



PORSCHE

## Presse-Information

---

Kooperation: Porsche entwickelt mit Mahle und Trumpf innovative Fertigung für hochbelastete Antriebsbauteile

### **3D-Druck-Technik optimiert Kolben für den leistungsstarken 911 GT2 RS**

Neuartige Kolben aus dem 3D-Drucker haben im Motor eines 911 GT2 RS ihre erste Belastungsprobe bestanden. Additive Fertigungsverfahren (3D-Druck) ermöglichen Konstruktionen, die mit konventionellen Verfahren nicht realisierbar sind. So konnte die Kolbenstruktur entsprechend der Belastung optimiert, ein Kühlkanal integriert und dennoch das Gewicht um zehn Prozent im Vergleich zu einem geschmiedeten Serienkolben reduziert werden. „Wir können dadurch die Motordrehzahl steigern, die Temperaturbelastung der Kolben verringern und die Verbrennung optimieren“, erklärt Frank Ickinger aus der Antriebsvorentwicklung von Porsche. „Das Ergebnis sind mehr Leistung und höhere Effizienz.“ Für den 515 kW (700 PS) starken 911 GT2 RS ist so eine Leistungssteigerung um bis zu 30 PS denkbar. Die Kolben entstanden im Rahmen einer Kooperation zur Entwicklung eines additiven Fertigungsprozesses für hochbelastete Antriebsbauteile, an der Porsche gemeinsam mit dem Zulieferer und Entwicklungspartner Mahle sowie dem Hochtechnologieunternehmen Trumpf arbeitet. Als weiterer Projektpartner konnte das Optikunternehmen Zeiss mit seiner Expertise beim Mess- und Prüfprozess für additive Fertigung gewonnen werden.

### **Optimierter Kolben: leichter und belastbarer dank bionischem Design**

Serienmäßig verfügt der 911 GT2 RS über geschmiedete Kolben, deren Potenzial für den Einsatz in zukünftigen Hochleistungstriebwerken praktisch ausgereizt ist.

Verbesserungen konnten nur Veränderungen bringen, die mit konventionellen Produktionsmethoden nicht mehr darstellbar sind. So bietet die additive Fertigung die Möglichkeit, sogenanntes bionisches Design umzusetzen, also Material nur an Stellen einzusetzen, an denen auch ein Kraftfluss stattfindet. Für diese Topologie-Optimierung setzten die Ingenieure eine spezielle Konstruktionsmethodik ein, die auf die spezifischen Bedingungen des 3D-Drucks abgestimmt ist. Gemeinsam mit den Kooperationspartnern Mahle und Trumpf konnte so das Kolbengewicht um zehn Prozent gesenkt sowie die topologischen Strukturen hinsichtlich der Qualität und Leistungsfähigkeit mit Messtechnik von Zeiss abgesichert werden. „Dabei sind wir aber immer noch auf Nummer sicher gegangen“, sagt Frank Ickinger. „Unsere Simulationen zeigen, dass ein Potenzial bis zu 20 Prozent Gewichtseinsparung pro Kolben möglich ist.“

Zweites Ziel war die Integration eines ringförmigen Kühlkanals hinter den Kolbenringen. Dieser Kanal hat eine spezielle Querschnittsform und ist bis auf zwei Öffnungen für Ein- und Austritt des Öls wie eine Röhre geschlossen. Eine solche Struktur lässt sich nur in einem additiven Fertigungsverfahren herstellen. Dank dieser zusätzlichen Kühlung sinkt die Bauteiltemperatur am thermisch extrem belasteten Kolbenringbereich um mehr als 20 Grad. Die Summe dieser Maßnahmen erlaubt eine optimierte Verbrennung mit höheren Drücken und Temperaturen, gleichbedeutend mit höherer Effizienz. „Ein Beispiel dafür“, sagt Frank Ickinger, „dass der Verbrennungsmotor noch immer Zukunftspotenzial hat.“

### **Technologie-Know-how von Mahle, 3D-Druck Expertise von Trumpf, Mess- und Prüfprozess von Zeiss**

Wie bei den geschmiedeten Serien-Kolben für den 911 GT2 RS vertraut Porsche auch bei der Entwicklung der 3D-gedruckten Kolben auf die Kompetenz von Mahle. Der Technologiekonzern entwickelte aus der Mahle-eigenen Aluminiumlegierung M174+ ein schweißbares Pulver für die additive Fertigung. Die Kennwerte des gedruckten Werkstoffs sind vergleichbar mit denen des Gussmaterials für Serienkolben. Um die Eignung des Pulvers für den Fertigungsprozess zu bewerten, wurde dieses in Zusammenarbeit mit Messtechnikspezialisten der Firma Zeiss mehrfach

qualitätsgeprüft, unter anderem per Lichtmikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie und Röntgenmikroskopie.

Die Entwicklung des Fertigungsprozesses und den Druck übernahm das Hochtechnologieunternehmen Trumpf. Die hochpräzisen Trumpf-TruPrint-3000-Maschinen verschweißten das Pulver Schicht für Schicht im sogenannten Laser-Metal-Fusion-Verfahren (LMF), auch Laser Powder Bed Fusion (LPBF) genannt. Dabei wird per Laserstrahl Pulver in einer Stärke im µm-Bereich (0,02–0,1 Millimeter) aufgeschmolzen und so der Kolben Schicht für Schicht aufgebaut. In rund zwölf Stunden entstehen so mit etwa 1.200 Schichten die Kolbenrohlinge. Die Prüfung mit verschiedenen zerstörungsfreien Verfahren wie Computertomografie, 3D-Scanning und Mikroskopie sowie die Analyse aufgeschnittener Kolben erfolgte gemeinsam mit den Partnern Mahle, Trumpf und Zeiss. Dabei bestätigte sich, dass die Qualität der gedruckten Kolben sich nicht von jener der gegossenen Serienkolben unterscheidet.

Zur praktischen Erprobung wurden sechs Kolben in einen 911-GT2-RS-Motor montiert. Auf dem Prüfstand absolvierte das Triebwerk einen 200-stündigen Dauerlauf unter härtesten Bedingungen. So simulierte das Testprogramm 24 Stunden auf einer Hochgeschwindigkeitsstrecke: rund 6.000 Kilometer mit 250 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit, einschließlich Tankstopps. Dazu kamen rund 135 Stunden unter Vollast sowie etwa 25 Stunden Schlepplast, jeweils bei verschiedenen Drehzahlen. Ergebnis: Alle Kolben haben den Test bestanden.

Die Entwicklung der Kolbenherstellung durch additive Fertigung speziell für Hochleistungsderivate zeigt nicht nur die Chance, bisher nicht nutzbare Potenziale zu erschließen, sondern kann auch einen enormen Zeitgewinn in der Entwicklung bieten. So ist es möglich, die Beschaffungszeit von Prototyp-Kolben durch den Wegfall der Werkzeugherstellung, wie sie beispielsweise für Gusskolben notwendig ist, um über 30 Prozent zu reduzieren.

### **Neue Möglichkeiten, aber auch neue Anforderungen an die Konstruktion**

Der 3D-Druck erschließt sowohl in der Optimierung bestehender als auch in der Entwicklung künftiger Technologien eine Fülle neuer Möglichkeiten. „Was bisher nicht ging, wird jetzt machbar“, schwärmt Frank Ickinger. Und zwar auch bei höchstbelasteten Komponenten, wie das Beispiel der Kolben für den 911 GT2 RS zeigt. Weniger Gewicht und höhere Warmfestigkeit kommen unmittelbar dem Fahrer zugute: Durch die Verringerung der oszillierenden Massen kann die Drehzahl gesteigert werden. „300 Umdrehungen pro Minute mehr bedeuten etwa 30 PS mehr“, rechnet Frank Ickinger. Der Torsionsschwingungsdämpfer kann kleiner ausfallen, wodurch der Motor noch drehfreudiger wird. Gesteigerte Warmfestigkeit aufgrund der Temperaturabsenkung ermöglicht höhere Verbrennungsdrücke und noch frühere Zündzeitpunkte – beides steigert Leistungsausbeute und Effizienz.

Allerdings sind die erweiterten gestalterischen Freiheiten auch mit neuen Anforderungen an die Konstruktion verbunden. So müssen die Ingenieure berücksichtigen, dass die Werkstücke Schicht für Schicht durch Verschmelzen entstehen. „Sind zum Beispiel Überhänge in einem Winkel von mehr als etwa 45 Grad vorgesehen, müssen sogenannte Stützstrukturen eingebracht werden, um die Geometrie gegen Verziehen zu stabilisieren“, erklärt Frank Ickinger, „sonst drohen Verzüge oder Auswölbungen nach oben, an denen der Beschichter zum Auftragen der Pulverschicht möglicherweise beschädigt wird und der Bauprozess abgebrochen werden muss.“ Dabei gilt es, so wenig wie möglich Stützstrukturen zu generieren, da diese später meistens wieder entfernt werden müssen. So gibt es noch weitere Konstruktionsrichtlinien hinsichtlich Fertigbarkeit aber auch Wirtschaftlichkeit, zum Beispiel durch Minimierung der Stützstrukturen, die mit der Expertise von Trumpf im 3D-Druck umgesetzt werden konnten.

Die Experten von Mahle nahmen zusammen mit den Porsche-Entwicklern die konstruktive Umsetzung der optimierten Kolbenstruktur in Angriff. Der Technologiekonzern beschäftigt sich bereits seit Jahren mit den Möglichkeiten der additiven Fertigung. Per CAD-Programm bildete Mahle die Strukturen nach, die bei der Topologie-Optimierung entstanden sind. Danach wurde der neuartige Kühlkanal definiert. Ein Paradebeispiel für Funktions-Integration“, sagt Frank Ickinger. Die

Konstruktionsdaten durchliefen anschließend eine Finite-Elemente-Simulation und wurden dabei auf Sicherheit gegen Versagen, Lebensdauer und Temperaturbelastung des virtuellen Kolbens überprüft. Insbesondere der zusätzliche umlaufende Kühlkanal in Höhe der Kolbenringe erwies sich dabei als vorteilhaft: Im thermisch höchstbelasteten Bereich unter den Auslassventilen sank die Temperatur um über 20 Grad. In mehreren Konstruktions- und Berechnungsschleifen entstand schließlich eine optimale Konstruktion, die alle Vorgaben erfüllte. Auf dieser Basis erstellten die Ingenieure ein Fertigungsmodell und Zeichnungen für die Endbearbeitung.

### **Pulverwerkstoff aus Gusslegierung entwickelt**

Parallel zur Konstruktion ermittelten die Experten von Mahle den geeigneten Werkstoff. Die besten Grundvoraussetzungen wies dabei die Gusslegierung M174+ auf. Aus ihr entwickelten die Kolbenspezialisten das Pulver für den additiven Fertigungsprozess. Um dessen Eignung für die additive Fertigung zu prüfen, wurde das Pulver zunächst von Mahle und Trumpf mit Fließfähigkeits- und Schüttdichtenmessungen, Messung des Feuchtegehalts wie auch Messung der Korngrößenverteilung untersucht. Zur Erkennung von Poren in den Pulverkörnern begutachteten die Experten die Flächen in metallografischen Schliffen. Mittels einer sogenannten Trägerheißgasextraktion wurden gasförmige Verunreinigungen bestimmt. Zusätzlich wurden von den Messtechnikexperten bei Zeiss per Lichtmikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie und Röntgencomputertomografie die Beschaffenheit der Körner hinsichtlich Kontamination, Partikelform, Partikelgrößenverteilung und Gaseinschlüsse bewertet. Hierbei war es auch wichtig, das Verhalten und die Struktur des Pulvers bei Mehrfachverwendung zu analysieren – ein wichtiger Aspekt hinsichtlich Recycling und Nachhaltigkeit. Das Pulver zeigte auch bei Mehrfachverwendung keine für die Bauteileigenschaften relevanten Veränderungen. Ziel war es, im späteren Bauprozess eine homogene Pulverschicht mit reproduzierbaren Pulvereigenschaften gewährleisten zu können.

Als erste Versuchsmuster erstellte Trumpf mit additiver Fertigung einfache geometrische Körper wie Quader und Bolzen für sogenannte Werkstoffproben, um die Werkstoffkennwerte zu ermitteln. Hierbei wurden vorab mehrere Bau-Jobs

durchfahren, um die optimalen Prozessparameter der Maschine für diesen Werkstoff zu finden. Die Ergebnisse der Werkstoffkennwert-Ermittlung waren durchweg positiv: Die Proben wiesen weitgehend gleichmäßig verteilte und runde Porosität vorwiegend mit Porengrößen zwischen fünf und 50 µm auf. Die Härte der Probestücke bewegte sich nach der üblichen Wärmebehandlung etwa auf dem Niveau von Gusskolben. Auch die physikalischen Kennwerte waren ähnlich denen des Gussmaterials. So war die Wärmeausdehnung etwas niedriger, die Zug-Druck-Wechselfestigkeitswerte erreichten bei 150 Grad Celsius und bei 300 Grad Celsius jene von gegossenem Material, teilweise übertrafen die additiv hergestellten Proben die Eigenschaften von konventionell gegossenen Werkstoffproben sogar.

### **Additive Fertigung mit der Expertise von Trumpf**

Konstruktion und Materialentwicklung verliefen in enger Abstimmung mit den Experten von Trumpf. Das Unternehmen – wie Porsche und Mahle im Raum Stuttgart beheimatet – ist Pionier beim 3D-Druck mit Metall. Seit 1999 forscht Trumpf gemeinsam mit dem Fraunhofer ILT in Aachen an der Technologie Laser Metall Fusion (LMF), dem pulverbettbasierten Laserschmelzen. 2004 brachte Trumpf seine erste LMF-Maschine auf den Markt. Daher waren die Experten des Unternehmens prädestiniert, die optimalen Parameter für den Druck der Bauteile zu entwickeln.

Für die Fertigung der Kolben nutzte Trumpf eine Präzisionsmaschine der Typenreihe TruPrint 3000. Bei dem LMF-Verfahren entstehen die Bauteile schichtweise in einem Pulverbett. Dies läuft in der Prozesskammer ab. In dieser Kammer sitzen Vorrats-, Bau- und Überlaufzylinder in einer Achse nebeneinander. Der Prozess beginnt damit, dass der Beschichter Pulver vom Vorratsbehälter über den Bauzylinder schiebt und dabei eine Pulverschicht erzeugt. Überschüssiges Pulver landet dabei im Überlaufbehälter. Anschließend erhitzt der Laserstrahl entsprechend der Teilekontur die Pulveroberfläche und verschmilzt sie zu einer festen Metallschicht und verbindet diese mit den bereits aufgeschmolzenen Schichten darunter. Im nächsten Schritt sinkt der Bauzylinder ab, und der Beschichter trägt die nächste Pulverschicht auf. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis das Bauteil vollständig generiert ist. Abschließend wird das nicht aufgeschmolzene Pulver in einer Entpackstation aus dem

Bauzylinder entfernt und damit das Bauteil freigelegt. Es kann dann abgetrennt werden.

### **Tests bestätigen kompromisslose Qualität der gedruckten Kolben**

Der schichtweise Aufbau ist der Schlüssel für die Herstellung von Formen und Strukturen, die mit konventionellen Produktionsmethoden wie Gießen oder Fräsen nicht möglich sind. „Der Kolben aus dem Kooperationsprojekt zeigt beispielhaft, wie wir mit 3D-Druck einen Mehrwert schaffen können. Die Verfahren ermöglichen Bauteile, die besondere Eigenschaften besitzen und gleichzeitig leicht und stabil sind. Davon profitieren fast alle Industrien. Trumpf adressiert neben der Automobilindustrie vor allem die Luft- und Raumfahrt, die Medizintechnik und die Energiebranche“, sagt Trumpf-Projektleiter Steffen Rübling. Die TruPrint 3000 war mit ihrem zylinderförmigen Bauraum mit einem Durchmesser von 30 Zentimetern ideal für die Fertigung der Kolben: Deren Durchmesser von 104 Millimetern ermöglichte es, fünf Bauteile gleichzeitig zu produzieren. Die Trumpf-Experten konnten zudem zeigen, dass sich mit der Anlage TruPrint 5000, die drei Laser besitzt, die Produktivität bis zum Faktor drei steigern lässt.

Die ersten Exemplare der Hochleistungskolben aus dem Drucker wurden detailliert untersucht. Zusätzlich zu Untersuchungen bei Mahle und Trumpf wurden beim Projektpartner Zeiss die gleichen Verfahren wie bei der Prüfung der ersten Materialmuster angewandt: metallografische Schliffe, Lichtmikroskopie, Röntgenspektroskopie und die Computertomografie. Es wurden die gescannten Daten des Kolbenrohteils mit den CAD-Daten verglichen, um festzustellen, ob sich die Geometrie im Fertigungsprozess verändert hat. Hier lagen die Abweichungen im Toleranzfeld eines Gusskolbens und waren somit in Ordnung. Ein weiterer wichtiger Punkt war das Innere des Kühlkanals. Gab es noch Pulverrückstände oder Schweißreste, die sich im Betrieb lösen konnten? Auch das war aufgrund des entsprechend angepassten Designs nicht der Fall. Speziell mit der hochauflösenden Computertomografie bei Zeiss konnte im Vorfeld schon nach Defekten wie kleinen Rissen oder Einschlüssen gesucht werden und so final die Freigabe der Kolben für weitere Tests erteilt werden. Selbst kleine Defektmerkmale wurden über ein spezielles

Verfahren, der Mikrodefekthistorie, „markiert“, um diese gegebenenfalls nach den ersten Tests wieder zerstörungsfrei begutachten zu können. Zur Bestimmung von Porosität und Dichte diente zusätzlich zu den sogenannten metallografischen Schliffbildern das Auftriebsverfahren an Proben und Ausschnitten des Kolbens: Je weniger Gas enthalten ist, desto geringer die Auftriebskraft. Mit über 99,5 Prozent Dichte lagen die Kolben dabei auf einer Höhe mit gegossenen Bauteilen. Auch die Bearbeitung der Kolben bei Mahle zeigte keine Nachteile im Vergleich mit gegossenem M174+-Material. Auf einem Hydropulser bei Mahle wurde dann der erste Test gestartet. Hierbei wird der Kolben an der Kolbenbolzenbohrung aufgenommen und bis zum Versagen belastet. Die Anzahl der durchlaufenen Lastwechsel lag über der geforderten Anzahl, und somit wurde der Test bestanden. Der zweite Test, der durchgeführt wurde, war der sogenannte Nabenabreißtest. Hierbei wird die Kraft ermittelt, die zum Abreißen der Kolbenbolzennabe notwendig ist. Auch hier lag der Wert der Kraft im Bereich gegossener Kolben. Die praktische Belastungsprüfung in einem 911-GT2-RS-Motor bestätigte letztlich die kompromisslose Qualität der additiv gefertigten Kolben – und deren Potenzial für die Steigerung von Leistung und Effizienz.

### **Additiv gefertigte Zwillingsspritzdüsen mit verbesserter Strahlqualität**

Um sowohl diesen Ringkanal als auch – wie beim Serienkolben – den Kolbenboden mit Öl zu versorgen, entstand ein weiteres Bauteil aus dem 3D-Drucker: eine zweistrahlige Ölspritzdüse aus nicht rostendem Stahl. „Die Herstellung in konventioneller Technik wäre aufgrund der Geometrie sehr aufwendig geworden“, erklärt der Porsche Ingenieur Marco Klampfl. Eine solche zweistrahlige Düse hätte eine komplexe Löt- oder Fräskonstruktion erfordert, die im Motor-Package zudem nicht einsetzbar gewesen wäre.

So konstruierten die Ingenieure eine s-förmig geschwungene, gegabelte Ölführung, die additiv aus nicht rostendem Stahlpulver gefertigt wurde. Dieses Bauteil wurde mit Rohrträger und Rückschlagventil zu einer Kolbenspritzdüse verlötet. „Bedenken, dass die Ölstrahlqualität aufgrund der schlechteren Oberfläche im 3D-Druck leidet, wurden nicht bestätigt“, stellt Marco Klampfl fest. „Im Gegenteil, in Vergleichsmessungen



konnten wir zeigen, dass die Strahlqualität durch eine weitere Funktionsintegration sogar noch gesteigert wird.“

### **Breites Anwendungsspektrum von 3D-Druck bei Porsche**

Die additive Fertigung bietet für Porsche großes Potenzial im Bereich der Produkt-Innovation, der Prozess-Innovation sowie für neue Geschäftsfelder. Beispiele für Produkt-Innovation sind Leichtbau und Funktions-Integration, für Prozess-Innovation agile Entwicklung und flexible Produktion. Neue Geschäftsfelder liegen in der Individualisierung, neuen Angeboten für Kunden und Ersatzteile. Speziell für Sonder- und Kleinserien sowie Motorsport ist diese Fertigungstechnologie für Porsche sowohl technisch als auch wirtschaftlich interessant. Additive Fertigungsverfahren sind zudem ideal, um mittels künstlicher Intelligenz (KI) konstruierte und optimierte Strukturen physisch zu fertigen.

Porsche wendet additive Fertigungsverfahren bereits in mehreren Bereichen an und engagiert sich stark in deren Weiterentwicklung. So ist seit Mai ein 3D-Druck-Bodyform-Vollschalensitz für 911 und 718, die im Rennsport eingesetzt werden, erhältlich. Die Mittelbahn des Sitzes, also Kissen- und Lehnenspiegel, stammt zum Teil aus einem 3D-Drucker. Kunden können zukünftig bei der Komfortschicht zwischen drei Härten (hart, mittel, weich) wählen. Porsche Classic lässt Kunststoff-, Stahl- und Leichtmetallteile im additiven Verfahren nachfertigen, die zuvor nicht mehr lieferbar waren. Ein Ausrückhebel für die Kupplung des Porsche 959 beispielsweise stammt als Ersatzteil heute aus dem 3D-Drucker. Derzeit stammen rund 20 nachgefertigte Teile für Porsche Klassiker bereits aus additiver Fertigung. Für alle Teile gelten mindestens die Qualitätsanforderungen des ursprünglichen Produktionszeitraums; in der Regel erfüllen sie sogar noch höhere Standards.

Das erfolgreiche Gesamtprojekt wertet Porsche als Bestätigung, dass man in Sachen 3D-Druck weiterhin auf dem richtigen Weg ist. Aufgrund der vergleichsweise hohen Kosten pro Bauteil bietet sich die additive Fertigung aktuell nur für Komponenten mit geringen Stückzahlen an, bei denen sonst zusätzlich noch teure Werkzeugkosten entstehen. Da Porsche immer wieder Kleinserien und Sondermodelle im Programm hat „denken wir beispielsweise darüber nach, auch für eine komplette Sonderserie von

Höchstleistungsmotoren Kolben serienmäßig im LMF-Verfahren herzustellen“, verrät Frank Ickinger. Denn insbesondere für hochbelastete Antriebsbauteile war die additive Fertigung bisher noch mit Fragezeichen versehen. „Anfangen von der Konstruktion über die Fertigung bis zur Endbearbeitung gibt es sehr viele neue Parameter und Stellschrauben, die es bei klassischen Produktionsmethoden nicht gibt und die wir für eine gleichbleibende Qualität sicher beherrschen müssen“, sagt der Entwicklungsingenieur. „Da gibt es für einen automobilen Serienprozess noch einiges zu tun.“

### **Viele Projekte in Entwicklung, für Nachfertigung und Performance-Steigerung**

Im Rahmen der Kooperation mit Mahle und Trumpf entstand als weiteres Bauteil ein Zusatz-Ladeluftkühler, der in das Luftrohr integriert wurde, das die Verbindung zwischen Turbolader und Ladeluftkühler herstellt. Der Ladeluftkühler verfügt dank der Möglichkeiten des 3D-Drucks über eine deutlich größere wärmeübertragende Fläche. Dadurch können Strömungsführung und Kühlung optimiert werden. Der Effekt: Die Ansaugluft wird kühler, die Motorleistung und die Effizienz steigen.

Auch im Bereich der E-Antriebe werden die Potenziale der additiven Fertigung untersucht und bewertet. „Am Beispiel eines hochintegrierten elektrischen Achsantriebes konnten wir die Potenziale am Produkt aber auch für die Entwicklungsprozesse aufzeigen. Durch die Anwendung der neuen Konstruktionsmethoden konnte die Steifigkeit des Antriebs verdoppelt und das Gewicht um circa zehn Prozent reduziert werden. Das Thermomanagement wurde zudem durch Integration eines Getriebewärmetauschers deutlich verbessert. Die Integration von zwölf Bauteilen sparte 30 Schrauben, zwölf Dichtungen und diverse andere Teile ein. Dies bringt nicht nur Vorteile im Package, sondern reduziert den Montageaufwand deutlich. Durch diese Maßnahmen konnte die Fertigungszeit um fast 20 Minuten reduziert werden“, erklärt Falk Heilfort aus der Antriebsvorentwicklung. Weiterhin entstehen durch den Einsatz von Kupfer als Druckmaterial interessante Konzepte, die für E-Maschinen hohe Potenziale bieten. Auch das Thema Kühlung kann für Pulswechselrichter und Maschinen auf ein neues Niveau gehoben werden.

„Für uns Entwickler hat der 3D-Druck eine ganze Reihe von weiteren Vorteilen“, ergänzt Frank Ickinger. Da neue Bauteile ohne formgebendes Werkzeug hergestellt werden können, verkürzen sich die Beschaffungszeiten erheblich, und es können durch den Zeitgewinn mehr Varianten erprobt werden. Unter dem Strich können die Versuchsteile letztendlich auch kostengünstiger sein, da die Werkzeugkosten entfallen. Werkzeuge selbst können ebenfalls per additiver Fertigung hergestellt werden. Eine Spritzgussform mit integrierter Kühlung erlaubt beispielsweise die Optimierung konventioneller Fertigungsverfahren hinsichtlich Taktzeit. Mit 3D-Druck können außer Metall auch Kunststoffteile und komplexe Sandkerne für Gießverfahren wie zum Beispiel für Zylinderköpfe, Kurbelgehäuse und E-Maschinengehäuse gedruckt werden, die hier im Bereich der Kühlung deutliche Vorteile bringen können.

Doch trotz der stürmischen Weiterentwicklung der additiven Fertigungsverfahren sind aktuell noch wesentliche Beschränkungen vorhanden: einerseits die Kosten, die nur bei kleineren Stückzahlen je nach Bauteil wirtschaftlich vertretbar bleiben, andererseits die Bauteilgröße. Denn in der Prozesskammer aktueller Drucker können größere Bauteile noch nicht gefertigt werden. Weiterhin gilt es, die Materialpalette sowohl im Kunststoff als auch im Metallbereich zu erweitern. Als Letztes muss sich die additive Fertigung für den automobilen (Klein-)Serienprozess hinsichtlich Qualität und Reproduzierbarkeit auch wirtschaftlich noch qualifizieren.

„Ich bin mir aber sicher, dass die additive Fertigung spätestens in zehn Jahren ein fester Bestandteil in der Automobilentwicklung und -produktion sein wird“, sagt Frank Ickinger.

*Bildmaterial im Porsche Newsroom ([newsroom.porsche.de](https://newsroom.porsche.de)) sowie auf der Porsche Presse-Datenbank ([presse.porsche.de](https://presse.porsche.de)).*