

Additive Manufacturing, 3D-Druck



Retortenofen NR 150/11 zum Spannungsarmglühen von Metall-Bauteilen nach dem 3D-Druck

Die additive Fertigung ermöglicht die direkte Umwandlung von Konstruktionsdateien in voll funktionsfähige Objekte. Über den 3D-Druck werden Objekte aus Metall, Kunststoff, Keramik, Glas, Sand oder anderen Materialien schichtweise aufgebaut, bis sie ihre fertige Gestalt erreicht haben.

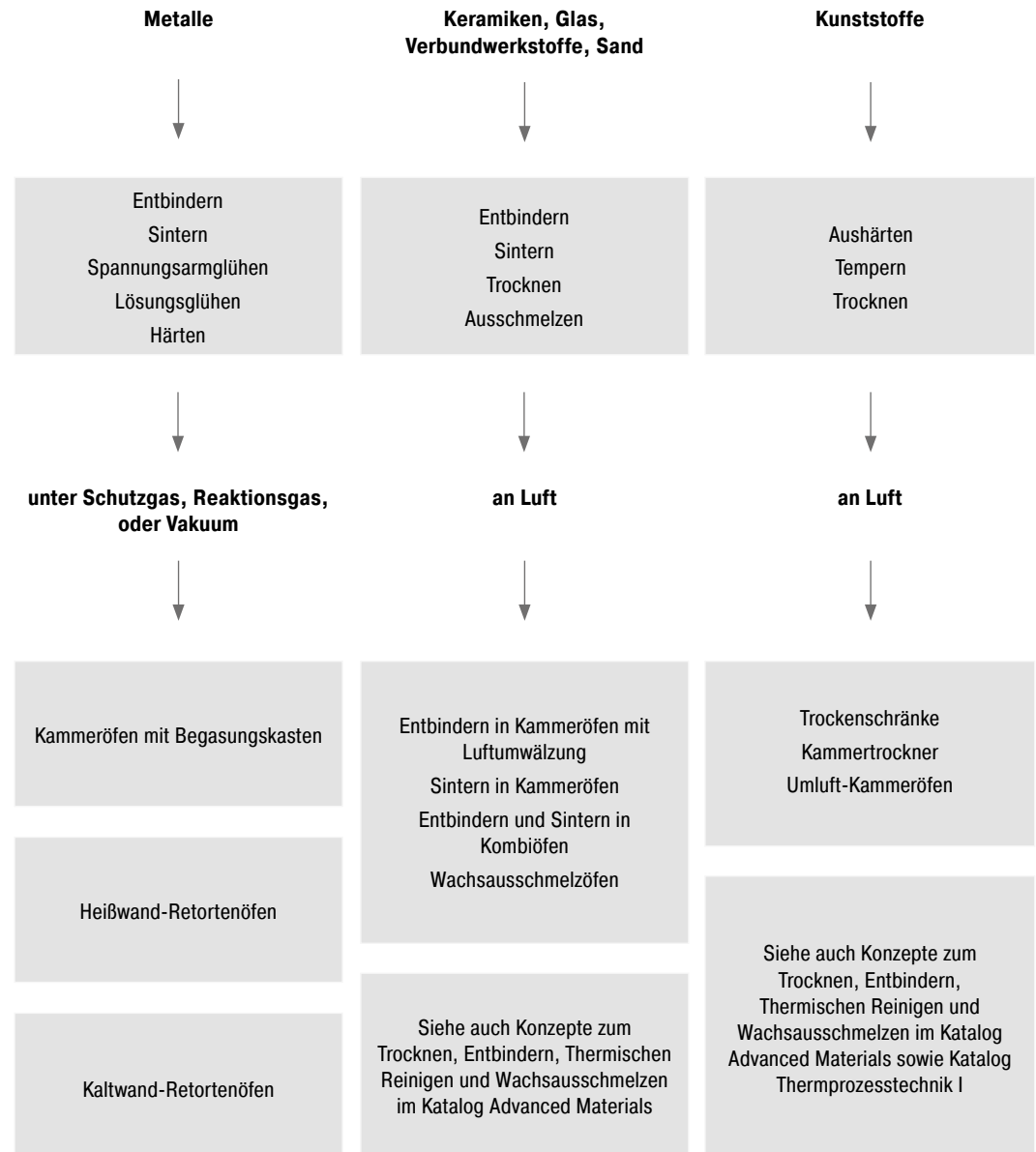
Je nach Material werden die Schichten mittels eines Bindersystems oder durch Lasertechnologie miteinander verbunden.

Viele Verfahren der additiven Fertigung erfordern eine anschließende Wärmebehandlung der hergestellten Bauteile. Die Anforderungen an die Öfen zur Wärmebehandlung hängen ab vom Bauteilwerkstoff, der Arbeitstemperatur, der Atmosphäre im Ofen und natürlich vom additiven Fertigungsverfahren.

Nabertherm bietet Lösungen vom Aushärten der Binder zur Erhaltung der Grünfestigkeit bis hin zum Sintern im Vakuumofen an, in denen die Objekte aus Metall spannungsarm gegläht bzw. gesintert werden.



Trockenschrank TR 240 zum Trocknen von Pulvern



Kompakter Rohrofen zum Sintern oder Spannungsarmglühen nach dem 3D-Druck unter Schutzgas oder Vakuum



HT 160/17 DB200 für das Entbindern und Sintern von Keramiken nach dem 3D-Druck

Auch begleitende bzw. vorgelagerte Prozesse der additiven Fertigung erfordern den Einsatz eines Ofens, um die gewünschten Produkteigenschaften zu erzielen wie z.B. das Wärmebehandeln oder Trocknen der Pulver.

Bei der additiven Fertigung unterscheidet man grundsätzlich zwischen binderfreien und binderhaltigen Druckverfahren. Je nach Herstellungsverfahren kommen für die nachgeschaltete Wärmebehandlung unterschiedliche Ofentypen zum Einsatz.

Neben den oben aufgeführten Faktoren haben auch die der Wärmebehandlung vorgelagerten Prozesse einen Einfluss auf das Gesamtergebnis. Ein entscheidendes Kriterium für eine gute Oberflächengüte ist unter anderem auch die fachgerechte Reinigung der Bauteile vor der Wärmebehandlung.

Das gilt auch für Prozesse, die unter Vakuum durchgeführt werden oder in Öfen, die eine hohe Anforderung an einen geringen Restsauerstoffgehalt haben. Für diese Öfen ist es wichtig, dass diese regelmäßig gereinigt und gewartet werden. Geringste Leckagen oder Verunreinigungen können zu einem unzureichenden Ergebnis führen.



Gedrucktes Bauteil aus Aluminium, wärmebehandelt im Modell N 250/85 HA (Hersteller CETIM CERTEC auf SUPCHAD Plattform)

Binderfreie Systeme

Bei der binderfreien additiven Fertigung werden die Bauteile in den meisten Fällen mit dem Laserschmelzverfahren hergestellt.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen typische am Markt verfügbare Materialien und Bauplattformgrößen von laserbasierten Systemen mit Vorschlägen für Ofengrößen für die jeweils notwendige Temperatur und Atmosphäre im Ofen.

Bauteile aus Aluminium

Die Wärmebehandlung von Aluminium erfolgt in der Regel an Luft bei Temperaturen zwischen 150 °C und 450 °C.

Auf Grund der sehr guten Temperaturnormmäßigkeit eignen sich die Umluft-Kammeröfen für Prozesse wie z.B. das Anlassen, Auslagern, Spannungsarmglühen oder Vorwärmen.

Beispiele für max. Bauplattformgrößen	Umluft-Kammeröfen siehe Seite 60 bis 450 °C ¹
210 x 210 mm	NA 30/45
280 x 280 mm	NA 60/45
360 x 360 mm	NA 120/45
480 x 480 mm	NA 250/45
600 x 600 mm	NA 500/45

¹auch als 650 °C und 850 °C verfügbar

Bauteile aus Edelstählen oder Titan

Die Wärmebehandlung von einigen Edelstählen oder Titan erfolgt häufig bei Temperaturen unterhalb von 850 °C unter Schutzgasatmosphäre.

Durch den Einsatz eines Begasungskastens mit der entsprechenden Prozessgasversorgung kann ein Standardofen zu einem Schutzgasofen aufgerüstet werden. Je nach Art des Prozessgases, Vorspülrate, Prozessspülrate und Zustand des Kastens können Restsauerstoffgehalte von bis zu 100 ppm erzielt werden.

Die im Folgenden genannten Umluft-Kammeröfen mit eingesetztem Begasungskasten haben einen Temperaturarbeitsbereich zwischen 150 °C bis 850 °C. Wird der Begasungskasten aus dem Ofen herausgenommen, können ebenfalls Bauteile aus Aluminium an Luft wärmebehandelt werden.

Beispiele für max. Bauplattformgrößen	Umluft-Kammeröfen siehe Seite 60 bis 850 °C mit Begasungskasten
100 x 100 mm	N 30/85 HA
200 x 200 mm	N 60/85 HA
280 x 280 mm	N 120/85 HA
400 x 400 mm	N 250/85 HA
550 x 550 mm	N 500/85 HA



Umluft-Kammerofen NA 250/45 für Wärmebehandlungen an Luft



Umluft-Kammerofen N 250/85 HA mit Begasungskasten für Wärmebehandlungen unter Schutzgasatmosphäre



Heißwand-Retortenofen NRA 150/09 für Wärmebehandlungen unter Schutzgasatmosphäre

Bei empfindlichen Werkstoffen, wie beispielsweise Titan, ist es möglich, dass es auf Grund des Restsauerstoffgehaltes im Begasungskasten zu einer Oxidation am Bauteil kommt.

In diesen Fällen kommen Heißwand-Retortenöfen mit einer Maximaltemperatur von 950 °C bzw. 1100 °C zum Einsatz. Diese gasdichten Retortenöfen eignen sich hervorragend für Wärmebehandlungsprozesse, die eine definierte Schutz- oder Reaktionsgasatmosphäre erfordern. Auch für die Wärmebehandlung unter Vakuum bis 600 °C lassen sich die kompakten Modelle auslegen. Mit diesen Öfen wird das Risiko einer Oxidation am Bauteil deutlich reduziert.

Beispiele für max. Bauplattformgrößen	Heißwand-Retortenöfen siehe Seite 16
180 x 180 mm	NR(A) 17/..
280 x 280 mm	NR(A) 50/..
400 x 400 mm	NR(A) 150/..



Zugstäbe aus Titan nach der Wärmebehandlung im NR 50/11 unter Argonatmosphäre



Kammerofen LH 60/12 mit Begasungskasten für Wärmebehandlungen unter Schutzgasatmosphäre

Bauteile aus Inconel oder Kobalt-Chrom

Die Wärmebehandlung von Materialien wie Inconel und Kobalt-Chrom erfolgt in der Regel bei Temperaturen oberhalb von 850 °C bis zu Temperaturen von 1100 °C bis 1150 °C. Für diese Prozesse können verschiedene Ofenfamilien zum Einsatz kommen. In vielen Fällen reichen die Kammeröfen der Baureihen LH .. oder NW .. mit eingesetztem Begasungskasten aus, die ein hervorragendes Preis-Leistungsverhältnis bieten. Beide Ofengruppen sind für Temperaturen zwischen 800 °C und 1100 °C geeignet.

Beispiele für Bauplattformgrößen	Kammerofen siehe Seite 54 und 58 bis 1100 °C mit Begasungskasten
100 x 100 mm	LH 30/12
250 x 250 mm	LH 120/12
400 x 400 mm	LH 216/12
420 x 520 mm	NW 440
400 x 800mm	NW 660



Kaltwand-Retortenofen VHT 100/12-MO für Prozesse im Hochvakuum

Für Prozesse unter Schutzgas oberhalb 1100 °C oder im Vakuum oberhalb von 600 °C kommen Kaltwand-Retortenöfen zum Einsatz.

Beispiele für Bauplattformgrößen	Kaltwand-Retortenöfen siehe Seite 26
100 x 100 mm	VHT 8/12-MO
250 x 250 mm	VHT 40/12-MO
400 x 400 mm	VHT 100/12-MO

Binderhaltige Systeme

Im Pulverdruckverfahren werden zum Aufbau des Bauteils organische Binder eingesetzt, die während der Wärmebehandlung verdampfen. Die Bauteile können z.B. aus Keramik, Metall, Glas oder Sand sein. In Abhängigkeit von der Verdampfungsmenge kommen Öfen mit abgestuften Sicherheitssystemen zum Entbindern und Sintern zum Einsatz.

Entbindern und Sintern an Luft

Diese Tabelle zeigt Beispiele von Öfen mit entsprechender Sicherheitstechnik zum Entbindern unter Luft und den passenden Sinteröfen für hohe Temperaturen, die z.B. für das Sintern von vielen Oxidkeramiken geeignet sind.

Bauraumgrößen bis	Entbinderungsöfen ¹ siehe Katalog Advanced Materials	Sinteröfen ² siehe Katalog Advanced Materials
100 x 100 x 100 mm	L 9/11 BO	LHT 4/16
200 x 200 x 150 mm	L 9/11 BO	HT 40/16
300 x 400 x 150 mm	L 40/11 BO	HT 64/17

¹ Kennwerte für Entbinderung wie max. Organikmenge, Verdampfungsrate sind zu beachten

² Die Öfen sind mit unterschiedlichen max. Ofenraumtemperaturen verfügbar



Muffelöfen L 40/11 BO mit passivem Sicherheitssystem und integrierter Nachverbrennung zum thermischen Entbindern an Luft

Entbindern und Sintern unter Schutz- bzw. Reaktionsgas oder im Vakuum

Um metallische Bauteile, die mittels eines binderhaltigen Systems gedruckt wurden, vor Oxidation zu schützen, werden die beiden Prozessschritte Entbindern und Sintern unter Ausschluss von Sauerstoff durchgeführt.

Das Entbindern erfolgt in Abhängigkeit vom Material und dem Bindersystem entweder unter einem nichtbrennbaren Schutzgas (IDB), unter Wasserstoff (H₂) oder auch katalytisch in einem Gemisch aus Salpetersäure und Stickstoff. Um diese Prozesse sicher ablaufen zu lassen, kommen angepasste Sicherheitssysteme zum Einsatz.

Die Tabelle zeigt Beispiele für Öfen, die mit einer entsprechenden Sicherheitstechnik ausgerüstet werden können. Dabei dient der Heißwand-Retortenofen als Entbinderofen und der Kaltwand-Retortenofen als Sinterofen. Je nach Anwendung ist es unter Umständen auch möglich, einen Ofen für beide Prozesse zu nutzen.

Bauraumgrößen bis	Heißwand-Retortenofen ¹ siehe Seite 16	Kaltwand-Retortenofen ² siehe Seite 26
150 x 150 x 150 mm	NRA 17/09	VHT 8/16-MO
300 x 300 x 300 mm	NRA 50/09	VHT 40/16-MO
400 x 400 x 400 mm	NRA 150/09	VHT 100/16-MO

¹ Sicherheitssysteme siehe Seiten 18

² Bauteile ohne Restbinder. Bei geringem Restbindergehalt empfehlen wir einen Prozesseinsatzkasten



Hochtemperaturofen HT 64/17 DB100 mit passivem Sicherheitssystem zum Entbindern und Sintern an Luft

Die oben in den Tabellen genannten Modelle stellen nur einige Beispiele dar.