

WERKSTOFFWERK · KRITISCHES INGENIEURSPAPER

Öffentlicher Strang · mit Quellen · ohne Marketing

Möglichkeiten und Grenzen der additiven Fertigung

Eine ehrliche ingenieurtechnische Bewertung: physikalische Eigenschaften, Toleranzen, Reproduzierbarkeit, Lebensdauer und Sinnhaftigkeit im Vergleich zur klassischen Fertigung

Thomas [Nachname] · Schichtwerk, Wien

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

Version 1.0 · Juni 2026 · Kritisches Paper zum WERKSTOFFWERK

Haltung dieses Papers

Dieses Paper bewertet die additive Fertigung ehrlich, wissenschaftlich und kritisch – ausdrücklich VOR jedem Marketing. Es benennt echte Stärken und echte Grenzen gleichermaßen.

Konkrete Zahlen sind Orientierungswerte und stark verfahrens-, material- und parameterabhängig. Sie ersetzen keine bauteilspezifische Qualifizierung. Schichtwerk ist Lohnfertiger; die Eignungsentscheidung trifft der Auftraggeber.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung: ehrlich statt euphorisch.....	3
2. AM als Fertigungs­klasse – Einordnung.....	3
3. Echte Möglichkeiten (nüchtern).....	3
4. Physikalische Eigenschaften und ihre Grenzen.....	3
4.1 Anisotropie – die zentrale Grenze.....	3
4.2 Weitere physikalische Grenzen.....	3
5. Toleranzen und Toleranzklassen.....	4
6. Reproduzierbarkeit und Qualitätssicherung.....	4
7. Lebensdauer und Alterung.....	4
8. Prüfmetho­den.....	4
9. Kritische Bauteile – wann AM nicht geeignet ist.....	4
10. Sinnhaftigkeit: Entscheidungsrahmen.....	5
11. AM vs. klassische Fertigung – Übersicht.....	5
12. Andere Verfahren und Materialien (kurz).....	5
13. Synthese.....	5
Erklärungen.....	5
Literaturverzeichnis.....	6

In Word per Rechtsklick → „Felder aktualisieren“.

1. Einleitung: ehrlich statt euphorisch

Die additive Fertigung (AM, umgangssprachlich 3D-Druck) wird im Marketing oft als universell überlegen dargestellt. Diese Darstellung ist ingenieurtechnisch unzulässig. AM ist ein Fertigungsverfahren mit einem charakteristischen Stärkenprofil und ebenso charakteristischen, häufig unterschätzten Grenzen. Dieses Paper trennt belegbare Fähigkeiten von Werbeversprechen und liefert eine Entscheidungsgrundlage für die Frage, wann AM sinnvoll ist und wann klassische Verfahren überlegen bleiben.

Leitsatz

AM ersetzt klassische Fertigung nicht, sondern ergänzt sie. Der Wert entsteht dort, wo die spezifischen Stärken (Komplexität, Individualisierung, Werkzeuglosigkeit) gebraucht werden – nicht als pauschaler Ersatz.

2. AM als Fertigungs-klasse – Einordnung

Fertigungsverfahren werden klassisch nach DIN 8580 in sechs Hauptgruppen gegliedert (Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten, Stoffeigenschaft ändern). Die additive Fertigung ist ein Urformverfahren, das Geometrie schichtweise aus formlosem Stoff aufbaut. Die ISO/ASTM 52900 definiert sieben Verfahrensfamilien: Materialextrusion (FDM/FFF), Photopolymerisation in der Wanne (SLA/DLP/MSLA), Pulverbettsschmelzen (SLS/MJF/DMLS), Binder Jetting, Material Jetting, Directed Energy Deposition und Blechlaminieren.^[1]

Diese Einordnung ist entscheidend: AM ist kein einzelnes Verfahren, sondern eine Klasse sehr unterschiedlicher Verfahren mit jeweils eigenen Eigenschaften, Toleranzen und Grenzen. Aussagen über „den 3D-Druck“ sind daher fast immer zu pauschal.

3. Echte Möglichkeiten (nüchtern)

Folgende Stärken sind real und durch die Verfahrensphysik begründet – nicht durch Marketing:

- Geometrische Freiheit (Freiformen): innenliegende Kanäle, Hinterschnitte, Gitter-/Lattice-Strukturen, topologieoptimierte Bauteile, die spanend oder im Spritzguss nicht herstellbar sind.
- „Komplexität kostet nichts extra“: die Stückkosten steigen primär mit Volumen/Zeit, kaum mit Formkomplexität.
- Werkzeuglosigkeit: keine Form-/Werkzeugkosten – wirtschaftlich bei Einzelstücken und Kleinserien, schnelle Iteration.
- Individualisierung: jedes Teil kann ohne Mehrkosten anders sein (patientenindividuell, Ersatzteil on demand).
- Funktionsintegration und Leichtbau: mehrere Bauteile als ein Teil; Materialeinsatz nur dort, wo Last anliegt.

Aber

Jede dieser Stärken ist an Bedingungen geknüpft. „Freiform“ heißt nicht beliebig: Überhänge brauchen Stützen, Kanäle müssen entleerbar sein, dünne Wände sind verfahrensbegrenzt. Die Wirtschaftlichkeit kippt mit steigender Stückzahl zugunsten klassischer Verfahren.

4. Physikalische Eigenschaften und ihre Grenzen

4.1 Anisotropie – die zentrale Grenze

Die wichtigste mechanische Einschränkung des FDM-Verfahrens ist die Anisotropie: Bauteile sind in Aufbaurichtung (Z) deutlich schwächer als in der Schichtebene (XY), weil die Festigkeit in Z von der Diffusionsverschweißung (Reptation) benachbarter Schichten abhängt. Typisch erreicht die Z-Zugfestigkeit nur etwa 40–70 % der XY-Festigkeit. Ein im Marketing genannter „Festigkeitswert“ ohne Richtungsangabe ist daher unvollständig.^[2]

4.2 Weitere physikalische Grenzen

Eigenschaft	Grenze / Effekt
Porosität	innere Hohlräume/Voids → Ermüdungs-Schwachstellen, schwer zerstörungsfrei prüfbar
Oberfläche	Schichtriefen; FDM Ra ~10–25 µm, SLA deutlich glatter; Nachbearbeitung nötig
Eigenspannung/Verzug	thermischer Gradient → Warping, Maßabweichung bei großen Teilen
Schichthaftung	Z-Festigkeit prozessabhängig (Temperatur, Geschwindigkeit)
Wärmeformbeständigkeit	materialabhängig; PLA ~55–60 °C → nicht für heiße Umgebungen
Kriechen	Thermoplaste kriechen unter Dauerlast, besonders nahe Glasübergang

5. Toleranzen und Toleranzklassen

Erreichbare Maßtoleranzen sind verfahrensabhängig. FDM erreicht praktisch etwa $\pm 0,3\text{--}0,5\text{ mm}$ bzw. $\pm 0,5\%$ der Nennlänge; SLA/DLP ist genauer (etwa $\pm 0,1\text{--}0,2\text{ mm}$). Zum Vergleich: spanende Bearbeitung erreicht ISO-Toleranzgrade IT6–IT7, Spritzguss enge, reproduzierbare Toleranzen. Allgmeintoleranzen nach ISO 2768 (fein f / mittel m / grob c) werden von AM-Teilen häufig nur in der groben Klasse eingehalten, ohne Nachbearbeitung selten in der feinen.^[3]

Konsequenz für die Konstruktion

Passungen, Gewinde und Dichtflächen sollten nicht „as printed“ toleriert, sondern spanend nachgearbeitet oder mit Einlegeteilen (Gewindeeinsätze) gelöst werden.

Toleranzangaben auf der Zeichnung müssen das Verfahren berücksichtigen – unrealistisch enge Toleranzen erzeugen Ausschuss.

6. Reproduzierbarkeit und Qualitätssicherung

AM-Teile zeigen eine größere Charge-zu-Charge-Streuung als etablierte Serienverfahren. Eigenschaften hängen von Maschine, Materialcharge, Feuchte, Düsen-/Belichtungsparametern, Orientierung und Nachbehandlung ab. Ohne validierten, eingefrorenen Prozess sind reproduzierbare mechanische Kennwerte nicht garantiert. Genau deshalb fordern behördliche Leitlinien für kritische Teile eine Prozessvalidierung mit definierten Akzeptanzkriterien.^[4]

- Pro Bauteil dokumentieren: Material+Charge, Maschine, Parameterprofil, Orientierung, Nachbehandlung, Prüfung.
- Erstbemusterung je neuem Bauteil; statistische Prozesskontrolle kritischer Maße.

7. Lebensdauer und Alterung

Polymere AM-Teile altern. Relevante Mechanismen: UV-Strahlung (Versprödung, Verfärbung, v. a. PLA/PETG im Außeneinsatz), Hydrolyse (PLA ist biologisch abbaubar und damit feuchte-/temperaturempfindlich), thermische Erweichung (PLA ab $\sim 55\text{--}60\text{ °C}$), Kriechen unter Dauerlast und Ermüdung an inneren Defekten. Eine pauschale „Lebensdauer“ gibt es nicht – sie ist Funktion von Material, Last, Temperatur, Medium und Geometrie.^[5]

Ehrliche Materialaussage

PLA ist ein hervorragendes Prototypen- und Dekomaterial, aber für dauerhaft belastete oder warme/feuchte/Außen-Anwendungen ungeeignet.

Für höhere Anforderungen: PETG, ABS/ASA, PA, PC oder gefüllte Materialien – jeweils mit eigenen Grenzen (siehe WERKSTOFFWERK FDM/SLA).

8. Prüfmethoden

Prüfung	Zweck	Norm/Hinweis
Zugversuch	mechanische Kennwerte je Richtung	ISO 527 (Kunststoffe), Probe in XY und Z
Maßprüfung	Toleranzeinhaltung	Messmittel/3D-Scan, ISO 2768-Bezug
CT / Röntgen	Porosität, innere Defekte	zerstörungsfrei, für kritische Teile
Oberfläche	Rauheit Ra/Rz	Tastschnitt
DSC/TGA	Glasübergang, Aushärtegrad, Material-ID	thermische Analyse
Dauer-/Ermüdung	Lebensdauer unter Last	anwendungsnah, aufwändig

9. Kritische Bauteile – wann AM nicht geeignet ist

Bei sicherheitskritischen, tragenden oder dauerschwingend belasteten Bauteilen ist besondere Zurückhaltung geboten. Anisotropie, Porosität und Chargenstreuung wirken sich hier unmittelbar auf die Versagenssicherheit aus.

Zurückhaltung geboten bei

tragenden Strukturteilen, deren Versagen Personen gefährdet (ohne Qualifizierung/Nachweis),

Druckbehältern und dauerschwingend belasteten Teilen,

Bauteilen mit engen Passungen oder Dichtfunktionen ohne Nachbearbeitung,

Medizin-/Bauanwendungen ohne Materialfreigabe und validierten Prozess (siehe ANWENDUNGSWERK).

Dies ist kein Ausschluss, sondern eine Bedingung: Mit qualifiziertem Material, validiertem Prozess, geeigneter Orientierung und Prüfung können auch anspruchsvolle Teile gefertigt werden – der Aufwand dafür ist jedoch real und darf nicht wegmarktet werden.

10. Sinnhaftigkeit: Entscheidungsrahmen

AM ist sinnvoll, wenn ...	Klassisch ist besser, wenn ...
Geometrie komplex/freiform ist	Geometrie einfach ist
Stückzahl klein ist (1–100s)	Stückzahl groß ist (1000s+)
Individualisierung nötig ist	Teile identisch sein müssen
schnelle Iteration zählt	engste Toleranzen zählen
kein Werkzeug rentabel ist	Serienwerkzeug sich amortisiert
Leichtbau/Integration Mehrwert bringt	Standardhalbzeug genügt

11. AM vs. klassische Fertigung – Übersicht

Kriterium	AM (FDM/SLA)	Spanen	Spritzguss
Geometrische Freiheit	sehr hoch	mittel	gering (Entformung)
Toleranz	grob–mittel	sehr fein (IT6–7)	fein, reproduzierbar
Stückkosten Einzelteil	niedrig	mittel–hoch	sehr hoch (Werkzeug)
Stückkosten Großserie	hoch	mittel	sehr niedrig
Reproduzierbarkeit	mittel (validierbar)	hoch	sehr hoch
Werkzeugkosten	keine	gering	sehr hoch

12. Andere Verfahren und Materialien (kurz)

Zur Einordnung – ohne den Fokus zu verlassen: Pulverbettverfahren (SLS/MJF) liefern stützfreie, isotropere Teile mit besserer Z-Festigkeit als FDM; Metall-AM (DMLS/LPBF) erreicht tragfähige Metallteile, erfordert aber Inertgas, Stützen und aufwändige Nachbearbeitung. Materialeitig reicht das Spektrum von PLA/PETG/ABS/ASA/PA über faserverstärkte (CF/GF) und Photopolymere bis zu Metallen und Bio-Hydrogelen. Jedes Verfahren-Material-Paar hat ein eigenes Toleranz-, Festigkeits- und Alterungsprofil; die kritische Bewertung dieses Papers gilt sinngemäß für alle.

13. Synthese

Die additive Fertigung ist eine wertvolle, eigenständige Fertigungsklasse mit einem klaren Stärkenprofil – geometrische Freiheit, Werkzeuglosigkeit, Individualisierung. Ihre Grenzen – Anisotropie, gröbere Toleranzen, größere Streuung, materialabhängige Alterung – sind ebenso real und werden im Marketing regelmäßig untertrieben. Eine seriöse Anwendung wählt das Verfahren nach Bauteilanforderung, nicht nach Mode, qualifiziert kritische Teile, gibt Toleranzen verfahrensgerecht an und kommuniziert Grenzen ehrlich. Genau diese Ehrlichkeit ist langfristig der größere Wettbewerbsvorteil als jedes Überversprechen.

Erklärungen

Interessenkonflikt: Der Autor betreibt mit Schichtwerk ein Dienstleistungsunternehmen der additiven Fertigung und hat damit ein wirtschaftliches Interesse am Verfahren. Dieses Paper wurde bewusst kritisch und marketingfrei gehalten, um diesem Konflikt entgegenzuwirken.

Empfohlene Zitierweise: [Nachname] T. Möglichkeiten und Grenzen der additiven Fertigung – eine ehrliche ingenieurtechnische Bewertung. Fachpaper, Version 1.0. Schichtwerk; 2026.

Literaturverzeichnis

- [1] ISO/ASTM 52900:2021. Additive manufacturing – General principles – Fundamentals and vocabulary. Geneva: ISO; 2021. DIN 8580:2003 Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung.
- [2] Gibson I, Rosen D, Stucker B, Khorasani M. Additive Manufacturing Technologies. 3rd ed. Cham: Springer; 2021. (Anisotropie, Schichthaftung, Reptation).
- [3] ISO 2768-1:1989 Allgemeintoleranzen; ISO 286 (ISO-Toleranzgrade IT). Vergleich AM/Spanen/Spritzguss nach Gibson et al. (2021).
- [4] U.S. Food and Drug Administration. Technical Considerations for Additive Manufactured Medical Devices. Silver Spring: FDA; 2017. (Prozessvalidierung, Reproduzierbarkeit).
- [5] Wittbrodt B, Pearce JM. The effects of PLA color on material properties of 3-D printed components. Addit Manuf. 2015;8:110–116; sowie Literatur zu PLA-Hydrolyse und UV-Alterung.
- [6] ISO 527 (Zugversuch Kunststoffe); ISO 178 (Biegeversuch). Prüfkörper-Orientierung XY/Z. CEN/ISO.