

TIPPS UND TRICKS VOM EXPERTEN

Maßnahmen zur Verkürzung der Abpumpzeiten im Hochvakuum

Für das schnelle Erreichen des Endvakuums in einer Vakuumkammer spielen vor allem das Material und die Oberflächenbeschaffenheit eine große Rolle. Zudem ist die abzupumpende Gaslast relevant dafür, wie schnell der gewünschte Enddruck realisiert werden kann. Diese Gaslast besteht bis zum Erreichen des Basisdrucks im Wesentlichen aus der Leckrate der Kammer und den an den Kammerwänden und Einbauten anhaftenden Gasen und Dämpfen. Letztere lösen sich unter Vakuum nach und nach wieder von der Oberfläche ab – sie desorbieren also. Diese Desorption hat großen Einfluss auf die Abpumpzeiten und damit auf die Dauer bis zum Erreichen des designierten Enddrucks. Das Zusammenspiel aller oben beschriebenen Parameter spiegelt sich in der sogenannten Abpumpkurve wieder, in der die Druckabnahme in Abhängigkeit der Zeit dargestellt wird.

Maßnahmen zur Verkürzung der Abpumpzeiten

Um die Geschwindigkeit beim Abpumpen einer Vakuumkammer zu steigern, sind verschiedene Maßnahmen möglich. So verkürzt der Einsatz von Materialien, an denen Gas- und Wasserdampfmoleküle weniger stark anhaften, die Auspumpzeit. Eine Übersicht der Desorptionsraten für trockene Luft von Oberflächen verschiedener Materialien ist in Tabelle 1 gegeben. Aufgrund der stetigen Entfernung der anhaftenden Gaspartikel im Laufe des Pumpvorgangs verringern sich die Gasabgaberraten mit zunehmender Auspumpzeit. In der Regel wird bei gutem Kammerzustand und passender Pumpauslegung der Ultrahochvakuumbereich nach einer Auspumpzeit von zehn Stunden erreicht. Ab dann verliert die Desorption der Gase von den Oberflächen im Vergleich zur Diffusion von Gasen aus den Materialien an Bedeutung und ist für die Auspumpzeit nicht mehr relevant.

Werkstoff	Oberflächenbeschaffenheit	Zustand der Oberflächen	Desorptionsraten ¹⁾ q _{des} [hPa · l s ⁻¹ cm ⁻²]		
			1 h	4 h	10 h
Stahl, rostfrei	blank	gereinigt	2,7 · 10 ⁻⁷	5,4 · 10 ⁻⁸	2,7 · 10 ⁻⁸
Stahl, rostfrei	poliert	gereinigt	2 · 10 ⁻⁸	4 · 10 ⁻⁹	2 · 10 ⁻¹⁰
Stahl, rostfrei	gebeizt	ausgeheizt 1 h mit normaler Luft geflutet	1,4 · 10 ⁻⁹	2,8 · 10 ⁻¹⁰	1,4 · 10 ⁻¹⁰
Stahl, rostfrei	kugelgestrahlt	ausgeheizt 1 h mit normaler Luft geflutet	3 · 10 ⁻¹⁰	6,5 · 10 ⁻¹¹	4 · 10 ⁻¹¹
Stahl, Ni-plattiert	poliert	gereinigt	2 · 10 ⁻⁷	1,5 · 10 ⁻⁸	5 · 10 ⁻⁹
Stahl, Cr-plattiert	poliert	gereinigt	1,3 · 10 ⁻⁸	2,2 · 10 ⁻⁹	1,2 · 10 ⁻⁹
Stahl		verrostet	6 · 10 ⁻⁷	1,6 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻⁷
Stahl	blank	gereinigt	5 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻⁷	5 · 10 ⁻⁸
Stahl	kugelgestrahlt	gereinigt	4 · 10 ⁻⁷	8 · 10 ⁻⁸	3,8 · 10 ⁻⁸
Aluminium		gereinigt	6 · 10 ⁻⁸	1,7 · 10 ⁻⁸	1,1 · 10 ⁻⁸
Messing		gereinigt	1,6 · 10 ⁻⁶	5,6 · 10 ⁻⁷	4 · 10 ⁻⁷
Kupfer		gereinigt	3,5 · 10 ⁻⁷	9,5 · 10 ⁻⁸	5,5 · 10 ⁻⁸
Porzellan	glasiert		8,7 · 10 ⁻⁷	4 · 10 ⁻⁷	2,8 · 10 ⁻⁷
Glas		gereinigt	4,5 · 10 ⁻⁹	1,1 · 10 ⁻⁹	5,5 · 10 ⁻¹⁰
PMMA			1,6 · 10 ⁻⁶	5,6 · 10 ⁻⁷	4 · 10 ⁻⁷
CR			4 · 10 ⁻⁵	2,2 · 10 ⁻⁵	1,5 · 10 ⁻⁵
NBR			4 · 10 ⁻⁶	1,7 · 10 ⁻⁶	1,3 · 10 ⁻⁶
FKM			1,2 · 10 ⁻⁶	3,6 · 10 ⁻⁷	2,2 · 10 ⁻⁷
FKM		4 h ausgeheizt bei 100°C	1,2 · 10 ⁻⁷	5 · 10 ⁻⁸	2,8 · 10 ⁻⁸
FKM		4 h ausgeheizt bei 150°C	1,2 · 10 ⁻⁹	3,3 · 10 ⁻¹⁰	2,5 · 10 ⁻¹⁰
PTFE		entgast	8 · 10 ⁻⁷	2,3 · 10 ⁻⁷	1,5 · 10 ⁻⁷

¹⁾ Durch diverse Vorbehandlungen können die Desorptionsraten verbessert werden (z.B. wasserstoffreies Glühen).

Tabelle 1: Übersicht der Desorptionsraten für trockene Luft von Oberflächen verschiedener Materialien

Verglichen mit Kunststoffen sind die Gasabgaberraten von Metallen sehr viel niedriger. Ausgenommen davon sind zum Beispiel Kupferlegierungen: sie weisen ebenfalls hohe Gasabgaberraten auf. Kunststoffe und Metalle mit höheren Desorptionsraten werden in Dichtungen, als O-Ringe aus Elastomeren bis in den Hochvakuumbereich oder als Metalldichtungen im Ultrahochvakuumbereich verwendet.

Die Gasabgaberrate von Elastomeren kann durch unterschiedliche chemische Zusammensetzungen reduziert werden. Fluorkautschukverbindungen weisen beispielsweise eine um eine Größenordnung niedrigere Desorptionsrate als Nitrilkautschukverbindungen auf.

Einsatz von Flanschen verringern

Da die in Flanschen eingesetzten Dichtmaterialien höhere Desorptionsraten aufweisen als die Materialien der restlichen Kammer, sollte die Anzahl der Flansche auf ein Minimum reduziert werden. So kann auch das Risiko zur Entstehung von Leckagen verringert werden.

Verringerung der Abpumpzeit durch Erwärmung der Kammerwände

Die Desorption von Gas- und Wasserteilchen von Oberflächen hängt sehr stark von der Temperatur ab. Damit die Adhäsionskräfte überwunden werden können, ist Energie notwendig.

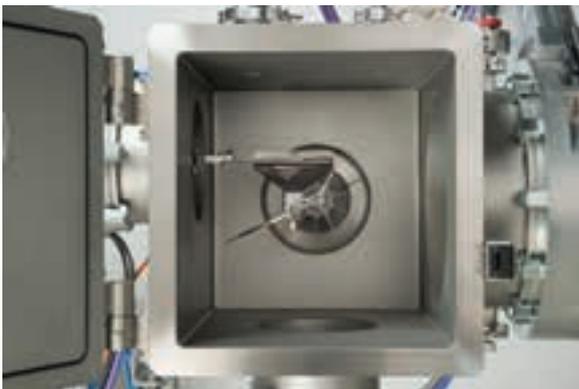


Abb.1: Der für die Beispielbetrachtungen eingesetzte Aufbau, bestehend aus Vakuumkammer, Vorvakuum-Pumpstand WH 950 und Turbopumpe HiPace 2300.

INFOBOX

Abbildung 2 zeigt zwei typische, mit verschiedenen Desorptionsraten ermittelte Auspumpkurven. Sie wurden für folgenden Aufbau bestimmt (Abbildung 1):

Vakuumpumpe:

Kammervolumen: 1 m^3

Innere Oberfläche: 6 m^2

Leckrate der Kammer: $<1 \cdot 10^{-4}\text{ Pa m}^3/\text{s}$

Abzupumpendes Gas: Luft bei 20°C

Saugleitung: 1 m Rohr DN 100 zwischen

Vorvakuum-Pumpstand und Kammer

Vakuumpumpen:

Vorvakuum-Pumpstand WH 950, bestehend aus Wälzkolbenpumpe Okta 1000 und Trockenläufer Hepta 300 P. Hochvakuumseitige Turbopumpe HiPace 2300 mit 15 % Saugvermögensreduktion durch Schutzgitter und Anflanschung an die Kammer (effektives Saugvermögen 1615 l/s).

Die Auspumpkurven wurden auf Basis der Desorptionsraten einer gereinigten und trockenen Edelstahlkammer sowie einer leicht durch Beschichtungsprozesse verschmutzten Edelstahlkammer empirisch bestimmt. Abbildung 2 zeigt den Druckverlauf für die erste Stunde der Abpumpzeit. An deren Ende führt die um eine Größenordnung geringere Desorptionsrate zu einem um eine Größenordnung geringeren Kammerdruck. Es wird deutlich, dass für die gewählte Verringerung der Desorptionsrate schon nach sechs Minuten Abpumpen der Druck in einer Kammer vorherrscht, der bei höherer Desorptionsrate erst nach 45 Minuten erzielt wird.

Infobox 1: Exemplarische Darstellung von Auspumpkurven

Die Desorptionsrate q_{des} wird durch das Verhältnis von der Desorptionsenergie E_{des} zur Bewegungsenergie der Teilchen $E_{\text{kin}} = kT$ bestimmt. Die Temperaturabhängigkeit wird dabei vom sogenannten „Boltzmann-Faktor“ bestimmt:

$$Q_{\text{des}} \sim e^{-E_{\text{des}}/kT}$$

Dabei ist die Boltzmannkonstante $k = 8,6210^{-5}\text{ eV/K}$ und die absolute Temperatur T in Kelvin.

Die Desorptionsenergie von Wasser liegt in der Größenordnung von $0,5\text{ eV}$. Dem System werden bei Raumtemperatur $0,025\text{ eV}$ zugeführt. Entsprechend liegt die Desorptionsrate in der Größenordnung von $0,5\text{ eV}$. Bei Raumtemperatur werden dem System $0,025\text{ eV}$ zugeführt. Somit liegt die Desorptionsrate bei e^{-20} , also $2 \cdot 10^{-9}$. Wird die Temperatur nun erhöht, beispielsweise auf circa 100°C , so werden dem System circa $0,032\text{ eV}$ zugeführt. Die Desorptionsrate liegt dementsprechend in der Größenordnung von $e^{-15,6}$, also $2 \cdot 10^{-7}$. Bei dieser um zwei Dekaden höheren Gasabgaberate können Moleküle, die an der Oberfläche anhaften, wesentlich leichter entfernt

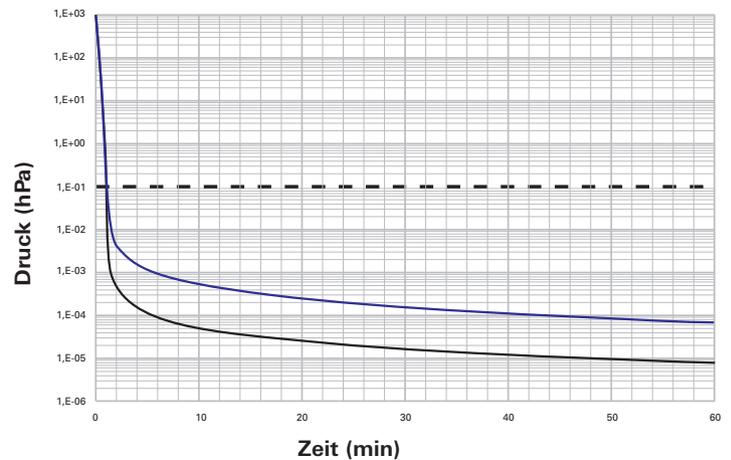


Abbildung 2: Auspumpkurven für die Desorptionsraten $2 \cdot 10^{-6}\text{ hPa} \cdot \text{l s}^{-1}\text{cm}^{-2}$ (obere Kurve, leicht verschmutzte Edelstahlkammer) und $2 \cdot 10^{-7}\text{ hPa} \cdot \text{l s}^{-1}\text{cm}^{-2}$ (untere Kurve, saubere und trockene Edelstahlkammer). Gestrichelte Linie: Umschalt- druck, bei dem von Vor- auf Turbopumpe geschaltet wird.

werden. So wird auch der gewünschte Basisdruck in der Kammer schneller erreicht.

Doch selbst wenn derartige Vorrichtungen zur Erwärmung der Kammerwände nicht zur Verfügung stehen, kann die Abpumpzeit relativ einfach verkürzt werden:

Wird die Vakuumpumpe in Batchanlagen häufig geöffnet, kommt es – je nach Jahreszeit und herrschender Raumfeuchtigkeit – zur vermehrten Anhaftung von Wassermolekülen an den Kammerwänden. Resultat daraus ist automatisch eine Verlängerung der Auspumpzeit. Diese kann durch Fluten der Kammer mit Stickstoff verkürzt werden. Bei diesem Prozess werden die Kammerwände mit Stickstoffmolekülen belegt. So kann sich der nach Öffnen der Kammer eindringende Wasserdampf nicht mehr so fest an den Kammerwänden absetzen.

In Prozessen, bei denen Wasserdampf ständig präsent ist, empfiehlt sich der Einsatz von Kryokondensatoren. Mit ihrer Hilfe wird der Wasserdampf an den kalten Wänden ausgefroren. Die Hochvakuumpumpe muss dann nur noch die sogenannten Permanentgase, die sich kryotechnisch nicht ausfrieren lassen, abpumpen. So wird eine erhebliche Verkürzung der Auspumpzeit erreicht.

Einen deutlichen Einfluss auf die Auspumpzeit hat die Desorption im Hochvakuumbereich bis 10^{-6} . Wie die genannten Beispiele zeigen, kann man bereits bei der Neuauslegung einer Vakuumanlage durch Beachtung verschiedener Aspekte Vorkehrungen zur Verkürzung der Auspumpzeiten treffen. Und auch bei schon bestehenden Anlagen können kleine Veränderungen – so zum Beispiel geeignete Dichtungen oder das Belüften der Kammer mit Stickstoff – die Auspumpzeiten deutlich verkürzen. Dadurch ist der Basisdruck relativ schnell erreichbar und die eigentliche Arbeit mit der Anlage kann beginnen.

VAKUMLÖSUNGEN AUS EINER HAND

Pfeiffer Vacuum steht weltweit für innovative und individuelle Vakuumlösungen, für technologische Perfektion, kompetente Beratung und zuverlässigen Service.

KOMPLETTES PRODUKTSORTIMENT

Vom einzelnen Bauteil bis hin zum komplexen System:

Wir verfügen als einziger Anbieter von Vakuumtechnik über ein komplettes Produktsortiment.

KOMPETENZ IN THEORIE UND PRAXIS

Nutzen Sie unser Know-how und unsere Schulungsangebote!

Wir unterstützen Sie bei der Anlagenplanung und bieten erstklassigen Vor-Ort-Service weltweit.

Sie suchen eine perfekte
Vakuumlösung?
Sprechen Sie uns an:

Pfeiffer Vacuum GmbH
Headquarters · Germany
T +49 6441 802-0
info@pfeiffer-vacuum.de

www.pfeiffer-vacuum.com