

RISIKOABSCHÄTZUNG FÜR AMMONIAK ALS KÄLTEMITTEL WAHRSCHEINLICHKEIT UND HÄUFIGKEIT

ANDERS LINDBORG

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

Kurzfassung

Das Risiko von Unfällen und Todesfällen in Folge von Ammoniak-Kältemittel ist extrem selten, verglichen mit anderen Risiken des Lebens. Da gibt es eine generelle Unwissenheit, die Gesellschaft beurteilt Ammoniak mit seinem stark stechenden Geruch als gefährlich und furchterregend. Dieser Vortrag erklärt, wieso Ammoniak weit besser ist als sein Ansehen. Wenn Designer und Betreiber von Ammoniak-Kälteanlagen, Wärmepumpen und ORC-Prozessen¹ alle Sicherheitsstandards und gesetzlichen Vorschriften beachten werden sie zu dem Schluss kommen, dass Ammoniak ein sicheres und wirtschaftliches Kältemittel ist.

Stichwörter: Risikoabschätzung, Wahrscheinlichkeit, Ammoniakkälte

1. Einführung

Informationen über Risiken beinhalten Wahrscheinlichkeiten und Konsequenzen. Konsequenzen sind erforderlich in Unfallbeschreibungen, weil die Wahrscheinlichkeit für einen Unfall selten ist oder nie eintritt. Das Problem ist, dass Informationen über die Anzahl von Unfällen bezogen auf eine Nation und Zeitraum fehlen. Die Wahrscheinlichkeit muss immer bei der Risikoabschätzung mit eingeschlossen sein. Die Wahrscheinlichkeit wird dargestellt im Hinblick auf eine Anzahl Europäischer Staaten, Australien, Chile und die USA, da diese dem Autor bekannt sind und er sie nachprüfen kann. Andere Länder sind unter Beobachtung und andere Vergleichsmöglichkeiten können durchaus existieren.

2. Risiko

Die Beherrschung des Risikos erfordert, dass die Gefahren von Ammoniak richtig verstanden werden, so dass das Risiko in Verbindung mit Ammoniak verhindert oder vermindert werden kann, wenn man darauf vorbereitet ist.

2.1 Gefahr

- mögliche Gefahr in Verbindung mit chemischen und physikalischen Eigenschaften,
- ist abhängig von der Art der Freisetzung und dem Umstand des Notfallereignisses

2.2 Risiko Instrumente

- erkennen einer Aktivität

¹ Organik Rankine Cycle, umgekehrter Kälteprozess um Energie zu gewinnen

- seine potentielle Gefahr beobachten
- die Gefahr erkennen
- offen sein für die Gefährlichkeit, die das Risiko begründet
- einer Risikoabschätzung vornehmen
- Implementierung eines Risiko-Managements

2.3 Risikoabschätzung in Ammoniak-Kälteanlagen beinhaltet

- die Wahrscheinlichkeit oder Häufigkeit, über welche selten oder nie berichtet wurde weil es keine Informationen gab.
- Ergebnis, häufig bezogen auf negative Szenarien oder sogar Fantasien von wenig informierten Personen
- mangelnde Erfahrung und mangelndes Wissen

3. Ammoniak

3.1 Allgemeine Information

Ammoniak ist unübertroffen als Kältemittel, hat exzellente thermodynamische Eigenschaften, einschließlich ökologischer Vorteile. Alles Leben ist abhängig von der Rezirkulation von Stickstoff, bei welchem der Zerfall von natürlichen Substanzen zu Ammoniak ein wesentlicher Teil ist. Die Verwendung von Ammoniak als Kältemittel wird in der Zukunft weiter gehen. Die Gesellschaft kann es sich nicht leisten, es nicht zu verwenden. Das hier diskutierte Ammoniak ist wasserfreies Ammoniak, verwendet ausschließlich als Kältemittel und nicht für andere Anwendungen wie als Dünger oder in der Landwirtschaft oder in der Industrie.

Da gibt es die Ansicht, dass Ammoniak giftig ist und explosiv, was nicht ganz richtig ist, wenn man die Definitionen von giftig und explosiv zu Grunde legt. Diese Ansicht war oft ein Hindernis für Wirtschaftlichkeit in der Kälteindustrie. Viele Menschen haben mehr oder weniger Erfahrungen mit dem Geruch von Ammoniak, während nur wenige wirklich durch Ammoniak verletzt wurden. Überdies, obgleich brennbar, Ammoniak explodiert nicht, es flammt auf wie eingeschlossenes CO in einem brennenden Gebäude. Brennendes Ammoniak hat eine geringe Flammen-Ausbreitungsgeschwindigkeit, < 8 cm/s [1].

Diese Präsentation beschreibt nicht die thermodynamischen Eigenschaften von Ammoniak oder wie ein System mit Ammoniak entworfen, konstruiert und betrieben wird, aber stattdessen benennt es das grundlegende Problem der Sicherheit. Ammoniak-Systeme, die während der letzten 20-30 Jahre in Übereinstimmung mit der Druckgeräterichtlinie gebaut wurden, sind von sehr hoher Qualität mit ausgezeichnetem Sicherheitsniveau. Ältere Systeme können unsicher sein und sollten im Hinblick auf Risiken (nicht zuletzt im Hinblick auf Korrosion) überprüft werden. Das Service-Personal und die Personen, die für den Betrieb verantwortlich sind, können Kältemittelaustritte verursachen, die Bereitstellung von Training und Informationen sind lohnenswerte und preiswerte Vorsorgemaßnahmen.

3.2 Der Geruch ist ein entscheidender Vorteil

Ammoniak ist das einzige Kältemittel, das einen strengen charakteristischen Geruch hat. Wenn Ammoniak genannt wird, gibt es oft eine negative Reaktion wegen der Meinung, dass es gefährlich, toxisch und explosiv sei und einen fürchterlichen Geruch hat. Der Geruch ist in der Tat ein Vorteil, weil die kleinste Undichtigkeit sofort entdeckt und korrigiert werden kann. Viele andere Gase haben keinen Geruch und stellen ein großes Risiko dar.

3.3 Vergleich mit einigen anderen modernen Kältemitteln

Die Verdampfungswärme von Ammoniak ist hoch und die Umlaufmenge der Flüssigkeit niedrig, weil Ammoniak eine große latente Wärme hat. Das ist der Grund, weshalb sich die verwendete Technologie zu der von anderen Kältemitteln unterscheidet. Dieser niedere Flüssigkeitsstrom hat bisher die Verwendung von Ammoniak für kleinere Kälteleistungen begrenzt. Mit neuer Technologie kann dies in Zukunft eine Alternative für extrem kleine Systeme mit Füllungen von einigen hundert Gramm sein.

Alle Eigenschaften der Kältemittel, die vorrangig im Montreal-Protokoll gelistet sind, wurden inzwischen ergänzt mit Argumenten hinsichtlich Umwelt ODP und GWP², zeotropen und azeotropen³ Gemischen und für CO₂ der überkritische Prozess. Alle diese Charakteristiken und Kategorien müssen berücksichtigt werden, um ein korrektes Bild von einem Kältemittel zu erhalten. Zum Beispiel, HFKW-Kältemittel werden nicht für industrielle Systeme empfohlen, weil es viel schwieriger ist, Undichtigkeiten zu vermeiden und der Preis der Füllung sehr hoch ist. Zu beachten sind auch die Umweltherausforderungen durch ihr Freisetzen. Darüber hinaus gibt es nicht so etwas wie ein ideales Kältemittel und es ist unwahrscheinlich, dass es in vorhersehbarer Zukunft ein neues Kältemittel geben wird mit Eigenschaften, die entsprechend oder besser sind als die, die wir heute haben [2, 3 und 4].

4 Ammoniakunfälle, Informationen und Statistiken

4.1 Zahl der Systeme und Anzahl der Freisetzungen

Die Literatur über Ammoniak-Kälteanlagen datiert mehr als 100 Jahre zurück, aber da gibt es viele Fakten, die bis jetzt nicht enthalten sind. Es gibt Experten mit großen Erfahrungen, aber viele nehmen nicht teil an den gleichen Treffen wie behördliche Sicherheitsexperten, Normungsgremien, Versicherungsgesellschaften usw. Da gibt es einen Mangel an Ammoniak-Kälteanlagen-Experten die geschult sind in Industrie-Hygiene und Regulierungsfragen und der unbedingten Notwendigkeit für eine umfassende Dokumentation über das Thema Ammoniak als Kältemittel, um das Verständnis zu mehren und die Offenheit und das Vertrauen in den Betrieb von Ammoniak-Kältesystemen zu steigern.

Es wäre wünschenswert, wenn wir viele Jahre umfassende definierte Informationen hätten über die Anzahl von Ammoniaksystemen und die aufgetretenen Freisetzungen. Analysen basierend auf existierenden Fallgeschichten zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit der Freisetzung verursacht durch Sach- oder Personenschäden gering ist. Es ist wie immer schwierig zu prüfen oder unmöglich, eine größere Zahl von Daten zu dieser Art von Informationen zu erhalten.

Da gibt es einige [Berichte](#) über Ammoniak-Freisetzungen und Unfälle in der chemischen Industrie, als Düngemittel in der Landwirtschaft und in Kälteanlagen. Sie alle beschreiben die Konsequenzen, nicht immer von Experten die Ammoniak verstehen und ohne Beziehung zu möglichen Risikoabschätzungen. Dies ergibt

² Ozone Depletion Potential and Global Warming Potential

³ Zeotrope und azeotrope Kältemittel-Gemische mit praktikablen Anwendungsgrenzen.

entsprechende Berichte mit begrenztem Wert. Die Beurteilung erfolgte von Leuten, die wenig Erfahrungen mit Ammoniak haben.

4.2 Anzahl der tödlichen Unfälle mit Ammoniak

Vorfälle in Folge Ammoniak-Leckagen gibt es wenige, bezogen auf die große Anzahl von existierenden Systemen. Die tödlichen Unfälle in einer Anzahl von Ländern sind in Tabelle 1 dargestellt. Diese Zahlen sind auf unterschiedliche Weise geprüft hinsichtlich Quelle und Hintergrund, sie können aber einige geringfügige Fehler enthalten. Die Zahlen beziehen sich ausschließlich auf tödliche Unfälle in Beziehung auf Ammoniak-Kälteanlagen, und nicht auf andere Anwendungen mit Ammoniak. Diese Daten ergeben eine jährliche Todesrate (ADR) von < 2 pro 10^9 Einwohner und Jahr. Als Richtwert, die ADR für Blitzenfälle in den USA ist 32 pro 10^9 und Jahr, für Verkehr in Schweden 5 pro 10^5 und für das Berufsleben in Schweden 5 pro 10^6 . Um diese Zahlen in einen Zusammenhang zu bringen, sind diese und andere Daten in Figur 1 dargestellt, dabei ist ein Hinweis auf die soziale Stellung ebenfalls inbegriffen.

In einem Report von Prof. Berghmans 1994 [5] sind Untersuchungen von Unfällen in Verbindung mit Ammoniak nach zugänglichen Informationen aus Japan von 1951 bis 1990 gemacht worden, die Zahl ist 2,5 Personen pro 10^9 Einwohner und Jahr. Seit dem hat sich in den letzten 20 Jahren die Qualität der Industriekälteanlagen verbessert.

4.3 Französische Informationen

Frankreich hat seit 40 Jahren nationale Regeln für neue Ammoniak-Systeme eingeführt, seit dem ist es extrem schwierig, wegen Zeitaufwand und kostspieliger Planung, neue Ammoniak-Kälteanlagen zu bauen. Dahinter stehen kommerzielle Kräfte, um Synthetiks an Stelle von natürlichen Kältemitteln zu vermarkten. Statistiken wurden von BARPI [6] für Ammoniak auf negative und ignorante Weise publiziert. Die publizierten Listen wurden von Personen mit wenig oder keiner Kenntnis von Kälteanlagen mit Ammoniak gemacht. Viele gelistete Unfälle stehen nicht im Zusammenhang mit Kältemittel und/oder Ammoniak. Da gibt es in Frankreich eine Anzahl von tödlichen Unfällen mit HFCKW's und HFKW's über die letzten 10 Jahre und der letzte bekannte tödliche Unfall mit Ammoniak war in Lyon 1968 in einem Kühlhaus, zwei Personen waren in einem Fahrstuhl vom Maschinenraum eingeschlossen.

Es ist Zeit für eine korrekte Information über jeden gemeldeten Unfall in Folge von Ammoniak in Frankreich.

4.4 Wer wurde verletzt oder getötet durch Ammoniak?

Unfälle in Folge von Ammoniak hat es gegeben; Studien über diese zeigen, dass niemand außerhalb des System-Nahbereichs verletzt wurde. Personen, die verletzt oder in Folge getötet wurden, waren dem Austrittspunkt nahe, Figur 2, und haben in der Regel tatsächlich an dem System gearbeitet. Das Bedienungs- und Wartungspersonal ist dasjenige, welches sich in der Gefahrenzone von wenigen Metern befindet. Verletzungen können vermieden werden durch PPE – Personal Protection Equipment – wie Schutzanzüge (keine nackten Arme oder Beine im Sommer), Handschuhe und Schutzfilter-Gesichtsmasken.

Figur 2 zeigt, dass tödliche Unfälle und Unfälle die medizinische Behandlung erfordern, innerhalb weniger Meter von der Freisetzung erfolgt sind. Bei Distanzen von 200 Metern ist der Geruch deutlich. Eine Distanz von 1,500 Metern ist der Sicherheitsabstand in Bezug auf große, industrielle Freisetzungen betreffs vieler Tonnen wie z.B.

Vorratstanks, Eisenbahnwagons. Die Einflüsse auf die Freisetzung sind sehr abhängig von den Wetterbedingungen wie Temperatur, Windgeschwindigkeit und Klimawechsel.

4.5 Kategorien von Reaktionen und Verletzungen von Menschen

Eine Studie von Bird und Germain (1996) identifiziert eine entsprechende Rangfolge-Kennzahl, die sich auf die unterschiedlichen Stufen von Auswirkungen bei Einzelpersonen als Folge eines Austritts bezieht, Figur 3. Statistische Vergleiche in den USA zeigen 640 Stufen, um von Unfällen zu lernen, vorzubeugen, abzuschwächen und sich für einen großen Unfall vorzubereiten, nahezu gleich wie 600 in der Figur 3.

Tabelle 1. Tödliche Unfälle durch Ammoniak-Kälteanlagen in einigen Ländern.

Land	Anzahl von Jahren incl. 2008	Anzahl von Toten
Schweden	68	0
Norwegen	63	1
Dänemark	63	0
Finnland	63	0
Island	30	0
Deutschland	22	2
Groß Britannien	30	2
USA	15	8
Australien	30	0
Neu Seeland	30	0
Niederlande	29	1
Frankreich	40	0
Chile	30	1(?)
Italien	30	0

4.6. Die Ebene des Einflusses kann identifiziert werden, siehe auch Figur 3.

Unbeeinträchtigt - Personen nehmen einen Unfall oder eine Freisetzung nicht wahr. Kein Geruch.

Wahrnehmung – der Geruch ist offensichtlich und kann als Ammoniak identifiziert werden. Es könnte Hilfe herbeigerufen werden (US-911 oder Europa 112), aber kein Krankenhausbesuch.

Belästigung – abhängig von der persönlichen Erfahrung mit Ammoniak. Personen mit Erfahrung werden weggehen, während andere in Panik ausbrechen. Einige werden nach einer medizinischen Untersuchung oder Behandlung fragen. Keine Zerstörung oder Verletzung.

Medizinische Behandlung ist erforderlich und das Opfer kann gesunden.

Akute medizinische Behandlung mehrerer schwerer Verletzungen. Kurieren ist nicht möglich wie z.B. totaler Augenverlust.

Tödlich. Bei den meisten Unfällen ist nur eine Person betroffen.

5 Zusammenfassung

5.1 Unkenntnis

Fehlendes Wissen oder fehlende Kenntnis resultieren bei den meisten Menschen aus der negativen Einstellung zu Ammoniak. Diese fehlende Kenntnis ist gerade in der Kälteindustrie verbreitet, da 95 % der Beschäftigten in der Kälteindustrie mit anderen

Kältemitteln und technischen Lösungen arbeiten als mit Ammoniak. Es ist einfach Situationen anzuzweifeln, die man nicht vollständig versteht, speziell wenn die Situation gefährlich erscheint. Viele Behörden und Planer sind nicht vertraut mit den Vorschriften für Ammoniak und halten es für eine gefährliche Alternative. Die Beachtung und Übereinstimmung mit der Europäischen Druckgeräte-Richtlinie, der Maschinendirektive und den entsprechenden Vorschriften in anderen Ländern und modernen Sicherheitsstandards ist selbstverständlich und keinesfalls unvereinbar; all diese resultieren in sicheren Ammoniaksystemen, wenn sie richtig interpretiert werden.

Personen mit fehlender Fachkenntnis und Erfahrung mit Ammoniak haben kein Recht seine Benutzung zu verbieten.

5.2 Toxizität

Ammoniak wird manchmal beschrieben als giftig, aber was ist Gift? Philippus Theophrastus Bombastus von Hohenheim oder Paracelsus, Schweizer Doktor, Chemiker und Philosoph (1493-1541) wird zitiert dass er sagte, *die Dosis mach das Gift*. Die Menge einer Substanz, der eine Person ausgesetzt ist, ist genauso wichtig wie die Eigenschaft der Substanz. Eine moderne Definition ist, dass ein Gift eine Substanz ist, die selbst in sehr kleinen Mengen einen gefährlichen oder tödlichen Einfluss auf lebende Organismen hat. Es ist nicht möglich Ammoniak zu verbergen, weil es das einzige Kältemittel ist das durch seinen Geruch eine Warnung gibt, lange bevor die Konzentration gefährlich wird.

Das Konzentrationsniveau, das trainierte Personen nicht ertragen können ist fern von Gefahren, Tabelle 2. Ammoniak kann von Menschen in einer Konzentration von weniger als 4-20 ppm wahrgenommen werden, lebensbedrohliche Konzentrationen übersteigen etwa 700-1000 ppm, abhängig von der Einwirkungszeit. Es gibt unterschiedliche Ansichten in verschiedenen Nationen über den IDLH (300), eine Definition für **Immediate Dangerous to Life and Health**.

Dazu gibt es keinen allgemeingültigen internationalen Standpunkt.

5.3 Entflammbarkeit

Das Wort *explosiv* wird in Verbindung mit extrem gefährlichem Brandverhalten benutzt, mit einer Flammenausbreitung von vielen Metern pro Sekunde (m/s) und Detonation in Kilometern pro Sekunde (km/s). Dagegen brennt Ammoniak mit geringer Energie – etwa mit der Hälfte von Kohlenwasserstoffen – die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit ist gering, etwa 8 Zentimeter pro Sekunde (cm/s) entsprechend ISO 817 [1]. Ammoniak ist selbstentzündlich oberhalb von 651°C und wird als Kältemittel in die Gruppe B2 (schwer entflammbar), in Übereinstimmung mit ISO 817 und ASHRAE 34, eingestuft. Ammoniaks Entflammbarkeitsbereich erstreckt sich von 15% bis 28% oder 33%, abhängig von der Testmethode und Referenz. Ammoniak kann nur in umschlossenen Räumen, nicht außerhalb im Freien, ohne unterstützende Flamme brennen und ist deshalb als nicht brennbar in Verbindung mit einer Außenanwendung eingestuft.

Um Ammoniak zu entzünden ist eine Zündquelle mit einer Mindestenergie erforderlich, diese Energie ist im Vergleich zu anderen brennbaren Substanzen beträchtlich. Ammoniak benötigt eine Mindest-Zündenergie von 680 mJ, dagegen benötigen Methan, Ethan und Propan 0,21 – 0,26 mJ und Wasserstoffgas 0,02 mJ [7]. Elektrische Anlagen

für Ammoniaksysteme sind deshalb dicht gekapselt oder außerhalb des Maschinenraumes angeordnet um Zündquellen zu vermeiden.

Offene Flammen oder Kessel sind in keinem Standard in Ammoniak-Maschinenräumen erlaubt. Ähnlich, offene elektrische Glühbirnen sind eine mögliche Zündquelle, deshalb müssen Lichtarmaturen eine sprühwasserdichte Abdeckung wie z.B. eine Plastikabdeckung haben. Leuchstofflampen müssen ebenfalls abgedeckt sein, damit sich diese Lichtarmaturen nicht im Gebrauch aufheizen.

Die Verbrennung ist kurzlebig und hängt vom Volumen des Raumes ab. Nach wenigen Sekunden Brand ist ein wesentlicher Teil des Sauerstoffs im Raum verbraucht und das Ammoniak/Sauerstoffverhältnis ist nicht länger brennbar. Das Feuer stirbt, wenn kein anderes Material entzündet ist.

5.4 Sicherheitsvorschriften und Standards

Heute sind Kältesysteme mit Ammoniak sehr sicher, weil Ammoniak seit mehr als 150 Jahren benutzt wird und eine Wissenssammlung bezüglich Sicherheitsfragen entwickelt wurde. Bereits 1918 wurde die erste Sicherheitsrichtlinie für Kältesysteme in den USA aufgestellt. Dieser folgten die VBG 20 in Deutschland 1933 und der Vorgänger des Schwedischen Kältemittelgesetzes 1942. Heute gibt es Standards in den meisten Europäischen Ländern. Europa hat EN 378:2008 Teil 1-4 [8], USA hat ASHRAE 15 und ANSI/IIAR 2. Europa hat wo zutreffend, die Gesetzgebung in der Maschinendirektive, der Druckbehälterrichtlinie und der ATEX-Direktive. Die heutigen Systeme haben es über die Jahre weit gebracht und sie sind weitaus sicherer als in der Vergangenheit.

5.5 Die Kälteindustrie

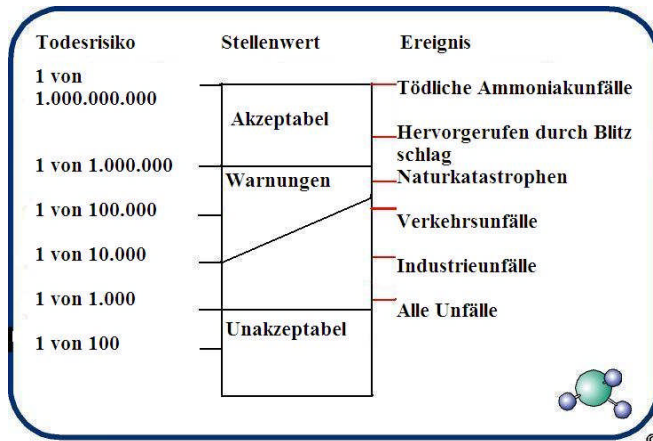
Die Kälteindustrie war nicht erfolgreich mit der Argumentation der Sicherheitslage bei Ammoniak. Es ist erforderlich die Botschaft zu übermitteln, dass dies Kältemittel nicht schwierig zu handhaben und sicher im Betrieb ist, vorausgesetzt die existierenden Sicherheitsvorschriften und Gesetze werden beachtet. Das Letztere ist kristallklar und benötigt keine zusätzliche Erläuterung.

Das Internationale Institut für Refrigeration⁴ (IIAR), Washington DC und Euramon⁵ in Frankfurt, Deutschland setzen sich für korrekte Information und Verständnis für Ammoniak als Kältemittel ein.

Durch einen Austritt von Ammoniak entstehen die größten Kosten in Verbindung mit dem Aufräumen, den Verhandlungen mit der Gemeinschaft und dem Neustart und Fortführen der Produktion. Der beste Weg damit umzugehen ist, alle geringfügigen Vorfälle zu vermeiden! Der Geruch von Ammoniak kann nicht verborgen bleiben und die Medien werden den Vorfall verbreiten, bevor irgend ein Nachbar den Geruch bemerkt. Die Entfernung für Feststellung des Geruchs während speziell schlechter Wetterbedingungen bei kaltem Klima beträgt für eine größere Emission einige Kilometer und der Schwellenwert beträgt 5 ppm. Die Medien werden die Information über den Geruch weltweit in nur ein paar Stunden verbreiten.

⁴ www.iiar.org

⁵ www.euramon.com



Figur 1. Todeswahrscheinlichkeit, Risiko, Bewertung und Aktivitäten nach Prof. Berghmans.

Tabelle 2. Physiologische Wirkung^a von Ammoniak auf Menschen

Gas ppm	Wirkung auf ungeschützte Person	Reaktion auf Menschen	Einwirkungszeit und zugelassene Einwirkungsgrenzen
5 ^b	Grenzwert, um Ammoniak zu erkennen – temperaturabhängig, leichter bei niedriger Temperatur und trockener Luft		
20	die meisten Personen stellen den Geruch fest	nicht gefährlich – typischer Geruch = Warnung!	Unbegrenzt, in den meisten Ländern.
25	typischer Geruch	nicht gefährlich – Warnung!	MAK (Maximale Arbeitsplatz Konzentration) in den meisten Ländern. TLV-TWA in US (Threshold Limit Value Time Weighted Average)
35	typischer Geruch	nicht gefährlich – Warnung!	TLV-STEL in US (Time Weighted Average Short Term Average)
50	der Geruch ist offensichtlich. Ungewohnte Personen möchten den Bereich verlassen.	Nicht gefährlich – Warnung!	ATEL (Acute Toxicity Exposure Limit), 8 Stunden Arbeitstag, zugelassen in vielen Ländern. MAC=50 ppm in einigen Ländern
100	kein schädlicher Einfluss auf die Gesundheit von Individuen – unangenehm, kann Panik bei ungewohnten Personen auslösen.	Nicht gefährlich.	Nicht länger ausharren als notwendig
200	starker Geruch	nicht gefährlich.	Schädlicher Endpunkt definiert von US EPA
300	Personen mit Ammoniakerverfahrungen verlassen den Bereich.	Nicht gefährlich – nicht akzeptiert von erfahrenen Personen.	IDLH (US, Immediately Dangerous to Life and Health), Filtermasken werden nicht akzeptiert jenseits dieser Grenze

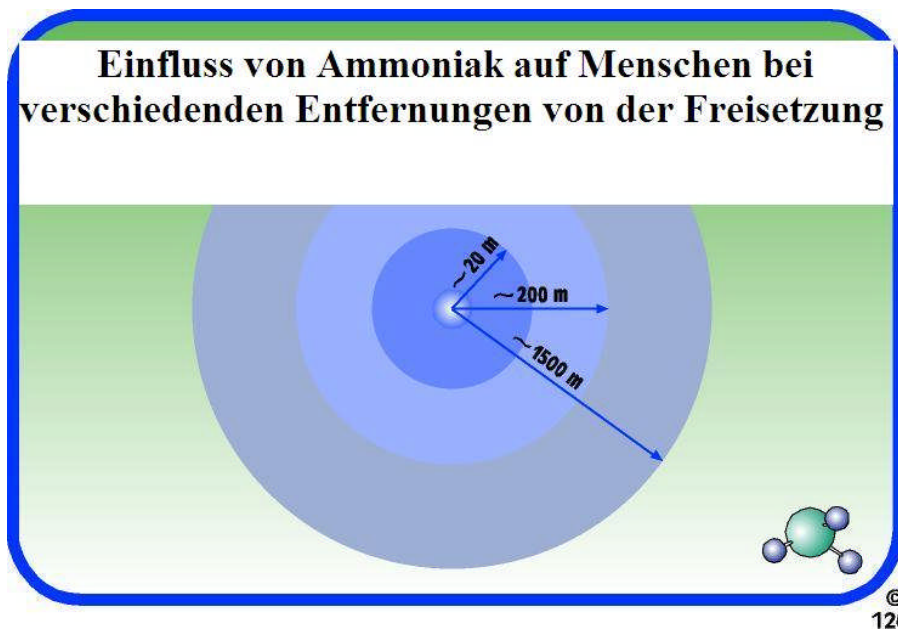
400-700	augenblickliche Reizung von Augen und Atemwegen – auch gewöhnte Personen können nicht verbleiben.		Normaler Weise gibt es keine Verletzung, auch wenn die Einwirkungszeit mehr als 30 Minuten beträgt.
1 700	Husten, Krampf der Stimmbänder, starke Reizung in Nase, Augen und Atemwegen.		30 Minuten Einwirkung hat Verletzungen zur Folge und erfordert akute medizinische Versorgung
2 000-5 000	Husten, Krampf der Stimmbänder, starke Reizung in Nase, Augen und Atemwegen..		30 Minuten oder weniger können den Tod zur Folge haben
7 000	Bewusstlosigkeit, Atemnot		tödlich in Minuten.

^a Im Fall einer Einwirkung ist es selten, dass eine Person Messgeräte hat.

Erfahrungen basieren auf Rekonstruktionen nach dem Ereignis. Die Konzentration ist nicht bewertet.

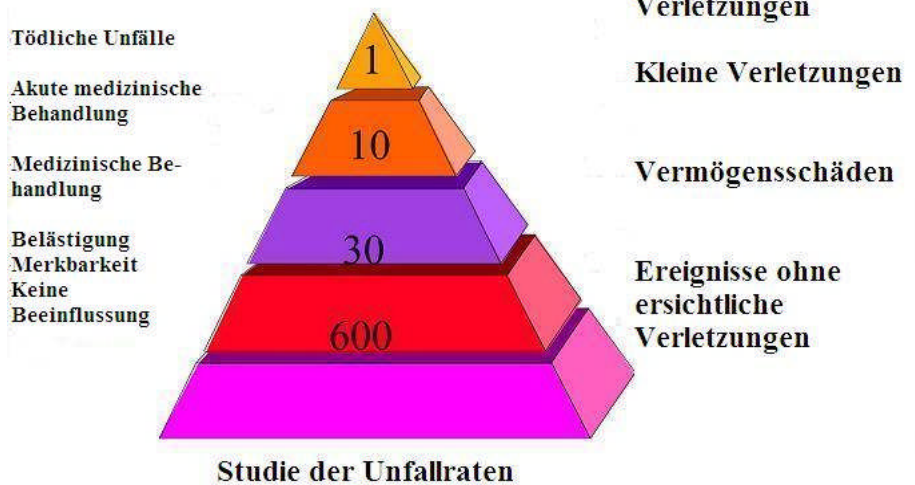
^b 2-5 ppm kann man ermitteln durch den Geruch und der ist abhängig von der individuellen Lufttemperatur und Feuchtigkeit. Der Vorteil einer niederen Empfindlichkeitsschwelle um Ammoniak festzustellen ist, dass das Gas eine frühe Warnung gibt, so dass der gefährliche Bereich evakuiert werden kann. Ebenso Personen ohne Wahrnehmung von Geruch werden von der Präsenz von Ammoniak gewarnt, da das Gas Schleimhäute und feuchte Haut mit Schmerzen beeinträchtigt.

^c Die praktische Anwendung von Filtermasken mit neuem K-Filter zeigen, dass sie für einige Minuten bei Konzentrationen von 10 000 bis 15 000 ppm benutzt werden können. Ammonia Partnership AB, Sweden.



Figur 2. Einfluss des Ammoniaks bei unterschiedlichen Entfernungen von der Freisetzung.

Vergleich mit Ammoniak



Figur 3. Unfall-Kennzahlstudie von Bird und Germain

6 Zukunft von Ammoniak

Die Zukunft von Ammoniak ist gesichert weil es hervorragende Eigenschaften als Kältemittel hat. Es wird deshalb überleben. Ammoniak war immer das Kältemittel, das in großen industriellen Anlagen benutzt wurde. Kohlendioxyd ist eine gute, oder in einigen Anwendungen sogar bessere Alternative und die Förderung seiner Anwendung kann einfacher sein als die für Ammoniak in Bezug auf die Sicherheit. Für Klimaanlageanwendungen ist Wasser ein interessantes neu kommendes Kältemittel wenn Ammoniak nicht benutzt wird.

Mit Systemen von guter Qualität und überschaubaren Füllungen werden viele neue Ammoniak Anwendungen entwickelt. Der politische Druck auf HFKW's wird steigen und das wird neue technische Lösungen mit natürlichen Kältemitteln wie Ammoniak zur Folge haben. Richtig verwendet hat Ammoniak nicht nur einen hohen Sicherheitsstandard, sondern ist effizient und umweltfreundlich.

7 Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung und Risikoabschätzung

Statistiken bezüglich tödlicher Unfälle, ausgelöst durch Ammoniakfreisetzungen, können dazu benutzt werden um die Anzahl der harmlosen Freisetzungen in einem Land abzuschätzen. Diese Statistiken sollten für die Risikoabschätzung von Ammoniak-

Kältesystemen benutzt werden. Der Bezug nur auf die Folgen ergibt eine teure Fehleinschätzung.

Verwende Ammoniak mit Respekt weil es umweltfreundlich ist, eine bessere Effizienz als die meisten Kältemittel bietet und profitabel für seine Nutzer ist.

8 Literaturverzeichnis

1. T. Jabbour and D. Clodic, ISO 817, TC86/SC8/WG5, Arlington, VA, September 2003.
2. James M. Calm, Refrigerant Safety, ASHRAE Journal July 1994, page 17-26.
3. James M. Calm, The Four R²'s, Responsible Responses to Refrigerant Regulation, Engineered Systems, October 2003.
4. James M. Calm, The next generation of refrigerants – Historical review, considerations, and outlook. Int. Journal of Refrigeration, Volume 31, 2008.
5. Working Fluid Safety, Prof. J. Berghmans, IEA Heat Pump-Centre, ISBN 90-73741-10-6.
6. Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles, Lyon, France
7. Flammability Hazard Classification of Refrigerants, Roberts G. Richard, IIR Congress 2003, Washington, DC.
8. EN 378:2008 Part 1-4. European Safety Standard for Refrigerated Systems and Heat Pumps, standard harmonized against European Machine Directive (MD) and European Pressure Directive (PED).