

Ersetzt Ausgabe Dezember 1998

**Inhalt:**

- 1 Zweck des Merkblatts
- 2 Vorwort
- 3 Löttechnische Parameter
- 4 Anforderungen an Vakuumöfen
- 5 Aufbau der Vakuumöfen
  - 5.1 Rezipient
  - 5.2 Pumpstand
  - 5.3 Heizeinrichtungen
  - 5.4 Mess- und Regeleinrichtungen Teildruckbetrieb
  - 5.5 Teildruckbetrieb
  - 5.6 Dokumentation
  - 5.7 Kühleinrichtungen
- 6 Bauarten
- 7 Hinweise für die Vakuumofenbeschaffung
- 8 Schrifttum
  - 8.1 Normen und Merkblätter
  - 8.2 Weiterführendes Schrifttum

**1 Zweck des Merkblatts**

Eine Ofenanlage, die für das Hart- und Hochtemperaturlöten unter Vakuum geeignet ist, weist eine Reihe besonderer Merkmale auf, die der Beschaffer dem Hersteller in einer Spezifikation übermittelt. Dieses Merkblatt soll Anhaltspunkte für das Erstellen und Überprüfen einer solchen Spezifikation geben.

**2 Vorwort**

Ein Vakuumofen ist eine Anlage, in der in einem Nutzvolumen unter Vakuum Werkstücke eine vorgegebene Temperatur-Zeit-Funktion durchlaufen können. Die Ofenanlage kann für Hart- und Hochtemperaturlötungen und/oder Wärmebehandlungen genutzt werden (auch Kombinationen sind möglich).

Der Aufbau der Vakuumöfen ergibt sich aus den Funktionen, die sie zu erfüllen haben. Die Beschreibung der Vakuumöfen bezieht sich auf den heutigen Stand der Technik und lässt die weitere Entwicklung offen.

**3 Löttechnische Parameter**

Von den vielen Parametern, die den Lötprozess beeinflussen, werden diejenigen ausgewählt, die von der Ofenanlage beeinflusst werden können:

- Temperatur-Zeit-Verlauf des Lötzyklus (Bild 1)
- Druck-Zeit-Verlauf des Lötzyklus
- Zusammensetzung der Restgas-Atmosphäre
- Höhe des Teilraums und Gaszusammensetzung.

**4 Anforderungen an Vakuumöfen**

Der Temperatur-Zeit-Verlauf soll für die gesamte Charge möglichst gleichmäßig und möglichst weitgehend beeinflussbar sein, um den Anforderungen an die Eigenschaften von Grundwerkstoff und Lot gerecht zu werden.

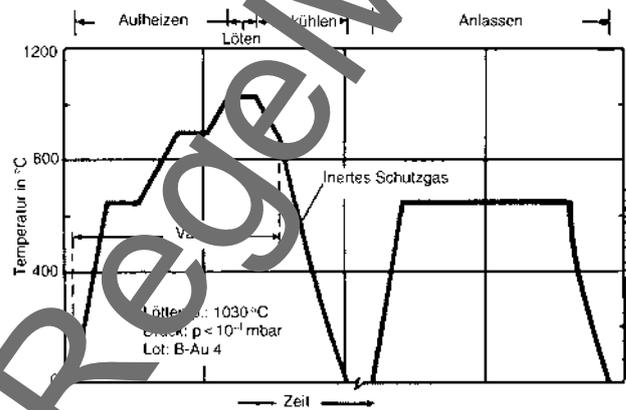


Bild 1: Lötzyklus (Löten mit integrierter Wärmebehandlung).

**Kriterien:**

- Temperaturverteilung im Nutzvolumen
  - Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit
  - Zahl der Regelzonen
  - Veränderbarkeit der Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit sowie der Durchwärm- und Haltezeit, auch bei laufendem Prozess
  - Wählbare Lötprogramme
  - Heiz- und Kühlleistung
- Die Zeit für das Evakuieren des Ofens auf den erforderlichen Betriebsdruck soll kurz sein.

**Kriterien:**

- Rezipientenvolumen
  - Leckrate
  - Verdampfungsrate
  - Bemessen des Pumpstandes
  - Gasabgaberate
  - zu erreichendes Endvakuum
- Die Restgasatmosphäre (beispielsweise Wasserdampf, Sauerstoff) soll sich so zusammensetzen, dass Charge und Lötöfen keinen schädlichen Reaktionen ausgesetzt werden.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute unter Mitwirkung von Ofenherstellern und Anwendern in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar ist und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Hart- und Hochtemperaturlöten“

Nachdruck und Kopie, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers

DVS-Merkblätter und -Richtlinien - Stand 2008-12

Kriterien:

- Art der verwendeten Vakuumpumpen und Zubehör
- Art der verwendeten Werkstoffe
- Art der Leckage (Luft-, Gas-, Wasserleck)
- Freisetzung von Gasen und Dämpfen aus der Charge und aus der Wärmeisolation des Ofens

Um unerwünschte Beeinflussungen des Lötergebnisses zu vermeiden, kann es erforderlich sein, das maximal erreichbare Vakuum der Anlage durch Einleiten eines inerten oder reaktiven Gases anzuheben. Die Höhe dieses „Teildrucks“ sollte zwischen  $10^{-2}$  und 1 mbar einstellbar sein. Die Zusammensetzung des inerten Schutzgases hängt ab von den zu lötenden Grundwerkstoffen und den gewählten Lotzusammensetzungen.

Kriterien:

- Dampfdruck der Legierungselemente von Grundwerkstoff und Lotlegierung
- Reaktionsfähigkeit des möglicherweise durch Wasserstoff oder Argon modifizierten Inertgases Stickstoff

## 5 Aufbau der Vakuumöfen

Ein Vakuumofen besteht im Wesentlichen aus:

- Rezipient
- Pumpstand
- Heizeinrichtungen und thermischer Isolation
- Mess- und Regeleinrichtungen
- Teildrucksteuerung
- Registriereinrichtungen
- Kühleinrichtungen.

### 5.1 Rezipient

Der Rezipient kann als Kaltwand- oder Warmwandofen ausgebildet sein. Im Unterschied zum Heißwandofen ist der Rezipient beim Kaltwandofen doppelwandig und wassergekühlt.

In beiden Fällen kann innerhalb der Heizzone eine metallische Retorte eingesetzt werden. Dies kann z. B. zum Erreichen besserer Vakuumwerte von Interesse sein. Bei Temperaturen ab etwa  $650^{\circ}\text{C}$  muss aus Gründen der mechanischen Stabilität die Retorte außerhalb der Retorte (jedoch innerhalb des Rezipienten) ein so genanntes „Stützvakuum“ erzeugt werden.

Die Wärmedämmung kann, je nach Einsatzbereich des Ofens aus verschiedenen Materialien hergestellt sein:

- keramische Werkstoffe
- grafitische Werkstoffe
- metallische Strahlschirmisolation

Leckrate  $10^3$  mbarl/s

### 5.2 Pumpstand

Die Auslegungsdaten für die Pumpen mit Zubehör werden bestimmt:

- vom Volumen des Rezipienten
- von der Größe der Oberfläche des Rezipienten, der Einbauten im Rezipienten, der Charge, um zu erreichenden Endvakuum
- von der geforderten Evakuierungszeit bis zum Betriebsdruck (Endvakuum)

Die zum Erreichen und Einhalten der geforderten Betriebsdrücke angewendeten Pumpen bzw. Pumpenkombinationen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Um beispielsweise einen Druck von  $< 10^{-1}$  mbar zu erzielen, sind Pumpenkombinationen erforderlich (z. B. Sperrschieber-, Wälzkolben- und Öldiffusionspumpe). Die für diese Druckbereiche benötigten Zubehörteile (z. B. Dichtungen, Ventile) sind nach den für die Vakuumtechnik geltenden Normen der Reihe DIN 28400 auszuwählen.

Man spricht von einem erreichbarem Endvakuum (im kalten, sauberen und leeren Ofen) und einem Betriebsvakuum (unter Temperatur).

Tabelle 1. Pumpen bzw. Pumpenkombinationen für geforderte Betriebsdrücke.

	<1 mbar	<10 <sup>-2</sup> mbar	<10 <sup>-4</sup> mbar	<10 <sup>-6</sup> mbar	>10 <sup>-6</sup> mbar
Drehschieberpumpe oder Sperrschieberpumpe	X	X	X	X	X
Wälzkolbenpumpe		X	X	X	X
Öldiffusionspumpe			X	X	
Turbomolekularpumpe oder Kryosorptionspumpe				X	X
Ionen-Getter-Pumpe				X	X

### 5.3 Heizeinrichtungen

Da Heizeinrichtungen vorwiegend Verschleißteile sind, sollten sie wartungsfreundlich sein. Beim Festlegen der Heizleistung ist zu beachten, dass beim Erhitzen und Hochtemperaturlöten häufig der Solidus-Liquidus-Bereich des Lotes rasch durchfahren werden muss, um eine Entmischung des Lotwerkstoffes zu vermeiden. Dies lässt sich am besten mit einer Aufheizgeschwindigkeit von  $> 25^{\circ}\text{C}/\text{min}$  erreichen. Die Temperaturgleichmäßigkeit der Charge spielt für das Ergebnis der Lötung eine große Rolle. Die Heizeinrichtung muss daher so beschaffen sein, dass an Bauteil oder Charge die angesteuerte Temperatur im Bereich oberhalb  $500^{\circ}\text{C}$  im erforderlichen Temperaturbereich nach angemessener Haltezeit mit einer Genauigkeit von  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  erreicht werden kann.

#### 5.3.1 Widerstandsheizung

Die Widerstandsheizung wird bei Vakuumöfen am häufigsten angewendet. Sie wird über Transformatoren mit vorgeschalteten Stellgliedern gespeist. Als Heizleiterwerkstoffe werden vorzugsweise NiCr, Mo oder W oder elektrisch leitende, nichtmetallische Werkstoffe (beispielsweise Graphit) genutzt. Die Wärmeübertragung kann durch Strahlung allein erfolgen oder im unteren Temperaturbereich auch durch Konvektion z. B. mit einem umgewälzten Inertgas. Die maximal nutzbaren Ofentemperaturen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2. Maximale Ofentemperatur in Abhängigkeit von marktüblichen Heizleiter-Werkstoffen.

Heizleiterwerkstoff	max. Ofentemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]
NiCr	1200 (fördert häufigeres Oxidieren des Heizleiters bei höheren Temperaturen)
Mo	1700
W	2000
Graphit	2500

#### 5.3.2 Induktive Beheizung

Eine induktive Beheizung wird häufig bei Laboranlagen verwendet.

### 5.4 Mess- und Regeleinrichtungen

Es ist üblich, die prozessrelevanten Größen zu messen:

- Kühlgasdruck
- Vakuum im Rezipienten
- Zusammensetzung des Restgases
- Nutzraumtemperatur