

AluVaC®: Vollständig aus Aluminium gefertigte  
CF-Vakuumkomponenten und -kammern  
Teil 3 – DE

## Ausheizen von Aluminium für Anwendungen im Ultrahochvakuum (UHV)



- UHV-Bedingungen nach Ausheizen bei 120 °C
- Zuverlässige Schneidkantenstabilität bei 180 °C
- AluVaC®-Edelstahl-Verbindungen sicher ausheizbar

# Ausheizen von Aluminium für Anwendungen im Ultrahochvakuum (UHV)

UHV-Komponenten aus Aluminiumwerkstoffen stellen für viele Anwendungen eine energieeffiziente und leichtgewichtige Alternative zu CF-Komponenten aus Edelstahl dar. Aufgrund ihrer niedrigeren Schmelztemperaturen befürchten Sceptiker jedoch Probleme beim Einsatz von Aluminiumbauteilen in ausheizbaren UHV-Systemen. Dass diese Ängste unbegründet sind, zeigen die Ergebnisse der Anwendungstests, die in diesem dritten Teil des AluVaC<sup>®</sup>-Whitepapers vorgestellt werden.

## Aluminium als Vakuumwerkstoff

Aluminium ist wegen seiner geringen Dichte (2,7 g/cm<sup>3</sup>) und der sehr guten Verarbeitbarkeit ein attraktiver Konstruktionswerkstoff. Daher ist die Verwendung von Aluminiumwerkstoffen im allgemeinen Maschinenbau, im Fahrzeugbau und in der Gebäudetechnik in den letzten Jahrzehnten stetig angestiegen.

Für Vakuumanwendungen bieten Aluminiumlegierungen weitere vorteilhafte Eigenschaften wie eine sehr geringe magnetische Permeabilität ( $\mu_r < 1,00002$ ) und eine geringe Strahlungsaktivierung. Hinzu kommt eine extrem niedrige Ausgasrate im Ultrahochvakuum. Experimente und Ergebnisse zu [„Ausgasraten von Aluminium im Vergleich zu Edelstahl“](#) [1] werden im zweiten Teil des AluVaC<sup>®</sup>-Whitepapers ausführlich vorgestellt.

Trotz aller genannten Vorteile ist Edelstahl noch immer der bevorzugte Werkstoff in der UHV-Technologie. Das liegt unter anderem an den Vorbehalten gegenüber der mechanischen und thermischen Stabilität der dichtenden Schneidkanten von Aluminiumbauteilen mit CF-Flanschsystemen. Dass die CF-Schneidkanten der AluVaC<sup>®</sup>-Bauteile auch nach über

100 Dichtzyklen funktionstüchtig bleiben, zeigt der erste Teil der AluVaC<sup>®</sup>-Whitepapers ([„Schneidkantenstabilität von CF Komponenten aus leichten Aluminiumwerkstoffen“](#) [2]).

In diesem dritten Teil der Reihe werden die Ergebnisse zur Einsatzfähigkeit und Schneidkantenstabilität von AluVaC<sup>®</sup>-Bauteilen unter thermischer Belastung präsentiert, wie sie z. B. beim Ausheizen der Systeme auftritt.

## Herstellerangaben zu Einsatztemperaturen

Ausscheidungshärtbare Aluminiumlegierungen wie die der 6000er-Reihe (Typ Al-Mg-Si) können ihre durch Wärmebehandlung erlangten Festigkeiten durch zu hohe thermische Belastungen wieder verlieren. Herstellerangaben für maximale Einsatztemperaturen bewegen sich je nach Legierung und Beaufschlagungsdauer zwischen 120 °C (dauerhaft) und 160... 180 °C (kurzzeitig). Unterhalb dieser Temperaturen bleiben die angegebenen Festigkeiten bzw. Dehngrenzen für die jeweiligen Legierungen nach dem Wiederabkühlen sicher erhalten. Die Ausheizprozesse von AluVaC<sup>®</sup>-Komponenten orientieren sich an diesen vom Hersteller empfohlenen Einsatztemperaturen.

## Ausheizen in Ultrahochvakuumanwendungen

Werkstoff	H <sub>2</sub> -armglühen		In-situ-Ausheizen	
	T [°C]	t [h]	T [°C]	t [h]
AluVaC®	-	-	≤ 120	≥ 24
1.4301 (304)	-	-	≥ 200	≥ 24
1.4404 (316L)	> 850	> 2	≥ 200	≥ 24
1.4429 (316LN-ESU)	> 850	> 2	≥ 200	≥ 24

Tabelle 1: Ausheizparameter für AluVaC® und gängige Edelstähle

Ausheizprozesse in UHV-Anwendungen sind insbesondere nötig, um unter Berücksichtigung aller Systemparameter das Erreichen von UHV-Bedingungen innerhalb praktikabler Zeiten von einigen Stunden bis zu wenigen Tagen zu erreichen. Durch das Heizen wird der Desorptionsprozess von zuvor an den Innenflächen der Bauteile adsorbierten Teilchen beschleunigt. Diese vorrangig atmosphärischen Bestandteile, allen voran Wasser, lösen sich von der Oberfläche ab, gehen in die Gasphase über und können von dort abgepumpt werden. Einen tiefgreifenden Überblick über thermische Desorptionsvorgänge in Vakuumsystemen liefert der Artikel „*Thermal Outgassing*“ von Karl Jousten von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Berlin [3].

Welche Temperaturen und Ausheizzeiten letztlich nötig sind, um in einem Vakuumsystem die gewünschten Prozessdrücke zu erreichen, hängt von zahlreichen Faktoren ab. Neben den verwendeten Werkstoffen, der eingesetzten Pumpentechnik, Dichtmaterialien, Kammergröße und -geometrie spielt vor allem die Beschaffenheit der inneren Kammeroberfläche eine entscheidende Rolle. Letztere ist sowohl chemisch als auch physikalisch maßgeblich durch das verwendete Rohmaterial, industrielle

Verarbeitungsprozesse und nachfolgende Behandlungsmethoden geprägt. Um die reproduzierbare Qualität von UHV-Kammern und Komponenten sicherzustellen, sind fundiertes Praxiswissen und das Einhalten definierter Fertigungs- und Veredelungsprozesse unabdingbar.

## Ausheizprozesse für AluVaC®- und ConFlat®-Systeme

Untersuchungen zum Ausgasverhalten von AluVaC®-Bauteilen und baugleichen, kompatiblen Edelstahlkomponenten [1] zeigen, dass Aluminiumbauteile durch einfache Behandlungsmethoden und energieärmere Ausheizprozeduren vergleichbare oder zum Teil sogar deutlich geringere Ausgasraten erreichen können als wasserstoffarmgeglühte Edelstahlbauteile. Diese geringsten Ausgasraten wurden mit AluVaC®-Bauteilen mit einer Ausheizprozedur von 24 Stunden bei 120 °C erzielt. Für Edelstähle (wie z. B. 304, 316L oder 316LN-ESU) liegen die optimalen Ausheizprozesse für UHV-Vakuumsysteme in der Regel bei Temperaturen von 200 °C bis 250 °C und Haltezeiten von 24 bis 72 Stunden [4]. Zur Anwendung in tiefsten Vakuumbereichen werden Edelstähle außerdem einem zusätzlichen Glühprozess (H<sub>2</sub>-Armglühen) unterzogen. Eine Übersicht über geeignete Ausheizprozesse für Vakuumbauteile liefert **Tabelle 1**.

## Performance ausgeheizter AluVaC®-Systeme in der Praxis

In mehreren AluVaC®-Testanwendungen zur Prüfung und Bestimmung technischer Parameter wurden AluVaC®-Kammern und -Komponenten verschiedenartig ausgeheizt.

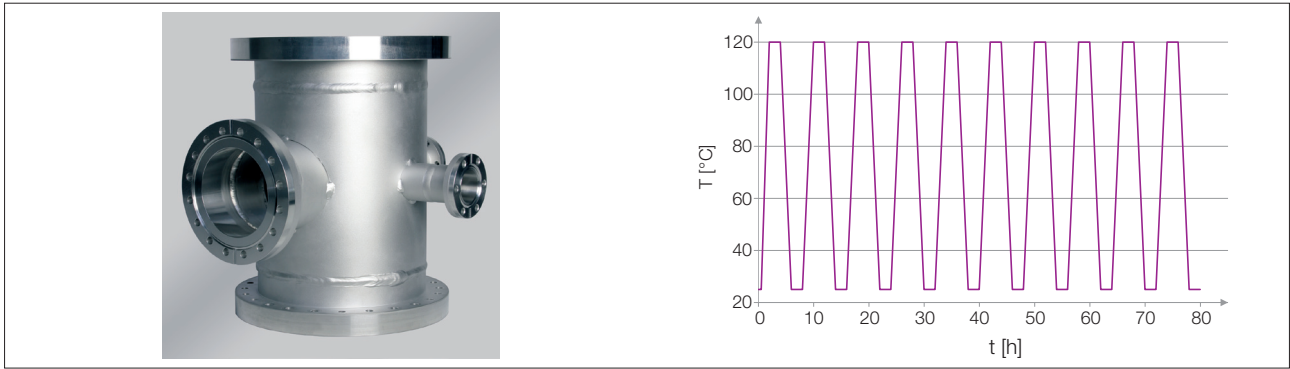


Abbildung 1: AluVaC®-Kammer (links) und schematischer Heizverlauf der Testanwendung (rechts)

Eine DN200CF AluVaC®-Kammer (Abb.1, links) wurde beispielsweise bei ihrem Einsatz zehnmal auf 120 °C geheizt, die Temperatur zwei Stunden gehalten und im Anschluss wieder auf Raumtemperatur abgekühlt. Nach vollständigem Abkühlen wurde jeweils der nächste Heizzyklus gestartet. Der schematische Heizverlauf ist in Abb. 1, rechts dargestellt. Während des gesamten Testverlaufs wurde der Kammerdruck aufgezeichnet, um etwaige Undichtigkeiten zeitlich rückverfolgen und direkt am Aufbau aufdecken zu können.

Das Ergebnis: Das AluVaC®-System inklusive aller Verbindungsstellen blieb dauerhaft und zuverlässig dicht. Nach jedem Abkühlvorgang lag der gemessene Druck im Rezipienten sicher im Ultrahochvakuumbereich ( $p < 1 \cdot 10^{-9}$  mbar). Neben reinen AluVaC®-

AluVaC®-Verbindungen kamen hierbei auch AluVaC®-Edelstahl-Verbindungen zum Einsatz.

In einem anderen Aufbau wurde die Ausheiztemperaturen für ein AluVaC®-System (Abb. 2, links) sukzessive erhöht. An der Kammer befinden sich neben AluVaC®-Blindflanschen auch Komponenten mit ConFlat®-Anschlüssen aus Edelstahl (u. a. eine Ionengetterpumpe, im Bild links und ein Eckventil, im Bild rechts). Abb.2, rechts zeigt den schematischen Temperaturverlauf des Systems: Beginnend bei 110 °C wurde die Temperatur mit jedem Heizzyklus schrittweise erhöht, die am AluVaC®-Flansch gemessene Temperatur erreichte einen maximalen Wert von 210 °C. Die Haltezeit betrug jeweils 48 Stunden.

Auch nach Ausheizen des Aufbaus bei 210 °C wurde für das System kein Druckanstieg detektiert.

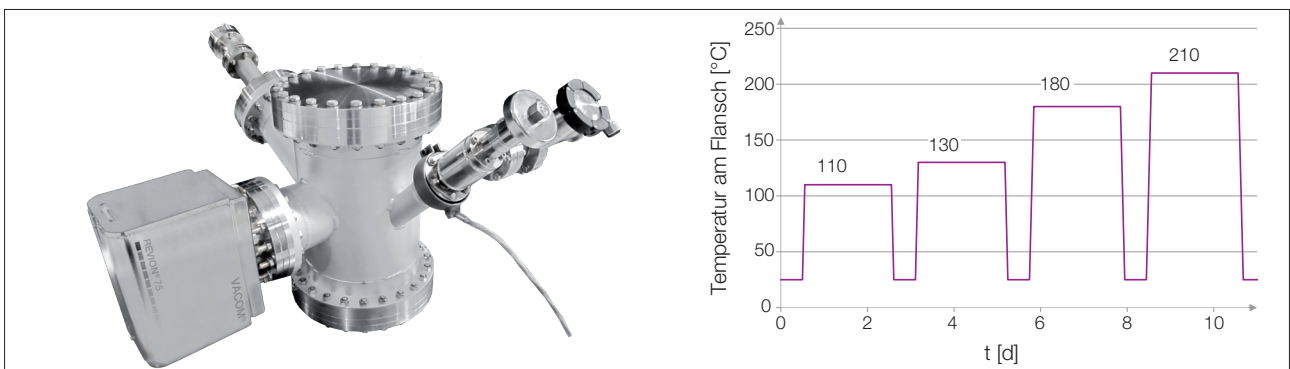


Abbildung 2: AluVaC®-Kammer im Einsatz (links) und schematischer Heizverlauf der Testanwendung (rechts)

Die AluVaC®-Kammer hielt die UHV-Bedingungen – auch bei Temperaturen deutlich oberhalb der empfohlenen Einsatztemperaturen von 120 °C.

Nach jedem Heizzyklus wurde die Kontur der AluVaC®-Schneidkante eines am hinteren (in Abb. 2, links verdeckt) Abgang befindlichen DN40CF AluVaC®-Blindflansches aufgenommen. Das Schneidkantenprofil (Abb. 3) zeigt sowohl nach mehrtägigem Heizen bei 110 °C und 130 °C als auch bei 180 °C keine nennenswerte Verformung und liegt damit sicher innerhalb der vorgegebenen Toleranzen nach ISO/DIS 3669 (siehe [2] für Details).

## Fazit

Die für den Formschluss erforderliche Form der AluVaC®-Schneidkante bleibt bei den empfohlenen Einsatzbedingungen von 120 °C zuverlässig stabil. Sogar deutlich oberhalb der empfohlenen Ausheiztemperaturen werden die UHV-Bedingungen im Vakuumsystem sicher aufrechterhalten. Insbesondere zeigen die Ergebnisse, dass die Schneidkantenstabilität der AluVaC®-Bauteile auch im Einsatz bei mehrtägiger Beaufschlagung mit 120 °C und Spitzentemperaturen von 180 °C sichergestellt ist.

Die vorgestellten Ergebnisse ergänzen die vorangegangenen Untersuchungen an AluVaC®-Kammern und -Komponenten um ihre Einsetzbarkeit in ausgeheizten UHV-Systemen.

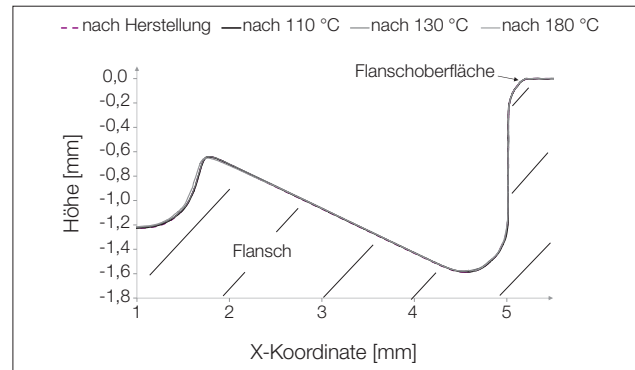


Abbildung 3: Schneidkantenkontur nach Herstellung und nach mehrtägigem Ausheizen bei 110 °C, 130 °C und 180 °C.

Hierbei wird deutlich, dass die extrem ausgasarmen AluVaC®-Bauteile mit dauerhaft stabilen Schneidkanten ihre Funktionalität auch unter thermischen Belastungen beibehalten. Aus den präsentierten Ergebnissen lässt sich zusammenfassen: AluVaC®-Bauteile sind durch ihre nachweislich vorteilhaften Eigenschaften hervorragend für Anwendungen in tiefsten Vakuumbereichen geeignet.

## Quellen

- [1] VACOM GmbH: Ausgasraten von Aluminium im Vergleich zu Edelstahl, 2016. (<https://www.vacom.de/downloads/white-papers>).
- [2] VACOM GmbH: Schneidkantenstabilität von CF-Komponenten aus leichten Aluminiumwerkstoffen, 2016. (<https://www.vacom.de/downloads/white-papers>).
- [3] Jousten, K.: Thermal outgassing. In: Proceedings CAS CERN Accelerator School Vacuum Technology, 1999, 111-124, ISBN 92-9083-149-9.
- [4] Jousten, K.: Wutz Handbuch Vakuumtechnologie, 10. überarb. Aufl. Wiesbaden: Vieweg u. Teubner, 2010.

### „Ausheizen von Aluminium für Anwendungen im Ultrahochvakuum (UHV)“

Interessieren Sie sich für weitere Informationen zum Thema?

Kontaktieren Sie uns mit dem Betreff „White Paper, WP00003“ unter [info@vacom.de](mailto:info@vacom.de) oder finden Sie auf unserer Website [www.vacom.de](http://www.vacom.de) unter der Rubrik „Downloads“ alle verfügbaren White Paper.