

# Integration von CEM-Extrudern für besondere Anwendungen

3D-Pellet-Extrusions-Drucker ergänzen klassische Verfahren um eine additive Fertigungsstrategie ohne Werkzeuge. AIM3D stellt nun universell einsetzbare Extruder-Entwicklungen für Drittanbieter vor, um neue Anwendungsgebiete für 3D-Schneckenextruder zu erschließen. Diese Universal-Pellet-Extruder können einerseits für Anwendungen im 3D-Druck (Großraumdrucker, Verfahrenskombinationen oder Roboter-Systeme) eingesetzt werden und andererseits aber auch für Anwendungen in der Veredelung wie Beschichten, Fügen oder Auftragen. Die Universal-Pellet-Extruder bieten somit einen umfassenden Ansatz, um etablierte Verfahren durch eine 3D-Fertigungsstrategie zu erweitern.

**A**IM3D setzt seit 2017 konsequent auf 3D-Pellet-Drucker in Abgrenzung zu FDM-3D-Druckern, die Granulate statt Filamenten verarbeiten. Deutlich günstigere Materialeinstandskosten von Granulaten und die Verwendung von Regenerat-Material bilden die Grundlage für die hohe Wirtschaftlichkeit dieser AM-Fertigungsstrategie mit 3D-Pellet-Druckern. Der Einsatz von CEM-Extrudern zur Integration in Anlagen von Drittanbietern erweitert nun das Spektrum des 3D-Drucks (sog. Universal-Pellet-Extruder). Daniel Selck, CSO von AIM3D: „Unsere bewährten CEM-Extruder zeichnen sich durch Materialvielfalt,



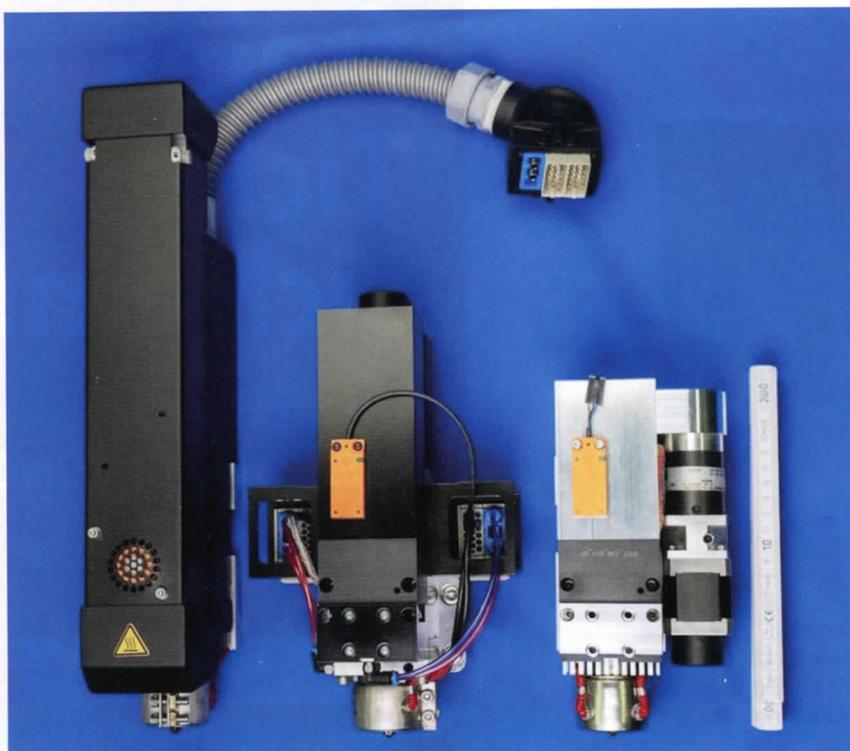
**Bild 2:** Daniel Selck, CSO von AIM3D: „Unsere bewährten CEM-Extruder zeichnen sich durch Materialvielfalt, Robustheit und Reproduzierbarkeit aus. Besonderes Merkmal beim Einsatz von polymeren Granulaten ist der Kostenvorteil im Materialeinstand gegenüber 3D-Druck mit Filamenten, aber auch die besseren mechanischen Eigenschaften. Die Übertragung der CEM-Technologie durch applikationsbezogene, separate Extruder als Universal-Pellet-Extruder erschließt universell eine Vielzahl neuer Anwendungsgebiete für Drittanbieter.“

Robustheit und Reproduzierbarkeit aus. Besonderes Merkmal beim Einsatz von polymeren Granulaten ist der Kostenvorteil im Materialeinstand gegenüber 3D-Druck mit Filamenten, aber auch die besseren mechanischen Eigenschaften. Die Übertragung der CEM-Technologie durch applikationsbezogene, separate Extruder als Universal-Pellet-Extruder erschließt universell eine Vielzahl neuer Anwendungsgebiete für Drittanbieter.“

## Entwicklung von Universal-Pellet-Extrudern von AIM3D für neue Anwendungsgebiete

Basierend auf den Patenten und Erfah-

**Bild 1:**  
Tailoring:  
Maßgeschneiderte  
3D-Extruder als  
Universal-Pellet-  
Extruder von  
AIM3D für diverse  
Anwendungsgebiete



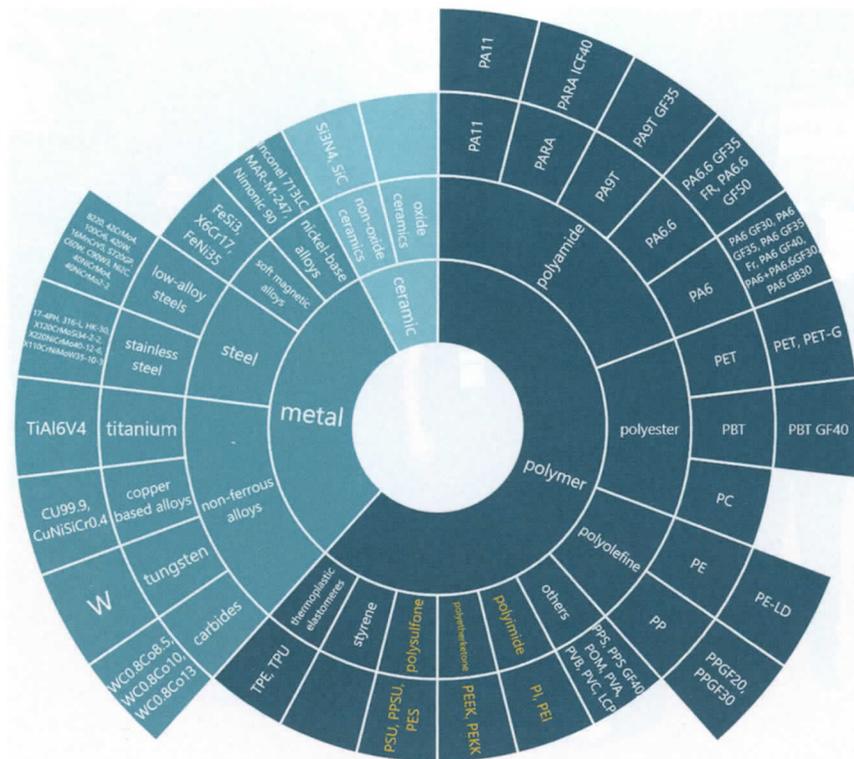
rungen von AIM3D im Bereich kompakter Schneckenextruder für hochanspruchsvolle Materialien, wie MIM (Metal Injection Moulding), CIM (Ceramic Injection Moulding), aber auch Hochtemperaturmaterialien, wie ULTEM 9085 und PEEK, können nun auch Drittanbieter CEM-Extruder einsetzen. Diese Option reicht vom Erwerb von Standard-Extrudern von AIM3D, wie dem CEM E2- und dem CEM E3-Extruder, bis zur Entwicklung von applikationsadaptierten Extrudern im Projektgeschäft. Zielsetzungen des Einsatzes von CEM-Extrudern sind Kostenreduzierung, Leichtbau, bionische Konstruktionen oder die Optimierung bestimmter Materialgruppen. Die CEM-Extruder CEM E2 und CEM E3 sind die „hauseigenen“ Extruder für die 3D-Drucker-Reihen ExAM 255 und ExAM 510 von AIM3D. Diese 3D-Schneckenextruder zeichnen sich durch ihre Materialvielseitigkeit in den Materialklassen Metall, Keramik und Kunststoffe (Multimaterial-3D-Drucker) aus, aber auch durch ihre Robustheit und hohe Austragsrate im Fertigungsalltag.

### Leistung und Bauraten von CEM-Extrudern

Die Baurate eines CEM-Extruders von AIM3D liegt aktuell bei 150 cm<sup>3</sup>/h. Perspektivisch peilt man nach Herstellerangaben Bauraten von 300 bis 600 cm<sup>3</sup>/h an. Damit will man Verarbeitungsmengen von 1.000 bis 4.000 kg pro Jahr erreichen. Diese Angaben beziehen sich auf Bauteile mit einer Qualität von max. 300 µm Schichtstärke, sowie dem Einsatz einer 0,5 mm Düse des 3D-Druckers und sind somit vergleichbar zu 3D-Bauteilen des Fused Deposition Modeling (FDM). Entscheidend für den Aufbau eines 3D-Bauteils ist vor allem die Reproduzierbarkeit, also die Wiederholgenauigkeit des Prozesses. Für Anwender ist dies ein zentraler Punkt für gleichbleibende Qualität des Bauteils gerade in der Serienfertigung von kleinen und mittleren Serien.

### Einsatzspektrum und Materialvielfalt von CEM-Extrudern

Zur Expertise von AIM3D zählen vor allem Hochleistungs-Polymere wie ULTEM<sup>TM</sup> 9085 von Sabic (PEI (Polyetherimid)) auf Granulatbasis. Die Kostenvorteile beim Einsatz von Standardgranulaten verglichen zu 3D-Druckern, die Polymere mit Filamenten verarbeiten, sind enorm. Dabei werden bei Verwendung von ULTEM<sup>TM</sup> 9085 mit der CEM-Technologie Homogenitäten vergleichbar zur Spritzgießtechnik erreicht. Zugversuche nach



DIN EN ISO 527-2 Typ 1A belegen aufgrund geringer Standardabweichungen eine hohe Prozessstabilität und Reproduzierbarkeit. Diese Merkmale werden durch die patentierte Granulat-Extruder-Technologie erreicht, die eine materialschonende Verarbeitung des Materials gewährleistet und die Degradierung der Polymere im Extruder minimiert. Der Werkstoff PEI ist zudem schwer entflammbar nach UL 94-VO. PEI eignet sich daher für hohe Einsatztemperaturen, also 180 °C dauerhaft (217 °C bis Glasübergang). Mit dem PEI-Werkstoff Sabic ULTEM<sup>TM</sup> 9085 erschließt der 3D-Pellet-Druck nun Bauteileigenschaften, die den FDM-Druck deutlich übertreffen. Im Ergebnis wird eine 100 % höhere Bruchdehnung gegenüber FDM-Druckern erzielt. PEI erschließt daher mit hoher Wirtschaftlichkeit zahlreiche Anwendungsgebiete in Automotive, Aerospace, Maschinen- und Anlagenbau, Schienenfahrzeugen und Wehrtechnik. Das Werkstoffspektrum wird aber auch durch die Verarbeitbarkeit von keramischen oder metallischen Materialien ergänzt (siehe Bild 3).

### Vielseitigkeit von Universal-Pellet-Extrudern

Durch Spezialisierung auf bestimmte Materialklassen oder Applikationen lassen sich Vorteile beim Einsatz von CEM-Extrudern hinsichtlich Austragsrate, Extruder-Gewicht oder auch bei den Fertigungskosten erzielen. Die Erweiterung des Einsatzspektrums von

Bild 3: Breites Materialspektrum für CEM-Extruder: MIM (Metal Injection Moulding), CIM (Ceramic Injection Moulding) und Hochtemperatur-Polymere



Bild 4: Das Team von AIM3D auf der Formnext 2024 in Frankfurt (Bilder: NEW AIM3D GmbH, Rostock)

CEM-Extrudern auf spezielle Applikationen oder Integration in die Anlagentechnik von Drittanbietern erschließen als Universal-Pellet-Extruder neue Anwendungsgebiete für diese bewährte und robuste Fertigungsstrategie. Dies bezieht sich auf Anwendungen des 3D-Drucks, wie 3D-Großraumdrucker (zusätzlicher Druck einer kleineren Materialkomponente), Verfahrenskombinationen (z.B. Nachrüstung eines FDM-Druckers) oder Roboter-Systeme. Zudem erschließen die CEM-Extruder Anwendungen außerhalb des 3D-Drucks. Dazu zählen Aufgaben wie Beschichten, Fügen oder Auftragen. ■

	Wert	Einheit
<b>Gewicht</b>	4,5	kg
<b>Größe</b>	140 x 110 x 120	mm
<b>Temperatur</b>	425	°C
<b>Extrusionsrate</b>	> 3	kg/h
<b>Düsen</b>	0,3 – 1,5	mm
<b>Steuerung</b>	Closed Loop	

## Hintergrundinformationen zur Verfahrenstechnik

### I. Composite Extrusion Modeling (CEM-Verfahren) im Überblick

#### Besonderheiten des CEM-Verfahrens

Das Composite Extrusion Modeling (CEM) kombiniert den etablierten Pulverspritzgießprozess (PIM) mit den Verfahrenstechniken der additiven Fertigung (AM). Dabei orientiert sich CEM in den Grundzügen sowohl am Fused Deposition Modeling (FDM), als auch am Pulverspritzgießprozess (PIM) und verknüpft beide Ansätze zu einer additiven 3D-Fertigungsstrategie.

Die Besonderheiten des CEM-Verfahrens ermöglichen einen Multimaterial-3D-Drucker für die Werkstoffklassen Polymere, Metalle und Keramiken. Zudem eröffnen sich auch a) Verfahrenskombinationen mit hybriden Bauteilen und b) Materialkombinationen (Mehrkomponententechnik).

Der besondere Charme des CEM-Verfahrens, neben den AM-typischen Geometriefreiheiten ohne Formenbau und den bionischen Konstruktionen, ist die Verwendung von zertifizierten Spritzgießgranulaten. Im Vergleich zu Filament-Druckern können a) die Aufbaugeschwindigkeiten um den Faktor 2 - 20 beschleunigt werden, b) die Materialkosten um den Faktor 25 gesenkt werden, c) Eigenspannungen im Bauteil reduzieren sich. Alle drei

Effekte schlagen sich in deutlich günstigeren Stückkosten der 3D-Bauteile nieder.

#### Fused Granulate Modeling-Verfahren (FGM)

Der Anbieter AIM3D aus Rostock (D) bietet dazu patentierte 3D-Drucker in zwei Bauraumklassen an: ExAM 255 und ExAM 510. Diese Multimaterial-3D-Drucker arbeiten nach dem Fused Granulate Modeling-Prinzip (FGM).

Das Fused Granulate Modeling-Verfahren (FGM) basiert auf dem weit verbreiteten thermoplastischen Schmelzschichtverfahren (FDM/FFF) und gehört damit zu den additiven Fertigungsverfahren und zur Gruppe der Material Extrusion (MEX), Untergruppe Fused Granulate Fabrication (Pellet-MEX).

Der FGM-Extrusions-Druckkopf verarbeitet das Granulat dabei zu einem dünnen Schmelzfaden und trägt diesen auf dem Baufeld auf. Durch die automatische Generierung von Stützmaterial lassen sich auf diese Weise auch komplexere Formen umsetzen, um Sonderfertigungen oder Prototypenfertigung in der Spritzgießtechnik nutzen zu können.

Die Besonderheit dieses Verfahrensansatzes ist das günstige Ausgangsmaterial: Im Gegensatz zu den gän-

gigen Schmelzschichtverfahren, wie dem Fused Filament Fabrication (FFF), wird beim FGM kein aufwendig produziertes Filament, sondern handelsübliches, zertifiziertes thermoplastisches Spritzgießgranulat aus der Serienfertigung verwendet.

Der Preisvorteil im Materialeinstand für ein verarbeitetes Bauteil bewegt sich je nach Werkstoffgruppe zwischen 80 und 96 %.

### Charakteristika eines 3D-CEM-Extruders

Die gehärtete Düse eines CEM-Extruders aus Spezialstahl ermöglicht einen hohen Austrag von bis zu 250 cm<sup>3</sup>/h. Sie ist schnell wechselbar und wartungsfreundlich. Das ist wichtig bei sehr abrasiven Werkstoffen, wie beispielsweise mit Glasfaser verstärkten Polymeren, Metallen oder Keramik. Ein 3D-CEM-Drucker ermöglicht bei polymeren Granulaten, verglichen zu Filament-Druckern, Aufbauraten von 2- bis 20-fach höherer Geschwindigkeit (kg/h).

### Prozesskette

Ausgangsmaterial (Feedstock) einer CEM-Fertigung sind Metall-/Keramikpulver plus thermoplastische Binderkomponenten vorgemischt als Polymer-Granulat im 3D-Drucker. Anschließend erfolgt der Bauteilaufbauprozess im Drucker. Werden Metall/Keramik verarbeitet, entsteht ein sog. „Green Part“, welcher für die Sinterereinheit entbindert werden muss um ein „Brown Part“ zu werden. Finale Nachbearbeitung ist das Sintern um die Verbindung der Metallpartikel im Bauteil zu erzeugen und die Dichte zu erhöhen mit dem Ergebnis eines fertigen „Metal Part“. In der Prozesskette muss natürlich der Volumenschwund ausbalanciert werden.

### Materialvielfalt und Materialeigenschaften

Das Alleinstellungsmerkmal eines 3D-CEM-Druckers ist die Materialvielfalt mit der Verarbeitbarkeit von Po-

lymeren, Metallen und Keramik auf einer universellen 3D-Druckanlage. Dies wird optional ergänzt durch eine Verfahrenskombination (hybride Bauteile) oder Materialkombinationen (Mehrkomponententechnik). Identisches, zertifiziertes Material anstelle von Filamenten bedeutet gleiche bis vergleichbare Eigenschaften zum Spritzguss, wie Wärmeleitfähigkeit, Medienresistent, Dämpfung, mechanische Eigenschaften, Schrumpfung oder Dichte. Ergänzend ist die Verarbeitung von langfaserverstärkten Materialien mit bis zu 3 mm Faserlänge möglich, bei einem Füllgrad von bis zu 60 %. Dies bietet enorme Vorteile im 3D-Druck, da Polyamid-Anwendungen sehr verbreitet sind und sich hier ein preisadäquates 3D-Verfahren anbietet.

Ein 3D-CEM-Drucker erzielt daher neben hohen Dichten, auch hohe Zugfestigkeiten. Für ein Polyamid (PA6 GF30) werden beim klassischen Spritzgießen Zugfestigkeiten von 110 -180 MPa erzielt. Ein 3D-CEM-Drucker, wie die ExAM 510 erreicht knapp 140 MPa. Jüngste Entwicklung ist das Voxelfill-Prinzip: Dabei werden Kammern des Bauteils zur Überwindung inhomogener Festigkeiten im 3D-Druck schachbrettartig selektiv gefüllt. Die homogenen Zugfestigkeiten die somit erzielt werden sind daher einzigartig für einen 3D-Drucker.

### Fazit

Das CEM-Verfahren eröffnet mit einem 3D-Multimaterialdrucker ein breites Anwendungsspektrum von der Kleinserie (AM) bis zu mittleren Serien von bis zu 100.000 Teilen/Jahr und die Ergänzung des Pulverspritzgießens (PIM) oder des Spritzgießens (SGT) durch vorlaufende Prototypen-Fertigung. Der Einsatz zertifizierter Granulate, Metall- und Keramikpulver bietet neben den Vorteilen bei den Stückkosten, eine ideale Strategie von Prototypen zum Einstieg in Serienfertigung. Time-to-Market heißt hier das Zauberwort.

## II. Innovativ und disruptiv: Das zweistufige Voxelfill-Verfahren im Überblick

Beim Voxelfill-Ansatz werden Bauteile nicht mehr ausschließlich schichtweise (also 2,5-dimensional) aufgebaut, sondern durch Einsatz von sogenannten Voxeln als Volumenbereiche schichtübergreifend gefüllt. Dazu wird zunächst, wie gewohnt, die Bauteilkontur als Basisstruktur über eine oder mehrere Bahnen des extrudierten Materials erzeugt. Im Inneren des Bauteils entsteht ein Gittermuster, das die Grenzen der zu füllenden Volumenelemente ähnlich zu Kavitäten definiert. Diese Struktur der zu füllenden Voxel gleicht den Waben in einem Bienenstock.

Die Voxelfill-Strategie besteht nun aus zwei Verfahrensstufen: 1. Generierung einer Gitterstruktur: Die CEM-Anlage wiederholt diesen Aufbau bis zu einer definierten Höhe der Volumenelemente, bis dann an dieser Stelle die Füllung der zuvor erzeugten Hohlräume (Voxel) durch Einspritzen des thermoplastischen Materials durch den

Extruder erfolgt.

2. Füllphase der Voxel: Nun kommt der zweite, noch wichtigere Bestandteil dieser 3D-Druckstrategie zum Einsatz: Bei der Füllung der Volumenbereiche werden nicht alle Voxel in einer Ebene gefüllt. Dies hätte erneut eine Schwachstelle in Z-Richtung in der „Naht“-Ebene zur Folge.

Durch Versetzen der Volumenelemente in halber Höhe der Voxel wird eine Art „Ziegelverbund“ im Bauteil erzeugt. Die Bruchlinie wird also zwingenderweise versetzt. Dies bewirkt eine enorme Festigkeitserhöhung und verbessert ebenso die Elastizität der Bauteile in Z-Richtung. Nebenbei reduzieren die eingebrachten Volumenelemente die Druckzeit für vollgefüllte Bauteile enorm und steigern damit ganz entscheidend die Wirtschaftlichkeit des CEM-Verfahrens.