

## Sensoreinsatz in der additiven Fertigung

Auf der Weltausstellung 1892 präsentierte Alexander Parkes den ersten Kunststoff, den er nach sich benannte: "Parkesine". Dieser ließ sich unter Hitzezufluss verformen und behielt nach der Abkühlung seine Form. Somit wird es der Kunststoffgruppe der Thermoplasten zugeordnet.

Das moderne Sinterverfahren wird seit den 1950er Jahren eingesetzt. Bei dieser Technik werden Metallteile aus Pulver unter Einfluss von Temperatur und Druck zu festen Körpern geformt. Die maschinelle Verarbeitung von Kunststoffen und Metallpulvern durch ein sinterähnliches Verfahren in Form von 3D-Druckern ließ jedoch noch lange auf sich warten.

Erst 1992 und somit 100 Jahre nach der Weltausstellung vermarktet S.Scott Crump mit seiner Firma Stratasys den weltweit ersten FDM (Fused Deposit Modeling = Schichtweiser Aufbau) Drucker. Diese Technik stellt bis heute in seiner Grundform den absoluten Standard. Auf ihr basieren die meisten gängigen Verfahren wie die Materialextrusion und die badbasierte Photopolymerisation.

## Materialextrusion

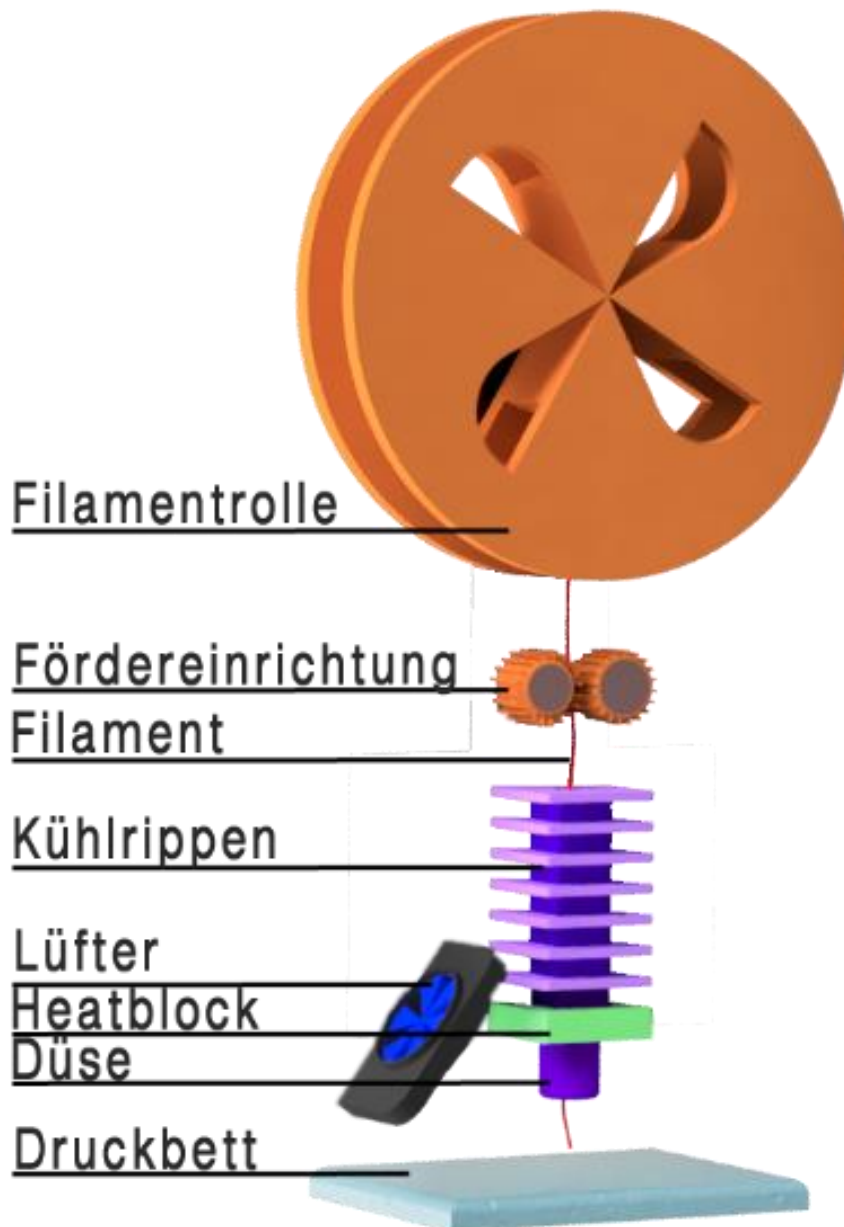


Abbildung 1: Aufbau FDM Drucker

Spezielle Kunststoffarten werden von einer Filamentrolle aus durch eine Fördereinrichtung in den Extruder gebracht. Dieser besteht aus einem Rohr, welches erst durch Kühlrippen, dann durch einen Heizblock und anschließend durch eine Düse geführt wird. Heizblock und Düse werden im Verbund oft als Hotend bezeichnet.

Das Material wird dabei auf Temperaturen bis zu 250°C aufgeheizt. Die Konsistenz ändert sich dabei von fest zu einer Stufe kurz vor der Verflüssigung, dem sogenannten Glaszustand. So wird das Filament dann durch die Düse gepresst, die eine besonders kleine Öffnung besitzt. Standard sind hier 0,4 mm. Der Kunststoff wird auf das Druckbett aufgebracht. Je nach Modell und Filamentart ist dieses auch beheizt, wenn auch nur bis zu Temperaturen von ca. 60°C. Der Lüfter sorgt für die Abkühlung. Schritt für Schritt werden so übereinanderliegende Schichten gedruckt, die sich miteinander verbinden. Diese Technik wird im Heim- sowie im Industriebereich eingesetzt. Neben Temperatursensoren, die einen ständigen Abgleich zwischen Soll und Ist gewährleisten, können noch viele weitere Sensoren die Qualität und Effizienz in der additiven Fertigung erhöhen.

Die relativ neue, jedoch sehr innovative Firma BambuLab stellt z. B. ihre Riemenspannung über eine Resonanzprozedur ein. Dabei wird eine Reihe von Vibrationssignalen ausgesendet und anschließend ausgewertet. Diese, in der Industrie verbreitete Technik ist damit auch im Heimsektor angekommen. Solch eine Auswertung kann z. B. durch Vibrationssensoren der KAS 2000 Reihe erfolgen, die der Sensorspezialist a.b.jödden anbietet.

## Neigungssensoren der KAS 2000 Reihe

Hier kommt die Methode des „Pendels“ zur Anwendung. Das heißt, eine Prüfmasse wird durch die Beschleunigung bewegt bzw. mit der Erdbeschleunigung belastet. Die Prüfmasse ist zwischen zwei Kondensatorplatten angeordnet und wird kapazitiv abgegriffen. Dieses bewährte Verfahren kommt besonders dann zur Anwendung, wenn hohe Anforderungen an die Genauigkeit gestellt und die Sensoren auch bei externen Störeinflüssen wie Temperatur, Vibration und Schock eingesetzt werden sollen.



Durch die Neigung in horizontaler Richtung (nach rechts) neigt sich der Biegebalken. Dies ergibt eine (positive) Kapazitätsveränderung, deren hohes Nutzsignal sehr rauscharm ist.



Durch die Neigung oder Beschleunigung in die entgegengesetzte Messrichtung ergibt sich ein negatives Signal. Daher spricht man von z. B. + 90° und - 90° also +/- 90°.

Abbildung 2: Aufbau Neigungssensoren KAS

Grundsätzlich können mit den gleichen Sensoren Neigung, Beschleunigung und Vibration gemessen werden. Bei der Neigungsmessung ist die Prüfmasse senkrecht, d. h. gegen den Erdmittelpunkt gerichtet. Neigt sich der Sensor, bewegt sich die Prüfmasse durch die Erdgravitation zum Erdmittelpunkt. Das Verhalten des Ausgangssignals gegenüber dem Winkel ist sinusförmig, damit ist die Auflösung bei Winkeln um  $0^\circ$  maximal.

Bei Vibration und Beschleunigung erfolgt die Montage grundsätzlich vertikal bzw. im  $90^\circ$  Winkel zur Prüfmasse.

## Badbasierte Photopolymerisation

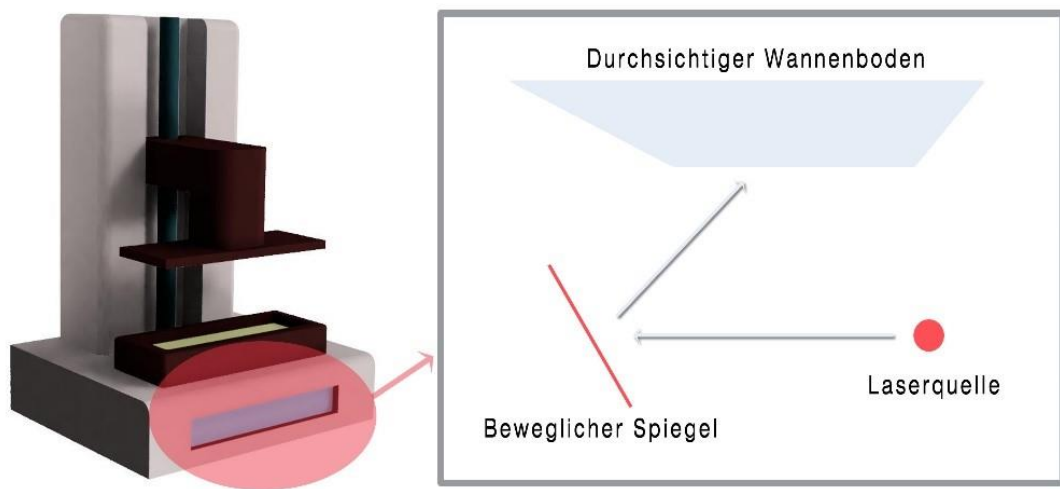


Abbildung 3: Aufbau Badbasierte Photopolymerisation

Die badbasierte Photopolymerisation benötigt ähnlich wenig Teile wie die Materialextrusion, um zu funktionieren. Hauptbestandteil ist eine Wanne (das namensgebende Bad), welche an der Unterseite nicht massiv ist. dort befindet sich eine lichtdurchlässige Folie.

In diese Wanne wird das sogenannte Resin eingefüllt. Das ist ein Gießharz, welches aus Naturharzen gewonnen wird. Am bedeutendsten sind hier die photopolymeren Eigenschaften, also das Aushärten des Stoffes durch UV- Strahlung, einem Licht im ultravioletten Spektrum.

Demzufolge ist das zweite Bauteil dieses Systems eine Lichtquelle, die genau in diesem Spektrum arbeitet. Sie befindet sich unter dem Bad und leuchtet durch die Folie. Durch verschiedene Techniken werden immer nur Teilbereiche des Resins ausgehärtet.

Das dritte Bauteil ist ein Stempel, der von oben in das Bad gefahren wird. Wenn nun eine Schicht des Harzes belichtet wurde, bewegt sich der Stempel minimal in Z-Richtung, also noch oben. Dann wird eine weitere Schicht ausgehärtet, folgend fährt der Stempel wieder eine Schicht weiter nach oben. So entsteht nach und nach ein Modell, welches verkehrt herum am Stempel hängt und langsam aus der Wanne gezogen wird.

Manche Systeme arbeiten genau umgekehrt: Die Lichtquelle befindet sich über dem Bad, der Stempel darunter. Eine dünne Schicht Resin wird auf den Stempel aufgetragen und ausgehärtet. Dann bewegt sich dieser eine Schicht nach unten. So entsteht das gleiche Modell wie im "Upside down" – Verfahren, die Belastung ist jedoch nicht so groß, da das Objekt nicht am Stempel kleben muss, um hochgezogen zu werden. Im Gegenzug ist die Technik des Harzauftrags komplizierter.

## Wegaufnehmer der SM34 Reihe

Auch hier können Vibrations- bzw. Neigungssensoren eingesetzt werden. Denn wird das Resin zu stark gekippt, kann es nicht mehr richtig belichtet werden. Natürlich passiert dies, zumindest in einer regulären Umgebung, eher selten. Der Abgleich der Z-Achse ist weitaus bedeutender. Dies kann über den antreibenden Motor des Lineartriebs selber geschehen, wenn dieser dazu in der Lage ist. Eine andere, externe Möglichkeit bieten induktive Wegaufnehmer.

Die Technik dieser Wegsensoren basiert auf dem Prinzip der Differentialdrossel (induktive Halbbrücken).

### Induktive Halbbrücke

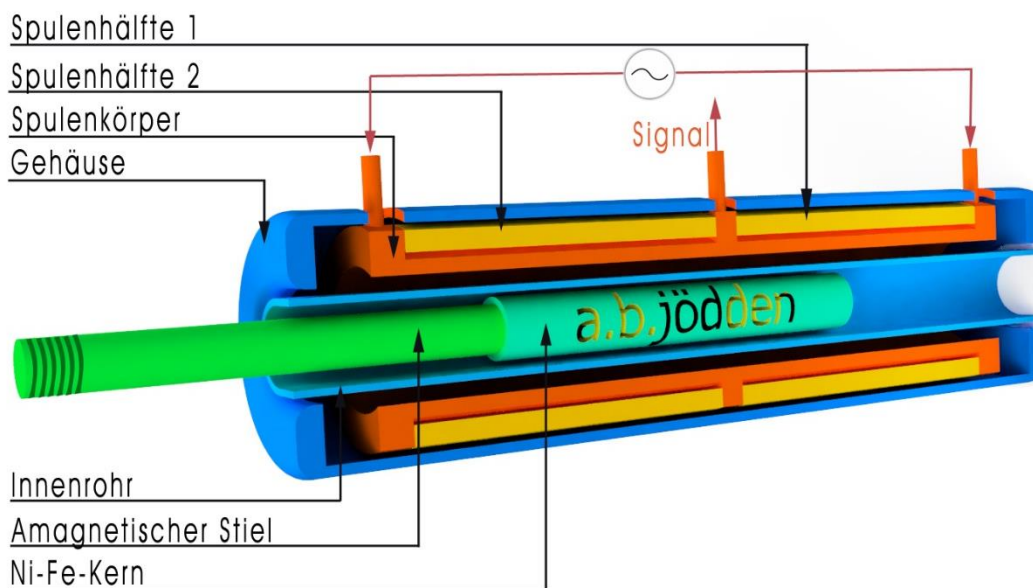


Abbildung 4 Funktionsweise induktive Halbbrücke

Innerhalb eines Spulenkörpers wird ein NiFe-Kern axial bewegt. Die jeweilige Position des Kerns bewirkt eine entsprechende Induktivitätsverteilung in den beiden Spulenhälften, die durch eine externe oder integrierte Elektronik in ein wegproportionales, analoges Signal umgewandelt wird.

Diese einfache Art der absoluten Wegerfassung ermöglicht einen robusten, zuverlässigen Aufbau des Sensorelementes. Der Einbau in ein Edelstahl- oder NiFe-Gehäuse mit anschließendem Komplettverguss ergibt einen analogen Sensor der im Temperaturbereich zwischen  $-40^{\circ}\text{C}$  und  $+125^{\circ}\text{C}$  eingesetzt werden kann, der problemlos die Schutzart IP68 (untertauchen bis zu 50 m) erreicht und bis 250 g schock- und vibrationsfest ist.

Für den Einsatz in Drucksystemen bietet sich beispielsweise ein induktiver Wegaufnehmer der Serie SM34 mit abgestimmter, integrierter Elektronik an. Mit einem Durchmesser von 10 mm erfasst er Messwege bis 20 mm. Die Auswertung erfolgt durch einen Microcontroller. Dieser wertet die Induktivitätsänderung aus. Die Betriebsspannungen von 5 oder  $24\text{V}_{\text{DC}}$  und der geringe Betriebsstrom von nur typ. 3 mA ermöglichen den Einsatz auch mit bordinternen Aufbauten ohne zusätzliche Versorgung. Das wegproportionale, analoge Ausgangssignal von 4 - 20 mA oder 0 -  $10\text{V}_{\text{DC}}$  kann von vielen Auswerteeinheiten direkt verarbeitet werden. Des Weiteren sind digitale Schnittstellen z. B. RS232 oder PWM-Signale möglich. Damit lässt sich die Z-Achse intern und extern kontrollieren. Weitere Sensoren mit größeren Messwegen sind erhältlich.

## 3D macht Druck

Während das Unternehmen a.b.jödten aus Krefeld die Sensorik für allerlei zukunftsorientierte Projekte bietet, beschäftigen sich deren Mitarbeiter auch privat mit der additiven Fertigung. So erschien in diesem Jahr das Buch „3D macht Druck“, welches eine Übersicht über alle nach DIN Norm 52900:2021 klassifizierten Druckverfahren gibt und Tipps und Tricks zur Nutzung dieser anbietet.



Alle Abbildungen: Michael Heßhaus/a.b.jödden gmbh

Freigegeben für diesen Bericht

Linkedin:

<https://www.linkedin.com/company/a-b-j%C3%B6dden-gmbh>

Ansprechpartner:



Michael Heßhaus

Wirt.-Ing. (B.Sc.)

Marketing und Vertrieb

[m.hesshaus@abjoedden.de](mailto:m.hesshaus@abjoedden.de)

[www.abjoedden.de](http://www.abjoedden.de)



Europark Fichtenhain A 13a  
47807 Krefeld

Fon 0049 2151 516259 15

Fax 0049 2151 516259 20

Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Bernd Jödden

Amtsgericht Krefeld HRB 6825, USt-IdNr. DE 812752817