

Vakuum-, Reaktiv- und Schutzgas- Hochtemperaturanlagen bis 3000 °C





SCIENCE FOR SOLIDS

WÄRMEBEHANDLUNG
ELEMENTARANALYSE
MATERIALOGRAPHIE &
HÄRTEPRÜFUNG
ZERKLEINERN & SIEBEN
PARTIKELCHARAKTERISIERUNG

Als Teil der VERDER-Gruppe setzt der Geschäftsbereich VERDER SCIENTIFIC Maßstäbe in der Entwicklung, Fertigung und dem Vertrieb von Labor- und Analysegeräten. Diese kommen in den Bereichen Qualitätskontrolle, Forschung und Entwicklung für die Probenvorbereitung und Analytik von Feststoffen zum Einsatz.

Leading Heat Technology

Portfolio

Die Carbolite Gero GmbH & Co. KG produziert eine große Bandbreite an Hochtemperaturanlagen im Bereich zwischen 30 °C und 3000 °C. Die Wärmebehandlung kann unter Vakuum, Partialdruck oder Überdruck erfolgen. Mögliche Gase sind Inertgase wie Stickstoff oder Argon sowie Reaktivgase wie Sauerstoff und Wasserstoff. Das Portfolio umfasst Anlagen im Labormaßstab für die Forschung und Entwicklung bis hin zu Großanlagen für die Produktion.

Geschichte

Die Anlagen der Carbolite Gero GmbH & Co. KG werden an zwei Standorten produziert. Ein Standort befindet sich nahe Sheffield, UK, an dem Carbolite seit 1938 Öfen bis zu einer maximalen Arbeitstemperatur von 1800 °C herstellt. Der zweite Produktionsstandort befindet sich in Neuhausen, Deutschland, an dem Gero seine Hochtemperaturanlagen seit 1982 baut. Der Name Gero leitete sich aus den Namen der beiden Gründer- Roland Geiger und Gerd Lamprecht- ab. Beide waren ursprünglich auf den Bau von Kristallziehanlagen spezialisiert. Basierend auf dem Wissen der anspruchsvollen Kristallziehsysteme, wurden Hochtemperaturanlagen bis 3000 °C unter verschiedenen Atmosphären entwickelt.

Carbolite Gero

Die Carbolite Gero GmbH & Co. KG wurde im Januar 2015 gegründet und ist zusammen mit den Firmen Eltra, Retsch und Retsch Technology Teil der Verder Scientific Division. Carbolite Gero beschäftigt 250 Angestellte und produziert für Kunden aus der ganzen Welt auf einer Gesamtfläche von 7400 m² bis zu 5000 Anlagen pro Jahr. Die Hochtemperaturanlagen sind in Standardausführung mit Kammervolumina von 3 l bis 14000 l erhältlich.

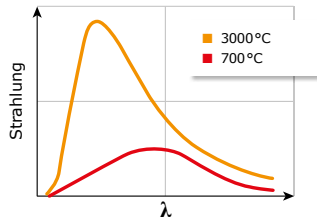
Erfahrung im Bereich Hochtemperaturanlagen

Carbolite Gero hat eine breite Auswahl an Standardgeräten und besitzt darüber hinaus umfangreiche Erfahrung in der Planung und Herstellung von maßgeschneiderten Öfen, mit denen anspruchsvolle Prozesse realisiert werden können. Jedes neue Projekt ist für Carbolite Gero eine Herausforderung, um eine innovative und wirtschaftliche Lösung zu finden. Mitarbeiter aus unterschiedlichen akademischen und technischen Disziplinen verfügen über eine jahrzehntelange Erfahrung im Bereich der Wärmebehandlung. Für Vorversuche steht ein Kundenzentrum zur Verfügung, in dem verschiedenste Wärmebehandlungen durchgeführt werden können.

Carbolite Gero Produkte sind weltweit über ein umfangreiches Netzwerk an Tochtergesellschaften und Vertretungen verfügbar. Geschulte Servicetechniker stehen für Wartungen, Kundendienst und die technische Beratung zur Verfügung. Hilfe bei der Wahl des richtigen Produkts bietet ein Team an hochqualifizierten Ingenieuren sowohl an den Produktionsstandorten in England und Deutschland als auch an den weltweiten Vertriebsstandorten.

www.carbolite-gero.com





	Modell	Seite
Einführung		
Kurze Wärmelehre		06
Vakuumtechnik		08
Auswahlkriterien für den Ofen		10
Index		82

30 °C - 1300 °C

Die Öfen in diesem Temperaturbereich sind nach aufsteigender Maximaltemperatur angeordnet. Angefangen vom EBO, der mit heißem Wasser bis zu 120 °C aufgeheizt werden kann. Der EBO ist eine Anlage für die katalytische Entbinderung. Alle weiteren Öfen werden mit CrFeAl-Heizdraht auf eine maximale Temperatur von 1300 °C aufgeheizt und können für verschiedene Anwendungen eingesetzt werden. Für jede Anlage wird eine mögliche Anwendung kurz beschrieben.



Entbinderungs-, Glüh-, Löt- und Rohröfen		
Entbinderungsöfen bis 120 °C	EBO	14
Glühöfen bis 1100 °C	GLO	16
Vertikaler Lötöfen bis 1050 °C	VL	20
Rohröfen bis 1350 °C	FHA	22
Klapprohröfen bis 1300 °C	FST	23
Acht-Zonen-Rohröfen bis 1300 °C	AZ	24

1300 °C - 3000 °C

In diesem Temperaturbereich kommen MoSi₂-Heizelemente für eine maximale Temperatur bis 1800 °C in Rohröfen oder Heißwandöfen zum Einsatz. Alle weiteren Öfen sind sogenannte Kaltwandöfen, da ein wassergekühlter Kessel die Heizkassette umschließt. Eine Maximaltemperatur von 3000 °C ist erreichbar. Für jedes System wird ein typischer Wärmebehandlungsprozess kurz beschrieben.



Rohröfen		
Rohröfen, Horizontal bis 1800 °C	HTRH	28
Rohröfen, Vertikal bis 1800 °C	HTRV	30
Klapprohröfen, Vertikal bis 1700 °C	HTRV-A	31
Wasserstoffrohröfen bis 1600 °C	HTRH-H ₂	32

Kammeröfen		
Kammeröfen bis 2200 °C	HTK	34
Kammeröfen bis 1800 °C	HTKE	40

Haubenöfen		
Haubenöfen bis 2200 °C	HBO	42
Haubenöfen bis 1800 °C	HB	46

Bottom-Loader-Öfen		
Bottom-Loader-Öfen bis 2200 °C	HTBL	48

Laboröfen		
Laboröfen bis 3000 °C	LHT	52

Anwendungsspezifische Öfen		
Bridgman-Kristallzuchtanlage bis 1800 °C	BV-HTRV	56
Partialdruck-Sinteröfen bis 1450 °C	PDS	58

Seite

Sonderanfertigungen und Optionen

In diesem Kapitel werden einige Sonderanfertigungen beschrieben. Die Öfen für das Metal-Injection-Molding (MIM) sind zum Entbindern und Sintern geeignet. Die Öfen der Serie 3000 basieren auf den Standard-LHTG- und HTK GR-Modellen mit der zusätzlichen Ausstattung für Pyrolyseprozesse und 3000°C Maximaltemperatur. Schließlich werden spezielle Kristallzuchtanlagen und eine kleine Auswahl an kundenspezifischen Sonderöfen, deren Spezifikationen und Anwendungen vorgestellt.



Metal-Injection-Moulding (MIM)

Anlagen zum Entbindern und Sintern	62
------------------------------------	----

Graphitisierung SERIE 3000

Labor- und Kammeröfen bis 3000°C	64
----------------------------------	----

Kristallzuchtanlagen

Lösungen Kristallzuchtung nach der Bridgman-Methode	68
Lösungen Kristallzuchtung nach der Stockbarger-Methode	70
Zubehör für die Kristallzucht	71

Kundenspezifische Anlagen

Supraleiter Produktionsöfen für das CERN	72
Laboröfen mit zwei Heizkassetten	73
Langer F-Rohrofen	73

Optionen

Programmierbare Temperaturregler: Mess- und Regeltechnik	74
Zubehör und Optionen	76
Zubehör und Optionen für Rohröfen	80

Disclaimer/Haftungsausschluss

Durch die stetige Weiterentwicklung unserer Produkte ist es möglich, dass sich Änderungen zu den Informationen in dem vorliegenden Katalog ergeben. Carbolite behält sich das Recht vor, technische Spezifikationen jederzeit und ohne vorherige Ankündigung zu ändern,

sofern die Geräteleistung dadurch nicht negativ beeinflusst wird. Falls Außenabmessungen oder andere technische Spezifikationen kritisch für den Einsatz Ihres Geräts sind, kontaktieren Sie uns bitte, um sich die Daten bestätigen zu lassen.



Wärme wird durch die statistische Bewegung von Molekülen, Atomen und Elektronen verursacht. In einem Gas ist die Brown'sche Molekularbewegung der Moleküle und Atome, aus denen das Gas besteht, für die Temperatur verantwortlich. Dasselbe gilt für eine Flüssigkeit. In einem Festkörper oszillieren das gesamte Gitter und die Elektronen. Theoretisch und unter Vernachlässigung externer Einflüsse verschwinden Temperaturunterschiede zwischen zwei Körpern nach einiger Zeit und das thermische Gleichgewicht wird erreicht. In der Realität gibt es jedoch immer äußere Einflüsse, alleine schon da die Umgebungstemperatur sehr viel geringer ist, als z.B. die Temperatur innerhalb eines Ofens. Daher ist es eine komplexe Aufgabe, innerhalb eines Ofens eine perfekte homogene Temperaturverteilung zu erreichen. Die Herausforderung besteht darin, die äußeren Einflüsse so gut wie möglich zu minimieren, damit für Wärmebehandlungsprozesse eine bestmögliche Homogenität und Stabilität erreicht wird.



Wärmetransport und thermische Expansion

Es existieren drei unterschiedliche Mechanismen, wie Wärme übertragen werden kann. Konvektion und Wärmeleitung benötigen jeweils ein Medium, um Wärme zu transportieren. Die Wärmestrahlung hingegen benötigt kein Medium zur Leitung von Wärme zwischen zwei Körpern unterschiedlicher Temperatur.

1 Die Wärmeleitung (abhängig von einem Medium):

Die Wärmeleitfähigkeit ist der Austausch einer Wärmemenge (ΔQ) pro Zeiteinheit (Δt) zwischen unterschiedlichen Teilen eines Ofens durch die verbindende Oberfläche (A). Die Verbindung kann ein Festkörper, eine Flüssigkeit oder auch ein Gas sein. Jedes Material hat seine spezifische Wärmeleitfähigkeit (κ). Der Temperaturunterschied zwischen den Teilen beträgt ΔT und der Abstand der beiden Teile wird als Δx bezeichnet.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\kappa \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

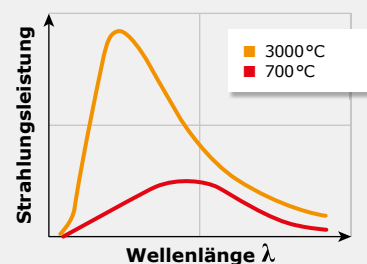
2 Die Konvektion (abhängig von einem Medium):

Bei der Konvektion entsteht eine kollektive Bewegung der Teilchen einer Flüssigkeit oder eines Gases. An der Wärmequelle wird das Gas oder die Flüssigkeit heiß, die Teilchen erhöhen ihre kinetische Energie und diffundieren in den kalten Bereich. Die Konvektion dominiert unterhalb von 700°C und benötigt ein Medium für den Wärmetransfer. Daher kann im Vakuum die Konvektion vernachlässigt werden.

3 Wärmestrahlung (unabhängig von einem Medium):

Bei der Wärmestrahlung wird die Wärme durch elektromagnetische Wellen übertragen, die der heiße Körper über seine Oberfläche (A) abgibt. Ungefähr ab 700°C wird im Ofen ein rotes Licht sichtbar. Bei höheren Temperaturen wird das Licht gelblich und ab ca. 1500°C entsteht ein helles weißes Licht mit einem hohen Anteil kurzwelliger Strahlung hoher Energie. Die Wärmestrahlung breitet sich auch ohne Medium aus und ist daher auch im Vakuum präsent. Ab einer Temperatur von ungefähr 700°C ist die Wärmestrahlung gegenüber den

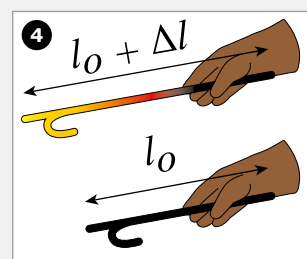
anderen beiden Wärmeaustauschmechanismen dominant. Die abgestrahlte Leistung von einer Fläche (A) der Temperatur (T) wird durch das berühmte Planck'sche Strahlungsgesetz beschrieben. $\sigma = 5.7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}$ ist die Planck'sche Konstante der Schwarzkörperstrahlung.



$$P = \sigma AT^4$$

4 Thermische Ausdehnung:

Jedes Material hat seinen spezifischen Wärmeausdehnungskoeffizienten (α). Wird das Material um eine Temperaturdifferenz (ΔT) erwärmt, vergrößert sich dessen Länge (Δl). Keramische Arbeitsrohre sind erhöhter Belastung ausgesetzt, wenn sich die Temperatur schnell verändert. Daher werden Arbeitsrohre mit großem Innendurchmesser nicht empfohlen, da Bruchgefahr besteht.



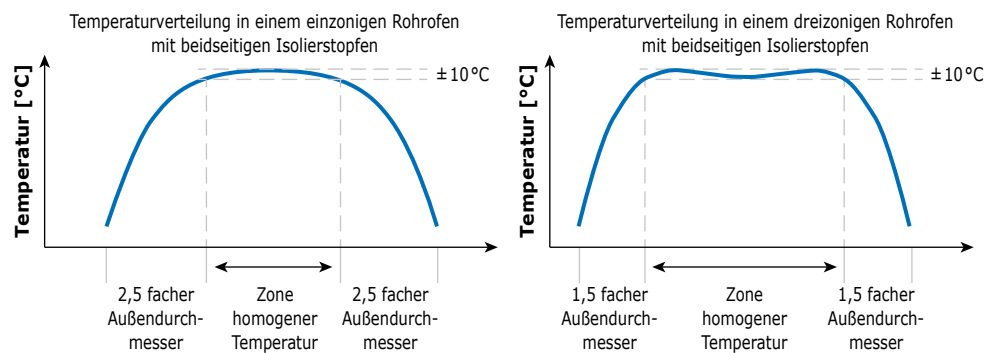
$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \Delta T$$

Maßnahmen für eine optimale Wärmebehandlung

Bei der Wärmebehandlung sind meist alle drei Wärmeleitungsmechanismen beteiligt. Damit die verschiedenen Öfen eine herausragende Temperaturhomogenität im Vakuum, im Partialdruck, unter kontrollierter Atmosphäre oder im Überdruck erreichen können, werden aufwändige Berechnungen und Simulationen durchgeführt. Die Firma Carbolite Gero kann zudem auf jahrzehntelange Erfahrung im Ofenbau zurückgreifen. Einige wichtige Techniken sind:

Öfen mit mehreren Zonen:

Mit Mehrzonenöfen kann der Temperaturabfall an den beiden Enden eines Rohres (bei einem Rohrofen) verschoben werden. Carbolite Gero produziert Öfen mit drei oder sogar acht Zonen.



Retorte/Arbeitsrohr:

Durch die Ausstattung eines Ofens mit einer geschlossenen Retorte lässt sich die Temperaturverteilung innerhalb des Arbeitsvolumens verbessern.



Graphit-Retorte mit zentralem Gasauslassrohr

Temperaturhomogenität:

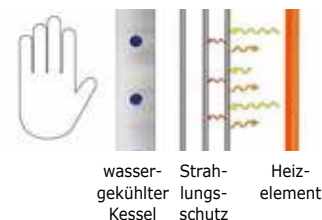
Ein hochsymmetrischer Aufbau ist der Schlüssel, um die Temperaturverteilung im Ofen zu verbessern. Wird strömendes Gas benötigt, wird beispielsweise das einströmende Gas aufgewärmt, bevor es über die Proben geleitet wird. Öfen, die für den Niedertemperaturbereich ausgelegt sind, werden zur Gasumwälzung mit einem Ventilator ausgestattet. Mittels Leitblechen wird das Gas gezielt durch den Ofen geleitet. Um die Temperaturhomogenität experimentell nachzuweisen, werden Proben-thermoelemente oder Schumpfringe eingesetzt.



Ventilator zur Gasumwälzung

Strahlungsschilde:

In einem metallischen Ofen wird die Wärme mit metallischen Blechen isoliert und von einer Schicht zur nächsten reflektiert. Von Schicht zu Schicht verringert sich dadurch die Temperatur bis hin zu einem wassergekühlten Kessel, der die letzte Schicht darstellt. Um eine gute Temperaturhomogenität zu erreichen, wird die Geometrie des Kessels, der Strahlungsschilde und der Heizelemente hochsymmetrisch aufgebaut.



Hochleistungsisolierung:

Die Wärmeleitfähigkeit (κ) von Graphitmatten und keramischem Fasermaterial ist sehr gering. Beide Materialien werden verwendet, um Öfen zu isolieren. Die Dicke sowie die Qualität werden speziell auf die Maximaltemperatur der Öfen abgestimmt.



Heutzutage werden viele Wärmebehandlungsprozesse im Vakuum durchgeführt. Bei der Vakuum-Metallurgie, beim Glühen, bei der Kristallzucht, beim Vakuum-Hartlöten und vielen weiteren Anwendungen, muss die Wärmebehandlung mit einer entsprechenden Vakuumtechnik verbunden werden.

Damit ein Vakuum erreicht wird, müssen die Proben von einem abgedichteten Rezipienten umgeben sein. Dabei kann es sich um ein abgedichtetes Arbeitsrohr, eine abgedichtete Retorte oder um einen vakuumdichten wassergekühlten Kessel handeln. Mit einem derartigen Aufbau ist es möglich, das System zu evakuieren, dadurch den Sauerstoffgehalt deutlich zu reduzieren und ein Oxidieren der Proben zu verhindern. Weiterhin muss der Sauerstoffgehalt auf ein Minimum reduziert werden, um überhaupt Wärmebehandlungsprozesse mit einer Temperatur über 1800°C durchführen zu können. Die Heizelemente und Isolierungen, die bei einer Temperatur von über 1800°C zur Verfügung stehen, müssen entsprechend vor Oxidation geschützt werden.

Luft besteht aus einer Mischung aus Stickstoff, Sauerstoff, Argon und einigen weiteren Gasen in einem sehr geringen Anteil. Unter Normalbedingungen besteht Luft aus ungefähr 21% Sauerstoffmolekülen. Wird der Ofen evakuiert, reduziert sich die Anzahl der Luftmoleküle und der Druck sinkt.

Beim Druck wird zwischen verschiedenen Vakuumbereichen unterschieden. Je nach Druckbereich, der während einer Wärmebehandlung benötigt wird, sind unterschiedliche Vakuumpumpstände

erforderlich. Die verschiedenen Vakuumbereiche werden in Tabelle 1 definiert. Wird vor der Wärmebehandlung ein möglichst niedriger Druck erreicht, wird eine höchstmögliche Reinheit der einströmenden Prozessgase garantiert. Ein niedriger Druck ist somit ein weiterer Vorteil beim Einsatz inerter oder reaktiver Gase.

Die Bewegung der in Luft enthaltenen Gase unterliegt einer statistischen Verteilung. Die Atome und Moleküle stoßen gegen die Oberfläche des Ofens. Auf dieser Fläche (A) wirkt eine Kraft (F), die einen bestimmten Druck (P) verursacht. Der Druck ist temperaturabhängig: Er erhöht sich bei hohen und verringert sich mit niedrigen Temperaturen. Durch dieses Verhalten wird die Temperaturskala in Kelvin sofort verständlich. Bei einer Temperatur von 0 K (-273°C) ist der Druck null, da sich die Teilchen nicht mehr bewegen.

Unter Normalbedingungen wirkt der Atmosphärendruck beidseitig auf den Vakuum-Rezipienten. Wird der Ofen evakuiert, muss der Rezipient dem Atmosphärendruck widerstehen können.

$$p := \frac{F}{A}$$

Die SI Standardeinheit für den Druck ist das sogenannte Pascal. $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$. Gewöhnlich wird die Einheit mbar als Einheit für den Druck verwendet. Diese Nomenklatur wird im Folgenden verwendet. (1 mbar = 100 Pa).

Vakuumbereiche

Tabelle 1

	Ultrahochvakuum	Hochvakuum	Feinvakuum	Grobvakuum
Druck [mbar]	$< 10^{-7}$	$10^{-7}-10^{-3}$	$10^{-3}-1$	1-1000
n [cm^{-3}]	$< 10^9$	10^9-10^{13}	$10^{13}-10^{16}$	$10^{16}-10^{19}$

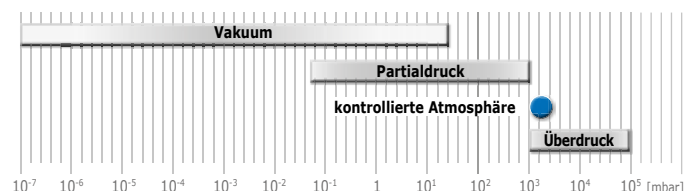
Die Tabelle 1 zeigt die Unterteilung in die vier verschiedenen Vakuumbereiche. Hierbei handelt es sich nicht um eine beliebige Unterteilung. Um in den unterschiedlichen Vakuumbereichen zu arbeiten, müssen die passenden Pumpstände installiert werden. Die letzte Reihe in der Tabelle 1 gibt die Anzahl der Teilchen an, die sich in einem Kubikzentimeter Raum befinden.

Seite 09 zeigt die Standardpumpen und das zugehörige Arbeitsvakuum, das mit ihnen erreicht werden kann. Für einen Prozess, der im Grobvakuum ablaufen soll, wird eine Drehschieberpumpe verwendet. Bedingt durch das Design, erzeugt eine einstufige Drehschieberpumpe ein Vakuum im Grobvakuumbereich und eine zweistufige Drehschieberpumpe ein Vakuum, das knapp im Feinvakuumbereich liegt. Für Prozesse, die im Feinvakuumbereich ablaufen sollen, wird die Drehschieberpumpe mit einer Wälzkolbenpumpe kombiniert. Um im Hochvakuumbereich zu arbeiten, wird die Drehschieberpumpe mit einer Turbomolekular- oder Öldiffusionspumpe kombiniert.

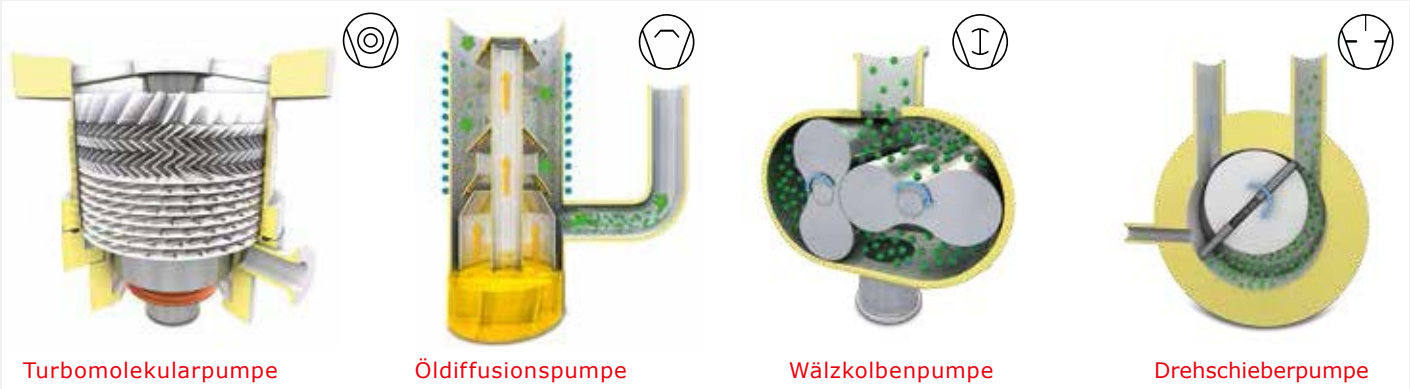
Druckbereiche

Die Wärmebehandlung kann in unterschiedlichen Atmosphären durchgeführt werden. Im Folgenden wird zwischen vier verschiedenen Druckbereichen unterschieden:

- Vakuum:** Für diesen Bereich stehen verschiedene Pumpstände zur Verfügung. Das erreichbare Arbeitsvakuum liegt in den in Abbildung 1 definierten Bereichen.
- Partialdruck:** In diesem Betriebsmodus wird eine einstellbare Gasmenge in den Ofen eingeleitet. Mit einem geregelten Ventil vor der Pumpe kann der Druck im Ofen eingestellt werden. Dadurch entsteht ein definierter Glasfluss über die Proben im Unterdruck.
- Kontrollierte Atmosphäre:** Dabei wird eine einstellbare Gasmenge bei leichtem Überdruck über die Charge geführt. Der Sauerstoffgehalt kann dadurch reduziert werden.
- Überdruck:** Gas wird in den Ofen eingeleitet bis ein vordefinierter Überdruck erreicht wird. Der maximal erreichbare Überdruck beträgt 100 bar.



Vakuumpumpen



Die Turbomolekularpumpe besteht aus einer Abfolge von schnell rotierenden Rotoren und feststehenden Statoren. Die Rotationsgeschwindigkeit beträgt über 10.000 Drehungen pro Minute. Die Geschwindigkeit der Rotoren liegt im Bereich der Teilchengeschwindigkeit. Dadurch wird das Gas durch die Pumpe hindurch befördert. In Kombination mit einer Vorpumpe liegt das erreichbare Endvakuum im Hochvakuumbereich oder sogar darunter. Turbomolekularpumpen sind heutzutage die am häufigsten verwendeten Pumpen für Prozesse die im Hochvakuumbereich stattfinden. Schwere Teilchen bewegen sich langsamer als leichte Teilchen und werden daher besser abgepumpt. Das erzeugte Vakuum ist demnach frei von Kohlenwasserstoffen und es kann eine hohe Reinheit der Ofenatmosphäre erreicht werden.

Öldiffusionspumpen enthalten keine bewegten Bauteile. Das Prinzip der Vakuumerzeugung basiert auf einem sich schnell nach unten bewegenden Öldampf, der die Luftmoleküle in Richtung Vorpumpe transportiert. Am Boden der Öldiffusionspumpe wird das Öl verdampft. Es bewegt sich nach oben und wird zurück nach unten gelenkt. Das Öl kondensiert in der Folge an der Außenwandung und kann erneut verdampft werden. Ein Hochvakuum ist mit sehr hoher Sauggeschwindigkeit erreichbar. Bei der Öldiffusionspumpe kann nicht verhindert werden, dass einige Ölmoleküle in den Ofenraum gelangen.

Die Wälzkolbenpumpe ist für eine Wärmebehandlung im Feinvakuumbereich konzipiert. Das Schöpfvolumen ist fettfrei. Die beiden Drehkolben, die gegeneinander rotieren, sind sehr präzise gefertigt und es entsteht nahezu kein Spalt zwischen ihnen und dem Schöpfvolumen. Die Wälzkolbenpumpe muss immer mit einer Vorpumpe betrieben werden.

Die Drehschieberpumpe ist eine Vorpumpenpumpe, die am häufigsten eingesetzt wird. Diese Pumpe ist in einstufiger oder zweistufiger Ausführung erhältlich. Es ist möglich, direkt gegen Atmosphäre zu pumpen. Der Drehschieber rotiert dabei mit circa 1.500 Umdrehungen pro Minute. Das Schöpfvolumen innerhalb der Pumpe ist mit Öl geschmiert und ein radial beweglicher Schieber befördert das Gas zum Auslassstutzen. Im Ofen wird ein Grobvakuum oder bestenfalls der Anfang des Feinvakuumbereichs erreicht.

Die beschriebenen Pumpen sind die am häufigsten verwendeten Systeme, um einen Ofen zu evakuieren. Auf Anfrage können auch spezielle Pumpstände verwendet werden. Es ist beispielsweise möglich, komplett fettfreie Pumpstände zu adaptieren. Für Sonderanwendungen können beispielsweise Membran-, Kryo-, oder Iongetterpumpen geliefert werden.

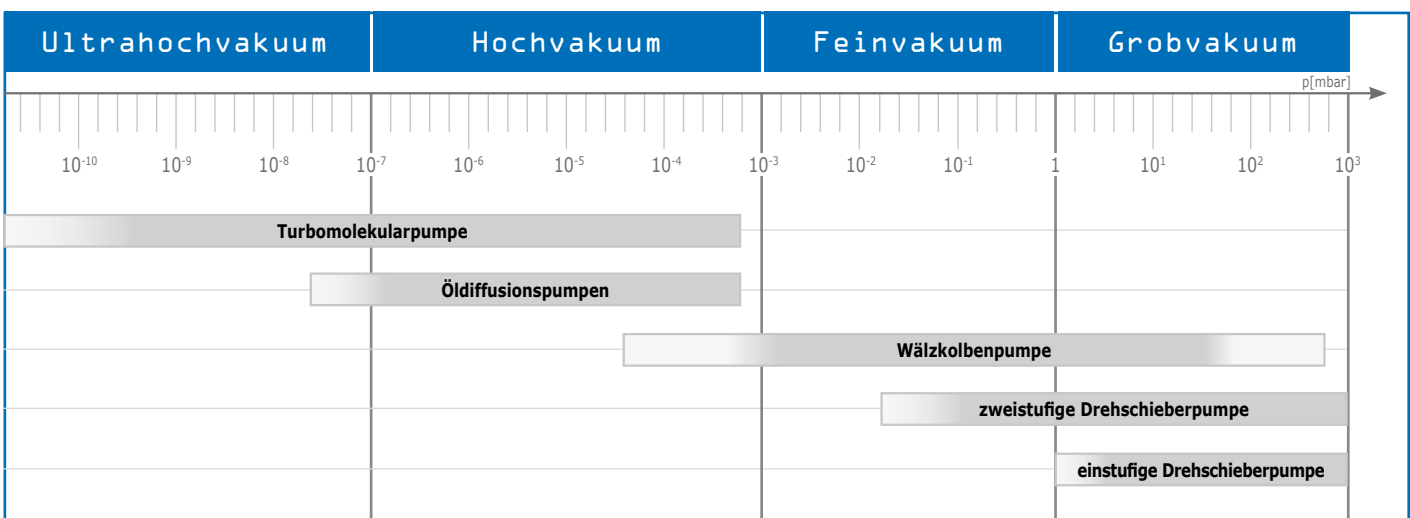


Abbildung 1

Temperatur

Bei Wärmebehandlungsprozessen ist die erste wichtige Frage, welche maximale Arbeitstemperatur erreicht werden soll. Bedingt durch das Design ist ein widerstandsbeheizter Ofen auf eine bestimmte Maximaltemperatur ausgelegt. Beim Ofenbau kommen im Wesentlichen drei Isolierformen zum Einsatz: Keramikfaserisolierung, metallische Bleche zur Reflektion der Wärmestrahlung und Graphitisolierung.

Die Heizelemente können aus CrFeAl-Draht oder aus U-förmigen MoSi₂-Elementen bestehen. In diesem Fall wird keramische Faser mit geringer Wärmeleitfähigkeit zur Wärmeisolierung eingesetzt. Beide Heizelement-Typen benötigen eine oxidierende Atmosphäre während der Wärmebehandlung, damit sich eine schützende Oxidschicht auf der Oberfläche ausbilden kann.

Bestehen die Heizelemente hingegen aus Molybdän (Mo) oder Wolfram (W), werden mehrere metallische Strahlungsschilde zur Reflektion der Wärmestrahlung eingesetzt. Dadurch wird der Ofenraum nach außen isoliert. Eine oxidierende Atmosphäre ist in diesem Fall nicht möglich. Metallische Öfen sind insbesondere für Hochvakuumanwendungen geeignet, da der Dampfdruck der metallischen Materialien sehr gering ist.

Bestehen die Heizelemente aus dem dritten möglichen Material, Graphit, werden mehrere Lagen Graphitmatten zur Wärmeisolierung eingesetzt. Auch hier ist eine oxidierende Atmosphäre ausgeschlossen. Aufgrund des Dampfdrucks von Graphit, muss ein gewisser Anteil an Kohlenstoff in der Atmosphäre hingenommen werden.

Die verschiedenen Heizprinzipien ermöglichen unterschiedliche maximal erreichbare Temperaturen. Diese werden im Folgenden in zwei unterschiedliche Temperaturbereiche aufgeteilt. Der erste erstreckt sich von 30°C bis 1300°C, der zweite von 1300°C bis 3000°C.

Atmosphäre

Neben der Maximaltemperatur muss die Atmosphäre bekannt sein, in der die Wärmebehandlung durchgeführt werden soll. Abbildung 2 vermittelt eine grundlegende Übersicht der verschiedenen möglichen Atmosphären in Abhängigkeit von Arbeitstemperatur und Heizelement. In der Übersicht sind die am häufigsten verwendeten Atmosphären und Gase berücksichtigt. Bei Bedarf können auch Gase wie CO, He oder NH₃ eingesetzt werden. Für die üblichen Atmosphären gilt die folgende Faustregel: Bis 1800°C kann die Wärmebehandlung in allen Gasen und Atmosphären, wie Sauerstoff, Stickstoff, Argon, Wasserstoff und allen Vakuumbereichen durchgeführt werden. Liegt die Arbeitstemperatur zwischen 1800°C und 2200°C ist die Wärmebehandlung in Stickstoff, Argon, Wasserstoff und allen Vakuumbereichen möglich. Liegt die Arbeitstemperatur zwischen 2200°C und 3000°C, ist die Wärmebehandlung nur mit Argon durchführbar. In Kombination mit den Arbeitsrohren, die auf Seite 84 beschrieben werden, ist es möglich auch CrFeAl und MoSi₂ beheizte Öfen unter unterschiedlichen Atmosphären zu betreiben.

Zusammenfassung

Sind sowohl die maximal benötigte Arbeitstemperatur als auch die Atmosphäre für die Wärmebehandlung bekannt, kann das Heizprinzip aus Abbildung 2 bestimmt werden. Die verschiedenen Heizprinzipien werden in einer Vielzahl von verschiedenen Öfen eingesetzt. Die finale Entscheidung für ein bestimmtes Modell ist abhängig von weiteren Auswahlkriterien, beispielsweise dem benötigten Arbeitsraum oder dem Be- und Entlademechanismus.

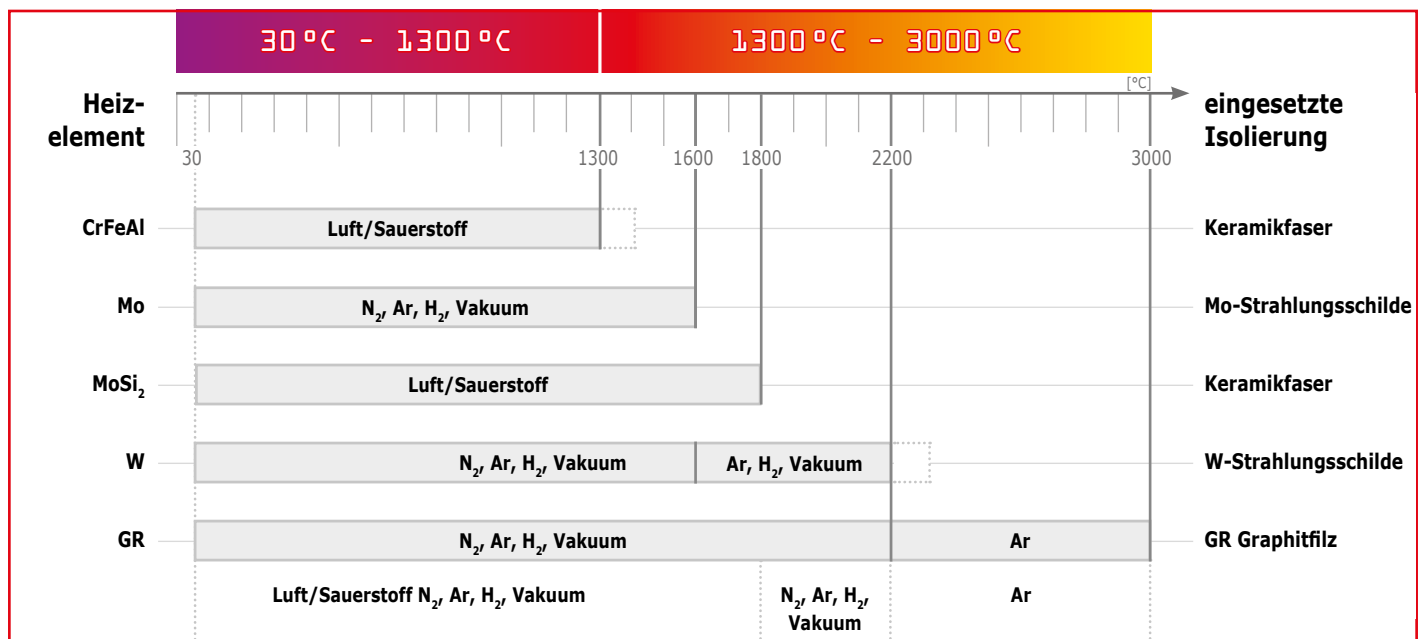





Abbildung 2: Die verschiedenen Heizelemente und die möglichen Atmosphären am Heizelement sowie die zugehörige eingesetzte Isolierung

Anwendungsmatrix

-  passend für die Anwendung
-  geeignet für die Anwendung
-  nur bedingt geeignet
- nicht geeignet

Anwendungsbereiche																
Härten	Erwärmen	Glühen	Tempern	Hart-/Weichlöten	Entgasen	Pyrolyse	Silizieren	Carbonisieren	Rapid-Prototyping	Sintern	Entbindern	Synthese	Sublimation	Trocknen	Kristallzucht	MIM

Entbinderungs-, Glüh-, Löt- und Rohröfen	Modell	Heizprinzip	Seite
Entbinderungsöfen bis 120 °C	EBO	Wasser	14-15
Glühöfen bis 1100 °C	GLO	CrFeAl	16-19
Vertikaler Lötöfen bis 1050 °C	VL	CrFeAl	20-21
Rohröfen bis 1350 °C	FHA	CrFeAl	22
Klapprohröfen bis 1300 °C	FST	CrFeAl	23
Acht-Zonen-Rohröfen bis 1300 °C	AZ	CrFeAl	24-25

-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○
○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	-	○	-
○	○	○	○	○	○	-	-	-	○	○	-	○	○	○	-	-
○	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	-	○	○	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Rohröfen

Rohröfen, Horizontal bis 1800 °C	HTRH	MoSi ₂	28-29
Rohröfen, Vertikal bis 1800 °C	HTRV	MoSi ₂	30
Klapprohröfen, Vertikal bis 1700 °C	HTRV-A	MoSi ₂	31
Wasserstoffrohröfen bis 1600 °C	HTRH-H ₂	MoSi ₂	32-33

-	-	○	○	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○
○	○	○	○	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○
-	-	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	-	○	○	○	○

Kammeröfen

Kammeröfen, metallisch bis 1600 °C / 2200 °C	HTK MO / HTK W	Mo / W	34-39
Kammeröfen, Graphit bis 2200 °C	HTK GR	GR	34-39
Kammeröfen, Keramikfaser bis 1800 °C	HTK KE	CrFeAl / MoSi ₂	34-39
Kammeröfen, Keramikfaser, gasdicht bis 1800 °C	HTKE	MoSi ₂	40-41

-	-	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	-	○	○	○	○
-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○
○	○	○	○	-	-	○	-	-	○	○	○	-	○	○	-	
○	○	○	○	-	-	○	-	-	○	○	○	-	○	○	-	

Haubenöfen

Haubenöfen, metallisch, bis 1600 °C / 2200 °C	HBO MO / HBO W	Mo / W	42-45
Haubenöfen, Keramikfaser bis 1800 °C	HB	CrFeAl / MoSi ₂	46-47

-	-	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	-	○	○	○	○
○	○	○	○	-	-	○	-	-	○	○	○	-	○	○	○	-

Bottom-Loader-Öfen

Bottom Loader, metallisch, bis 1600 °C / 2200 °C	HTBL MO / HTBL W	Mo / W	48-51
Bottom Loader, Graphit bis 2200 °C	HTBL GR	GR	48-51

-	-	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○	-	-	○	○	○
-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○

Laboröfen

Laboröfen, metallisch bis 1600 °C / 2200 °C	LHTM / LHTW	Mo / W	52-55
Laboröfen, Graphit bis 3000 °C	LHTG	GR	52-55

-	-	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○	-	○	○	○	○
-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○

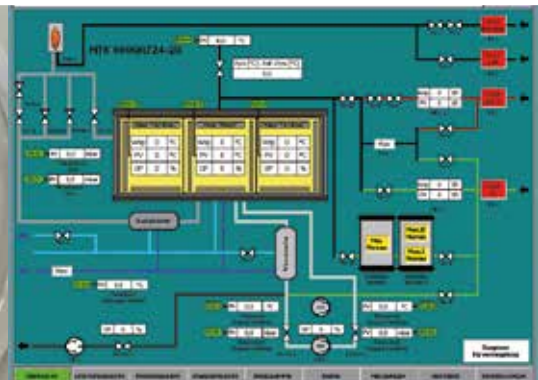
Anwendungsspezifische Öfen

Bridgman-Kristallzuchtanlage bis 1800 °C	BV-HTRV	MoSi ₂	56-57
Partialdruck-Sinteröfen bis 1450 °C	PDS	Mo	58-59

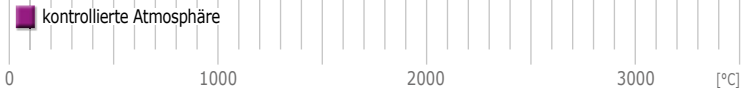
-	-	-	○	○	○	-	-	○	-	○	-	○	-	-	○	-
○	○	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○	○	○	○	-	○

Die Öfen in diesem Temperaturbereich sind nach aufsteigender Maximaltemperatur angeordnet. Angefangen vom EBO, der mit heißem Wasser bis zu 120 °C aufgeheizt werden kann. Der EBO ist eine Anlage für die katalytische Entbinderung. Alle weiteren Öfen werden mit CrFeAl-Heizdraht auf eine maximale Temperatur von 1300 °C aufgeheizt und können für verschiedene Anwendungen eingesetzt werden. Für jede Anlage wird eine mögliche Anwendung kurz beschrieben.

30 °C - 1300 °C



Temperaturbereich 30 °C – 1300 °C	Modell	Seite
Entbinderungsöfen bis 120 °C	EBO	14
Glühöfen bis 1100 °C	GLO	16
Vertikaler Lötöfen bis 1050 °C	VL	20
Röhröfen bis 1350 °C	FHA	22
Klapprohröfen bis 1300 °C	FST	23
Acht-Zonen-Röhröfen bis 1300 °C	AZ	24



Spezialöfen für das Entbindern von Catamold®

Das Metallpulverspritzgussverfahren (MIM: Metal- Injection-Moulding) oder das Keramikpulverspritzgussverfahren (CIM: Ceramic-Injection-Moulding) sind wachsende moderne Fertigungstechnologien. MIM und CIM Fertigungsprozesse umfassen 4 Schritte: Herstellung des Feedstocks, also Vermischen des keramischen oder metallischen Pulvers mit dem Binder, Bildung eines Formkörpers (Grünling) durch Einbringen in die gewünschte Form, Entbindern und schließlich Sintern. Entbindern ist der anspruchsvollste Schritt dieses Prozesses. Das Entbindern des Catamold® Grünlings wird katalytisch mit Salpetersäure durchgeführt. Dieser Prozess benötigt eine präzise Kontrolle des Temperaturprofils und des Gasdrucks.

Der EBO wurde speziell entwickelt, um die strengen Anforderungen des katalytischen Entbinderns zu erfüllen. Er ist damit eine ideale Lösung zur Entbinderung von Formkörpern, hergestellt aus BASF Catamold® Feedstock. Das nutzbare Volumen des EBO beträgt 120 Liter. Der rechteckförmige nutzbare Raum ist 400 mm x 400 mm x 700 mm groß.

Der Entbinderungsprozess im EBO beginnt mit einer Stickstoffspülung, um den Sauerstoffgehalt im Ofen zu reduzieren. Sobald die ideale Prozesstemperatur erreicht ist, wird gasförmige Salpetersäure mit einer festgelegten Rate in den Ofen gespült. Der Stickstoffgasstrom muss dabei höher gehalten werden als der Salpetersäuregasstrom. In einer sauren Gasatmosphäre wird der Binder von den Grünlingen entfernt. Dieses Entfernen ist das Ergebnis einer chemischen Reaktion, welche an der Oberfläche beginnt und sukzessive in das Innere des Formkörpers vorrückt. Die Entbinderungs-raten liegen gewöhnlich zwischen 1–4 mm/h.

Während des Prozesses reagiert der Polymerbinder bei ca. 120°C mit der Salpetersäure und resultiert in einer Bildung von Formaldehyd. Dieses Formaldehyd kann vom EBO durch die Überwachung der Temperatur im Nachbrenner detektiert werden. Sobald die Formaldehydbildung endet, ist auch die Binderentfernung abgeschlossen und das Ofenvolumen wird mit Stickstoff gespült. Der Entbinderungsschritt ist damit beendet und die Grünlinge können in einen Sinterofen eingebracht werden.

Der Bediener kann beim EBO zwischen einer festgesetzten Entbinderungszeit und einem vollautomatischen System wählen. Das automatische System detektiert das Ende des Entbinderungsprozesses und steuert somit den gesamten Prozess. Automatische CIM Anwendungen beschränken sich auf eine Probenwandstärke von ungefähr 4–5 mm.

Der Ofen ist mit Sicherheitsverriegelungen ausgestattet, um eine optimale Sicherheit zu garantieren. Bedienung und Visualisierung des Prozesses erfolgen durch ein Touch-Panel.



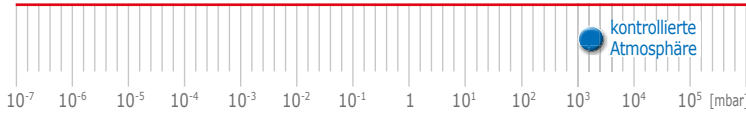
EBO 120/1,5 Ofen für katalytische Entbinderung. Nutzbares Volumen 120 l. Wasserbeheizte Kammer bis maximal 150°C.

Vorteile

- Wasserbeheizte Kammer bis 120°C Arbeitstemperatur
- Dosierung und Zirkulation von Salpetersäure und Stickstoff
- Kontrollierter Entbinderungsgrad
- Zertifiziertes Sicherheitsmanagement

Typische Anwendungen

Katalytische Entbinderung von BASF-Einsatzmaterial für MIM und CIM



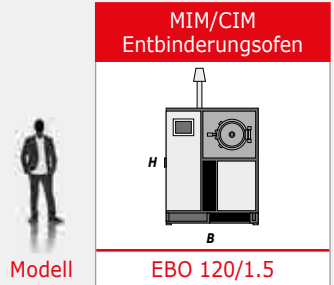
Technische Details

Die doppelwandige Kammer des EBO wird mit Wasser bis maximal 150°C beheizt. Bei niedrigen Temperaturen führt dieses Heizsystem zu einer bemerkenswerten Temperaturhomogenität. Zusätzlich ist ein Ventilator an der Rückseite des Ofens installiert, der eine Gaszirkulation durch den Ofen erzeugt, um die Homogenität noch weiter zu erhöhen. Verdampfte Salpetersäure wird gleichmäßig im Ofen und über die Proben verteilt, um die Grünlinge während der Entbinderung vollständig zu exponieren. Durch die Führung entlang der beheizten Kammer wird das Gas vorgeheizt und anschließend durch ein Gebläse in das System zurückgezogen, wo es schließlich über die Probe für die Entbinderung strömt. Die Vordertür des EBO ist automatisch verriegelt, um das Öffnen während des Entbinderungsprozesses zu verhindern. Ein zweistufiger Gasbrenner ist eingebaut, um die Reaktionsprodukte, welche durch das Entbindern erzeugt werden, zu verbrennen. Die Temperatur des Nachbrenners wird dabei überwacht, um das Ende des Entbinderungsprozesses im Automatikbetrieb zu detektieren.

Innenansicht



Technische Daten



Außenabmessungen

H x B x T mit Brenner [mm]	2150 x 1750 x 1850
----------------------------	--------------------

Transportgewicht

Gesamtanlage [kg]	1200
-------------------	------

Nutzraum

Kammervolumen [l]	120
Ø x t [mm]	700 x 750

Thermische Kennwerte

T _{max} [°C]	150
-----------------------	-----

Anschlusswerte

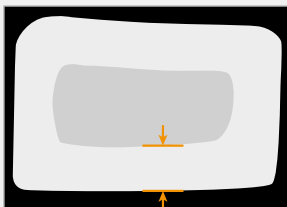
Leistung [kW]	15
Spannung [V]	400 (3P)
Strom [A]	3 x 63

Gasversorgung

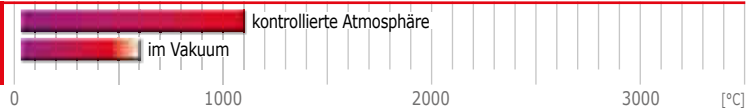
Prozessgas Stickstoff [l/h]	300-3000
Brennergas, Propan oder Erdgas [l/h]	270
Salpetersäure [ml/h]	30-180

Anwendungsbeispiel

Entbinderung von geformten „Grünlingen“



Der EBO ist ein Ofen, der speziell für das Entbindern von „Grünlingen“ basierend auf dem BASF Catamold® Feedstock entwickelt wurde. Ein breites Spektrum an verschiedenen Feedstocks ist verfügbar. Dazu gehören Mischungen, welche niedrig legierte Stähle, Edelstähle, Spezialstähle mit Titan, hitzebeständige Stähle, weichmagnetische Materialien oder sogar Oxidkeramiken enthalten. Alle erwähnten Feedstocks können im EBO entbindert werden. Ausgezeichnete Temperaturhomogenität und spezielle Gasführung sorgen dafür, dass der Entbinderungsprozess mit großer Präzision und Reproduzierbarkeit durchgeführt werden kann. Dies macht den EBO zur idealen Lösung für katalytische Entbinderungsprozesse jeglicher Art. Der markierte Teil ist bereits frei von Binder.



Glühöfen

Der GLO ist mit einer vakuumdichten Retorte ausgestattet, die von Heizelementen symmetrisch umgeben ist. Die Heizelemente bestehen aus einer CrFeAl-Legierung (APM) und sind in einer aus Keramikfasern aufgebauten Isolierung eingebettet. In diesem Ofen liegt die maximale Temperatur, bei der Vakuumbehandlungen durchgeführt werden können, bei 750°C.

Oftmals wird der Ofen mit einer Vakuumpumpe ausgestattet, um den Sauerstoffgehalt innerhalb des Ofens vor der Wärmebehandlung zu verringern. Durch mehrmaliges Evakuieren und Spülen wird in der Retorte eine sehr reine Atmosphäre erzielt. Der Stickstoffverbrauch ist dabei im Vergleich zu einem einfachen Spülen der Retorte sehr viel niedriger. Nach Reduzierung des Sauerstoffgehalts wird die Wärmebehandlung unter einem leichten Überdruck durchgeführt. Unter Atmosphärendruck beträgt die Maximaltemperatur des GLO 1100°C.

Die Temperaturhomogenität in der Retorte wird durch die Verwendung einer zweiten Heizzone verbessert. Gleichzeitig wird dadurch das Gas vorgewärmt, dessen Gasauslass sich im hinteren Teil des Ofens befindet. Das Wärmestrahlungsschutzpaket und die wassergekühlte Tür schützen die Türdichtungen vor Beschädigung und stellen die Sicherheit des Anwenders sicher. Die Bedienung des GLO erfolgt manuell oder mit Hilfe eines automatisierten Systems.

Die 3 Standardgrößen des GLO sind 40, 75 und 120 Liter. Die Retorte wird aus hochwarmfestem Stahl gefertigt (1.4841). Für den Fall, dass der Ofen mit reaktiven Gasen (z. B. Wasserstoff) betrieben werden soll, ist eine geeignete Sicherheitsausstattung erforderlich. Dazu gehört ein automatisches System zur Erkennung von Störungen sowie ein Stickstoff-Sicherheitstank. Bei einer Fehlfunktion wird das Ventil zwischen Sicherheitstank und Ofenraum automatisch geöffnet. Dadurch wird der Ofenraum mit Stickstoff gespült und sichergestellt, dass keine brennbare Atmosphäre oder ein explosionsfähiges Gemisch zustande kommt. Alle verwendeten Bauteile sind SIL2 zertifiziert.

Der Aufbau des GLO ist kompakt und platzsparend. Das Entbinderungspaket erlaubt die Entbinderung oder die Pyrolyse ohne die Verwendung einer Kondensatfalle. Vor allem bei einer großen Menge an Abgas bietet sich die Verwendung einer Nachverbrennung an. Die Nachverbrennung hat gegenüber einer Kondensatfalle den Vorteil, dass giftige Gase direkt verbrannt werden und der Ofen nicht zum Reinigen der Kondensatfalle stillgelegt werden muss. Um ein Verschmutzen des Gasauslasses auf ein Minimum zu reduzieren, wird die Gasstrecke zur Fackel beheizt.

Für den GLO ist als Option eine Schnellkühlung verfügbar. Carbolite Gero unterscheidet zwischen zwei Lösungen. Bei der ersten Lösung wird die Außenseite der Retorte mit einem starken Luftstrom abgekühlt. Die zweite Lösung ist das Umwälzen des sich im Ofen befindlichen Inertgases durch einen Wärmetauscher. Die genaue Abkühlzeit hängt dabei von der Beladung des Ofens ab.



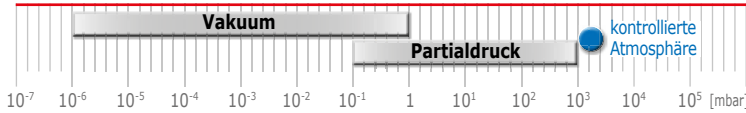
GLO 40/11: Glühofen mit einem nutzbaren Volumen von 40 l und einer maximalen Temperatur von 1100°C unter Atmosphärendruck.

Vorteile

- Definierte Atmosphäre in Kombination mit einer sehr hohen Reinheit
- Abgeschlossene Retorte ermöglicht ein Hochvakuum
- Schnelles Aufheizen
- Wasserstoffpartialdruck
- Nachbrenner
- Zertifiziertes Sicherheitsmanagement für brennbare und giftige Gase
- Vollautomatische und manuelle Bedienung
- Datenaufzeichnung zur Qualitätssicherung

Typische Anwendungen

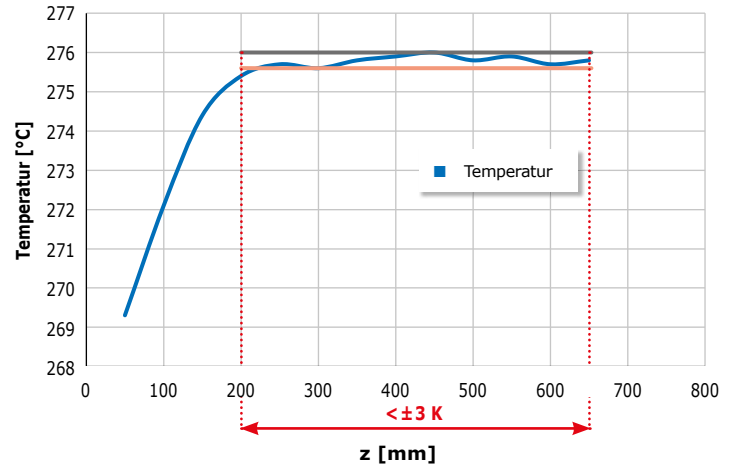
Anlassen, Härten, Glühen, Tempern, Entgasen, Pyrolyse, thermisches Entbindern vor dem Sinterungsprozess, Trocknen



Technische Details

Die maximal erreichbare Temperatur des GLO beträgt 1100°C. Um eine hervorragende Temperaturhomogenität zu erreichen, wird der GLO mit einem Gasumwälzsystem ausgestattet. Dieses System stellt sicher, dass das Probenmaterial, welches sich in einem Probengestell befindet, gleichmäßig von Gas umgeben ist. Das Abgas wird sofort aus dem Ofen gespült.

Die Temperatur wird direkt an dem Probengestell gemessen und geregelt. Zusätzliche Probenthermoelemente können auf Nachfrage ebenfalls eingebaut werden.



Temperaturverteilung im GLO

Die Abbildung zeigt die Temperaturverteilung im leeren GLO 75/09 entlang der Zylinderachse. Die Auswertung der Temperaturverteilung zwischen 200 mm und 650 mm ergibt eine maximale Temperaturabweichung von $\pm 3\text{ K}$. Diese Homogenität wird erreicht durch die symmetrische Anordnung der Heizelemente um die Retorte.

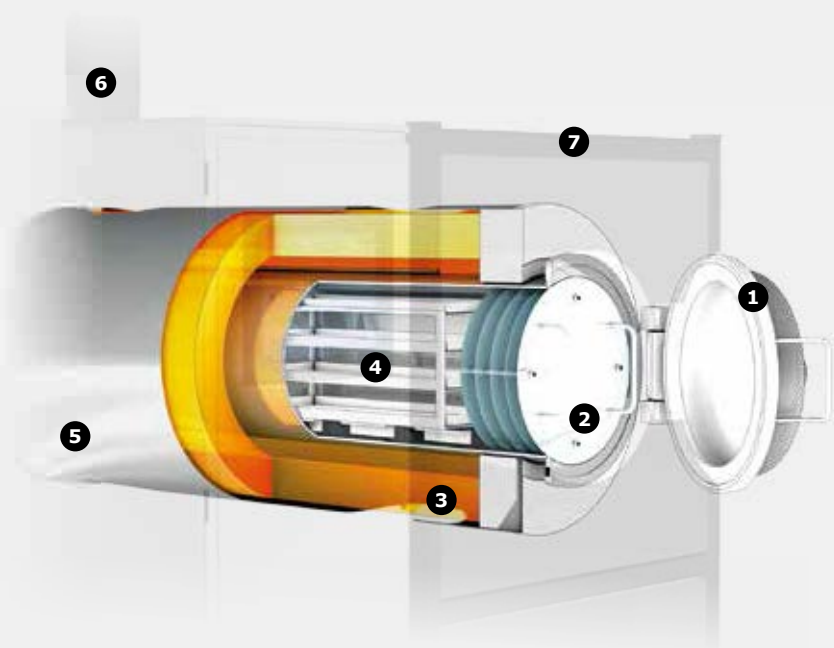
Innenansicht



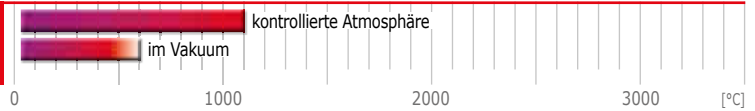
Retorte mit eingesetzten Auflageblechen für die Proben



Probengestell im GLO



- 1 Geöffnete Tür
- 2 Strahlungsschilde
- 3 Keramische Faserisolierung und Heizelemente
- 4 Probengestell
- 5 Dünne Einfassung aus Metall
- 6 Nachbrenner
- 7 Ofengehäuse



Optionen

Der Ofen des Typs GLO kann entweder manuell betrieben oder mit einem automatischen System ausgestattet werden. Das manuelle System ist für Anwendungen geeignet, bei denen keine gefährlichen Gase verwendet werden. Bei Verwendung von reaktiven Gasen muss der Ofen mit einem automatischen System und allen notwendigen Sicherheitseinrichtungen (SIL2) ausgestattet sein.

Vakuum:

Im GLO wird am häufigsten eine Vorpumpe als Vakuumpumpe verwendet. Der Ofen kann jedoch auch mit einer Wälzkolbenpumpe sowie mit einer Turbomolekularpumpe evakuiert werden. Bei den ein- oder zweistufigen Drehschieberpumpen bieten wir Pumpgeschwindigkeiten von bis zu 20 m³ pro Stunde an. Höhere Pumpgeschwindigkeiten können auf Wunsch erzielt werden. Üblicherweise werden die Pumpen zum Reduzieren des Sauerstoffgehalts durch mehrmaliges Evakuieren und Fluten benötigt.

Software:

Die Einstellung des Temperaturprogramms erfolgt bei den manuellen Systemen mittels eines Eurotherm-Reglers. Die Ventile und die Pumpen müssen in diesem Fall manuell bedient werden. Zur Datenaufzeichnung ist zusätzlich die Software iTools sowie eine Verbindung zu einem PC erhältlich.

- Eurotherm 3508: 10 speicherbare Programme mit jeweils bis zu 500 Segmenten
- Eurotherm 3508: 50 speicherbare Programme mit jeweils bis zu 500 Segmenten
- RS 232/485
- iTools
- Übertemperaturschutz (empfohlen bei unbeaufsichtigtem Betrieb)

Für die automatischen Öfen bieten wir zwei unterschiedliche Versionen an. Die Version „TP 1900“ läuft ausschließlich über ein Touch-Panel, die Version „WinCC“ enthält einen vollwertigen PC. Letztere bietet mehr Einstellungsmöglichkeiten und hat einen höheren Komfort bei der Verwaltung von Programmen und Versuchsdaten. Die Bedienung beider Öfen erfolgt intuitiv über ein Touch-Panel. Das Arbeiten wird durch die

übersichtliche Darstellung des Prozesses erleichtert. Alle Prozessparameter werden bei beiden Systemen aufgezeichnet und in einer CSV-Datei gespeichert.

Siemens Kontrollsysteme:

- TP 1900: 20 verschiedene Heizprogramme können gespeichert werden. Diese bestehen aus bis zu 25 Segmenten.
- WinCC: 50 verschiedene Heizprogramme können gespeichert werden. Diese bestehen aus bis zu 30 Segmenten.

Reaktionsgasausstattung:

Die Zündgrenze von Wasserstoff liegt bei ungefähr 4 Vol. %. Wird diese Konzentration überschritten, muss der Ofen mit einer Sicherheitsausstattung betrieben werden. Kondensiert ein Teil der Abgase, kann der Gasauslass zusätzlich beheizt werden. Damit wird ein Verschmutzen des Gasauslasses weitestgehend verhindert. Auf Wunsch kann der GLO mit mehr als einem Inertgas ausgerüstet werden:

- Reaktionsgasausstattung
- Sicherheitspaket für brennbare Gase
- Entbinderungs-einrichtung mit einer Flamme für die Nachverbrennung
- Zusätzliches Inertgas

Wasserkühlung:

Wenn am Aufstellungsort des Ofens kein Kühlwasser verfügbar ist, kann der Ofen optional mit einer eigenen Wasserkühlung ausgestattet werden. Carbolite Gero bestimmt dabei die benötigte Kühlleistung und rüstet den Ofen mit einem passenden Gerät aus.

- System zur Wasserkühlung: Wärmetauscher

VGLO 125/09 oder VGLO 125/11:
Vertikaler GLO mit einem nutzbaren Volumen von 125 l und einer maximalen Temperatur von 900°C oder 1100°C. Das Funktionsprinzip entspricht im wesentlichen dem des GLO.

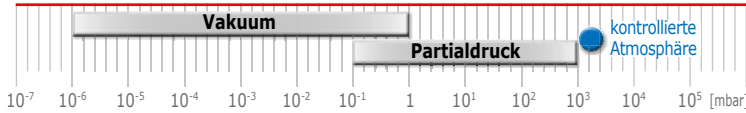


Anwendungsbeispiel

Pyrolyse von Holzfasern für Hochleistungsmaterialien



Keramiken aus Siliziumcarbid sind moderne Hochleistungswerkstoffe. Eine typische Herstellungsmethode ist die Infiltration von geschmolzenem Silizium in Kohlenstoff. Dieser Kohlenstoff wird oftmals durch das Pyrolysieren von Holz erhalten. Holz ist ein nachwachsender Rohstoff, der leicht zu formen und zudem kostengünstig ist. Holzfasern werden definiert mit einem Harz vermischt. Nach der Formgebung wird das gefertigte Teil in einer Stickstoffatmosphäre pyrolysiert. Bei einem für die Pyrolyse typischen Heizprogramm wird das Grünteil mit einer Heizrate 1 K/min bis 500°C erhitzt. Anschließend wird der Ofen bis 1100°C mit einer Rate von 10 K/min erhitzt. Bei Temperaturen bis 150°C spaltet sich zunächst hauptsächlich Wasser von den Holzfasern ab. Höhere Temperaturen führen dann zu einer Zersetzung des Biopolymers bis schließlich nur noch Kohlenstoff übrig bleibt. Der GLO ist für Pyrolysen besonders geeignet, da er einen gerichteten Gasfluss ermöglicht und leicht zu reinigen ist.



GLO – Glühöfen bis 1100°C

Technische Daten



Modell

GLO Glühöfen, Retorte aus 1.4841, Inconel oder APM			
GLO 40/11-1G	GLO 75/11-1G	GLO 120/11-1G	

Außenabmessungen

H x B x T [mm]	1900 x 1400 x 1800	2000 x 1600 x 1800	2100 x 1800 x 2000
-----------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transportgewicht

Gesamtanlage [kg]	1200	1500	2000
--------------------------	------	------	------

Nutzraum

Kammervolumen [l]	40	75	120
Ø x t [mm]	300 x 600	400 x 600	500 x 700

Thermische Kennwerte

T_{max} Vakuum [°C]	600 (1.4841)	600 (1.4841)	600 (1.4841)
T_{max} Atmosphärendruck [°C]	600 / 900 / 1100	600 / 900 / 1100	600 / 900 / 1100
ΔT, zwischen 300°C und 1100°C [K] (nach DIN 17052)	±3	±3	±5
Maximale Aufheizrate [K/min]	10	10	10
Abkühlzeit [h]	7-9	7-9	8-10

Anschlusswerte

Leistung [kW]	25	40	60
Spannung [V]	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)
Strom [A]	3 x 63	3 x 110	3 x 180
Vorsicherung [A]	3 x 80	3 x 160	3 x 200

Vakuum (optional)

Leckrate Behälter (sauber, kalt und leer) [mbar l/s]	< 5 x 10 ⁻³
Arbeitsvakuum, abhängig vom Pumpstand	Grob-, Fein- oder Hochvakuum

Erforderliches Kühlwasser

Benötigter Wasserfluss [l/min]	1-3	1-3	1-3
Maximale Eintrittstemperatur [°C]	23	23	23

Gasversorgung

Stickstoff oder Argon (weitere auf Anfrage) [l/h]	200-2000	200-2000	200-2000
--	----------	----------	----------

Regler

Manuelle Ausführung	KP 300-Panel und Eurotherm-Regler
Automatische Ausführung	Siemens



Automatischer Rohröfen für Anwendungen in Atmosphären mit höchstmöglicher Reinheit

Der vertikale Lötöfen (VL) ist geeignet, um die niedrigsten erreichbaren Arbeitsdrücke zu erzeugen. Aufgrund dieser Vakuumfähigkeit kann eine Gasatmosphäre mit höchster Reinheit erreicht werden.

Der VL ist ein vertikal montierter Rohröfen, bei dem der Ofen selbst vollautomatisch bewegt werden kann. Im Inneren des Rohröfens befindet sich ein abgedichteter Quarzrezipient, der einen Hochvakuumbetrieb ermöglicht. Wenn sich der Ofen bewegt, sind zwei verschiedene Modi möglich.

1. Der Rohröfen bewegt sich nach oben und der Quarzrezipient bleibt in seiner Position. Dies kann nach dem Wärmebehandlungsprozess geschehen, um die Probe in Vakuum-, Luft- oder Inertgas-Atmosphäre schnell abzukühlen.
2. Der zweite Modus betrifft das Be- und Entladen des Ofens. Der Quarzrezipient wird automatisch mit dem Ofen verbunden. Sowohl der Rohröfen als auch der Quarzrezipient bewegen sich aufwärts und der Beschickungsraum ist frei zugänglich. Nach dem Beladen bewegt sich der Ofen wieder abwärts, das Quarzrohr wird verriegelt und der Wärmebehandlungsprozess kann beginnen.

Die Heizelemente des VL bestehen aus CrFeAl-Heizdraht, der Ofen wird durch Keramikfaser isoliert und die Temperatur durch Thermolemente kontrolliert. Die Maximaltemperatur ist durch das Quarzrohr beschränkt und kann im Vakuumbetrieb bis 1050 °C betragen. Das Quarzrohr selbst ist an der Oberseite geschlossen. An der Unterseite ist es offen und wird mit einer Polymerdichtung an die Grundplatte adaptiert. Der nutzbare Raum hat einen Durchmesser von 180 mm und eine Höhe von 300 mm. Dieses vergleichsweise kleine Volumen von ungefähr 2 l kann sehr schnell evakuiert werden. Zudem liefert das Quarzrohr einen sehr sauberen Arbeitsraum. Zusammen mit der Möglichkeit des schnellen Abkühlens ist die Zugänglichkeit des Ofens sehr gut.

Das im Quarzrohr erreichbare Endvakuum liegt im Hochvakuumbereich. Somit liegt das Arbeitsvakuum unterhalb von 5×10^{-6} mbar. Die Gase werden durch verschiedene Dosier- und Kontrollvorrichtungen geregelt und das Vakuum durch verschiedene Pumpstationen, entsprechend der Vakuumanforderung, erreicht.



Der Rohröfen befindet sich in der oberen Position. Die Quarzglocke bleibt in der unteren Position und ist weiterhin mit der Vakuumpumpe verbunden.

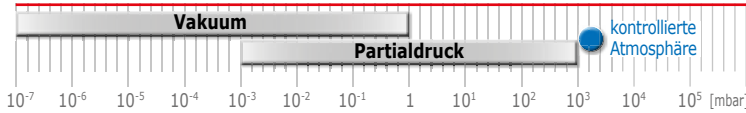
VL 180-300/10: Vertikaler Lötöfen mit einem nutzbaren Durchmesser von 180 mm und einer beheizten Höhe von 300 mm. Im Vakuum beträgt die maximale Temperatur 1050 °C.

Vorteile

- Genau definierte Atmosphäre mit höchstmöglicher Reinheit (6N oder besser)
- Bestmögliches Vakuum
- Schnelles Aufheizen und schnelles Abkühlen
- Zertifiziertes Sicherheitsmanagement für brennbare und toxische Gase
- Vollautomatischer Betrieb
- Beweglicher Quarzrezipient
- Datenaufzeichnung für Qualitätsmanagement

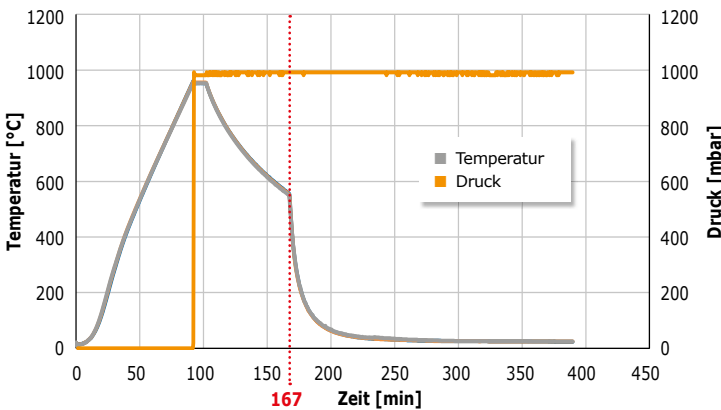
Typische Anwendungen

Anlassen, Tempern, Hart-/Weichlöten, Entgasen, Pyrolyse, Rapid-Prototyping, Sintern, Entbindern, Synthese, Sublimation, Trocknen, MIM, CIM



Technische Details

Der VL ist ein mit Keramikfaser isolierter Rohröfen. Die Heizelemente bestehen aus CrFeAl-Heizdrähten. An der Oberseite ist der Ofen mit einem Keramikfaserstopfen verschlossen. Der Ofen hat drei verschiedene Heizzonen, die durch eine Software gesteuert werden, um die bestmögliche Temperaturhomogenität zu erzielen. Die Ofentemperatur wird mit Mantelthermoelementen in jeder Zone kontrolliert. Ein Übertemperatur-Thermoelement ist ebenfalls eingebaut. Die Maximaltemperatur ist auf 1050°C begrenzt (maximal mögliche Temperatur für das Quarzrohr unter Vakuumbedingungen). Das Quarzrohr selbst ist an einer Seite geschlossen. An der anderen Seite ist ein Flansch angebracht, um den Quarzrezipienten gegen die Grundplatte abzudichten. Eingesetzte metallische Strahlungsschutzschilde schützen die Grundplatte vor Überhitzung. Auf der Grundplatte befinden sich die Vakuumpumpen. Von unten her ist ein Gasführungsrohr angebracht, dessen oberes Ende sich 300 mm oberhalb der Grundplatte befindet. Somit strömt das Gas von oben nach unten. Der Gasauslass ist mit dem unteren Vakuumflansch verbunden. Es ist auch möglich, mehrere Proben-thermoelemente im Quarzrezipienten zu platzieren. Deren Temperatur wird in der automatischen Software des Ofens angezeigt. Der Ofen wird vollautomatisch über ein Touch-Panel betrieben.

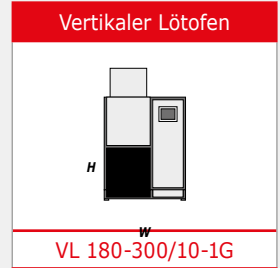


Testheizzyklus: Evakuieren bis zu einem Arbeitsvakuum von 3×10^{-6} mbar, Aufheizen bis 950°C, Fluten bis Atmosphärendruck und Abkühlen. Nach 167 Minuten wurde der Rohröfen bis zur oberen Position angehoben. Zum schnellen Abkühlen wurde der Quarzrezipient von außen mit Luft angeblasen.

Technische Daten



Modell



Vertikaler Lötöfen

VL 180-300/10-1G

Außenabmessungen

H x B x T [mm]	2300 x 1400 x 1400
-----------------------	--------------------

Nutzraum

Kammervolumen [l]	7,6
Ø x h [mm]	180 x 300

Thermische Kennwerte

T_{max} Vakuum [°C]	1050
ΔT, bei einer Höhe von 300 mm mit einem Dreizonenofen [K] (entsprechend DIN 17052)	± 3
Abkühlzeit [min]	30
Kontroll- und Übertemperatur-Thermoelement	Typ K

Anschlusswerte

Leistung [kW]	12
Spannung [V]	400 (3P)
Strom [A]	3 x 30
Vorsicherung [A]	3 x 35

Regler

Manuelle Ausführung	KP 300-Panel und Eurotherm-Regler
Automatische Ausführung	Siemens

Erforderliches Kühlwasser

Benötigter Wasserfluss [l/min]	30
---------------------------------------	----

Anwendungsbeispiel

Löten und Hartlöten von elektronischen Komponenten im Vakuum bis zu 1050 °C



Der VL wurde speziell für das Löten und Hartlöten von kleinen Komponenten bis 1050°C entwickelt. Das Nutzvolumen ist durch das Quarzrohr vorgegeben. Viele elektronische Komponenten, welche für Satelliten, Flugzeuge, Radargeräte oder Laserröhren verwendet werden, müssen im Hochvakuum gelötet und hartgelötet werden. Der Aufbau des VL ist für eine Wärmebehandlung im Hochvakuum besonders geeignet und ist daher für das Vakuumlöten prädestiniert. Nach der Wärmebehandlung wird der Ofen angehoben, die Probe kann schnell abgekühlt werden und der Ofen ist bereits für den nächsten Lötprozess verfügbar. Da der Rohröfen bewegt wird und die Probe stationär bleibt, entstehen keine Vibrationen, welche die Probe schädigen könnten. Die Bewegung des Rohröfens wird automatisch gesteuert und die automatische Software mit ihrer präzisen Datenerfassung stellt sicher, dass der Prozess evaluiert und verbessert werden kann. Die Daten von Vakuum, Temperatur, Gasfluss etc. werden in vordefinierten Zeitschritten protokolliert. Sämtliche Daten lassen sich einfach per CSV-Datei exportieren.



Labor-Rohröfen

Die Rohröfen der F-Modellreihe können sowohl vertikal als auch horizontal bei Temperaturen bis zu 1350 °C betrieben werden.

Die Heizelemente bestehen aus einer freistrahrenden CrFeAl-Heizwendel, die auf einem keramischen Fasermodul angebracht ist. Die geringe thermische Masse der Faserisolierung gewährleistet einen energiesparenden Betrieb und erlaubt schnelle Heizraten. Die umfangreiche Modellreihe des Typ F bietet in Verbindung mit einem vielfältigen Zubehörprogramm die Grundlage für anspruchsvollste Wärmebehandlungen.



FHA 13/80/500: Laborofen mit einer beheizten Länge von 500 mm, bis zu einer maximalen Temperatur von 1350 °C und separater Kontrolleinheit.

Vorteile FHA & FST

- Horizontal und vertikal einsetzbar
- Besonders lange Lebenszeit und hohe Temperaturstabilität
- Vakuumzubehör erhältlich
- Inertgas- und Reaktivgaszubehör erhältlich
- Hochwertiges Thermoelement Typ S
- Faserisolierung mit geringer thermischer Masse
- Hochwertiger 5 mm APM-Draht als Heizelement

Technische Details

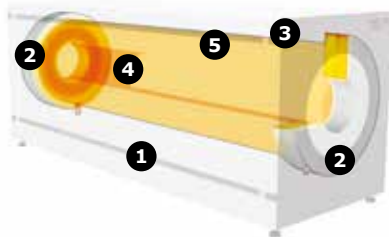
Das rechteckige Gehäuse mit Schlitzen zur Konvektionskühlung stellt sicher, dass das Äußere des Gehäuses kühl bleibt. Mit Endisolierscheiben aus keramischer Faserisolierung wird der Wärmeverlust nach Außen auf ein Minimum reduziert. Das Heizelement im Ofen ist aus einer vakuumgeformten Faserisolierung mit freistrahrenden Heizwendeln aufgebaut, die mit Hilfe von Keramikhalterungen befestigt sind. Weiterhin sind die 5 mm starken Heizwendeln besonders robust. In Kombination mit einer Niederspannungsstromversorgung, erzeugt durch hochwertige Transformatoren, ergibt dies eine extrem lange Lebenszeit der Heizelemente bei hoher Temperaturstabilität. Als Regelthermoelement wird ein hochwertiges Typ S Thermoelement eingesetzt. Die Rohröfen vom Typ F sind mit bis zu 8 separat steuerbaren Heizzonen für bestmögliche Temperaturkontrolle und Homogenität verfügbar.

Typische Anwendungen FHA & FST (Zubehör möglicherweise erforderlich)

Härten, Anlassen, Glühen, Tempern, Hart-/Weichlöten, Entgasen, Kalzinieren, Sintern, Synthese, Sublimation, Trocknen, MIM, CIM, Alterungstests, Katalysatorforschung, Pyrolyse, Thermoelementkalibrierung, Brennstoffzellenforschung, Beschichtung, CVD

Für weitere Optionen siehe Seite 28, 74 und 80

Innenansicht



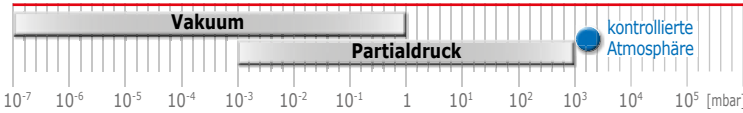
- 1 Ofengehäuse
- 2 Endisolierscheiben
- 3 Gehäuseisolierung
- 4 Heizelemente
- 5 Innere Isolierung (Hot Face)

Anwendungsbeispiel



Langzeitexperimente in der Materialprüfung für Materialien mit höchster Beanspruchung

In Forschung und Entwicklung werden ständig neue Materialien untersucht und für industrielle Prozesse nutzbar gemacht. Für einige Anwendungen ist es wichtig, dass die Eigenschaften, die Materialgrenzen und die Langzeitstabilität bei hoher Temperatur bekannt sind. Für diese Zwecke eignen sich die F-Rohröfen mit ihrer außergewöhnlichen Langzeitstabilität bis 1350 °C besonders gut. Sie ermöglichen dem Anwender die Materialeigenschaften und deren Veränderung über die Zeit bei hohen Temperaturen zu untersuchen. Diese sogenannten Alterungsversuche sind Teil der Standardvorgehensweise, um Werkstoffe für Anwendungen mit sehr hohen Anforderungen zuzulassen. Nur so kann die technische Freigabe für den Einsatz in hochkritischen Anwendungen wie z.B. beim Einsatz in Hochdruckreaktoren oder als Wärmetauscher in Kraftwerken, in denen die Materialien durch die hohe Temperatur mehr belastet werden als in gewöhnlichen Anwendungen, erzielt werden.



Labor-Klapprohren

Die Labor-Klapprohren der Modellreihe FST können sowohl vertikal als auch horizontal bei Temperaturen bis zu 1300°C betrieben werden.

Das Klapprohrendesign ermöglicht ein leichtes Positionieren des Arbeitsrohrs oder komplexer Reaktoren mit mehreren Anschlüssen und Zugängen. Der Mechanismus zum Öffnen des Ofens erlaubt es weiterhin, das Arbeitsrohr und die darin enthaltene Probe schneller abzukühlen. Die Isolierung besteht wie bei der Modellreihe F aus mehreren Schichten keramischer Fasern.

Das rechteckige Gehäuse mit Schlitzen zur Konvektionskühlung stellt wie bei den F-Öfen sicher, dass das Äußere des Gehäuses kühl bleibt. Ein stabiler Griff und zwei Schnellverschlüsse ermöglichen sicheres Öffnen und Schließen des Klapprohrens. Die beiden Halbschalen der Heizelemente sind auch hier aus keramischem Fasermaterial gefertigt, auf dem die Heizer mit Hilfe von Keramikeilen befestigt sind. Auch die Endisolierscheiben sind in zwei Teile geteilt. Ein Türkontaktschalter unterbricht die Stromzufuhr zu den Heizelementen sobald der Ofen geöffnet wird. Die FST-Klapprohren sind mit bis zu 3 Heizzonen erhältlich, um eine sehr gute homogene Zone zu ermöglichen.



FST 13/70/500: Aufklappbarer Laborofen mit einer beheizten Länge von 500 mm bis zu einer maximalen Temperatur von 1300°C.

Zusätzliche Vorteile der FST-Klapprohren

- Große Flansche können am Arbeitsrohr verbleiben
- Reaktoren mit mehreren Anschlüssen können direkt in den Ofen platziert werden, ohne zerlegt werden zu müssen
- Als Zubehör sind robuste Keramikplatten (Halbschalen) erhältlich, welche die Heizelemente vor mechanischen Beschädigungen schützen und als Halter für Proben dienen können

Technische Daten

FHA-Modellreihe (Standard-Rohröfen) und FST-Modellreihe (Klapprohren) sind in einzoniger und dreizoniger Ausführung erhältlich

Modell	T _{max} [°C]	Maximaler Durchmesser des Arbeitsrohrs [mm]	Beheizte Länge [mm]	Außenabmessungen: H x B x T [mm]	Gewicht: Ofen [kg]	Empfohlene Arbeitsrohrlänge		Abmessungen: Kontrollmodul H x B x T* [mm]	Gewicht: Kontrollmodul [kg]	Zone homogener Temperatur ±5°C (einzonig) [mm]	3 Zonen Version verfügbar	Leistung [W]	Stromversorgung
						Für Einsatz an Luft [mm]	Für Einsatz mit modifizierter Atmosphäre [mm]						

Horizontale und vertikale Rohröfen (Zubehör möglicherweise erforderlich)

FHA 13/32/200	1350	32	200	420 x 400 x 350	25	390	925	480 x 560 x 500	50	100	nein	1200	a
FHA 13/32/500	1350	32	500	420 x 700 x 350	30	690	1225	480 x 560 x 500	50	250	ja	2400	a
FHA 13/50/200	1350	50	200	420 x 400 x 350	30	390	925	480 x 560 x 500	50	100	nein	1500	a
FHA 13/50/500	1350	50	500	420 x 700 x 350	35	690	1225	480 x 560 x 500	50	250	ja	3000	a
FHA 13/50/750	1350	50	750	420 x 950 x 350	40	940	1475	850 x 560 x 500	60	375	ja	5400	b
FHA 13/80/200	1350	80	200	420 x 400 x 350	35	390	925	480 x 560 x 500	50	100	nein	2100	a
FHA 13/80/500	1350	80	500	420 x 700 x 350	40	690	1225	480 x 560 x 500	60	200	ja	5200	b
FHA 13/80/750	1350	80	750	420 x 950 x 350	50	940	1475	850 x 560 x 500	70	375	ja	7800	c
FHA 13/80/1000	1350	80	1000	420 x 1200 x 350	80	1190	1725	850 x 560 x 500	90	500	ja	10400	c
FHA 13/110/500	1350	110	500	590 x 700 x 520	55	690	1225	850 x 560 x 500	70	250	ja	7800	c
FHA 13/110/750	1350	110	750	590 x 950 x 520	70	940	1475	850 x 560 x 500	90	375	ja	11400	c
FHA 13/110/1000	1350	110	1000	590 x 1200 x 520	100	1190	1725	850 x 560 x 500	90	500	ja	12000	d
FHA 13/110/1250	1350	110	1250	590 x 1450 x 520	130	1440	1975	850 x 560 x 500	90	610	ja	20000	d

Horizontale und vertikale Klapprohren (Zubehör möglicherweise erforderlich)

FST 13/40/200	1300	40	200	530 x 460 x 560	35	450	985	480 x 560 x 500	50	100	nein	1500	a
FST 13/70/500	1300	70	500	530 x 680 x 560	50	670	1205	480 x 560 x 500	50	250	ja	3000	a
FST 13/100/500	1300	100	500	530 x 680 x 560	75	670	1205	850 x 560 x 500	60	250	ja	4000	b

i Bitte beachten Sie:
 - Beim Kontrollmodul müssen Sie zusätzlich 150 mm freie Tiefe für die Stromanschlüsse etc. einrechnen
 - Die Stromversorgung basiert auf 200–240 V für eine Phase und 380–415 V für drei Phasen
 - Die Zone homogener Temperaturverteilung wurde mit Isolierstopfen bestimmt

Stromversorgung
 a = 1 Phase (16A)+N
 b = 3 Phase (16A)+N
 c = 3 Phase (32A)+N
 d = 3 Phase (63A)+N



Rohröfen mit acht einstellbaren Zonen (AZ) für verschiedenste Temperaturprofile

Der AZ ist ein Rohröfen bestehend aus acht unabhängigen Heizzonen. Diese Zonen können so geregelt werden, dass entlang der beheizten Länge verschiedene Temperaturprofile eingestellt werden können.

Das grundlegende Design des Rohröfens stammt aus der Carbolite Gero Modellreihe F. Die Heizelemente bestehen aus einer CrFeAl-Legierung, die als APM bezeichnet wird. Der Durchmesser des APM Heizdrahtes beträgt 5 mm und befindet sich in einer keramischen Faserisolierung. Die Faserisolierung ist mit einer kammförmigen Struktur versehen, um die Heizelemente optimal einzubetten. Die leichte keramische Faserisolierung speichert dabei ein Minimum an Wärme. Daher kann der Ofen schnell aufgeheizt sowie abgekühlt werden und ist schnell wieder verfügbar. Die hochsymmetrisch gewickelten Heizelemente sorgen für eine Temperaturhomogenität besser als ± 5 K. Die acht Zonen in Kombination mit einer dicken Isolierung an beiden Enden des Ofens führen zu einer ausgedehnten Zone homogener Temperatur. Gerade diese Ausdehnung der homogenen Zone innerhalb des Ofens ist ein Hauptvorteil des Acht-Zonen-Rohröfens. Ein weiterer Vorteil besteht in der Einstellbarkeit des Temperaturprofils. Linear anwachsende, einzelne Temperaturspitzen oder andere Temperaturprofile können eingestellt werden. Eine mögliche Anwendung des AZ ist das gezielte Verdampfen des Materials an Stellen hoher Temperatur. An der Stelle der niedrigeren Temperatur lässt sich das Material dann kontrolliert kondensieren. Eine Vielzahl weiterer Anwendungen wird erst durch einen Mehrzonenofen möglich.

Jede Heizzone im AZ wird separat angesteuert und die Temperatur separat mit Thermoelementen gemessen. Die Thermoelemente werden dabei durch das Isoliermaterial hindurch neben das Heizelement positioniert und verfügen jeweils über ein drei Meter langes Ausgleichskabel. Der Ofen wird durch einen Übertemperaturschutzregler mit einem weiteren eigenen Thermoelement geschützt.



AZ-F 13/40/360: Acht-Zonen-Rohröfen mit einer beheizten Länge von 360 mm und einer maximalen Temperatur von 1350 °C.

Vorteile

- Acht einstellbare Heizzonen für variable Temperaturprofile
- Gradienten, linearer Anstieg und Abfall der Temperatur entlang der beheizten Länge einstellbar
- Verlängerung des homogenen Temperaturbereichs
- Schnelles Aufheizen und Abkühlen möglich
- Automatische Steuerung
- Datenaufzeichnung für das Qualitätsmanagement

Typische Anwendungen

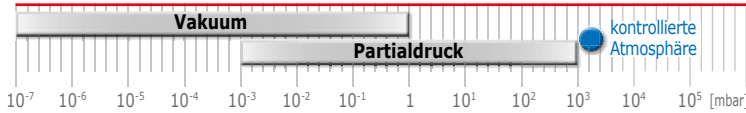
Verdampfen und Sublimieren, Kristallzüchtung, Trocknen, Synthese, Glühen

Anwendungsbeispiel

Wachstum siliziumbasierter Nanostrukturen in einem Mehrzonenofen

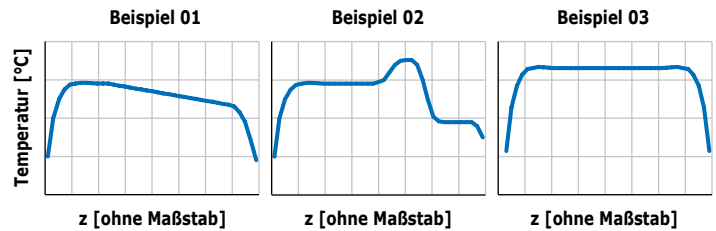


Siliziumbasierte Nanopartikel sind vielversprechende Kandidaten für eindimensionale Quantentransistoren und lichtemittierende Dioden. Im Vergleich zu anderen Herstellungsverfahren wie Lithografie und Ätzverfahren, ist die Verdampfung mit anschließender Kondensation in einem Mehrzonenofen eine kostengünstige Herstellungsmethode. SiO₂-Pulver wird dazu bei 1350 °C verdampft und auf einem Wafer kondensiert. Die präzise Steuerung der einzelnen Temperaturzonen ist die Grundvoraussetzung, um die Morphologie, Größe und Zusammensetzung siliziumbasierter Nanostrukturen gezielt einstellen zu können. Für diese Anwendung ist der AZ deshalb ein wichtiges System, die Nanostrukturen reproduzierbar herzustellen.



Technische Details

Die keramische Faserisolierung ist mehrlagig aufgebaut. Eine sorgfältige Konstruktion sorgt dafür, dass keine Spalte entstehen. Letzteres ist wichtig, um im Ofen eine gute Temperaturverteilung zu gewährleisten. Die Kontrolleinheit ist im Rahmen integriert; daher ist das Gesamtsystem sehr kompakt. Die Bedienung erfolgt über ein intuitiv zu bedienendes Touch-Panel. Kühlwasser ist nicht erforderlich. Der Ofen ist konvektionsgekühlt. Soll jedoch eine Vakuumpumpe an ein Arbeitsrohr adaptiert werden, wird Kühlwasser benötigt, da die beiden Flansche gekühlt werden müssen.



Drei mögliche Temperaturprofile im AZ. Die acht Zonen ermöglichen maximale Flexibilität.

Optionen

Vakuum-Schutzpaket:

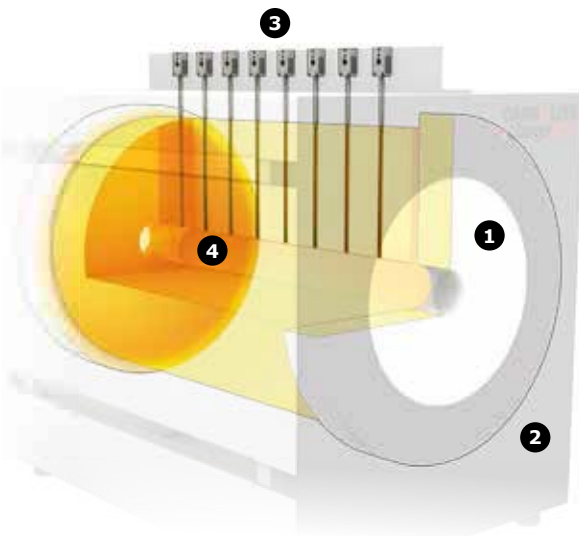
- Der AZ kann mit verschiedenen Arbeitsrohren ausgestattet werden. Diese bestehen aus
- Hochtemperaturbeständigem Stahl bis 1100°C unter Vakuum
 - Quarzglas bis 1050°C unter Vakuum
 - Keramik bis 1450°C unter Vakuum

Am Arbeitsrohr können Vakuumflansche angebracht werden, um einen Pumpstand anzuschließen, beispielsweise eine Turbomolekularpumpe mit einer Sauggeschwindigkeit von 300 l/s in Kombination mit einer Vorpumpe. Es ist auch möglich, nur eine Vorpumpe einzusetzen. Andere Pumpstände oder die Option zur Schnellkühlung sind auf Anfrage erhältlich.

Software:

Die Bedienoberfläche besteht aus einem Touch-Panel der Marke Eurotherm. Das System ist in der Lage, 12 Programme mit bis zu 15 Segmenten abzuspeichern. Für alle acht Zonen werden der Sollwert und der Istwert angezeigt und gespeichert. Das System ist mit einem Übertemperaturschutz versehen, wodurch die Anlage auch über Nacht unbeaufsichtigt betrieben werden kann. Die Ofensteuerung erfolgt vollautomatisch und sämtliche Parameter werden für eine spätere Auswertung aufgezeichnet.

Innenansicht



- 1 Keramische Faserisolierung
- 2 Ofengehäuse
- 3 Acht Thermoelemente zur Regelung
- 4 Nutzbares Volumen



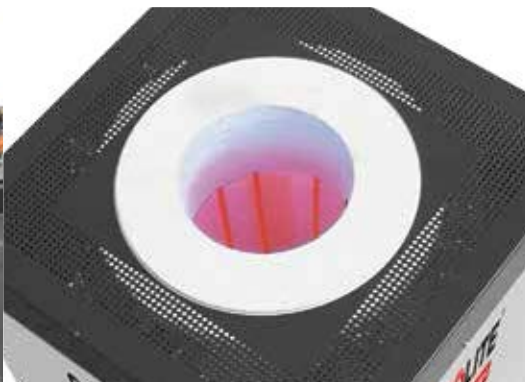
Touch-Panel zur Bedienung und Prozessvisualisierung

Technische Daten

Modell	T_{max} [°C]	Außenabmessungen: H x B x T [mm]	Durchmesser Arbeitsrohr [mm]	Beheizte Länge [mm]	Transportgewicht [kg]	Leistung [W]	Spannung [V]	Strom [A]	Vorsicherung [A]
AZ 13/32/360	1350	990 x 1800 x 500	32	360	500	1500	400 (3P)	3 x 4	3 x 16
AZ 13/50/430	1350	990 x 1800 x 500	50	430	550	2900	400 (3P)	3 x 9	3 x 16
AZ 13/80/810	1350	990 x 1800 x 500	80	810	600	7300	400 (3P)	3 x 12	3 x 16
AZ 13/110/1000	1350	1200 x 1800 x 520	110	1000	650	11300	400 (3P)	3 x 19	3 x 25

In diesem Temperaturbereich kommen MoSi_2 -Heizelemente für eine maximale Temperatur bis 1800°C in Rohröfen oder Heißwandöfen zum Einsatz. Alle weiteren Öfen sind sogenannte Kaltwandöfen, da ein wassergekühlter Kessel die Heizkassette umschließt. Eine Maximaltemperatur von 3000°C ist erreichbar. Für jedes System wird ein typischer Wärmebehandlungsprozess kurz beschrieben.

1300 °C - 3000 °C



Temperaturbereich 1300 °C – 3000 °C	Modell	Seite
Rohröfen, Horizontal bis 1800 °C	HTRH	28
Rohröfen, Vertikal bis 1800 °C	HTRV	30
Klapprohröfen, Vertikal bis 1700 °C	HTRV-A	31
Wasserstoffrohröfen bis 1600 °C	HTRH-H₂	32
Kammeröfen bis 2200 °C	HTK	34
Kammeröfen bis 1800 °C	HTKE	40
Haubenöfen bis 2200 °C	HBO	42
Haubenöfen bis 1800 °C	HB	46
Bottom-Loader-Öfen bis 2200 °C	HTBL	48
Laboröfen bis 3000 °C	LHT	52
Bridgman-Kristallzuchtanlage bis 1800 °C	BV-HTRV	56
Partialdruck-Sinteröfen bis 1450 °C	PDS	58

**HTRH – Rohröfen, Horizontal
bis 1800 °C**


Horizontale Hochtemperatur-Rohröfen

Die Hochtemperatur-Rohröfen der HTRH-Modellreihe werden horizontal betrieben und erreichen Temperaturen bis zu 1800 °C.

Die hochwertige Faserisolierung der Rohröfen besteht aus vakuumgeformten Platten, die durch ihre geringe thermische Masse und Leitfähigkeit einen besonders energiesparenden Betrieb gewährleisten und gleichzeitig ausgezeichnete Heizraten ermöglichen.

Die Molybdändisilid-Heizelemente (MoSi_2) sind im Innern des Ofens hängend angeordnet und daher leicht austauschbar (siehe Schnittzeichnung). Bei höheren Temperaturen bildet sich in der Anwesenheit von Sauerstoff eine Oxidschicht auf den Heizelementen, die diese vor weiterer Korrosion und anderen chemischen Einflüssen schützt. Isolierung und Heizelemente sind in einem rechteckigen Gehäuse untergebracht.

Die Modellreihe HTRH erfüllt durch ein umfangreiches Zubehörprogramm alle Voraussetzungen für anspruchsvollste Wärmebehandlungen im Hochtemperaturbereich.



HTRH 18/40/100: Horizontaler Hochtemperatur-Rohröfen (ohne Kontrolleinheit) mit einer beheizten Länge von 100 mm und einer maximalen Temperatur von 1800 °C.

Vorteile

- Sehr lange Lebenszeit und hohe Temperaturstabilität
- Vakuumzubehör erhältlich
- Inertgas- und Reaktivgaszubehör erhältlich
- Hochwertiges Thermoelement Typ B
- Faserisolierung mit geringer thermischer Masse
- Qualitativ hochwertige, leistungsfähige MoSi_2 -Heizelemente (hängend)
- Rechteckiges Gehäuse mit Schlitzen zur Konvektionskühlung
- Erhältlich in einzoniger und dreizoniger Ausführung

Optionen

(erhältlich für alle Rohröfen)

- Kaskadenregelung
- Digitaler Übertemperaturschutz (empfohlen bei unbeaufsichtigtem Einsatz), frei einstellbar, zum Schutz des Geräts und von wertvollem Probenmaterial
- Große Auswahl digitaler PID-Regler, Programmregler und Schreiber mit RS232, RS485 oder Ethernet Schnittstelle (Siehe Seite 74 und 80)

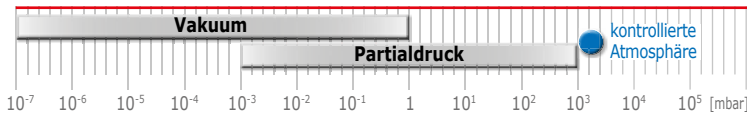
Anwendungsbeispiel

Kalibration von Temperatursensoren (z. B. Thermoelementen)



Kalibrierkörper für
Thermoelemente

Mit einer steigenden Anzahl von Hochtemperaturanwendungen wird die präzise Messung der erforderlichen Temperatur immer wichtiger. Eine präzise Temperaturführung ist zunehmend eine wichtige Stellgröße für die Qualitätskontrolle bestehender und die Entwicklung neuer Produkte. Für die Kalibration unterschiedlicher Temperatursensoren werden extrem stabile und homogene Temperaturen benötigt. Für diese Ansprüche bieten die HTRH Hochtemperatur-Rohröfen eine ausgezeichnete Präzision in Bezug auf Temperaturstabilität und Homogenität an der Probe bei hohen Temperaturen bis zu 1800 °C. Kalibrations- und Zertifizierungsinstitute weltweit nutzen Carbolite Gero Rohröfen als zuverlässige und präzise Hitzequelle für Kalibrationen und die Qualitätskontrolle.



HTRH – Rohröfen, Horizontal bis 1800 °C

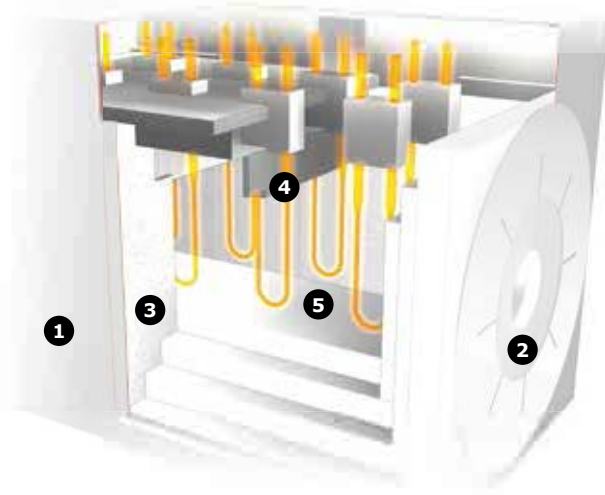
HTRH-3 Hochtemperatur-Rohröfen mit drei separat geregelten Heizzonen

Innenansicht

Eine noch bessere Temperaturhomogenität als im einzonigen Modell kann durch die Aufteilung der beheizten Länge in drei Heizzonen erreicht werden.

In diesem Fall ist jede Zone mit einer eigenen Temperaturkontrolle und einem eigenen Thermoelement ausgestattet. Diese Kombination ist beispielweise ideal geeignet, wenn Gase in das System eingeführt und in einer der beiden Endzonen vorgeheizt werden.

Da sich Material und Arbeitsrohrlänge von Anwendung zu Anwendung unterscheiden, beispielsweise wenn eine modifizierte Atmosphäre wie Vakuum oder Inertgas benötigt wird, beinhalten die HTRH Rohröfen kein festverbautes Arbeitsrohr. Somit ist eine maximale Flexibilität garantiert und ein Arbeitsrohr kann je nach Anwendung aus dem Zubehörprogramm ausgewählt werden.



- 1 Ofengehäuse
- 2 Endisolierscheiben
- 3 Gehäuseisolierung
- 4 Heizelemente
- 5 Innere Isolierung (Hot Face)

Typische Anwendungen

Härten, Anlassen, Glühen, Tempern, Löten, Entgasen, Kalzinieren, Sintern, Synthese, Sublimation, Trocknen, MIM, CIM, kleine Reaktoren, Alterungstests, Katalysatorforschung, Pyrolyse, Thermoelementkalibrierung, Brennstoffzellenforschung, Beschichtung, CVD

Technische Daten

Modell	T _{max} [°C]	Maximaler äußerer Durchmesser des Arbeitsrohrs [mm]	Beheizte Länge [mm]	Außenabmessungen: H x B x T [mm]	Gewicht: Ofen [kg]	Empfohlene Arbeitsrohrlänge		Abmessungen: Kontrollmodul H x B x T* [mm]	Gewicht: Kontrollmodul [kg]	Zone homogener Temperatur ±5°C [mm]	Leistung [W]	Stromversorgung
						Für Einsatz an Luft [mm]	Für Einsatz mit modifizierter Atmosphäre [mm]					

Horizontale einzonige Rohröfen

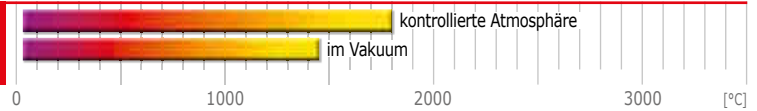
HTRH ___/40/100	1600, 1700, 1800	40	100	510 x 390 x 420	45	380	915	480 x 560 x 500	50	50	2200	a
HTRH ___/40/250	1600, 1700, 1800	40	250	510 x 540 x 420	45	530	1065	480 x 560 x 500	50	125	3600	a
HTRH ___/40/500	1600, 1700, 1800	40	500	510 x 790 x 420	60	780	1275	850 x 560 x 500	90	250	8000	c
HTRH ___/70/150	1600, 1700, 1800	70	150	620 x 450 x 520	90	440	975	480 x 560 x 500	60	75	4500	b
HTRH ___/70/300	1600, 1700, 1800	70	300	620 x 590 x 520	65	580	1115	850 x 560 x 500	60	150	6400	b
HTRH ___/70/600	1600, 1700, 1800	70	600	620 x 890 x 520	90	880	1415	850 x 560 x 500	90	300	8000	c
HTRH ___/100/150	1600, 1700, 1800	100	150	620 x 450 x 520	120	440	975	480 x 560 x 500	60	75	4800	b
HTRH ___/100/300	1600, 1700, 1800	100	300	620 x 590 x 520	65	580	1115	850 x 560 x 500	90	150	7500	c
HTRH ___/100/600	1600, 1700, 1800	100	600	620 x 890 x 520	90	880	1415	850 x 560 x 500	90	300	10900	c
HTRH ___/150/300	1600, 1700, 1800	150	300	670 x 590 x 570	120	580	Nicht verfügbar	850 x 560 x 500	90	150	8000	c
HTRH ___/150/600	1600, 1700, 1800	150	600	670 x 890 x 570	140	880	Nicht verfügbar	850 x 560 x 500	90	300	12000	c
HTRH ___/200/300	1600, 1700, 1800	200	300	720 x 590 x 620	180	580	Nicht verfügbar	850 x 560 x 500	90	150	10000	c
HTRH ___/200/600	1600, 1700, 1800	200	600	720 x 890 x 620	140	880	Nicht verfügbar	850 x 560 x 500	90	300	12000	c

Horizontale dreizonige Rohröfen

HTRH-3 ___/70/600	1600, 1700, 1800	70	600	620 x 890 x 520	120	880	1415	850 x 560 x 500	180	350	8000	c
HTRH-3 ___/100/600	1600, 1700, 1800	100	600	620 x 890 x 520	120	880	1415	850 x 560 x 500	180	350	10900	c
HTRH-3 ___/150/600	1600, 1700, 1800	150	600	670 x 890 x 570	180	880	Nicht verfügbar	850 x 560 x 500	180	350	12000	c

- i** Bitte beachten Sie:
- Beim Kontrollmodul müssen Sie zusätzlich 150 mm freie Tiefe für die Stromanschlüsse etc. einrechnen
 - Die Stromversorgung basiert auf 200-240 V für eine Phase und 380-415 V für drei Phasen
 - Die Zone homogener Temperaturverteilung wurde mit Isolierstopfen bestimmt
 - Die maximale Dauerbetriebstemperatur liegt 100 °C unter der maximalen Temperatur

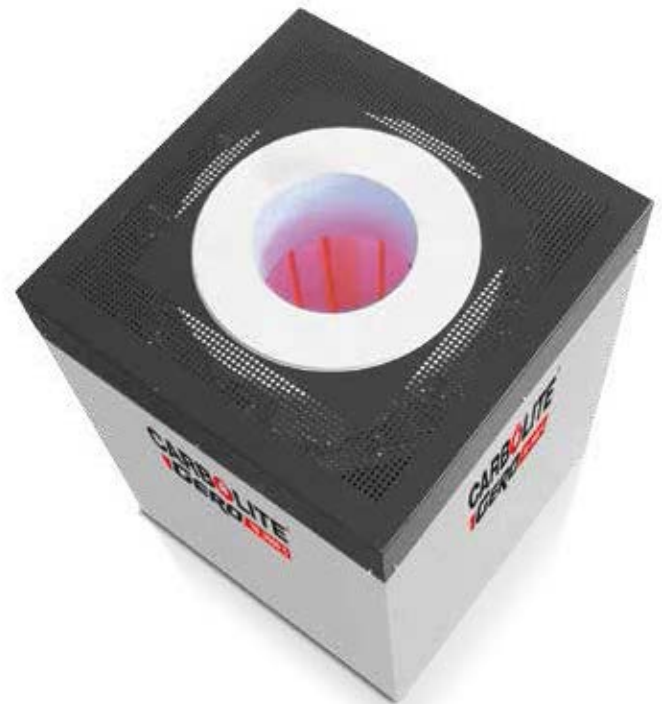
- Stromversorgung
- a = 1 Phase (16A)+N
 - b = 3 Phase (16A)+N
 - c = 3 Phase (32A)+N
 - d = 3 Phase (63A)+N



HTRV Vertikale Hochtemperatur-Rohröfen

Die Hochtemperatur-Rohröfen der HTRV-Modellreihe werden vertikal betrieben und erreichen Temperaturen bis zu 1800 °C.

Die hochwertige Faserisolierung der Rohröfen besteht aus vakuumgeformten Platten, die durch ihre geringe thermische Masse und Leitfähigkeit einen besonders energiesparenden Betrieb gewährleisten und gleichzeitig ausgezeichnete Heizraten ermöglichen. Die Molybdändisilizid-Heizelemente (MoSi_2) sind im Innern des Ofens hängend angeordnet und daher leicht austauschbar (siehe Schnittzeichnung). Bei höheren Temperaturen bildet sich in der Anwesenheit von Sauerstoff eine Oxidschicht auf den Heizelementen, die diese vor weiterer Korrosion und anderen chemischen Einflüssen schützt. Isolierung und Heizelemente sind in einem rechteckigen Gehäuse untergebracht. Die Modellreihe HTRV erfüllt durch ein umfangreiches Zubehörprogramm alle Voraussetzungen für anspruchsvollste Wärmebehandlungen im Hochtemperaturbereich.



HTRV 18/40/100: Vertikaler Hochtemperaturrohröfen mit einer beheizten Höhe von 100 mm und einer maximalen Temperatur von 1800 °C.

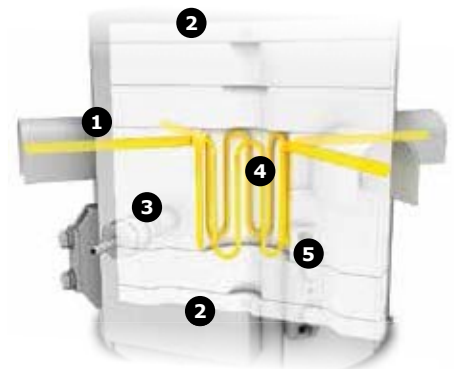
Vorteile HTRV & HTRV-A

- Optimiert für vertikalen Einsatz
- Vakuumbzubehör erhältlich
- Inertgas- und Reaktivgaszubehör erhältlich
- Hochwertiges Thermoelement Typ B
- Faserisolierung mit geringer thermischer Masse
- Qualitativ hochwertige, leistungsfähige MoSi_2 -Heizelemente (hängend)
- Rechteckiges Gehäuse mit Schlitzen zur Konvektionskühlung

Für weitere Optionen siehe Seite 28, 74 und 80

Innenansicht des HTRV-A

- 1 Ofengehäuse
- 2 Endisolierscheiben
- 3 Gehäuseisolierung
- 4 Heizelemente
- 5 Innere Isolierung (Hot Face)



Typische Anwendungen HTRV & HTRV-A

(Zubehör möglicherweise erforderlich)

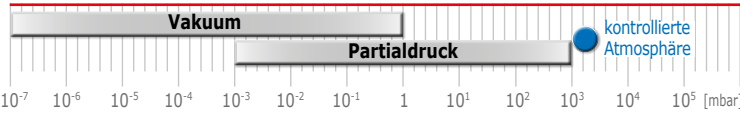
Härten, Anlassen, Glühen, Tempern, Hart-/Weichlöten, Entgasen, Kalzinieren, Sintern, Synthese, Sublimation, Trocknen, MIM, CIM, kleine Reaktoren, Alterungstests, Katalyseforschung, Pyrolyse, Thermoelementkalibrierung, Brennstoffzellenforschung, Beschichtung, CVD

Anwendungsbeispiel

Schmelzen verschiedener Gesteinsproben für die Vorhersage von Vulkanausbrüchen



Eine ungewöhnliche Anwendung für die vertikalen HTRV-Hochtemperatur-Rohröfen ist die Bestimmung der Viskosität und der Fluidität geschmolzener Gesteinsproben, die als Vergleich zur flüssigen Magma in Vulkanen dienen. Zu diesem Zweck werden verschiedenartige Gesteine erhitzt, um deren Verhalten bei Temperaturen bis zu 1800 °C zu untersuchen. Diese Grundlagenforschung bietet die Möglichkeit, das Verhalten geschmolzener und halbgeschmolzener Gesteinsschichten zu verstehen, welches möglicherweise zu Erdbeben und Vulkanausbrüchen beitragen könnte. Durch die Erforschung der Viskosität von verschiedenartigem Magma und entsprechende Computersimulationen lassen sich so Risikobewertungen für einzelne Vulkane oder Erdbebengebiete erstellen. Mit einer wachsenden Bevölkerungsdichte in Erdbeben- und Vulkangebieten wie Kalifornien oder Japan wird diese Art der Grundlagenforschung immer wichtiger, um Gefahren möglichst früh zu erkennen.



HTRV-A – Klapprohröfen, Vertikal bis 1700 °C

Vertikaler HTRV-A Hochtemperatur-Klapprohröfen

Die Hochtemperatur-Klapprohröfen der HTRV-A-Modellreihe werden vertikal betrieben und erreichen Temperaturen bis zu 1700 °C.

Das Klapprohröfendesign ermöglicht ein leichtes Positionieren des Arbeitsrohrs sowie komplexer Reaktoren mit mehreren Anschlüssen und Zugängen. Der Mechanismus zum Öffnen des Ofens erlaubt es, das Arbeitsrohr und die darin enthaltene Probe schneller abzukühlen. Serienmäßig sind die Öfen mit Thermoelementen ausgerüstet, die in der Zonenmitte montiert sind. Die Modellreihe des Typs HTRV-A verfügt über ein umfangreiches Zubehörprogramm für anspruchsvollste Wärmebehandlungen im Hochtemperaturbereich.

Das rechteckige Gehäuse mit Schlitzen zur Konvektionskühlung stellt analog zu den HTRV-Öfen sicher, dass das Äußere des Gehäuses jederzeit kühl bleibt. Die beiden Halbschalen der Heizelemente sind auch hier aus keramischem Fasermaterial gefertigt, die Heizelemente hängen von oben herab und können leicht ausgetauscht werden. Auch die Endisolierscheiben sind in je zwei Teile geteilt. Ein Türkontaktschalter unterbricht die Stromzufuhr zu den Heizelementen, sobald der Ofen aufgeklappt wird.



HTRV-A 17/70/250: Vertikaler aufklappbarer Hochtemperaturrohröfen mit einer beheizten Höhe von 250 mm und einer maximalen Temperatur von 1700 °C.

Zusätzliche Vorteile der HTRV-A-Klapprohröfen

- Große Flansche können am Arbeitsrohr verbleiben
- Reaktoren mit mehreren Anschlüssen können direkt in den Ofen platziert werden, ohne zerlegt werden zu müssen

Technische Daten

Modell	T _{max} [°C]	Maximaler äußerer Durchmesser des Arbeitsrohrs [mm]	Beheizte Länge [mm]	Außenabmessungen: H x B x T [mm]	Gewicht: Ofen [kg]	Empfohlene Arbeitsrohrlänge		Abmessungen Kontrollmodul H x B x T* [mm]	Gewicht Kontrollmodul [kg]	Homogene Zone ± 5K [mm]	Leistung [W]	Stromversorgung
						Für Einsatz an Luft [mm]	Für Einsatz mit modifizierter Atmosphäre [mm]					

Vertikale Hochtemperatur-Rohröfen

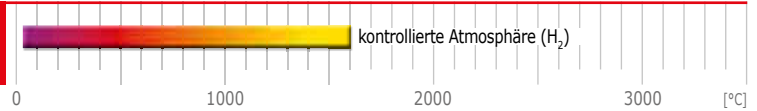
HTRV __/40/100	1600, 1700	40	100	365 x 455 x 455	30	355	890	480 x 560 x 500	50	50	2000	a
HTRV __/40/250	1600, 1700, 1800	40	250	515 x 455 x 455	40	505	1040	480 x 560 x 500	50	125	3000	a
HTRV __/40/500	1600, 1700	40	500	765 x 455 x 455	65	755	1290	850 x 560 x 500	60	250	6000	b
HTRV __/70/100	1600, 1700	70	100	365 x 455 x 455	30	355	890	480 x 560 x 500	50	50	3000	a
HTRV __/70/250	1600, 1700, 1800	70	250	515 x 455 x 455	40	505	1040	850 x 560 x 500	60	125	4800	b
HTRV __/70/500	1600, 1700, 1800	70	500	765 x 455 x 455	65	755	1290	850 x 560 x 500	90	250	8000	c
HTRV __/100/250	1600, 1700, 1800	100	250	515 x 455 x 455	45	505	1040	850 x 560 x 500	60	125	6400	b
HTRV __/100/500	1600, 1700, 1800	100	500	765 x 455 x 455	70	755	1290	850 x 560 x 500	90	250	10400	c
HTRV __/150/250	1600, 1700, 1800	150	250	515 x 580 x 580	55	505	Nicht verfügbar	850 x 560 x 500	90	125	8000	c
HTRV __/150/500	1600, 1700, 1800	150	500	765 x 580 x 580	80	755	Nicht verfügbar	850 x 560 x 500	90	250	12000	d
HTRV __/200/250	1600, 1700, 1800	200	250	515 x 580 x 580	70	505	Nicht verfügbar	850 x 560 x 500	90	125	10000	c
HTRV __/200/500	1600, 1700, 1800	200	500	365 x 580 x 580	95	755	Nicht verfügbar	850 x 560 x 500	90	250	18500	d

Vertikale Hochtemperatur-Klapprohröfen

HTRV-A __/70/250	1600, 1700	70	250	800 x 600 x 890	75	600	1040	850 x 560 x 500	90	125	6000	c
------------------	------------	----	-----	-----------------	----	-----	------	-----------------	----	-----	------	---

- i** Bitte beachten Sie:
- Beim Kontrollmodul müssen Sie zusätzlich 150 mm freie Tiefe für die Stromanschlüsse etc. einrechnen
 - Die Stromversorgung basiert auf 200 – 240 V für eine Phase und 380 – 415 V für drei Phasen
 - Die Zone homogener Temperaturverteilung wurde mit Isolierstopfen bestimmt
 - Die maximale Dauerbetriebstemperatur liegt 100 °C unter der maximalen Temperatur

- Stromversorgung
- a = 1 Phase (16A)+N
 - b = 3 Phase (16A)+N
 - c = 3 Phase (32A)+N
 - d = 3 Phase (63A)+N



Rohröfen optimiert für den Wasserstoffbetrieb

Das Wasserstoff-Rohröfen-System basiert auf dem Modell HTRH 100-600/16 und erfüllt sämtliche Vorschriften für den sicheren Umgang mit Wasserstoff.

Grundsätzlich lässt sich jeder Carbolite Gero-Rohröfen so modifizieren, dass ein sicheres Arbeiten mit Wasserstoff möglich ist. Das hier dargestellte System basiert auf dem Modell HTRH 100-600/16. Das System beinhaltet ein Keramikrohr mit wassergekühlten Vakuum-Flanschen an beiden Enden und ermöglicht eine Wärmebehandlung unter reiner Wasserstoffatmosphäre bis 1600 °C.

Das Keramikrohr wird sicherheitshalber und automatisch vor der Wasserstoffeinleitung mit Inertgas aus einem Sicherheitsspültank mit hohem Druck gespült. Um vor der Wärmebehandlung den restlichen Sauerstoff aus dem Rohr zu entfernen, wird der Spültank vollständig entleert und vor Beginn der Wärmebehandlung wieder aufgefüllt. Das Gasauslasssystem ist mit einem Nachbrenner verbunden, welcher den austretenden Wasserstoff verbrennt.

Der Übergang zum Nachbrenner selbst ist beheizt, um eine Kondensatbildung im Gasauslass zu verhindern. Der Nachbrenner wird mit komprimierter Luft und Propangas betrieben und verbrennt neben Wasserstoff auch Binder, der möglicherweise aus den Proben austritt. Vollautomatische Massendurchflussregler regeln die Gasströme.

Sämtliche Bauteile erfüllen die SIL2-Norm. Auf dem Ofen ist als Sicherheitsmaßnahme ein Wasserstoffsensordring, der austretenden Wasserstoff detektiert. Falls Wasserstoff während eines Störfalls gemessen wird, wird der Ofen automatisch mit Inertgas geflutet und in einen sicheren Zustand gebracht. Der Ofen wird mit einem benutzerfreundlichen Touch-Panel angesteuert.



HTRH 100-600/16 Standardausstattung: Nachbrenner, beheizter Gasauslass, Automatikbetrieb und anwenderfreundliche Touch-Panel-Benutzeroberfläche. Das System kann sogar bei der Verwendung von reinem Wasserstoff bei bis zu 1600 °C betrieben werden. Sämtliche Sicherheitsvorkehrungen sind umgesetzt.

Typische Anwendungen

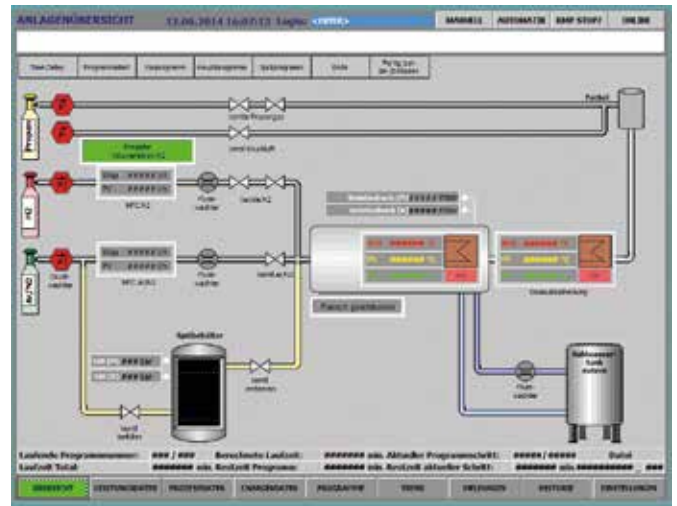
Anlassen, Tempern, Glühen, Hart-/Weichlöten, Entgasen, Pyrolyse, Rapid-Prototyping, Sintern, Entbindern, Synthese, Sublimation, Trocknen, MIM, CIM

Vorteile

- Verwendung von Wasserstoff bis zu einer Reinheit von 100%
- Sicherheitssystem mit Nachbrenner und Spültank
- Erfüllt sämtliche Sicherheitsvorkehrungen für den Wasserstoffbetrieb
- Reduzieren des Sauerstoffgehalts durch Spülung mit Inertgas
- Automatikbetrieb
- Datenaufzeichnung für Qualitätsmanagement



Der Spültank, eine notwendige Sicherheitsmaßnahme bei der Arbeit mit reinem Wasserstoff, ist mit Stickstoff unter einem Druck von 8 bar gefüllt.



Für den Automatikbetrieb wird ein Touch-Panel verwendet. Sämtliche Ventile, Temperaturen, Gasströme, usw. lassen sich manuell oder automatisch mit einem vorgegebenen Programm an- und ausschalten.



- 1 Wasserstoffsensoren
- 2 Nachbrenner
- 3 Beheiztes Gasauslasssystem
- 4 Touch-Panel für den Automatikbetrieb

Optionen

Vakuumsystem:

Rohröfen können mit Arbeitsrohren aus verschiedenen Materialien ausgestattet werden:

- Temperaturbeständiger Stahl
- Quarz
- Keramik

Über ein Arbeitsrohr kann eine Pumpeinheit an den Ofen angeschlossen werden, beispielsweise eine Turbomolekularpumpe mit einer Pumpgeschwindigkeit von mehr als 300 l/s oder zweistufige Drehschieberpumpen als Vorpumpen. Andere Pumpen oder ein Schnellkühlsystem sind auf Anfrage erhältlich. Die Einsatztemperaturen und Bedingungen der Arbeitsrohre sind auf Seite 82 zu finden.

Rohröfen:

Sämtliche Rohröfen der Serien F, HTRH und HTRV können mit der Wasserstoffoption, wie oben beschrieben, ausgestattet werden.

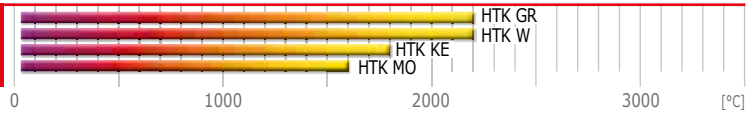
Anwendungsbeispiel

Wärmebehandlung von weichmagnetischem Material



Für viele empfindliche Anwendungen oder Messungen ist es wichtig, die Umgebung gegen elektromagnetische Felder komplett abzuschirmen. Gewöhnlich wird die Abschirmung durch magnetisches Material mit hoher Permeabilität erfüllt. Dieses Material ist als Mu-Metal® bekannt und wird bei der Verarbeitung unter Wasserstoff bei einer Temperatur um 1200 °C für einige Stunden wärmebehandelt. Nach der Wärmebehandlung muss das Material mit großer Vorsicht behandelt werden, dass sich die erreichten magnetischen Eigenschaften nicht wieder verschlechtern.

Folie aus Mu-Metal® zum Abschirmen magnetischer Felder



Hochtemperatur-Kammeröfen

Die HTK Serie ist mit drei verschiedenen Isoliermaterialien erhältlich: Graphit, metallisches Material (Wolfram oder Molybdän) oder Keramikfasern. Durch diese unterschiedlichen Materialien ergibt sich ein sehr breiter Anwendungsbereich.

Der HTK GR mit Graphit-Isolierung und -Heizelementen kann auf Wunsch eine Maximaltemperatur von 3000 °C erreichen. Ebenfalls kann eine Retorte aus Graphit eingebaut werden, welche die Heizelemente schützt und für einen definierten Gasfluss von außen nach innen sowie in den Gasauslass sorgt. Bei Prozessen mit starkem Ausgasen der Proben schützt die Retorte zudem die Heizelemente und erhöht somit deren Lebensdauer. Die Temperaturhomogenität wird durch die Retorte ebenfalls verbessert und liegt bei besser als ± 10 K. Öfen vom Typ HTK GR ermöglichen Wärmebehandlungen im Grob- und Feinvakuum sowie in Schutzgasen wie Stickstoff oder Argon, aber auch Prozesse mit Reaktionsgasen wie Wasserstoff oder Kohlenstoffmonoxid. Der HTK GR darf aufgrund des Werkstoffs Graphit nicht unter Sauerstoffatmosphäre betrieben werden.

Mit den metallischen Öfen aus Wolfram (HTK W) oder Molybdän (HTK MO) kann die höchste Reinheit der Atmosphäre sowie das beste Endvakuum erreicht werden. Das Arbeitsvakuum liegt im Hochvakuumbereich (5×10^{-6} mbar) und kann bei Bedarf sogar ein Ultrahochvakuum erreichen. Häufig verwendete Gase sind Stickstoff, Argon, Wasserstoff oder Gasgemische. Die Heizelemente sowie die aus mehreren aufeinanderfolgenden Blechen aufgebaute Isolierung bestehen aus dem gleichen Material.

Um Gasführung und Temperaturhomogenität zu verbessern, kann eine metallische Retorte eingebaut werden. Die maximal erreichbare Temperatur des HTK W beträgt 2200 °C, die des HTK MO 1600 °C.

Die Kammeröfen mit keramischer Faserisolierung (HTK KE) können mit einem definierten Sauerstoffgemisch oder mit 100 % Sauerstoff betrieben werden. Die Heizelemente bestehen aus einem CrFeAl-Heizdraht und erreichen eine Temperatur bis 1350 °C. Prozesse mit inerten Gasen sind ebenfalls möglich, jedoch muss in diesem Fall mit einer verringerten Reinheit gerechnet werden. Eine Wärmebehandlung im Vakuum ist aufgrund der Porosität der Isolierung nur kurzzeitig und nur im Grobvakuumbereich möglich.



HTK 400 GR/22: Hochtemperaturkammerofen mit einem nutzbaren Volumen von 400 l und einer maximalen Temperatur von 2200 °C. Die Bedienung erfolgt vollautomatisch über ein Touch-Panel.

Vorteile

- Mit metallischen Öfen kann die bestmögliche Atmosphärenreinheit erreicht werden
- Mit metallischen Öfen ist das bestmögliche Endvakuum erreichbar
- Mit Graphitöfen sind die höchsten Temperaturen erreichbar
- Wasserstoffpartialdruckbetrieb möglich
- Wärmebehandlung an Luft oder in 100 % Sauerstoff im HTK KE möglich
- Kontrolliertes Evakuieren, geeignet für pulverförmige Proben
- Datenspeicherung für das Qualitätsmanagement

Typische Anwendungen

HTK mit Graphit-Isolierung:

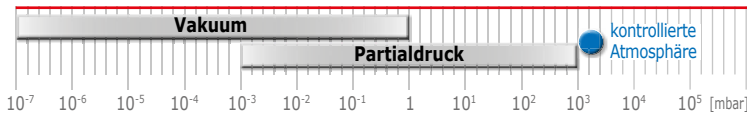
Pyrolyse, Sintern, Silizieren, Graphitieren, technische Keramiken wie SiC, SiN, BC, AlN

HTK mit metallischer Isolierung:

Metal-Injection-Molding (MIM), kohlenstofffreie Atmosphäre, Sintern, Metallisieren, etc.

HTK mit keramischer Faserisolierung:

Ceramic-Injection-Molding (CIM), Entbindern und Sintern an Luft



Technische Details

Innerhalb der Kammer befinden sich die Heizelemente an vier Seiten (unten, oben, rechts und links) und garantieren dadurch eine ausgezeichnete Temperaturhomogenität. Bei großen Kammeröfen werden zusätzlich die Rückwand sowie die Tür mit Heizelementen ausgestattet. Diese beiden Heizzonen sind notwendig, um auch bei diesen Modellen ein gute Temperaturhomogenität zu gewährleisten.

Sämtliche Kammeröfen (HTK W, HTK MO, HTK GR, HTK KE) werden von einem wassergekühlten doppelwandigen Kessel umgeben, durch den Kühlwasser fließt. Man spricht bei dem HTK daher auch von einem Kaltwandofen.

Auf Wunsch kann die Temperatur im HTK GR auf 3000°C erhöht werden. Diese herausfordernde Temperatur benötigt ein spezielles Ofendesign: eine ausreichend dicke Isolierung, ein spezielles Design der Heizelemente sowie eine Temperaturüberwachung mit einem Pyrometer (Messung der

Wärmestrahlung mittels optischer Methoden). Das Pyrometer befindet sich außerhalb des Ofens und wird durch ein Quarzfenster in einen heißen Referenz-Bereich im Ofen fokussiert. Das Messprinzip funktioniert nur, wenn ausreichend Wärmestrahlung (übers 400°C) emittiert wird. Entsprechend wird bei geringeren Temperaturen ein Schiebethermoelement verwendet.

Eine Temperatur von 3000°C ist nur unter Schutzgasatmosphäre möglich, da der Dampfdruck von Graphit bei 3000°C sehr hoch ist. Der Dampfdruck von Graphit führt auch dazu, dass Kohlenstoff in der Ofenatmosphäre nicht vermieden werden kann. Würden die Proben durch Kohlenstoff während der Wärmebehandlung beschädigt werden, sollte stattdessen ein metallischer Ofen eingesetzt werden.

Weitere Informationen der Öfen bis zu 3000°C sind im Kapitel *SERIE 3000* zu finden.



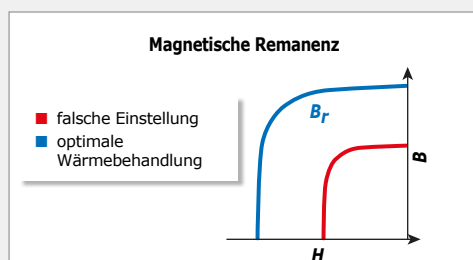
Abbildung der Visualisierung der vollautomatischen Öfen.



HTK 8 GR/22: Kammerofen mit einem nutzbaren Volumen von 8 l und einer maximalen Temperatur von 2200°C. Die Isolierung besteht aus mehreren lagen Graphitfilz. Im Ofen befindet sich eine rechteckige Retorte.

Anwendungsbeispiel

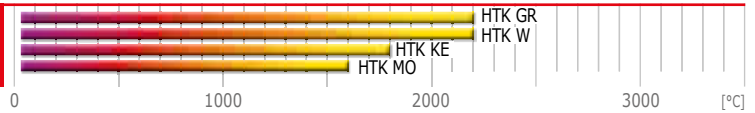
Sintern magnetischer Materialien in einem metallischen Kammerofen



Die passende Wärmebehandlung führt zu hoher Remanenz B_r (blaue Kurve). Bei unpassenden Einstellungen (rote Kurve) werden die magnetischen Eigenschaften verschlechtert. Die Wärmebehandlung muss passend gewählt werden.

Magnetische Materialien haben einen sehr breiten Anwendungsbereich. Sie werden beispielsweise in Turbinen, Transformatoren und elektrischen Motoren verwendet. Um die Effizienz solcher Bauteile und deren Qualität zu erhöhen ist es wichtig, gute magnetische Eigenschaften der Materialien wie hohe Remanenz (B_r) bei Hartmagneten (Permanentmagneten) oder eine hohe Anfangspermeabilität bei weichmagnetischen Materialien zu erreichen. Mit einer jährlichen Produktion von 7 Millionen Tonnen haben softmagnetische Materialien einen großen Markt.

Die magnetischen Eigenschaften können durch eine passende Wärmebehandlung kontrolliert und verbessert werden. Dabei muss die bestmögliche Atmosphärenreinheit zur Verfügung stehen. Meist wird die Wärmebehandlung im Vakuum oder unter Wasserstoff durchgeführt. Für diese anspruchsvollen Prozesse ist der metallische HTK ideal geeignet. In automatischer Ausführung ist die Wärmebehandlung reproduzierbar und verlässlich durchführbar. Zum Be- und Entladen kann der HTK auf Anfrage an eine Glovebox angeflanscht werden, um auch ein Chargieren unter inerten Bedingungen zu verwirklichen.



Die HTK-Serie kann für verschiedenste Anwendungen verwendet werden, da drei verschiedene Isolier- und Heiztechniken zur Verfügung stehen.

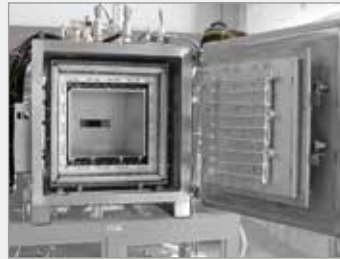
Graphitöfen



Diese Öfen werden unter Vakuum/ Hochvakuum, Schutzgasen wie Stickstoff/Argon, aber auch mit Reaktionsgasen wie Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid eingesetzt. Der Betrieb an Luft ist ausgeschlossen.

Einsatzbereiche sind technische Keramiken wie SIC, SIN, BC, ALN und Kombinationen. Im Bereich der Verbundwerkstoffe werden sie eingesetzt für Pyrolysen, Sintern, Silizieren und Graphitieren.

Metallische Öfen aus Molybdän und Wolfram



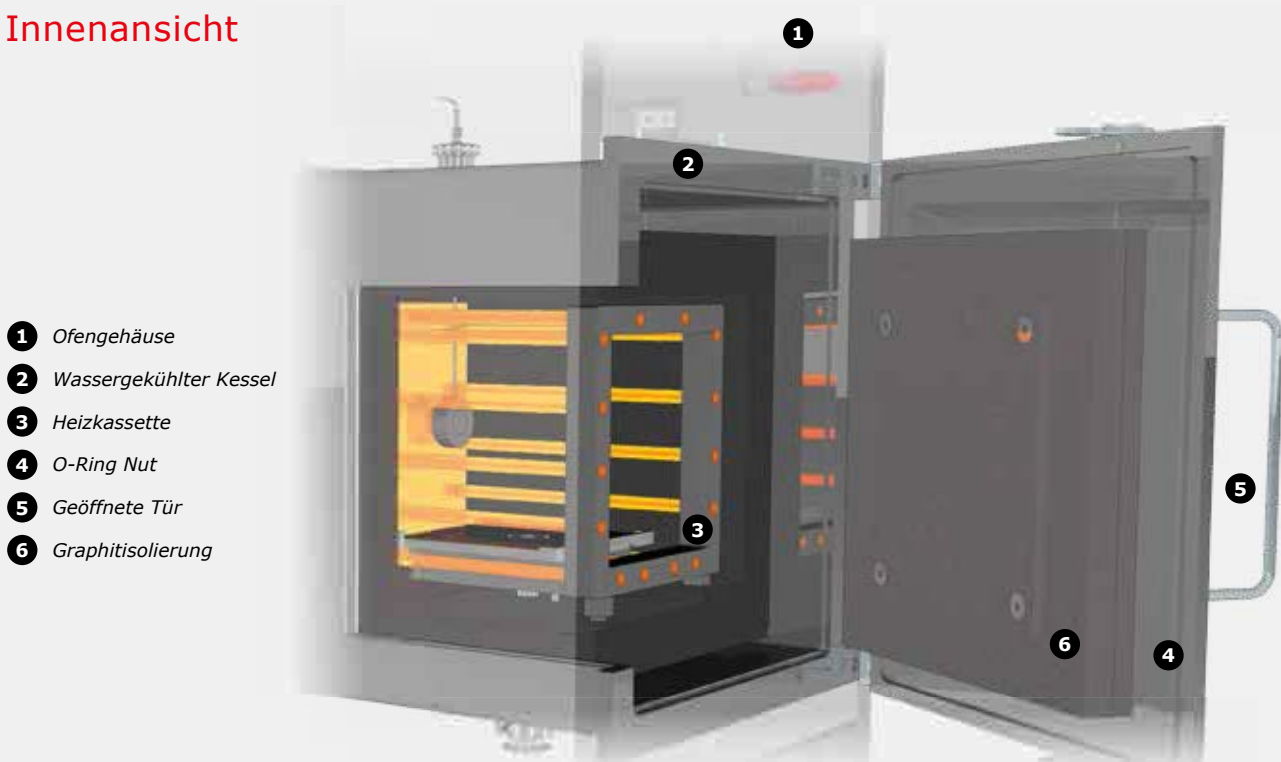
Die metallischen Öfen haben keine Faserisolierung, dadurch werden die höchsten Reinheiten der Prozessatmosphäre und das bestmögliche Endvakuum erreicht. Eingesetzt werden die aufwendigen Aufbauten für Proben, die in kohlenstofffreien Atmosphären behandelt werden müssen. Anwendungsbeispiele finden sich in der Lampenindustrie, beim Metallpulverspritzguss, beim Tempern von Safiren, in der Wärmebehandlung von Metallteilen, beim Sintern von Pellets aus der Nuklearindustrie, bei der Fertigung von Radarröhren, beim Metallisieren von Keramikteilen, beim Hochvakuumlöten usw.

Keramikerisolierete Öfen

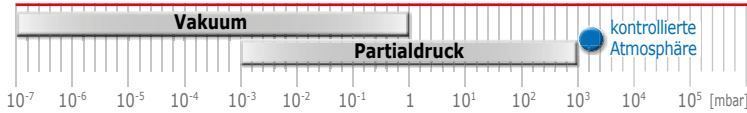


Kammeröfen mit keramischer Faserauskleidung werden für Prozesse mit definiertem Sauerstoffanteil oder in 100% Sauerstoffatmosphäre eingesetzt. Auch Prozesse unter Stickstoff und Argon gelingen; allerdings müssen Abstriche an der Gasatmosphärenqualität in Kauf genommen werden. Es können Prozesse für piezokeramische Werkstoffe gefahren und alle oxidischen Materialien gesintert werden. Diese Öfen eignen sich weiterhin zur Wärmebehandlung von Metallen, zur Kristallzüchtung und zur Fertigung von keramischen Pulvern.

Innenansicht



- 1 Ofengehäuse
- 2 Wassergekühlter Kessel
- 3 Heizkassette
- 4 O-Ring Nut
- 5 Geöffnete Tür
- 6 Graphitisolierung



Optionen

Sämtliche HTK-Modelle sind in manueller oder automatischer Ausführung erhältlich. Solange keine Reaktionsgase verwendet werden, kann ein manueller Ofen verwendet werden. Wird jedoch mit Reaktivgasen wie Wasserstoff gearbeitet, muss ein automatischer Ofen zum Einsatz kommen, der alle nötigen Sicherheitsvorkehrungen (SIL2) erfüllt.

Vakuum Pumpstände:

Sämtliche HTK-Modelle können mit Vakuumpumpen ausgerüstet werden. Es stehen einstufige oder zweistufige Drehschieberpumpen zur Verfügung. Soll das Arbeitsvakuum im Feinvakuumbereich liegen, wird eine Vorpumpe mit einer Wälzkolbenpumpe kombiniert. Um ein Hochvakuum zu erreichen, wird die Vorpumpe mit einer Turbomolekularpumpe kombiniert. Die empfohlenen Pumpengrößen sind abhängig von der Kammergröße.

- Einstufige oder zweistufige Drehschieberpumpe: Sauggeschwindigkeiten bis zu 300 m³/h für den HTK 600 GR. Die Pumpe wird hierbei verwendet, um den Sauerstoffgehalt vor der Wärmebehandlung durch mehrmaliges Evakuieren und Fluten zu reduzieren.
- Die Wälzkolbenpumpe wird eingesetzt, um zügig den Feinvakuumbereich zu erreichen. Die benötigte Vorpumpe muss auf die Wälzkolbenpumpe abgestimmt werden.
- Die Turbomolekularpumpe erreicht einen Arbeitsdruck, der im Hochvakuumbereich liegt. Sehr reine Atmosphären sind möglich.
- Die Öldiffusionspumpe erreicht Sauggeschwindigkeiten bis zu 20.000 m³/h. Diese Pumpe wird empfohlen, um große Kammeröfen schnell zu evakuieren

Software:

Die manuelle Ausführung des HTK wird mit Eurotherm-Reglern betrieben. Zusätzlich müssen Ventile und Pumpen über einen Taster manuell ein- und ausgeschaltet werden.

- Eurotherm 3508: 10 verschiedene speicherbare Programme mit 500 Segmenten
- Eurotherm 3508: 50 verschiedene speicherbare Programme mit 500 Segmenten
- RS 232/485
- iTools Option
- Übertemperaturschutz (empfohlen bei unbeaufsichtigtem Betrieb)
- Remote-Control

Für die automatischen Öfen bieten wir zwei unterschiedliche Versionen an. Die Version „TP 1900“ läuft ausschließlich über ein Touch-Panel, die Version „WinCC“ enthält einen vollwertigen PC. Letztere bietet mehr Einstellungsmöglichkeiten und hat einen höheren Komfort

bei der Verwaltung von Programmen und Versuchsdaten. Die Bedienung beider Öfen erfolgt intuitiv über ein Touch-Panel. Das Arbeiten wird durch die übersichtliche Darstellung des Prozesses erleichtert. Alle Prozessparameter werden bei beiden Systemen aufgezeichnet und in einer CSV-Datei gespeichert.

Software:

- TP 1900: 20 verschiedene Heizprogramme können gespeichert werden. Diese bestehen aus bis zu 25 Segmenten.
- WinCC: 50 verschiedene Heizprogramme können gespeichert werden. Diese bestehen aus bis zu 30 Segmenten.

Reaktionsgasausstattung:

Die Zündgrenze von Wasserstoff liegt bei ungefähr 4 Vol. %. Wird diese Konzentration überschritten, muss der Ofen mit einer Sicherheitsausstattung betrieben werden. Kondensiert ein Teil der Abgase, kann der Gasauslass zusätzlich beheizt werden. Damit wird ein Verschmutzen des Gasauslasses weitestgehend verhindert. Auf Wunsch kann der HTK mit mehr als einem Inertgas ausgerüstet werden:

- Reaktionsgasausstattung
- Sicherheitspaket für brennbare Gase
- Entbinderungseinrichtung mit einer Flamme für die Nachverbrennung
- Zusätzliches Inertgas
- Retorte

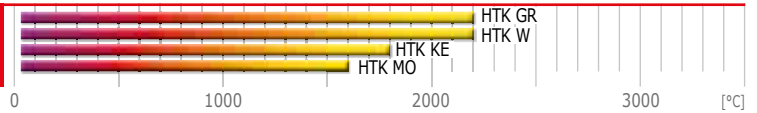
Wasserkühlung:

Wenn am Aufstellungsort des Ofens kein Kühlwasser verfügbar ist, kann der Ofen mit einer eigenen Wasserkühlung ausgestattet werden. Carbolite Gero bestimmt dabei die benötigte Kühlleistung und rüstet den Ofen mit einem passenden Gerät aus.

- Wasserkühler: Wärmetauscher

Abhängig von der Ofenleistung, kann ein passender Wasserkühler geliefert werden.





Technische Daten



Graphit					
HTK 8 GR/22-1G	HTK 25 GR/22-1G	HTK 80 GR/22-1G	HTK 220 GR/22-1G	HTK 400 GR/22-1G	HTK 600 GR/22-1G

Außenabmessungen

H x B x T [mm]	2100 x 1300 x 1100	2200 x 1900 x 1800	2300 x 2100 x 2200	2500 x 2300 x 2600	2500 x 2300 x 2600	2500 x 2500 x 2900
-----------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transportgewicht

Gesamtanlage [kg]	1200	1700	2000	3000	3800	4500
--------------------------	------	------	------	------	------	------

Nutzraum

Kammervolumen [l]	8	25	80	220	400	600
h x b x t, Nutzraum ohne Retorte [mm]	200 x 200 x 200	250 x 250 x 400	400 x 400 x 500	600 x 600 x 600	650 x 700 x 900	650 x 750 x 1200
h x b x t, Nutzraum mit Retorte [mm]	180 x 180 x 200	230 x 230 x 400	380 x 380 x 500	560 x 560 x 600	630 x 680 x 900	630 x 730 x 1200

Thermische Kennwerte

T_{max} Vakuum [°C]	2200	2200	2200	2200	2200	2200
T_{max} Atmosphärendruck [°C]	2200	2200	2200	2200	2200	2200
ΔT, zwischen 500 °C und 1500 °C [K] (nach DIN 17052)	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10
Maximale Aufheizrate bis 2000 °C [K/min]	10	10	10	10	10	10
Abkühlzeit [h]	6	6	8	8	12	12-16

Anschlusswerte

Leistung [kW]	26.5	60	100	160	250	300
Spannung [V]	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)
Strom [A]	3 x 66	3 x 90	3 x 150	3 x 240	3 x 370	3 x 450
Vorsicherung [A]	3 x 80	3 x 125	3 x 200	3 x 315	3 x 500	3 x 500

Vakuum (Option)

Leckrate Behälter (sauber, kalt und leer) [mbar l/s]	< 5 x 10 ⁻³					
Arbeitsvakuum, abhängig vom Pumpstand	Grob- oder Feinvakuum					

Erforderliches Kühlwasser

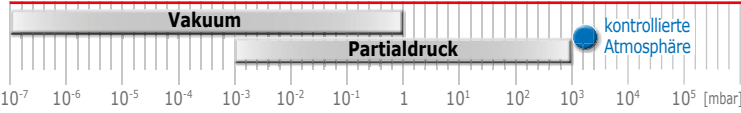
Benötigter Wasserfluss [l/min]	40	70	100	150	200	220
Maximale Eintrittstemperatur [°C]	23	23	23	23	23	23

Gasversorgung

Stickstoff oder Argon (weitere auf Anfrage) [l/h]	200-2000	200-2000	200-2000	1000-10000	1000-10000	1000-10000
--	----------	----------	----------	------------	------------	------------

Regler

Regler	auf Anfrage					
---------------	-------------	--	--	--	--	--



HTK – Kammeröfen bis 2200 °C

Molybdän			Wolfram		Keramikfaser					
HTK 8 MO/16-1G	HTK 25 MO/16-1G	HTK 80 MO/16-1G	HTK 8 W/22-1G	HTK 25 W/22-1G	HTK 8 KE/13-1G	HTK 25 KE/13-1G	HTK 80 KE/13-1G	HTK 220 KE/13-1G	HTK 400 KE/13-1G	HTK 600 KE/13-1G

2100 x 1300 x 1100	2200 x 1900 x 1800	2300 x 2100 x 2200	2100 x 1300 x 1100	2200 x 1900 x 1800	2100 x 1300 x 1100	2200 x 1900 x 1800	2300 x 2100 x 2200	2500 x 2300 x 2600	2500 x 2300 x 2600	2500 x 2500 x 2900
--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

1200	1700	2000	1300	1900	1200	1700	2000	3000	3800	4500
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

8	25	80	8	25	8	25	80	220	400	600
200 x 200 x 200	250 x 250 x 400	400 x 400 x 500	200 x 200 x 200	250 x 250 x 400	200 x 200 x 200	250 x 250 x 400	400 x 400 x 500	600 x 600 x 600	650 x 700 x 900	650 x 750 x 1200
180 x 180 x 200	230 x 230 x 400	380 x 380 x 500	180 x 180 x 200	230 x 230 x 400	180 x 180 x 200	230 x 230 x 400	380 x 380 x 400	560 x 560 x 600	630 x 680 x 900	630 x 730 x 1200

1600	1600	1600	2200	2200	1100	1100	1100	1100	1100	1100
1600	1600	1600	2200	2200	1350	1350	1350	1350	1350	1350
±5	±5	±5	±5	±5	±10	±10	±10	±10	±10	±10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6	6	8	6	6	6	6	8	10	12	12-16

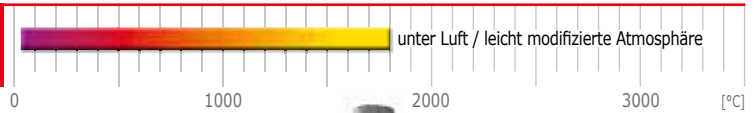
30	80	100	45	100	8	16	45	80	120	200
400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400	400 (3P)	400	400	400	400	400	400
3 x 75	3 x 120	3 x 150	112	3 x 150	20	40	3 x 65	3 x 120	3 x 180	3 x 290
3 x 100	3 x 160	3 x 200	3 x 160	3 x 200	3 x 63	3 x 63	3 x 80	3 x 160	3 x 250	3 x 315

$< 5 \times 10^{-3}$			$< 5 \times 10^{-3}$		$< 5 \times 10^{-3}$					
Grob-, Fein- oder Hochvakuum			Grob-, Fein- oder Hochvakuum		Grob- oder Feinvakuum					

40	70	100	40	100	15	20	40	60	100	175
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

200-2000	200-2000	200-2000	200-2000	200-2000	200-2000	200-2000	200-2000	1000-10000	1000-10000	1000-10000
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	------------	------------	------------

auf Anfrage			auf Anfrage		auf Anfrage					
-------------	--	--	-------------	--	-------------	--	--	--	--	--



Hochtemperaturkammeröfen für die Wärmebehandlung in Luft

Der HTKE ist ein kompakter Kammerofen mit MoSi₂-Heizelementen und leichter keramischer Faserisolierung. Der Aufbau der Isolierung in mehreren Schichten führt zu einer guten Temperturhomogenität im nutzbaren Volumen.

Der HTKE ist in verschiedenen Größen mit nutzbaren Volumina von 32, 64 und 128 Litern erhältlich. Auf Nachfrage kann auch ein 250 l System gebaut werden. Die Kammer wird mit MoSi₂-Heizelementen von zwei Seiten beheizt. Bei größeren Systemen befinden sich auch Heizelemente an der Rückwand. Die Heizelemente werden vertikal von oben in den Ofen eingebaut, wodurch ein Durchbiegen der Elemente verhindert wird. Die installierte Leistung, das Isoliermaterial und die Isolationsdicke definiert die maximal erreichbare Temperatur. Diese beträgt wahlweise 1600°C, 1700°C oder 1800°C. Die Wärmebehandlung ist ausschließlich an Luft möglich. Eine zusätzliche Gasversorgung mit einem Rotameter ist optional erhältlich. Hiermit kann der Sauerstoffanteil lediglich reduziert werden, da der Ofen nicht abgedichtet ist.

Da der Ofen für die Wärmebehandlung an Luft optimiert ist, ist das Sintern von Keramiken oder Oxidkeramiken eine mögliche Anwendung. Im Ofen wird eine Temperaturhomogenität von ± 5 K erreicht.

Die Temperatur wird mit einem Typ B Thermoelement, das sich in einem keramischen Schutzrohr befindet, überwacht. Für den unbeaufsichtigten Betrieb ist ein zusätzliches Thermoelement mit Kontrolleinheit als Temperaturschutz erhältlich.

Sollte ein Entbinderungsschritt benötigt werden, wird der HTKE mit einer Entbinderungseinrichtung ausgestattet. Diese besteht aus einem Lufteinlass für vorgewärmte Luft. Die Luft wird symmetrisch über mehrere Gaseinlässe in das Ofeninnere eingelassen. Dadurch verbessert sich die Temperaturhomogenität bei geringen Temperaturen und die Proben werden besser mit Luft umströmt. Der Entbinderungsprozess wird so unterstützt und die ausgasenden Moleküle werden in der Fackel aktiv verbrannt. Die Fackel wird mit Druckluft und Propangas betrieben. Nach der Entbinderung wird die Temperatur erhöht und der Sinterprozess beginnt.



HTKE 16/64: Hochtemperaturkammerofen mit einem nutzbaren Volumen von 64 l und einer maximalen Temperatur von 1600°C. Das gezeigte Modell ist mit einer Fackel für die Entbinderung ausgestattet.

Vorteile

- Sintern bei 1800°C an Luft
- Entbinderungspaket adaptierbar
- Keramische Faserisolierung
- Homogene Temperaturverteilung
- Kurze Aufheiz- und Abkühlraten
- Manuelle Bedienung
- Datenaufzeichnung

Typische Anwendungen

Entbindern und Sintern an Luft, Trocknen, Anlassen, Tempern, Entgasen, Synthese, Sublimation, CIM

Anwendungsbeispiel

Druckloses Sintern von Piezoelektrischen Keramiken an Luft



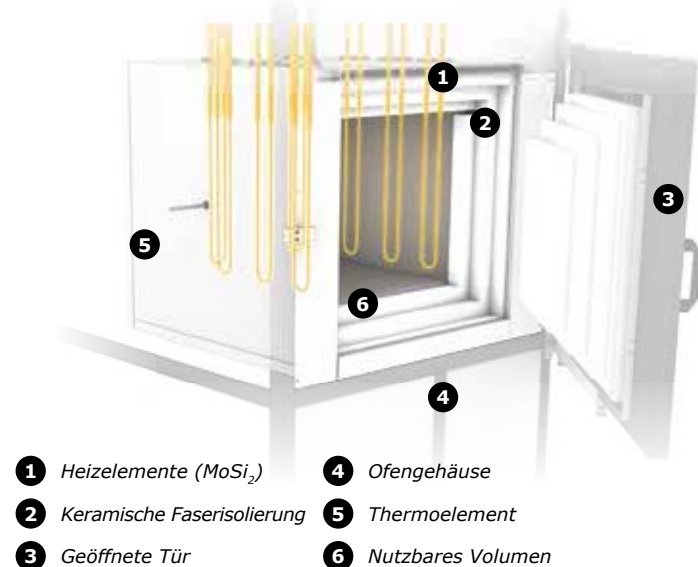
Piezoelektrische Materialien sind beispielsweise im Automobilbereich von großer Bedeutung. Sie erlauben es, den Treibstoff mit sehr hohem Druck kontrolliert in den Verbrennungsraum zu injizieren. Viele moderne piezoelektrische Materialien können durch druckloses Sintern an Luft hergestellt werden. Dieses Herstellungsverfahren ist einfacher und kostengünstiger als andere Verfahren, beispielsweise das kalt isostatische Pressen. Hierfür ist der HTKE der geeignete Ofen. Ein Beispiel solcher Materialien ist Potassium-Natrium-Niobate (KNN).

Technische Details

U-förmige MoSi₂-Heizelemente werden in hängender Position im HTKE montiert. Mit keramischen Faserplatten wird der Ofenraum nach außen isoliert. Um die Temperaturhomogenität zu verbessern, wird die Isolationsdicke angepasst. Die Fasermaterialien unterscheiden sich in Ihrer Einsatztemperatur und werden deshalb nach maximal spezifizierter Ofentemperatur ausgewählt. Die maximale Temperatur beträgt 1600, 1700 oder 1800 °C. Eine Wasserkühlung wird nicht benötigt.

Von außen wird das System konvektiv gekühlt. Es wird von einem geschweißten Rahmen getragen und mit Platten abgedeckt. Die MoSi₂-Heizelemente sind besonders für hohe Einsatztemperaturen an Luft geeignet. Bei den hohen Temperaturen bildet sich die schützende Oxidschicht auf den Heizelementen. Das Alleinstellungsmerkmal des HTKE ist die ausgezeichnete Temperaturhomogenität sowie das kompakte Design.

Innenansicht




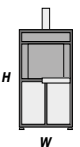
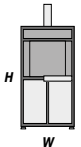
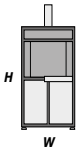
Optionen

- Der HTKE kann mit einer Entbinderungeinrichtung ausgestattet werden
- Heißgasversorgung mit Gaseinlässen
- Fackel
- Gaseinlass mit Ventil und Rotameter

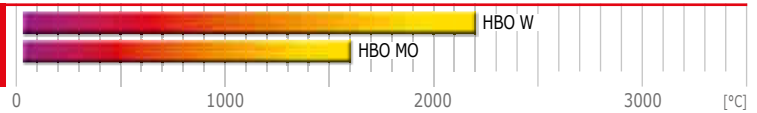
Software:

Die Einstellung des Temperaturprogramms erfolgt bei dem manuellen System mittels eines Eurotherm-Reglers. Die Ventile müssen manuell bedient werden. Zur Datenaufzeichnung ist zusätzlich die Software iTools sowie eine Schnittstelle zum Anschluss an einen PC erhältlich.

Technische Daten

Keramikfaserisoliert, gasdicht			
 Modell			
	HTKE 32	HTKE 64	HTKE 128
Außenabmessungen			
H x B x T [mm]	1800 x 1000 x 1200	2000 x 1000 x 1200	2000 x 1000 x 1500
Nutzraum			
Kammervolumen [l]	32	64	128
h x b x t [mm]	300 x 300 x 300	400 x 400 x 400	400 x 400 x 800
Thermische Kennwerte			
T_{max} Atmosphärendruck [°C]	1600, 1700, 1800	1600, 1700, 1800	1600, 1700, 1800
Maximale Haltezeit bei T_{max} [h]	2	2	2
Maximale Aufheizrate [K/min]	10	10	10
Abkühlzeit [h]	12	12	12
Anschlusswerte			
Leistung [kW]	14	16	40
Spannung [V]	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)
Strom [A]	3 x 35	3 x 40	3 x 100
Vorsicherung [A]	3 x 50	3 x 50	3 x 125
Regler			
Regler	auf Anfrage		
Erforderliches Kühlwasser			
Benötigter Wasserfluss [l/min]	kein Kühlwasser erforderlich		

- Eurotherm 3508: 10 speicherbare Programme mit jeweils bis zu 500 Segmenten
- Eurotherm 3508: 50 speicherbare Programme mit jeweils bis zu 500 Segmenten
- RS 232/485
- iTools
- Übertemperaturschutz (empfohlen bei unbeaufsichtigtem Betrieb)
- Remote-Control



Metallische Haubenöfen für Anwendungen in Atmosphären von höchster Reinheit

Die metallischen Haubenöfen (HBO) ohne Faserisolierung sind ideal dafür geeignet die niedrigsten erreichbaren Betriebsdrücke zu erzeugen. Durch diese Vakuumfähigkeit können Gasatmosphären höchster Reinheit erreicht werden.

Die metallischen HBO Modelle sind aus Wolfram- oder Molybdän-Heizelementen und Strahlungsschilden aufgebaut. Beide Materialien zeichnen sich durch niedrigste Dampfdrücke selbst bei höchsten Temperaturen aus. Dies ermöglicht Wärmebehandlungsprozesse mit Gasen höchster Reinheit oder mit einem bestmöglichen Arbeitsvakuum.

Die thermische Isolierung der Strahlungsschilde besteht aus demselben metallischen Material wie die Heizelemente. Der Einsatz faseriger thermischer Isolierung ist daher nicht notwendig. Der HBO wird von Carbolite Gero in zwei Varianten angeboten: Die Variante mit Molybdän-Heizelementen und Strahlungsschilden ist für den Betrieb bis 1600 °C ausgelegt, die Variante mit Wolfram-Heizelementen und Strahlungsschilden für den Betrieb bis 2200 °C.

Stickstoff, Argon und Wasserstoff lassen sich sowohl als reine Gase wie auch als Mischungen einsetzen (weitere Gase auf Anfrage). Die Gase können mit einem leichten Überdruck oder einem kontrollierten Partialdruck zwischen 10 und 1000 mbar verwendet werden.

Durch sein vollständig metallisches Design, liegt das maximal erreichbare Endvakuum im HBO im Hochvakuumbereich (besser als 5×10^{-6} mbar). Die Option für ein Ultra-Hochvakuum ist auf Anfrage ebenfalls verfügbar. Die Gase werden durch präzise Dosierungs- und Kontrollvorrichtungen geregelt, das Vakuum je nach Anforderung mit verschiedenen, kombinierten Pumpsystemen erzeugt.

Um eine bestmögliche Temperaturhomogenität zu erreichen, wird jede der drei Heizzonen individuell kontrolliert.

Typische Anwendungen

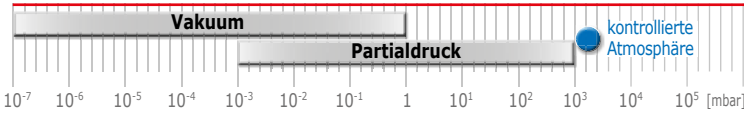
Härten, Anlassen, Glühen, Tempern Hart-/Weichlöten, Entgasen, Pyrolyse, Silizieren, Carbonisieren, Rapid-Prototyping, Sintern, Entbindern, Synthese, Sublimation, Trocken, MIM, CIM



HBO 60 MO/16: Haubenofen mit einem Nutzraum von 60 l, einer maximalen Temperatur von 1600 °C und automatischer Bedienung über ein Touch-Panel. Ein Hochvakuum pumpstand ist am Ofen montiert.

Vorteile

- Genau definierte Atmosphäre von höchster Reinheit, 6.0 (99.9999%) und besser
- Bestmögliches Vakuum
- Schnelles Aufheizen, Schnellkühlung auf Anfrage
- Wasserstoffpartialdruckbetrieb auf Anfrage
- Kontrollierte Evakuierung, geeignet für Pulver
- Zertifiziertes Sicherheitsmanagement für brennbare und toxische Gase
- Vollautomatischer Betrieb
- Datenaufzeichnung für das Qualitätsmanagement



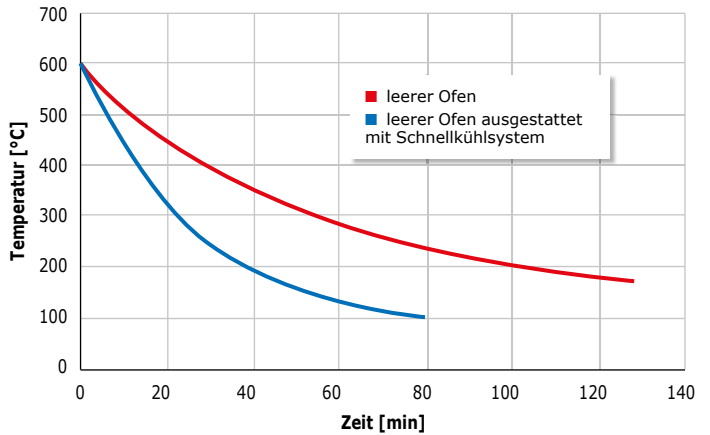
HBO – Haubenöfen bis 2200 °C

Technische Details

Der HBO ist ausschließlich aus metallischen Materialien (Wolfram oder Molybdän) aufgebaut und mit bis zu neun Strahlungsschilden ausgestattet. Ein doppelwandiger wassergekühlter Vakuumkessel sorgt dafür, dass die Außenhülle nicht heiß wird.

Der Ofen besitzt drei Heizzonen (Mantel-, Deckel- und Boden-Heizung), um die Temperaturhomogenität über die gesamte Höhe zu verbessern und ein Vorheizen des einströmenden Gases zu ermöglichen. Die Mantelheizung ist für die höchste mechanische Stabilität konzipiert. Eine metallische Retorte kann optional eingesetzt werden, um die Probe zusätzlich zu schützen und die Temperaturhomogenität noch weiter zu verbessern.

Jede der drei Heizzonen wird individuell gesteuert und durch ein zusätzliches Übertemperaturschutz-Thermoelement geschützt. Ein unbeaufsichtigter Betrieb ist daher möglich. Das optionale Schnellkühlsystem ermöglicht eine weitere Verkürzung der Abkühlzeit.



Abkühlkurve HBO 60

Die Abbildung zeigt zwei Abkühlkurven für den leeren Ofen (rot) und den leeren Ofen, der mit einer Schnellkühlung ausgestattet ist (blau). Mit einer Schnellkühlung kann die Abkühlzeit des leeren Ofens ungefähr um den Faktor 2 verkürzt werden.

Innenansicht

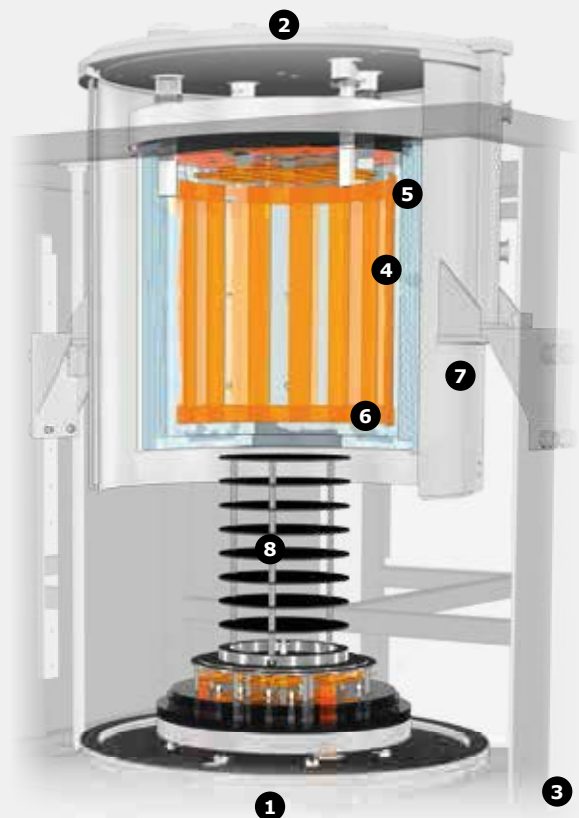


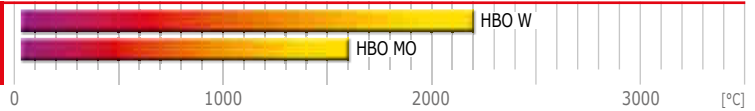
Heizelement



Probenhalter

- 1 Gaseinlass/Gasauslass
- 2 Gasauslass/Gaseinlass
- 3 Pumpeinheit von unten verbunden
- 4 Position des Thermoelements
- 5 Strahlungsschilde
- 6 Heizelemente
- 7 Wassergekühlter Kessel / bewegliche Haube
- 8 Probenhalter (Option)





Optionen

Erhältlich als Option sind verschiedene Vakuumpumpstände, Softwaresysteme, mehrere Gaseinlässe, inerte oder reaktive Gase und Wasserkühlsysteme, falls kein Kühlwasser vorhanden ist.

Vakuumsystem:

Die HBO Modelle können mit einer Vorpumpe für den Vorvakuumbetrieb ausgestattet werden. Für den Feinvakuumbetrieb wird diese mit einer Wälzkolbenpumpe kombiniert, für den Hochvakuumbetrieb mit einer Turbomolekularpumpe. Folgende Turbomolekularpumpen werden abhängig von der Größe des Ofens empfohlen:

- Pumpleistung von 300 oder 400 l/s für den HBO 10
- Pumpleistung von 400 oder 700 l/s für den HBO 25
- Pumpleistung von 700 oder 1200 l/s für den HBO 60

Turbomolekularpumpen mit einer höheren Pumpleistung reduzieren die Evakuierungszeit und erzeugen ein besseres Endvakuum. Als Vorpumpen werden zweistufige Drehschieberpumpen eingesetzt. Andere Pumpen sind auf Anfrage erhältlich.

Software:

Die Software steuert den HBO vollautomatisch und wird über ein Touch-Panel durch die TP 1900 oder WinCC Oberfläche konfiguriert und übersichtlich visualisiert. Beim Einsatz von WinCC stehen erweiterte Optionen zur Verfügung. Mit beiden Software-Systemen kann zur späteren Auswertung eine CSV-Datei erstellt werden.

- TP 1900: Speicher für 20 Heizprogramme mit je 25 Segmenten.
- WinCC: Speicher für 50 Heizprogramme mit je 30 Segmenten.

Reaktionsgasausstattung:

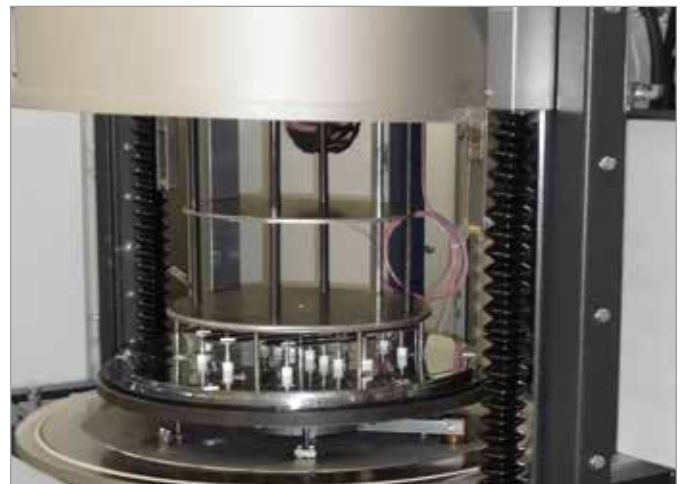
Falls mehr als 4% Wasserstoff im Gasgemisch verwendet wird, wird der Ofen mit einem Nachbrenner ausgestattet. Der Gasauslass kann zusätzlich beheizt werden, um einer möglichen Kondensation vorzubeugen. Auf Anfrage sind auch mehr als ein Inertgas an den Ofen anschließbar. Um die Heizelemente zu schützen oder eine definierte Gasführung durch den Ofen sicherzustellen, kann eine Retorte eingebaut werden.

- Reaktionsgas-Ausstattung
- Mehr als ein Inertgas
- Retorte

Wasserkühlung:

Falls kein hausinternes Kühlwassersystem vor Ort installiert ist, kann dieses ebenfalls geliefert werden. Die Kühlleistung wird nach den Anforderungen gestaltet und ist von der installierten Leistung des Ofens abhängig.

- Wasserkühlsystem: Wärmetauscher



Der HBO ermöglicht einen einfachen Zugang zu den Proben. Probenhalter sind auf Anfrage erhältlich.

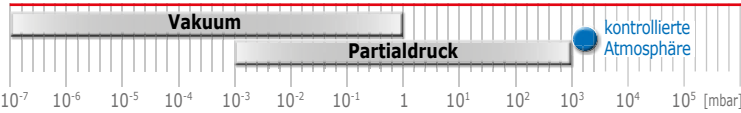
Anwendungsbeispiel

Löten und Hartlöten elektronischer Komponenten



Eine verbreitete Anwendung des HBO ist das Vakuum-Löten und -Hartlöten. Viele elektronische Komponenten, welche für Satelliten, Flugzeuge, Radar- oder Laserröhren verwendet werden, müssen in einer Hochvakuumumgebung gelötet und hartgelötet werden. Durch das ausgezeichnete Arbeitsvakuum ist der HBO bestens für solche Anwendungen geeignet. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass sich beim HBO die Haube automatisch auf und ab bewegt, die aufgeheizte Probe jedoch stationär bleibt. Dadurch entstehen keinerlei Vibrationen, welche die Probe schädigen können.

Die automatische Software mit präziser Datenerfassung stellt dabei sicher, dass der Prozess evaluiert und besser gesteuert werden kann. Die Daten von Vakuum, Temperatur, Gasfluss etc. werden in vordefinierten Zeitschritten protokolliert und können einfach per CSV-Datei exportiert werden.



HBO – Haubenöfen bis 2200 °C

Technische Daten

Modell	Molybdän			Wolfram		
	HBO 10 MO/16-1G	HBO 25 MO/16-1G	HBO 60 MO/16-1G	HBO 10 W/22-1G	HBO 25 W/22-1G	HBO 60 W/22-1G

Außenabmessungen

H x B x T [mm]	2500 x 2300 x 2000	2500 x 2300 x 2000	2800 x 2300 x 2500	2500 x 2300 x 2000	2500 x 2300 x 2000	2800 x 2300 x 2500
-----------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transportgewicht

Gesamtanlage [kg]	1800	2000	3000	1800	2000	3000
--------------------------	------	------	------	------	------	------

Nutzraum

Kammervolumen [l]	10	25	60	10	25	60
Ø x h, Nutzraum ohne Retorte [mm]	200 x 300	300 x 400	400 x 500	200 x 300	300 x 400	400 x 500
Ø x h, Nutzraum mit Retorte [mm]	180 x 280	280 x 380	380 x 480	180 x 280	280 x 380	380 x 480

Thermische Kennwerte

T_{max} Vakuum [°C]	1600	1600	1600	2200	2200	2200
T_{max} Atmosphärendruck [°C]	1600	1600	1600	2200	2200	2200
ΔT, über 800 °C [K] (nach DIN 17052)	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10
Maximale Aufheizrate bis T_{max} [K/min]	10	10	10	10	10	10
Abkühlzeit [h]	3	4	5	4	5	6

Anschlusswerte

Leistung [kW]	50	65	80	125	150	250
Spannung [V]	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)
Strom [A]	3 x 125	3 x 100	3 x 120	3 x 180	3 x 220	3 x 380
Vorsicherung [A]	3 x 160	3 x 125	3 x 160	3 x 250	3 x 315	3 x 500

Vakuum (Option)

Leckrate Behälter (sauber, kalt und leer) [mbar l/s]	< 5 x 10 ⁻³			< 5 x 10 ⁻³		
Arbeitsvakuum, abhängig vom Pumpstand	Grob-, Fein-, Hoch- oder Ultra-Hochvakuum			Grob-, Fein-, Hoch- oder Ultra-Hochvakuum		

Erforderliches Kühlwasser

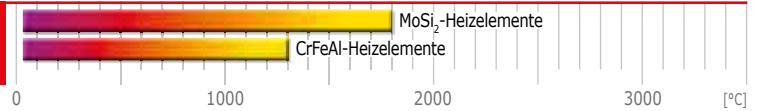
Benötigter Wasserfluss [l/min]	40	50	64	100	120	200
---------------------------------------	----	----	----	-----	-----	-----

Gasversorgung

Stickstoff oder Argon (weitere auf Anfrage) [l/h]	500-2000	500-2000	500-2000	500-2000	500-2000	500-2000
--	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Regler

Regler	Siemens			Siemens		
---------------	---------	--	--	---------	--	--



Hochtemperatur-Haubenofen für Wärmebehandlung unter Luft

Die HB Serie sind Öfen bei denen die Haube automatisch bewegt werden kann. Die Heizelemente und die Isolierung sind in der Haube integriert.

Durch diese besondere Konstruktion sind die Proben bei hochgefahrener Haube von allen Seiten einfach zugänglich. Das Bestücken des Ofens wird zusätzlich durch eine Höhe der Grundplatte von 750 mm erleichtert.

Die HB-Öfen sind von innen rechteckig und mit einem Nutzvolumen von 80 l oder 160 l erhältlich. Der HB ist bei einer Maximaltemperatur von 1300 °C mit CrFeAl-Heizdrähten, bei einer Maximaltemperatur von 1600 °C, 1700 °C oder, 1800 °C mit MoSi₂-Heizelementen ausgestattet. Beide Heizelement-Typen müssen regelmäßig unter oxidativer Atmosphäre betrieben werden, damit sie ihre volle Funktionalität über einen langen Zeitraum beibehalten. Die Qualität und die Dicke der Isolierung werden abhängig von der maximalen Temperatur angepasst. Ziel dieser Auslegung ist immer die bestmögliche Temperaturhomogenität im Nutzvolumen des Ofens.

Der HB ist nicht vakuumdicht. Trotzdem kann er mit einem Gassystem, bestehend aus einem Rotameter und einem Handventil, ausgestattet werden. Durch das Fluten mit diesem Gassystem lässt sich der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre im Nutzvolumen auf < 50 ppm reduzieren.

Die Temperaturregelung im HB erfolgt über ein Thermoelement Typ S. Das Thermoelement befindet sich in einem Schutzrohr aus Keramik. Bei einem unbeaufsichtigten Betrieb dieses Ofens wird ein zusätzlicher Übertemperaturschutz empfohlen.

Soll eine Entbinderung durchgeführt werden, kann der HB mit einer Fackel ausgestattet werden. Diese Fackel wird mit Propangas und Druckluft betrieben und verbrennt so den entstehenden Binder. Je nach Kundenwunsch lässt sich der Ofen weiter modifizieren. Es ist beispielsweise möglich, ein Gaszirkulationssystem einzubauen, um die Temperaturhomogenität vor allem im unteren Bereich zu verbessern.



HB 13/80:
Hochtemperatur-Haubenofen mit einem nutzba-
ren Volumen von 80 l
und einer maximalen
Temperatur von 1300 °C.
Die Wärmebehandlung
kann an Luft oder leicht
modifizierter Atmosphäre
durchgeführt werden.

Vorteile

- Sintern bei bis zu 1800 °C unter Luft
- Entbindern an Luft mit dem Entbinderungspaket
- Leistungsfähige Keramikfaserisolierung
- Homogene Temperaturverteilung
- Einfacher Zugang zu den Proben
- Option: Datenaufzeichnung

Typische Anwendungen

Entbindern und Sintern an Luft, Trocknen, Anlassen, Glühen, Tempern, Entgasen, Synthese, Sublimation, CIM

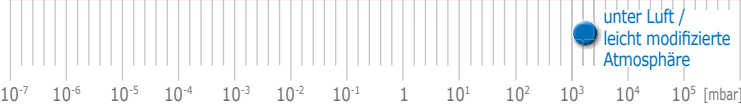
Anwendungsbeispiel

Produktion von Supraleitern



Die Wärmebehandlung einiger Supraleiter kann nur unter einer Atmosphäre mit reduziertem Sauerstoffgehalt erfolgen. Der entscheidende Parameter ist jedoch die Temperaturhomogenität über die gesamte Probe. Für eine solche Anwendung ist der HB mit einer zusätzlichen Gasumwälzung und Proben-thermoelementen am besten geeignet. Unterhalb einer bestimmten Übergangstemperatur („Sprungtemperatur“) besitzen Supraleiter keinen Ohm'schen Widerstand. Damit können riesige Mengen an Strom durch den Leiter fließen. Dies wiederum führt zu starken Magnetfeldern.

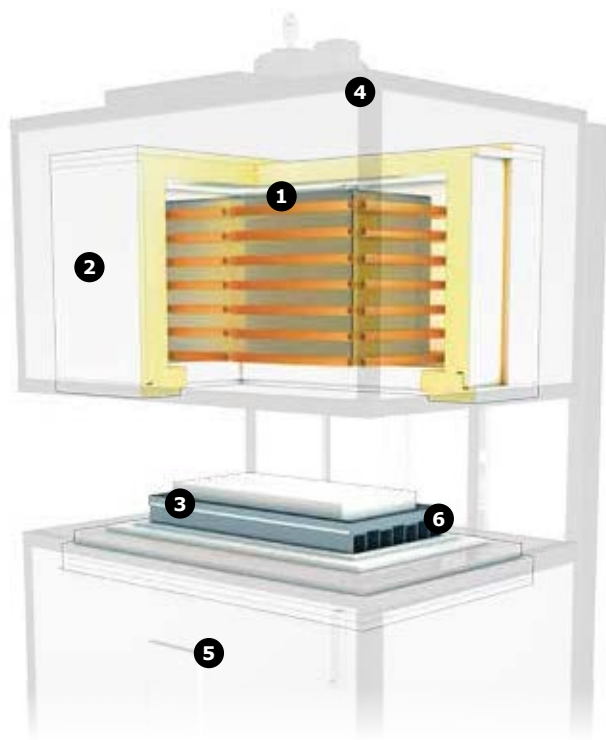
Ein Supraleiter schwebt im Magnetfeld, da er im supraleitenden Zustand das Magnetfeld aus seinem Innern verdrängt.



Innenansicht



Innenaufbau der Haube des HB mit CrFeAl-Heizdrähten. Die Maximaltemperatur dieses Ofens beträgt 1300°C.



- 1 Heizelemente
- 2 Keramische Faserisolierung
- 3 Grundplatte in 750 mm Höhe
- 4 Bewegliche Haube
- 5 Rotameter
- 6 Bodenheizer (nur bei CrFeAl-Heizelementen)

Optionen

Der HB kann mit einer Entbinderungeinrichtung ausgestattet werden.

- Fackel
- Zusätzlicher Gaseinlass mit Ventil und Rotameter

Software:

Manuelle Öfen werden mit einem KP 300-Panel in Kombination mit Eurotherm-Reglern bedient. Die Ventile und Pumpen werden durch das Drücken von Tasten aktiviert. Zur Datenaufzeichnung ist eine Schnittstelle und iTools Software verfügbar.

Technische Daten

Modell	Keramikfaser	
	HB 18/80	HB 18/160

Außenabmessungen

H x B x T [mm]	2200 x 1200 x 1200	2200 x 1800 x 1200
----------------	--------------------	--------------------

Transportgewicht

Gesamtanlage [kg]	1000	1250
-------------------	------	------

Nutzraum

Kammervolumen [l]	80	160
h x b x t, Nutzraum ohne Retorte [mm]	500 x 400 x 400	500 x 800 x 400

Thermische Kennwerte

T _{max} Atmosphärendruck [°C]	1300, 1600, 1700, 1800	1300, 1600, 1700, 1800
ΔT, zwischen 800°C und T _{max} [K] (DIN 17052)	±5	±5
Maximale Aufheizrate bis T _{max} [K/min]	5, 10, 10, 10	5, 10, 10, 10
Abkühlzeit [h]	12, 14, 14, 14	14

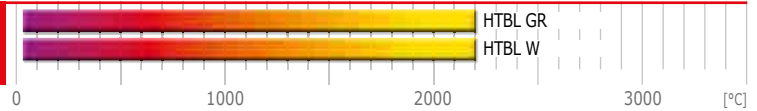
Anschlusswerte

Leistung [kW]	15, 45, 50, 60	30, 80, 85, 90
Spannung [V]	400 (3P)	400 (3P)
Strom [A]	3 x 25, 3 x 65, 3 x 72, 3 x 86	3 x 50, 3 x 115, 3 x 123, 3 x 130
Vorsicherung [A]	35, 100, 100, 125	63, 160, 160, 200

Regler

Regler	auf Anfrage
--------	-------------

- Eurotherm 3508: 10 verschiedene speicherbare Programme mit 500 Segmenten
- Eurotherm 3508: 50 verschiedene speicherbare Programme mit 500 Segmenten
- RS 232/485
- iTools Option
- Übertemperaturschutz (empfohlen bei unbeaufsichtigtem Betrieb)
- Remote-Control



Bottom-Loader-Öfen

Der HTBL ist ein Ofen zum einfachen Be- und Entladen des Ofenbodens („bottom loader“). Die Heizelemente und die Isolierung sind aus Graphit oder aus Wolfram / Molybdän.

- Leichter Zugang zum Probenraum durch einen herauschwingbaren Ofenboden
- Geeignet zur Wärmebehandlung von feinkörnigen Pulvern
- Reaktivgasausstattung, Hochvakuum, Sicherheitspaket für brennbare Gase, Retorten und Schnellkühlung sind optional erhältlich

Graphitöfen der HTBL Serie bieten Maximaltemperaturen bis 2200°C mit einem Nutzvolumen von 50, 80 oder 220 Litern. Die metallischen Öfen werden mit einem Nutzvolumen von 60 Litern angeboten. Das Modell HTBL 60 Mo/16-1G ermöglicht eine Maximaltemperatur von 1600°C und basiert auf Molybdän Strahlungsschilden und Heizelementen, während beim Modell HTBL 60 W/22-1G auf Wolfram basierende Strahlungsschilder und Heizelemente verwendet werden und dadurch eine Maximaltemperatur von 2200°C erreicht werden kann. Generell bieten die metallischen Öfen die höchstmögliche Reinheit der Atmosphäre und auch das bestmögliche Vakuum bei der entsprechenden Arbeitstemperatur.

Ein großer Vorteil der HTBL Serie stellt das leichte Be- und Entladen des Ofens dar, da sich der abgesenkte Boden mit der Beladung nach vorne herauschwenken lässt und so das gesamte Nutzvolumen von allen Seiten zugänglich wird. Dadurch erweist sich die HTBL Serie als besonders anwenderfreundlich und geeignet für extrem empfindliche Proben. Weitere Proben-thermoelemente können an den gewünschten Stellen im Nutzvolumen eingebracht werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit der Verwendung einer Retorte. Das Herunter- und Hinauffahren des Ofenbodens bis zur gesamten Höhe des Nutzvolumen erfolgt vollautomatisch mit Hilfe eines sanft arbeitenden hydraulischen Antriebs. Nach Absenken des Ofenbodens kann dieser nahezu mühelos um 90° nach vorne geschwenkt werden, um die Probe zu entnehmen und den Ofen anschließend wieder zu beladen.

Je nach Wunsch und Optionen können die Gase Stickstoff, Argon und Wasserstoff rein oder gemischt während der Wärmebehandlung eingeleitet werden. Weitere Gase sind auf Anfrage verfügbar. Der Ofen kann unter leichtem Überdruck oder mit einem kontrollierten Partialdruck zwischen 10 und 1000 mbar verwendet werden. Der Partialdruck ermöglicht einen kontrollierten Gasfluss durch den Ofen. Der Betrieb an Luft oder reinem Sauerstoff ist nicht möglich. Die Gase werden durch verschiedene Dosierungs- und Kontrollventile zur Verwendung bereitgestellt. Das Vakuum wird je nach Anforderung durch eine große Auswahl an verschiedenen Pumpen erreicht. Die Temperatur kann innerhalb der Spezifikationen individuell eingestellt werden, dabei ist das Design des Ofens auf höchstmögliche Temperaturhomogenität optimiert.



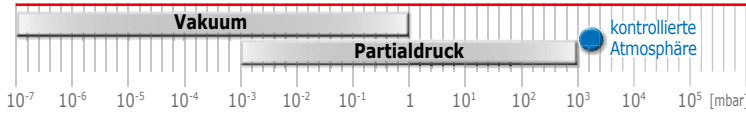
HTBL 60 GR/22: Bottom-Loader-Ofen mit einem Nutzvolumen von 60 l bis zu 2200°C. Der hydraulisch herabgelassene Ofenboden kann zur besseren Zugänglichkeit nach vorne herausgeschwenkt werden.

Vorteile

- Metallische Öfen ermöglichen die beste Atmosphärenreinheit und die bestmögliche Reinheit (6N oder besser)
- Graphitöfen ermöglichen die höchstmöglichen Temperaturen
- Wasserstoffpartialdruck auf Anfrage möglich
- Präzises kontrollierbares Evakuieren, geeignet für pulverförmige Proben
- Vollautomatischer Betrieb
- Datenschreiber für Qualitätsmanagement

Typische Anwendungen

Härten, Anlassen, Glühen, Tempern, Hart-/Weichlöten, Entgasen, Kalzinieren, Sintern, Synthese, Sublimation, Trocknen, MIM, CIM, Pyrolyse, Silizieren, Carbonisieren, Rapid-Prototyping



Technische Details

Das Modell HTBL GR mit einem Graphitheizer hat eine Heizzone. Dieser Mantelheizer wird von einer Software kontrolliert und durch einen Übertemperaturschutz abgesichert. Der Mantelheizer besteht aus Graphitstäben, die vertikal um den Probenraum angebracht sind. Die Isolierung besteht aus Graphitfilzmatten. Die Vakuumkammer besteht außen aus einem Kessel, der doppelwandig ausgelegt ist und mit Wasser gekühlt wird. Um den Ofen zu be- oder entladen, müssen Klammern von Hand geöffnet oder geschlossen werden, ebenso wie die Verbindungen zum Vakuumsystem. Nachdem der Ofenboden hydraulisch heruntergefahren wurde, kann der Anwender den Ofenboden um 90° herausschwenken. Abgesehen von diesen wenigen manuellen Schritten, funktioniert der Ofen im Betrieb vollautomatisch. Diese Automation macht die HTBL-Serie zum perfekten Ofen für die Großserienproduktion bei hohen Temperaturen.

Der Graphitofen HTBL GR ist sowohl mit einem Pyrometer als auch mit einem Schiebethermoelement ausgestattet. Eine Retorte ist als Option verfügbar. Graphit ist zwar ein sehr vielseitiges Ofenmaterial und geeignet für extrem hohe Temperaturen; ist die Probe jedoch gegenüber Kohlenstoff empfindlich, so muss ein metallischer Ofen eingesetzt werden.

Die metallischen HTBL-Öfen sind ebenfalls mit einer Heizzone ausgestattet und bestehen entweder aus Wolfram oder Molybdän. Die Isolierung wird durch Strahlungsschilde realisiert, die jeweils aus dem gleichen Metall wie die Heizelemente bestehen. Standardmäßig sind neun Schichten an Strahlungsschilden um die Heizelemente und den Probenraum angeordnet. Falls eine niedrigere Höchsttemperatur gewünscht wird, kann die Anzahl der Strahlungsschilde reduziert werden. Das Nutzvolumen der metallischen HTBL-Öfen hat einen Durchmesser von 400 mm sowie eine beheizte Länge von 500 mm und ist geeignet für Hochvakuumanwendungen. Auch bei hohen Temperaturen weisen Molybdän und Wolfram einen extrem niedrigen Dampfdruck auf. Wurden die Heizelemente einmal mit hohen Temperaturen gefahren, werden diese spröde und müssen mit äußerster Sorgfalt behandelt werden, damit sie nicht brechen. Diese Eigenschaft ist dem Material selbst geschuldet und unvermeidlich.

Sämtliche HTBL-Modelle sind mit einer vollautomatischen softwarebasierten Kontrolle und einem Datenschreiber für spätere Auswertungen ausgestattet. Alle relevanten Betriebsgrößen werden in einstellbaren Zeitabständen gemessen und aufgezeichnet.

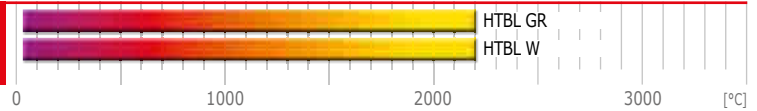
Innenansicht



Bild eines Mantelheizers aus Graphit. Das Heizelement besteht aus mehreren symmetrisch angeordneten Graphitstäben, damit eine möglichst homogene Temperaturverteilung erreicht wird.

- 1 Heizelemente
- 2 Wassergekühlte Stromdurchführung
- 3 Verfahrbarer Boden
- 4 Ofengehäuse
- 5 Grundplatte





Optionen

Als Optionen gibt es verschiedene Vakuumpumpstände, Softwaresysteme, mehrere Gaseinlässe, inerte oder reaktive Gase und Wasserkühlsysteme, falls kein Kühlwasser vorhanden ist.

Vakuumsystem:

Alle HTBL-Modelle können mit einer Drehschieberpumpe ausgestattet werden, die ein grobes Evakuieren des Ofens ermöglicht. Wird ein höheres Vakuum benötigt, kann die Drehschieberpumpe mit einer Wälzkolbenpumpe erweitert werden. Für ein höchstmögliches Vakuum kann die Drehschieberpumpe mit einer Turbomolekular- oder Öldiffusionspumpe kombiniert werden. Grundsätzlich werden Öldiffusionspumpen aufgrund ihrer höheren Saugleistung für das Evakuieren großer Volumina (bspw. beim HTBL 200 GR/22-1G) empfohlen. Für den Einsatz in HTBL-Öfen haben sich folgende Turbomolekularpumpen und Öldiffusionspumpen besonders bewährt:

- Turbomolekularpumpen mit einer Saugleistung zwischen 1200 und 1500 l/s für kleinere Öfen
- Öldiffusionspumpen mit 8000 l/s für größere Öfen

Software:

Die Bedienung erfolgt entweder mit einem TP 1900 oder mit der WinCC. Beide Systeme verfügen über ein intuitiv zu bedienendes Touch-Panel, auf dem der Prozess visualisiert ist. Die WinCC hat umfangreichere Optionen. Beide Systeme erstellen automatisch ein CSV Dokument mit allen relevanten Daten der Wärmebehandlung.

- TP 1900: Speicher für 20 Heizprogramme mit je 25 Segmenten.
- WinCC: Speicher für 50 Heizprogramme mit je 30 Segmenten.

Reaktionsgasausstattung:

Falls Wasserstoff in einer höheren Konzentration als 4% eingesetzt werden soll, muss der Ofen mit einer Nachverbrennung ausgestattet werden. Der Gasauslass kann optional beheizt werden, um eine Kondensation zu vermeiden. Auf Wunsch können mehrere Inertgaszugänge mit entsprechenden Kontrollen in den Ofen integriert werden. Um die Heizelemente zu schützen oder um einen geführten Gasstrom um die Probe zu gewährleisten, kann eine Retorte in den Ofen integriert werden.

- Reaktivgasausstattung
- Sicherheitspaket für brennbare Gase
- Entbinderungseinheit mit aktiver Flamme für die Nachverbrennung
- Zusätzliche Kontrollsysteme für weitere Inertgase
- Retorte

Wasserkühlung:

Falls noch kein Wasserkühlsystem vor Ort installiert ist, kann ein separates Kühlwassersystem als Zusatzausstattung angeboten werden. Die Kühlleistung wird jeweils an den Ofen angepasst.

- Wasserkühlsystem: Wärmetauscher

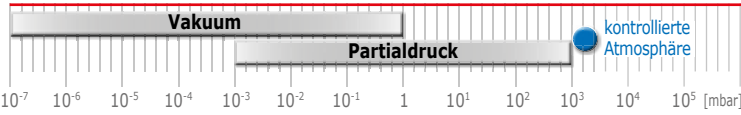
Anwendungsbeispiel

Silizieren



Kompositmaterialien, in deren keramischer Matrix noch zusätzlich Carbonfasern eingebracht wurden, haben in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit auf sich gezogen und werden bereits für viele Anwendungen eingesetzt. In oxidierenden Atmosphären bei hohen Temperaturen haben sich C/C-SiC Komposite als moderne Materialien bereits bewährt. Diese neuartigen Keramiken haben viele vorteilhafte Eigenschaften: hohe Temperaturstabilität, hohe thermische Leitfähigkeit, geringe Dichte und hohe Abriebfestigkeit. Diese Art von Materialien werden unter anderem bereits in Raketenantrieben, Bremsanlagen für Sportwagen, kugelsicheren Westen und in Hitzeschilden für den Wiedereintritt von Raumfahrzeugen in die Atmosphäre verwendet. Ein wichtiger Herstellungsprozess ist die Liquid-Silicon-Infiltration (LSI) von porösen C/C Carbonverbindungen. Für diese Darstellungsrouten sind die Modelle der HTBL-GR-Serie bestens geeignet. Im Vergleich zu anderen Darstellungsmethoden wie der Chemical-Vapor-Infiltration ist die LSI-Methode sehr kostengünstig und schnell. Während der Hitzebehandlung werden Siliziumverbindungen oberhalb des porösen Kohlenstoffs geschmolzen und anschließend in die Poren der Kohlenstoffverbindungen eindiffundieren gelassen. Dabei reagiert Silizium mit der Kohlenstoffmatrix und bildet SiC (Siliziumcarbid). Es entsteht ein Material, bei dem C/C Kohlenstoff dominierte Bereiche neben SiC dominierten Bereichen vorliegen.

Für diesen Prozess ist der Graphitofen HTBL GR bestens geeignet. Die leichte Zugänglichkeit der Proben durch den heraus-schwenkbaren Probenträger ist vorteilhaft für das Be- und Entladen. Der automatisierte Betrieb ermöglicht eine unbeaufsichtigte Verwendung des Ofens. Durch den Datenschreiber ist eine ständige Qualitätskontrolle gegeben.



HTBL – Bottom-Loader-Öfen bis 2200 °C

Technische Daten



Modell

	Graphit				Molybdän	Wolfram
	HTBL-H 50 GR/22-1G	HTBL 50 GR/22-1G	HTBL 80 GR/22-1G	HTBL 200 GR/22-1G	HTBL 60 MO/16-1G	HTBL 60 W/22-1G

Außenabmessungen

H x B x T [mm]	4300 x 2400 x 2200	3500 x 2400 x 2200	4300 x 2400 x 2200	4800 x 2400 x 2600	3300 x 2400 x 2200	3300 x 2400 x 2200
-----------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Transportgewicht

Gesamtanlage [kg]	3200	3200	3500	4200	3400	3600
--------------------------	------	------	------	------	------	------

Nutzraum

Kammervolumen [l]	50	50	80	200	60	60
Ø x h, Nutzraum ohne Retorte [mm]	300 x 700	400 x 400	400 x 700	500 x 900	400 x 500	400 x 500
Ø x h, Nutzraum mit Retorte [mm]	280 x 680	380 x 380	380 x 680	480 x 880	380 x 480	380 x 480

Thermische Kennwerte

T_{max} Vakuum [°C]	2200	2200	2200	2200	1600	2200
T_{max} Atmosphärendruck [°C]	2200	2200	2200	2200	1600	2200
ΔT, zwischen 500 °C und 2200 °C [K] (nach DIN 17052)	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10
Maximale Aufheizrate bis 2000 °C [K/min]	10	10	10	10	10	10
Abkühlzeit [h]	8	8	12	16	5	6

Anschlusswerte

Leistung [kW]	120	120	200	300	80	250
Spannung [V]	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)
Strom [A]	3 x 175	3 x 175	3 x 290	3 x 430	3 x 115	3 x 360
Vorsicherung [A]	3 x 250	3 x 250	3 x 400	3 x 630	3 x 160	3 x 500

Vakuum (Option)

Leckrate Behälter (sauber, kalt und leer) [mbar l/s]	< 5 x 10 ⁻³				< 5 x 10 ⁻³	< 5 x 10 ⁻³
Arbeitsvakuum, abhängig vom Pumpstand	Grob- oder Feinvakuum				Grob-, Fein-, Hoch- oder Ultra-Hochvakuum	Grob-, Fein-, Hoch- oder Ultra-Hochvakuum

Erforderliches Kühlwasser

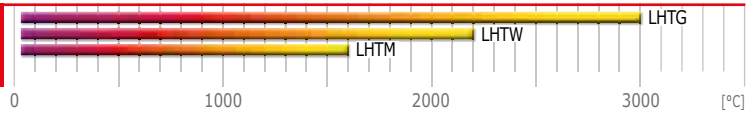
Benötigter Wasserfluss [l/min]	100	100	150	220	64	200
---------------------------------------	-----	-----	-----	-----	----	-----

Gasversorgung

Stickstoff oder Argon (weitere auf Anfrage) [l/h]	500-2000	500-2000	500-2000	500-2000	500-2000	500-2000
--	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Regler

Regler	Siemens				Siemens	Siemens
---------------	---------	--	--	--	---------	---------



Hochtemperatur-Laboröfen

Der LHT-Hochtemperatur-Laborofen zeichnet sich durch sein kompaktes Design aus. Das macht den LHT zu einem perfekten Gerät für Labore im Forschungs- und Entwicklungsumfeld.

Die LHT-Serie besteht aus den Modellen LHTG, LHTW und LHTM. Der LHTG basiert auf Graphit-Isolierung und -Heizelementen und erreicht standardmäßig 2200 °C; kann jedoch auch für eine Maximaltemperatur von 3000 °C ausgelegt werden. Der LHTW und der LHTM basieren auf metallischen Strahlungsschilden und Heizelementen (W: Wolfram, M: Molybdän). Die maximal verfügbare Temperatur ist 2200 °C für Wolfram und 1600 °C für Molybdän. Die LHT-Serie besitzt einen Nutzraum mit einem Durchmesser von 100 mm und einer beheizten Höhe von 200 mm oder einen Durchmesser von 200 mm und einer beheizten Höhe von 300 mm. Der zylinderförmige Nutzraum ist von den Heizelementen und dem Isoliermaterial umgeben. Diese Heizkassette ist in einen wassergekühlten Kessel integriert. Kleine Nutzvolumina sind besonders für kleine Proben geeignet und resultieren in einer minimalen Gesamtabmessung des kompletten Systems. Inklusiv des Ofens und des Elektronikschaltschranks mit der Softwaresteuerung ist das System auf einer einzigen Standfläche aufgebaut. Für eine einfache Fortbewegung des gesamten Systems sind Rollen an der tragenden Standfläche angebracht. Dies macht den LHT ideal für Wärmebehandlungen in Laboren, beispielsweise in Universitäten oder in der industriellen Forschung. Das zylinderförmige Design ist bestens für Wärmebehandlungen im Überdruck geeignet. Auf Anfrage kann das System mit allen weiteren notwendigen Regelungen für einen sicheren Überdruckbetrieb bis 100 bar ausgestattet werden.

Heizelemente und Isoliermaterial des LHTG sind aus Graphit gefertigt. Bei graphitbasierten LHT-Modellen erfolgt die Temperaturmessung durch Pyrometer. Als Option kann ein Übertemperaturschutz hinzugefügt werden. Dies wird für einen unbeaufsichtigten Betrieb stark empfohlen. In einer Argon-Atmosphäre kann die maximale Temperatur bis 3000 °C erhöht werden. Bei dieser hohen Temperatur muss zwangsweise ein Pyrometer zur Temperaturmessung verwendet werden. Bei Raumtemperatur ist fast keine Wärmestrahlung vorhanden. Um während des Aufheizens des LHTG trotzdem die Temperatur zu überwachen, ist auf Anfrage ein Schiebethermoelement verfügbar.

Die metallischen LHT-Modelle basieren auf Heizelementen und Strahlungsschilden aus Wolfram oder Molybdän für eine Maximaltemperatur von 2200 °C beziehungsweise 1600 °C. Die Strahlungsschilder dienen dazu, die Wärme der Heizelemente in Richtung des wassergekühlten Kessels zu isolieren. Die metallischen Öfen liefern die höchstmögliche Reinheit der Atmosphäre sowie das bestmögliche Endvakuum. Mit einer Turbomolekularpumpe in Kombination mit einer Vorvakuumpumpe liegt das Arbeitsvakuum im Hochvakuumbereich. Auf Anfrage ist sogar ein Ultrahochvakuum mit demselben System möglich. Hier ist die Leckrate durch den Austausch aller Polymerdichtungen durch metallische Dichtungen reduziert.



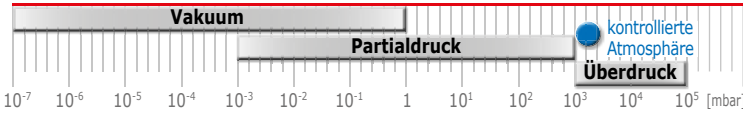
LHTW 200-300/22: Hochtemperaturlaborofen mit einem Durchmesser von 200 mm und einer beheizten Höhe von 300 mm. Die maximale Temperatur beträgt 2200 °C.

Vorteile

- Kompaktes Design geeignet für Labore
- Bestmögliches Vakuum
- Vakuumniveau $< 5 \times 10^{-6}$ mbar
- Partialdruck 10 – 1000 mbar
- Überdruckbetrieb bis 100 bar möglich
- Hochtemperatur-Toploader bis 3000 °C mit Graphit
- Wasserstoffpartialdruckbetrieb auf Anfrage
- Kontrollierte Evakuierung geeignet für Pulver
- Datenaufzeichnung für Qualitätsmanagement

Typische Anwendungen

Härten, Anlassen, Glühen, Tempern, Hart-/Weichlöten, Entgasen, Pyrolyse, Silizieren, Carbonisieren, Rapid-Prototyping, Sintern, Entbindern, Synthese, Sublimation, Trocknen, MIM, CIM



LHT – Laboröfen bis 3000 °C

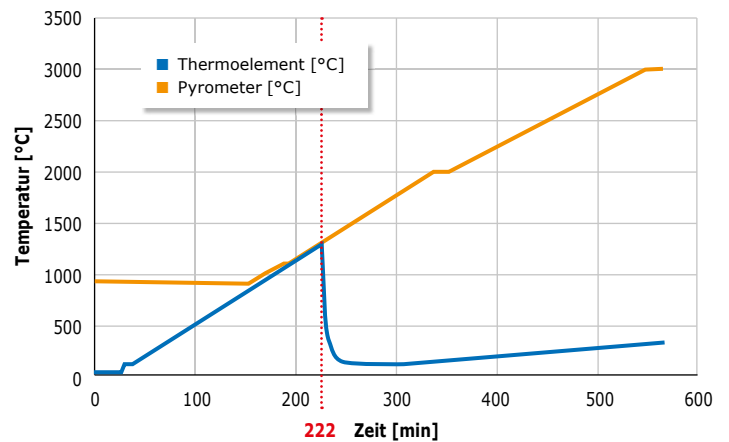
Technische Details

LHT-Modelle werden aufgrund ihres kleinen Volumens durch einen einzigen Mantelheizer beheizt. Das Temperaturprofil im Innern ist besser als ± 10 K. Diese Homogenität wird durch sorgfältiges Engineering und Positionieren der Heizelemente erreicht.

Der LHTG basiert auf Graphit-Heizelementen und -Isoliermaterial. Falls eine Maximaltemperatur von 3000°C erforderlich ist, müssen die Isolationsdicke und die Graphit-Isolierschichten spezifisch ausgelegt werden, um den extremen Temperaturen standzuhalten. Die installierte Leistung muss ebenfalls angepasst werden, um 3000°C mit einer hohen Heizrate zu erreichen. Die Heizkassette ist von einem wassergekühlten Kessel umgeben und der Ofen mit allen notwendigen Flanschen, Thermoelementen, Elektroanschlüssen und dem Pyrometer ausgestattet. Der Vakuümkessel ist doppelwandig und wassergekühlt. Die Stromkabel sind ebenfalls wassergekühlt.

Der LHTM und der LHTW sind aus metallischen Materialien konstruiert und standardmäßig mit neun Strahlungsschilden und einem Mantelheizer ausgestattet. Der Mantelheizer ist für die höchste Stabilität konzipiert. Zwei verschiedene Heizelemente sind verfügbar. Die Standardheizelemente bestehen aus mehreren Molybdän- oder Wolframstreifen; auf Anfrage ist jedoch auch ein Netzheizer erhältlich. Eine Retorte kann die Probe zusätzlich schützen und die Temperaturhomogenität verbessern.

Die Softwarebedienung ist als manuelle oder automatische Version verfügbar. Bei der manuellen Version werden alle Ventile oder Pumpen durch die Berührung von Schaltflächen des Bedienpanels von Hand bedient. Der Gasfluss wird über ein Rotameter eingestellt. Der automatische Ofen wird nur über ein Touch-Panel bedient und der Gasfluss über einen Massendurchflussregler gesteuert. Für die manuelle als auch die automatische Bedienung ist eine Datenerfassung für eine weitere Auswertung möglich.



Der Graph zeigt eine typische Aufheizkurve des LHTG. Beginnend bei Raumtemperatur zeigt das Schiebethermoelement (blaue Kurve) die Temperatur im Innern des Ofens. Nach etwa 222 Minuten wird das Schiebethermoelement automatisch aus dem Ofen bewegt und stattdessen zeigt das Pyrometer die aktuelle Temperatur. Das System wird mit 5 K/min auf bis zu 3000°C aufgeheizt.

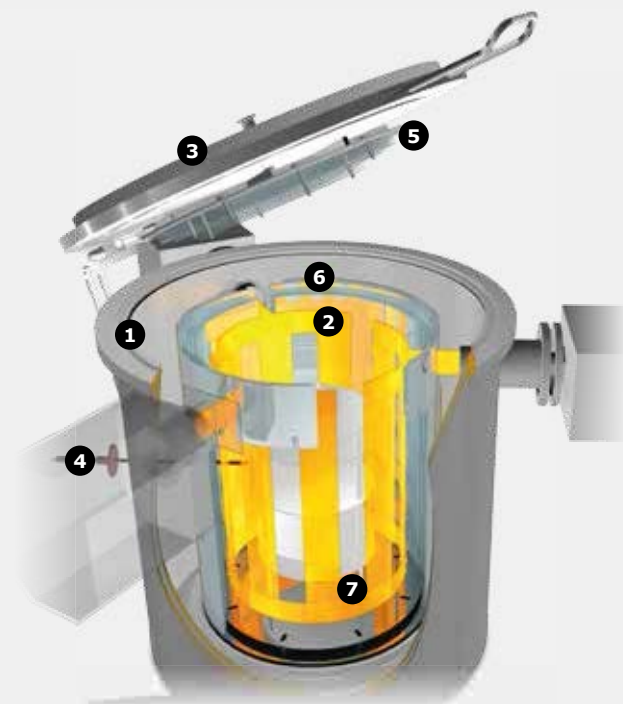
Innenansicht



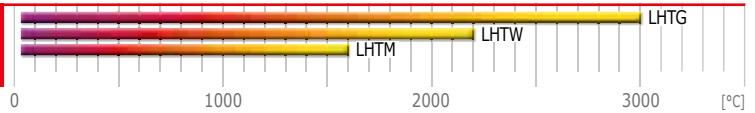
Auf Anfrage ist ein Netzheizer verfügbar



Mantelheizer aus metallischem Material



- 1 Wassergekühlter Kessel
- 2 Heizelement-Mantelheizer
- 3 Obere Abdeckung, manuelle Bedienung
- 4 Thermoelement
- 5 Strahlungsschilde an der oberen Abdeckung
- 6 Strahlungsschilde für den Mantelheizer
- 7 Kurzschlussring



Optionen

Alle LHT-Modelle können mit verschiedenen Optionen ausgestattet werden. Verfügbar sind unterschiedliche Pumpeinheiten, verschiedene Software-Systeme sowie zusätzliche Reaktions- und Inertgase.

Vakuumsystem:

Die LHT-Modelle können mit einer Vorpumpe für Vorvakuumbetrieb ausgestattet werden. Für Feinvakuumbetrieb ist der Standard eine Vorpumpe kombiniert mit einer Wälzkolbenpumpe. Für den Hochvakuumbetrieb wird eine Vorpumpe in Kombination mit einer Turbomolekularpumpe empfohlen.

- Eine Turbomolekularpumpe mit einer Pumpleistung von 300l/s wird für den LHTM empfohlen.
- Turbomolekularpumpen mit höheren Pumpleistungen sind auf Anfrage erhältlich.
- Vorpumpen sind zweistufige Drehschieberpumpen.
- Andere Pumpen sind auf Anfrage erhältlich.

Software:

Die Softwarebedienung der LHT-Modelle geschieht manuell oder automatisch. Im automatischen Modus nutzt das System die Software TP 1900 oder WinCC. Beide besitzen ein Touch-Panel mit benutzerfreundlicher Oberfläche. Durch die Visualisierung des Ofenbetriebs ist die Bedienung besonders leicht und intuitiv. WinCC umfasst zusätzliche Funktionen. Beide Softwaresysteme unterstützen eine Datenaufzeichnung für eine spätere Auswertung.

- TP 1900: 20 Heizprogramme mit je 25 Segmenten.
- WinCC: 50 Heizprogramme mit je 30 Segmenten.

Manuelle Öfen werden mit einem KP 300-Panel in Kombination mit Eurotherm-Reglern bedient. Die Ventile und Pumpen werden durch das Drücken von Tasten aktiviert. Zur Datenaufzeichnung ist eine Schnittstelle und iTools-Software verfügbar. Im manuellen Betrieb sind zwei verschiedene Regler verfügbar.

- Eurotherm 3508: 10 verschiedene speicherbare Programme mit 500 Segmenten
- Eurotherm 3508: 50 verschiedene speicherbare Programme mit 500 Segmenten
- RS 232/485
- iTools Option
- Übertemperaturschutz (empfohlen bei unbeaufsichtigtem Betrieb)
- Remote-Control

Präzise Datenaufzeichnung mit der iTools-Software. Sämtliche relevante Daten werden gespeichert und können nach der Wärmebehandlung ausgewertet werden.

Reaktionsgasausstattung:

Falls mehr als 4% Wasserstoff im Gasgemisch verwendet wird, wird der Ofen mit einem Nachbrenner ausgestattet. Der Gasauslass kann zusätzlich beheizt werden, um einer möglichen Kondensation vorzubeugen. Auf Anfrage sind auch mehr als ein Inertgas an den Ofen anschließbar. Um die Heizelemente zu schützen oder eine definierte Gasführung durch den Ofen sicherzustellen, kann eine Retorte eingebaut werden.

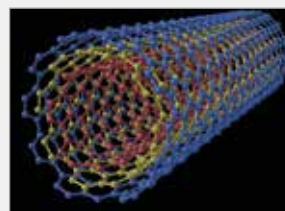
- Reaktionsgasausstattung
- Sicherheitspaket für brennbare Gase
- Entbinderungseinheit mit aktiver Flamme zur Verbrennung
- Mehr als ein Inertgas
- Retorte

LHT-Modell mit Reaktionsgasausstattung; sämtliche Sicherheitsvorkehrungen sind enthalten.



Anwendungsbeispiel

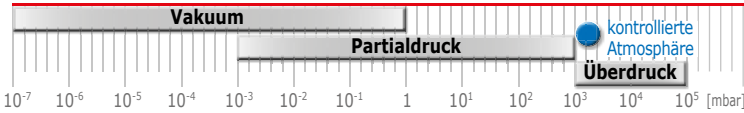
Carbon Nanotubes (Kohlenstoff-Nanoröhren)



Da der LHT sowohl als metallisches System als auch als Graphit-System angeboten wird, ist der Anwendungsbereich sehr vielfältig. Ein typisches Anwendungsbeispiel des LHTG ist die Synthese von Carbon-Nanotubes. Da die graphitbasierten LHT-Modelle Temperaturen bis

3000 °C ermöglichen und bei Carbon-Nanotubes Kohlenstoff in der Atmosphäre die Probe nicht beschädigt, ist der LHTG das Modell der Wahl für diese Anwendung.

Carbon-Nanotubes (CNT) basieren auf Kohlenstoff. CNTs sind zylindrische Röhren aus Kohlenstoffatomen mit einem Innendurchmesser kleiner 0,9 nm. Sie stehen im Fokus von Forschung und Entwicklung aufgrund ihrer hervorragenden mechanischen Stabilität sowie ihrer elektrischen Leitfähigkeit. Mögliche Anwendungen sind der Einsatz als Feldemitter mit hohem Richtstrahlwert oder die Verwendung von CNTs als Füllstoffe in Verbundwerkstoffen. Diese Materialien sind bis 2000 °C stabil. Ein Wärmebehandlungsprozess wird für die Beseitigung von Strukturdefekten, beispielsweise metallischen Verunreinigungen und Gitterdefekten, verwendet. Eine Wärmebehandlung kann auch die Struktur selbst verändern und von einem einwandigen Carbon-Nanotube ("single-walled nano tube", SWNT) zu einem doppelwandigen Carbon-Nanotube ("double-walled carbon nano tube"), DWNT oder sogar zu einem mehrwandigen Carbon-Nanotube ("multi-walled carbon nano tube", MWNT) führen. DWNTs und MWNTs sind verglichen mit SWNT sehr viel stabiler. Diese strukturellen Veränderungen treten bei Temperaturen zwischen 1800 °C und 2000 °C in einer Argon Atmosphäre auf.



LHT – Laboröfen bis 3000 °C

Technische Daten



Modell

	Graphit				Molybdän		Wolfram	
	LHTG 100-200/22-1G	LHTG 100-200/30-1G	LHTG 200-300/22-1G	LHTG 200-300/30-1G	LHTM 100-200/16-1G	LHTM 200-300/16-1G	LHTW 100-200/22-1G	LHTW 200-300/22-1G

Außenabmessungen

H x B x T [mm]	1800 x 1900 x 1000				1800 x 1900 x 1000		1800 x 1900 x 1000	
----------------	--------------------	--	--	--	--------------------	--	--------------------	--

Transportgewicht

Gesamtanlage [kg]	780	1000	900	1500	800	950	850	1000
-------------------	-----	------	-----	------	-----	-----	-----	------

Nutzraum

Kammervolumen [l]	1,5	1,5	10	10	1,5	10	1,5	10
Ø x h, Nutzraum ohne Retorte [mm]	100 x 200	100 x 200	200 x 300	200 x 300	100 x 200	200 x 300	100 x 200	200 x 300
Ø x h, Nutzraum mit Retorte [mm]	90 x 200	90 x 200	180 x 300	180 x 300	90 x 200	180 x 300	90 x 200	180 x 300

Thermische Kennwerte

T _{max} Vakuum [°C]	2200	2200	2200	2200	1600	1600	2200	2200
T _{max} Atmosphärendruck [°C]	2200	3000	2200	3000	1600	1600	2200	2200
ΔT, zwischen 500 °C und 2200 °C [K] (nach DIN 17052)	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10	± 10
Maximale Aufheizrate bis 2000 °C [K/min]	10	20	10	20	10	10	10	10
Abkühlzeit [h]	4	5	5	7	2,5	4	3	5

Anschlusswerte

Leistung [kW]	22	40	45	85	22	45	45	90
Spannung [V]	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)	400 (3P)
Strom [A]	3 x 55	3 x 100	3 x 65	3 x 120	3 x 55	3 x 65	3 x 112,5	3 x 130
Vorsicherung [A]	3 x 63	3 x 125	3 x 80	3 x 160	3 x 63	3 x 80	3 x 160	3 x 160

Vakuum (Option)

Leckrate Behälter (sauber, kalt und leer) [mbar l/s]	< 5 x 10 ⁻³				< 5 x 10 ⁻³		< 5 x 10 ⁻³	
Arbeitsvakuum, abhängig vom Pumpstand	Grob- oder Feinvakuum				Grob-, Fein- oder Hochvakuum		Grob-, Fein- oder Hochvakuum	

Erforderliches Kühlwasser

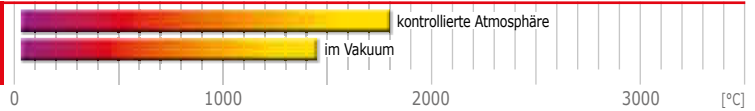
Benötigter Wasserfluss [l/min]	20	30	50	75	30	50	50	75
Maximale Eintrittstemperatur [°C]	23	23	23	23	23	23	23	23

Gasversorgung

Stickstoff oder Argon (weitere auf Anfrage) [l/h]	50-500	50-500	50-500	50-500	50-500	50-500	50-500	50-500
---	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Regler

Manuelle Ausführung	KP 300-Panel und Eurotherm-Regler				KP 300-Panel und Eurotherm-Regler		KP 300-Panel und Eurotherm-Regler	
Automatische Ausführung	Siemens				Siemens		Siemens	



Rohröfen zur Kristallzucht nach dem Bridgman-Verfahren

Rohröfen der HTRV-Serie können zusammen mit einem passenden Gestell für die Kristallzucht nach dem Bridgman-Verfahren verwendet werden.

Bei dem Bridgman-Verfahren wird ein vorher synthetisiertes Material langsam durch einen Temperaturgradienten gezogen. Dieses geschmolzene Material bewegt sich zu niedrigeren Temperaturen unterhalb dessen Schmelztemperatur, wobei sich ein Einkristall bildet. Der BV-HTRV ist ein Rohröfen, der auf einer Vorrichtung befestigt ist, die speziell für dieses Verfahren entwickelt wurde. Als Standard werden die Rohröfen HTRV 70-250 und HTRV 100-250 verwendet. Prinzipiell ist das verwendete Gestell aber mit allen Rohröfen kombinierbar. Die kurze beheizte Länge dieser Standardöfen hat den Vorteil, dass damit die für das Bridgman-Verfahren geeigneten Gradienten realisiert werden können. In dem Ofen sinkt die Temperatur von oben nach unten. Die Probe wird mittels einer im Gestell verbauten Zieheinheit mit einer einstellbaren Geschwindigkeit zur niedrigeren Temperatur bewegt. Die Temperatur der Probe wird mittels eines daran befindlichen Thermoelements gemessen. Sowohl die Probe als auch das daran befindliche Thermoelement sind an der Zieheinheit verbaut. Zum Be- und Entladen kann die Probe schnell bewegt werden. Für das Ziehen des Einkristalls wird eine einstellbare Ziehgeschwindigkeit verwendet. Die Probe und das Proben-thermoelement sind von einem Keramikrohr umgeben. An beiden Enden des Rohrs sind wassergekühlte Flansche angebracht. Das Rohr wird über den oberen Flansch am Gestell befestigt. Am unteren Ende verbindet ein Metallbalg das Keramikrohr mit der Zieheinheit. Dieser Metallbalg ermöglicht die Bewegung der Probe unter Vakuum.

Mit dem oberen Flansch wird die Vakuumpumpe verbunden. Das Ventil in der Vakuumlinie wird manuell geöffnet und geschlossen. Eine Piezomessröhre misst den Druck. Das Schutzgas wird über ein Rotameter in das Rohr eingeleitet. Zur Verringerung des Sauerstoffgehalts im Keramikrohr wird dieses mehrfach evakuiert und mit einem Schutzgas geflutet. Das System kann mit einem PC verbunden werden, der alle relevanten Daten des Prozesses, z. B. die Position der Probe und die Temperatur des Proben-thermoelements, aufzeichnet. Zum Be- und Entladen müssen die Klammern geöffnet werden. Durch die Option zum schnellen Verfahren der Probe ist diese einfach zugänglich.



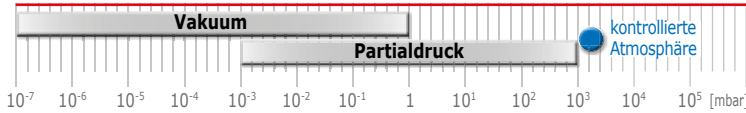
BV-HTRV 70-250/18: Anlage zur Kristallzucht nach Bridgman. Die beheizte Höhe beträgt 250 mm, die maximale Temperatur beträgt 1800 °C. Der Ofen ist mit einer Vorvakuumpumpe ausgestattet.

Vorteile

- Bridgman-Verfahren zur Kristallzucht
- Bis 1450 °C unter Vakuum
- Bis zu 1800 °C unter Schutzgasatmosphäre
- Präzise Einstellung der Ziehgeschwindigkeit
- Manuelle Bedienung
- Möglichkeit zur Datenaufzeichnung

Typische Anwendungen

Züchtung von Einkristallen, Bridgman-Verfahren



BV-HTRV – Bridgman-Kristallzuchtanlage bis 1800 °C

Technische Details

In dem HTRV-Rohröfen sind MoSi₂-Heizelemente hängend eingebaut. Diese werden von vakuumgeformten Faserplatten umgeben, die für die Wärmeisolierung zuständig sind. Isolierung und Heizelemente sind in einem rechtwinkligen Gehäuse untergebracht. In dem Gehäuse befinden sich Löcher, durch die Luft zum Kühlen des Systems gelangen kann. Abhängig von der Schmelztemperatur der Probe wird der Ofen auf eine Maximaltemperatur von 1600 °C, 1700 °C oder 1800 °C ausgelegt. In der Zieheinheit sind 2 Motoren mit unterschiedlichen Übersetzungen verbaut. Das schnelle Verfahren der Probe geschieht beispielsweise mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 10 mm/s. Während des Kristallwachstums wird hingegen eine Geschwindigkeit von nur 0,00001 mm/s (10 nm/s). Alle Schläuche, die mit dem unteren Flansch verbunden sind, befinden sich in einer Schleppkette. Ein Thermoelement Typ B wird als Regelthermoelement verwendet. Auf Wunsch kann der Ofen mit einem Übertemperaturschutz ausgestattet werden. Da die Züchtung von Kristallen ein sehr zeitaufwändiger Prozess ist und der Ofen daher zeitweise unbeaufsichtigt ist, wird ein Übertemperaturschutz empfohlen.

Im Kapitel Kristallzuchtanlagen werden Systeme für die Kristallzucht nach dem Bridgman-Verfahren bei Temperaturen über 1800 °C beschrieben.

Optionen

Für die Software und die Hardware sind zahlreiche Optionen erhältlich. Prinzipiell kann jeder Rohröfen als Basissystem für die Kristallzucht nach dem Bridgman-Verfahren verwendet werden.

- Übertemperaturschutz
- Drehschieberpumpe
- Hochvakuumpumpe
- Wärmetauscher, wenn kein Kühlwasser am Aufstellort vorhanden ist
- Zusätzlicher Gaseinlass mit Ventil und Rotameter
- Probenthermoelement

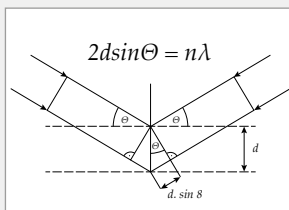
Software:

Der Ofen wird manuell mittels eines Eurotherm-Reglers betrieben. Für nachfolgende Analysen können die Daten mit dem iTools-Software-Paket auf einen PC übertragen werden.

- Eurotherm 3508: 10 verschiedene speicherbare Programme mit 500 Segmenten
- Eurotherm 3508: 50 verschiedene speicherbare Programme mit 500 Segmenten
- RS 232/485
- iTools Option
- Übertemperaturschutz (empfohlen bei unbeaufsichtigtem Betrieb)
- Remote-Control

Anwendungsbeispiel

Bridgman-Type-Crystal-Growing



Das Bridgman-Verfahren ist das am häufigsten verwendete Verfahren zur Züchtung von Einkristallen. Es werden Kristalle in einem weiten Größenordnungsbereich gezüchtet. Kleine Kristalle für den Laborbereich dienen zur Erforschung ihrer physikalischen Eigenschaften. Für industrielle Anwendungen werden sehr große Kristalle gezüchtet. Das Bridgman-Verfahren ist für die Herstellung von Halbleiterkristallen und optischen Komponenten (z. B. Linsen) das beste Verfahren. Ein wichtiges Beispiel ist die Herstellung von Infrarotsensoren, für die ein CdTe/CdHgTe-Einkristall benötigt wird.

Ein Kristall besteht aus einer regelmäßigen Anordnung von Atomen. Es existieren 7 Kristallsysteme, für welche die Position der Atome mathematisch beschrieben werden kann. Beugungsexperimente dienen zur Bestimmung der periodischen Anordnung der Atome. Dabei trifft auf den Kristall kohärente elektromagnetische Strahlung. Die Bragg-Gleichung beschreibt den Abstand der Gitterebenen in Abhängigkeit zu dem Einfallswinkel dieser Strahlung.

Technische Daten

Modell	T _{max} [°C]	Maximaler äußerer Durchmesser des Arbeitsrohrs [mm]	Beheizte Länge [mm]	Außenabmessungen: H x B x T [mm]	Gewicht: Ofen [kg]	Abmessungen: Kontrollmodul H x B x T [mm]	Gewicht: Kontrollmodul [kg]	Leistung [kW]
BV-HTRV 70-250	1600, 1700, 1800	70	250	1800 x 950 x 750	300	850 x 560 x 600	60	5
BV-HTRV 100-250	1600, 1700, 1800	100	250	1800 x 950 x 750	300	850 x 560 x 600	60	6,5

Auf Anfrage können alle Rohröfen für die Kristallzucht nach Bridgman verwendet werden. Die Tabelle zeigt die üblicherweise verwendeten Modelle.



Entbinderungs- und Sinteröfen bis 1450 °C

Die PDS-Modelle sind mit einem Nutzvolumen von 25, 120 und 250 l verfügbar. Mit der besonderen Konstruktion und Gasführung im PDS ist es möglich, in einem Ofen sowohl zu Entbindern als auch zu Sintern.

Die im PDS eingebaute Retorte und die dadurch mögliche Gasführung schützen die Heizelemente vor Verunreinigungen während des Entbinderungsprozesses. Die Retorte besteht aus Molybdän, ebenso die Heizelemente und die Strahlungsschilde. Das System ist von einem doppelwandigen, wassergekühlten Vakuumkessel umgeben. Eine Kondensation des Binders im Gasauslasssystem wird durch Beheizung der Rohre zum Nachbrenner verhindert.

Das Entbindern wird gewöhnlich unter leichtem Überdruck im Ofen durchgeführt, auf Anfrage ist jedoch Partialdruckbetrieb möglich. In diesem Fall wird eine spezielle Frischölpumpe an das System angeschlossen, welche den Binder aus dem Ofen heraus zum Nachbrenner pumpt. Nach dem Entbinderungsprozess ist es möglich, die Temperatur bis maximal 1450 °C zum Sintern zu erhöhen. Während dem Sintern kann ein Vakuum, ein Partialdruck oder ein leichter Überdruck erzeugt werden.

Das System wird vollautomatisch betrieben. Die vollautomatische sicherheitsgerichtete SPS ermöglicht den Betrieb in reinem Wasserstoff ab Raumtemperatur. Die Visualisierung und die Bedienung erfolgen über ein Touch-Panel.

Zwei Bedienungsmodi sind möglich: Der erste Modus erlaubt es, wie im manuellen Betrieb jeden einzelnen Parameter nach Bedarf zu verändern (z. B. Öffnen der Ventile, Einstellen der Durchflussregler etc.). Im zweiten Modus führt der Ofen automatisch die verschiedenen vordefinierten Schritte aus. Bevor der Automatikbetrieb beginnt, führt das System einen Evakuierungsschritt, einen Lecktest und einen Überdrucktest durch. Nach der erfolgreichen Durchführung dieser Schritte beginnt der Betrieb. Im Falle einer Störung wird das System automatisch in einen sicheren Zustand gebracht. Dies ist besonders wichtig, falls reaktive Gase verwendet werden.

Die Gasversorgung wird im PDS über mehrere Dosier- und Steuergeräte geregelt. Abhängig von den Anforderungen an das Arbeitsvakuum, werden unterschiedliche Pumpstände adaptiert. Durch die individuelle Regelung der Temperatur in jeder der drei Heizzonen wird die beste Homogenität erreicht.



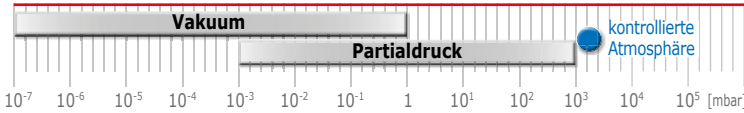
PDS 120 MO/14: Partialdruck-Sinterofen mit einer maximalen Temperatur von 1450 °C. Das System ist zum Entbindern und Sintern geeignet.

Vorteile

- Entbindern und Sintern in einem Schritt
- Entbindern unter Partialdruck möglich
- Genau definierte Atmosphäre höchster Reinheit, 6.0 (99.9999%) und besser
- Wasserstoffpartialdruckbetrieb auf Anfrage
- Kontrollierte Evakuierung, für Pulver geeignet
- Vollautomatischer Betrieb
- Datenaufzeichnung für Qualitätsmanagement

Typische Anwendungen

Entbindern und Sintern in einer Anlage, Anlassen, Glühen, Tempern, Entgasen, Reduktion von metallischem und nichtmetallischem Material, Hart-/Weichlöten, Rapid-Prototyping, Synthese, Sublimation, Trocknen, MIM, CIM



Technische Details

Der PDS besitzt drei Heizzonen: Eine befindet sich an der Ofentür, die beiden anderen im Mantel des Systems. Mit diesem besonderen Design ist die Temperaturhomogenität im System, die von Druck und Gasfluss abhängt, besser als ± 5 K. Die Heizelemente bestehen aus Molybdän. Mehrere Molybdän-Strahlungsschilde sind eingebaut und isolieren die Ofenkammer. Ein Druckluftventil verschließt die Ofentür. Endschalter kontrollieren die Position der Ofentür, offen oder geschlossen. Der Nachbrenner muss an Propangas und Druckluft angeschlossen werden, um den austretenden Binder aktiv zu verbrennen.

Auf Anfrage ist ein Schnellkühlsystem mit dem Ofen verbunden. In diesem Fall wird das Gas aus dem Ofen in einen wassergekühlten Wärmetauscher gesaugt. Bei Eintritt wird es durch den Kontakt mit den wassergekühlten Rohren abgekühlt und dann in den Ofen zurückgedrängt. Durch diesen Mechanismus wird die Abkühlzeit des Ofens sowie der Gasverbrauch aufgrund des geschlossenen Kreislaufs auf ein Minimum reduziert.

Innenansicht



Wärmetauscher als Option, falls ein Schnellkühlsystem angeschlossen ist



Beheizter Gasauslass, um die Kondensation während des Entbinderns zu verhindern

Anwendungsbeispiel

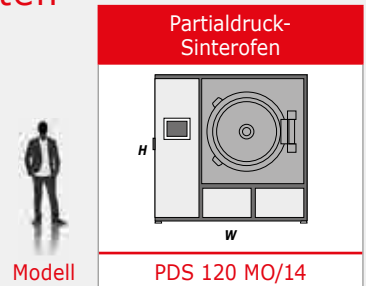
Entbindern und Sintern



Das Metallpulverspritzgussverfahren (MIM: Metal-Injection-Moulding) und das Keramikpulverspritzgussverfahren (CIM: Ceramic-Injection-Moulding) sind endformgebende Produktionsprozesse für kleine Teile mit komplexen Formen, die in großem Maßstab produziert werden.

Für das Entbindern sind viele verschiedene Methoden verfügbar. Eine detailliertere Beschreibung des Prozesses befindet sich auf den Seiten 62 und 63. Bei beiden Verfahren besteht der sogenannte „Grünlinge“ aus dem Pulver, das durch den Polymer-Binder in Form gehalten wird. Mit dem PDS wird durch thermische Entbinderung der Binder entfernt. Anschließend kann das Sintern im selben System durchgeführt werden.

Technische Daten



Modell

PDS 120 MO/14

Außenabmessungen einschließlich Nachbrenner

H x B x T mit Brenner [mm]	2600 x 2300 x 3000
-----------------------------------	--------------------

Transportgewicht

Gesamtanlage [kg]	4500
--------------------------	------

Nutzraum

Kammervolumen [l]	120
h x b x t [mm]	400 x 400 x 750

Thermische Kennwerte

T_{max} [°C]	1450
ΔT [K]	± 5
Abkühlzeit [h]	8
Maximale Aufheizrate [K/min]	10

Anschlusswerte

Leistung [kW]	230
Spannung [V]	400 (3P)
Strom [A]	3 x 330
Vorsicherung [A]	3 x 400

Vakuum

Leckrate Behälter [mbar l/s]	< 5 x 10 ⁻²
Arbeitsvakuum, abhängig vom Pumpstand	Grob-, Fein- oder Hochvakuum

Erforderliches Kühlwasser

Benötigter Wasserfluss [l/min]	120
---------------------------------------	-----

Gasversorgung

Stickstoff oder Argon (weitere auf Anfrage) [l/h]	500-2000
--	----------

Regler

Regler	Siemens
---------------	---------

In diesem Kapitel werden einige Sonderanfertigungen beschrieben. Die Öfen für das Metal-Injection-Molding (MIM) sind zum Entbindern und Sintern geeignet. Die Öfen der *Serie 3000* basieren auf den Standard-LHTG- und HTKGR-Modellen mit der zusätzlichen Ausstattung für Pyrolyseprozesse und 3000 °C Maximaltemperatur. Schließlich werden spezielle Kristallzuchtanlagen und eine kleine Auswahl an kundenspezifischen Sonderöfen, deren Spezifikationen und Anwendungen vorgestellt.

WSP

Working Output

SP

0.0%



Man Op

-14.90



Sonderanfertigungen und Optionen

Seite

Metal-Injection-Moulding (MIM)

62

Graphitisierung *SERIE 3000*

64

Kristallzuchtanlagen

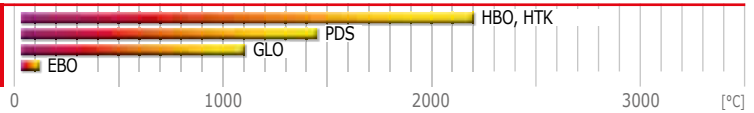
68

Kundenspezifische Anlagen

72

Optionen

74



Herstellung von Bauteilen mit Metal-Injection-Molding (MIM)



MIM (Metall-Pulver-spritzguss) ist ein formgebender Prozess, bei dem Bauteile hoher Komplexität in großen Stückzahlen hergestellt werden.

Bei der MIM-Technologie wird ein geringer Anteil eines Polymers

mit metallischem Pulver vermischt. Es entsteht der sogenannte „Feedstock“, der in formgebende Hohlräume gefüllt wird. Nach der Formgebung wird der Binder entweder chemisch (mit katalytischen Zusatzstoffen, Lösungsmitteln, Wasser) oder rein thermisch entfernt. Anschließend wird das verbleibende Bauteil gesintert; das heißt durch Temperatureintrag zum fertigen Bauteil verdichtet.

Carbolite Gero bietet Lösungen für die komplette MIM-Prozesskette. So kann mit der Produktgruppe GLO die rein thermische Entbinderung durchgeführt werden. Für katalytische Prozesse stehen auf den Kunden zugeschnittene Entbinderungsöfen (EBO) zur Verfügung. Da bei Carbolite Gero die aus dem Feedstock austretenden Gase mittels Fackel verbrannt werden, entfällt die bei anderen Produkten mit Kondensatfallen auftretende hohe Geruchsbelästigung und aufwendige Reinigung. Das Sintern kann bei geringem Überdruck mit der Produktgruppe HTK oder HBO realisiert werden. Außerdem bietet Carbolite Gero spezielle Lösungen wie den Partialdrucksinterofen (PDS) an.

Dieselbe Technologie, Entbindern und Sintern, kann auch für keramische Endprodukte angewendet werden. In diesem Fall spricht man von Ceramic-Injection-Molding (CIM). Sowohl für MIM als auch für CIM existieren eine Vielzahl verschiedener „Feedstock“-Materialien und Lösungen, die allesamt mit Öfen von Carbolite Gero verarbeitet werden können.

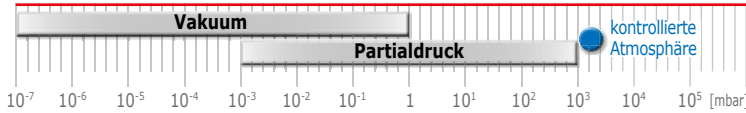
Entbinderungsöfen: EBO, GLO

Thermisches Entbindern mit dem GLO:

Der GLO ist ein Ofen für das rein thermische Entbindern und ist mit einem nutzbaren Volumen von 40, 75 oder 120 l erhältlich. Die maximale Temperatur beträgt 1100°C. Der GLO ist vakuumtauglich. Vor der thermischen Entbinderung, kann der Sauerstoffgehalt durch mehrmaliges Evakuieren mit anschließendem Fluten oder durch einfaches Spülen mit Inertgas reduziert werden. Ersteres ist die schnellere Methode. Danach beginnt die Wärmebehandlung bei fließendem Gas mit leichtem Überdruck im Ofen. Der verdampfende Binder wird aus dem Ofen herausgespült, wobei der horizontale Glasfluss und die horizontalen Chargenbleche für eine optimale Umströmung der Proben sorgen. Der Binder wird anschließend in einer aktiven Fackel verbrannt, die mit Druckluft und Propan gas betrieben wird. Der Gasauslass ist dabei beheizt und verhindert so eine Kondensation des Binders auf dem Weg in die Fackel. Das einströmende Gas wird beim Eintritt in den Ofen vorgeheizt, wodurch die Temperatur innerhalb des Ofens selbst bei strömendem Gas sehr homogen ist. Der GLO kann auch vertikal gebaut werden (V-GLO).



GLO 40/11: Ofen mit einem nutzbaren Innenraum von 40 l und einer maximalen Temperatur 1100°C bei Atmosphärendruck. Der GLO kann zum thermischen Entbindern verwendet werden.



Katalytisches Entbindern mit dem EBO:

Der EBO ist ein rein katalytischer Entbinderofen. Salpetersäure wird verdampft und im Stickstoffüberschuss in den Ofen geleitet. Daher ist die Bedienung vollautomatisch und alle Sicherheitsvorkehrungen sind implementiert. Eine chemische Reaktion mit den Grünteilen, die aus dem BASF Catamold „Feedstock“ hergestellt wurden, entfernt den Binder. Das Ende des Entbinderungsprozesses kann vollautomatisch detektiert werden. Die Steuerung stoppt daraufhin das Einleiten der Salpetersäure. Die benötigte Temperatur im EBO wird dadurch erreicht, dass der doppelwandige Kessel auf maximal 150°C erwärmt wird. Der Salpetersäuretank ist mit einem Volumen von 1 l am System angebracht und muss bei Bedarf ausgetauscht werden. Größere Säurefässer sind auf Anfrage erhältlich.



EBO 120/1,5: Entbinderofen mit einem nutzbaren Innenraum von 120 l und einer maximalen Temperatur von 150°C. Die Arbeitstemperatur beträgt gewöhnlich 120°C. Salpetersäure wird verdampft, mit Stickstoff vermischt und für die katalytische Entbinderung in den Ofen eingeleitet.

Sintern und Entbindern mit dem PDS:

Der PDS ist ein Ofen sowohl zum Entbindern als auch zum Sintern. Sind die Grünlinge im EBO katalytisch entbindert worden, ist immer noch ein geringer Anteil an Restbinder enthalten. Vor dem finalen Sinterschritt kann der PDS diesen Restbinder entfernen. Der PDS ist ebenfalls in der Lage, Teile zu entbindern, die nicht vorentbinder wurden und 10% Binder enthalten.

PDS 120 Mo/14: Partialdrucksinterofen mit einem nutzbaren Innenraum von 120 l und einer maximalen Temperatur von 1450°C. Im PDS ist das Entbindern sowie das Sintern in einem System möglich.



Eine spezielle Gasversorgung sowie spezielle Vakuumpumpen können am System angebracht werden. Der Ofen besteht aus Strahlungsschildern und Heizelementen aus Molybdän. Eine Retorte aus Molybdän umgibt den Innenraum und schützt die Heizelemente vor dem austretenden Binder. Der Entbinderungsprozess kann bei leichtem Überdruck oder sogar im Partialdruck erfolgen. Beim Entbindern im Partialdruck werden die Gase durch eine sogenannte Frischölpumpe gesaugt und in die aktive Fackel geleitet. Anschließend kann der finale Sinterschritt bis zu einer maximalen Temperatur von 1450°C erfolgen. Das Sintern kann in sämtlichen Vakuumbereichen (Grobvakuum, Feinvakuum, Hochvakuum) durchgeführt werden. Der PDS wird mit einem Nutzvolumen von 25, 120 oder 200 l gefertigt.



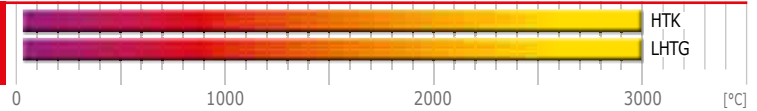
HBO 60 W/22: Haubenofen mit einem nutzbaren Innenraum von 60 l und einer maximalen Temperatur von 2200°C. Die Bedienung erfolgt automatisch über ein Touch-Panel. Der HBO ist mit einem Hochvakuumpumpstand ausgerüstet.

Sintern im HTK oder im HBO

Die Öfen der Baureihe HTK und HBO können für das Sintern in verschiedenen Atmosphären verwendet werden. Nach dem Entbindern werden die Proben in den Sinteröfen gelegt. Die Wahl zwischen einem HTK und einem HBO hängt auch von praktischen Überlegungen wie dem Be- und Entladen ab. Der HBO ist ein rein metallischer Ofen, basierend auf Wolfram oder Molybdän. Daher entsteht die sauberste Atmosphäre beim Sintern im Vakuum, bei strömendem Inertgas oder in Wasserstoffatmosphäre. Die Öfen aus Wolfram können auf Anfrage sogar bei Temperaturen über 2200°C betrieben werden.

HTK 25 W/22: Hochtemperaturkammerofen mit einem nutzbaren Innenraum von 25 l und einer maximalen Temperatur von 2200°C. Die Bedienung erfolgt automatisch über ein Touch-Panel.





Hochtemperaturöfen der *SERIE 3000*



HTK 80 GR/30: Kammerofen der *SERIE 3000* mit einem nutzbaren Volumen von 80 l und einer maximalen Temperatur bis 3000°C.



LHTG 200-300/30: Laborofen der *SERIE 3000* mit einem Durchmesser von 200 mm und einer beheizten Höhe von 300 mm.

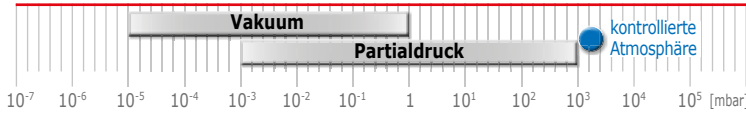
Die Graphitisierung ist ein wichtiger Prozess. Dessen Kontrolle und Untersuchung ist fundamental, um Carbon-Materialien zu verstehen.

Der Graphitisierungsprozess ist weiterhin im Fokus der Forschung und Entwicklung, um die herausragenden mechanischen Eigenschaften von Carbon-Materialien zu verstehen. Graphitisierung ist der strukturelle Übergang von amorphem Kohlenstoff, hin zu kristallinem Graphit. Vor der Graphitisierung werden die Materialien pyrolysiert; es entsteht amorpher (ungeordneter) Kohlenstoff als Ausgangsmaterial. Die wesentlichen strukturellen Änderungen treten bei Temperaturen um die 2000 °C, oder höher falls benötigt, auf. Nach der Wärmebehandlung werden die Materialien üblicherweise mittels Beugungsexperimenten charakterisiert.

Für diese anspruchsvolle Wärmebehandlung, bis hin zu einer maximalen Temperatur von 3000 °C in inerter Atmosphäre, hat Carbolite Gero die *SERIE 3000* entwickelt. Die Öfen der *SERIE 3000* sind Kammeröfen vom Typ HTK oder Laboröfen vom Typ LHT, beide mit Heizern und Isolierung aus Graphit. Der HTK und der LHT wird mit einer Fackel, einem beheizten Gasauslass, einer Retorte, einer speziellen Gasführung, einem Schiebethermoelement und erhöhter Leistung für 3000 °C Arbeitstemperatur ausgelegt. In einer Anlage ist es daher möglich, sowohl die Pyrolyse als auch die Graphitisierung durchzuführen. Die Pyrolyse erfolgt zwischen 400 °C

und 600 °C und wird mit dem Schiebethermoelement kontrolliert. Nach diesem Schritt kann die Temperatur erhöht werden. Das Schiebethermoelement fährt automatisch aus dem Ofen heraus und das Pyrometer übernimmt die Temperaturkontrolle. Die Graphitisierung bei 3000 °C benötigt üblicherweise nur einige Minuten. Im Material kommt es zu den gewünschten strukturellen Veränderungen. Wichtig für den gesamten Prozess ist eine präzise Kontrolle der Temperatur und der Atmosphäre. Beides ist mit den *SERIE 3000*-Systemen möglich. Die manuellen Öfen können über eine Schnittstelle und der Software iTools an einen Computer angeschlossen werden. Die automatischen Öfen speichern alle relevanten Daten während der Wärmebehandlung in vordefinierten Zeitintervallen.

Die Pyrolyse-Gase werden in der Fackel vollständig verbrannt. Die (aktive) Fackel wird mit Propangas und Druckluft versorgt. Die aktive Verbrennung ist deutlich weniger wartungs- und reinigungsintensiv, verglichen mit Anlagen, die mit einer Kondensatfalle ausgestattet sind. Der beheizte Gasauslass verhindert die Kondensation der Pyrolysegase auf dem Weg zur Fackel. Die Heizelemente, Isoliermaterialien und die benötigte Leistung sind für eine maximale Temperatur von 3000 °C speziell ausgelegt.



Vorteile

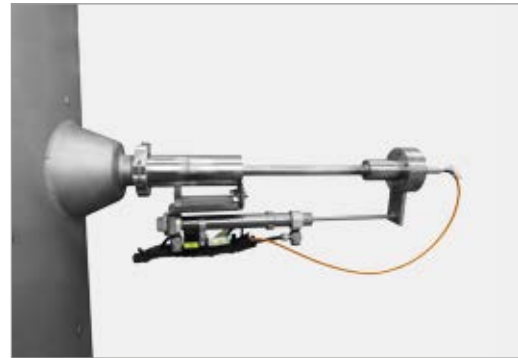
- Temperatur bis zu 3000 °C
- Fackel und beheizter Gasauslass
- Kontrolliertes Evakuieren, besonders geeignet bei pulverförmigem Probenmaterial
- Datenaufzeichnung für die Qualitätskontrolle
- Retorte
- Schiebethermoelement
- Pyrometer

Typische Anwendungen

Pyrolyse, Silizieren, Carbonisieren, Härten, Anlassen, Glühen, Tempern, Rapid-Prototyping, Sintern, Entbindern, Synthese, Sublimation, Trocknen, MIM, CIM

Technische Details

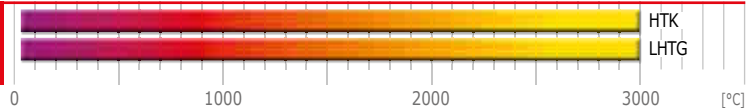
Der HTK und der LHT der *SERIE 3000* sind mit Heizelementen und einer Isolierung aus Graphit ausgestattet. Um für eine maximale Temperatur bis 3000 °C zu isolieren, muss die Isolationsdicke passend gewählt werden. Die installierte Leistung wird passend gewählt, um 3000 °C mit einer hohen Heizrate zu erreichen. Bei Temperaturen unterhalb von 1000 °C, ist ein vollautomatisches Schiebethermoelement verfügbar, das die Temperatur bis zur Raumtemperatur herunter kontrolliert. Das Schiebethermoelement kann bei mittlerer Temperatur auch verwendet werden, um das Pyrometer einzustellen. Die Anlagen sind mit allen benötigten Flanschen, Thermoelementen und elektrischen Verbindungen versehen. Die Heizkassette befindet sich in einem doppelwandigen, wassergekühlten Kessel. Alle Stromdurchführungen und Kabel sind wassergekühlt. Die Fackel verbrennt alle ausgasenden Produkte der Pyrolyse. Um die Heizelemente zu schützen, wird eine Retorte eingebaut. In Kombination mit einer speziellen Gasführung können die Pyrolyse Gase nicht an die Heizelemente gelangen: Das Gas wird in den Kessel geleitet. Außerhalb der Retorte baut sich ein leichter Überdruck auf. Der einzige Weg ist in die Retorte hinein und anschließend durch den zentralen Gasauslass in Richtung Fackel aus dem Ofen hinaus. Diese Gasführung erhöht die Lebensdauer des Ofens. Aufwendiges Reinigen der Kesselinnenwand wird nicht mehr benötigt. Die Bedienung kann manuell oder auch automatisch erfolgen. Bei der manuellen Ausführung werden Ventile und Pumpen durch das Drücken von Tasten aktiviert. Der benötigte Gasfluss wird mit einem Rotameter eingestellt. Bei der automatischen Ausführung der Öfen erfolgt die Bedienung über ein Touch-Panel. Der Gasfluss wird automatisch kontrolliert. Das Speichern der Daten ist mit den manuellen sowie mit den automatischen Öfen möglich.



Das Schiebethermoelement fährt automatisch in den Ofen und kontrolliert die Temperatur von Raumtemperatur bis zu 1000 °C. Über 1000 °C, fährt das Thermoelement aus dem Ofen heraus und das Pyrometer übernimmt die Messung.



Mit dem Pyrometer können auch höchste Temperaturen von 3000 °C gemessen werden. Das Pyrometer wird auf einen definierten Punkt im heißen Bereich fokussiert. Die Wärmestrahlung wird durch ein Quarzglas hindurch auf den Sensor des Pyrometers fokussiert. Ein Gaseinlass spült das Quarz-Fenster. Das Pyrometer kann mit dem Schiebethermoelement justiert werden.



Optionen

Für die Anlagen der *SERIE 3000* stehen zahlreiche Optionen zur Verfügung. Der HTK als auch der LHT können mit manueller oder automatischer Bedienoberfläche geliefert werden.

Vakuumsystem:

Die Anlagen der *SERIE 3000* werden üblicherweise mit Vorvakuumpumpen ausgestattet, um den Sauerstoffgehalt vor der Wärmebehandlung zu reduzieren. Für Temperaturen zwischen 2000 °C und 3000 °C wird eine Argon-Atmosphäre benötigt. Aufgrund des hohen Dampfdrucks von Graphit, sind Wärmebehandlungen im Vakuum bei diesen hohen Temperaturen nicht möglich.

- Vorpumpen: Ein oder zwei-stufige Drehschieberpumpen
- Andere Pumpen sind auf Nachfrage erhältlich

Software:

Die Öfen sind in manueller oder automatischer Ausführung erhältlich. Bei der manuellen Ausführung können Ventile und Pumpen durch das Drücken von Tasten aktiviert werden. Der Gasfluss wird mit einem Rotameter eingestellt. Die automatische Ausführung wird über ein Touch-Panel bedient. Der Gasfluss wird automatisch kontrolliert. In der automatischen Ausführung erfolgt die Daten Speicherung vollautomatisch. Die Daten der manuellen Öfen sind über eine Schnittstelle zugänglich.

- TP 1900: 20 verschiedene Wärmebehandlungen können gespeichert werden. Jedes Programm besteht aus bis zu 25 Segmenten.
- WinCC: 50 verschiedene Wärmebehandlungen können gespeichert werden. Jedes Programm besteht aus bis zu 30 Segmenten.

Bei manuellen Anlagen sind zwei verschiedene Regler erhältlich. Manuelle Öfen werden mit einem Eurotherm-Regler in Kombination mit einem KP 300-Panel ausgestattet. Das Panel verfügt über Tasten zum Aktivieren der Ventile oder Pumpen. Zur Datenaufzeichnung kann der Regler über eine Schnittstelle mit einem Computer verbunden werden. Hierfür wird die Software iTools benötigt.

- Eurotherm 3508: 10 verschiedene speicherbare Programme mit 500 verschiedenen Segmenten
- Eurotherm 3508: 50 verschiedene speicherbare Programme mit 500 verschiedenen Segmenten
- RS 232/485
- iTools Option
- Übertemperaturschutz (empfohlen bei unbeaufsichtigtem Betrieb)
- Remote-Control

Wasserkühlung:

Sollte kein Kühlwasser vorhanden sein, kann ein elektrischer Wasserkühler geliefert werden. Die Kühlleistung wird auf den jeweiligen Ofen abgestimmt.

- Wasserkühlsystem: Wärmetauscher

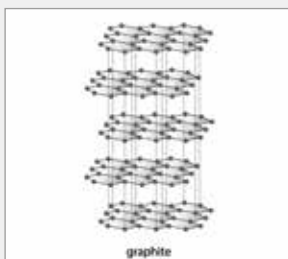


Die folgenden Öfen sind in der Ausführung *SERIE 3000* erhältlich:

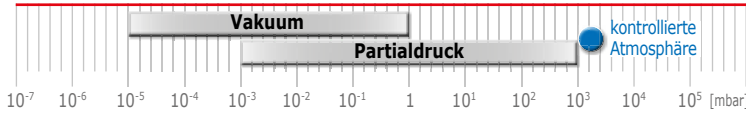
- HTK 8 GR
- HTK 25 GR
- HTK 80 GR
- LHTG 100-200
- LHTG 200-300

Anwendungsbeispiel

Wärmebehandlung und Analyse von Graphit



Der Prozess der Graphitisierung ist nach wie vor eine Fragestellung in der Forschung und Entwicklung. Nach der Wärmebehandlung, werden die Proben üblicherweise mit einem Transmissionselektronenmikroskop (TEM) analysiert. Dazu muss eine sehr dünne Probe präpariert werden. Nach der Probenpräparation wird die Probe in das Mikroskop eingebracht. Elektronen durchdringen die dünne Probe und treten in Wechselwirkung mit den Gitterebenen der Probe. Derartige Analysen haben gezeigt, dass die Gitterstruktur wesentlich homogener ist, desto höher die Maximaltemperatur der Wärmebehandlung gewählt wurde. Für diesen Prozess sind die Öfen der *SERIE 3000* besonders gut geeignet.



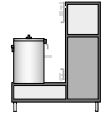
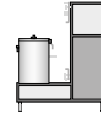
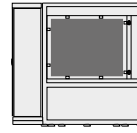
Kammer- und Laboröfen
bis 3000 °C

Technische Daten



Modell

Graphit



HTK 80 GR/30-1G

LHTG 100-200/30-1G

LHTG 200-300/30-1G

Außenabmessungen

H x B x T [mm]

2500 x 2400 x 2500

1800 x 1600 x 1000

1800 x 1600 x 1000

Transportgewicht

Gesamtanlage [kg]

4000

1000

1500

Nutzraum

Kammervolumen [l]

80

1,5

9,4

h x b x t, Nutzraum ohne Retorte [mm]

400 x 400 x 500

-

-

Ø x h, Nutzraum ohne Retorte [mm]

-

100 x 200

200 x 300

h x b x t, Nutzraum mit Retorte [mm]

380 x 380 x 480

-

-

Ø x h, Nutzraum mit Retorte [mm]

90 x 200

180 x 300

Thermische Kennwerte

T_{max} Vakuum [°C]

2200

2200

2200

T_{max} Atmosphärendruck [°C]

3000

3000

3000

ΔT, zwischen 500 °C und 2200 °C [K]
(nach DIN 17052)

± 10

± 10

± 10

Maximale Aufheizrate bis 2000 °C [K/min]

10

20

20

Abkühlzeit [h]

8

5

7

Anschlusswerte

Leistung [kW]

250

40

85

Spannung [V]

400 (3P)

400 (3P)

400 (3P)

Strom [A]

3 x 362

3 x 310

3 x 85

Vorsicherung [A]

3 x 400

3 x 125

3 x 100

Vakuum (Option)

Leckrate Behälter (sauber, kalt und leer) [mbar l/s]

< 5 x 10⁻³

Arbeitsvakuum, abhängig vom Pumpstand

Grob- oder Feinvakuum

Erforderliches Kühlwasser

Benötigter Wasserfluss [l/min]

200

30

75

Maximale Eintrittstemperatur [°C]

23

23

23

Gasversorgung

Stickstoff oder Argon (weitere auf Anfrage) [l/h]

200-2000

50-500

50-500

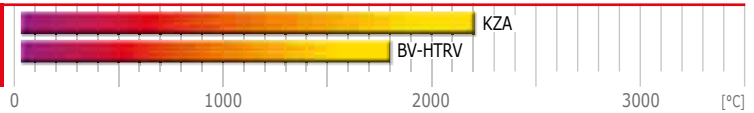
Regler

Manuelle Ausführung

KP 300-Panel und Eurotherm-Regler

Automatische Ausführung

Siemens

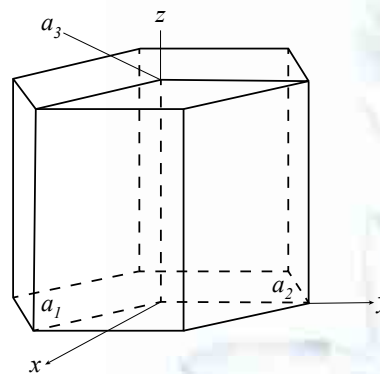


Kristallzucht nach dem Bridgman-Verfahren

Das Bridgman-Verfahren ist die bekannteste und am häufigsten verwendete Methode für die Züchtung von Kristallen. Die Anwendung dieser Technik umfasst ein breites Spektrum, vom Labormaßstab, in dem kleine Kristalle zum Erforschen ihrer physikalischen Eigenschaften gezüchtet werden, bis hin zu industriellen Anwendungen, für die große Kristalle benötigt werden. Diese Methode wird für die Herstellung von Halbleiterkristallen und optischen Bauteilen wie Linsen genutzt. Ein wichtiges Beispiel ist die Herstellung von Infrarotsensoren. Dabei werden mittels des Bridgman-Verfahrens Einkristalle mit der Zusammensetzung CdTe / CdHgTe gezogen und anschließend weiterverarbeitet.

Bei der Kristallzucht nach Bridgman wird das Material geschmolzen, bevor aus diesem anschließend ein Einkristall hergestellt wird. Man benötigt dafür einen Tiegel, in der Regel eine Quarzampulle, in den das vorher synthetisierte Material eingefüllt wird. Nach dem Befüllen lassen sich die Ampullen evakuieren und durch Schmelzen verschließen. Sie besitzen im Allgemeinen eine Spitze sowie einen Stab oder Haken, so dass sie durch ein definiertes Temperaturprofil gezogen werden können, welches das Wachstum der Kristalle ermöglicht.

Carbolite Gero baut seit drei Jahrzehnten Anlagen für die Kristallzucht. Im Folgenden wird ein kleiner Ausschnitt der für das Bridgman-Verfahren verfügbaren Geräte vorgestellt. Carbolite Gero hat aber auch Geräte für andere Methoden wie das Stockbarger-Verfahren erfolgreich realisiert. Bei diesem Verfahren gibt es keine beweglichen Teile am Ofen. Eine Schmelze wird sehr langsam und präzise abgekühlt.



Beispiel: Die hexagonale Anordnung eines Kristalls.

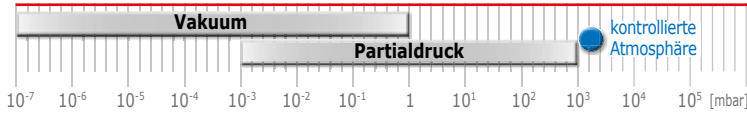
Ablauf einer Kristallzucht nach Bridgman

Die Ampullen werden in einen Ofen eingebracht, der so ausgelegt ist, dass ein definiertes Temperaturprofil eingestellt werden kann. Anschließend heizt der Ofen auf, und das Material in der Ampulle schmilzt. Nach einer kurzen Verweilzeit wird die Ampulle mit einer geringen Geschwindigkeit von 0,1 bis 10 mm/h durch das Temperaturprofil in Richtung der niedrigeren Temperatur gezogen, wobei sich an der Spitze der Ampulle erste Keime bilden. Der größte Keim wächst weiter und bestimmt im weiteren Verlauf das Kristallwachstum, welches sich über Tage hinziehen kann. Der Erfolg hängt unter anderem von einem vibrationsfreien System ab, denn schon schwächste Vibrationen, die von einem schlechten Antrieb oder der Umgebung ausgehen können, verhindern eine erfolgreiche Züchtung von Einkristallen. Das Ergebnis kann erst am Ende des Prozesses begutachtet werden, nachdem die Schmelze vollständig erstarrt ist. Oftmals ist zusätzlich ein Tempern der Einkristalle unterhalb ihrer Schmelztemperatur notwendig. Bevor die Ampulle entfernt werden kann, muss sie vorsichtig abkühlen. Der Einkristall wird dann ausgerichtet, gegebenenfalls in Scheiben geschnitten und für die weitere Verwendung oder Analyse vorbereitet.

Eine Bridgman-Ampulle kann hängend oder stehend in den Ofen eingebracht werden. Das Bild zeigt eine hängende Ampulle sowie deren Ziehmechanismus.



Das Bild zeigt eine Bridgman-Ampulle mit einer Spitze und einem Stab (oben). Die durch Schmelzen verschlossene Ampulle ist in der Mitte abgebildet. Die Spitze dient zur Bildung von Keimen. Die untere Ampulle ist mit einem Haken versehen.



Lösungen Kristallzüchtung nach der Bridgman-Methode

Rohröfen zur Züchtung von Einkristallen nach dem Bridgman-Verfahren

Das vertikale Bridgman-System (z. B. BV-HTRV 40-500/18) besteht aus einem Basisgehäuse mit einem einzonigen Hochtemperaturrohröfen, der unten montiert wird, und einem Ziehmechanismus, der über dem Ofen angebracht ist.

An dem Basisgehäuse lassen sich alle Rohröfen von Carbolite Gero anbringen. Mehrzonige Rohröfen ermöglichen eine bessere Steuerung des Temperaturprofils.

Inverses Design

Für das Arbeiten mit einer stehenden Ampulle wird der Ofen oben und der Ziehmechanismus unten am Basisgehäuse angebracht (z. B. BV-HTRV 70-250/18). Das Rohr ist mit gasdichten Flanschen und einer wassergekühlten Welle für das Ziehen der Ampulle ausgestattet. Alle Bewegungen werden über ein Potentiometer geregelt. Der Regler bestimmt die Ziehgeschwindigkeit; ein schnelles Bewegen der Ampulle ist möglich.

Der BV-HTRV 70-250/18 ist auf den Seiten 56 und 57 detailliert beschrieben. Für die Kristallzüchtung können prinzipiell alle Rohröfen mit dem Ziehmechanismus kombiniert werden.



BV-HTRV 70-250/18: Ofen zur Züchtung von Kristallen nach dem Bridgman-Verfahren. Die beheizte Länge des Ofens beträgt 250 mm bei einer Maximaltemperatur von 1800°C. Das System ist mit einer Vorvakuumpumpe ausgestattet.

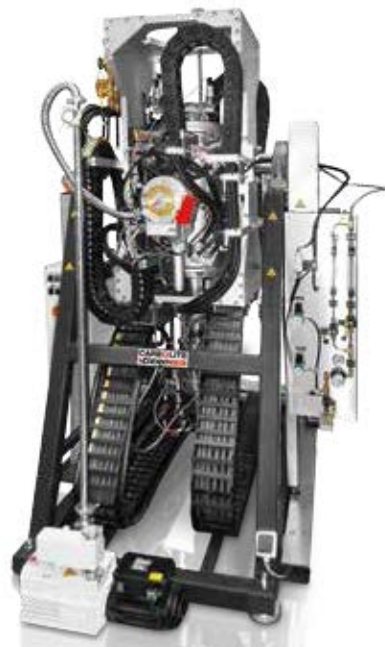
BV-HTRV 40-500/18: Ofen zur Züchtung von Kristallen nach dem Bridgman-Verfahren. Die beheizte Länge des Ofens beträgt 500 mm bei einer Maximaltemperatur von 1800°C. Die Ziehvorrichtung ist über dem Ofen angebracht.

Kaltwandöfen zur Züchtung von Einkristallen nach dem Bridgman-Verfahren

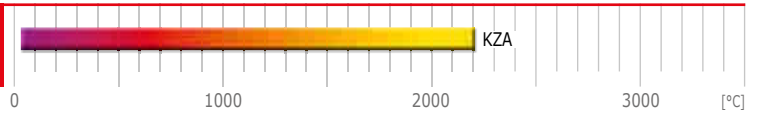
Moderne Vakuumsysteme für Temperaturen von bis zu 2200°C sind in Graphit- oder Wolfram-Ausführungen erhältlich.

Dieses Bridgman-Gerät wurde für die Züchtung von Kristallen im Hochvakuum entwickelt und arbeitet aus diesem Grund mit einer Turbomolekularpumpe. Dadurch ist ein Arbeitsvakuum im Bereich von 5×10^{-6} mbar möglich. In dem Gerät befinden sich drei Heizzonen. Zusätzlich kann der Ofen horizontal, vertikal oder in einem definierten Winkel zwischen 0 und 90° verwendet werden. Ein InGa-Bad erlaubt die höchstmöglichen Temperaturgradienten.

KZA-V 40-400/16-1G: Ofen zur Züchtung von Kristallen nach dem Bridgman-Verfahren. Die beheizte Länge des Ofens beträgt 400 mm bei einer Maximaltemperatur von 1600°C. Der Ofen wird mit drei Zonen beheizt, wobei die Heizelemente und die Isolierung aus Graphit bestehen. Der Betrieb ist unter Vakuum und Schutzgasatmosphäre möglich. Die voll automatische Steuerung ist mit einer Datenaufzeichnungsfunktion ausgestattet.



Lösungen Kristallzuchtung nach der Bridgman-Methode

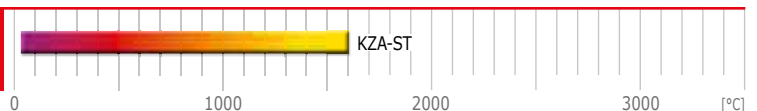


Dieses Bridgman-System ermöglicht eine Maximaltemperatur von 2200 °C. Die Probe wird langsam aus der heißen Zone in ein Bad aus InGa gezogen. InGa ist ein flüssiges Metall mit geringem Dampfdruck. Mit diesem System lassen sich die höchstmöglichen Temperaturgradienten erreichen.



KZA-V 25-500/20: Dieser Bridgman-Ofen besitzt eine beheizte Länge von 500 mm und erreicht eine Maximaltemperatur von 2000 °C. Der Ofen ist mit einem vierzonigen Heizelement aus Graphit ausgestattet und ermöglicht den Betrieb unter Vakuum und Schutzgasatmosphäre. Die voll automatische Steuerung verfügt über eine Datenaufzeichnungsfunktion.

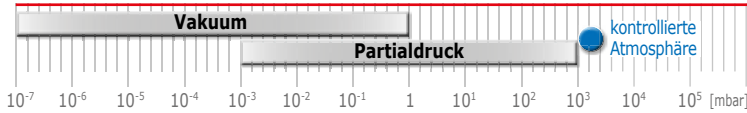
Lösungen Kristallzuchtung nach der Stockbarger-Methode



Die Anlage dient zur Kristallzucht nach dem Stockbarger-Verfahren. Hier wird mit fünf Heizzonen eine kontrollierte Abkühlrate eingestellt, um Kristalle zu züchten. Die Heizelemente bestehen aus Graphit.

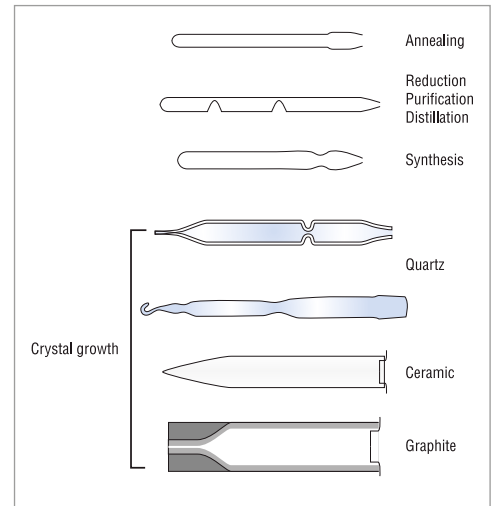


KZA-ST 400-400/16: Ofen zur Züchtung von Kristallen nach dem Stockbarger-Verfahren. Das nutzbare Volumen hat sowohl einen Durchmesser als auch eine Höhe von 400 mm. Die Maximaltemperatur beträgt 1600 °C.



Zubehör für die Kristallzucht

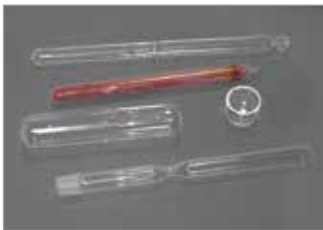
Carbolite Gero hat viel Erfahrung in der Konstruktion von Öfen für die Kristallzucht. Die beiden Firmen-Gründer, Roland Geiger und Dr. Gerd Lamprecht, starteten Ihre berufliche Laufbahn am Max-Planck Institut für Festkörperforschung in Stuttgart im Bereich Kristallzüchtung. Carbolite Gero liefert neben den Hochtemperaturanlagen zur Kristallzucht auch eine große Bandbreite an Zubehör.



Alle Röhrcchen und Tiegel sind in unterschiedlichen Größen erhältlich. Weiteres Zubehör:

- Brenner
- Diamantsägen
- Temperaturmessung
- Glas-Komponenten
- Behälter zur Lagerung

Typen von Röhrcchen



Quarz-Röhrcchen für die Synthese oder zur Verbesserung der Probenreinheit



Schutzrohre für den Betrieb im Vakuum oder unter Schutzgas



Quarz-Röhrcchen für die Bridgman-Kristallzucht oder zur Kristallzucht aus der Dampfphase



Keramische Tiegel zur Kristallzucht nach Bridgman



Graphit Tiegel für die Kristallzucht nach Bridgman



Keramische Tiegel und Schiffchen für die Synthese oder zur Verbesserung der Probenreinheit



Verbindungsstücke Glas- Metall für Vakuumverbindungen



Quarz-Komponenten für den Vakuumbetrieb



Membran-Behälter für die sichere Lagerung und für den Transport



Carbon-Tiegel für die Kristallzucht nach Bridgman u. a.



Diamantsäge für die Probenpräparation



Brenner zum Schmelzen, Graphitieren und Heizen

Produktionsofen für supraleitende Spulen am CERN

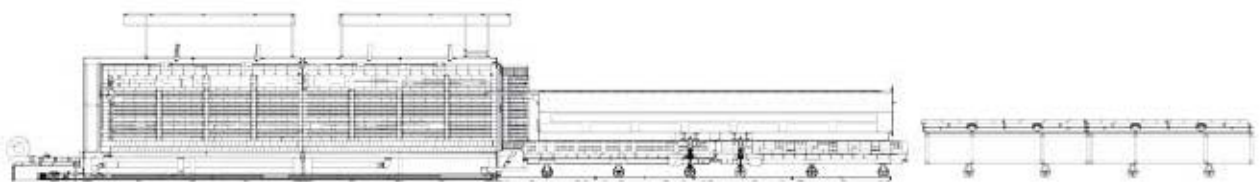


In Zusammenarbeit mit dem CERN wurde von Carbolite Gero ein spezieller Glühofen entwickelt. Am CERN, dem berühmtesten Teilchenbeschleuniger der Welt, gelang erst kürzlich der experimentelle Nachweis des Higgs-Bosons. Letzteres verleiht allen Teilchen ihre Masse und existierte bis zum erfolgreichen experimentellen Nachweis nur in der Theorie.

Für diese Experimente werden zahlreiche supraleitende Spulen benötigt. Diese Spulen erzeugen ein starkes Magnetfeld, das die Teilchen vor der Kollision im Beschleunigerring ablenkt und fokussiert. Um die Teilchen in ihre elementaren Bestandteile zu zerlegen, werden extrem hohe kinetische Energien benötigt. Daher werden lange Beschleuniger und starke Magnetfelder der supraleitenden Spulen benötigt. Zur Produktion der Supraleiter wird eine spezielle Wärmebehandlung eingesetzt, für die Carbolite Gero einen speziellen,

$$\max [|T(\vec{r}_i, t) - T(\vec{r}_j, t)|] \leq 6 \text{ K}$$

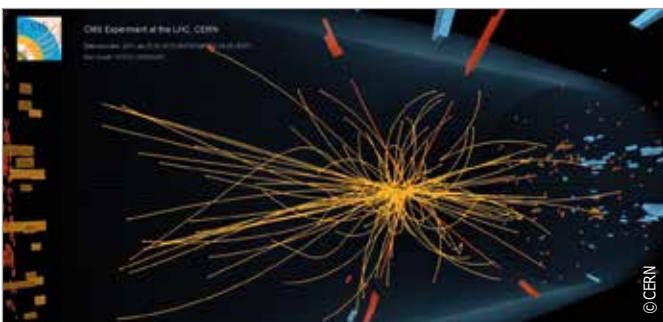
sieben Meter langen Ofen entwickelt hat. Innerhalb des Ofens befindet sich eine gasdichte Retorte, die vor der Wärmebehandlung mit Argon durchspült wird, bis der Sauerstoffgehalt ausreichend reduziert ist. Während des Spülvorgangs wird der Sauerstoffgehalt überprüft. Ist ein voreingestellter Sauerstoff-Grenzwert unterschritten, wird die Wärmebehandlung automatisch gestartet. Der auf Niob und Zinn basierende Supraleiter entsteht durch ein spezielles Programm mit Haltezeiten bei einer Temperatur von 200°C, 400°C und 600°C. Während der Haltezeiten muss die Homogenität innerhalb des Ofens besser als ± 3 K sein. Um diese Werte zu erreichen, wurde ein spezieller Ofen gebaut. Mehrere Heizzonen werden individuell angesteuert und eingestellt. Bei der experimentellen Überprüfung konnte die geforderte maximale Temperaturabweichung sogar unterboten werden. Das System arbeitet automatisch und ist im Vollbetrieb.



Gasdichte Retorte mit einer Länge von 7 Metern für die Produktion supraleitender Spulen



System zum Be- und Entladen des Ofens



Kollisionen im Large-Hadron-Collider (LHC)



Vor der Kollision werden die Teilchen am CERN nahezu auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt

LHT mit austauschbarer Heizkassette

Ein Ofen mit vielen verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten wurde für den Bereich Forschung und Entwicklung gebaut. Die Basis ist ein wassergekühlter Kessel mit einem Durchmesser von 400 mm und einer beheizten Höhe von 400 mm (nutzbares Volumen: 50 l). Abhängig von der jeweiligen Anwendung, stehen zwei unterschiedliche Heizkassetten zur Verfügung. Eine Heizkassette ist mit MoSi₂-Heizelementen und einer keramischen Faserisolierung ausgestattet. Hiermit ist eine maximale Temperatur von 1600 °C sowie eine Atmosphäre mit bis zu 100 % Sauerstoff einstellbar. Insgesamt stehen drei verschiedene Gase zur Verfügung. Mit dieser Heizkassette ist die Wärmebehandlung jedoch nur möglich, wenn Sauerstoff in der Atmosphäre verfügbar ist, da unter Vakuum oder inerten Gasen die Heizelemente

keine schützende Oxidschicht ausbilden können. Daher ist es bei diesem System möglich, eine zweite Heizkassette einzubauen, die auf Graphit basiert. Mit dieser zweiten Heizkassette ist eine Wärmebehandlung auch unter Ausschluss von Sauerstoff möglich. Das System kann unter Vakuum, mit strömendem Gas im leichten Überdruck oder sogar bei strömendem Gas im Unterdruck zwischen 10 und 1000 mbar betrieben werden. Für diesen Partialdruckbetrieb wird eine zweistufige Drehschieberpumpe mit einem pneumatisch geregelten Ventil eingesetzt, die es ermöglicht, den Druck sowie die einströmende Gasmenge einzustellen. Das System wird automatisch angesteuert. Mit einem vertikal beweglichen Thermoelement wurde entlang der Achse eine Temperaturhomogenität von ±0,6 K nachgewiesen.



Keramische Heizkassette



Graphit Heizkassette



Laborofen

Großer Klapprohrofen der F-Serie

Rohrofen mit einer beheizten Länge von 5,5 m bis 1000 °C

Ein spezieller Rohrofen mit einer beheizten Länge von 5,5 m wurde von Carbolite Gero entwickelt. Die spezifizierte Homogenität betrug ±10 K. Mit einer Master-Slave Regelung wurden daher drei Temperaturzonen konzipiert. Der Rohrofen besteht aus freistrahrenden CrFeAl-Heizdrähten in einer keramischen Faserisolierung. Der Ofen wird von außen konvektiv gekühlt. Ein metallisches Arbeitsrohr mit einem Innendurchmesser von 120 mm befindet sich im Ofen. Innerhalb des Arbeitsrohrs befindet sich eine Auflage, damit sich die Proben nicht verbiegen können. Die Heizelemente befinden sich in zwei Halbschalen und ermöglichen so ein Aufklappen des Ofens. Um das Arbeitsrohr zu wechseln, kann der Ofen automatisch aufgeklappt werden.



Klapprohrofen mit einer beheizten Länge von 5,5 Metern und einer maximalen Temperatur bis 1000 °C

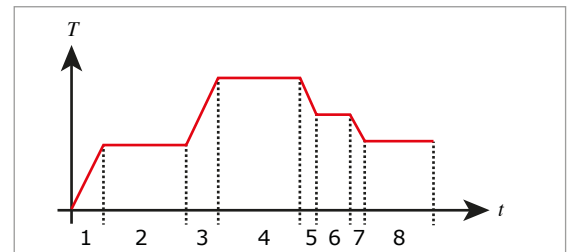
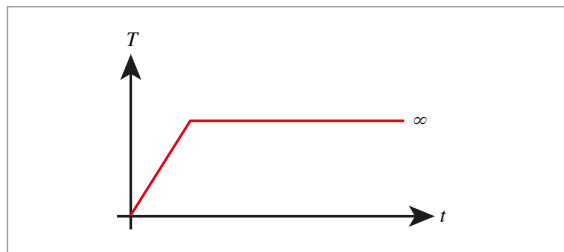
Carbolite Gero bietet eine große Auswahl an Temperatur- und Programmreglern mit zugehöriger Software an, die sich an individuelle Anforderungen anpassen lassen. Das Angebot reicht von einfachen Temperaturreglern bis hin zu großen Touchscreen-Systemen mit Datenschreibern und Fernwartung.



Eurotherm-Temperaturregler und Programmregler 3216

Mit einem Temperaturregler 3216 kann eine Temperaturrampe oder ein Sprung zu einer Haltezeit gefahren werden (siehe Bild unten links).

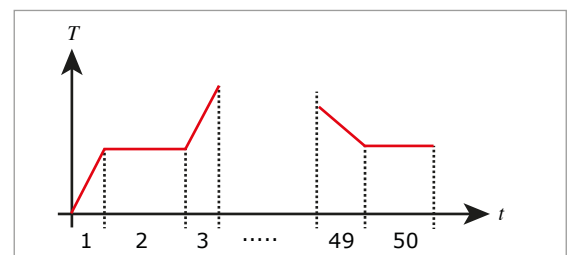
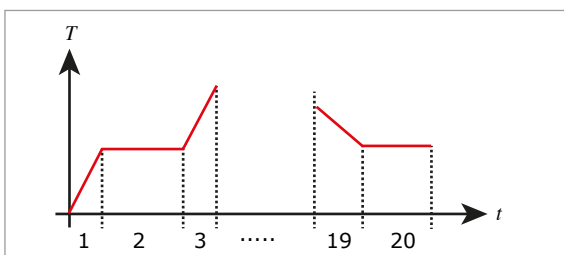
Mit einem Programmregler 3216 lassen sich acht Programmsegmente hintereinander frei programmieren. Ein Segment kann eine Temperaturrampe, einen Sprung oder eine Haltezeit definieren.



Eurotherm-Programmregler 3508

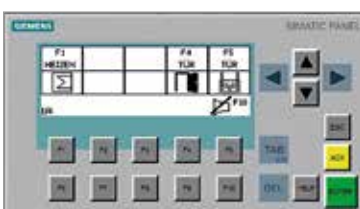
Der Programmregler 3508 ermöglicht die Eingabe von bis zu 20 Programmsegmenten (siehe Bild unten links). Jedes Segment kann als Rampe, Sprung oder Haltezeit gesetzt werden. Das große Display zeigt umfangreiche Informationen über den Status an.

Falls eine präzise Temperaturkontrolle über ein breites Temperaturfenster gewünscht wird, erlaubt die 3508-Serie den Einsatz von arbeitspunktabhängigen PID-Sätzen ("gain scheduling"). Diese Option kann auf Anfrage freigeschaltet werden. Der Regler 3508P10 erlaubt die Speicherung von 10 Programmen mit je 50 Segmenten.



Übertemperaturschutz 2132i

Der Übertemperaturschutz hat einen variablen Setpoint, der entweder den Ofen oder die Beladung vor einer zu hohen Temperatur bewahrt. Bei Temperaturreglern der Serien 3216 und 3508 ist der Übertemperaturschutz durch einen zusätzlichen 2132-Regler in den Ofen integriert. Obwohl alle Carbolite Gero Produkte mit Ausfallsicherheitsfunktionen ("fail safes") im Falle eines Regeldefekts ausgestattet sind, wird ein zusätzlicher Übertemperaturschutz für unbeaufsichtigtes Betreiben des Ofens oder zum Schutz wertvoller Beladung dringend empfohlen.



KP 300-Basis-Panel

Manuell gesteuerte Öfen sind mit dem KP 300-Basis-Panel ausgestattet. Über das Touch-Panel können die Wärmebehandlung gestartet, Ventile angesteuert oder Vakuumpumpen kontrolliert werden. Das Panel muss mit einem Eurotherm-3508-Regler kombiniert werden.



Mini 8-Controller

Der Mini 8-Controller ist mit Farbdisplay in den Größen 4,3 oder 7,5 Zoll erhältlich und speichert bis zu 12 verschiedene Temperaturprogramme, die jeweils bis zu 16 Segmente beinhalten können. Jedes Segment kann als Rampe, Sprung oder Haltezeit gesetzt werden. Der Regler ist für die Steuerung von Vakuumpumpen, Massenflussreglern und Ventilen einsetzbar. Es besteht die Möglichkeit einer optionalen Fernwartung.



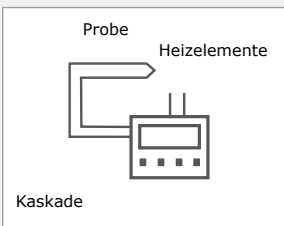
TP 1900 (19 Zoll)

Der TP 1900-Controller speichert bis zu 20 verschiedene Temperaturprogramme, die jeweils bis zu 25 Segmente beinhalten können. Jedes Segment kann als Rampe, Sprung oder Haltezeit gesetzt werden. Der Ofen wird vollständig über den Touchscreen gesteuert. Die Mess- und Regeldaten von Massenflussreglern, Vakuumsensoren und anderen Bauteilen werden automatisch mitgeschrieben und stehen für die Qualitätskontrolle als CSV-Datei bereit. Eine Fernwartung ist optional verfügbar.



Win CC-Controller

Der Win CC-Controller speichert bis zu 50 verschiedene Temperaturprogramme, die jeweils bis zu 30 Segmente beinhalten können. Jedes Segment kann als Rampe, Sprung oder Haltezeit gesetzt werden. Der Ofen wird vollständig über den Touchscreen gesteuert. Die Mess- und Regeldaten von Massenflussreglern, Vakuumsensoren und anderen Bauteilen werden automatisch mitgeschrieben und stehen für die Qualitätskontrolle als CSV-Datei bereit. Eine Fernwartung ist optional verfügbar. Bei Installation eines Teamviewers ist es möglich, den Ofen von einem externen Computer anzusteuern. Der Win CC-Controller ist ein vollwertiger Computer und bietet damit die größtmögliche Flexibilität in der Wärmebehandlung.

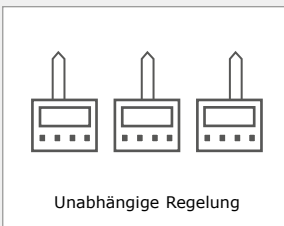


Kaskadenregelung

Diese Regelung ermöglicht eine präzise Temperaturkontrolle direkt an der eingebrachten Probe. Ein Standardregler regelt die Temperatur mittels eines Thermoelements, das nahe an den Heizelementen angebracht ist. Die Kaskadenregelung beinhaltet ein zweites Thermoelement in der Nähe der Probe, sodass sich die Temperatur an der Probe exakt regeln lässt. Diese Option kann mit der 3508-Serie, dem TP 1900, der Mini 8 oder der Win CC realisiert werden.

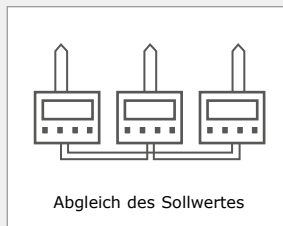
Drei-Zonen-Regelung

Die Drei-Zonen-Regelung führt bei einem Rohröfen zu einer Vergrößerung der Zone homogener Temperaturverteilung.



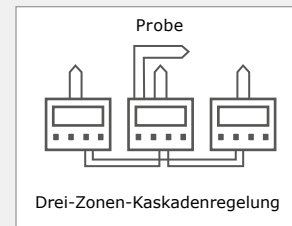
Unabhängige Regelung

Diese Konfiguration beinhaltet drei unabhängige Regler, die jeweils ein Thermoelement in der entsprechenden Zone haben. Diese Option ist ohne zusätzliche Wärmebarrieren nicht dafür ausgelegt, einen Temperaturgradienten zur Verfügung zu stellen.



Abgleich des Sollwertes

Diese Konfiguration wird hauptsächlich für Rohröfen eingesetzt und erlaubt kontrolliertere Abkühlung. Ein Hauptregler in der Mitte kontrolliert zwei weitere Regler für die beiden Endzonen.



Drei-Zonen-Kaskadenregelung

Diese Regelung erlaubt ein schnelleres Aufheizen der Probe und eine sehr präzise Temperaturkontrolle. In Verbindung mit einer Drei-Zonen-Regelung bietet diese Kombination die höchstmögliche Temperaturhomogenität. Diese Option kann mit der 3508-Serie, dem TP 1900, der Mini 8 oder der Win CC realisiert werden.

Je nach Anwendung stehen Systeme zur Gasführung inerte oder reaktiver Gase zur Verfügung. Eventuell austretende Binder können aktiv verbrannt werden. Alle aufgeführten Optionen können in die verschiedenen Hochtemperaturanlagen integriert werden. Ein späteres Nachrüsten ist ebenfalls möglich.



Graphitretorte

Retorten, ob aus Graphit, Molybdän oder aus Wolfram dienen zur Trennung der Charge vom Heizraum und können aus unterschiedlichen Gründen eingesetzt werden. So kann es prozessbedingt notwendig sein, die Charge vom übrigen Ofenraum zu trennen, um entweder den Ofen vor der Charge, oder die Charge vor den Ofenbauwerkstoffen zu schützen. Es kann für Pyrolyseprozesse auch notwendig werden, eine definierte Gasführung einzustellen, damit keine Pyrolysekondensation im Vakuumkessel entsteht. Standardmäßig bietet Carbolite Gero für alle Baugrößen entsprechende Retorten an.



Schnellkühlung

Die Schnellkühlung ist eine Baugruppe, die die Verfügbarkeit einer Ofenanlage erhöht. Ohne Schnellkühlung dauern Abkühlprozesse häufig sehr lange, besonders im unteren Temperaturbereich. Die Schnellkühlung saugt heißes Prozessgas aus der Retorte an, kühlt die Gase im Wärmetauscher ab und drückt die abgekühlten Gase zurück in den Ofen. Diese Baugruppe kann die Abkühlzeit, je nach Beladung, halbieren.



Staubabscheider für besonders staubige Prozesse

Für Prozesse, die Partikel erzeugen oder Staub bilden, kann mit dem Staubabscheider ein großer Teil der Verschmutzungen aufgefangen werden. Ähnlich der Funktion eines Zyklon werden bestimmte Partikelgrößen im unteren Teil abgeschieden. Ein Filtereinsatz kann die restlichen Rohrleitungen vor Verschmutzungen schützen.



Gasversorgung für weitere Gase wie CO, H₂, He

Alle gängigen Prozessgase können für thermische Prozesse verwendet werden. Im Falle von brennbaren Gasen werden entsprechende Sicherheitsbaugruppen zugefügt, um den automatischen Anlagenbetrieb abzusichern und gemäß der bestehenden Vorschriften konform zu gestalten. Die Gasversorgung erfolgt entweder durch Gasflussmesser mit manuellen Einstellventilen für die Durchflussmenge oder durch elektronische Mass-Flow-Controller. Im Falle von giftigen und brennbaren Gasen werden entsprechende Maßnahmen zur Absicherung getroffen. Die Gase werden durch Evakuieren und Verbrennen oder gezieltes Ableiten aus dem Arbeitsraum abgeführt. Die Gestaltung der Gasführung hängt von dem jeweils gewünschten Prozess ab. So können Gase direkt in die Retorte gespült oder auch außerhalb der Retorte eindosiert werden. Es ist auch möglich, dass in die Retorte ein Prozessgas und außerhalb ein Schutzgas dosiert wird.



Sicherheitspaket für brennbare Gase

Die Sicherheitseinrichtungen bei brennbaren oder giftigen Gasen bestehen in der Regel aus Gasmangelsicherungen, die sowohl den Vordruck als auch den Gasfluss der Betriebsgase kontrollieren. Bei einem Gasmangel werden die Prozesse automatisch abgebrochen und Spülvorgänge eingeleitet. Damit immer genügend Spülgas zum Sicherheitsspülen zur Verfügung steht und nicht durch den Gasmangelalarm eine heiße Anlage nicht mehr freigespült werden kann, müssen die Schutzgase in separaten Tanks gespeichert werden. Diese Tanks enthalten dann die gesamte Spülmenge und gehören zum Anlagenumfang. Am Gasauslass werden die giftigen oder brennbaren Gase in geeigneten Verbrennungseinrichtungen verbrannt, sofern es sich nicht um halogenierte Gase handelt.



Zusatzheizungen in Tür und Rückwand für verbesserte Temperaturverteilung

Die Kammeröfen werden standardmäßig vierseitig beheizt. Ein Heizkäfig heizt den Boden, Decke und die Seitenwände. Damit werden gute Temperaturverteilungen erreicht. Für besonders anspruchsvolle Anwendungen kann zusätzlich noch die Tür und die Rückwand beheizt werden. Hierfür werden auf der Kammer-Innenseite die entsprechenden Heizelemente benötigt. Von der Außenseite müssen die Stromzuführungen, die Temperatureinrichtung (Pyrometer oder Thermoelement) und die Flansche vorhanden sein. Die Zusatzheizelemente werden dann über Niederspannungstransformatoren und vorgeschaltete Thyristorsteller geregelt.



Vakuumpumpstand für Atmosphärenwechsel

Jede Anlage, die nicht an Luft betrieben wird, muss einen Atmosphärenwechsel vornehmen. Bei niedrigen Ansprüchen an die Qualität der Restgaszusammensetzung kann dies mit Spülen erreicht werden. Bei einem Hochtemperaturofen würde sich aber ein deutlich messbarer Verschleiß einstellen, weil die poröse Isolierung kaum sauerstofffrei gespült werden kann. Der Restsauerstoff würde beim Aufheizen mit der Isolierung reagieren und diese verschleifen. Aus diesem Grund sollte bei diesen Öfen zumindest eine einfache Vakuumpumpe zum Atmosphärenwechsel eingesetzt werden. Einfaches Evakuieren und Auffüllen mit Schutzgas führt zu einem Restsauerstoffanteil von etwa 100 bis 500 ppm, abhängig von der Innenfläche des Rezipienten. Dieser Wert kann durch mehrfaches Evakuieren und Fluten deutlich reduziert werden.



Vakuumpumpstand für Vakuumbetrieb im Bereich Vorvakuum bis 5×10^{-2} mbar

Vakuump Prozesse erfordern in der Regel geringere Enddrücke und sind häufig auch auf höhere Saugleistungen angewiesen. Für diesen Fall werden Vorpumpen mit Wälzkolbenpumpen kombiniert. Dadurch wird der Enddruck auf einen Wert reduziert, der bei etwa 10% des Enddrucks der Vorpumpe liegt. Dies wird bei einer deutlich erhöhten Saugleistung erreicht. Die Kombinationen hängen von der Ofengröße und den Kundenanforderungen ab.



Vakuumpumpstand für Hochvakuumbetrieb bis 10^{-5} mbar

Für den Hochvakuumbetrieb müssen zusätzliche Öldiffusionspumpen oder Turbomolekularpumpen eingesetzt werden. Auch die Dimensionierung dieser Baugruppen ist stark abhängig von der Anwendung. Graphitöfen können mit gut dimensionierten Öldiffusionspumpen im Bereich von 10^{-5} mbar arbeiten. Öfen, die keine Faserisolierung in der Vakuumkammer haben, erreichen sogar Enddrücke im Bereich 10^{-6} mbar oder besser.



Entbinderungsbaugruppe mit aktiver Fackel zur Verbrennung

Die thermische Entbinderung oder Pyrolyse setzt gasförmige Kohlenwasserstoffe frei, die früher oder später kondensieren. Damit dies nicht in der Rohrleitung zur Kondensatfalle oder Verbrennungseinrichtung geschieht, werden die Rohrleitungen beheizt. Die Entbinderung kann auf zwei Arten erfolgen. Die einfachere Methode erfolgt durch Erzeugung eines leichten Überdrucks im Ofen und Druckabfall zum Gasauslass, sodass die gasförmigen Bestandteile Richtung Gasauslass strömen. Für besondere Anwendungen, oder wenn die Entbinderung bei einem bestimmten Prozessdruck durchgeführt werden soll, kann dies auch mit einer speziellen Vakuumpumpe erreicht werden. Die Vakuumpumpe saugt die Abgase ab und ein Druckregelventil hält den Ofendruck auf einem stabilen Wert. So kann z. B. bei 800 mbar und einem konstanten Gaszufluss entbindert werden. Die Bindergase werden entweder kondensiert, besser aber aktiv verbrannt. Die Verbrennungseinrichtung muss auf die entsprechende Bindermenge ausgelegt und bauseits müssen hierfür Absaug-einrichtungen vorhanden sein.



Schiebethermoelement

Hochtemperaturöfen werden in der Regel mit Pyrometern geregelt. Diese Pyrometer haben einen vordefinierten Messbereich. Carbolite Gero verwendet Pyrometer standardmäßig bei 350 bis 2500 °C. Beim Prozessstart hat der Ofen noch Raumtemperatur und muss zunächst undefiniert in den Pyrometermessbereich geheizt werden. Bei empfindlichen Chargen kann dies zur Beschädigung der Probe führen und die Temperatur muss deshalb schon ab Raumtemperatur geregelt gesteigert werden. Hierfür wird in die Hochtemperaturöfen ein sogenanntes Schiebethermoelement eingebaut. Das Thermoelement fährt automatisch nach dem Beschicken in den Ofen und übernimmt die Istwert-Erfassung beim Aufheizen. Bei einer einstellbaren Umschaltemperatur übernimmt das Pyrometer die Regelung und das Thermoelement fährt aus der heißen Zone, weil es die folgenden hohen Temperaturen nicht ohne Schaden überstehen würde. Beim Abkühlen fährt das Thermoelement automatisch wieder in den Ofen und regelt die Vorgänge bei tiefen Temperaturen.



Referenzpyrometer

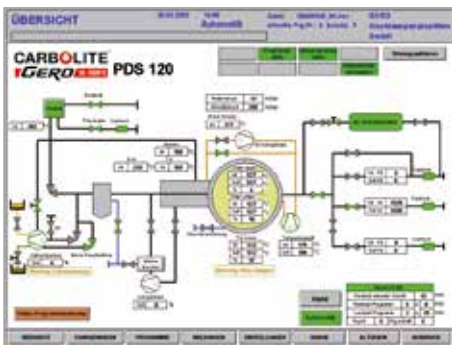
Pyrometer sind optische Strahlungsmessgeräte. In einem Vakuumofen müssen die Pyrometer durch eine vakuumdichte Scheibe messen, die verschmutzen und damit das Messergebnis verfälschen kann. Zur Kontrolle des Regelpyrometers kann ein zweites Referenzpyrometer als Baugruppe geliefert werden. Das Fenster dieses Pyrometers ist durch ein Ventil vor Verschmutzung geschützt. Das Ventil öffnet z. B. alle 30 Minuten für 30 Sekunden. Das Messergebnis kann in der Datenaufzeichnung protokolliert werden. Falls dann plötzlich das Messergebnis im Referenzpyrometer ansteigt, ist vermutlich die Scheibe des Regelpyrometers verschmutzt und muss vor dem nächsten Lauf gereinigt werden.

Druckregelung 10-1000 mbar

Für den Betrieb bei einem Partialdruck eines Gases kann dieses Gas mit einem konstanten Fluss durch einen Mass-Flow-Controller in den Ofen geführt werden. Bei der Definition eines Ofendrucks in der Programmtabelle, z. B. 80 mbar, öffnet das Regelventil und die Gase aus dem Ofen werden abgesaugt, bis der Solldruck erreicht ist. Dann schließt das Ventil langsam und es wird nur noch die Gasmenge abgesaugt, die der Mass-Flow-Controller in den Ofen lässt, damit der Druck konstant bleibt. Zusätzliche Druckänderungen durch Aufheizen oder Abkühlen kann diese Baugruppe sauber ausregeln. Es kann auch ein definierter Überdruck geregelt werden.

Auslegung für höhere Temperaturen

Die Graphitöfen sind in der Regel für Temperaturen bis 2200°C ausgelegt. Höhere Temperaturen sind möglich, allerdings wird dafür wesentlich mehr Leistung benötigt. Eine Temperaturerhöhung von 2200 auf 2500°C macht z. B. bereits eine Leistungssteigerung von 25% notwendig. Hierfür muss auch beachtet werden, dass die Kühlwasserleistung entsprechend angepasst wird.



WinCC-Prozessvisualisierung auf Anlagen-PC

Die Anlagen können manuell oder automatisch über eine SPS geregelt und gesteuert werden. Standardmäßig wird in diesem Fall ein Touch-Panel zur Bedienung verwendet. Die WinCC-Prozessvisualisierung, die auf einem Anlagen-PC läuft, hat gegenüber dem Touch-Panel deutliche Vorteile in der Prozessdokumentation und ein einfacheres Handling. Alle relevanten Prozessparameter werden protokolliert, inkl. Strom, Spannung und Leistung zum jeweiligen Zeitpunkt. Dadurch werden präzise Prozessanalysen möglich. Es können Chargendaten, besondere Merkmale, Uhrzeiten und alle wichtigen Parameter mit dem Prozess gespeichert werden. Die Anlage kann über Datum und Uhrzeit zu jedem beliebigen Zeitpunkt gestartet werden.



Kompensation für Power-Faktor 1,0

Sofern die Betriebshalle keine Kompensation hat, kann diese am Ofen angebaut werden. Die Anlagenkompensation erzeugt einen Power-Faktor nahe 1,0 und verhindert, dass Blindleistung ins Netz geführt wird.



Kühlaggregat für Direktkühlung bis 160 kW Kühlleistung

Wenn keine ausreichende Kühlwasserinstallation vorhanden ist, können wir für unsere Anlagen standardmäßig auch Kühlmaschinen mitliefern. Diese Anlagen sind durch spezielle Ausrüstungen auch für die Aufstellung im Freien geeignet und können hierfür mit einer Überdachung versehen werden. Höhere Leistungen können im Einzelfall separat ausgelegt werden.

Zubehör für Anwendungen unter Vakuum oder Schutzgas

Für Anwendungen unter Vakuum oder Schutzgas verfügen die Standard-Rohröfen (F-Serie, HTRH, HTRV) über ein umfangreiches Zubehörprogramm (VS = Vakuum und Schutzgas). Dichte hochreine Al_2O_3 und Al_2O_3/SiO_2 -Arbeitsrohrwerkstoffe, wassergekühlte Edelstahlflansche und Gasversorgungseinrichtungen ermöglichen Wärmebehandlungen unter definierten Atmosphären. Dabei kann der Gasdurchfluss entweder kostengünstig manuell über Rotameter oder automatisch über Mass-Flow-Controller erfolgen. Komplett Vakuumumpfstände (Drehschieber-, Turbomolekularpumpen), Datenerfassungssysteme und Visualisierungssoftware runden das Lieferprogramm ab.

Durch die modularen Anlagenkomponenten (Ofen, Arbeitsrohr, Flansche, Einbaurahmen, Gasversorgung etc.) entstehen intelligente Komplettlösungen für nahezu jede Hochtemperaturanwendung im Labor- oder Technikumsmaßstab.

Wie bei allen Geräten von Carbolite Gero steht die Qualität der verwendeten Werkstoffe im Vordergrund. Neben den Standardöfen entwickeln wir zusammen mit unseren Kunden auch individuelle Systemlösungen für anspruchsvolle, komplexe Wärmebehandlungen.



Wassergekühlter Edelstahlflansch



Arbeitsrohre



Faserstopfen in verschiedenen Größen und aus verschiedenen Werkstoffen bis 1800°C



Wärmestrahlungsschutzpakete

Zubehör für Rohröfen

In Kombination mit einem Arbeitsrohr, können Rohröfen für verschiedenste Anwendungen eingesetzt werden. Prozesse unter inerter- (N_2 , Ar ,...) oder reaktiver (O_2 , H_2) Atmosphäre sind bis zu einer maximalen Temperatur von 1800°C möglich.



Zu allen Ofentypen bieten wir eine Schutzgasausstattung oder Vakuum-/ Schutzgasausstattung an. Gasdichte hochreine Al_2O_3 - und Al_2O_3/SiO_2 -Arbeitsrohrwerkstoffe, in Verbindung mit wassergekühlten Edelstahlflanschen ermöglichen den Aufbau eines gasdichten Probenraums, in dem an definierten Atmosphären gearbeitet werden kann.



Auf Wunsch werden zu unseren Rohröfen stabil geschweißte Untergestelle in stationärer oder rollbarer Ausführung mit oder ohne Schaltschrankbau angeboten.



Für einen komfortablen Vakuum-/ Schutzgasbetrieb können Anbaugehäuse an die Öfen montiert werden. Der Einbau von bis zu zwei Schutzgasversorgungen ist in diesen Gehäusen möglich.



Da einige Öfen sowohl horizontal als auch vertikal aufgebaut werden können, haben wir ein Anbaustativ zu unseren Öfen entwickelt, das in jeder Position ein sicheres Arbeiten mit unseren Öfen gewährleistet.



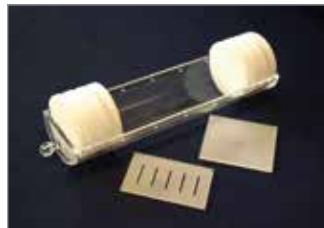
Als weitere Zusatzausstattung können Schnellverschlüsse an den Flanschen vorgesehen werden.



Zum Chargieren von Proben bieten wir Probenschiffchen und Tiegel in unterschiedlichen Größen und aus unterschiedlichen Werkstoffen an.



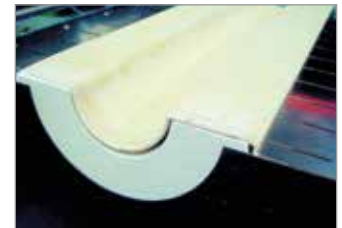
Vakuumpumpen oder komplette Pumpstände mit der entsprechenden Messtechnik



Nach Vorgabe unserer Kunden entwickeln wir Probenträger für Wafer oder Probenaufbauten aus verschiedenen Werkstoffen.



Eine fertig montierte Schutzgasversorgung auf einer Montageplatte oder als Einbaukomponente rundet unseren Lieferumfang für den Laborbetrieb ab.



Für aufklappbare Öfen bieten wir zum Schutz der Heizelemente und als Probenauflage stabil geformte Keramikbleche an.

Arbeitsrohrflansche

Arbeitsrohrflansche werden zur Bereitstellung einer kontrollierten Atmosphäre oder eines Vakuums benötigt; hierbei sind Drücke von bis zu 10^{-6} mbar möglich. Die Flansche bestehen aus Edelstahl und sind nur für den Einsatz an verlängerten Arbeitsrohren geeignet. Die Flansche passen auf Arbeitsrohre mit einem Außendurchmesser von 32, 46, 60, 70, 86, 100, 111, 150 und 165 mm. Individuelle Größen sind auf Anfrage möglich.

Die folgenden Ausstattungsvarianten sind für die Arbeitsrohrflansche verfügbar: Blindflansch, Gaseinlass/Gasauslass, Kleinflansch-Schnellverbindungen (NW16, NW25 oder NW40) und Thermoelementstopfbuchsen (\varnothing 1,5 mm, 3 mm und 10 mm). Bei großen Arbeitsrohrflanschen sind Kombinationen aus Gaseinlass/Gasauslass, Kleinflansch-Schnellverbindungen oder Stopfbuchsen möglich. Die Arbeitsrohrflansche sind dafür ausgelegt, mit Rohrendstopfen oder Hitzeschilden betrieben zu werden. Wassergekühlte Arbeitsrohrflansche sind auf Anfrage verfügbar. Auf Grund des Gewichts der Arbeitsrohrflansche werden Arbeitsrohrstützen empfohlen.



Gaseinlass/Gasauslass



Kleinflansch-Schnellverbindung NW40



Thermoelementstopfbuchse (1,5 mm)

Zubehör und Optionen
 für Rohröfen

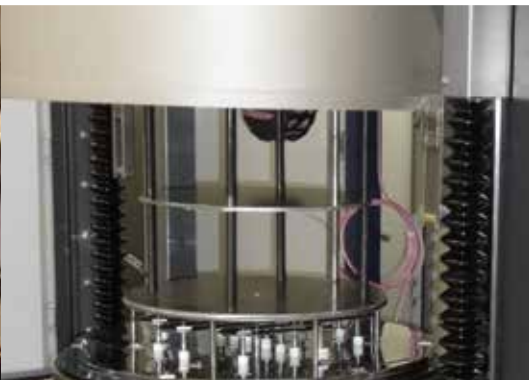
Material Arbeitsrohr	Wird in folgenden Öfen verwendet	Maximal empfohlene Arbeitstemperatur [°C] bei Atmosphärendruck	Maximal empfohlene Arbeitstemperatur [°C] unter Vakuum	Maximaler Innendurchmesser [mm]	Maximal empfohlene Heizrate [K/h]
Aluminiumoxid (Sillimanit (Al ₂ O ₃) 530)	Rohröfen	1500	nicht möglich	200	600
Aluminiumoxid (Pythagoras 610)	Rohröfen	1450	1450	100	<300
Aluminiumoxid (Alsinth 799)	Rohröfen	1800	1450	100	<300
Quarz	Rohröfen, GLO auf Anfrage	1050	1050	wie benötigt	maximale Heizraten möglich
CrFeAl-Legierung (APM)	Rohröfen, GLO	1250	1200	180	maximale Heizraten möglich
NiCr-Legierung (Inconel 600)	Rohröfen, GLO	1100	750	wie benötigt	maximale Heizraten möglich
Hochwarmfester Stahl „1.4841“	Rohröfen, GLO	1100	600	wie benötigt	maximale Heizraten möglich

Die Öfen können mit verschiedenen Arbeitsrohren ausgestattet werden. Im Kapitel Optionen werden alle Anbauteile (Flansche, Pumpen, etc.) für die Arbeitsrohre beschrieben.

Index

Modell	Bezeichnung	Seite
A		
AZ	Acht-Zonen-Rohröfen bis 1300°C	24
B		
BV-HTRV	Bridgman-Kristallzuchtanlage bis 1800°C	56
E		
EBO	Entbinderungsöfen bis 120°C	14
F		
FHA	Rohröfen bis 1350°C	22
FST	Klapprohröfen bis 1300°C	23
G		
GLO	Glühöfen bis 1100°C	16
H		
HB	Haubenöfen bis 1800°C	46
HBO	Haubenöfen bis 2200°C	42
HTBL	Bottom-Loader-Öfen bis 2200°C	48
HTK	Kammeröfen bis 2200°C	34

Modell	Bezeichnung	Seite
HTKE	Kammeröfen bis 1800°C	40
HTRH	Rohröfen, Horizontal bis 1800°C	28
HTRH-H₂	Wasserstoff-Rohröfen bis 1600°C	32
HTRV	Rohröfen, Vertikal bis 1800°C	30
HTRV-A	Klapprohröfen, Vertikal bis 1700°C	31
L		
LHT	Laboröfen bis 3000°C	52
P		
PDS	Partialdruck-Sinteröfen bis 1450°C	58
V		
VL	Vertikaler Lötöfen bis 1050°C	20



CARBOLITE[®]
IGERO 30-3000°C

CARBOLITE[®]
IGERO 30-3000°C



Carbolite Gero GmbH & Co. KG
Hesselbachstr. 15
75242 Neuhausen
Deutschland

Telefon +49 (0) 7234 952240
Fax +49 (0) 7234 952266
E-Mail info@carbolite-gero.de
Internet www.carbolite-gero.de

part of **VERDER**
scientific