

# Additive Fertigung



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



Trockenschrank TR 240 zum Trocknen von Pulvern



Kammertrockner KTR 2000 zum Aushärten von Bindern nach dem 3D-Druck



Kompakter Rohröfen 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

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.

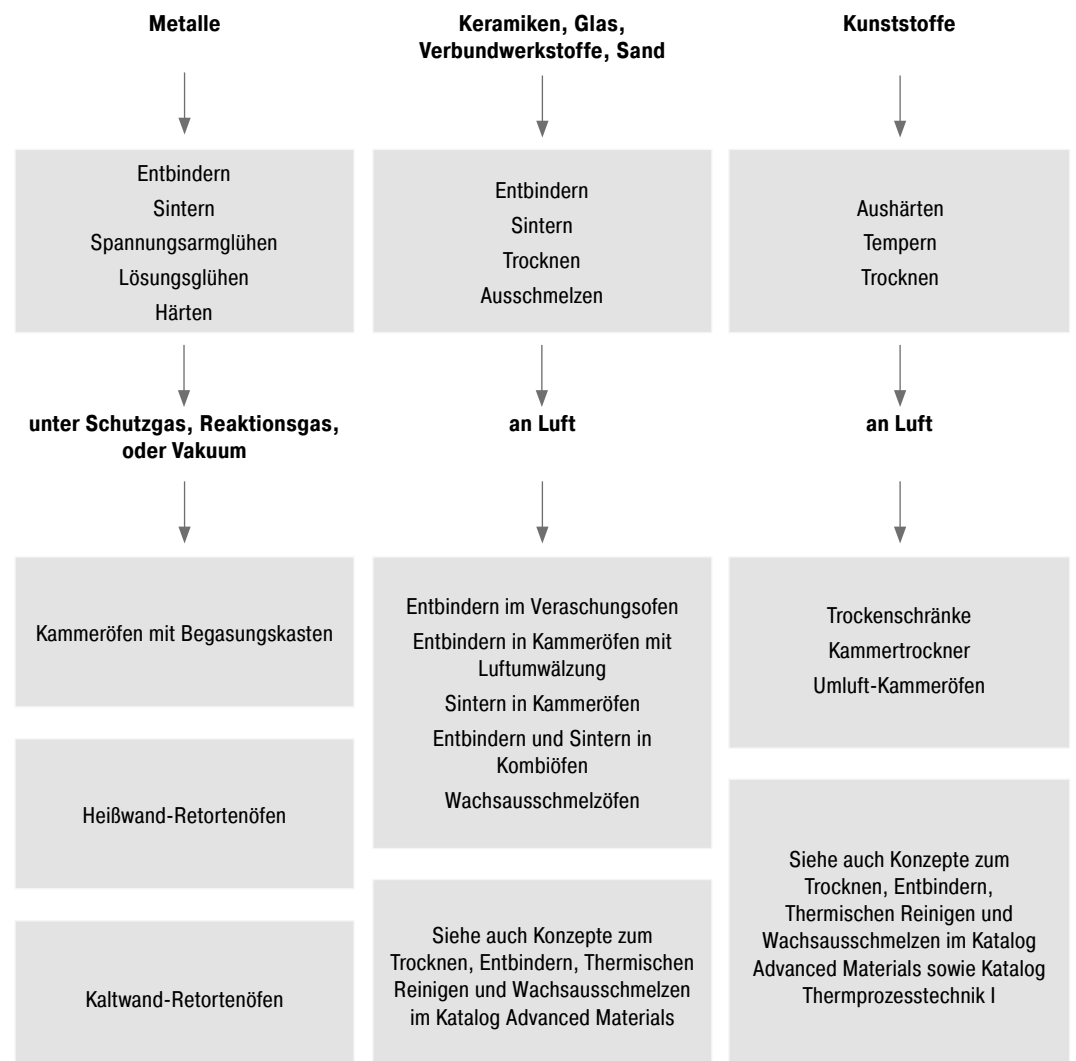
Je nach Material werden die Schichten mittels eines Bindersystems oder durch Lasertechnologie miteinander verbunden.

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.

Neben der richtigen Auswahl des Ofens und den Prozessparametern 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 ist insbesondere für die Prozesse wichtig, die unter Vakuum durchgeführt werden oder in Öfen, die eine hohe Anforderung an einen geringen Restsauerstoffgehalt haben. Geringste Leckagen oder Verunreinigungen können zu einem unzureichenden Ergebnis führen. Aus diesem Grund ist eine regelmäßige Reinigung und Wartung des Ofens nicht zu vernachlässigen.

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



## Binderfreie Systeme

Bei der binderfreien additiven Fertigung werden die Bauteile in den meisten Fällen mit dem pulverbasierten Laserschmelzverfahren auf einer Bauplattform hergestellt. Es haben sich mittlerweile auch andere Herstellungsverfahren am Markt etabliert, die ebenfalls eine entsprechende Wärmebehandlung nach dem Fertigungsprozess erforderlich machen.

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 Temperaturgleichmäßigkeit eignen sich die Umluft-Kammeröfen für Prozesse wie z.B. das Anlassen, Auslagern, Spannungsarmglühen oder Vorwärmen.



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

Beispiele für max. Bauplattformgrößen	Umluft-Kammeröfen siehe Seite 42 bis 450 °C <sup>1</sup>
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

<sup>1</sup>auch als 650 °C und 850 °C verfügbar



Umluft-Kammerofen NA 250/45 für Wärmebehandlungen an Luft

### 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 oder Stahl an Luft wärmebehandelt werden.

Beispiele für max. Bauplattformgrößen	Umluft-Kammeröfen siehe Seite 42 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

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



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 900 °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 14
200 x 200 mm	NR 20/11 und NR(A) 17/..
300 x 300 mm	NR 80/11 und NR(A) 50/..
300 x 500 mm	NR 80/11 und NR(A) 75/..
400 x 400 mm	NR 160/11 und NR(A) 150/..
400 x 800 mm	NR 160/11 und NR(A) 300/..



Zugstäbe aus Titan nach der Wärmebehandlung im NR 50/11 unter Argon-atmosphäre



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 <sup>1</sup> siehe Seite 22
100 x 100 mm	VHT 8/..
250 x 250 mm	VHT 40/..
350 x 350 mm	VHT 70/..
400 x 400 mm	VHT 100/..

<sup>1</sup>Erhältlich mit unterschiedlichen Heizermaterialien und max. Ofentemperaturen



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 30 und 34 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 800 mm	NW 660

## 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.

Auf den Seiten 10 und 11 sind die unterschiedlichen Konzepte in einer Entscheidungsmatrix dargestellt und auf den dann folgenden Seiten erklärt.

Bauraumgrößen bis (b x t x h)	Entbinderöfen <sup>1</sup> siehe Katalog Advanced Materials	Sinteröfen <sup>2</sup> 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

<sup>1</sup> Kennwerte für Entbinderung wie max. Organikmenge, Verdampfungsrate sind zu beachten

<sup>2</sup> Die Öfen sind mit unterschiedlichen max. Ofenraumtemperaturen verfügbar



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



Hochtemperaturofen HT 64/17 DB100 mit passivem Sicherheitssystem zum Entbindern und Sintern 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 nicht brennbaren Schutzgas (IDB), unter Wasserstoff (H<sub>2</sub>) 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 (b x t x h)	Heißwand-Retortenöfen <sup>1</sup> siehe Seite 14	Kaltwand-Retortenöfen <sup>2,3</sup> siehe Seite 22
100 x 180 x 120 mm	NRA 17/..	VHT 8/..
180 x 320 x 170 mm	NRA 17/..	VHT 25/..
230 x 400 x 220 mm	NRA 50/..	VHT 40/..
300 x 450 x 300 mm	NRA 50/..	VHT 70/..
400 x 480 x 400 mm	NRA 150/..	VHT 100/..

<sup>1</sup> Sicherheitssysteme siehe Seite 16 und 19, max. Ofenraumtemperaturen siehe Seite 14

<sup>2</sup> Erhältlich mit unterschiedlichen Heizmaterialien und max. Ofentemperaturen

<sup>3</sup> Mit Prozesseinsatzkasten für das Restentbindern



Retortenofen NRA 40/02 CDB mit Beistellschrank für die Säurepumpe