

## 6 Energetische Auswirkungen durch Verunreinigung von Ammoniak-Kälteanlagen durch Fremdgas und Wasser

Ein unverhältnismäßig hoher Anstieg des Energieverbrauchs von vorwiegend industriellen Ammoniak-Kälteanlagen ist häufig auf mangelhafte Wartung und auf Vernachlässigung vorbeugender Maßnahmen zur Instandhaltung zurückzuführen. Gravierend sind dabei die Auswirkungen von Verunreinigung des Ammoniakkreislaufs durch Fremdgas und einen zu hohen Wassergehalt.

**Wassergehalt des Ammoniaks bei der Auslieferung durch den Hersteller:** Bei der Abfüllung durch den Hersteller werden dem druckverflüssigten Ammoniak zur Vermeidung von Spannungsrisskorrosion zwischen 0,1 bis 0,3 Gewichtsprozent Wasser zugesetzt. Dieser geringe Wasserzusatz hemmt Spannungsrisskorrosion, vorausgesetzt ist dabei der Ausschluss von Sauerstoff. Deshalb wird die Abfülleinrichtung vor dem Füllvorgang ammoniakseitig mit Stickstoff sauerstofffrei gespült.

In der Praxis sammeln sich in Ammoniak-Kälteanlagen während der Betriebszeit weitaus höhere Wassermengen an, als dem empfohlenen Anteil von maximal 0,3 % entspricht. Dieses Wasser wird häufig aus der Feuchte eingedrungener Luft, insbesondere wenn der Saugdruck unterhalb des atmosphärischen Druckes liegt, oder aus inerten Gasen generiert. Sowie Wasser mit Ammoniak in Berührung kommt, geht es umgehend in Lösung. Danach ist eine Trennung dieser Stoffe nur noch aufwendig durchführbar. Inerte Gase, im Fachjargon als „Fremdgase“ oder kurz als „Luft“ bezeichnet, sind in der Anlage nicht kondensierbar. Die Kreisläufe mit Ammoniak sind weitaus stärker durch Fremdgas gefährdet als solche mit fluorierten Kältemitteln. Der Grund dafür ist, dass Kälteanlagen mit fluorierten Kältemitteln nur in Ausnahmefällen im „Vakuum“ betrieben werden und deutlich niedrigeren Endüberhitzungen ausgesetzt sind. Fremdgas und Wasser erhöhen die Antriebsenergie der Verdichter, wirken korrosions- und kavitationsfördernd und beeinträchtigen die Schmierfähigkeit des Kältemaschinenöls.

## 6.1 Ursachen für die Ansammlung von Fremdgasen und Wasser in Ammoniak-Kreisläufen

*Verunreinigungen durch Fremdgase* entsteht hauptsächlich durch:

- Luft, die aus der Umgebung durch Undichtigkeiten angesaugt wird. Das gilt speziell für Anlagen die ständig unterhalb des Atmosphärendrucks betrieben werden. Undichtigkeiten können beispielsweise auftreten an den Wellenabdichtungen der offenen  $\text{NH}_3$ -Verdichter, an Stopfbuchsen von Ventilen oder an Flanschdichtungen.
- unvollständige Evakuierung bei der Erstbefüllung und/oder im Reparaturfall. Trotz Evakuierens bleibt zwangsläufig ein Stickstoff- oder Luftrest in der Anlage.
- Reste von Stickstoff von der Druckprobe
- gasförmige Zersetzungsprodukte. Diese können besonders infolge hoher Endüberhitzungstemperaturen aus Ammoniak und/oder Öl während des Betriebs entstehen. Diese chemischen Umsetzungsprozesse werden bei Anwesenheit von Sauerstoff in Verbindung mit korrosiven Prozessen gefördert. Auch kann sich Ammoniak z. B. unter bestimmten Bedingungen in Stickstoff und Wasserstoff aufspalten.
- das Füllen mit „Ammoniak, technisch“. Dieses kann abhängig vom Produktionsverfahren Spuren der inerten Gase Wasserstoff, Sauerstoff, Methan und verschiedener Edelgase, speziell Argon, enthalten.

Etlche Störungen an Ammoniak-Kälteanlagen lassen sich neben der Anwesenheit von Fremdgasen auf Wasser im Kreislauf zurückführen. Ammoniak ist äußerst hygroskopisch und kann große Wassermengen binden. Filtertrockner mit Füllungen, die sich für fluoridierte Kältemittel bewährt haben, versagen infolge der ausgeprägten Hygroskopie von Ammoniak. Die außergewöhnlich starke Affinität (Anziehungskraft) zwischen Ammoniak und Wasser lässt sich demonstrieren mit dem

### **„Ammoniak-Springbrunnen-Versuch“<sup>1</sup>:**

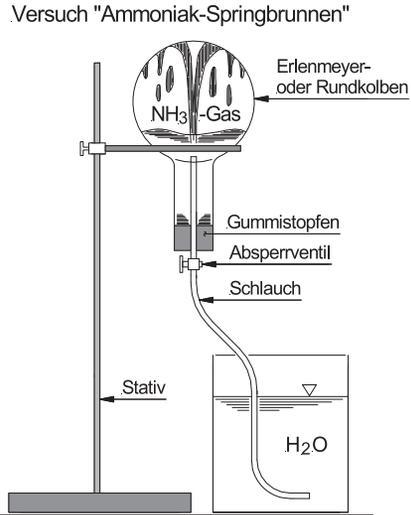
Der Versuchsaufbau geht aus Abb. 6-1 hervor.

#### *Versuchsdurchführung:*

Ein mit Ammoniakgas gefüllter Rund- oder Erlenmeyer-Kolben wird mit einem einfach durchbohrten Gummistopfen und einem absperrbaren Steigrohr und/oder Silikonschlauch verschlossen. Vor der Befestigung des Kolbens mittels einer Klemme an einem Stativ, erfolgt die Befüllung des Steigrohrs/Schlauchs mit Wasser vom freien Ende bis zur Absperrung. Anschließend wird das freie Ende des Steigrohrs/Schlauchs in ein mit Wasser gefülltes Gefäß gesteckt. Dieses Gefäß muss mehr

<sup>1</sup> Die Durchführung des Versuches erfordert ausreichende Kenntnisse der Chemie sowie geeignete Schutzvorrichtungen. Autor und Verlag haften nicht für Personen- und Sachschäden durch mögliche Fehlversuche.

Wasser enthalten als dem Volumen des Rund- oder Erlenmeyer- Kolbens entspricht. Zuletzt wird die Absperrung im Rohr oder im Schlauch geöffnet.



**Abb. 6-1** Versuchsaufbau „Ammoniak-Springbrunnen-Versuch“

*Beobachtung:*

Sobald die ersten Wassertropfen langsam in den tieferen Teil des Kolbens eindringen, entsteht schlagartig eine zunehmend kräftigere Fontäne. Dieser „Springbrunneneffekt“ hält so lange an, bis der Kolben nahezu völlig mit Flüssigkeit gefüllt ist.

*Erklärung:*

Ammoniak löst sich vorzüglich in Wasser.

Bei 20 °C löst 1 dm<sup>3</sup> Wasser ca, 700 dm<sup>3</sup> gasförmiges Ammoniak.

Dabei läuft folgende chemische Reaktion ab:



Ammoniak-Molekül + Wasser-Molekül → Ammonium Ion + Hydroxid Ion

Es entsteht Ammoniumhydroxid NH<sub>4</sub>OH, umgangssprachlich auch „Salmiakgeist“ oder „Ammoniakwasser“ genannt. Ammoniak reagiert somit im Wasser als Base und bewirkt den Umschlag des neutralen Wassers in den alkalischen Bereich.

Bereits eine geringe Wassermenge, die mit dem Ammoniakgas im Kolben in Berührung kommt, bindet schlagartig einen Teil des Ammoniakgases. Da das Ammoniakgas im gelösten Zustand ein wesentlich geringeres Volumen einnimmt, entsteht ein

Unterdruck. Dieser saugt zunehmend weiteres Wasser in den Kolben und verstärkt damit den Unterdruck. Das Wasser schießt fontänenartig im Kolben immer schneller nach oben und der Springbrunneneffekt bildet sich zunehmend stärker aus, bis der Kolben nahezu vollständig Flüssigkeit enthält.

**Verunreinigungen durch Wasser** können u. a. folgende Ursachen haben:

- Das Wasser wurde nach dem Abdrücken unvollständig aus den Behältern oder Wärmetauschern entfernt.
- Kondenswasser hat sich im Rohrsystem aufgrund von Temperaturschwankungen vor der Befüllung mit Kältemittel gebildet.
- Wasser dringt bei Reparaturarbeiten in den Ammoniakkreislauf ein. Diese Gefahr besteht z. B. vorwiegend bei im Freien montierten Ventilstationen.
- Durch Undichtigkeiten zwischen der Wasserseite und der Ammoniakseite in Wärmetauschern dringt Wasser ein.
- Aus der Feuchtigkeit von Luft, die aus der Umgebung durch Undichtigkeiten im Kreislauf, wie u. a. Wellenabdichtungen und Stopfbuchsen, angesaugt wird. Besonders gefährdet sind Anlagen, die ständig unterhalb des Atmosphärendrucks arbeiten. Den Wassergehalt kann auch eine kontinuierliche Entlüftung der Anlage nicht mindern, da dabei ausschließlich trockene Luft entfernt wird. Die Feuchtigkeit bleibt infolge der hohen Affinität zwischen Ammoniak und Wasser weiterhin vollständig im Kreislauf. Dort können sich im Lauf der Betriebszeit erhebliche Wassermengen sammeln, wie aus der nachstehenden Beispielrechnung hervorgeht.

**Beispiel: Welche Wassermenge aus der Feuchte der Umgebungsluft kann in eine Ammoniak-Kälteanlage durch Undichtigkeiten über längere Zeiträume eintreten?**

**Annahme:** Eine  $\text{NH}_3$ -Anlage saugt infolge von Undichtigkeiten eine Luftmenge von durchschnittlich  $2 \text{ dm}^3/\text{min}$ , Zustand  $25 \text{ }^\circ\text{C} / 60 \text{ } \%$  r. F., aus dem Maschinenraum in den Kältemittelkreislauf.

**Frage:** Mit welcher Wassermenge ist der Kältemittelkreislauf trotz regelmäßiger Entlüftung nach einem Jahr Betriebszeit belastet?

**Lösung:**

Innerhalb eines Jahres wird folgende Luftmenge  $\dot{m}_L$  angesaugt:

$$\dot{m}_L = 2 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot 365 \frac{\text{d}}{\text{a}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ dm}^3}$$

$$\dot{m}_L = 1051 \frac{\text{m}^3}{\text{a}}$$