

FORMLABS CASE STUDY

3D-Druck von robusten Bauteilen für eine Tunnelbohrmaschine bei der TUM Boring

Team von TUM Borings in Bastrop, Texas im April 2023

Die Technische Universität München beherbergt die Studentenorganisation *TUM Boring*, die aus über 60 Studierenden aus über 16 Ländern besteht. Im Jahr 2020 haben sich diese engagierten Studierenden zusammengeschlossen, um an der *Not-a-Boring Competition 2021* teilzunehmen. Dabei handelt es sich um einen Wettbewerb, der von *The Boring Company (TBC)*, einem Unternehmen von Elon Musk, veranstaltet wurde.

Das von Studenten geleitete Team hat sich der Zukunft der Mobilität gewidmet und ein ambitioniertes Ziel vor Augen: Sie möchten eine der weltweit schnellsten Mikrotunnelbohrmaschinen (TBM) entwickeln, um Innovationen im Tunnelbau voranzubringen. Der Wettbewerb verschaffte den Studierenden eine hervorragende Gelegenheit, ihr Projekt im Vergleich zu anderen Innovationen auf der ganzen Welt zu präsentieren.

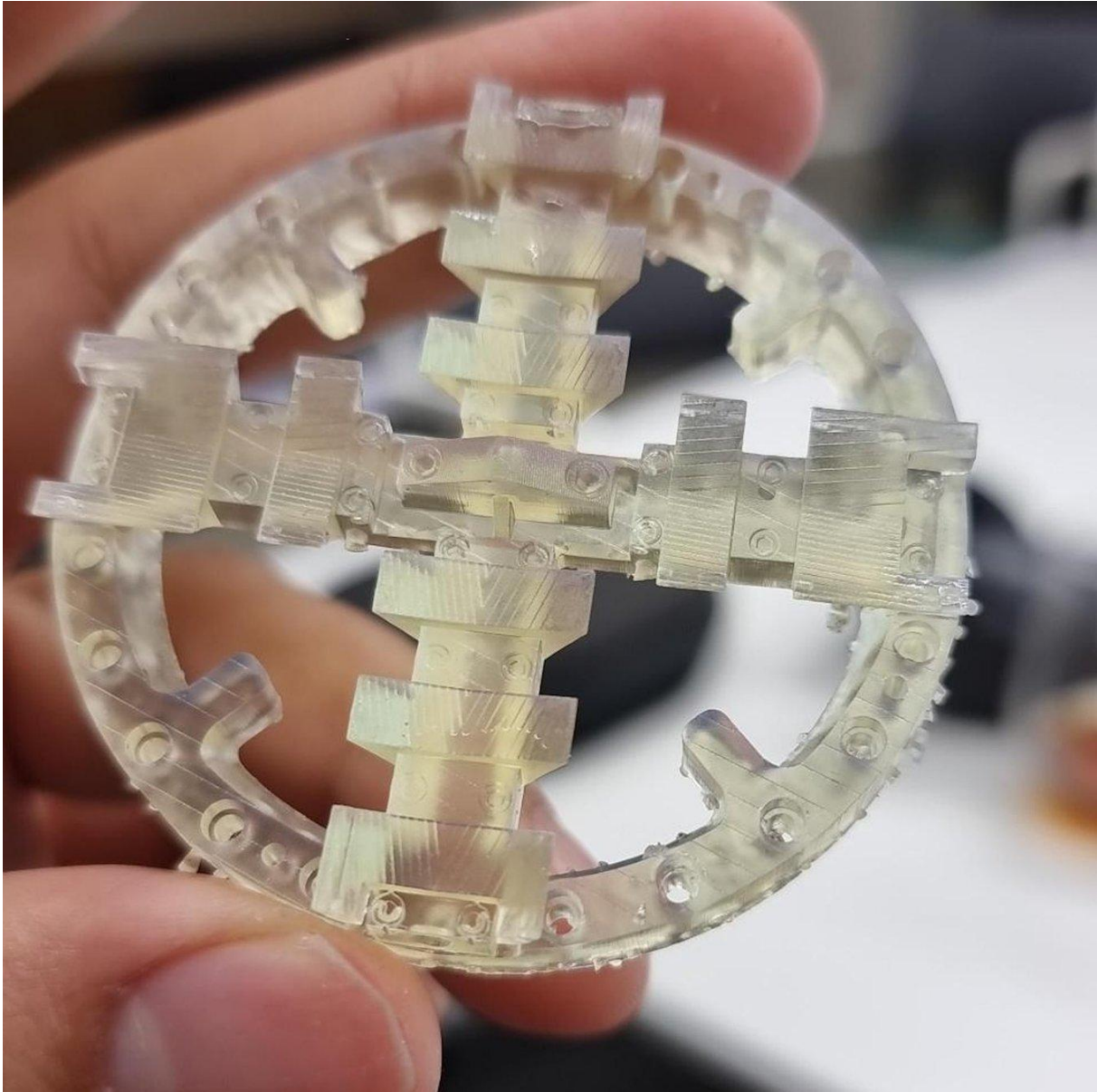
Nachdem TUM Boring den Wettbewerb im Jahr 2021 für sich entschied, eröffnete sich dem Team eine neue Möglichkeit: Sie bekamen Zugang zu einem innovativen **Formlabs Form 3+ 3D-Drucker**, der mit Stereolithografie-Technologie arbeitet. Zusätzlich erhielten sie die Möglichkeit, den **Formlabs Fuse 1+ 30W** zu verwenden. Dieser 3D-Drucker hingegen nutzt das 3D-Druckverfahren des selektives Lasersintern (SLS). Die Integration dieser fortschrittlichen 3D-Drucktechnologien führte zu bemerkenswerten Optimierungen der Arbeitsvorgänge des Teams. Durch den **Formlabs Form 3+** konnten sie nicht nur schnell Prototypen herstellen, sondern auch Endverbrauchsteile direkt drucken, was zu einer erheblichen Transformation des täglichen Geschäfts von TUM Boring führte. Die neue Technologie spielte eine entscheidende Rolle bei ihrem wiederholten Sieg der Not-a-Boring Competition im April 2023.

SLA-3D-Druck mit dem Formlabs Form 3+ ermöglicht schnelle Iterationen bei TUM Boring

Dank der internen Verfügbarkeit des **Formlabs Form 3+** konnte das TUM Boring-Team seine Fähigkeit zur Wiederholung maßgeblich verbessern. Um die Verbindungen der unterschiedlichen Rohre in der TBM zu verdeutlichen, nutzte das Team den **Formlabs Form 3+ 3D-Drucker** zur Erstellung von Prototypen in Miniaturgröße mit vielen Konzeptideen aus dem **Material Grey Resin**. Dadurch konnten die mechanischen Zusammenhänge anschaulich dargestellt werden, ohne direkt an der originalgroßen Maschine arbeiten zu müssen. Dies führte zu einer Zeitersparnis, wodurch der Prozess effizienter gestaltet werden konnte. Mit der Möglichkeit, ein Design zu skizzieren und am Abend einen fertigen Prototyp zur Prüfung zu besitzen, konnte das Team auf dieser Basis weitere Verbesserungen durch folgende Iterationen vornehmen. Tom Luca Reinhardt, Vorstandsmitglied bei TUM Boring und einer der Leiter des Maschinenbauteams, bestätigte die Vorteile dieser Vorgehensweise.

Dank des 3D-Drucks konnten die Studierenden umfangreiche Funktionstests an einer additive gefertigten Schneidradkomponente durchführen. Durch die Verwendung des **Materials Flexible 80A Resin** konnten sie Miniaturmodelle des Schneidrads mit leicht variierenden Strukturen erstellen, was ihnen einen realistischeren Eindruck von ihrem Produkt vermittelte, als es allein mit CAD-Programmen der Fall gewesen wäre. Tom

Luca Reinhardt bekräftigte die Bedeutung dieser Herangehensweise und erklärte, dass obwohl sie ein CAD-Programm nutzen, die Möglichkeiten begrenzt sind. Es sei stets vorteilhafter, das physische Produkt direkt prüfen zu können und aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten.



Durch die Anwendung des SLA-3D-Drucks konnte das Team, unterschiedliche Konzepte visuell darzustellen und eine rasche und unkomplizierte Abfolge von Entwicklungszyklen durchzuführen.



SLA-3D-Druck erzielt kosteneffiziente, maßgefertigte Teile für den Endgebrauch

Zusätzlich zur Prototypenerstellung setzte TUM Boring den SLA-3D-Druck auch für die Produktion von Endverbrauchsteilen ein, wie beispielsweise Abdeckungen für Schraubenlöcher und Sensorenhalterungen.

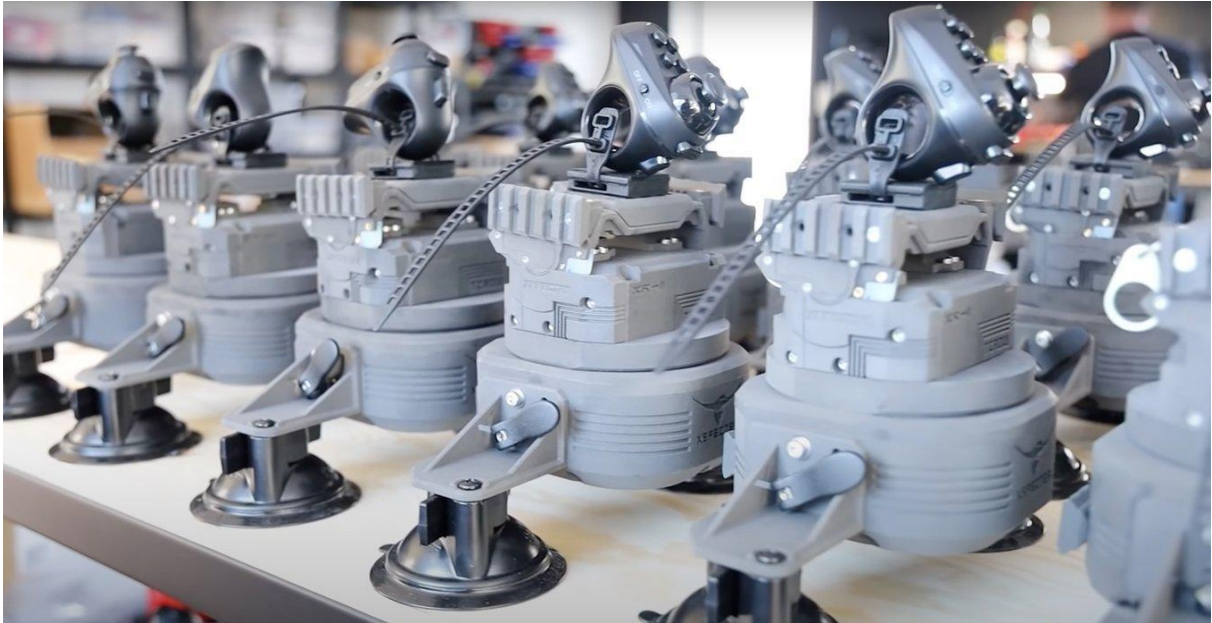
An den Außenseiten der TBM befanden sich mehrere Schraubenlöcher, die leicht zugänglich sein mussten, sofern eine Demontage des Bohrkopfs erfolgen musste. Gleichzeitig sollten diese Löcher vor Schmutz, Erde und Lehm geschützt werden. Der 3D-Druck von individuell angepassten Abdeckungen für diese Löcher erwies sich als kosteneffiziente Lösung, um maßgeschneiderte Komponenten in kleinen Auflagen zu fertigen. Diese Abdeckungen waren leicht zu entfernen und ermöglichten es dennoch, die Maschine vor Ablagerungen zu schützen.

Laut den Erklärungen von Reinhardt führte dies zu einer erheblichen Verbesserung der Effizienz des Teams. Nach umfangreichen Tests unterschiedlicher technischer Materialien entschied sich das Team schließlich für **Grey Resin**. Dieses Material erfordert keine weiteren Nachbearbeitungen und zeichnet sich durch eine enorm hohe Oberflächenqualität aus.



*Durch den Einsatz von 3D-gedruckten Abdeckungen aus **Grey Resin** wird der Zugang zu den Schrauben erleichtert, wodurch Zeit bei Wartungsarbeiten eingespart wird.*

Der SLA-3D-Druck ermöglicht zudem die Fertigung anderer Endanwendungsteile, da er für kleinere Stückzahlen geeignet ist und eine breite Materialvielfalt sowie hochqualitative Oberflächengüte bietet. Die TBM ist mit vielzähligen Sensoren ausgestattet, die während des Betriebs unverrückbar bleiben müssen. Aufgrund dessen erfordert jeder Sensor eine individuell angepasste Halterung, die so robust ist, dass sie sämtlichen Belastungen und Stößen standhält.



Früher wurden diese Sensorenhalterungen von einem externen Produktionsdienstleister aus Edelstahl hergestellt. Doch das Team entschied sich für eine Optimierung, indem es sie nun aus **Tough 2000 Resin** mit dem **Formlabs Form 3+** fertigen. Die Auslagerung der Bauteile dauerte häufig mehrere Tage oder Wochen und war mit viel höheren Kosten verbunden als die interne Fertigung. Jetzt schickt das Team das 3D-Modell direkt an den **Formlabs Form 3+** und kann die Halterungen in circa viereinhalb Stunden herstellen.

Es muss nur die STL-Datei hochgeladen werden und dann steht in wenigen Stunden die fertige Halterung zur Montage des Sensors zur Verfügung, erklärte das Vorstandsmitglied bei TUM Boring Tom Luca Reinhardt. Unter den vom Team getesteten Kunstharzen war **Tough 2000 Resin** durch seine Robustheit und Zuverlässigkeit eindeutig die beste Wahl für diese spezifische Anwendung. In der Tat stellte das Team von TUM Boring nach einigen Tests fest, dass das Bauteil große Belastungen aushielt und unter Stößen nicht brach.

Schneidwerkzeuge aus dem SLS 3D-Drucker überzeugen durch einmalige Robustheit bei Belastungstest

Neben der Herstellung von SLA-Druckteilen untersuchte TUM Boring auch unterschiedliche Schneidradstrukturen mithilfe **des Formlabs Fuse 1+ 30W SLS 3D-Druckers**. Die Verwendung des **Fuse 1+ 30W** ermöglichte es dem Team, zahlreiche

Iterationen zu fertigen und die ideale Geometrie für den Wettbewerb auszuwählen. Das ausgewählte Design enthielt Schneidwerkzeuge mit schärferen Kanten, um reibungslos durch das Gelände zu schneiden, und flachkantige Werkzeuge, welche dem Bohrvorgang eine erhöhte Widerstandsfähigkeit verliehen. Schließlich wurde die endgültige Geometrie an einen Produktionsdienstleister übermittelt und aus Edelstahl hergestellt.





Die Leistungsstärke des **Materials Nylon 11 CF** (links) hat das Team positiv überrascht, da es viel robuster war als anfangs angenommen. Die Verwendung dieses Materials ermöglichte es ihnen, mehrere Varianten des Schneidwerkzeugs an der Maschine zu testen, noch bevor die Edelstahl-Bauteile (rechts) geliefert wurden.

Das Team von TUM Boring hat unter den verfügbaren **SLS-Pulvermaterialien von Formlabs** das **Material Nylon 11 CF** als das ideale für ihre Anwendung identifiziert, da die Haltbarkeit, Steifigkeit und Schlagfestigkeit eine besondere Rolle spielen. Bei den Funktionstests sind die gefertigten Teile großem Druck sowie hoher Schlagbelastung ausgesetzt. Beeindruckt berichtete Reinhardt, dass die Teile eine erstaunliche Belastbarkeit zeigten. Das Team konnte sogar mit diesen leichten Bauteilen so viel Kraft auf den Boden ausüben, dass sie ihren 15-Tonnen-Behälter bewegen konnten, ohne dass es zu Brüchen oder Rissen kam. Diese Ergebnisse waren für das Team äußerst positiv und zeigten die bemerkenswerte Leistungsfähigkeit des Materials im Belastungstest.

Das Team stellte nach mehreren Tests an den additiv gefertigten, kohlenstofffaserverstärkten Schneidwerkzeugen einen minimalen Verschleiß fest, allerdings war dieser nach den gegebenen Testverfahren deutlich geringer als angenommen. Interessanterweise kam das Team nach dem Wettbewerb zur Erkenntnis, dass die Prototypen aus carbonfaserverstärktem Kunststoff und die Edelstahlteile für die Endverwendung etwa dieselben Anzeichen von Verschleiß oder Beschädigung besaßen. Diese Beobachtung unterstreicht die beeindruckende Festigkeit und Haltbarkeit von **Nylon 11 CF**. Die positiven Ergebnisse des 3D-Drucks überraschten viele Mitglieder des Teams, insbesondere diejenigen, die davor nicht an die Effektivität des Verfahrens glaubten oder nicht so viel Vertrauen darin hatten. Die erfolgreiche Anwendung des Materials hat diese Zweifel jedoch entkräftet und das Vertrauen in den 3D-Druck gestärkt.



Die abgebildeten kohlenstofffaserverstärkten Prototypen aus dem 3D-Drucker und die Edelstahlteile für den Endgebrauch zeigten ähnliche Verschleiß- und Beschädigungsmerkmale.

In der Tunnelbauindustrie stellt der abgetragene Lehm eine außerordentliche Herausforderung dar, da er am Schneidrad der Bohrmaschine haften bleibt. Dadurch wird das Schneidrad blockiert, was zu großen Verzögerungen im Tunnelbau führt. Darüber hinaus verursacht dies Korrosion an den Schneidwerkzeugen, wodurch die Qualität und Präzision der Maschine eingeschränkt werden. Angesichts dieser herausfordernden Umgebung erwiesen sich die Korrosionsbeständigkeit und die Antihafteigenschaften des **Nylon 11 CF Materials** als unerwartete und entscheidende Vorteile.



Innovation der Effizienz im Tunnelbau durch 3D-Druck: TUM Boring triumphiert im Bohrwettbewerb

Tom Luca Reinhardt betonte, dass diese Erfahrung dem Team das Selbstvertrauen verlieh, künftig alternative Methoden zu erkunden und verstärkt auf den 3D-Druck zu setzen.

Obwohl TUM Boring nach ihren wiederholten Siegen beim Bohrwettbewerb von The Boring Company noch unentschieden ist, ob sie erneut daran teilnehmen werden, steht fest, dass sie ihre Fortschritte im Umgang mit 3D-Druck weiter ausbauen und in kommende Projekte integrieren wollen.

Expertise und Informationen - Besuche unsere Website oder kontaktiere uns direkt!

Du hast weitere Fragen zu den Produkten aus der Case Study? Dann besuche gerne unsere Website www.3d-model.com für weitere Informationen oder melde dich direkt bei den Fachexperten von 3D-MODEL an einem unserer Standorte:

3D-MODEL GmbH

Franz-Lehar-Straße 1
88339 Bad Waldsee
Deutschland
Tel.: +49 7524 46424 0
E-Mail: info@3d-model.com

3D-MODEL AG

Marmorgasse 9
8004 Zürich
Schweiz
Tel.: +41 43 243 9036
E-Mail: info@3d-model.com

Über 3D-MODEL:

Als auf den Vertrieb von 3D-Druckern, 3D-Scannern und 3D-Software spezialisiertes Unternehmen begleiten wir unsere Kunden in Deutschland und der Schweiz bei der Optimierung ihrer Produktionsprozesse. Wir beraten diese von der Datenaufnahme bis hin zum Endanwendungsteil. Sowohl KMUs als auch Großunternehmen erhalten durch die Integration unserer innovativen Technologien von der Entwicklung bis hin zur Herstellung des funktionalen Bauteils eine enorme Effizienzsteigerung.