

## Aluminium als Konstruktionswerkstoff in Ammoniakkreisläufen

### Erfahrungen mit Aluminium

Aluminium hat verglichen mit anderen Metallen eine erst kurze Geschichte der technischen Verwendung. Während vor ca. 190 Jahren erstmalig die Herstellung von Aluminium gelang, wurde vor etwa 60 Jahren der erste Wärmeübertrager mit Aluminiumrohren in Ammoniakkreisläufen eingesetzt. Andere Konstruktionselemente aus Aluminium, die sich seit Jahren in Ammoniakkreisläufen bewährt haben, sind Dichtungen und Baugruppen für Verdichter (Kolben, Pleuel, Zylinderdeckel, Motorgehäuse usw.). Diese Konstruktionselemente sind aus Knet- und Gusslegierungen.

Knetlegierungen sind durch Walzen, Ziehen, Pressen und Schmieden umgeformte Halbzeuge und Fertigteile mit einer ausreichenden Bruchdehnung (meist größer als 8%). Durch Kaltumformen entstandene Spannungen können durch Weichglühen (bis 250 °C) beseitigt werden. Die Gusslegierungen sind für Sand- und Kokillenguss geeignet, und die meisten enthalten neben anderen Legierungselementen ein Anteil bis zu 3 % von Magnesium oder Silizium.

Wegen der speziellen chemischen Eigenschaften von Ammoniak wurde bisher vorrangig Stahl für die wesentlichen Konstruktionselemente wie Rohrleitungen, Wärmeübertrager und Behälter in Ammoniakkreisläufen verwendet. Dies kann man auch verbinden mit der verbreiteten traditionellen Anwendung von Ammoniak vor allem in industriellen Kälteanlagen. Für die Erschließung des Bereiches der Gewerbekühlung für Ammoniak Anwendungen sind Technologien gefragt, die den Kältetechnikern von HFKW-Kälteanlagen her bekannt sind (Löten und lösbare Verbindungselemente) und die nicht so kostenintensiv sind. Dazu bietet Aluminium als Konstruktionswerkstoff die besten Voraussetzungen.

### Eigenschaften von Aluminium (Al)

im Vergleich zu dem in HFKW-Kreisläufen vorrangig eingesetzten Kupfer (Cu)

		99% Al	99,9% Cu
Dichte	10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>	2,7	8,9
Wärmeleitfähigkeit	W/m K	230	310
Elektrische Leitfähigkeit ca.	m/Ω mm <sup>2</sup>	36	58
0,2 Dehngrenze ca.	N/mm <sup>2</sup>	60	160
Wärmedehnung	10 <sup>6</sup> 1/K	23,8	16,2
Schmelzpunkt	°C	660	1083

### **Vorteilhafte Eigenschaften von Aluminium sind:**

- kostengünstige Kaltverformbarkeit
- gute Spanbarkeit
- Kaltzähigkeit, damit geeignet für Verdampfungstemperaturbereich unter  $-10\text{ °C}$
- Löt- und Schweißbarkeit
- gesundheitliche Unbedenklichkeit
- Wiederverwendbarkeit
- Preisgünstiger zu Kupfer – dieser Unterschied variiert mit der Zeit

### **Aluminium Legierungen**

Aluminium ist nicht gleich Aluminium. Es kann im schmelzflüssigen Zustand mit Kupfer, Magnesium, Mangan, Silizium, Eisen, Titan, Beryllium, Lithium, Chrom, Zink, Zirkonium und Molybdän legiert werden, um bestimmte Eigenschaften zu fördern oder andere, ungewünschte Eigenschaften zu unterdrücken.

Nach der Norm EN 573-3/4 kann zwischen diesen Aluminiumknetlegierungen unterschieden werden:

- Gruppe 1xxx mit mind. 99 % Aluminiumanteil mit einer Festigkeit von 70 bis 190 N/mm<sup>2</sup>
- Gruppe 2xxx mit Kupferanteil von 0,7 bis 6,8 % und mit einer Festigkeit von 190 bis 570 N/mm<sup>2</sup>
- Gruppe 3xxx mit Mangananteil mit einer Festigkeit von 100 bis 350 N/mm<sup>2</sup> (wird oft als Material für die Kernrohre der Wärmeübertrager benutzt)
- Gruppe 4xxx mit Siliziumanteil von 0,6 bis 21,5 % und mit einer Festigkeit von 170 bis 380 N/mm<sup>2</sup>
- Gruppe 5xxx mit Magnesiumanteil von 0,2 bis 6,2 % und mit einer Festigkeit von 100 bis 450 N/mm<sup>2</sup>
- Gruppe 6xxx mit Magnesium- und Siliziumanteil um die 1% und mit einer Festigkeit von 100 bis 450 N/mm<sup>2</sup>
- Gruppe 7xxx mit Zinkanteil von 0,8 bis 12,0 % und mit einer Festigkeit von 220 bis 700 N/mm<sup>2</sup>
- Gruppe 8xxx mit Anteil von anderen Elementen (Aluminium-Lithium-Legierungen)

## **Vorschriften für die Verwendung von Aluminium**

Nach EN 378 können Aluminium und Aluminiumlegierungen in jedem Teil des Kältemittelkreislaufes eingesetzt werden, wenn ihre Festigkeit entsprechend hoch ist und sie mit Ammoniak und den verwendeten Schmierstoffen verträglich sind.

### **Kontaktmedien für Al-Konstruktionselemente**

**Im Kältemittelkreislauf** einer Ammoniakanlage kommen Al-Konstruktionselemente mit Ammoniak, Kältemaschinenöl, Spuren von Wasser und anderen Metallen in Kontakt.

Die in Ammoniakanlagen eingesetzten Kältemaschinenöle sind die in Ammoniak unlöslichen Mineral- oder synthetischen Öle, oder die seit etwa 1993 verfügbaren synthetischen ammoniaklöslichen Öle auf Basis von Polyalkylenglykol (PAG).

Durch unterschiedliche Wasseraufnahmefähigkeit dieser Öle sind unterschiedliche Voraussetzungen für Korrosion gegeben.

**Im Kälteträger- und Wärmeträgerkreislauf** sind es Wasser und wässrige Lösungen von Frostschutzmitteln, für die die Verträglichkeit der verwendeten Aluminiumlegierungen im Einzelfall nachgewiesen werden muss.

**Außerhalb des Kreislaufes an der Luft** sind Oberflächen aus Al-Konstruktionselementen durch Korrosion gefährdet, wenn sich bei Taupunktunterschreitung Schwitzwasser bildet, das bei NH<sub>3</sub>-Leckagen durch Aufnahme von Ammoniak zur NH<sub>3</sub>-armen Lösung wird.

### **Korrosionsverhalten**

An sich ist das Aluminium nicht korrosionsfest und kann durch Korrosion gefährdet werden. Durch den Korrosionsangriff bildet sich an der Materialoberfläche eine dünne und dichte Oxidschicht, die das an sich unedle Metall Aluminium relativ korrosionsfest gegenüber Angriffen von Luft und Feuchtigkeit macht. Dieses Verhalten nennt man Passivierung. Diese Eigenschaft kann sich stark verändern durch den Einfluss von verschiedenen Legierungen. Für Ammoniakkreisläufe sind Aluminiumlegierungen mit folgendem Korrosionsverhalten verfügbar:

### **Konstruktionselemente im Kältemittelkreislauf**

- keine messbare Korrosion in reinem, trockenem NH<sub>3</sub>
- technisch unbedenkliche Korrosion (wenige µm/a) bei Kontakt mit NH<sub>3</sub> und Kältemaschinenöl mit unterschiedlicher Korrosionsrate in Abhängigkeit von Ölsorte, Ölalter und Wasseranteil
- Bei Verwendung unlöslicher Mineral- und synthetischer Öle sind auf Grund der begrenzten Aufnahmefähigkeit von Wasser (100-200ppm) keine Korrosionsprobleme zu erwarten.

- Bei Verwendung löslicher PAG-Öle nimmt die Aufnahmefähigkeit von Wasser zu. Das kann über Veränderungen im Öl zu Reaktionen mit Aluminiumbauteilen im Verdichter mit der Folge seiner erheblich reduzierten Betriebsdauer führen.

### **Konstruktionselemente im Wärmeträger- und Kälte­trä­ger­kreislauf**

- Das Korrosionsverhalten von Wärmeübertragerrohren bei Verwendung von Ethylenglykol-Wasser-Gemischen als Zwischenmedium ist unbedenklich. Für andere Kälte- und Wärmeträger gibt es mittlerweile umfangreiche Abhandlungen und Tabellenwerke, in denen die Autoren für die verschiedenen Fluide eventuell notwendige Inhibitoren vorschlagen.
- Bei Einbindung anderer Metalle (z.B. Kupfer) in den Wärmeträger- und Kälte­trä­ger­kreislauf ist dann mit erheblicher Korrosion zu rechnen, wenn Ammoniak in den Kälte­trä­ger- bzw. Wärmeträgerkreislauf gelangen kann. Besonders bei nicht Stickstoff überlagerten Kreisläufen ist im Extremfall schon nach 0,5 bis 2 Jahren ein Totalausfall möglich. Die Werkstoffkombinationen sind daher zu prüfen.

### **Konstruktionselemente mit Kontakt zur Umgebung**

- Wässrige Lösungen von Ammoniak verursachen technisch nicht vertretbare Korrosion. Damit sind insbesondere Aluminiumbauteile gefährdet, die durch Taupunktunterschreitung und Leckraten mit wässrigen Lösungen in Kontakt kommen. Für solche Bauteile bieten die Hersteller jedoch verschiedene Beschichtungen als Korrosionsschutz an, die dann entsprechende Lebensdauer der Komponenten gewährleisten.

### **Spannungsrissskorrosionsverhalten**

Die für Ammoniakkreisläufe in Frage kommenden Aluminiumlegierungen sind unempfindlich gegen Spannungsrissskorrosion.

### **Verbindungstechniken**

Die nicht lösbaren Verbindungen von Rohrleitungen durch Hartlötungen der Paarungen Aluminium/Aluminium und Aluminium/austenitische Cr-Ni-Stähle sind mechanisch fest und korrosionsbeständig. Bei Lötverbindungen von Aluminium mit unlegierten oder niedriglegierten Stählen ist mit Korrosion an der Verbindungsstelle zu rechnen.

Rohrbündelwärmeübertrager können durch Einwalzen von Aluminiumrohren in Stahlböden dauerhaft dicht hergestellt werden.

Für lösbare Verbindungen gibt es eine Reihe von sicheren Lösungen, die sowohl nach mehrfachem Öffnen als auch unter Temperatur- und Druck-Wechselbelastung dicht und korrosionsbeständig sind.

## **Aluminium in Elektromotoren**

Die in HFKW-Anlagen eingesetzten Hermetikverdichter mit Motorwicklungen aus Kupfer sind in Ammoniakkreisläufen nicht anwendbar. Seit 1993 sind Halbhermetikverdichter in Ammoniakkreisläufen erfolgreich im Einsatz, deren Motoren Aluminiumwicklungen und ein spezielles Isolationssystem enthalten. Damit kommen diese Verdichter ohne die bei offenen Verdichtern notwendige verschleißbehaftete Gleitringdichtung aus. Der Ammoniakkreislauf wird nur durch statische Dichtungen geschlossen.

Auf Grund der geringeren Leitfähigkeit von Aluminium gegenüber Kupfer (ca. 65 %) sind diese Motoren entsprechend anders zu dimensionieren.

## **Zusammenfassung**

Aluminiumlegierungen haben sich als Konstruktionswerkstoff in Ammoniakkreisläufen seit Jahren bewährt. Für die Anwendung von Technologien, die den Kältetechnikern von HFKW-Anlagen her bekannt sind, bieten Konstruktionselemente aus Aluminiumlegierungen sichere Lösungen in Hinblick auf Korrosionsbeständigkeit und mechanische Festigkeit. Damit lassen sich die Vorteile des Kältemittels Ammoniak in Bezug auf deutlich kleinere Dimensionierung von Rohrleitungen, Fittings und Ventilen mit den Vorteilen des Konstruktionswerkstoffs Aluminium kombinieren.

---

**Herausgegeben von *eurammon* ♦**

**Postfach 71 08 64 ♦ D-60498 Frankfurt**

**Telefon +49 69 6603 1277 ♦ Fax +49 69 6603 2276**

**e-mail: [Karin.Jahn@eurammon.com](mailto:Karin.Jahn@eurammon.com)**

**<http://www.eurammon.com>**