

Ergebnis einer Schweizer Studie im Auftrag des BFE

Risikoanalyse von natürlichen Kältemitteln

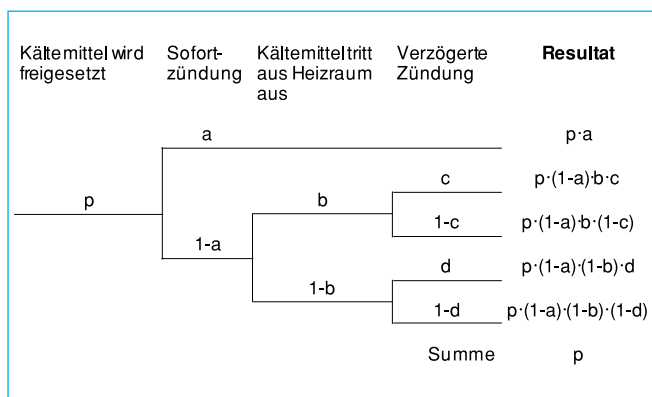
Dr. Martin Wolfer, Zürich

Was ist eine quantitative Risikoanalyse?

In der quantitativen Risikoanalyse werden ausgewählte, als denkbar und relevant erachtete, Schadensszenarien hinsichtlich dem Schadenausmaß und der zugehörigen Wahrscheinlichkeit quantifiziert. Zur Abschätzung des Schadenausmaßes existieren heute diverse Modelle, mit denen die Freisetzungs- und Ausbreitungsvorgänge simuliert und die Wirkung auf Personen oder die Umwelt abgeschätzt werden können. Die Palette

Individuelles Risiko:

Das individuelle Risiko entspricht der Wahrscheinlichkeit, daß eine bestimmte Person (z. B. der Hausbesitzer oder der Anlagenbauer) infolge eines Unfalls verletzt oder getötet wird. Diese Art der Beschreibung wird für die Risiken der Wärmepumpe im Einfamilienhaus gewählt. Damit wird die Frage beantwortet, ob der Hausbesitzer ein relevantes Risiko



Beispiel eines Ereignisbaums: Eine Verzweigung nach oben bedeutet Bejahung der Aussage in der Kopfzeile. Jedes Ereignis besitzt eine Wahrscheinlichkeit (a-d). Zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit werden die einzelnen Wahrscheinlichkeiten entlang des Ereignispfades durchmultipliziert

reicht heute von sehr einfachen „Taschenrechnermodellen“ bis zu hoch komplexer Computersoftware.

Die Wahrscheinlichkeiten werden wo immer möglich anhand statistischer Unfalldaten bestimmt. Wo diese fehlen, werden die zu untersuchenden Systeme mit Fehlerbäumen modelliert. Dazu wird das System in Untersysteme aufgeteilt, für die allgemeine Versagenshäufigkeiten bekannt sind (z. B. Versagen von Leitungen, Ventilen, Kompressoren etc.). Ereignisabläufe werden mittels Ereignisbäumen modelliert.

Die Resultate werden entweder als individuelle oder als kollektive Risiken dargestellt.

auf sich nimmt, wenn er sich für den Kauf einer Wärmepumpe mit Propan oder Ammoniak entscheidet, und ob das Risiko für den Lieferanten bzw. Anlagenbauer der Pumpe tragbar ist.

Kollektives Risiko:

Das kollektive Risiko wird graphisch als Risikosummenkurve dargestellt, mit der y-Achse als der Wahrscheinlichkeitsachse und der x-Achse als der Ausmaßachse. Damit wird beispielsweise die Frage beantwortet, ob die Gesellschaft die Risiken natürlicher Kältemittel im Supermarktbereich akzeptieren kann.

zum Autor

Dr. Martin Wolfer,
Basler & Hofmann Ingenieur
und Planer AG,
Zürich



Obwohl der Einsatz von halogenierten Kohlenwasserstoffen (FCKW; FKW) aus Umweltgründen auf Kritik stößt, haben sie doch einen gewichtigen Vorteil: Sie sind relativ ungefährlich in bezug auf ihre Giftigkeit und Brennbarkeit. Dies ist mit ein Grund für die weite Verbreitung, die diese Stoffe gefunden haben. Sollen sie nun durch umweltfreundlichere, natürliche Kältemittel ersetzt werden, so stellt sich die Frage, ob die Umweltvorteile die Sicherheitsnachteile überwiegen, was in der Schweiz im Rahmen einer Studie näher untersucht wurde.

Das Bundesamt für Energie (BFE) in Bern hat im August 1999 eine quantitative Risikoanalyse in Auftrag gegeben, in der die Risiken der natürlichen Kältemittel mit jenen von FKWs verglichen werden.¹

Umfang der Analyse

In der Risikoanalyse wurden die folgenden vier Systeme betrachtet:

1. Eine Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus mit 1 bis 2 kg Kältemittel. Betrachtete Kältemittel: Ammoniak, Propan, R 134a.
2. Zum Vergleich: Eine Zentralheizung mit Erdgas in einem Einfamilienhaus (das Risiko derartiger Systeme ist in der Öffentlichkeit akzeptiert).
3. Eine zentrale Kälteanlage in einem Supermarkt mit 20 bis 40 kg Kältemittel. Betrachtete Kältemittel: Ammoniak, Propan, R 404A.
4. Dezentrale Kühl- und Tiefkühlleinheiten in einem Supermarkt mit rund 200 g Kältemittel. Betrachtete Kältemittel: Ammoniak, Propan, R 404A

Definition des Systems

Für die Risikoanalyse mußte neben der technischen Anlage auch die Umgebung definiert werden. Diese wurde wie folgt angenommen:

Wärmepumpe Einfamilienhaus

Aufstellungsort:

Eigener Heizungsraum im Untergeschoß, Fläche 15 m², Höhe 2,2 m)

Belüftung:

Belüftung des Pumpengehäuses mit einer Luftwechselzahl von 15/h. Die Belüftung läuft ständig, wenn der Verdichter läuft, und ständig mit Einschalten über einen Sicherheitsdruckbegrenzer bei fallendem Druck, wenn der Verdichter steht (Gemäß SN 253 130, Anhang A, Lüftung, C: mech. Lüftung über spezielles Gerätegehäuse, Betriebsweise c)

Unterhalt, Wartung:

Maßnahmen, die das Öffnen der Kälteanlage mit einschließen, finden alle 5 Jahre statt

Umgebung:

Einfamilienhaus mit 500 m³ Wohnraum
Es wird angenommen, daß die Freisetzungshäufigkeit unabhängig vom Kältemittel ist.

Zentrale Kälteanlage in einem Supermarkt

Aufstellungsort:

Maschinenraum im Untergeschoß, Fläche 40 m², Höhe 3 m)

Belüftung:

Belüftung des Raumes mit max. 370 m³/h (Gemäß SN 253 130, Abschn. 6.5). Einschalten und Steuerung der Belüftung über die Raumtemperatur und Gasdetektoren

Gasdetektion:

Zwei unabhängige Gasdetektoren. Alarmgebung in der Zentrale und automatische Ansteuerung der Belüftung

Installation, Bedienung, Unterhalt, Wartung:

1. Fall: Der Umgang mit der Anlage erfolgt unabhängig vom Kältemittel mit der Sorgfalt, wie sie für den Umgang mit FKW üblich ist.
2. Fall: Der Umgang mit der Anlage erfolgt unabhängig vom Kältemittel mit der Sorgfalt, wie sie für professionell betreute Ammoniak-Großkälteanlagen üblich ist.

Umgebung:

Korridor, Länge 7 m × 30 m, Höhe 3 m angrenzend an Maschinenraum. Es halten sich durchschnittlich 5 Personen dort auf. Zwei Treppenaufgänge zur Verkaufsfläche von 1500 m² mit durchschnittlich 500 Kunden.

Dezentrale Kühl- und Tiefkühlleinheiten in einem Supermarkt

Anzahl: 50

Aufstellungsort:

Verkaufsfläche Supermarkt (siehe oben).

Risikoakzeptanzkriterien

Tabelle 1 zeigt verschiedene individuelle Risiken, wie sie für die Schweiz gelten.

Ursache	Individuelles Risiko (Todesfälle) pro 100 000 Mensch-jahre
Alkohol (80 g/Tag)	680
Rauchen	410
Bergsteigen	70
Autofahren	10
Fußgänger	3
Feuer	0,5
Ertrinken	0,5
Elektrizität	0,4
Blitzschlag	0,05
Schlangenbiß	0,001

Tabelle 1 Individuelle Risiken in der Schweiz pro 100 000 Menschjahre²

Währenddem die obersten Risiken als freiwillig eingegangene Risiken betrachtet werden können, gehören die untersten sicher in die Kategorie „unfreiwillig“. Die Grenze dazwischen liegt etwa bei 1 · 10⁻⁵ pro Jahr, d. h. daß neue technische Risiken sicher deutlich geringer als dieser Wert sein sollten. Zum Vergleich: Die geringste Sterblichkeit weisen Mädchen im Alter von etwa 10 Jahren mit 15 · 10⁻⁵ aus.

Für kollektive Risiken wurden im Zusammenhang mit der Störfallverordnung Akzeptanzkriterien definiert. Diese Kriterien beziehen sich jedoch nur auf Unfälle mit schweren Schädigungen, d. h. zum Beispiel auf solche mit mehr als 10 Toten. Die Kriterien können jedoch leicht auf Schäden kleineren Umfangs extrapoliert werden, was beispielsweise im Kanton Zürich für die dort zur Anwendung kommenden Akzeptanzkriterien auch getan wurde. Dasselbe Vorgehen wird in der vorliegenden Analyse zur Beurteilung der Personenrisiken im Supermarkt gewählt.

Modelle und Daten

Für die Analyse konnte auf verschiedene frühere Studien zurückgegriffen werden, die entweder durch Hofmann & Basler oder Dritte ausgeführt wurden. Die meisten Daten stammen aus folgenden Quellen:

- Working Fluid Safety, Annex 20 (veröffentlicht durch IEA Heat Pump Centre)
- Vier TNO-reports (CEN/TC 182/WG 5, N6, N7, N8, N9)
- Risk Assessments of Flammable Refrigerants (CEN/TC 182/WG 5, N40)
- Methodikbeispiel einer Risikoermittlung für die Ammoniak-Kälteanlage einer Kunsteisbahn (BUWAL, Entwurf)

Die möglichen Folgen der verschiedenen Freisetzungsszenarien erfolgten aufgrund einfacher Abschätzungen und Modelle unter Berücksichtigung der physikalischen Eigenschaften und des bekannten Ausbreitungsverhaltens der betrachteten Stoffe. Die Arbeiten von De'Longhi, D. Clodic und O. Kataoka wurden in die Überlegungen mit einbezogen.

¹ Der Schlußbericht des Projekts kann unter Tel. ++41 (31) 3 22 56 66 über das BFE bezogen werden

² Quelle: A. F. Fritsche, „Wie gefährlich leben wir?“, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1992

Resultate

Wärmepumpe Einfamilienhaus

Die individuellen Risiken für den Hausbesitzer und den Anlagenbauer sind in Bild 1 dargestellt. Es muß betont werden, daß die Zahlenwerte nur für die betrachteten Systeme Gültigkeit haben und nicht auf andere Systeme, d. h. andere Anlagen in anderer Umgebung übertragen werden dürfen.

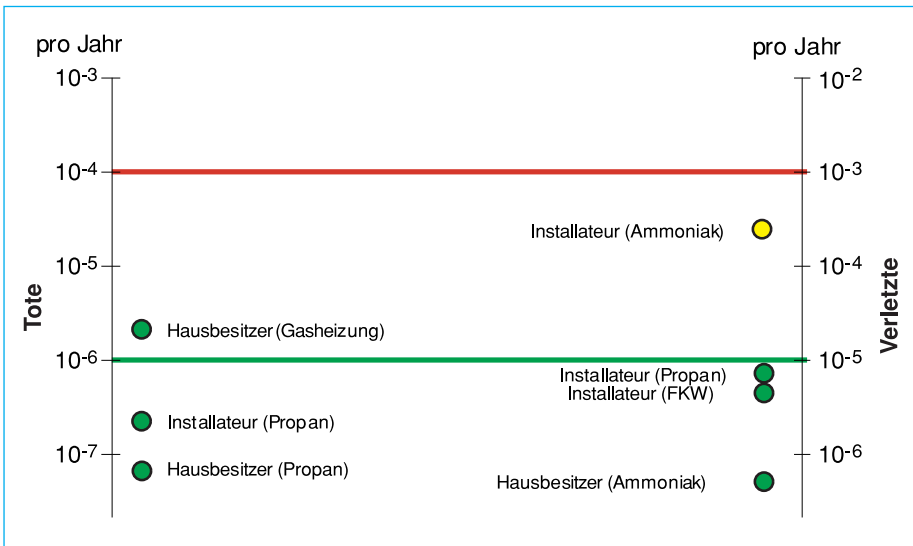


Bild 1 Individuelle Risiken einer Wärmepumpe in einem separaten Raum im Untergeschoß eines Einfamilienhauses im Vergleich mit den Akzeptanzkriterien

Die Punkte auf der linken Seite der Graphik beziehen sich auf die linke Skala, diejenigen rechts auf die rechte Skala. Risiken unterhalb der grünen Linie sind akzeptabel, Risiken oberhalb der roten Linie sind nicht akzeptabel. Dazwischen liegende Risiken müssen unter Berücksichtigung des individuellen und gesellschaftlichen Nutzens beurteilt werden.

Zentrale Kälteanlage in einem Supermarkt

Die kollektiven Risiken für Angestellte und Kunden in einem Supermarkt sind in Bild 2 dargestellt. Die mit „10⁻³“ bezeichneten Kurven basieren auf Freisetzungshäufigkeiten, wie sie heute für FKW-Anlagen üblich sind (statistische Werte). Die restlichen drei Kurven setzen bezüglich Herstellung, Installation, Betrieb und Wartung der Anlage einen Sicherheitsstandard voraus, wie er heute bei Ammoniakanlagen

in Kunsteisbahnen erreicht wird (generische Werte). Risiken unterhalb der unteren Linie sind akzeptabel, Risiken oberhalb der extrapolierten Akzeptabilitätslinie gemäß StfV sind nicht akzeptabel. Im Übergangsbereich liegende Risiken müssen unter Berücksichtigung des gesellschaftlichen Nutzens beurteilt werden. Ein Störfallwert von 0 entspricht einem Toten oder 10 Verletzten, ein Wert von -0,3 einem Verletzten, ein Wert von +0,3 zehn Toten oder 100 Verletzten.

Dezentrale Kühl- und Tiefkühl-einheiten in einem Supermarkt

Bei dieser Anlagenkonstellation sind die kollektiven Risiken für Angestellte und Kunden in einem Supermarkt in Bild 3 dargestellt. Wie bei den zuvor beschriebenen Anwendungsfällen ist darauf zu achten, daß die dargestellten Resultate nur für die betrachteten Systeme Gültigkeit haben und nicht auf andere (also andere Anlagen in anderer Umgebung) übertragen werden dürfen. Zur Beurteilung des Diagramms gelten die gleichen Voraussetzungen, wie sie im Falle der zentralen Supermarktkälteanlage beschrieben wurden.

Das zusammenfassende Ergebnis

Bei der Zusammenfassung der Ergebnisse muß berücksichtigt werden, daß verschiedene Annahmen zu treffen waren und einfache Modelle verwendet wurden. Dennoch lassen sich einige belastbare Aussagen machen:

1. Das individuelle Risiko für Einfamilienhausbesitzer ist vernachlässigbar, wenn Wärmepumpen mit Ammoniak oder Propan installiert werden, die dem Stand der Technik entsprechen und Füllmengen bis 1 kg enthalten. Der Risikovergleich mit einer Gasheizung fällt günstig aus. Zu Anlagen mit wesentlich

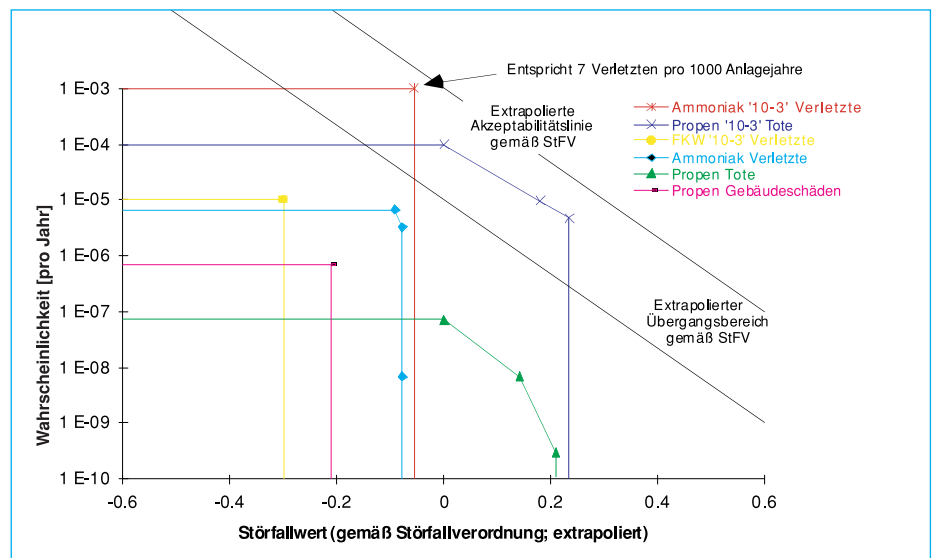


Bild 2 Risikosummenkurven im W/A-Diagramm für eine zentrale Kälteanlage in einem Supermarkt

Auch in diesem Fall muß betont werden, daß die dargestellten Resultate nur für die betrachteten Systeme Gültigkeit haben und nicht auf andere Systeme, d. h. andere Anlagen in anderer Umgebung übertragen werden dürfen.

höheren Füllmengen lassen sich aufgrund der vorliegenden Analyse keine Aussagen machen.

2. Das individuelle Risiko für den Anlagenbauer ist dann relativ hoch, wenn er ohne entsprechende Ausbildung und Sorgfalt mit ammoniakbetriebenen Wärmepumpen umgeht.

3. Zentrale Kälteanlagen in Supermärkten mit Ammoniak oder Propan mit Kältemittelfüllungen von rund 20 kg haben sicher dann akzeptable Risiken, wenn sie professionell installiert, betrieben und

gewartet werden und wenn das Kältemittel nicht direkt in einen stark frequentierten Bereich ausströmen kann. Stößt der Maschinenraum direkt an die Verkaufsebene oder andere Bereiche mit hohen Personendichten, sind möglicherweise weitere Sicherheitsmaßnahmen zu treffen (z. B. Druckentlastungsöffnungen, Sprühflutanlage).

4. Dezentrale Kühl- und Tiefkühlleinheiten mit Propan oder Ammoniak in der Verkaufsebene können unter Umständen nicht akzeptable Risiken darstellen. Dies müßte im aktuellen Fall jedoch mit einer detaillierteren Analyse überprüft werden.

Vereinfacht kann gesagt werden, daß die Risiken für Kälteanlagen mit Ammoniak und Kohlenwasserstoffen als Kältemittel tragbar sind, sofern die notwendigen Maßnahmen getroffen werden. Dazu gehören vor allem die „professionelle“ Herstellung, Installation, Betrieb und Wartung der Anlagen, eine entsprechende Ausbildung der Anlagenbauer sowie eine wirksame Trennung von Publikumsbereich und Maschinenraum in Supermärkten. □

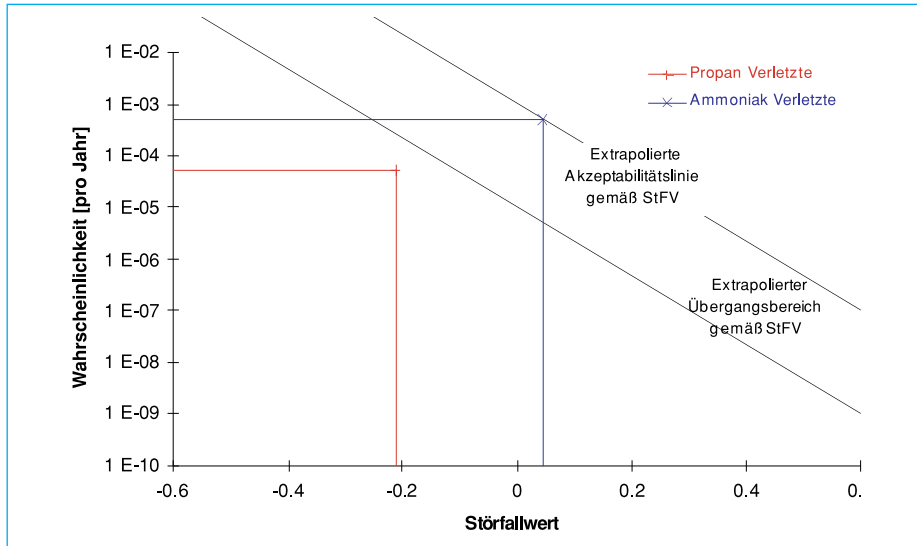


Bild 3 Risikosummenkurven im W/A-Diagramm für 50 dezentrale Kühl- und Tiefkühlleinheiten in einem Supermarkt