chemisch, optisch	Acrylate H317, UV, IPA
SLS/MJF (Pulver)	chemisch, elektrisch(ESD)	Staub-/Ex-Risiko, Pulverhandling
DMLS/Metall	chemisch, thermisch, Ex	reaktive Metallpulver (Ti/Al), Inertgas
Bioprinting	biologisch, chemisch	Sterilität, Biostoffe

Schichtwerk betreibt FDM und SLA sowie Laser (CO₂/Diode); Pulver- und Metallverfahren sind nicht im Portfolio, werden hier aber der Vollständigkeit halber geführt.

8. Differenzierung nach Betrieben und Branchen

Umfeld	Hauptisiko	Schutzschwerpunkt
Heim/Hobby	Brand, schlechte Lüftung	Einhausung, CO/Rauchmelder
Bildung/Schule	Schüler, viele Geräte	Aufsicht, emissionsarme Materialien, DGUV 202-103
Werkstatt/Lohnfertigung	Dauerbetrieb, Nachbearbeitung	Absaugung, PSA, Evaluierung
Medizin/Dental	Biokompatibilität, Sterilität	validierte Materialien, Hygiene

Umfeld	Hauptrisiko	Schutzzschwerpunkt
Industrie	Pulver/Metall, Skalierung	Ex-Schutz, Inertisierung, Messung

9. Differenzierung nach Materialien

Material	Leitgefahr	Hinweis
PLA	gering (Lactid)	emissionsarm, Brand-Restrisiko
ABS/ASA	Styrol (chem.)	Absaugung zwingend
Nylon/PA	Caprolactam	trockenlagern, Lüftung
CF-/GF-Composite	Faserstaub (mech./chem.)	Schleifen mit Absaugung, P3
Photopolymer	Acrylat H317 (chem.)	Handschuhe, UV, Aushärtung
Metallpulver	Ex/Toxizität	nicht im Portfolio; Inertgas
Bio-Hydrogele	biologisch	Sterilarbeit

10. Personenschutz: PSA nach Gefahrenklasse

Klasse	PSA	Norm (Beispiel)
Chemisch (Dämpfe)	Atemschutz Typ A	EN 14387
Chemisch (Partikel)	P2/P3-Filter, FFP2/3	EN 143 / EN 149
Chemisch (dermal)	Nitril/Butyl-Handschuhe	EN ISO 374
Mechanisch	schnittfeste Handschuhe	EN 388
Optisch (UV/Laser)	Schutzbrille/Laserbrille	EN 166 / EN 207
Elektrisch	isolierte Werkzeuge, Erdung	IEC 60900
Biologisch	Schutzkittel, ggf. Sicherheitswerkbank	EN 14126

11. Unfallschutz: Prävention, Notfall, Erste Hilfe

- Prävention: Risikobeurteilung (ISO 12100 + STOP), sichere Konstruktion, Unterweisung, wiederkehrende Prüfung.
- Notfallorganisation: Feuerlöscher (geeignete Klasse, bei Metall Klasse D), Augendusche, Löschdecke, Notausschalter, Fluchtwege.
- Erste Hilfe: Augenspülung bei Harz/IPA, Hautreinigung, Kühlung bei Verbrennung, bei Stromunfall Eigenschutz/Freischalten.
- Meldung und Dokumentation von Beinaheunfällen; Lernschleife in die Evaluierung.

12. Transdisziplinäre Synthese

Die Stärke der Taxonomie liegt in den Querbezügen: ESD (elektrisch) wird zur Zündquelle für IPA-Dämpfe (chemisch); antimikrobielle Additive (biologisch) verschieben sich ins Chemisch-Toxische; Faserstäube aus Composites sind zugleich mechanisch (Verletzung) und chemisch (Inhalation). Wirksamer Schutz entsteht nicht durch Einzelmaßnahmen je Disziplin, sondern durch eine integrierte Beurteilung, die diese Kopplungen erfasst. Die Rangfolge bleibt stets: Gefahr an der Quelle beseitigen (Konstruktion/Substitution) vor technischem Schutz vor Organisation vor persönlicher Schutzausrüstung.

Kernaussage

Ein 3D-Druck-Arbeitsplatz ist ein multidisziplinäres Gefahrensystem. Wer nur eine Klasse betrachtet, übersieht die Kopplungen – und damit die gefährlichsten Pfade.

Erklärungen

Interessenkonflikt: Der Autor betreibt mit Schichtwerk ein Dienstleistungsunternehmen der additiven Fertigung. Diese Arbeit gibt den publizierten Stand wieder, ohne externe Förderung.

Empfohlene Zitierweise: [Nachname] T. Unfallschutz und Personenschutz in der additiven Fertigung – eine transdisziplinäre Gefahrentaxonomie. Fachpaper, Version 1.0. Schichtwerk; 2026.

Literaturverzeichnis

- [1] ISO 12100:2010. Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze, Risikobeurteilung und Risikominderung. Geneva: ISO; 2010.
- [2] National Fire Protection Association / einschlägige Brandschadenanalysen zu Desktop-FDM-Druckern; Thermal-Runaway-Schutz (Marlin/Klipper Firmware-Dokumentation). 2018–2024.
- [3] Stephens B et al. Atmos Environ. 2013;79:334–339; Byrley P et al. Sci Total Environ. 2019;655:395–407; Verordnungen (EG) 1272/2008 (CLP) und 1907/2006 (REACH).
- [4] Maschinen-Verordnung (EU) 2023/1230 (ab 20.01.2027; bis dahin Maschinenrichtlinie 2006/42/EG). Amtsblatt der EU.
- [5] Verordnung biologische Arbeitsstoffe (VbA, AT); Murphy SV, Atala A. 3D bioprinting of tissues and organs. Nat Biotechnol. 2014;32(8):773–785; Leitlinien zur Legionellen-Prävention in technischen Wässern.
- [6] EN ISO 374 (Schutzhandschuhe Chemikalien), EN 388 (mechanische Risiken), EN 149 (FFP-Atemschutz), EN 166 (Augenschutz), EN 207 (Laser-Augenschutz), IEC 60900 (isolierte Werkzeuge). CEN/IEC.
- [7] Schichtwerk. ARBEITSSCHUTZWERK – Arbeitssicherheit in der additiven Fertigung (Vollfassung). Wien; 2026 (Schwesterdokument, AUVA-Rahmen).