

## **Kühlhaus-Kälteanlagen in Ost-Deutschland, Havarien in den Jahren 1970 bis 1990**

**Dr. Günter Kaul**

Vortrag anlässlich der Historikertagung 2009 – Gemeinschaftsveranstaltung des  
HKK und der DKV Senioren vom 18. – 20.06.08 in Aschaffenburg

In der ehemaligen DDR waren 40 Kühlhäuser im Kombinat Kühl- und Lagerwirtschaft zusammengefasst. Sie wurden von 9 Kühlbetrieben verwaltet, die von Rostock bis Chemnitz, dem seinerzeitigen Karl-Marx-Stadt, angesiedelt waren. Das Kombinat Kühl- und Lagerwirtschaft fungierte als Wirtschaftleitendes Organ und war dem Ministerium für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft unterstellt. Außer den 40 Kühlhäusern gab es noch einzelne, kleinere Objekte, wie zum Beispiel in der Fleischwirtschaft. Die zentral geleiteten Kühlhäuser im Osten verfügten insgesamt über 1.593.000 m<sup>3</sup> gekühltes Volumen und 1.949 t/d Gefrierkapazität. Als Vergleich dazu gab es während der Wendezeit in Westdeutschland 24 zentralisierte Kühlhäuser mit einem gekühlten Volumen von 1.946.000 m<sup>3</sup> und einer Gefrierkapazität von 1.096 t/d. Diese Kühlhäuser gehörten und gehören noch heute der Markt- und Kühlhallen AG München. Im Zuge der deutschen Wiedervereinigung haben sich viele marktwirtschaftliche Aspekte geändert, weshalb Anfang der 90er Jahre in den Neuen Bundesländern nur noch 16 Kühlhäuser in Betrieb waren. Der aktuelle Stand weicht natürlich von dem geschilderten ab.

Nun zur Technik. Die Altersstruktur der 40 Kühlhäuser, die sämtlich mit dem Kältemittel Ammoniak arbeiteten und damit auch das technische Niveau, lassen sich wie folgt gruppieren:

- 12 Altkühlhäuser erbaut vor 1930
- 12 Standardkühlhäuser erbaut in den 50er Jahren
- 3 Alt-Flachkühlhäuser erbaut Ende der 50er Jahre
- 6 Kühlhaus -Typ Treuen erbaut in den 60er/70er Jahren
- 7 Kühlhaus -Typ Rostock erbaut in den 70er/80er Jahren

Die Altkühlhäuser waren Etagenbauten und erreichten Kühlraumtemperaturen von ca. -15°C. Es wurde das Prinzip der indirekten Kühlung angewendet, d.h. die NH<sub>3</sub> Kälteanlage beschränkte sich auf das Maschinenhaus, während die Verdampfer eine Chlorkalzium-Sole kühlten, die zu den Luftkühlern in den Etagen gepumpt wurde. Als Luftkühler wurden überwiegend Nassluftkühler verwendet. Die zerstörerische Wirkung der Sole auf Zement gebundene Bauteile und Korrosion an den Soleleitungen hat großen Schäden an diesen Kühlhäusern verursacht. Als Verdichter kamen zu großem Teil liegende Maschinen mit großem Zylinderdurchmesser zur Anwendung. In einem stillgelegten Kühlhaus in Berlin steht heute noch ein derartiger Verdichter der ehemaligen Maschinenfabrik Halle. Der HKK ist bemüht, mindestens die Maschine zur musealen Anschauung zu gewinnen. In zwei dieser Kühlhäuser, in Berlin und Dresden, wurde bis in die 80er Jahre noch Blockeis produziert und von Berlin ins „kapitalistische Ausland“, West-Berlin, exportiert.

Die 12 Standardkühlhäuser sind ebenfalls Etagenkühlhäuser mit erreichbaren Kühlraumtemperaturen von ca. -15/-18°C. Das kältetechnische Grundkonzept der Altkühlhäuser wurde auch bei den Standardkühlhäusern angewendet. Als Maschinen jedoch kamen riemengetriebene, stehende 2-Zylinder-Verdichter, der

Maschinenfabrik Halle, als getrennte Hoch- und Niederdruck-Verdichter zum Einsatz. Als Dämmmaterial für die kalten Räume musste Piatherm verwendet werden. Da dieser Dämmstoff hygroskopisch ist und die Wasserdampfsperren an der Außenseite der Dämmung schlecht war, kam es im Laufe der Jahre zur Vereisung und so zur Minderung der Wärmedämmung. Dieser Umstand und die Tatsache, dass die Raumtemperatur von  $-15/ -18^{\circ}\text{C}$  nicht mehr ausreichte, wurde Anfang der 80er Jahre begonnen, die Standardkühlhäuser mit großem Aufwand zu rekonstruieren.

Die Kühlhäuser vom Typ Treuen waren Flachkühlhäuser auf einer Gesamtgrundfläche von über  $12.000\text{ m}^2$  und einem gekühlten Volumen von ca.  $68.000\text{ m}^3$ . Die kältetechnische Konzeption war nun gekennzeichnet von direkter Kühlung d.h., die Kälteanlage mit Rezirkulationsprinzip, Abscheidesammlern und Luftkühlung mit direkter Verdampfung in den Kühlräumen für  $-22^{\circ}\text{C}$ . Die anfangs eingebauten Rohrsysteme zur Luftkühlung bereiteten allerdings Probleme beim Abtauen, weshalb begonnen wurde s.g. Zentralluftkühler einzubauen. Zur Kälteerzeugung kamen 4- und 8-Zylinder-Verbundverdichter der Maschinenfabrik Halle bei  $-33$  bis  $-36^{\circ}\text{C}$  Verdampfungstemperatur zum Einsatz. Vor den Verdunstungsverflüssigern wurde später begonnen, Doppelrohrsysteme einzubauen, um die Kompressionswärme zur Brauchwassererwärmung zu nutzen. Eine Achillesverse hatte aber dieser Kühlhaustyp doch, nämlich die Deckendämmung der Kühlräume, die mit Teerpappe kaschiertem Piatherm realisiert wurde. Von diesen 6 Kühlhäusern sind deshalb heute auch nur noch 3 in Betrieb.

Die Kühlhäuser vom Typ Rostock sind Flachkühlhäuser mit einem Gefrierlagervolumen von ca.  $50.000\text{ m}^3$  und einem Kühllagervolumen von ca.  $20.000\text{ m}^3$ . Hier wurden zwei Baukörper realisiert, dem Gefrierlagerhaus und dem gesonderten Kühllagerhaus in dem auch das Maschinenhaus integriert ist. In den Gefrierlagerräumen wurde bis zu  $-28^{\circ}\text{C}$  erreicht. Auch hier wurde eine  $\text{NH}_3$  – Kälteanlage eingesetzt, die nach dem Rezirkulationsprinzip, mit Zentralluftkühlern und Schraubverdichtern von Kühlautomat arbeitete. Hier kamen als Dämmstoff Polystyrol und Schaumglas zur Anwendung. Die Technik und auch die Automatisierung entsprachen dem seinerzeitigen Weltstand.

Die Gewährleistung des Anlagenbetriebes in den Kühlhäusern erforderte oft besondere Anstrengungen. Grundsätzlich wurden als Bedienungspersonal nur qualifizierte Maschinisten eingesetzt, die von Zeit zu Zeit aktuell fachlich unterwiesen wurden. Außerdem wurden etwa jährlich s.g. Antihavarietrainings durchgeführt. Die materiellen Möglichkeiten zur Sicherung der komplexen Instandhaltung waren etwas komplizierter. Der Bedarf an neuen kältetechnischen oder sonstigen Ausrüstungen, Ersatzteile, Austauschmaschinen, Erweiterungen und Neubauten mussten beim wirtschaftsleitenden Organ angemeldet werden. Dort wurden sie von allen Bedarfsträgern zusammengefasst und an das zuständige Ministerium gemeldet. Das Ministerium entschied dann in Kenntnis der möglichen Kapazität der Fachindustrie in welchem Umfang den Bedarfsanmeldungen entsprochen werden kann. Dieses materielle Volumen hieß Bilanzanteil. Der Bedarfsträger konnte dann im Rahmen des Bilanzanteiles mit den einschlägigen Fachbetrieben Liefer- und Leistungsverträge abschließen. Die Bilanzanteile reichten aber in den meisten Fällen nicht aus. Es wurden sogar Überlegungen angestellt dringend benötigte Ausrüstungen zu importieren. Die seinerzeitige Sowjetunion kam dafür in Betracht. Trotz allem muss man im Nachhinein feststellen, dass auch im Falle havariebedingten Bedarfes größeren Umfangs, immer eine Lösung gefunden werden konnte.

Wenngleich der Sicherung des Anlagenbetriebes größte Aufmerksamkeit gewidmet wurde, konnten Vorkommnisse und Havarien nicht gänzlich ausgeschlossen werden. In den 40 Kühlhäusern ereigneten sich in den Jahren von 1970 bis 1990 insgesamt 27 Unregelmäßigkeiten bzw. Havarien (**Tabelle 1**), meist mit NH<sub>3</sub>-Emissionen. Dabei waren 2 Todesopfer und 6 Verletzte zu beklagen. Bei 4 weiteren Havarien waren Warenqualitätsminderungen die Folge. Es gab 6 Kühlhausbrände, vornehmlich verursacht durch Fehler bei thermischen Füge- und Trennarbeiten also dem Schweißen, wobei in 3 Fällen starke Zerstörungen auftraten, das austretende Ammoniak jedoch nicht zu Havarieeskalationen führte.

Bei den Vorkommnissen mit NH<sub>3</sub>-Austritt handelt es sich um folgende Ereignisse:

- 7 mal Schweißnaht- oder Rohrrisse durch Korrosion von außen, Schweißmängel und dynamische Rohrüberlastungen;
- 4 mal Flüssigkeitsschläge durch Mängel der Sicherheitstechnik;
- 7 mal bei der Durchführung von Reparaturarbeiten;
- 3 mal grundlegende Technologiefehler bei Arbeiten und mangelnder Brandschutz;
- 2 mal Explosionen bzw. Verpuffung durch Fehlhandlungen bei Wartungsarbeiten bzw. durch thermische Reparaturarbeiten an ungenügend entleerten Anlagenteilen.

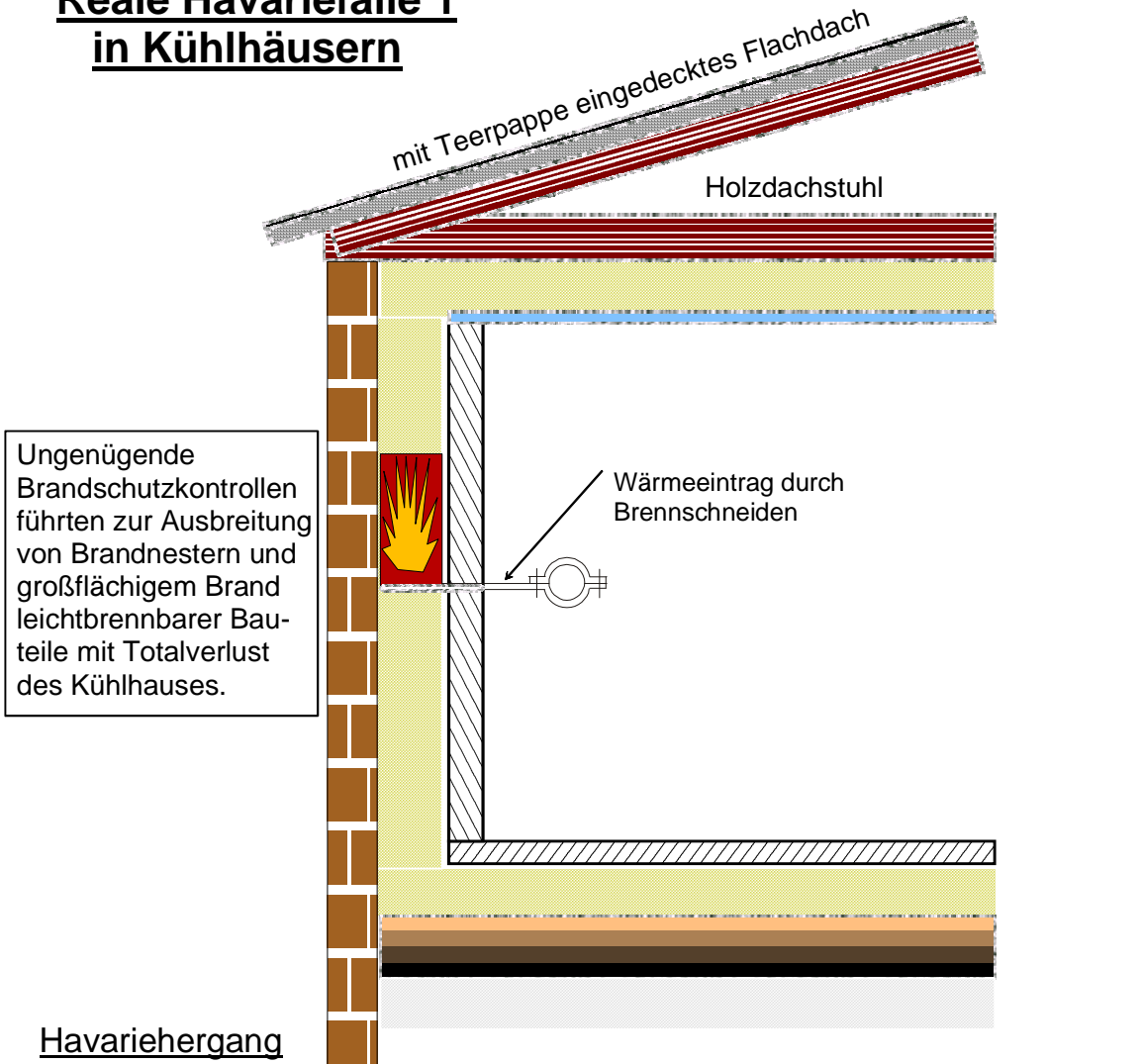
In 2 Fällen kam es zu Vermischungen von Kühlsole mit Ammoniak durch Korrosion und durch Fehlbedienung der NH<sub>3</sub> beaufschlagten Bündelrohr- und Steilrohrverdampfer, in deren Folge starke Salzausfällungen auftraten, die zum Anlagenausfall führten. In 2 weiteren Fällen führte Nichtbeachtung von Unfallverhütungsvorschriften zu Verletzungen bei Reparaturarbeiten, sowie zu lokal begrenzten Bränden.

Es ist also festzustellen, dass fast ausnahmslos subjektive Ursachen zu den Havarien führten. Eine Auswertung aufgetretener Fälle ist deshalb zwingend notwendig, um Erkenntnisse, die dabei gewonnen wurden, breitenwirksam zu verallgemeinern. Abschließend sollen 5 (**Bild 1-5**) spektakuläre Havariefälle erläutert werden.

**Tabelle 1 - Zusammenstellung der Havarien von 1970 bis 1990**

Jahr	Kühlhaus	Kühlhaustyp	Havarieart	Ursache	Primärgrund	Auswirkung
1972	Rostock-Bramow	Alt-Flach-KH	Brand	Schweißen, Brand Isolierung	Nichtbeachtung Brandschutz AO	Totalschaden ein Toter
1974	Dresden, Werk I	Alt-Etagen-KH	Verpuffung	Schweißen, Zünd. NH <sub>3</sub> -Luftgemisch	Nichtbeachtung Brandschutz AO	Personenschaden zwei Verletzte
1976	Rostock-Marienehe	Flach-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	Schweißnahtbrüche	schlechte Schweißgüte	2 Wochen Stillstand
1976	Dahlen	Flach-KH	Brand	Schweißen, Brand Luft, Öl, NH <sub>3</sub> , Isolierung	falsche Rep.-Technologie	Maschinenhaus Totalschaden
1976	Dresden, Werk I	Alt-Etagen-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	Dichtungsdefekt NH <sub>3</sub> -Pumpe	Bedienfehler, beids. Absperrung	Personenschaden ein Verletzter
1976	Leipzig, Werk I	Alt-KH	Explosion	Einsaugen zündf. Gemisches	falsche Rep.-Technologie	Totalschaden Anl. ein Verletzter
1976	Treuen	Flach-KH	Brand	Austritt zündf. Gemisches	funktionsunfähige Sicherheitstechnik	Maschinenhaus Totalschaden
1977	Kyritz	Flach-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	Luft im NH <sub>3</sub> Verdichterausfall	falsche Rep.-Technologie	Warenverderb
1977	Triptis	Flach-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	Flüssigkeits-schlag	unwirksamer Niveauwächter	Verdichter-Zerstörung
1978	Gera	Etagen-KH	Brand	Rohrdefekt, elekt. Zündung NH <sub>3</sub> /Öl	Verschleiß Korrosion	partieller Anlagenausfall
1979	Halle, Werk IV	Flach-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	Rohrriß	Materialfehler	Warenverderb
1979	Weimar	Alt-Etagen-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	Bersten eines Ölbehälters	fehlende Sicherheitsgeräte	Personenschaden ein Toter
1979	Ebeleben	Flach-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	Schweißnahtbrüche	dynam. Stöße NH <sub>3</sub> Flüssigkeit	befristeter Anlagenausfall
1979	Frankfurt/O	Flach-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	Schweißnahtdefekt Luftkühler	schlechte Schweißgüte	Warenverderb
1979	Berlin, Werk V	Alt-Etagen-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	mechanischer Leitungsschaden	unkorrekte Warenstapelung	befristeter Anlagenausfall
1979	Magdeburg	Alt-Etagen-KH	Brand	Ölrestentzündung Maschinenhaus	Nichtbeachtung der ABAO	begrenzte Brandauswirkung
1982	Demmin	Flach-KH	Arbeits-Unfall	Demontagearbeiten	falscher technolog. Arbeitsablauf	Personenschaden ein Verletzter
1982	Berlin, Werk V	Alt-Etagen-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	Wandeinsturz d. Frostschaden	Verschleiß d. Bausubstanz	befristeter Anlagenausfall
1983	Berlin, Werk V	Alt-Etagen-KH	Brand	Schweißfunken b. Demontagen	falscher technolog. Technologie	Arbeitsbeschränkung
1983	Leipzig, Werk IV	Etagen-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	NH <sub>3</sub> Flüssigkeit-schlag	dynamische Rohrbeanspruchung	befristeter Anlagenausfall
1983	Prenzlau	Etagen-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	NH <sub>3</sub> Flüssigkeit-schlag	defekte Niveauregelung	ein Verletzter zerstört. Verdichter
1984	Halle, Werk I	Etagen-KH	Brand	Entzünd. elektr. KR-Tür-Heizung	defekter Thermo-Schutz	Türschaden KH-Hygiene
1985	Brandenburg	Etagen-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	NH <sub>3</sub> Flüssigkeit-schlag	fehlender Überfüllungsschutz	zerstörter Verdichter
1987	Kamenz	Flach-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	400 mm Riss in NH <sub>3</sub> Saugleitung	Sprödbbruch durch NH <sub>3</sub> Druckstoß	befristeter Anlagenausfall
1987	Berlin, Werk II	Alt-Etagen-KH	NH <sub>3</sub> in Sole Sole in NH <sub>3</sub>	undichter Bündelrohrverdampfer	mangelnde Solekonzentr. Kontrolle	Anlagenausfall Umlagerung
1987	Berlin, Werk IV	Etagen-KH	NH <sub>3</sub> in Sole Sole in NH <sub>3</sub>	undichter Steilrohrverdampfer	mangelnder Unterdruckschutz	Temp.-Anstieg in Kühlräumen
1989	Rostock-Marienehe	Flach-KH	NH <sub>3</sub> Ausbruch	Riss am Rohrstutzen zum SV	Rohrschwingungen Ventilschläge	befristeter Anlagenausfall

## Reale Havariefälle 1 in Kühlhäusern



### Havariehergang

Es sollte eine alte Rohrleitung in einem Kühlraum demontiert werden. Darauf hin wurden die in die Wand eingelassenen Rohrschellen mittels Brennschneiden abgetrennt.

Ergebnis: Durch den Wärmeeintrag entzündete sich infolge der Vormauerung unsichtbar die dahinterliegende Wärmedämmung aus Kork. Stunden später brannte das gesamte Flachdach, nachdem sich der Brand in der Dämmung bis zum Holz-Dachstuhl durchgefressen hatte. Die Brandausbreitung war so intensiv und großflächig, daß Löscharbeiten nicht mehr helfen konnten. Das gesamte Kühlhaus wurde vernichtet.

### Fazit:

Bei thermischen Arbeiten muß immer vorher eine mögliche Brandausbreitung geprüft und sicher verhindert werden.

Dr.-Ing. Günter Kaul

**Bild 1**

## Reale Havariefälle 2 in Kühlhäusern

Explosion im Abscheider und Brand mit Totalschaden im Maschinenhaus durch falsches Schutzgasspülen während der Reparaturschweißarbeiten

Havariehergang

Es bestand die Notwendigkeit einen NH<sub>3</sub> - Pumpenanschluß am NH<sub>3</sub> - Abscheidesammler zu verändern. Der Abscheidesammler wurde vom NH<sub>3</sub> entleert und entölt. Nicht erkenntlich war, daß im Abscheider wegen des eintauchenden Abgangsrohres Ölreste mit gelöstem NH<sub>3</sub> verblieben waren. Dann wurde an dem abzutrennenden Flansch das Brennschneiden begonnen, wobei vorher Schutzgas an der Brennstelle vorbei eingeleitet wurde. Durch die Ejektorwirkung am Flanscheintritt ist auch Luft in den Abscheider eingedrungen es gelangten außerdem auch Schweißfunken mit hinein. Ergebnis: Das zündfähige Gemisch aus NH<sub>3</sub>, Öl, Luft und N<sub>2</sub> verpuffte und die Brantgase schossen aus dem Rohr herauss und entzündeten alles brennbare der gesamten Umgebung. Der Maschinist betätigte den Notschalter worauf alles stromlos gemacht wurde. Die Folge war, daß die Löschwasserpumpen im ersten Moment kein Wasser lieferten. Die Brantbekämpfung konnte also erst verzögert einsetzen. Die gesamten Wärmedämmungen der kalten Anlagenteile verbrannten, die große Hitzeentwicklung zerstörte weitere Anlagenabschnitte und vor allem vollständig die elektrischen Kraft- und Steuerstromeinrichtungen.

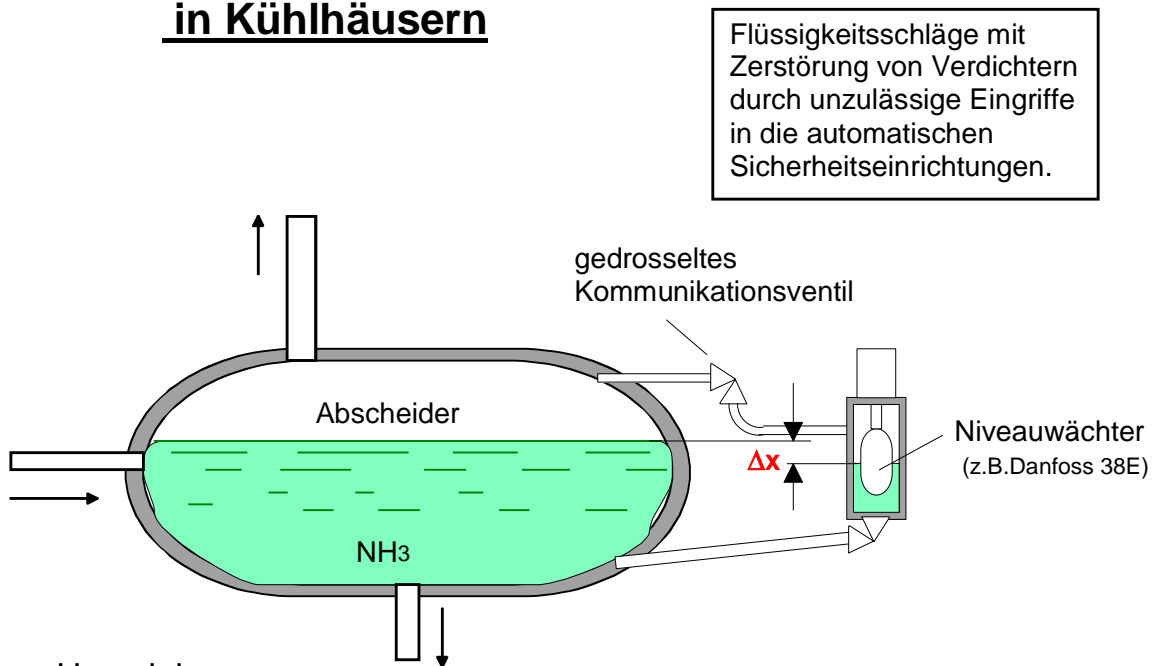
Fazit

Schutzgasspülungen an bereits vorher benutzten Ammoniak - Anlagenteilen müssen immer **von Innen nach Außen** geführt werden.

Dr.-Ing. Günter Kaul

Bild 2

## Reale Havariefälle 3 in Kühlhäusern



### Havariehergang

Durch offensichtliche Überfüllung der Anlage mit Kältemittel reagierte häufig der Niveauwächter und schaltete den zugehörigen Verdichter ab. Um das wiederholte Abschalten/Absaugen/Wiederanfahen zu vermeiden, wurde das obere Kommunikationsventil zwischen Niveauwächter und Abscheider gedrosselt und so die Schutzfunktion träge gemacht.

Ergebnis: Infolge des Wärmeeinfalls aus der Umgebung verdampft ein Teil des NH<sub>3</sub> im Gehäuse des Niveauwächters, jedoch durch die Drosselung kann der Dampf nicht so schnell abströmen - es entsteht ein höherer Druck als im Abscheider wodurch sich eine Niveaudifferenz  $\Delta x$  einstellt. Das wiederum hat zur Folge, daß das maximal zulässige Niveau im Abscheider, das Gefahrenniveau, überschritten wurde. Die Saugdämpfe rissen Flüssigkeitsanteile mit und es kam zu intensiven Flüssigkeitsschlägen an den Verdichtern, worauf 2 Zylinderdeckel von Verdichtern barsten und durch das Maschinenhaus flogen. Zum Glück blieb es beim materiellen Schaden.

### Fazit

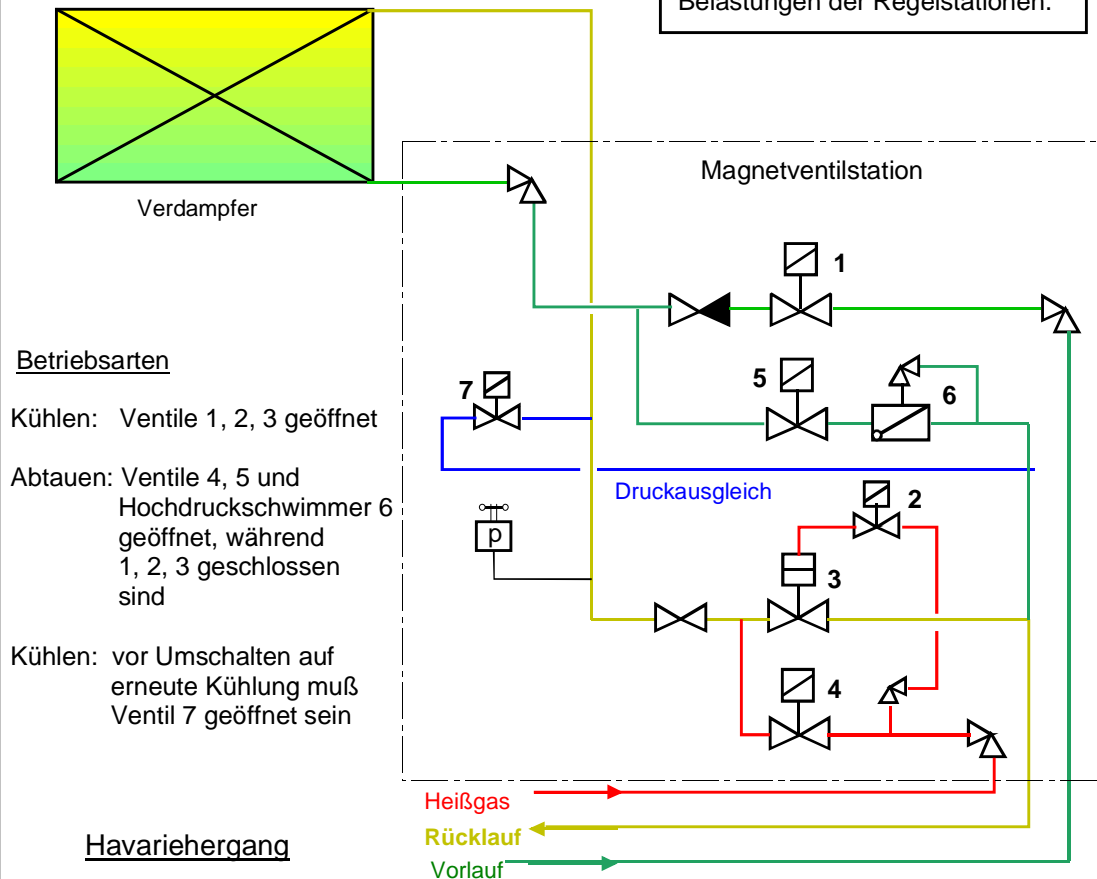
Bei fehlerhaften Betriebsverhalten ist immer der Primärfehler zu suchen, der dann abgestellt werden muß. Es ist unzulässig nur den Sekundärfehler - das Abschalten - durch Manipulation der Sicherheitsautomatik zu beseitigen.

Dr.-Ing. Günter Kaul

**Bild 3**

## Reale Havariefälle 4 in Kühlhäusern

Häufige NH<sub>3</sub> - Emissionen durch gerissene Schweißnähte in Folge unzulässiger dynamischer NH<sub>3</sub> - Belastungen der Regelstationen.



Bei der Inbetriebnahme von Kühlhäusern einer neuen Bauserie ereigneten sich mehrfach Schweißnahtrisse und Rohrbrüche mit anschließenden umfangreichen NH<sub>3</sub> - Emissionen und zwangsläufigen Betriebsunterbrechungen.

Ergebnis: Beim Abtauen stellt sich im Verdampfer gegenüber dem Saugdruck ein sehr viel höherer Druck ein. Beim Öffnen des Flüssigkeitsvorlaufventiles 1 treffen Stoffströme mit rd. 15 bar Druckdifferenz aufeinander woraus die unzulässigen Belastungen und Brüche entstehen.

### Fazit:

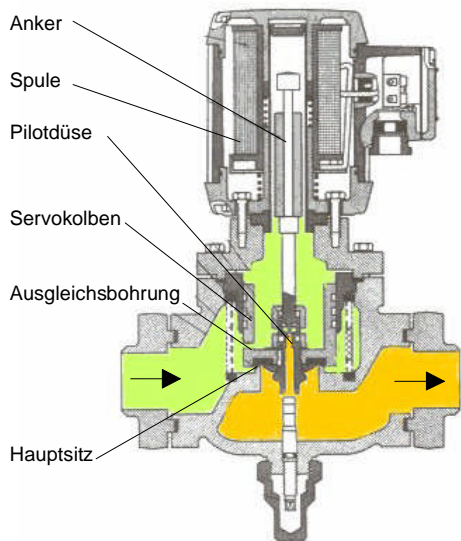
Vor Prozeßumschaltung muß ein Druckausgleich hergestellt werden, weshalb in den Regelstationen der **druckabhängige Ausgleich** nachgerüstet wurde. Auch bei langen Rohrleitungswegen mit anschließend starker Richtungsänderung müssen die dynamischen Kräfte berücksichtigt werden, die aus Differenzdruckabhängiger Beschleunigung von Flüssigkeitsanteilen im Gasstrom resultieren können.

Dr.-Ing. Günter Kaul

**Bild 4**



## Reale Havariefälle 5 in Kühlhäusern



Beim Öffnen wird der Anker gehoben und der Druck kann über die Pilotdüse abströmen, der Servokolben wird vom Anker hochgehalten. Beim Schließen wird die Pilotdüse geschlossen, der Vordruck baut sich über dem Servokolben auf, das Ventil wird geschlossen.

Falsche Reparaturtechnologien führten zu plötzlichem, intensivem NH<sub>3</sub> - Ausbruch mit nachfolgendem Warenverderb durch Kontaminierung mit Kältemittel. In einem Fall weitete sich der Schaden auf partielle Anlagenzerstörung infolge Explosion aus.

### Havariehergang

#### **Fall A)**

An einer Flüssigkeitsleitung sollte eine Reparatur durchgeführt werden. Der Leitungsabschnitt wurde abgesperrt, an der Abflußseite jedoch nur durch ein Magnetventil.

Ergebnis: Beim Öffnen des Rohrabschnittes wurde das Magnetventil durch die nun umgekehrte Druckdifferenz aufgedrückt und es trat NH<sub>3</sub>-Flüssigkeit intensiv aus.

#### **Fall B)**

An einer Saugleitung sollte eine Reparatur durchgeführt werden. Der Anlagenabschnitt wurde auf Unterdruck gefahren und die Rohrleitung geöffnet.

Ergebnis: Während der Reparatur an der geöffneten Saugleitung wurde soviel Luft in die Anlage eingesaugt, daß infolge dessen der stark gestiegene Anlagendruck die NH<sub>3</sub>-Verdichter abschalteten. Der Druck in der Saugleitung stieg daraufhin und es kam zu einem intensiven NH<sub>3</sub>-Austriff.

#### **Fall C)**

An einer Anlage mit zwei liegenden Verdichtern mußte an einem Verdichter ein Arbeitsventil gewechselt werden. Es wurde vom ersten Verdichter der zweite auf Unterdruck abgesaugt, Der zylinderkopf wurde geöffnet um das Ventil auszutauschen. Während dessen wurde am ersten Verdichter die Stopfbuchse der Kolbenstange geölt um die Erwärmung zu mindern.

Ergebnis: Es gelangte Luft in die Anlage und es bildete sich im ersten Verdichter ein zündfähiges Gemisch aus NH<sub>3</sub>, Luft und erhitzten Öldämpfen. Es gab eine Explosion in der Anlage, die den Ölabscheider und die gesamte Druckleitung bis zum Verflüssiger aufriß und in ebenes Blech verwandelte.

#### Fazit:

Vor Inangriffnahme von Eingriffe in die Anlage müssen Reparaturtechnologien dem Personal vorgegeben werden und auf alle funktionalen Zusammenhänge und Gefährdungen hingewiesen werden.

Dr.-Ing. Günter Kaul

**Bild 5**