# Ratgeber
# Kunststoff & Metall

Zwei Materialwelten, eine Maschine – Der FX10 verändert die Fertigung

Mark3D
THE Markforged Experts

Markforged

# Inhalt

Einleitung 3

Carbonfaser Grundlagen 4

Die Carbonfaser im 3D-Druck 5

Kurzfasergefüllte Filamente 6

Endlosfasern 8

Die Endlosfaser-Technologie von Markforged 11

Metall 3D-Druck 12

Fünf Anwendungsgebiete für den Metall 3D-Druck 13

Funktionale Prototypen aus Metall 14

Roboter-Greifer 15

Kundenspezifische Werkzeuge 16

Komplexe Halterungen 17

Kleinserien-Endverbrauchsteile 18

Das ADAM-Verfahren von Markforged 19

Technologie-Highlights des FX10 22

# Einleitung

Mit dem FX10 beginnt eine neue Ära der additiven Fertigung: Die erste Maschine, die sowohl hochfeste Kunststoffe mit Endlosfaserverstärkung als auch Metallteile herstellt.

Diese technologische Innovation vereint das Beste aus zwei Werkstoffwelten – für **maximale Flexibilität** und völlig neue Anwendungen in der Fertigung.

In diesem Ratgeber erfahren Sie, wie der FX10 in unterschiedlichsten Branchen – vom **Prototyping** über die **Betriebsmittelfertigung** bis hin zur **Kleinserienproduktion** – echten Mehrwert schafft.

Heute Bauteile aus Kunststoff mit Carbon-Endlosfaser, morgen Komponenten aus Edelstahl – **alles mit nur einer Maschine.**

Der 3D-Druck mit Endlos-Carbonfasern ist heute in zahlreichen Branchen fest etabliert.

Die Kombination aus **hoher Festigkeit, geringem Gewicht und Wärmeformbeständigkeit** macht Carbonfaser-Verbundwerkstoffe zur ersten Wahl für anspruchsvolle Anwendungen.

Auch der Metall-3D-Druck hat die Fertigung komplexer und präziser Bauteile revolutioniert.

Dank **maximaler Gestaltungsfreiheit** und dem Verzicht auf teure Werkzeuge bietet er entscheidende Vorteile gegenüber konventionellen Verfahren.

Mit dem FX10 lassen sich nun beide Werkstoffwelten in einer Maschine vereinen – und schaffen so völlig neue Möglichkeiten für eine **flexible, effiziente und vielseitige Produktion.**

Mit dem FX10 müssen Sie sich **nicht mehr zwischen zwei Technologien entscheiden** – Sie bekommen das Beste aus beiden Welten in einer einzigen Maschine.

Erfahren Sie, wie der FX10 geringes Gewicht mit hoher Festigkeit, Präzision und Prozesssicherheit vereint - und **Ihre Fertigung auf ein neues Niveau hebt**.

# Grundlagen Carbonfaser

## Was sind Carbonfasern?

Carbonfasern bestehen aus **Kohlenstoffatomen**, die in langen, dünnen, kristallinen Strukturen mit einem Durchmesser von etwa 5–10 µm angeordnet sind.

Sie treten entweder als einzelne Fasern oder als Bündel aus Tausenden von Einzelfasern auf.

In der industriellen Fertigung werden Carbonfasern nahezu immer **mit Kunstharzen kombiniert und zu sogenannten Verbundwerkstoffen** verarbeitet.

Durch die Verbindung mit thermoplastischen oder duroplastischen Harzen entstehen formbare, extrem belastbare Strukturen für unterschiedlichste technische Anwendungen.

Typische Herstellungsverfahren sind das Wickeln um Spindeln, Pultrusion durch Matrizen oder das Verweben zu Bändern und Geweben.

Carbonfaser-Verbundwerkstoffe bieten außergewöhnliche Kombination aus hoher **Festigkeit, Steifigkeit und Wärmeformbeständigkeit – bei deutlich geringerem Gewicht als Metalle** wie Stahl oder Aluminium. Darüber hinaus sind sie elektrisch leitfähig, chemisch äußerst resistent und weisen eine sehr geringe Wärmeausdehnung auf.

Dank ihres hervorragenden Verhältnisses von Festigkeit zu Gewicht und ihrer vielseitigen Verarbeitbarkeit sind Carbonfasern heute **in vielen Branchen unverzichtbar**.

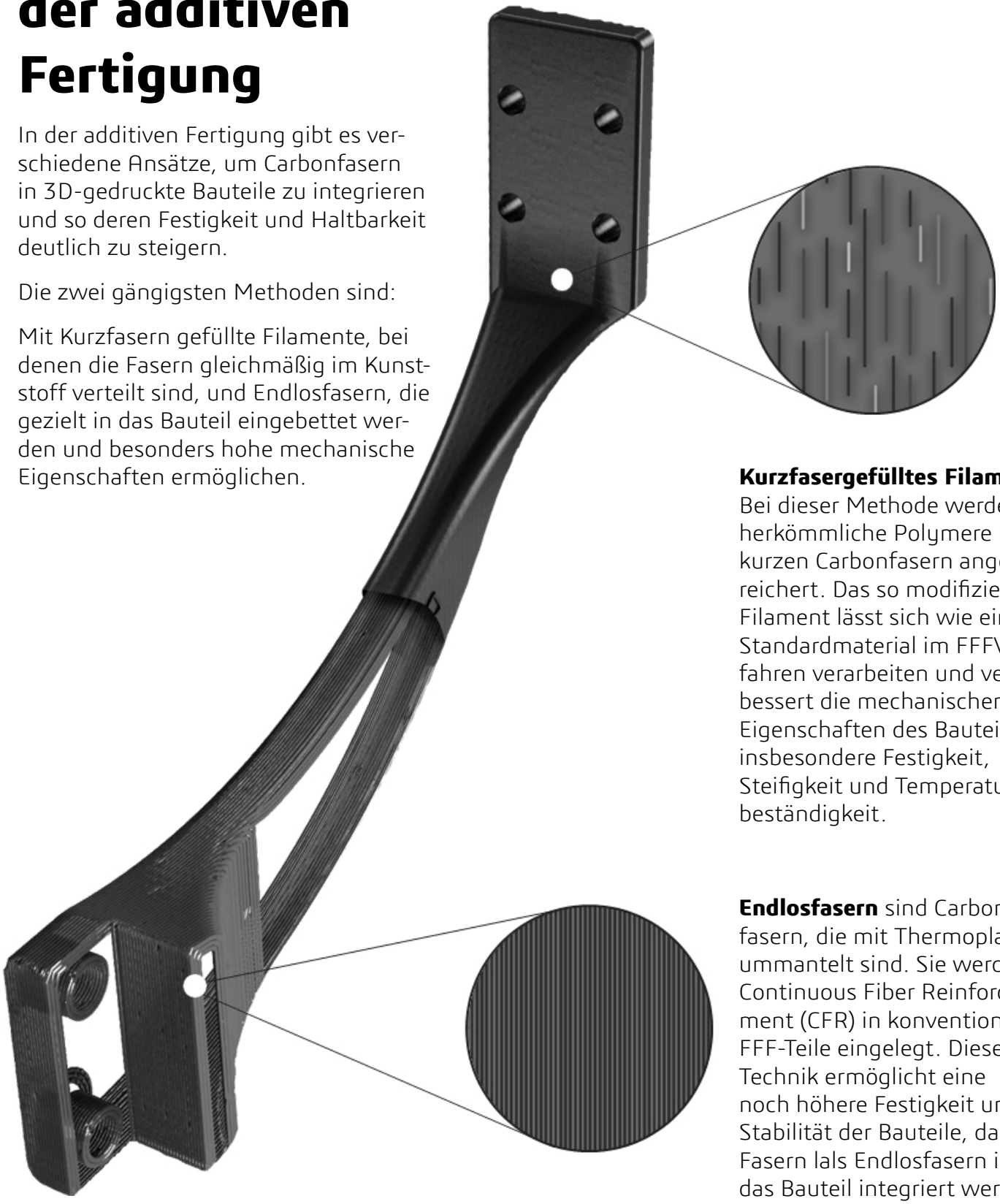
In der additiven Fertigung ermöglichen sie die Herstellung besonders leichter, stabiler und maßhaltiger **Bauteile für unterschiedlichste Anwendungen,** die sich zudem problemlos nachbearbeiten lassen – etwa durch Bohren, Fräsen oder Lackieren.

# Carbonfaser in der additiven Fertigung

In der additiven Fertigung gibt es verschiedene Ansätze, um Carbonfasern in 3D-gedruckte Bauteile zu integrieren und so deren Festigkeit und Haltbarkeit deutlich zu steigern.

Die zwei gängigsten Methoden sind:

Mit Kurzfasern gefüllte Filamente, bei denen die Fasern gleichmäßig im Kunststoff verteilt sind, und Endlosfasern, die gezielt in das Bauteil eingebettet werden und besonders hohe mechanische Eigenschaften ermöglichen.



**Kurzfasergefülltes Filament**
Bei dieser Methode werden herkömmliche Polymere mit kurzen Carbonfasern angereichert. Das so modifizierte Filament lässt sich wie ein Standardmaterial im FFFVerfahren verarbeiten und verbessert die mechanischen Eigenschaften des Bauteils, insbesondere Festigkeit, Steifigkeit und Temperaturbeständigkeit.

**Endlosfasern** sind Carbonfasern, die mit Thermoplast ummantelt sind. Sie werden Continuous Fiber Reinforcement (CFR) in konventionelle FFF-Teile eingelegt. Diese Technik ermöglicht eine noch höhere Festigkeit und Stabilität der Bauteile, da die Fasern lals Endlosfasern in das Bauteil integriert werden, was zu einer erheblichen Verstärkungführt.

# Kurzfasergefüllte Filamente

## Hintergrund

Kurzfasern wie Glasfasern und Carbonfasern werden seit Jahrzehnten in der Spritzgussindustrie eingesetzt, um die **Materialeigenschaften von Thermoplasten zu verbessern**.

Um diese gefüllten Filamente herzustellen, mischen die Hersteller polymeres Ausgangsmaterial mit Füllstoffen und formen diese zu Granulat.

Dieses Granulat wird durch eine Extrusionslinie geleitet, die sie weiter mischt, verbindet und zu einem Filament verstreckt. Das Filament wird dann aufgespult und verwendet.

In der 3D-Druckindustrie ist die häufigste Anwendung dieses Prozesses **kurzes, mit Carbonfasern gefülltes Filament**, das oft auf Nylon oder ABS-Kunststoff basiert.

Wichtig zu beachten ist auch, dass **nicht alle Füllstoff-Fasern zur Verbesserung** der mechanischen Eigenschaften geeignet sind. Tatsächlich werden einige verwendet, um die Fließfähigkeit oder das ästhetische Erscheinungsbild zu verbessern oder sogar um die Kosten zu senken.

Mit kurzen Carbonfasern gefüllte Filamente enthalten typischerweise 5-35 Gewichtsprozent Carbonkurzfasern, die **gleichmäßig in der Kunststoffmatrix verteilt sind.**

Während der Extrusion - sowohl bei der Filamentherstellung als auch beim 3D-Druck - richten sich die Fasern durch die Fließbewegung in Druckrichtung aus.

Dies führt dazu, dass sich die verstärkenden Effekte, insbesondere bei Zug- und Biegefestigkeit, verstärkt in den **äußeren Schichten des gedruckten Bauteils konzentrieren.**

**Größte Vorteile**

**+ Erhöhung der Festigkeit/Steifigkeit**

**+ Verbesserte thermische Stabilität**

Carbonfasern haben einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten und tragen dazu bei, die Verformung während des Druckprozesses zu reduzieren. Zudem erhöhen sie die Wärmeformbeständigkeit, sodass sich gedruckte Bauteil auch bei hohen Temperaturen nicht verziehen.

**+ Höhere Maßgenauigkeit der gedruckten Teile**

Dank der kombinierten mechanischen und thermischen Stabilität erreichen mit Carbonfasern gefüllte Bauteile eine deutlich höhere Maßgenauigkeit als ungefüllte Kunststoffe.

**Herausforderungen**

Kurze Carbonfasern bieten viele Vorteile, die mit steigendem Faseranteil zunehmen. Warum werden also nicht alle Filamente maximal mit Carbonfasern gefüllt?
Der Grund: **Carbonfasern bringen Herausforderungen für Materialherstellung und Druckprozess mit sich:**

- Ein zu hoher Anteil an starren Füllstoffen kann die Gleichmäßigkeit des Filaments beeinträchtigen, was zu s**chlechter Oberflächenqualität** und erhöhtem Risiko für Druckfehler führt.
- Carbonfasergefüllte Filamente sind abrasiv und führen zu **erhöhtem Verschleiß** an Extrusionskomponenten, die ursprünglich für ungefüllte FFF-Filamente ausgelegt sind. Gehärtete Bauteile und regelmäßige Wartung können Abhilfe schaffen, erhöhen jedoch die Betriebskosten.
- Ein zu hoher Faseranteil kann den Materialfluss behindern und das Risiko einer **Verstopfung der Düse** erhöhen – mit potenziellen Produktionsunterbrechungen bis zur Wartung.

Viele Hersteller maximieren den Faseranteil ihrer Filamente, um die Festigkeit zu erhöhen – und nehmen dabei erhebliche Nachteile in Kauf: eine schlechtere Oberflächenqualität, eingeschränkte Maßhaltigkeit und eine geringere Zuverlässigkeit im Druckprozess.

Markforged geht einen anderen Weg: Onyx wurde speziell auf **Maßgenauigkeit, Oberflächengüte und Prozesssicherheit optimiert** – ohne dabei auf Festigkeit zu verzichten.

Möglich wird das durch die einzigartige CFR-Technologie (Continuous Fiber Reinforcement), mit der **zusätzlich Endlosfasern integriert** werden können. Das Ergebnis: Höhere Maßgenauigkeit, exzellente Oberflächen, beeindruckende Festigkeit – und ein rundum zuverlässiger 3D-Druckprozess.

# Endlosfasern

## Hintergrund

Carbonendlosfasern sind lange, mit Thermoplast ummantelte Carbonfasersträge.

Diese Fasersträge können mit der CFR-Technologie **in thermoplastische FFF-Teile eingelegt werden**. Bei diesem Verfahren wird die thermoplastische Ummantelung thermisch mit dem Bauteil verschmolzen, indem das Material durch eine beheizte Düse extrudiert wird.

Die Endlosfasern lassen sich **in unterschiedlichen Orientierungen innerhalb jeder Schicht** des Bauteils präzise verlegen, was gezielte Verstärkungen entsprechend den Belastungsanforderungen ermöglicht.

**Vorteile gegenüber Kurzfaser-Filamenten:**

Bei kurzfaserverstärkten Materialien muss das Matrixpolymer die Lasten zwischen den einzelnen, nicht durchgehenden Fasern übertragen. Dadurch ist die Verstärkungswirkung begrenzt

Im Gegensatz dazu nehmen bei Bauteilen mit Endlosfaser- Verstärkung die durchgehenden Fasern Zug- und Biegebelastungen direkt auf – ähnlich wie bei klassischen Laminatstrukturen im Faserverbundbau. Das Resultat sind deutlich höhere mechanische Eigenschaften.

**Maximale Performance durch gezielte Faserplatzierung:**

Die CFR-Technologie ermöglicht eine schichtweise, lastfallorientierte Ausrichtung der Endlosfasern – genau dort, wo sie gebraucht werden. So lassen sich Bauteile besonders effizient und materialsparend verstärken.

Neben Carbonfasern stehen **weitere Hochleistungs-Endlosfasern** zur Verfügung:

- Endlos-Glasfaser
- Kevlar®
- Hochfeste Hochtemperatur-Glasfaser

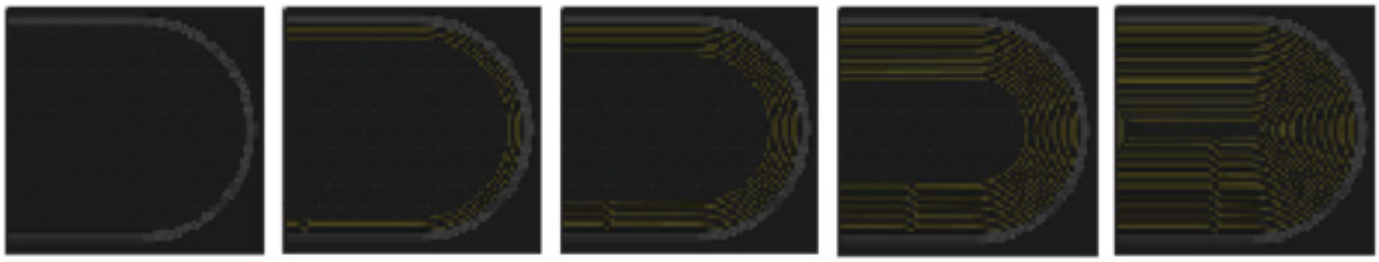
# Dynamischer Endlosfasergehalt: Festigkeit nach Bedarf

Die CFR-Technologie bietet maximale Flexibilität bei der Verstärkung von Bauteilen: Anwender können die Menge der Endlosfasern dynamisch steuern – und das auf zwei Ebenen:

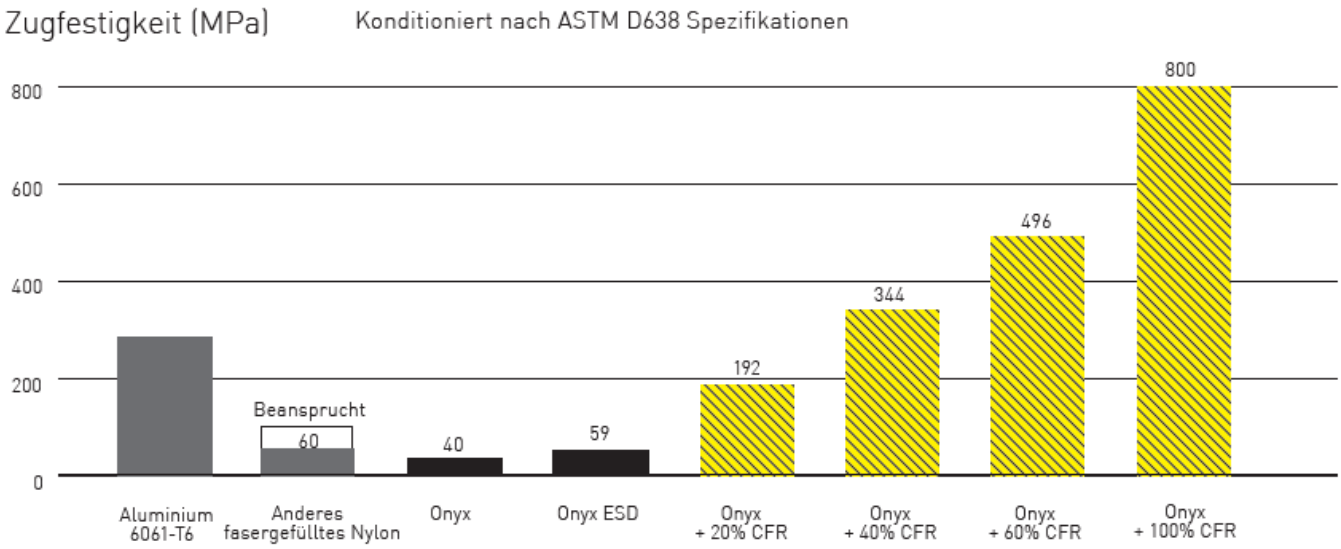
Fasermenge pro Schicht: Die Anzahl und Ausrichtung der Faserstränge innerhalb einer Schicht lässt sich variabel anpassen.

Anzahl der verstärkten Schichten: Es kann gezielt festgelegt werden, welche Schichten mit Endlosfasern versehen werden – von punktueller bis vollflächiger Verstärkung.

Diese präzise Steuerung erlaubt es Ingenieuren, Bauteile genau so stabil zu gestalten, wie es die jeweilige Anwendung erfordert – nicht mehr und nicht weniger. Das spart Material, Zeit und Kosten bei gleichzeitig maximaler Leistung..



Onyx | Onyx + 20% CFR | Onyx + 40% CFR | Onyx + 46% CFR | Onyx + 100% CFR



# Größte Vorteile

Endlosfasern ermöglichen eine **schrittweise Verbesserung der mechanischen Eigenschaften** eines Bauteils im Gegensatz zu den begrenzten Verstärkungen durch kurzfasergefüllte Filamente.
Zu den Vorteilen von Endlosfasern gehören:

+ **Festigkeit auf Aluminium-Niveau:** Endlosfaserverstärkte Teile können in vielen Anwendungen konventionelle, zerspanend hergestellte Aluminiumbauteile ersetzen.

+ **Erhöhte Steifigkeit und Schlagzähigkeit:** Ideal für tragende und strukturell belastete Komponenten. Widerstandsfähig gegenüber dynamische Belastung und Stoßbeanspruchung.

+ **Hohe Temperaturbeständigkeit:** Geeinget für Anwendungen im Maschinenbau, der Automobil- oder Luftfahrtindustrie mit erhöhten thermischen Anforderungen.

**Implementierung von Endlosfasern**

Im Gegensatz zu gefüllten Filamenten werden Endlosfasern von den Anwendern durch ein zusätzliches Verfahren namens „Continuous Fiber Reinforcement" (CFR) implementiert.

Die CFR-Technologie ermöglicht Anwendern **Flexibilität bei der Implementierung von Endlosfasern** in ihre Bauteile. Dabei hat man mehr Kontrolle darüber, wie viel Carbonfaser in die Teile eingebracht wird. Es ist zwar möglich, Teile wahllos mit Endlosfasern zu füllen, aber die besten Ergebnisse werden mit einer strategischen Platzierung der Fasersträne auf der Grundlage der Belastungsbedingungen erzielt.

Ein optimiertes Bauteil erreicht die gewünschten mechanischen Eigenschaften mit geringerem Materialaufwand, was die Fertigungszeit, -kosten und Ressourcenverbrauch reduziert.

Steuerung ist ein wesentlicher Vorteil, wenn man Endlosfasern in Betracht zieht. Diese Steuerung kann auf zwei wichtige Arten erfolgen:

1. Legen Sie fest, ob Endlosfasern innerhalb jeder Schicht des Teils platziert werden sollen oder nicht.

2. Bestimmen Sie eine Verstärkungsstrategie für jede verstärkte Schicht

Beispiele für Endlosfasertechniken, die häufig für Bauteile verwendet werden:

**Sandwich-Verteilung**

Wie bei einem herkömmlichen Verbundwerkstoff-Layoutteil wird **Endlosfaserverstärkung an der Ober- und Unterseite** hinzugefügt.

Diese Technik ist besonders effektiv unter **Biegebelastung**, da die Spannungskonzentrationen an der Oberfläche eines Teils am höchsten sind. Sanwich-Paneele widerstehen besonders den Kräften in der Z-Richtung.

**Schale**

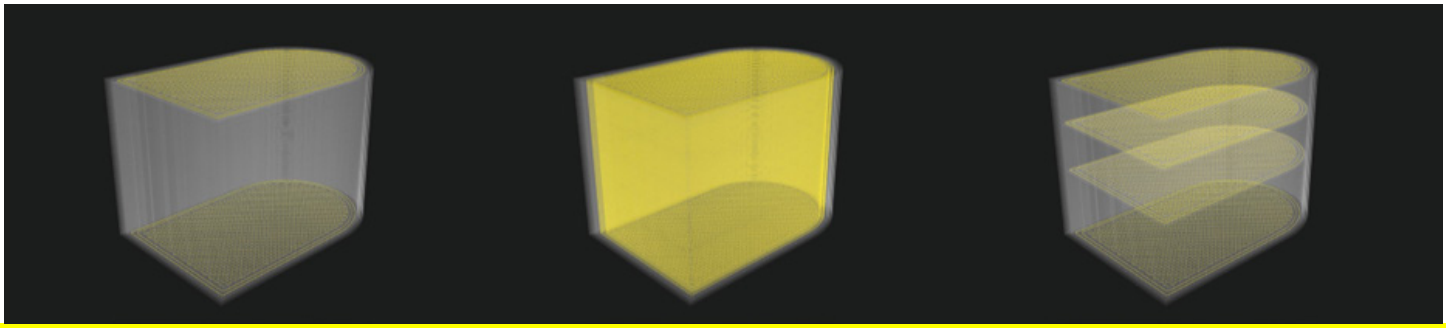
Diese Technik ähnelt der Sandwich-Verteilung, allerdings werden hier **Endlosfaser-Schlaufen in den Wänden jeder Schicht** verlegt.

Endlosfasern werden am Umfang jeder Schicht platziert, um **Belastungen entlang der XY-Ebene** zu widerstehen, was eine erhöhte Steifigkeit des Teils bietet.

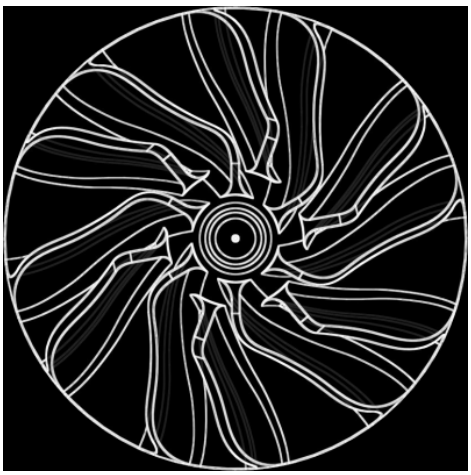
**Streifen**

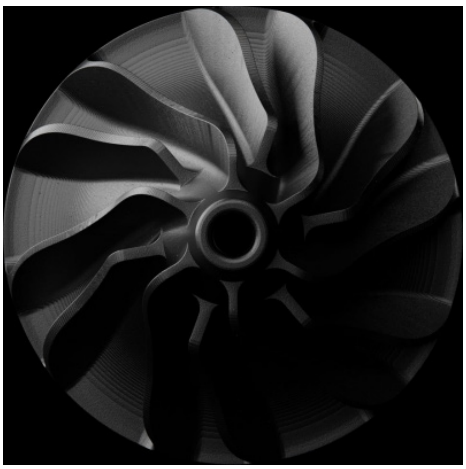
Eine Sandwich-Verteilung, bei der zusätzliche **„Streifen" aus Endlosfasern in kritischen Bereichen des Teils** eingebracht werden. Diese Streifen werden häufig in größeren Sandwich-Paneelen eingesetzt, um Lasten gleichmäßig zu verteilen und das Risiko von Knickungen zu minimieren.

**Sandwich-Verteilung** **Schale** **Streifen**



# Die Endlosfaser-Technologie von Markforged





**DESIGN**

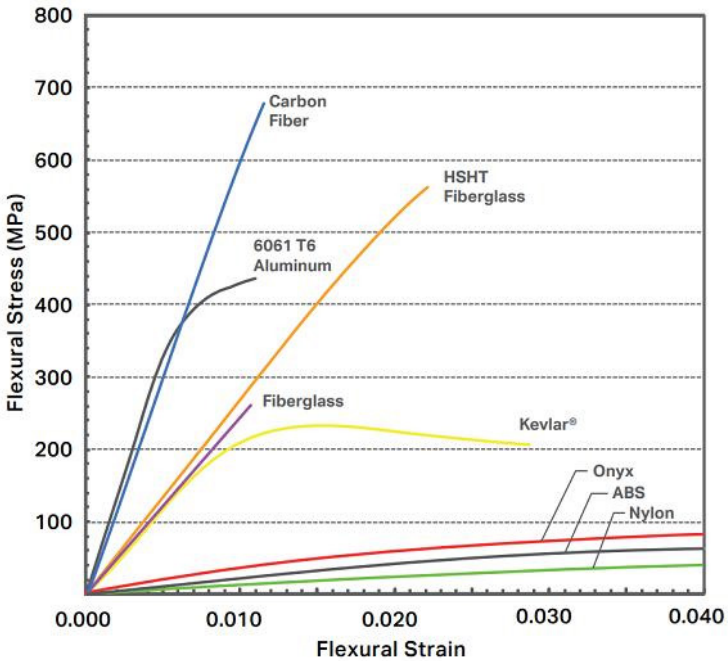
Bauteil im CAD konstuieren und als STL exportieren. STL in Cloud-basierter EIGER Software hochladen. Die entdprechende Enlosfaser, Carbon Glasfaser oder Kevlar® auswählen und die Software die Prozessoptimierungen machen lassen.

**Verstärken**

Das duale Materialsystem fertigt das faserverstärkte Bauteil Schicht-für-Schicht. Eine Düse druckt die Kunststoffmatrix, während eine zweite Düse die Endlosfaser in die entsprechenden Schichten einlegt.

**Bauteil**

Markforged CFF-Bauteile bieten eine Stabilität vergleichbar mit Aluminium, sind jedoch über 40% leichter als mechanisch gefertigte Metallbauteile.



Mark3D
THE Markforged Experts

# So nutzen Unternehmen die Vorteile der Endlosfaser-Technologie

## 3D-Druck statt Frästeile: WESCAD setzt auf den FX10

WESCAD ersetzt Aluminiumteile durch endlosfaserverstärkte Bauteile aus dem Markforged FX10 – wirtschaftlicher und flexibler als je zuvor.

Die Fertigung ist bis zu 70 % günstiger, erfolgt mannlos über Nacht und spart gleichzeitig Platz, Personal und Nacharbeit. Dadurch bleiben mehr Ressourcen für wichtigere Projekte frei.

## FESTO spart über 80.000 € in 9 Monaten

Festo setzt im Betriebsmittelbau erfolgreich auf Markforged-Maschinen: In nur neun Monaten wurden über 80.000 € eingespart.

Frästeile oder Zukauf sind an vielen Stellen nicht mehr nötig: Das Team produziert ESD-konforme Halterungen, Spannvorrichtungen und Ersatzteile jetzt rund um die Uhr im eigenen Haus – deutlich günstiger, schneller und prozesssicher.

## Thyssenkrupp spart Zeit & Kosten in der Batteriemontage

Mit Markforged-Maschinen ersetzt thyssenkrupp zahlreiche Aluminiumbauteile in den Montagelinien – schnell, flexibel und wirtschaftlich.

Hunderte Komponenten werden direkt vor Ort produziert, wodurch Entwicklungszeit verkürzt und Produktionskosten deutlich gesenkt werden. Der 3D-Druck ermöglicht eine passgenaue Serienfertigung ohne Wartezeiten – 24/7 und ohne Nacharbeit.

Ausführliche Erfolgsgeschichten zu diesen und weiteren Projekten finden Sie auf unserer Website.
Lassen Sie sich von konkreten Anwendungen und echten Einsparpotenzialen inspirieren.

# Metall 3D-Druck

Der Metall-3D-Druck ersetzt nicht die klassischen Fertigungsmethoden – verändert aber die Denkweise, wie Metallteile hergestellt werden. Statt subtraktiv zu fräsen, wird additiv aufgebaut – mit klaren Vorteilen:

Hohe Designfreiheit
Kein Werkzeugbedarf
Vollständig automatisierter Fertigungsprozess

Nahezu jede Anwendung im Metall-3D-Druck profitiert von mindestens einem dieser Vorteile. Wer sie versteht, kann gezielt Potenziale im eigenen Betrieb erkennen – und nutzen. So lassen sich Metallbauteile schneller und wirtschaftlicher produzieren als mit konventionellen Verfahren.

## Vorteile des Metall 3D-Drucks

### Geometrische Freiheit

In der traditionellen Fertigung führen komplexe Geometrien zu höheren Kosten, längeren Vorlaufzeiten und einem größeren Bedarf an Fachpersonal. Daher beschränken sich viele Bauteile auf geometrisch einfache, kosteneffiziente Formen.

Der Metall-3D-Druck bricht mit diesen Einschränkungen: **Komplexität wird zum Vorteil.** Additive Prozesse ermöglichen Überhänge, Hohlräume und filigrane Strukturen – oft sogar einfacher als einfache Formen mit herkömmlichen Verfahren. Teile, die früher aufwendig gefräst oder aus mehreren Komponenten zusammengesetzt wurden, entstehen nun Schicht für Schicht – automatisiert und effizient.

### Keine Werkzeug- oder Rüstkosten

Traditionelle Metallverarbeitung ist oft mit hohen Kosten für Werkzeuge und Vorrichtungen verbunden. Allein das Einrichten der Maschinen kann zeit- und kostenintensiv sein – besonders bei kleinen Stückzahlen oder häufigen Designänderungen.

Beim Metall-3D-Druck entfällt dieser Aufwand komplett: Keine Werkzeuge, keine Vorrichtungen, keine Rüstkosten. Unabhängig von der Geometrie oder Losgröße können Bauteile direkt aus CAD-Daten gefertigt werden. Das senkt nicht nur die Produktionskosten, sondern verkürzt auch die Durchlaufzeiten erheblich – ideal für Kleinserien, Prototypen und kundenspezifische Einzelteile.

### Automatisierte Fertigung

Traditionelle Fertigungsprozesse erfordern oft kontinuierliche Überwachung und gut ausgebildete Fachkräfte – besonders im CNC-Bereich, wo CAM-Programmierung und Rüstvorgänge zum Alltag gehören.

Beim Metall-3D-Druck entfällt dieser Aufwand: Die Teileproduktion erfolgt automatisch direkt aus der CAD-Datei. **Kein CAM, kein Rüsten – und deutlich weniger Bedarf an spezialisierten Fachkräften.** Das senkt die Personalkosten und verkürzt die Fertigungszeit. Das Ergebnis: eine vereinfachte, zuverlässige und wirtschaftliche Produktion – rund um die Uhr.

# Fünf Anwendungsgebiete für den Metall 3D-Druck

Die Stärken des Metall-3D-Drucks – geometrische Freiheit, keine Werkzeugkosten und ein hoher Automatisierungsgrad – helfen dabei, fundierte Entscheidungen zu treffen:

Welche Bauteile eignen sich für die additive Fertigung, welche besser für konventionelle Verfahren?

Mit diesem Verständnis lassen sich Produktionsprozesse effizienter gestalten und Ressourcen gezielt einsetzen.

- Funktionale Prototypen aus Metall
- Roboter-Greifer
- Kundenspezifische Sonderwerkzeuge
- Komplexe Aufnahmen
- Kleinserien-Endverbrauchsteile

Im folgenden Abschnitt werden verschiedene Anwendungsgruppen vorgestellt. Für jede dieser Gruppen erläutern wir die konkreten Vorteile des Metall-3D-Drucks und zeigen praxisnahe Beispiele, wie die Technologie erfolgreich eingesetzt wird.

# Funktionsprototypen

Für Prozesse wie Feinguss und Druckguss setzen Hersteller häufig Vorwerkzeuge zur Prototypenfertigung ein. Dieser Schritt verlängert die Entwicklungszeit und erhöht die Kosten erheblich, insbesondere wenn bei jeder Designänderung neue Werkzeuge erforderlich sind. Eine Alternative ist die CNC-Bearbeitung von Prototypen. Allerdings kann auch dieser Prozess bei komplexen Geometrien ähnlich aufwendig und teuer sein wie die Herstellung der eigentlichen Gusswerkzeuge.

Der Metall-3D-Druck bietet eine effiziente Lösung, da er die **Fertigung von Metallprototypen ohne den Einsatz von Werkzeugen** ermöglicht. Auf diese Weise erhalten Kunden innerhalb weniger Tage präzise Metallteile. Dies ermöglicht eine schnellere Bewertung von Konstruktionen und vermeidet teure Nachbearbeitungen an Werkzeugen. Ingenieure können so in kürzerer Zeit mehr Designvarianten untersuchen und den gesamten Produktentwicklungszyklus deutlich verkürzen.

### Werkzeug für die Entfernung medizinischer Implantate

### Reduzieren Sie teure CNC-Bearbeitungen

Orthopädische Chirurgen müssen neue Werkzeuge vor ihrem Einsatz im Operationssaal testen. Shukla nutzt das Markforged Metal X System, um Funktionsprototypen von Extraktionsgeräten schnell und effizient zu fertigen.

Ein Beispiel ist die „Hubschrauberbuchse", ein Spezialaufsatz zum Entfernen implantierter Hardware. Aufgrund der komplexen Geometrie wäre die Fertigung auf herkömmlichem Weg aufwendig und teuer. Mit dem Metal X kann Shukla selbst komplizierte Metallteile schnell und kosteneffizient produzieren und so Prototypen rascher qualifizieren sowie neue Werkzeuge schneller an Chirurgen ausliefern.

### Guss-Formen

### Keine Prototypwerkzeugen mehr notwendig

Vor der Serienfertigung ist es entscheidend, die Form und Funktion von Metallgussteilen zu überprüfen. Bei dieser Kupplung stellen die Flansche und Innengeometrien eine besondere Herausforderung für die spanende Bearbeitung dar. In der Regel erfordert dies einen aufwendigen Prototypbearbeitungsprozess, der oft mehrere Tage dauert.

Mit dem Metal X entfällt dieser Zwischenschritt: Ingenieure können das Bauteil direkt additiv fertigen und erhalten es bereits nach wenigen Tagen. Das spart nicht nur wertvolle Zeit, sondern senkt auch die Kosten und beschleunigt den gesamten Produktentwicklungsprozess erheblich.

# Roboter-Greifer

End-Effektoren sind die Komponenten eines Roboters, die direkt mit der Umgebung interagieren. Diese häufig kundenspezifisch gestalteten Teile werden normalerweise CNC-gefräst. Besonders bei komplexen Geometrien führen die traditionellen Fertigungsmethoden jedoch zu hohen Kosten und langen Durchlaufzeiten.

Für Betriebe mit automatisierten Prozessen bedeutet jeder neue Greifer zusätzlichen Aufwand. Metall-3D-Druck bietet hier eine deutlich effizientere Lösung: Konforme R**oboter-Greifer lassen sich einfacher, schneller und kostengünstiger herstellen** – ohne den Umweg über aufwändiges CAM-Programming. Die 3D-Drucksoftware übernimmt automatisch die Generierung der Werkzeugpfade.

Ein entscheidender Vorteil: **Komplexe Geometrien haben weder Einfluss auf den Preis noch auf die Produktionszeit.** Greifer lassen sich somit optimal an ihre jeweilige Aufgabe anpassen – leicht, funktional und präzise. Interne Wabenstrukturen sorgen für eine zusätzliche Gewichtsreduzierung, was die Traglast des Roboters verringert und die Taktzeit erhöht. Die schnelle Fertigung maßgeschneiderter Endeffektoren steigert die Agilität der Produktion und erlaubt eine **flexible Anpassung der Automatisierung an wechselnde Anforderungen.**

## Greifer für Blechteile

### Metall-3D-Druck für mehr Effizienz in der Blechbearbeitung

Der kanadische Metallverarbeiter Lean Machine setzt einen Markforged Metal X ein, um den Nutzen seiner automatisierten Blechbiegezelle deutlich zu steigern. Die Anlage ist speziell für die wirtschaftliche Fertigung von Kleinserien konzipiert und arbeitet mit einem Industrieroboterarm, der Blechzuschnitte durch den Biegeprozess führt.

Die links abgebildeten Greifer wurden so konstruiert, dass sie die Rohlinge sicher greifen, ohne die Biegewerkzeuge während der Produktion zu beeinträchtigen. Durch den Einsatz additiver Fertigung konnte Lean Machine die benötigten Roboter-Greifer schnell und passgenau herstellen. Das beschleunigte nicht nur die Inbetriebnahme der Biegezelle, sondern entlastete auch die CNCKapazitäten – für mehr Fokus auf umsatzstarke Bauteile.

## Greifer für Stahlteile

### Die Produktion schneller starten

Diese Roboter-Greifer transportieren Rohrverschraubungen durch eine automatisierte Zelle, in der Kunststoffdichtungen eingepresst werden. Da sich im Inneren der Bauteile abrasive Stahlfäden befinden, sind besonders verschleißfeste Greifer gefragt – präzise, haltbar und prozesssicher.

Dank additiver Fertigung lässt sich ein kompletter Satz dieser Endeffektoren innerhalb weniger Tage mit minimalem Konstruktions- und Fertigungsaufwand herstellen. So kann die Produktionsanlage schneller, flexibler und kosteneffizient in Betrieb genommen werden.

# Sonderwerkzeuge

Während Standardwerkzeuge in Serie gefertigt werden, erfordern bestimmte Anwendungen Sonderwerkzeuge in kleinen Stückzahlen. Diese Spezialwerkzeuge sind für komplexe oder ungewöhnliche Geometrien ausgelegt – und in der konventionellen Herstellung meist teuer und ressourcenintensiv.

**Die Investition in solche Werkzeuge für nur wenige Bauteile ist wirtschaftlich oft nicht sinnvoll.** Gleichzeitig bindet die Bearbeitung komplexer Geometrien wertvolle Kapazitäten in der Fertigung. Hier bietet die additive Fertigung eine kosteneffiziente und flexible Alternative.

**Mit Metall-3D-Druck umgehen Hersteller hohe Gemeinkosten** und fertigen kundenspezifische Werkzeuge zu deutlich geringeren Stückkosten – auch bei kleinen Losgrößen. Die nahezu unbegrenzte Designfreiheit ermöglicht es Ingenieuren, Werkzeuge exakt für ihre jeweilige Anwendung zu konstruieren – sei es für komplexe Oberflächen, schwer zugängliche Bereiche oder anspruchsvolle Schnittstellen.

Das Ergebnis: funktional optimierte Werkzeuge ohne Kompromisse – schnell und wirtschaftlich gefertigt.

## Zollschlüssel

### Leicht austauschbare Einlegewerkzeuge

Dieses individuelle Werkzeug vereint die Stärken der Markforged-Verbundfasertechnologie mit dem Metall-3DDruck. Der durchgehende Griff aus Endloscarbonfaser sorgt für hohe Stabilität bei geringem Gewicht und wird mit einem speziell gedruckten Metalleinsatz kombiniert – für maximale Langlebigkeit und Funktionalität.

Dank des additiv gefertigten Einsatzes entsteht ein robustes, leichtes und kosteneffizient produziertes Werkzeug, das bei Bedarf einfach gegen andere Einsätze ausgetauscht werden kann. Ideal für wechselnde Anwendungen und den flexiblen Werkzeugeinsatz in der Produktion.

## Individuelle Steckschlüssel-Aufsätze

### Komplett benutzerdefinierte Werkzeuge herstellen

Ob für Befestigungselemente an Militärfahrzeugen oder Radsicherungen bei Sportwagen – individuelle Werkzeuge mit spezieller Geometrie sind in vielen Anwendungen unverzichtbar. Da sie meist in kleinen Stückzahlen benötigt werden, ist die konventionelle Herstellung oft teuer und aufwendig.

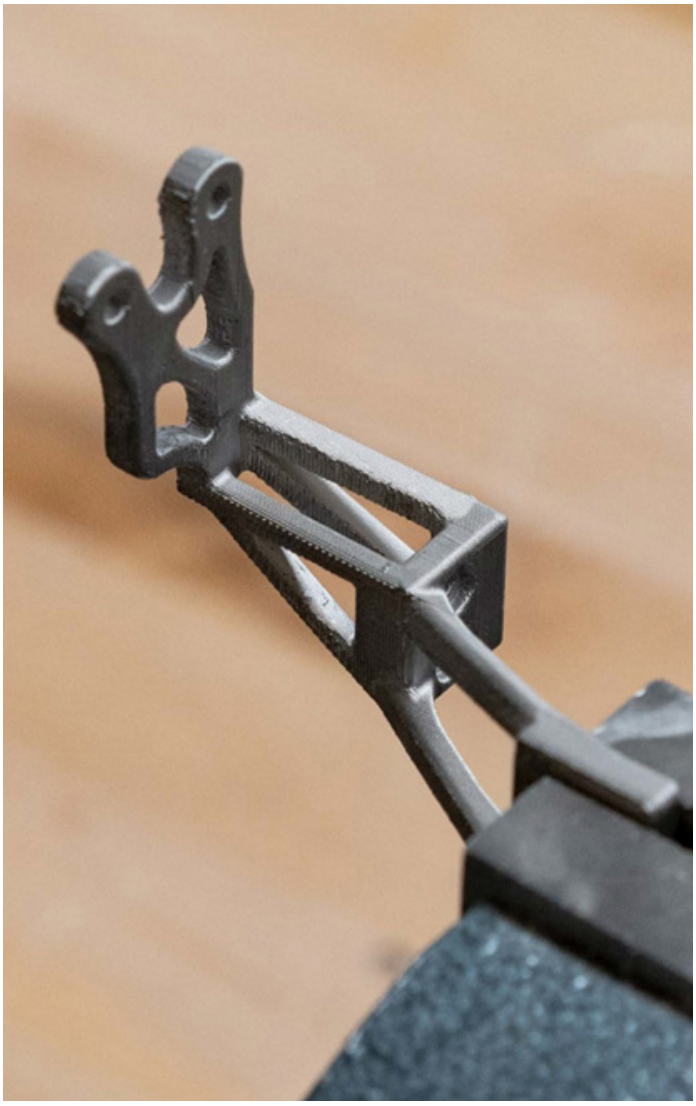
Mit Metall-3D-Druck lassen sich diese hochspezialisierten Werkzeuge deutlich kostengünstiger und schneller fertigen – ideal für Kleinserien und Einzelanfertigungen. So profitieren Ingenieure von maximaler Designfreiheit und reduzierten Produktionskosten.

# Komplexe Halterungen

Während viele Halterungen und Vorrichtungen konventionell problemlos herstellbar sind, stoßen herkömmliche Fertigungsmethoden bei komplexen Geometrien an ihre Grenzen. Besonders filigrane Gitterstrukturen zur Gewichts- und Leistungsoptimierung lassen sich nur mit hohem Aufwand realisieren: Mehrere Maschineneinstellungen, winzige Werkzeuge und ein hoher Materialabtrag machen den Prozess aufwendig und teuer.

Der Metall-3D-Druck ermöglicht die einfache und wirtschaftliche Herstellung solcher komplexen Strukturen – in einem einzigen Schritt, ohne zusätzliche Rüstzeiten oder Materialverschwendung.

Der Metall-3D-Druck ist die ideale Fertigungstechnologie für Halterungen und Vorrichtungen, bei denen hohe Festigkeit und Steifigkeit gefragt sind. Anspruchsvolle Geometrien stellen dabei keine Herausforderung dar – selbst Bauteile mit anspruchsvollen Konturen lassen sich präzise und ohne zusätzlichen Fertigungsaufwand realisieren. Leichte, gleichzeitig robuste Halterungen können so effizient und kostengünstig produziert werden. Der geringere Bearbeitungsaufwand sowie das reduzierte Ausfallrisiko bieten klare Vorteile gegenüber konventionellen Methoden – insbesondere bei kleinen Stückzahlen und funktionskritischen Anwendungen.



### Kundenspezifische Sensorhalterung - perfekte Passform für jede Geometrie

Diese Halterung wird für die exakte Positionierung eines Sensors in einem Robotersystem benötigt. Die komplexe, dünne Geometrie der Halterung ist für traditionelle Zerspanungsverfahren nicht geeignet.

Der Metall-3D-Druck bietet hier die einzige kostengünstige Lösung, um die Halterung sowohl leicht als auch ausreichend stabil für den Einsatz im Robotersystem zu fertigen.

# Kleinserien-Endbauteile

Diese Halterung wird für die exakte Positionierung eines Sensors in einem Robotersystem benötigt. Die komplexe, dünne Geometrie der Halterung ist für traditionelle Zerspanungsverfahren nicht geeignet. Der Metall-3D-Druck bietet hier die einzige kostengünstige Lösung, um die Halterung **sowohl leicht als auch ausreichend stabil für den Einsatz im Robotersystem zu fertigen.**

Der Metall-3D-Druck bietet eine effiziente Lösung, indem er die **Herstellung von Teilen ohne den Einsatz von Werkzeugen** ermöglicht. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, die hohen Werkzeugkosten auf eine große Stückzahl zu verteilen. Dies führt zu einer erheblichen Kostenersparnis, besonders bei Kleinserien und Einzelstückfertigung.

## Automobilteile

### Ersetzen von Gussteilen mit geringem Volumen

Altteile, die als Einzelstücke nicht mehr in der Produktion sind, stellen eine große Herausforderung dar. Oft fehlen sowohl die Originalwerkzeuge als auch die Konstruktionszeichnungen, was Ingenieure dazu zwingt, Bauteile aufwendig und teuer durch Reverse Engineering nachzubilden.

Diese alte Vergaserabdeckung wurde mittels 3D-Scan erfasst und ohne den Einsatz von Werkzeugen direkt im 3D-Druckverfahren hergestellt. So konnte ein einziges Teil kostengünstig produziert werden, das ohne diese Methode wirtschaftlich nicht mehr herstellbar gewesen wäre.

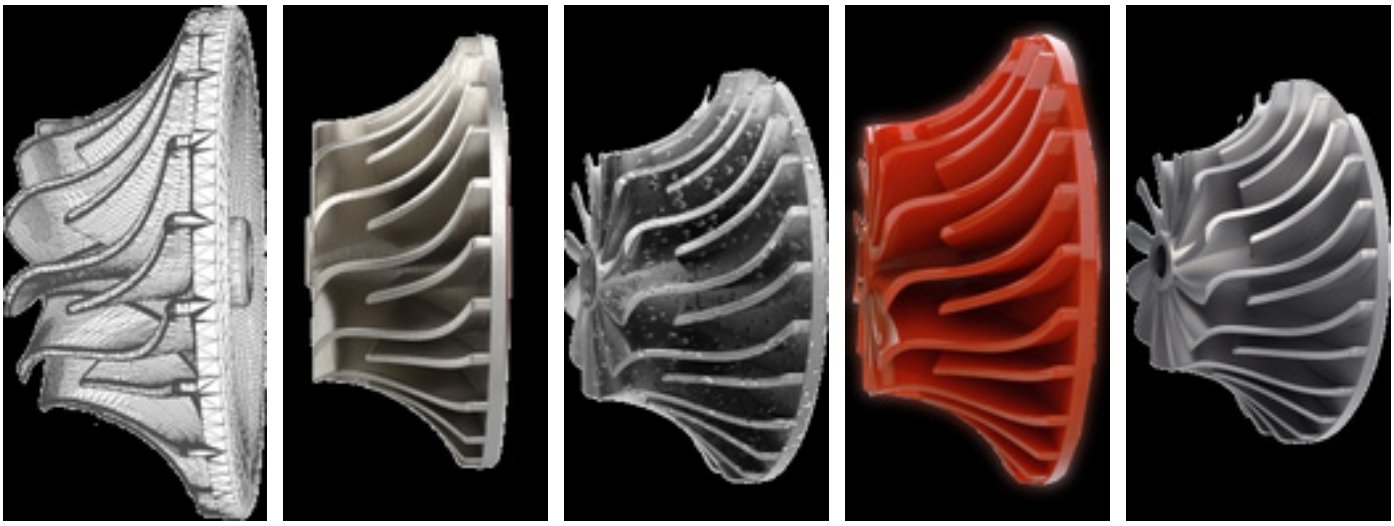
# Das ADAM-Verfahren von Markforged

## Atomic Diffusion Additive Manufacturing – Der Prozess des Markforged FX10

Das FX10 Metal Kit nutzt eine fortschrittliche Technologie, um Metallteile effizient zu drucken. Das Druckmaterial besteht aus **hochkonzentriertem Metallpulver, das in einer Kunststoff- und Wachsbindung enthalten ist.** Der Druck erfolgt im bewährten FFF/Filament-Verfahren – ganz ohne Metallstaub.

Nach dem Druckprozess wird der Wachsanteil durch einen Entbindungsprozess entfernt. Im anschließenden Sinterprozess kommt es zu einer atomaren Diffusion, wodurch das Bauteil zu einem homogenen Metallteil wird.

Mit der ADAM-Technologie können **auch komplexe Geometrien wie geschlossene Wabenstrukturen problemlos hergestellt** werden. Solche Geometrien sind mit herkömmlichen subtraktiven Verfahren oder Pulverbettverfahren nicht möglich, wodurch der FX10 eine flexible und innovative Lösung für die Herstellung einzigartiger Metallteile bietet.



| Konstruieren | Drucken | Waschen | Sintern | Fertig |
|---|---|---|---|---|
| Konstruieren Sie das Bauteil in Ihrer CAD-Software und exportieren Sie das Bauteil als .STL-Datei. | Das hochkonzentrierte Metallpulver in Kunststoff und Wachs gebunden wird Schicht für Schicht aufgetragen. | Das Wachs wird entfernt und die Bauteile für den folgenden Sinterprozess vorbereitet. | Im Sinterofen werden die Bauteile gebacken. Der Kunststoff verschwindet und das Bauteil erhält seine endgültige Größe. | Das fertige Bauteil aus Metall kann entweder sofort eingesetzt, geschliffen, poliert oder CNC-weiter bearbeitet werden. |

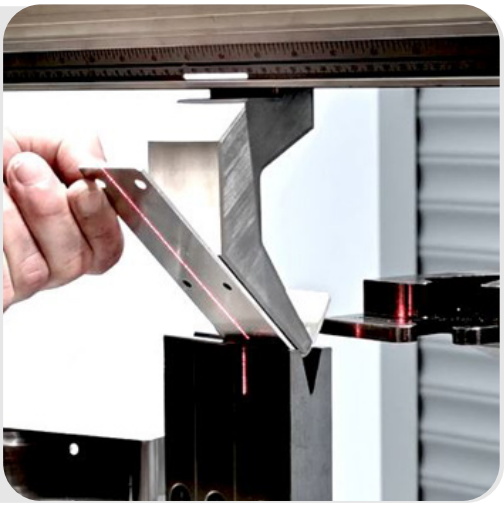
Mark3D
THE Markforged Experts

# So nutzen Unternehmen die Vorteile des Metall-3D-Drucks

## BAM GmbH fertigt Funktionsprototypen aus Metall

Mit der Markforged ADAM-Technologie fertigt BAM GmbH Prototypen wie ein Kantwerkzeug aus A2-Werkzeugstahl schnell, flexibel und günstig.

Das All-in-One-System ermöglicht einen einfachen Einstieg in die additive Fertigung und liefert komplexe, gewichtsoptimierte Bauteile mit hoher Oberflächengüte – eine effiziente Alternative zur CNC-Fertigung.



## Guhring UK fertigt Sonderwerkzeuge

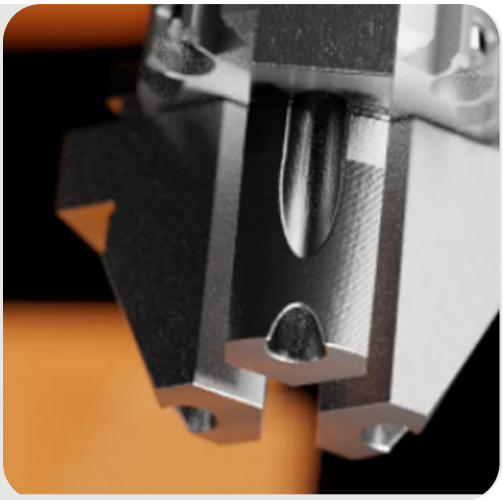
Guhring UK nutzt die Markforged ADAM-Technologie, um Sonderwerkzeuge und Prototypen deutlich schneller und günstiger zu fertigen.

Durch den 3D-Druck konnten Werkzeugkosten, Produktionszeit und Gewicht jeweils um über 60 % gesenkt werden. Die additive Fertigung ermöglicht komplexe Geometrien, optimierte Kühlmittelwege und flexible Kleinserien – eine effiziente Lösung.

## Greiferbacken sparen DIXON über 90% Fertigungskosten

Dixon Valve nutzt die ADAM-Technologie, um Greifbacken für Roboterarme zu drucken, die Stahlkupplungen mit Dichtringen bestücken.

Die verschleißfesten Metallteile ermöglichen über 90% geringere Fertigungszeit und -kosten. Langlebig, passgenau und deutlich günstiger als herkömmliche Verfahren.

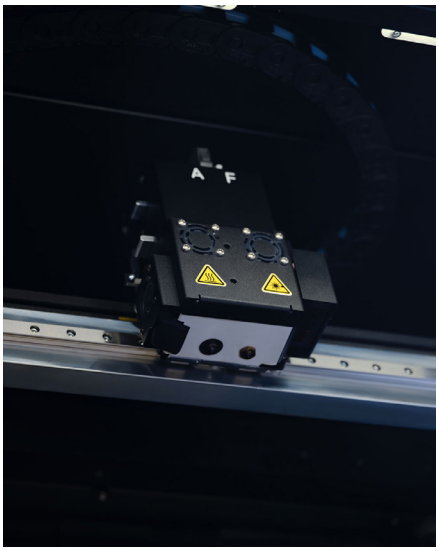


Ausführliche Praxisberichte zu diesen und weiteren Projekten finden Sie auf unserer Website.
Lassen Sie sich von konkreten Anwendungen und echten Einsparpotenzialen inspirieren.

# Technologie-Highlights des FX10

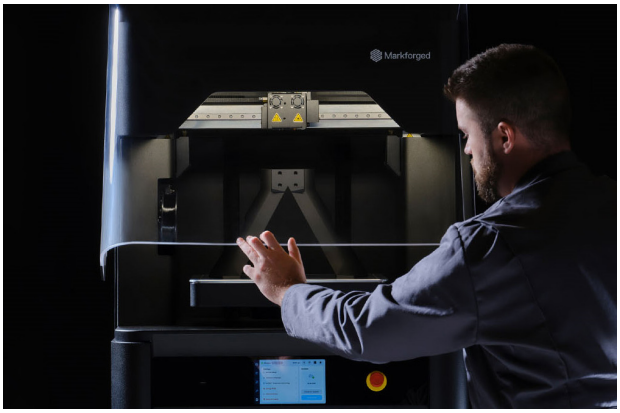
Der FX10 setzt einen **neuen Maßstab in der additiven Fertigung**, indem er die führenden Technologien – Metall- und Verbundwerkstoff-3D-Druck – in einer Maschine vereint. Anstatt sich für eine der beiden Technologien entscheiden zu müssen, bietet der FX10 eine durchdachte Lösung: Zwei spezialisierte, **einfach austauschbare Druckköpfe** machen ihn zu einer flexiblen und zukunftssicheren Wahl für Unternehmen, die höchste Flexibilität und Effizienz benötigen.

## Maximale Flexibilität durch zwei Druckköpfe



Ein herausragendes Merkmal des FX10 ist das modulare Druckkopfsystem. Der Druckkopf für Verbundwerkstoffe nutzt die Continuous Fiber Reinforcement (CFR)-Technologie, um **hochfeste Bauteile** zu drucken, die die Festigkeit von Aluminium bei deutlich geringerem Gewicht erreichen.

Der Metall- Druckkopf hingegen setzt auf gebundene Metallpulver- Technologie, die eine **sichere und effiziente Herstellung robuster Metallteile** ermöglicht. Der Wechsel zwischen den beiden Druckköpfen ist unkompliziert und schnell, sodass keine aufwendigen Anpassungen oder längeren Ausfallzeiten erforderlich sind – für eine kontinuierlich effiziente Produktion.




## Warum ist das wichtig?

Bisher mussten Unternehmen, die sowohl Metall als auch Verbundwerkstoffe drucken wollten, zwei separate Maschinen anschaffen – mit all den damit verbundenen Kosten, Platzanforderungen und Wartungsaufwänden. Der FX10 beseitigt diese Herausforderungen.

Mit nur einer Maschine **erfüllt er eine Vielzahl von Fertigungsanforderungen.** Dies spart nicht nur Investitionskosten, sondern auch wertvollen Platz in der Produktionsumgebung und vereinfacht die Bedienung erheblich.

## Eine Maschine, die mitdenkt

Die Möglichkeit, zwischen den Drucktechnologien zu wechseln, bietet nicht nur Flexibilität, sondern **eröffnet Unternehmen völlig neue Konstruktionsmöglichkeiten.** Stellen Sie sich vor, Sie fertigen Prototypen mit einem leichten Carbonfaser-Gehäuse für Tests und produzieren anschließend die finalen Teile in robustem Metall – alles mit derselben Maschine. Der FX10 passt sich Ihren Anforderungen an, statt umgekehrt..

Der modulare Aufbau des FX10 macht ihn zu einer **zukunftssicheren Investition,** die nicht nur Ihre aktuellen Anforderungen erfüllt, sondern auch auf zukünftige Herausforderungen vorbereitet ist. Ganz gleich, ob Sie Bauteile für die Luftfahrt, Automobilindustrie oder den Maschinenbau fertigen – der FX10 bietet Ihnen das richtige Werkzeug, um innovativ und wettbewerbsfähig zu bleiben.

Mark3D
THE Markforged Experts

**Mark3D GmbH**

Rodenbacher Straße 15

35708 Haiger

Telefon: 07361 63396-00

E-Mail: markforged@mark3d.de

Internet: www.mark3d.de

#Nr. 1 in Verkauf, Service, Schulung, Verbrauchsmaterialien und Beratung für Markforged-Produkte in Europa