

Forschungsprogramm
Umgebungs- und Abwärme,
Wärme-Kraft-Kopplung (UAW)



Ammoniak und Kohlenwasserstoffe als Kältemittel: Risikoanalyse, Produkthaftungspflicht und Strafrecht

ausgearbeitet durch

Dr. Martin Wolfer

Esther Seitz

Basler & Hofmann

Forchstrasse 395

8029 Zürich

mwolfer@bhz.ch

und

PD Dr. jur. Hansjörg Seiler

Legal research and consulting

Terrassenweg 31

3110 Münsingen

hansjoerg.seiler@gmx.ch

im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Zusammenfassung

Ziel der Arbeit	Es werden die Risiken, welche mit der Verwendung von Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen in Wärmepumpen bzw. Kälteanlagen verbunden sind, analysiert, mit Beurteilungskriterien verglichen und daraus die rechtlichen Konsequenzen abgeleitet.
Lösungsweg	Verschiedene Freisetzungsszenarien werden bezüglich Schadenausmass und zugehöriger Wahrscheinlichkeit quantifiziert. Die Betrachtungen konzentrieren sich auf drei Systeme: 1. Eine Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus 2. Eine zentrale Kälteanlage in einem Supermarkt 3. Eine Gruppe dezentraler Gefriereinheiten in einem Supermarkt
Hauptergebnisse	Die Analysen der betrachteten Systeme ergeben für die Kältemittel Ammoniak oder Propan bzw. folgende Resultate • Für den Besitzer einer Wärmepumpe sind die Risiken akzeptabel. Sie sind geringer als bei einer konventionellen Gasheizung. • Für die Kunden und Angestellten eines Supermarkts mit einer zentralen Kälteanlage sind die Risiken akzeptabel, sofern der Maschinenraum vom Publikumsbereich getrennt ist. • Die Risiken dezentraler Gefriereinheiten im Publikumsbereich eines Supermarkts müssen detaillierter untersucht werden, um eine belastbare Aussage zur Akzeptabilität des Risikos machen zu können • Der Ausbildung der Monteure kommt eine grosse Bedeutung zu.
Grundlagen	Basis für die Quantifizierung der Risiken bilden Analysen, die für die Arbeitsgruppe CEN/TC 182/WG 5 durchgeführt wurden, sowie Dokumente, die vom IEA Heat Pump Centre herausgegeben werden. Wo nötig werden diese Grundlagen durch eigene statistische Erhebungen, Modelle und Abschätzungen ergänzt.
Bedeutung für die Praxis	Ammoniak und Kohlenwasserstoffe in Wärmepumpen und zentralen Kälteanlagen in Supermärkten können grundsätzlich akzeptable Risiken darstellen. Allerdings erhalten bei den grösseren Kälteanlagen Faktoren wie Füllmenge, räumliche Anordnung und Personendichten in der Umgebung eine entscheidende Bedeutung und müssen im Einzelfall zur Klärung der Risikoakzeptabilität berücksichtigt werden.

der Umgebung eine entscheidende Bedeutung und müssen im Einzelfall zur Klärung der Risikoakzeptabilität berücksichtigt werden.

Vorschlag für das weitere Vorgehen

Mit besseren statischen Datengrundlagen könnten belastbarere Aussagen gemacht werden, gerade für jene Systeme, deren Risiken im Grenzbereich der Akzeptabilität liegen (dezentrale Gefrierereinheiten). Die Analyse weiterer Standardsituationen würde es erlauben, im Einzelfall den Akzeptabilitätsentscheid schneller zu fällen.

Rechtliche Aspekte

Wenn sich in einer Anlage mit natürlichen Kältemitteln ein Unfall ereignet, stellt sich die Frage nach einer haftpflicht- und strafrechtlichen Verantwortung des Herstellers oder des Monteurs. Die rechtliche Basis der Haftpflicht (Produkthaftpflichtgesetz, ausservertragliche Haftung Vertragsrecht und Strafrecht) sowie die zur Anwendungen kommenden Kriterien werden diskutiert.

Die Verwendung von Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen kann nicht als fehlerhaft bezeichnet werden, da es gute ökologische Gründe gibt, sie anstelle ozonschädigender oder klimawirksamer Substanzen zu verwenden. Der Stand der Technik muss jedoch erreicht werden. Andernfalls machen sich der Hersteller oder Monteur haftbar. Es wird aufgezeigt, welche Massnahmen zu treffen sind, um im Ereignisfall nicht haftbar gemacht zu werden.

Die Arbeit basiert auf der Schweizerischen Gesetzgebung. Die Schlussfolgerungen sollten jedoch auch auf andere europäische Rechtssysteme übertragbar sein, nicht jedoch auf das US Recht.

Abstract

The risks of ammonia or propane/propene as a working fluid are estimated by quantifying the damage and the related probabilities by means of representative release scenarios. Three systems are considered:

1. Heat pump in a residential building
2. Central cooling unit in a supermarket
3. Group of individual freezer units in a supermarket

Different release scenarios for ammonia or hydrocarbons show the following results:

- The risks for the owner of a heat pump are acceptable .
- The risks of a central cooling unit for the customers of a supermarket are acceptable, if the machine room is separated properly from the shop area.
- The risks of individual freezer units in a supermarket need to be considered in more detail in order to judge their acceptability
- The education of the installers is a crucial factor.

In case of an accident in a system with natural working fluids the question arises whether the manufacturer and/or the installer could be liable under civil or penal law. The paper describes the Swiss legal base of liability (product liability law, tort liability, law of contracts and penal law) and the criteria for liability.

The use of ammonia or hydrocarbons as working fluids cannot be considered as being defective as such, because there are good ecological reasons to use these fluids instead of ozone depleting or climate-changing substances. Nevertheless, the state of the art must be respected. Otherwise the manufacturer or the installer may be held liable in case of an accident. The paper describes the measures which must be taken in order to avoid a liability.

The paper was prepared on the basis of the Swiss law. The conclusions should be the same for other european legal systems but may be different with respect to the US Law.

Résumée

On analyse les risques liés à l'utilisation d'ammoniac ou de propane/propène comme fluide réfrigérant en quantifiant les dommages et les probabilités pour des scénarios type de fuite. Trois systèmes sont étudiés:

1. Une pompe à chaleur dans un immeuble résidentiel
2. Une unité centrale de réfrigération dans un supermarché
3. Un groupe de réfrigérateurs indépendants dans un supermarché

Différents scénarios de fuites d'ammoniac ou d'hydrocarbures montrent que

- les risques sont acceptables pour le propriétaire de la pompe à chaleur,
- les risques d'une unité centrale de réfrigération sont acceptables pour les clients du supermarché, si la salle des machines est proprement séparée de l'aire commerciale,
- les risques de réfrigérateurs indépendants dans un supermarché demandent une étude plus poussée pour pouvoir juger leur acceptabilité.

Lorsqu'un accident se produit dans un système avec un fluide réfrigérant naturel la question de la responsabilité civile ou pénale du producteur/fournisseur ou de l'installateur sera posée. Le rapport discute les bases juridiques de la responsabilité (responsabilité du fait des produits, responsabilité délictuelle et contractuelle; droit pénal) ainsi que les critères applicables.

L'utilisation d'ammoniac ou d'hydrocarbures ne peut pas être considérée comme défaut, parce qu'il y a de bonnes raisons écologiques de les utiliser en remplacement de substances écologiquement plus problématiques. Néanmoins l'état de la technique doit être respecté pour éviter une responsabilité. Le rapport démontre les mesures qui doivent être prises pour éviter une telle responsabilité.

Le rapport est basé sur le droit suisse. Les conclusions devraient être plus ou moins les mêmes pour d'autres systèmes juridiques européens. La situation se posera différemment pour le droit américain.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
Abstract	iii
Résumé	iv
Das Wichtigste in Kürze	1
Ziel der Arbeit	1
Lösungsweg	1
Grundlagen	2
Hauptergebnisse	2
Haftungsrechtliche und strafrechtliche Risiken	4
1. Ausgangslage	9
2. Ziel der Arbeit	9
3. Lösungsweg	10
3.1 Systemdefinition	10
3.2 Risikoquantifizierung	10
3.2.1 Grundsätzliches	10
3.2.2 Wahrscheinlichkeiten	11
3.2.3 Schadenausmass	13
3.2.4 Beurteilungskriterien	13
4. Hauptergebnisse	16
4.1 Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus	16
4.2 Zentrale Kälteanlage in einem Supermarkt	17
4.3 Dezentrale Gefriereinheiten in einem Supermarkt	18
5. Offene Probleme	19
6. Lösung der Teilaufgaben	20
6.1 Verhalten von druckverflüssigten Gasen	20
6.1.1 Freisetzung	20
6.1.2 Ausbreitung	21
6.1.3 Zündung	21
6.1.4 Wirkung	22
6.2 Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus	23
6.2.1 Systembeschreibung	23
6.2.2 Datengrundlagen	24
6.2.3 Modellierung des Systems, Szenariengenerierung	26
6.2.4 Resultate	28
6.2.5 Schlussfolgerungen	29

6.3	Kälteanlage in einem Supermarkt	30
6.3.1	Systembeschreibung	30
6.3.2	Datengrundlagen	31
6.3.3	Modellierung des Systems, Szenariengenese	32
6.3.4	Resultate	38
6.3.5	Schlussfolgerungen	38
6.4	Dezentrale Gefriereinheiten in einem Supermarkt	38
6.4.1	Systembeschreibung	38
6.4.2	Datengrundlagen	39
6.4.3	Modellierung des Systems, Szenariengenese	39
6.4.4	Resultate	39
6.4.5	Schlussfolgerungen	40
7.	Haftungsrechtliche und strafrechtliche Risiken	41
7.1	Vorbemerkungen	41
7.1.1	Unterschied in der Optik	41
7.1.2	Konsequenzen	41
7.1.3	Selbstschädigung	42
7.2	Rechtliche Situation in Bezug auf die Verwendung von FKW- haltigen Kältemitteln	42
7.3	Haftpflichtrecht	43
7.3.1	Akteure	43
7.3.2	Haftungsgrundlagen	43
7.3.3	Haftungsvoraussetzungen	45
7.3.4	Fehlerhaftigkeit der Anlage	46
7.3.5	Im Besonderen: Konstruktionsfehler	48
7.3.6	Fehlerhafte Montage	56
7.3.7	Verhältnis Haftung Hersteller/Monteur	57
7.4	Strafrecht	58
7.4.1	In Frage kommende Straftatbestände	58
7.4.2	Fahrlässigkeit	58
7.4.3	Verfahrensrechtliche Bemerkung	60
7.5	Zusammenfassende Folgerungen	60
8.	Abkürzungsverzeichnis	64
9.	Literaturverzeichnis	65
9.1	Risikoanalyse	65
9.2	Rechtliche Aspekte	67
Anhang 1 Ereignisbäume Wärmepumpe		A1-1
Anhang 2 Fehlerbäume Kälteanlage Supermarkt		A2-1
Anhang 3 Ereignisbäume Kälteanlage Supermarkt		A3-1

Das Wichtigste in Kürze

Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Risiken von Wärmepumpen bzw. Kälteanlagen dreier Grössenklassen zu quantifizieren. Als Kältemittel werden Ammoniak, Propan bzw. Propen und FKW betrachtet. Die Risiken der verschiedenen Kältemittel werden innerhalb einer Grössenklasse verglichen und die Akzeptabilität wird diskutiert. Aufgrund der Resultate wird dargestellt, welche straf- und haftpflichtrechtlichen Folgerungen daraus zu ziehen und welche diesbezüglichen Aspekte bei der Herstellung, der Installation und dem Betrieb zu berücksichtigen sind.

Lösungsweg

Für die folgenden Systeme mit Innenaufstellung wird eine quantitative Risikoanalyse durchgeführt:

- | | |
|-----------------------------|--|
| Wärmepumpe | • Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus mit einer Kältemittelmenge von 1 kg (Propan oder Ammoniak) bzw. 2 kg (FKW). |
| Kälteanlage | • Kälteanlage in einem Supermarkt mit einer Kältemittelmenge von 20 kg (Propen oder Ammoniak) bzw. 40 kg (FKW) |
| Dezentrale Gefriereinheiten | • 50 dezentrale Gefriereinheiten in einem Supermarkt mit einer Kältemittelmenge von etwa 200 g (Ammoniak, Propan, FKW) |

Die Abschätzung der Risiken erfolgt über ausgewählte relevante Schadenszenarien. Von jedem Szenarium werden das Schadenausmass und die zugehörige Wahrscheinlichkeit quantifiziert.

Die Risiken der Kältemittel einer Wärmepumpe werden als individuelle Risiken dargestellt. D.h. es wird gezeigt, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein Hausbewohner oder der Monteur bei einem Unfall verletzt wird oder stirbt. Diesen Wahrscheinlichkeiten werden geeigneten Beurteilungskriterien gegenübergestellt um zu beurteilen, ob die Risiken für die betroffenen Personen tragbar sind.

Die Risiken im Supermarktbereich werden als kollektive Risiken in Form von Risikosummenkurven im W/A-Diagramm dargestellt. Die Summenkurven werden mit den Risiken der einzelnen betrachteten

Szenarien gebildet. Zur Beurteilung wird auf die Kriterien der Störfallverordnung zurückgegriffen, welche in den hier interessierenden Bereich extrapoliert werden. So kann gezeigt werden, ob die Risiken von der Gesellschaft als akzeptabel beurteilt werden.

Grundlagen

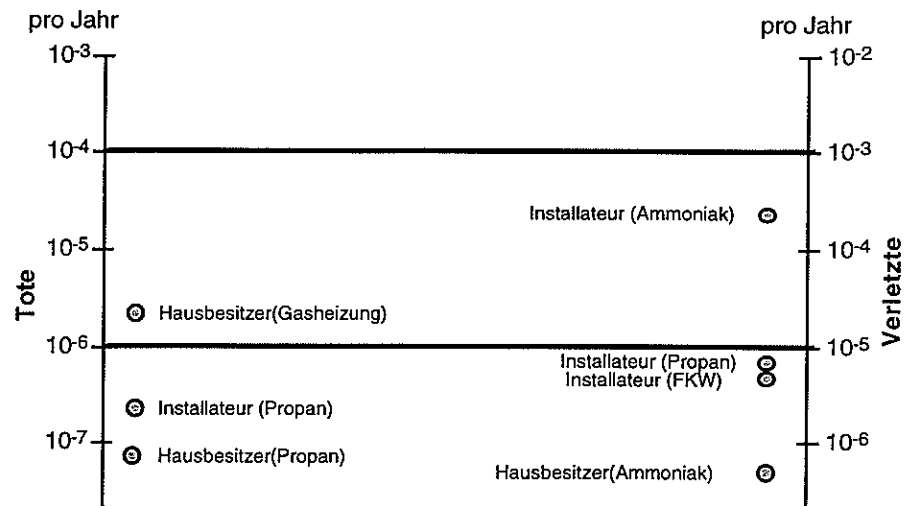
Die Untersuchungen stützen sich im wesentlichen auf frühere Risikoanalysen aus den Bereichen Wärmepumpen ([5], [6]), Gefrierseinheiten ([8]) und Kunsteisbahnen ([2]). Die Berechnungen werden mittels Fehler- und Ereignisbäumen durchgeführt, wobei wo immer möglich auf publizierte Zahlenwerte zurückgegriffen wurde, insbesondere aus den erwähnten Literaturstellen.

Hauptergebnisse

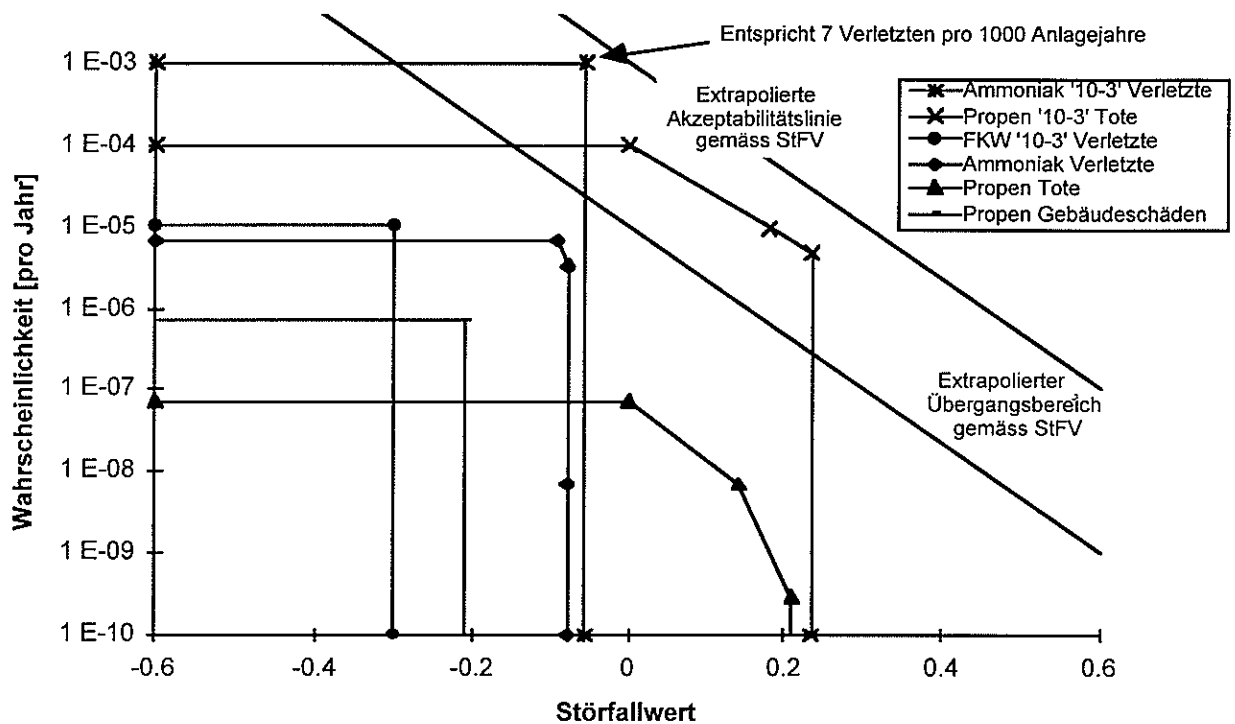
Auch unter Anwendung konservativer Modelle kann gezeigt werden, dass die Risiken tragbar sind, sofern die nötigen Vorsichtsmassnahmen getroffen werden. Dazu gehören vor allem:

- 'Professionelle' Herstellung, Installation, Betrieb und Wartung der Anlagen
- Entsprechende Ausbildung der Monteure
- Wirksame Trennung von Publikumsbereich und Maschinenraum in Supermärkten

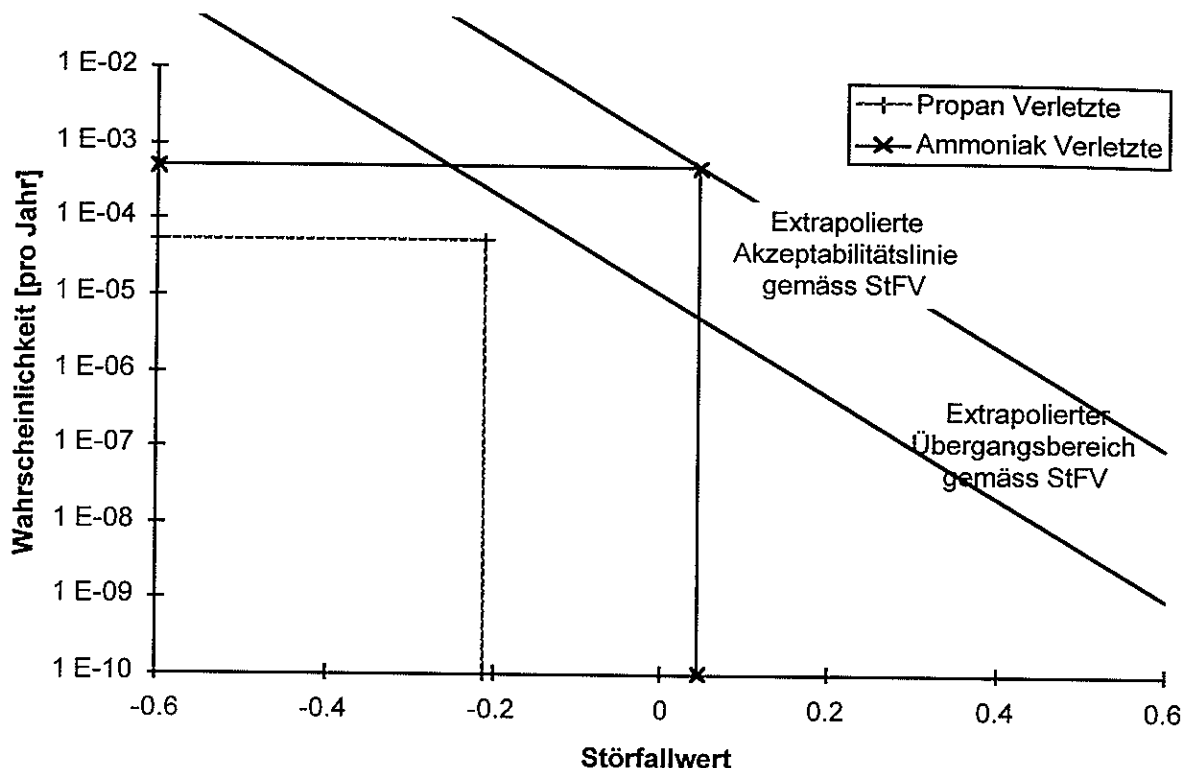
Die Ergebnisse der Risikoanalysen sind in den Figuren A, B und C dargestellt. In zwei Fällen werden für das Kältemittel Ammoniak Risiken ausgewiesen, die im Übergangsbereich bzw. im Grenzbereich der Akzeptabilität liegen. Da es sich in beiden Fällen um Systeme handelt, die zur Zeit noch nicht existieren, sind diese Ergebnisse als Warnung zu werten, bei einer allfälligen Einführung solcher Systeme die nötigen Vorsichtsmassnahmen zu treffen.



Figur A: Individuelle Risiken einer Wärmepumpe in einem separaten Raum im Untergeschoss eines Einfamilienhauses im Vergleich mit den Akzeptanzkriterien. Die Punkte auf der linken Seite beziehen sich auf die linke Skala, diejenigen rechts auf die rechte Skala. Risiken unterhalb der unteren Linie sind akzeptabel, Risiken oberhalb der oberen Linie sind nicht akzeptabel. Dazwischen liegende Risiken müssen unter Berücksichtigung des individuellen und gesellschaftlichen Nutzens beurteilt werden.



Figur B: Risikosummenkurven im W/A-Diagramm für eine zentrale Kälteanlage in einem Supermarkt. Die Kurven 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.



Figur C: Risikosummenkurven im W/A-Diagramm für 50 dezentrale Gefriereinheiten in einem Supermarkt. Kommentar zur Beurteilung siehe Figur B.

Die Ergebnisse haben streng genommen nur für die betrachteten Systeme Gültigkeit. Auf Situationen mit anderen Kältemittelmengen, räumlicher Anordnung der Anlagen und Exposition von Personen können die vorliegenden Resultate nicht übertragen werden. Die hier präsentierten Modelle lassen sich jedoch für die Risikoeinschätzung der neuen Situation wohl mit geringem Aufwand anpassen.

Haftungsrechtliche und strafrechtliche Risiken (Schweizerisches Recht)

Wenn sich in einer Anlage mit Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen als Kältemittel ein Unfall ereignet, stellt sich die Frage nach einer haftpflicht- und strafrechtlichen Verantwortung des Herstellers oder des Monteurs. Damit eine solche Verantwortung geltend gemacht werden kann, müssen objektive und subjektive Voraussetzungen gegeben sein.

Dem Hersteller und Monteur obliegen bestimmte **Sorgfaltspflichten**, die nach einem generellen Massstab beurteilt werden. Das nennt man die objektiven Umstände (Rechtswidrigkeit). Subjektiv ist zu prüfen, ob der betreffende Verantwortliche ganz konkret und persönlich auf Grund

seiner individuellen Umstände in der Lage gewesen wäre, die objektiv gebotene Sorgfalt anzuwenden (Verschulden).

Die objektiven Anforderungen sind im Straf- und im Haftpflichtrecht grundsätzlich die gleichen. Ein Unterschied besteht auf der subjektiven Seite: Das Haftpflichtrecht stellt teilweise überhaupt nicht auf die subjektive Seite ab (bei den Kausalhaftungen) und auch sonst wird eher ein objektivierter Verschuldensmassstab angewendet. Das Strafrecht prüft demgegenüber das individuelle Verschulden des konkreten Beteiligten. Daraus folgt als Faustregel:

- Wer haftpflichtrechtlich nicht verantwortlich ist, macht sich auch nicht strafbar.
- Wer haftpflichtrechtlich verantwortlich ist, ist deswegen nicht automatisch auch strafbar.

Eine Ausnahme gilt für den Arbeitgeber des Monteurs, wenn er seinen Monteur schädigt, indem er ihn mit ungenügender Ausbildung, Instruktion oder Ausrüstung eine Arbeit ausführen lässt. Zivilrechtlich haftet er nur für grobe Fahrlässigkeit (Art. 44 UVG), während er strafrechtlich für jede Fahrlässigkeit einstehen muss.

Im Folgenden werden daher die objektiven Voraussetzungen dargestellt:

Der **Hersteller** haftet, wenn das von ihm hergestellte Produkt **fehlerhaft** ist. Vorausgesetzt ist dabei, dass der Fehler kausal war für den Unfall.

Fehlerhaft ist das Produkt, wenn

- es nicht entsprechend den Konstruktionsvorschriften fabriziert war (Fabrikationsfehler),
- es fehlerhaft konzipiert war (Konstruktionsfehler)
- Montage- oder Gebrauchsanleitungen mangelhaft oder fehlerhaft waren (Instruktionsfehler).

Die Verwendung von Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen anstelle FKW-haltiger Kältemittel kann nicht an sich als fehlerhaft bezeichnet werden, dies auch dann, wenn damit unvermeidlicherweise ein gewisses Brand- und Explosionsrisiko verbunden ist, weil es nach dem heu-

tigen Stand des Wissens vernünftige ökologische Gründe gibt, auf die Verwendung FKW-haltiger Kältemittel zu verzichten.

Hingegen kann eine konkrete Konstruktion trotzdem fehlerhaft sein, so wenn

- der Stand der Technik bzw. die geltenden Normen nicht eingehalten sind,
- zumutbare (technisch/betrieblich mögliche und finanziell vertretbare) Sicherheitsmassnahmen nicht getroffen wurden,
- keine Warntafeln angebracht sind.

Zudem muss der Anlage eine verständliche und korrekte Montage- und Gebrauchsanleitung beigelegt werden, wenn die Anlage Gefahren bietet, die ein normal ausgebildeter Monteur nicht ohne weiteres kennt und meistern kann.

Der **Projektant** kann sich verantwortlich machen, wenn er eine fehlerhafte Anlage plant bzw. dem Bauherrn vorschlägt. Man kann aber nicht vom Projektanten verlangen, dass er die Anlage besser kennt als der Hersteller. Eine Haftung kommt in Frage,

- wenn er eine Anlage für einen bestimmten Verwendungszweck plant, obwohl der Hersteller angibt, dass die Anlage für diesen Zweck nicht geeignet ist.
- wenn er eine Anlage plant, von der in der Fachwelt bekannt ist, dass sie fehlerhaft ist.

Der blosse Umstand, dass der Projektant eine Anlage mit Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen plant, begründet keine Haftung.

Der **Monteur** kann sich verantwortlich machen, wenn er

- bei der Montage oder beim Service Flüchtigkeitsfehler begeht, die ein normal ausgebildeter und sorgfältiger Fachmann nicht begeht,
- eine Anlage montiert, obwohl er dafür nicht genügend ausgebildet ist.
- bei der Montage die Montageanleitung des Herstellers nicht befolgt,

Als Monteur gilt dabei sowohl die Person, die konkret die Arbeit ausführt, als auch ihr Arbeitgeber, wenn er ungenügend ausgebildet, instruiert oder ausgerüstet hat.

Es besteht eine Wechselwirkung zwischen Hersteller und Monteur:

- Wenn beide fehlerhaft gehandelt haben, haften beide solidarisch.
- Wenn der Monteur einen groben Montagefehler begeht, dann wird – sofern dieser Montagefehler für den Unfall kausal war – der Hersteller entlastet.
- Mit einem leichten Fehlverhalten muss freilich gerechnet werden. Der Hersteller muss die Anlage soweit möglich so konzipieren, dass nicht jede kleine Unsorgfältigkeit bereits zu einem Unfall führt.

Konsequenzen:

Kann ich Kälteanlagen mit Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen herstellen, projektieren oder montieren? Was muss ich dabei beachten, um eine straf- oder zivilrechtliche Haftung zu vermeiden?

Ja. Die bloße Verwendung von Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen führt nicht zu einer Haftung.

Man muss jedoch:

Als Hersteller:

- Den Stand der Technik einhalten,
- die entsprechenden Normen beachten,
- überlegen, ob weitere zumutbare Massnahmen möglich wären, um die Risiken zu reduzieren,
- eine Qualitätssicherung haben, um Ausreisser zu vermeiden,
- auf der Anlage eine Warnung anbringen, dass sie Gas enthält und dass dieses Gas nicht odorisiert ist,
- eine korrekte und verständliche Montage- und Bedienungsanleitung mitliefern.

Als Projektant:

- Anlagen nur für Verwendungszwecke planen, die der Hersteller zulässt.

Als Monteur:

- Die übliche Sorgfalt bei der Montage aufbringen,
- die Montageanleitungen des Herstellers beachten,
- bei Unsicherheiten beim Hersteller nachfragen.

1. Ausgangslage

Die Problematik von FCKW
und FKW

Wegen ihrer ozonschädigenden Wirkung dürfen vollständig halogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) nicht mehr in neuen Wärmepumpen eingesetzt werden, und für die teilweise halogenierten HFCKW läuft die Übergangsfrist am 31.12.2001 ab. Deshalb kommen heute in Wärmepumpen und Kälteanlagen hauptsächlich Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) zum Einsatz. Diese haben jedoch den Nachteil, dass sie in erheblichem Mass klimaaktiv sind, d.h. sie sind z.T. mehr als 1000-fach stärker wirkende Treibhausgase als Kohlendioxid (CO₂). Darüber hinaus reagieren die FKW in der Atmosphäre zu z.T. äusserst persistenten Stoffe mit unbekannter langfristiger toxischer Auswirkung.

Natürliche Kältemittel

Demgegenüber ist das Ozonabbaupotential und der Treibhauseffekt von natürlichen Kältemitteln wie Ammoniak oder Propan praktisch vernachlässigbar. Aus diesen Gründen wäre ein vermehrter Einsatz dieser Kältemittel sicher wünschenswert. Dabei muss allerdings der Gesamteinfluss auf das Klima unter Berücksichtigung der grauen Energie und des Energieverbrauchs in den betrachteten Systemen analysiert werden. Darüber hinaus werden auch Sicherheitsfragen relevant, sind doch die Kohlenwasserstoffe leicht entzündlich und Ammoniak toxisch. Dies im Gegensatz zu den FCKW und FKW, die für den Menschen ungiftig und schwer oder nicht brennbar sind.

Risiken und rechtliche
Aspekte

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Frage, ob die Risiken für die betroffenen Personen (Nutzer, Monteure, Dritte) tragbar sind und welche rechtlichen Aspekte für die Hersteller derartiger Systeme und andere Beteiligte relevant sind.

Aufbau des Berichts

Im ersten Teil des Berichts wird die Risikofrage diskutiert. Die rechtlichen Aspekte folgen anschliessend im Kapitel 7.

2. Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Risiken von Wärmepumpen bzw. Kälteanlagen dreier Grössenklassen zu quantifizieren. Als Kältemittel werden Ammoniak, Propan bzw. Propen und FKW betrachtet. Die Risiken der verschiedenen Kältemittel werden innerhalb einer Grössenklasse verglichen und die Akzeptabilität wird diskutiert. Aufgrund der

Resultate wird dargestellt, welche straf- und haftpflichtrechtlichen Folgerungen daraus zu ziehen und welche diesbezüglichen Aspekte bei der Herstellung, der Installation und dem Betrieb zu berücksichtigen sind.

3. Lösungsweg

3.1 Systemdefinition

Die Quantifizierung der Risiken erfolgt anhand von Modellanlagen in einer fiktiven Umgebung. Anlagen und Umgebung werden nur soweit definiert, wie dies für den gewählten Detaillierungsgrad der Analyse notwendig ist. Zusammengefasst lassen sich die betrachteten Systeme wie folgt beschreiben:

- | | |
|-----------------------------|--|
| Wärmepumpe | • Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus mit einer Kältemittelmenge von 1 kg (Propan oder Ammoniak) bzw. 2 kg (FKW). |
| Kälteanlage | • Kälteanlage in einem Supermarkt mit einer Kältemittelmenge von 20 kg (Propan oder Ammoniak) bzw. 40 kg (FKW) |
| Dezentrale Gefriereinheiten | • 50 dezentrale Gefriereinheiten in einem Supermarkt mit einer Kältemittelmenge von etwa 200 g (Ammoniak, Propan, FKW) |

Eine detailliertere Beschreibung findet sich im Kapitel 6.

3.2 Risikoquantifizierung

3.2.1 Grundsätzliches

Unter Risiko wird eine Funktion von Schadenausmass und zugehöriger Wahrscheinlichkeit verstanden. Um das Risiko eines Systems vollständig zu beschreiben, müssten alle möglichen Pfade (Szenarien), die zu einem Schaden führen können, erfasst und einzeln quantifiziert werden. Dies ist jedoch grundsätzlich nicht möglich, sind doch immer unendlich viele Szenarien denkbar. Die Risikoanalyse muss sich deshalb darauf beschränken, die relevanten d.h. diejenigen Szenarien zu definieren, die das Gesamtrisiko dominieren. Die Auswahl erfolgt einerseits aufgrund statistischer Erfahrung (häufige Unfälle sind bekannt), andererseits anhand theoretischer Überlegungen (generische Analyse auf-

grund von Erfahrungen mit verwandten Systemen mit Schwergewicht auf seltene, schwere Unfälle).

Der Tiefgang einer Analyse ist immer von den zur Verfügung stehenden zeitlichen und finanziellen Ressourcen abhängig. Diese bestimmen, wieviele Informationen beschafft und in der Analyse verarbeitet werden. Häufig ist zu Beginn einer Analyse nicht klar, welcher Tiefgang nötig ist, damit die Resultate die gewünschte Aussagekraft erhalten. Aus offensichtlichen Gründen wird dann zuerst eine eher grobe Betrachtung angestellt, um dann dort, wo eine grössere Aussagekraft gewünscht wird, vertiefere Überlegungen anzustellen. Als Konsequenz aus dieser Vorgehensweise ergibt sich, dass die grobe Analyse eher konservativ, d.h. das wirkliche Risiko eher überschätzt ausfallen muss. So wird sichergestellt, dass die als vernachlässigbar beurteilten Risiken es auch wirklich sind und mit gutem Gewissen nicht mehr näher untersucht werden müssen.

Im vorliegenden Fall wird weitgehend auf vorhandenes Datenmaterial abgestützt, d.h. es werden keine statistischen Erhebungen durchgeführt. Das Schadenausmass der als relevant erachteten Szenarien wird mit einem einfachen (konservativen) Ansatz abgeschätzt. Damit kann aufgezeigt werden, welche Risiken mit Sicherheit tragbar sind und wo ein tiefergehender Analyseaufwand nötig ist.

In der Literatur wird oft zwischen Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten unterschieden (siehe z.B. [23]), wobei in der Regel Frequenzen als Häufigkeiten und dimensionslose Zustände (z.B. der Zustand des Nichtfunktionierens zu einem beliebigen Zeitpunkt) als Wahrscheinlichkeiten bezeichnet werden. Dies wird jedoch nicht konsequent gehandhabt: So finden in der StFV [14] die Ereignishäufigkeiten als 'Wahrscheinlichkeiten pro Jahr' im W/A-Diagramm Eingang. Da eine Differenzierung für die vorliegende Arbeit nicht nötig ist, wird in Anlehnung an die StFV generell von Wahrscheinlichkeiten gesprochen.

3.2.2 Wahrscheinlichkeiten

Freisetzungshäufigkeiten

In verschiedenen Arbeiten [2], [5], [6], [8] werden die Risiken und damit auch die Wahrscheinlichkeiten von Kältemittelfreisetzungen dargestellt. Zum Teil handelt es sich um statistisch erhobene Daten, z.T. sind es

anhand generischer Analysen¹ abgeleitete Werte. Wo immer Literaturwerte verfügbar sind, werden diese in der vorliegenden Analyse verwendet. Für das System 'zentrale Kälteanlage in einem Supermarkt' werden für die Ermittlung der zu erwartenden Freisetzungshäufigkeiten Fehlerbäume entwickelt (generische Analyse, siehe z.B. [1] und Abschnitt 6.3.3).

Ereignisbäume

Die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Szenarien in den hier betrachteten Systemen werden, ausgehend von den Freisetzungshäufigkeiten, anhand von Ereignisbäumen abgeschätzt (siehe [1] und Abschnitt 6.3.3). Damit wird die fiktive Umgebung der betrachteten Systeme in die Modellierung der Risiken einbezogen. Die einzelnen Äste der Bäume stellen dabei die Szenarien dar. Die Wahrscheinlichkeiten der Szenarien berechnen sich direkt durch Multiplikation der Freisetzungshäufigkeiten mit den einzelnen Verzweigungswahrscheinlichkeiten. Letztere stammen ebenfalls teilweise aus Literaturstellen, z.T. sind es Schätzungen des Berichtverfassers.

Einzelne in der Risikoanalyse betrachtete Systeme existieren heute noch nicht. Dies betrifft insbesondere kleine Ammoniakanlagen. Sie werden – sofern jemals realisiert – aus anderen Werkstoffen gefertigt und anderes verarbeitet als herkömmliche Anlagen und es werden wohl offene Kompressoren verwendet. Alle diese Gegebenheiten beeinflussen die Freisetzungshäufigkeiten. Im weiteren ist erfahrungsgemäss davon auszugehen, dass die ersten serienmässigen Anlagen risikoerhöhende Kinderkrankheiten besitzen werden.

Wärmepumpen

In der vorliegenden Arbeit deshalb davon ausgegangen, dass die Freisetzungshäufigkeiten bei ammoniakbetriebenen Wärmepumpen in Einfamilienhäusern jenen von Propan oder FKW betriebenen entsprechen. Aufgrund der so abgeschätzten Risiken können dann Aussagen über einen allfällig nötigen Handlungsbedarf gemacht werden.

Kälteanlagen

Die Erfahrung mit FKW-betriebenen Kälteanlagen zeigt, dass grosse Freisetzungen recht häufig stattfinden (ca. $1 \cdot 10^{-3}$ pro Anlagejahr, [9]).

¹ In einer generischen Analyse wird das betrachtete System in Teilkomponenten unterteilt. Das Ausfallverhalten dieser Teilkomponenten wird anschliessend entweder aufgrund direkter statistischer Daten über das Verhalten der Komponenten oder mittels Analogieschlüssen bewertet. Z.B. sind statistische Daten zu Leitungsversagen in Form von Versagenshäufigkeiten pro Länge oder pro Leitungsabschnitt vorhanden. In der Analyse wird dann angenommen, dass sich die Leitungen des betrachteten Systems bezüglich eines Versagens genau gleich wie die statistisch ausgewerteten Leitungssysteme verhalten.

Andererseits existieren statistische Daten von Freisetzungshäufigkeiten in Ammoniakanlagen [5] und es wurden Abschätzungen über derartige Häufigkeiten in ammoniakbetriebenen Kälteanlagen in Kunsteisbahnen gemacht [2]. Die so ermittelten Werte liegen deutlich tiefer. Dies reflektiert den Umstand, dass mit den relativ ungefährlichen FKW wesentlich sorgloser umgegangen wird als mit dem toxischen Ammoniak.

Deshalb wird folgender Ansatz gewählt:

Es wird aufgezeigt, welche Risiken resultieren, wenn die Kälteanlage im Supermarkt 'professionell', d.h. mit state-of-the-art Komponenten und von gut ausgebildetem Personal, hergestellt, installiert, betrieben und gewartet wird. Zum Vergleich werden jene Risiken abgeschätzt, die resultieren, wenn die Freisetzungshäufigkeiten von Ammoniak oder Propen jenen der FKWs entsprechen, wie sie heute festgestellt werden.

3.2.3 Schadenausmass

Als relevante Schäden werden Verletzungen und Todesfälle sowie Sachschäden betrachtet.

In der Risikoanalytik kommen verschiedenste Modelle zur Berechnung von Freisetzungsmengen und Raten, Ausbreitungsverhalten und Einwirkungen zur Anwendung (siehe z.B. [15], [16]). Viele dieser Modelle wurden zur Berechnung der Einwirkung grosser Freisetzungsmengen in erheblicher Distanz (mehrere 10 m bis km) vom Freisetzungsort entwickelt. Dies trifft insbesondere auf die Ausbreitungsmodelle zu. Eine Übertragung auf die in der vorliegenden Arbeit betrachteten kleinräumigen Systeme ist nur beschränkt möglich. Deshalb werden unter Berücksichtigung der bekannten Eigenschaften der betrachteten Kältemittel (z.B. Schwergasverhalten, Toxizität, Explosionsgrenzen) einfache, konservative Abschätzungen gemacht, ohne dass auf die (nicht anwendbaren) Standardmodelle zurückgegriffen wird.

3.2.4 Beurteilungskriterien

Die Beurteilung der Tragbarkeit von Risiken verlangt selbstverständlich nach entsprechenden Kriterien. In der Schweiz liegen als allgemein anerkannte Kriterien einzig diejenigen zur Störfallverordnung [14, 20] vor. Sie beziehen sich jedoch auf einen Schadenausmassbereich, der weit

über den Werten der hier zur Diskussion stehenden Szenarien liegt. Die Beurteilungskriterien müssen deshalb erst definiert werden.

Beurteilungskriterien und Risikodarstellung müssen aufeinander abgestimmt sein. Aufgrund der Zielsetzung drängen sich zwei verschiedene Darstellungsarten auf: Als individuelles und als kollektives Risiko.

Individuelles Risiko

Das individuelle Risiko ist jenes Risiko, dem eine bestimmte Person ausgesetzt ist. Dabei wird die Frage beantwortet, mit welcher Wahrscheinlichkeit diese Person verletzt oder getötet wird.

Das Akzeptanzkriterium für individuelle Risiken kann wie folgt definiert werden: Damit das Risiko eines neuen technischen Systems als akzeptabel gelten kann, darf es das bereits bestehende individuelle Risiko der exponierten Personen nicht signifikant erhöhen. Das kleinste Sterbensrisiko der Alters- und Geschlechtsgruppen in der Schweiz besitzen die 10 jährigen Mädchen mit einer jährlichen Todeswahrscheinlichkeit von $1.5 \cdot 10^{-4}$. Die Wahrscheinlichkeit, bei einem Autounfall ums Leben zu kommen, beträgt in der Schweiz für eine beliebige Person etwa $1 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr. Dieses Risiko gilt jedoch nur als beschränkt akzeptabel, werden doch nach wie vor Anstrengungen unternommen, diese Wahrscheinlichkeit weiter zu senken (z.B. durch die Einführung von Tempo 30 Zonen, Seiten-Airbags in Autos etc.). Individuelle Sterbewahrscheinlichkeiten von $1 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr werden in unserer Gesellschaft oftmals nicht mehr gezielt verringert. So finden z.B. im Bereich der Brandschutzrichtlinien nur noch geringe Anpassungen statt; die Anzahl der jährlichen Brandtoten stagniert in der Schweiz um ca. 30 - 40 [21]. Mit anderen Worten werden Risiken in dieser Grössenordnung von der Gesellschaft als im allgemeinen akzeptabel angesehen. Für die Beurteilung der individuellen Risiken von Kältemitteln im Einfamilienhausbereich wird deshalb folgender Ansatz gewählt:

- Todeswahrscheinlichkeit $< 1 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr: Das Risiko ist akzeptabel
- Todeswahrscheinlichkeit $> 1 \cdot 10^{-6}$ und $< 1 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr: Das Risiko ist akzeptabel, wenn der Nutzen entsprechend hoch ist²
- Todeswahrscheinlichkeit $> 1 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr: Das Risiko ist nicht akzeptabel

² In Anlehnung an die Beurteilungskriterien I zur StFV [14I]

Für Verletzte werden, in Anlehnung an [14], zehn mal so hohe Wahrscheinlichkeiten akzeptiert.

Zum Vergleich werden die Risiken der natürlichen Kältemittel jenen einer leistungsmässig vergleichbaren Gasheizung gegenübergestellt. Die Risiken von Gasheizungen können als gesellschaftlich akzeptiert betrachtet werden.

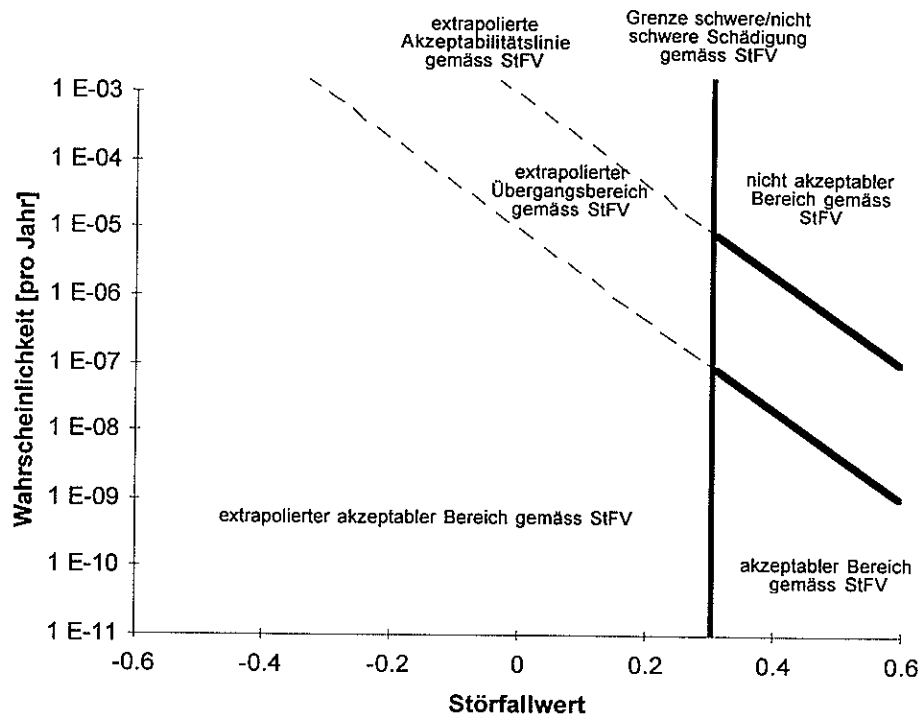
Kollektive Risiken

Wie der Name andeutet, wird unter 'kollektivem Risiko' jenes Risiko verstanden, dem eine Gruppe von Personen oder anderen Schutzobjekten ausgesetzt ist. Zur Ermittlung des kollektiven Risikos wird für jedes als relevant betrachtete Szenarium dessen Schadenausmass und die zugehörige Eintretenswahrscheinlichkeit bestimmt. Aus der Gesamtheit dieser Werte wird die komplementäre Verteilungsfunktion (Summenkurve) bestimmt und im W/A-Diagramm eingezeichnet [12].

Die Summenkurve wird gebildet, indem die Szenarien nach der Grösse ihrer Schadenausmasse geordnet werden. Die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Szenarien werden dann, beginnend bei jenem mit dem grössten Ausmass, fortlaufend addiert. So wird für jedes Schadenausmass jene Wahrscheinlichkeit erhalten, mit der das jeweilige Ausmass erreicht oder überschritten wird.

Diese Form der Darstellung wird für Risiken im Supermarktbereich gewählt, denen eine Gruppe von Personen (Käufer, Angestellte) ausgesetzt sind.

Als Beurteilungskriterien drängen sich jene auf, die im Umfeld der Störfallverordnung definiert wurden [14]. Diese beziehen sich jedoch auf Schadenfälle mit mehr als 10 Toten oder 100 Verletzten. Die Kriterien sind leicht in Bereiche mit geringerem Ausmass extrapolierbar, können dann allerdings nicht mehr als allgemein anerkannt bezeichnet werden. Immerhin kommt im Kanton Zürich im Rahmen des Vollzugs der StFV ein ähnlicher Ansatz zur Anwendung [13]. **Figur 3.1** zeigt die in der vorliegenden Arbeit zur Anwendung kommenden Beurteilungskriterien. Das Schadenausmass wird dabei indexiert dargestellt, entsprechend den Vorgaben in [14]. Dabei wird einem Schaden von 1 Verletzten ein Indexwert von -0.3, 1 Toten oder 10 Verletzten ein Wert von 0, 10 Toten oder 100 Verletzten ein Wert von +0.3 zugeordnet.



Figur 3.1 : Beurteilungskriterien für kollektive Risiken. Einem Schaden von 1 Verletzten ist ein Indexwert von -0.3, 1 Toten oder 10 Verletzten ein Wert von 0, 10 Toten oder 100 Verletzten ein Wert von +0.3 zugeordnet. Die Notation 1 E-xy bedeutet $1 \cdot 10^{-xy}$

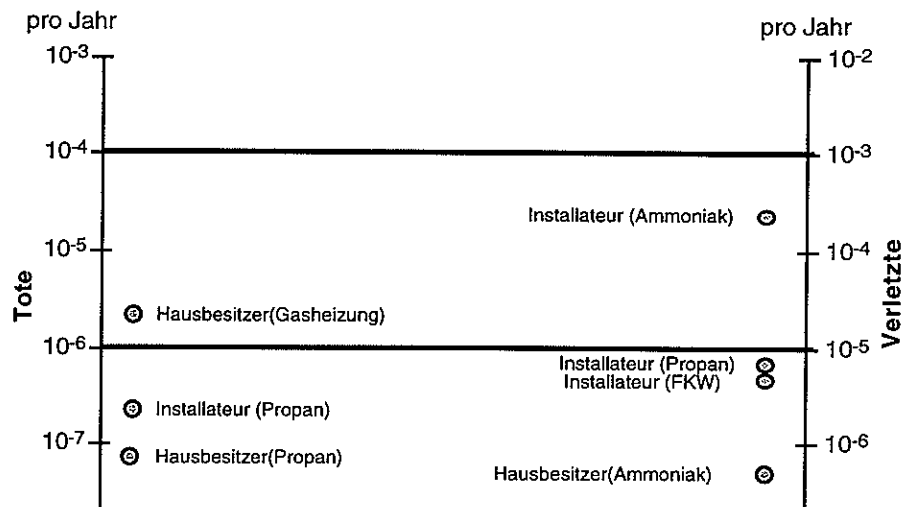
4. Hauptergebnisse

4.1 Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus

In **Tabelle 4.1** sind die Ergebnisse der Risikoanalyse für eine Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus zusammengefasst. Die Werte stammen aus den Ereignisbäumen im Anhang 1. **Figur 4.1** zeigt die Ergebnisse graphisch im Vergleich zu den oben definierten Akzeptanzkriterien.

Kältemittel	Tod Hausbewohner	Verletzung Hausbewohner	Tod Monteur	Verletzung Monteur
Ammoniak		$6 \cdot 10^{-7}$		$2 \cdot 10^{-4}$
Propan	$8 \cdot 10^{-8}$		$2 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-6}$
FKW				$5 \cdot 10^{-6}$
Gasheizung	$2 \cdot 10^{-6}$			

Tabelle 4.1: Individuelle Risiken einer Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus. Die Werte verstehen sich pro Anlagejahr



Figur 4.1: Individuelle Risiken einer Wärmepumpe in einem separaten Raum im Untergeschoss eines Einfamilienhauses im Vergleich mit den Akzeptanzkriterien. Die Punkte auf der linken Seite beziehen sich auf die linke Skala, diejenigen rechts auf die rechte Skala. Risiken unterhalb der unteren Linie sind akzeptabel, Risiken oberhalb der oberen Linie sind nicht akzeptabel. Dazwischen liegende Risiken müssen unter Berücksichtigung des individuellen und gesellschaftlichen Nutzens beurteilt werden.

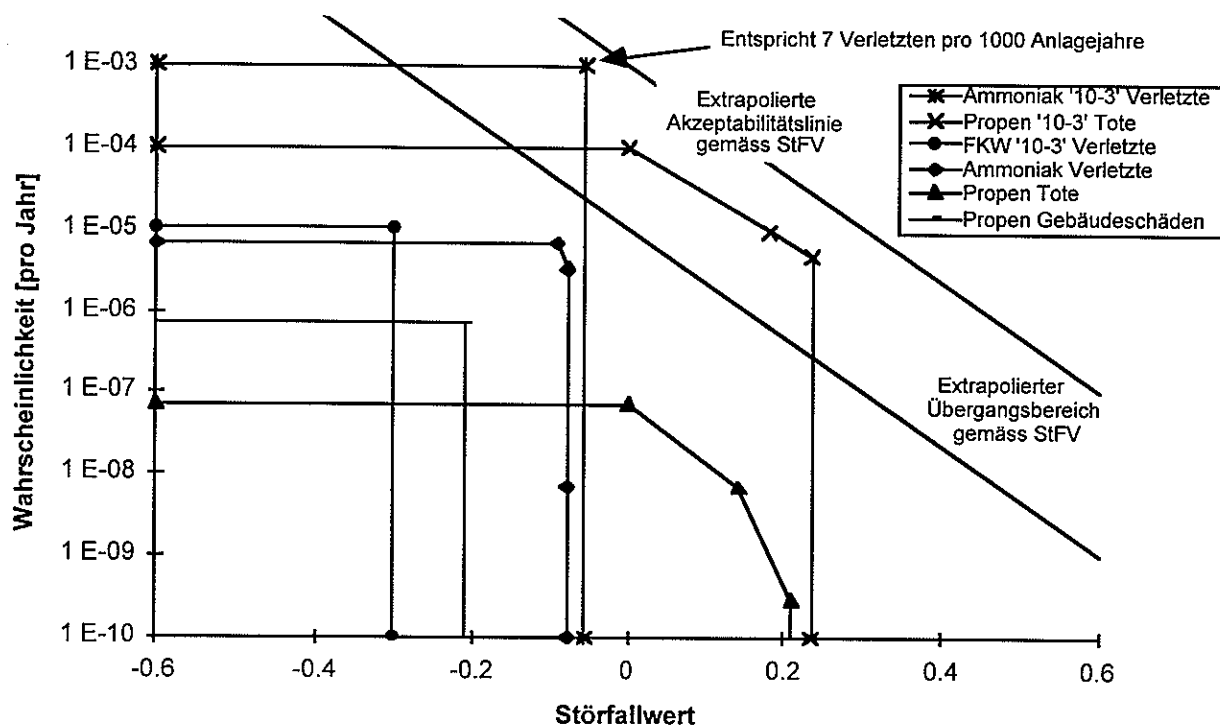
Beurteilung

Die Resultate der Risikoanalyse zeigen, dass die Risiken im Einfamilienhausbereich unter den angenommenen Voraussetzungen in der Regel akzeptabel sind. Insbesondere sind die Risiken einer Propanwärmepumpe für den Hausbesitzer geringer als jene einer (risikomässig allgemein akzeptierten) Gasheizung. Auch für den Monteur sind die Risiken im allgemeinen akzeptabel, steigen jedoch proportional mit der Anzahl betreuter Anlagen.

Eine Ausnahme vom oben gesagten stellen möglicherweise die Risiken einer Ammoniakanlage für den Monteur dar. Dies dann, wenn die Freisetzungshäufigkeit gleich hoch ist wie für die Propananlage. Da dies jedoch eine hypothetische Aussage ist (zur Zeit sind keine Ammoniakanlagen vergleichbarer Grösse und Art in Betrieb) kann daraus nur gefolgert werden, dass an die Herstellung, die Installation, den Betrieb und die Wartung derartiger Anlagen entsprechend hohe Anforderungen zu stellen sind. Dies trifft insbesondere auch die Ausbildung der Monteure zu.

4.2 Zentrale Kälteanlage in einem Supermarkt

Die kollektiven Risiken einer zentralen Kälteanlage in einem Supermarkt sind in **Figur 4.2** dargestellt.



Figur 4.2: Risikosummenkurven im W/A-Diagramm für eine zentrale Kälteanlage in einem Supermarkt. Die Kurven 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). Die Werte stammen aus den Ereignisbäumen im Anhang 3. 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.

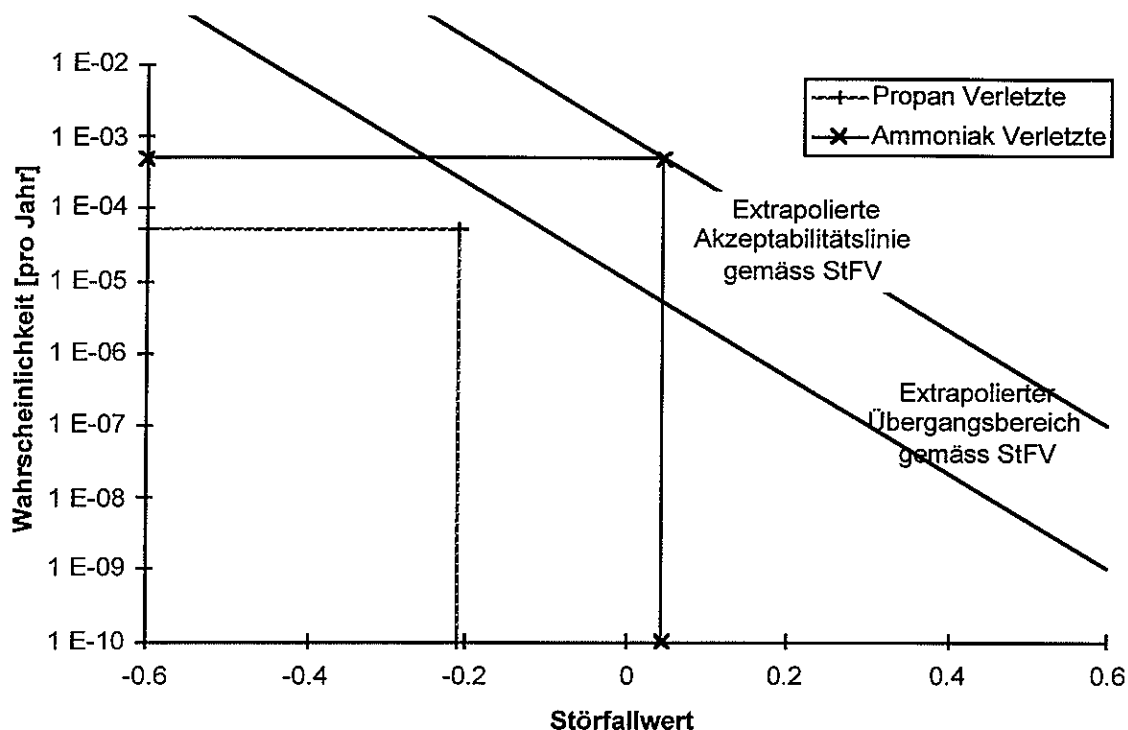
Beurteilung

Die Risikoanalyse für die zentrale Kälteanlage in einem Supermarkt zeigt, dass unter den angenommenen Voraussetzungen die Risiken einer mit Propan oder Ammoniak betriebenen Anlage tragbar sind. Dies unter der Voraussetzung, dass ein hoher Sicherheitsstandard vorliegt. Würde mit den genannten Kältemitteln gleich sorglos umgegangen wie heute mit den FKW, so kämen die Risiken in den Übergangsbereich zu liegen.

In der hier betrachteten Situation liegt zwischen der Verkaufsebene und dem Maschinenraum noch ein Korridor. Stösst der Maschinenraum direkt an die Verkaufsebene oder einen anderen, stark frequentierten Bereich, und ist eine Freisetzung des Kältemittels in diesen Bereich möglich oder hätte die Druckwirkung einer Gasexplosion im Maschinenraum Auswirkungen auf diesen Bereich, so würde die Beurteilung selbstverständlich anders ausfallen. Mit zusätzlichen Sicherheitsmassnahmen müsste dann das Risiko möglicherweise gesenkt werden.

4.3 Dezentrale Gefriereinheiten in einem Supermarkt

Die kollektiven Risiken 50 dezentraler Gefriereinheiten in einem Supermarkt sind in **Figur 4.3** dargestellt.



Figur 4.3: Risikosummenkurven im W/A-Diagramm für 50 dezentrale Gefrierereinheiten in einem Supermarkt. Die Freisetzungshäufigkeiten basieren auf statistischen Werten. Bezüglich Beurteilung siehe Legende zu Figur 4.2

Beurteilung

Die Summenkurven ergeben für Propan ein akzeptables, für Ammoniak ein eher nicht akzeptables Risiko. Dieser Befund ist insoweit zu relativieren, als die Modelle zur Abschätzung des Schadenausmasses sehr konservativ sind. Dies trifft insbesondere auf Ammoniak zu, in welchem Fall angenommen wird, dass jene Personen, die sich zum Zeitpunkt der Freisetzung gerade innerhalb des maximalen Wirkungsbereichs der Gaswolke befinden, als verletzt zu betrachten sind. Andererseits widerspiegeln die ausgewiesenen Risiken die Problematik gefährlicher Gase mitten in einem Bereich mit grosser Personendichte. Demzufolge wird empfohlen, vor einer Realisierung einer derartigen Anordnung die Risiken zuerst differenzierter als hier möglich zu untersuchen.

5. Offene Probleme

Die vorliegende Analyse verfügt über einen Tiefgang, der durch die vorhandenen Ressourcen bestimmt wird. Sie kann sich nur mit einigermaßen genau definierten Systemen befassen, d.h. dass eine Übertragung auf Wärmepumpen oder Kälteanlagen anderer Grösse in einer anderen Umgebung nur sehr beschränkt möglich ist. Ausgehend von diesen Feststellungen lassen sich folgende offenen Probleme formulieren:

- Die Risikoanalysen basieren weitgehend auf generischen Daten. Die Übertragung dieser Daten auf die hier betrachteten Systeme ist mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Eine bessere Datengrundlage mit statistischen Informationen über das Unfallgeschehen von Anlagen mit natürlichen Kältemitteln würde die Aussagekraft der Analysen stärken.
- Unabhängig von der Qualität der Informationsgrundlagen müssten die Risiken für jede Situation individuell bestimmt werden, um eine definitive Aussage über die jeweilige Tragbarkeit der Risiken machen zu können. Die Analyse weiterer Standardsituationen käme diesem Anliegen teilweise entgegen.

6. Lösung der Teilaufgaben

6.1 Verhalten von druckverflüssigten Gasen

Das Verhalten druckverflüssigter Gasen nach einer Freisetzung ist in der Literatur, die sich mit der Risikoanalyse gefährlicher Stoffe befasst, ausgiebig beschrieben (siehe z.B. [15], [16], [18]). Die folgenden Abschnitte geben deshalb nur eine kurze, vereinfachte Zusammenfassung hierzu.

6.1.1 Freisetzung

Bei der Freisetzung eines druckverflüssigten Gases geht ein Teil der Flüssigkeit sofort in die Gasphase über (Flash-Verdampfung). Die nötige Wärme für diesen Vorgang wird der restlichen Flüssigkeit entnommen, die sich auf den Siedepunkt bei Umgebungsdruck abkühlt. Häufig wird aufgrund des heftigen Siedevorgangs ein relevanter Anteil der verbleibenden Flüssigkeit als Aerosol von der entstehenden Gaswolke mitgerissen [22]. Durch die hohe Dynamik des Freisetzungsvorgangs wird viel Umgebungsluft in die turbulente Gaswolke eingemischt. Ist die Freisetzung ungehindert, so kann z.B. eine Propangaswolke innerhalb weniger Meter vom Freisetzungsort unter die untere Explosionsgrenze verdünnt werden.

6.1.2 Ausbreitung

Wegen des Abkühlvorgangs sowie des häufig hohen Molekulargewichts des freigesetzten Gases bildet sich häufig eine Schwergaswolke aus. Diese breitet sich analog einer Flüssigkeit in Bodennähe aus. Ausbreitungsgeschwindigkeit und -richtung werden durch die Topologie und die Windverhältnisse bestimmt. Die Durchmischung mit Umgebungsluft erfolgt wesentlich langsamer als bei Wolken mit neutralem Auftrieb.

Ammoniak stellt in gewisser Weise einen Sonderfall dar: Aufgrund seines Molekulargewichts ist es wesentlich leichter als die Umgebungsluft. Wegen des Abkühlvorgangs beim Austritt liegt es jedoch in der Regel kurz nach der Freisetzung als kaltes Ammoniak-Luft-Gemisch vor und besitzt somit Schwergaseigenschaften. Bei der Erwärmung auf Umgebungstemperatur wird das Gasgemisch zunehmend leichter und erhält mit der Zeit neutralen Auftrieb.

6.1.3 Zündung

Propan-Luftgemische³ mit zwischen 2.1 und 9.5 Volumenprozent Propan sind leicht entzündlich, d.h. die benötigte Zündenergie ist klein. Z.B. kann ein elektrischer Funke eines Lichtschalters zur Zündung genügen.

Demgegenüber benötigen Ammoniak-Luftgemische (15 - 30.2 %) eine hohe Zündenergie. Diese ist so hoch, dass derartige Gemische oft als nicht entzündlich angesehen werden. Es sind jedoch einige Fälle von Ammoniak-Bränden und -Explosionen bekannt. In der Praxis der Risikoanalytik zeigt sich, dass die Personenschäden aufgrund der toxischen Wirkung in aller Regel jene aufgrund der Brand- bzw. Explosionswirkung bei weitem überwiegen, weshalb meistens auf eine Quantifizierung des Brandverhaltens verzichtet wird.

³ Es wird hier der Einfachheit halber nur der Fall 'Propan' diskutiert. Propan verfügt über sehr ähnliche Eigenschaften; seine Risikorelevanz ist vergleichbar. Z.B. liegt der Zündbereich für Propan im Luftgemisch zwischen 2.0 und 11.1 Volumenprozent

6.1.4 Wirkung

Propan

Propanexplosionen erreichen in kubischen Behältern bei stöchiometrischem Mischverhältnis mit Luft Überdrücke bis etwa 8 bar. In Rohrleitungen können Explosionen zu Detonationen auflaufen und Drücke von über 20 bar erreichen. Fensterscheiben brechen im Bereich von 0.01 bar. Gebäude halten Überdrücken von gegen 0.15 - 0.3 bar stand. Menschen kommen meistens nicht durch die direkte Druckwirkung zu Schaden (es sind Drücke über 1 bar nötig für Todesfolge), sondern durch Trümmerwurf und einstürzende Gebäude. Demgegenüber ist die Druckwirkung von Gasexplosionen im Freien sehr gering, wenn keine Hindernisse im Verbrennungspfad zu einer partiellen Verdämmung führen.

Unverdämmte Gaswolken brennen mit einer Geschwindigkeit von einigen Metern pro Sekunde ab. Die Brenndauer ist sehr kurz. In [16] wird davon ausgegangen, dass eine Person, deren Kleider Feuer fangen, stirbt. Fängt die Kleidung kein Feuer, wird jedoch die exponierte Hautfläche (rund 20% der Körperoberfläche) verbrannt, so beträgt die Mortalität zwischen 0% (Personen jünger als 35 Jahre) und 90% (Personen über 80 Jahre). In [17] wird deshalb angenommen, dass Personen, die einem Gasbrand ausgesetzt sind, mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% sterben.

Wirkungsskala von Ammoniak

Wirkung von Ammoniak auf den Menschen [nach Ref. 11]	
Konzentration in der Atemluft	Auswirkungen
5 ppm	Grenze der Wahrnehmung
25 ppm	MAK-Wert (Schweiz)
35 ppm	Kurzzeitgrenzwert (15 min/Tag, Grossbritannien)
100 ppm	für trainierte Arbeiter tolerabel
150 ppm bis 200 ppm	Reizung der Schleimhäute Keine Schädigung
500 ppm bis 700 ppm	Starke Reizung der Augen Luft noch atembar
1'000 ppm bis 1'500 ppm	Sicht beeinträchtigt Verletzungen der Augen Atmung problematisch
1'500 ppm bis 2'500 ppm	Gesundheitsschäden Unbedingte Fluchtreaktion Atmung sehr problematisch
> 5'000 ppm	Ernsthaftes Todesfallrisiko

Tabelle 6.1: Wirkung verschiedener Ammoniakkonzentrationen auf den Menschen

Bei der Erarbeitung des Dokuments [2] wurde die Frage der Kurzzeittoxizität von Ammoniak verschiedenen Experten unterbreitet. Aufgrund der erhaltenen Antworten kam die Arbeitsgruppe zum Schluss, dass in einer Risikoanalyse davon ausgegangen werden soll, dass eine Konzentration von 10'000 ppm schon nach kurzer Zeit (Sekunden bis wenige Minuten) tödlich wirkt. Angesichts der vergleichsweise geringen Mengen in den hier betrachteten Systemen wird jedoch vorausgesetzt, dass Todesopfer praktisch ausgeschlossen werden können. Es wird aber angenommen, dass eine kurzzeitige Exposition bei 1'000 ppm Ammoniak zu Verletzungen führt.

Kältewirkung

Wie oben festgestellt (siehe 6.1.1) kühlt sich austretendes druckverflüssigtes Gas stark ab. Kommt es zum Hautkontakt (direkt oder über die Kleider), so können Hautverletzungen infolge Kälteeinwirkung entstehen. Derartige Schäden sind die einzigen, die hier bei FKW-Freisetzen in Betracht gezogen werden.

Erstickung

Nicht-toxische Gase können durch Sauerstoffverdrängung ebenfalls zu Personenschäden führen. Angesichts der im Vergleich zu den angenommenen Raumvolumina geringen Gasmengen (1 kg R134a erzeugt bei 20°C ein Gasvolumen von etwa 0.4 m³) ist diese Gefahr hier von untergeordneter Bedeutung und wird nicht weiter untersucht.

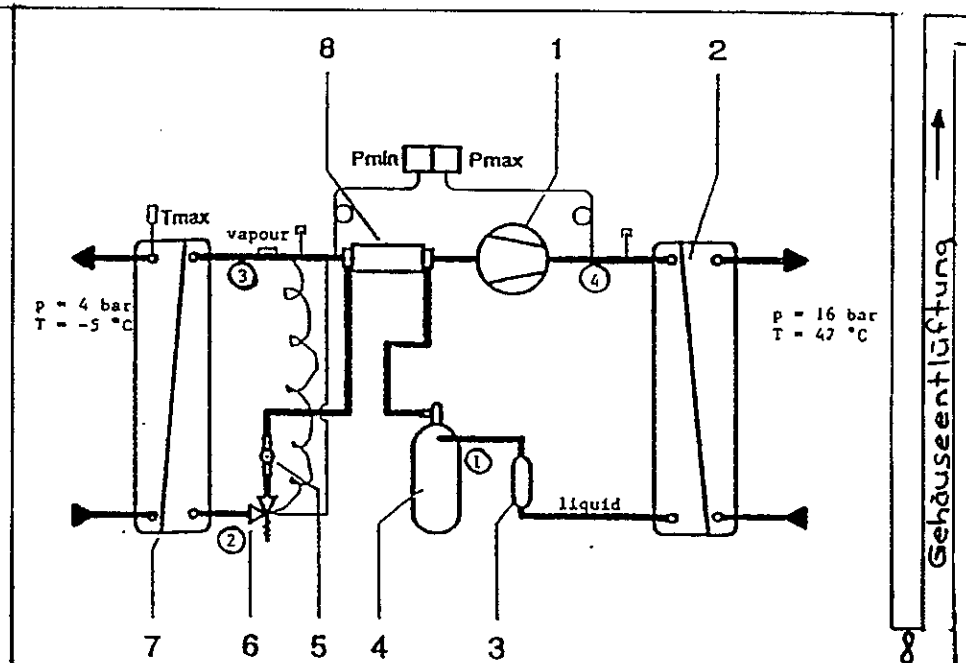
6.2 Wärmepumpe in einem Einfamilienhaus

6.2.1 Systembeschreibung

Haustyp:	Einfamilienhaus, Volumen 500 m ³
Anlagentyp:	Kompaktanlage
Betrachtete Kältemittel:	Propan, Ammoniak, R134a
Füllmenge:	1 kg (Propan, Ammoniak), 2 kg (R134a)
Standort:	Heizungsraum im UG resp. im Freien
Raumgrösse:	15 m ² Grundfläche x 2.2 m Höhe
Lüftungsart:	Mechanische Lüftung des Gehäuses
Luftwechsel:	15/h bezogen auf Gehäusevolumen
Lüftungsbetrieb:	Ständig, wenn der Verdichter läuft und ständig mit Einschalten über einen Sicherheitsdruckbegrenzer bei fallendem Druck, wenn der Verdichter steht.
Im Freien:	ebenerdig, witterungsgeschützt, ans Haus angebaut

Die Anlage entspricht in etwa jener, auf die sich [6] bezieht (siehe **Figur 6.1**).

- 1 Hermetischer Kompressor
- 2 Kondensator
- 3 Filtertrockner
- 4 Akkumulator
- 5 Sichtglas
- 6 Thermostatisches Expansionsventil
- 7 Verdampfer
- 8 Wärmetauscher



Figur 6.1: Schematische Darstellung der Wärmepumpe

6.2.2 Datengrundlagen

Die im Folgenden zusammengestellten Wahrscheinlichkeiten aus Statistiken und Literatur dienen entweder als Grundlage für die Risikoanalyse oder werden zu Vergleichszwecken und für Plausibilitätsprüfungen verwendet.

Freisetzungshäufigkeiten
Wärmepumpe

Die TNO hat in ihrer generischen Risikoanalyse [6] für ein repräsentatives System einer Wärmepumpe im Wohnbereich folgende jährlichen Freisetzungshäufigkeiten für Propan ermittelt:

Systembereich	Häufigkeit einer Freisetzung	Freisetzungsmenge bzw. -rate
Flüssigkeit Hochdruck		
- Bruch Leitung und Behälter	5.00E-05	1.5 kg sofort
- Leck Leitung und Behälter	4.50E-04	0.015 kg/s 100s
Flüssigkeit Niederdruck		
- Bruch Leitung und Behälter	2.00E-05	1.5 kg sofort
- Leck Leitung und Behälter	1.50E-04	0.0074 kg/s 200s
Dampf Hochdruck		
- Bruch Leitung	1.00E-05	0.51 kg sofort
- Leck Leitung	5.00E-05	0.0013 kg/s 400s
Dampf Niederdruck		
- Bruch Leitung	1.00E-05	1.42 kg sofort
- Leck Leitung	5.00E-05	0.0009 kg/s 1600s
Menschliches Versagen (2-jährliches Wartungsintervall mit Eingriff in den Kältemittelkreislauf)	5.00E-04	Szenario mit grösster Menge

Tabelle 6.2: Jährliche Freisetzungshäufigkeiten Wärmepumpe TNO

Unfallstatistik Wärmepumpen Aus der Unfallstatistik der SUVA von 1995 - 1998 ist ein Fall einer Verletzung durch Kontakt mit Kältemittel aus einer Wärmepumpe bekannt. Wird davon ausgegangen, dass sich der Unfall beim Unterhalt oder bei der Installation ereignete, so ergibt dies bei 19'747 verkauften Wärmepumpen in dieser Periode eine Verletzungshäufigkeit für Unterhaltspersonal von $5 \cdot 10^{-5}$ pro verkaufte Wärmepumpe und Jahr.

Risiken Wärmepumpe Die Risikoanalyse der TNO [6] für eine Wärmepumpe im Einfamilienhausbereich ergibt folgende maximale (je nach Raumvolumen) Todesfallwahrscheinlichkeiten für die betroffenen Personengruppen:

Unterhaltspersonal	$5 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr
Hausbewohner	$2.3 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr
Andere Personen	$2.6 \cdot 10^{-8}$ pro Jahr

Unfälle mit Gas in Wohnhäusern

In der Datenbank Accidat [7] sind in der Schweiz in der Periode 1991 - 1998 20 Unfälle mit Gasexplosionen registriert. Darunter befinden sich zwei Unfälle mit Personenschäden (5 Tote, 22 Verletzte), die auf das Ausströmen von Erdgas aus einer defekten Leitung in Wohngebäuden zurückzuführen sind. Die Zahl der Gasanschlüsse in Wohngebäuden beträgt in der Schweiz ca. 216'000. Daraus ergeben sich folgende Risiken pro Gasanschluss in Wohngebäuden:

Unfälle pro Gebäude mit Gasanschluss pro J	2.3E-06
Verletzungen pro Anschluss und J	1.3E-05
Todesfälle pro Anschluss und J	2.9E-06

Tabelle 6.3 Unfälle mit Erdgas Schweiz (Accidat, SVGW)

Diese Statistik wird stark durch einen grossen Unfall mit 5 Toten und 18 Verletzten dominiert. Ein Vergleich mit der niederländischen Statistik von GASTEC [5] zeigt aber, dass dort die Werte in der gleichen Größenordnung liegen:

Unfälle pro Gebäude mit Gasanschluss pro J	1.4E-05
Todesfälle pro Anschluss und J	1.9E-06

Tabelle 6.4 Unfälle mit Erdgas, Niederlande (GASTEC)

6.2.3 Modellierung des Systems, Szenariengenerierung

Freisetzungshäufigkeiten Für die Risikoanalyse werden die Freisetzungshäufigkeiten der TNO [6] verwendet (siehe **Tabelle 6.2**). Das Wartungsintervall wird jedoch als 5-jährlich angenommen, wodurch sich die Freisetzungshäufigkeit infolge menschlichen Versagens auf $2 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr reduziert⁴.

Ereignisbäume Die Ereignisbäume befinden sich im Anhang 1. Die folgenden Wahrscheinlichkeiten werden verwendet (**Tabelle 6.5**)

Ereignis (Propan)	Wert	Kommentar
Ventilation in Betrieb	0.9998	Versagensrate des Ventilators der Gehäuselüftung = $2 \cdot 10^{-4}$ pro Anforderung ([19], Rotating Equipment-Motor-Driven Fans)
Freisetzungsrate > Ventilationsrate	0.643	Anteil Flüssigkeitslecks aus dem Hochdruckteil an der Gesamtleckrate gemäss Tabelle 6.2. Begründung siehe unten, Abschn. 'Ausbreitung'
Zündung	0.005, 0.01	[6] gibt 0.01. 0.005 ist eine Schätzung für den Fall, dass die Gehäuselüftung funktioniert, aber nicht die gesamte Freisetzungsrate bewältigen kann, oder wenn nur ein Teil des Propan freigesetzt wird.
Druckwirkung	0.1, 0.2	[6] gibt 0.8 für Sofortzündung und 0.2 verzögerte Zündung. Es wird angenommen in Übereinstimmung mit [6], dass eine verzögerte Zündung eine Druckwirkung mit sich zieht. 0.1 ist eine Schätzung für den Fall, dass die Gehäuselüftung funktioniert, aber nicht die gesamte Freisetzungsrate bewältigen kann.
Installation, Unterhalt, Wartung, Abbruch	0.69	Basierend auf der Angabe in [6] wird als Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung infolge Manipulation ein Wert von $2 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr errechnet (Annahme: Alle 5 Jahre Revision mit Öffnung der Propananlage). Der Wert von 0.69 ist das Verhältnis zwischen diesem Wert und der Gesamtwahrscheinlichkeit einer spontanen Freisetzung. Es wird angenommen, dass Freisetzungen infolge Manipulation immer spontane Freisetzungen sind.
Relevanter Hautkontakt	0.025	Pro 20'000 installierte Pumpen kommt es zu einer Verletzung (Wahrscheinlichkeit = $5 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr, siehe 6.2.2). Die Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung infolge Manipulation ist $2 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr (siehe oben). Bei einer angenommenen Lebensdauer der Pumpe von 10 Jahren ist die Verletzungshäufigkeit nach einer Freisetzung somit 0.025.
Freisetzung aus Hochdruckteil Gasphase	0.111	Bei einer Freisetzung aus dem Hochdruckteil der Gasphase wird nur ein Teil des Propan freigesetzt (rund 33%). Damit werden die Zündwahrscheinlichkeit und das mögliche Schadenausmass kleiner. $0.111 = \text{Anteil Gaslecks aus Hochdruckteil an Gesamtlecks}$.

Tabelle 6.5: Wahrscheinlichkeitswerte der Verzweigungen in den Ereignisbäumen von Propanfreisetzungen

⁴ In [6] wird als Freisetzungshäufigkeit bei Unterhalt, Wartung, Reparatur oder Nachfüllen von Kältemitteln ein Wert von $1 \cdot 10^{-3}$ pro Handlung eingesetzt. Dieser Wert basiert auf allgemeinen Daten zu Handlungsfehlern. In der Praxis werden jedoch einerseits die 'Fehlertoleranz' des Systems und andererseits Ausbildung und Verhalten des Monteurs entscheidend mitbestimmen, wie hoch die tatsächliche Freisetzungshäufigkeit ist. Dies gilt es bezüglich des individuellen Risikos für den Monteur zu berücksichtigen.

Ereignis (Ammoniak)	Wert	Kommentar
Ventilation in Betrieb	0.9998	siehe Propan
Freisetzungsrates > Ventilationsrate	0.643	siehe Propan
Ausbreitung in Wohnung (Türe offen)	0.01	Annahme: Die Türe zum Heizungsraum steht durchschnittlich während 15 min pro Tag offen. $0.001 = 15/60/24$
Installation, Unterhalt, Wartung, Abbruch	0.69	siehe Propan

Tabelle 6.6: Wahrscheinlichkeitswerte der Verzweigungen in den Ereignisbäumen von Ammoniakfreisetzungen

Ereignis (FKW)	Wert	Kommentar
Installation, Unterhalt, Wartung, Abbruch	0.69	siehe Propan
Relevanter Hautkontakt	0.025	siehe Propan

Tabelle 6.7: Wahrscheinlichkeitswerte der Verzweigungen in den Ereignisbäumen von FKW-Freisetzungen

Freisetzung

Folgende Freisetzungsmengen bzw. Raten werden angenommen, basierend auf [6] (Tabelle 6.8).

Spontane Freisetzung	Gesamter Inhalt (1 bzw. 2 kg), ausser bei Freisetzung aus dem Hochdruckteil der Gasphase (0.33 kg Propan bzw. 0.15 kg Ammoniak, entsprechend dem Flash-Anteil bei 20°C). Begründung: Bei Freisetzungen wird in der Regel die gesamte Kältemittelmenge wegen der Siedeaktivität beim Druckabfall ausgestossen. Die Ausnahme bildet eine Freisetzung aus dem Hochdruckteil der Gasphase. Dann wird nur der Flash-Anteil ausgestossen, der Rest des Kältemittels kühlt sich auf Siedetemperatur bei Umgebungsdruck ab.
Kontinuierliche Freisetzung	Leck Flüssigkeit Hochdruckteil: 10 g/s Leck Flüssigkeit Niederdruckteil: 5 g/s Leck Gas Hochdruckteil: 0.8 g/s (Propan) bzw. 0.4 g/s (NH₃), Freisetzung von 330 bzw. 150 g Leck Gas Niederdruckteil: 0.6 g/s Begründung: Die Annahmen basieren auf den Angaben in [6] (Austritt der gesamten Menge innerhalb 100, 200, 400, 1600 s)

Tabelle 6.8: Freisetzungsmengen und -raten

Ausbreitung

Bei Flüssigpropanfreisetzungen bildet sich erfahrungsgemäss keine Lache [17] währenddem der grösste Teil des Flüssigammoniaks nach einer Freisetzung liegen bleibt [2]. In der vorliegenden Arbeit wird davon ausgegangen, dass rund 30% des freigesetzten Flüssigammoniaks in die Gasphase übergeht.

Die Gehäuseventilation mit einer Ventilationsrate von 15 Luftwechseln pro Stunde und einem angenommenen Gehäusevolumen von 1 m³

kann maximal 8 g/s Propan bzw. 3 g/s Ammoniak ins Freie befördern. Somit werden die Freisetzungsraten von kontinuierlichen Freisetzungen durch die Gehäuselüftung beherrscht, ausser bei einem Flüssigkeitsleck aus dem Hochdruckteil.

Wirkung auf Personen und Objekte

[6] gibt an, dass die Wahrscheinlichkeit eines Todesfalles bei einem Brand bei 0.01 liege. Im Falle einer Explosion ist dieser Wert fünf Mal grösser, da tödlich Verletzungen infolge Gebäudeschäden möglich sind. Falls das Feuer während einer Manipulation ausbricht, so ist die Wahrscheinlichkeit einer Verletzung mit Todesfolge 0.1. Diese Werte werden in der vorliegenden Analyse übernommen.

Werden 1 kg Ammoniak freigesetzt, so entstehen 0.3 kg Gas (siehe oben). Diese nehmen unverdünnt ein Volumen von 0.45 m³ ein. Wird dieses Ammoniak homogen im Heizungsraum verteilt, so resultiert eine Konzentration von 14'000 ppm (konservative Annahme: der Heizungsraum ist dicht, es entweicht nichts über die Ventilationsöffnung). Werden nun 0.45 m³ Gas-Luftgemisch à 14'000 ppm aus dem Heizungsraum verdrängt, so kann damit ein Volumen von 6 m³ à 1000 ppm gefüllt werden. Auf ein angenommenes Gebäudevolumen von 500 m³ sind dies 1.2%. Daraus werden folgende (konservativen) Wahrscheinlichkeitswerte abgeleitet (**Tabelle 6.9**):

Situation	Wahrscheinlichkeit
Verletzung des Monteurs	100%
Verletzung eines Hausbewohners bei spontaner Freisetzung	1.2%
Verletzung eines Hausbewohners bei kontinuierlicher Freisetzung, Ventilation funktioniert nicht	1.2%
Verletzung eines Hausbewohners bei kontinuierlicher Freisetzung, Ventilation funktioniert (Annahme: Es gelangt nur halb so viel Ammoniak in die Wohnung wie wenn die Ventilation nicht läuft).	0.6%

Tabelle 6.9: Verletzungswahrscheinlichkeiten nach Ammoniakfreisetzung

6.2.4 Resultate

Die Resultate werden als individuelle Risiken dargestellt. Das Risiko für die Hausbewohner basiert dabei auf der Annahme, dass diese 100% der Zeit im Haus verbringen (Konservative Annahme).

Kältemittel	Tod Hausbewohner	Verletzung Hausbewohner	Tod Monteur	Verletzung Monteur
Ammoniak		$6 \cdot 10^{-7}$		$2 \cdot 10^{-4}$
Propan	$8 \cdot 10^{-8}$		$2 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-6}$
FKW				$5 \cdot 10^{-6}$
Gasheizung	$2 \cdot 10^{-6}$			

Tabelle 6.10: Individuelle Risiken für Hausbewohner und Monteur. Die Werte verstehen sich pro Anlagejahr und stammen aus den Ereignisbäumen im Anhang 1

Eine graphische Darstellung der Resultate findet sich in Figur 4.1.

Anlage im Freien

Wird die Anlage im Freien aufgestellt, so ist nur noch der Monteur Gefahren ausgesetzt. Die Risiken bei Anlagen mit Propan und Ammoniak sind dabei geringer als die oben erwähnten.

6.2.5 Schlussfolgerungen

Aufgrund der Resultate können nachstehende Schlussfolgerungen getroffen werden.

- Das Risiko für die Hausbewohner in der betrachteten Situation ist für die untersuchten Kältemittel akzeptabel. Diese Aussage gilt generell für Anordnungen, in denen die Wärmepumpe in einem separaten Raum steht, fachmännisch hergestellt, installiert, betrieben und gewartet wird und keine wesentlich grösseren Kältemittelmengen besitzt.
- Das Risiko für den Monteur wird stark von der angenommenen Freisetzungshäufigkeit infolge eigener Fehlmanipulation dominiert (siehe Abschn. 6.2.3). Unter der getroffenen Annahme käme sein Risiko in den oberen Übergangsbereich zu liegen, wenn er pro Jahr 100 Propananlagen installiert, wartet, repariert, auffüllt etc. Dies unterstreicht die Wichtigkeit einer fehlertoleranten Anlage und einer guten Ausbildung des Monteurs.
- Das ermittelte Risiko für den Monteur von Ammoniakanlagen kommt unter den gleichen Annahmen in den nicht akzeptablen Bereich zu liegen, nicht zuletzt als Folge des konservativen Analyseansatzes. So wird hier davon ausgegangen, dass eine spontane Freisetzung bei der Manipulation unweigerlich zu einer Verletzung führt.

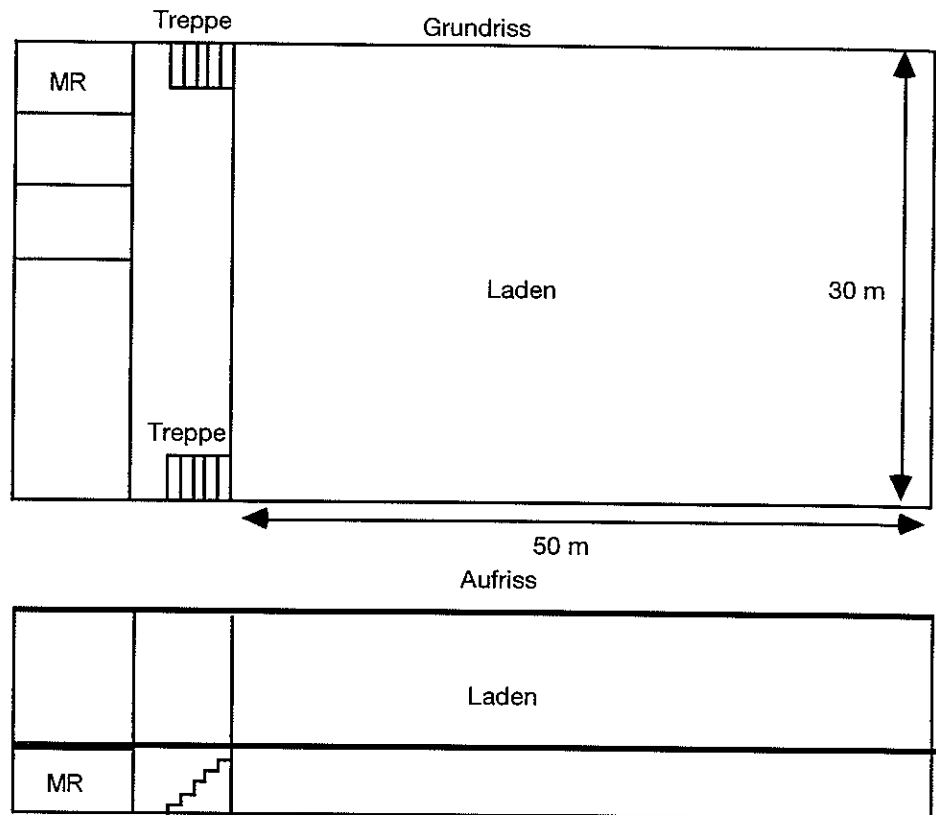
Das Risiko bei Ammoniak ist deshalb grösser als bei Propan, weil Propan zuerst gezündet werden muss, bevor eine relevante Schadenwirkung eintritt. Im Gegensatz dazu reichen schon geringe Mengen von Ammoniak aus, um zu einer Verletzung, im schlimmsten Fall sogar zum Tod des Monteurs zu führen.

6.3 Kälteanlage in einem Supermarkt

6.3.1 Systembeschreibung

Die für die Risikoanalyse wichtigsten Systemparameter sind:

Allgemeines	Gebäude:	Siehe Figur 6.2. Ladenfläche im EG 1500 m ² , Höhe 5 m Korridor im UG, Fläche 200 m ² , Höhe 3 m Maschinenraum UG, Fläche 40 m ² , Höhe 3 m
	Personen:	500 Personen im Laden Tagsüber durchschnittlich 5 Personen im Korridorbereich
Wärmepumpe Maschinenraum	Betrachtetes Kältemittel:	Propan, Ammoniak, R404a
	Füllmenge:	20 kg (Propan, Ammoniak) bzw. 40 kg (R404a)
	Standort:	Maschinenraum im UG
	Anzahl Kompressoren:	1
	Anzahl Flansche:	50 (im Hauptkreislauf)
	Anzahl Ventile und andere Armaturen:	20 (im Hauptkreislauf)
	Gesamtlänge Leitungen mit Kältemittel:	25 m (Hauptleitungen)
	Raumgrösse:	40 m ² Grundfläche x 2.5 m Höhe
	Gasdetektion:	Zwei unabhängige Gasdetektoren. Alarmgebung in der Zentrale und automatische Umstellung der Ventilation auf Vollast.
	Lüftungsart:	Mechanische Lüftung des Maschinenraums. Einschalten und Steuerung über Raumtemperatur resp. beim Ansprechen eines Gasdetektors
	Luftwechsel:	370 m ³ /h (gemäss Anforderungen SN 253'130)



MR = Maschinenraum

Figur 6.2: Schematische Plandarstellung des Supermarkts

6.3.2 Datengrundlagen

Wahrscheinlichkeiten und Risiken

Die im Folgenden zusammengestellten Zahlengrundlagen aus Statistiken und Literatur dienen entweder als Grundlage für die Risikoanalyse oder werden zu Vergleichszwecken und für Plausibilitätsprüfungen verwendet.

Häufigkeit Auslaufen Kältemittel

Aufgrund von Erfahrungen wird für zentrale Kälteanlagen in Supermärkten in der Schweiz für das vollständige Auslaufen des Kältemittels eine Häufigkeit von 10^{-3} pro Jahr geschätzt⁵ [9].

Statistische Grundlagen

Aus der Literatur sind folgende statistischen Unfallhäufigkeiten und Risiken von Kälteanlagen mit Ammoniak bekannt [5]:

⁵ Dieser Wert bezieht sich auf Kälteanlagen, die mit FKW betrieben werden.

Wert	Einheit	Quelle	Statistik/Analyse Jahr
Japan			
1.20E-03	Unfälle pro Installation und Jahr	High Pressure Gas	Statistik 1951 - 1990
1.20E-03	Verletzte pro Installation und Jahr	Safety Institute of Japan	Statistik 1951 - 1990
1.00E-04	Tote pro Installation und Jahr		Statistik 1951 - 1990
Niederlande			
8.50E-04	Verletzte pro Installation und Jahr	FACTS	Statistik, 1977 - 1991
1.70E-04	Tote pro Installation und Jahr	FACTS	Statistik, 1977 - 1991
1.50E-02	Unfälle pro Installation und Jahr	TNO	Umfrage Statistik 1992
2.80E-03	Verletzte pro Installation und Jahr	TNO	Umfrage Statistik 1992
Norwegen			
7.20E-04	Unfälle pro Installation und Jahr	Refrigeration-Energy-Food	Statistik 1970 - 1991
2.40E-04	Verletzte pro Installation und Jahr	Consult AS	Statistik 1970 - 1991
8.00E-05	Tote pro Installation und Jahr		Statistik 1970 - 1991

Tabelle 6.11: Statistische Unfallhäufigkeiten von Kälteanlagen mit Ammoniak

Häufigkeit von Freisetzungen bei Kunsteisbahnen Als Vergleichsgrösse für Freisetzungen aus Ammoniak-Kälteanlagen können die Freisetzungshäufigkeiten von Ammoniak bei Kunsteisbahnen herangezogen werden. Für eine grössere Freisetzung ($>1 \text{ kg/s}$) wird im Methodikbeispiel BUWAL [2] eine Häufigkeit von $1 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr angegeben.

6.3.3 Modellierung des Systems, Szenariengenerese

Fehlerbäume

Zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten wird die Methode der Fehler- und Ereignisbäume angewendet. Die beiden Fehlerbäume für eine grosse spontane und eine kontinuierliche Gasfreisetzung sind in Anhang 2 zu finden. Die Struktur der Bäume und die verwendeten Wahrscheinlichkeiten basieren weitgehend auf Angaben in [2]. Die Zahlen in Klammern in den Randnotizen beziehen sich auf die Zahlen in den Eingangswahrscheinlichkeiten des entsprechenden Fehlerbaums. In der vorliegenden Arbeit wird davon ausgegangen, dass die Freisetzungshäufigkeiten von Propan identisch sind mit jenen von Ammoniak.

Naturgewalt, Erdbeben (1) Es ist davon auszugehen, dass Erdbeben ab einer Intensität VII (MSK) in signifikantem Ausmass zu Rohrbrüchen führen können [3]. Die Häufigkeiten für die Erdbebenintensität VII liegen für Standorte in weiten Teilen des Schweizerischen Mittellandes bei 10^{-3} , für die Erdbebenintensität VIII bei 10^{-4} pro Jahr [10].
Da statistisches Zahlenmaterial für Erdbebenschäden bei Kälteanlagen fehlt, werden Statistiken von Chemieanlagen mit Reaktorgefässen aus der Literatur verwendet.

Bei einem Beben der Intensität VII versagen bei 4% der Reaktorgefässe von Chemieanlagen einige Anschlussleitungen und der Tankinhalt wird mit mittlerer Wahrscheinlichkeit freigesetzt. Die Häufigkeit für ein Versagen der meisten Leitungen mit sehr wahrscheinlicher Freisetzung aus dem Reaktorgefäss beträgt 1% bei einer Intensität von VIII [10].

Daraus ergibt sich für die grosse spontane Freisetzung bei Leitungsbruch eine Häufigkeit von 10^{-6} ($10^{-4} \cdot 0.01$) und für die kontinuierliche Freisetzung ein Wert von $4 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr ($10^{-3} \cdot 0.04$).

Andere mechanische Einwirkungen (2)

Für 2" - 6" Leitungen bei einem Druck bis maximal 30 atm wird eine Häufigkeit für ein grosses Leck (10 - 1000 mm²) von $1 \cdot 10^{-10}$ m⁻¹ h⁻¹, für Bruch $3 \cdot 10^{-11}$ angegeben [1]. Multipliziert mit 360·24 h und der angenommenen relevanten Länge (je 12.5 m im Hochdruck- und Niederdruckteil) wird die Versagenshäufigkeit erhalten.

Brand im Maschinenraum (3)

Die Abschätzungen basieren auf Angaben im Methodikbeispiel für die Ammoniak-Kälteanlage einer Kunsteisbahn [2]. Die Häufigkeit der Kombination von Fehlhandlung (Lagerung von brennbarem Material im Maschinenraum) und Zündung wird auf 10^{-6} pro Jahr geschätzt. Für die Wahrscheinlichkeit, dass der Brand nicht rechtzeitig unter Kontrolle gebracht werden kann, wird 10^{-2} pro Anforderung angenommen.

Materialfehler, katastrophale Korrosion (4)

Die Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung aus dem Behälter infolge Materialfehler oder katastrophaler Korrosion beträgt für eine spontane Freisetzung 10^{-6} , für eine kontinuierliche Freisetzung 10^{-5} [4].

Freisetzung durch Kompressorgehäuse (5)

Für Leck oder Bersten des Gehäuses von Kreislumpen wird ein Wert von $3 \cdot 10^{-8}$ h⁻¹ angegeben. Dieser Wert wird für das Kompressorgehäuse übernommen, da in der Literatur keine spezifischen Werte zu finden sind. Die jährliche Betriebsdauer beträgt bei ununterbrochenem Betrieb 8760 Stunden.

Ventile können nicht rechtzeitig geschlossen werden (6)

Es wird davon ausgegangen, dass die Anlage mit einem Gassensor ausgerüstet ist und das Personal für einfache Interventionen geschult ist. Eine Freisetzung ist nur während der Ladenöffnungszeiten relevant, also zu einem Zeitpunkt, wenn technisches Personal verfügbar ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Ventile nicht rechtzeitig (von Hand) geschlossen werden können, wird auf 0.3 pro Anforderung geschätzt.

Flansch bricht auf (7) Für Druckleitungen mit hohem Standard und ohne Temperaturzyklen kann eine Versagenhäufigkeit von Flanschen von $1 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ eingesetzt werden [1]. Dieser Wert, multipliziert mit 8760 h und der Anzahl relevanter Flansche (Annahme: 50) ergibt die Versagenhäufigkeit.

Ventil bricht auf (8) Ventilbrüche sind sehr selten. Deshalb wurden die statistischen Daten aller untersuchten Ventiltypen (Kugel-, Membranventile etc.) zusammengeführt [1]. Der publizierte Wert von $1 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ wird mit 8760 h und der Anzahl betroffener Ventile und anderer relevanter Armaturen (Annahme: 25) multipliziert, um die Versagenhäufigkeit pro Jahr zu erhalten.

Ereignisbäume Die Ereignisbäume befinden sich im Anhang 3. Es werden zwei Fälle unterschieden (siehe Abschnitt 3.2.2):

1. Die Freisetzungshäufigkeiten entsprechen jenen einer 'professionell' betriebenen Anlage und
2. Die Anlage zeigt die gleichen Freisetzungshäufigkeiten wie sie heute bei FKW-Anlagen festgestellt werden (10^{-3} Freisetzungen pro Jahr).

Die folgenden Zahlenwerte werden eingesetzt (Tabellen 6.12 - 6.14).

Ereignis (Propen)	Wert	Kommentar
Ventilation in Betrieb	0.9998	Versagensrate des Ventilators der Gehäuselüftung = $2 \cdot 10^{-4}$ pro Anforderung ([19], Rotating Equipment-Motor-Driven Fans)
Freisetzungsrate > Ventilationsrate	0.5	Annahme: Anteil Leitungen grösser DN35 ist 50%
Zündung im Maschinenraum	0.01, 0.05	[6] gibt 0.01 für Freisetzungen $\leq 5 \text{ kg}$. Dieser Wert wird eingesetzt für jene Fälle, in denen die Ventilation läuft. Der Wert von 0.05 für den Fall, dass die Ventilation nicht läuft, stammt aus [17]
Austritt aus Maschinenraum	0.01, 1	Wenn der Ventilator läuft, tritt das Propen im Falle von kontinuierlichen Freisetzungen nur bei offener Türe aus dem Raum. Es wird angenommen, dass die Türe während 15 min pro Tag offensteht, entsprechend einer Wahrscheinlichkeit von 0.01. Läuft der Ventilator nicht oder fand eine spontane Freisetzung statt, so wird davon ausgegangen, dass das Propen immer zum Raum austritt.
Zündung (nach Austritt aus dem Maschinenraum)	0.01, 0.05	Begründung wie oben
Druckwirkung	0.2, 0.5	[6] gibt einen Wert von 0.2 für verzögerte Zündung bei kleinen Freisetzungen aus Wärmepumpen. Es wird angenommen in Übereinstimmung mit [6], dass eine verzögerte Zündung eine Druckwirkung mit sich zieht. Der Wert von 0.2 wird übernommen für den Fall, dass die Ventilation läuft, der Wert von 0.5 ist abgeschätzt für den Fall, dass die Ventilation nicht läuft.

Tabelle 6.12: Wahrscheinlichkeitswerte der Verzweigungen in den Ereignisbäumen von Propenfreisetzungen

Ereignis (Ammoniak)	Wert	Kommentar
Ventilation in Betrieb	0.9998	siehe Propen
Freisetzungsrate > Ventilationsrate	0.5	siehe Propen
Austritt aus Maschinenraum	0.01, 1	siehe Propen
Austritt in Supermarkt (kontinuierliche Freisetzung)	0.1, 0.5	Schätzungen für den Fall, dass die Ventilation läuft (0.1) bzw. nicht läuft (0.5)
Austritt in Supermarkt (spontane Freisetzung)	0.5, 1	Schätzungen für den Fall, dass die Ventilation läuft (0.5) bzw. nicht läuft (1.0)

Tabelle 6.13: Wahrscheinlichkeitswerte der Verzweigungen in den Ereignisbäumen von Ammoniakfreisetzungen

Ereignis (FKW)	Wert	Kommentar
Relevanter Hautkontakt	0.01	Pro 20'000 installierte Pumpen kommt es zu einer Verletzung (Wahrscheinlichkeit = $5 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr, siehe 6.2.2). Die Wahrscheinlichkeit einer Freisetzung infolge Manipulation ist $5 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr (siehe oben). Bei einer Lebensdauer der Pumpe von 10 Jahren ist die Verletzungshäufigkeit nach einer Freisetzung somit 0.01.

Tabelle 6.14: Wahrscheinlichkeitswerte der Verzweigungen in den Ereignisbäumen von FKW-Freisetzungen

Freisetzung

Folgende Freisetzungsmengen werden anhand von Formel 1 abgeschätzt (Tabellen 6.15 und 6.16, [18]).

$$G = C_d \frac{h}{\Delta V (T C_p)^{1/2}} \quad \text{Formel 1}$$

G = Austrittsrate [$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

C_d = Austrittskoeffizient (0.61)

h = Verdampfungswärme [J kg^{-1}]

ΔV = Änderung des spezifischen Volumens flüssig-gasförmig beim Behälterdruck [$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$]

T = Lagertemperatur [K]

C_p = Wärmekapazität der Flüssigkeit [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]

Propen

Spontane Freisetzung	Der gesamte Inhalt (20 kg) wird innert Sekunden freigesetzt
Kontinuierliche Freisetzung (10% Leitungsquerschnitt)	Leck Flüssigkeit DN 80 Niederdruckteil: 2.5 kg/s Leck Flüssigkeit DN 30 Hochdruckteil: 0.2 kg/s Leck Gas DN 80 Niederdruckteil: 0.5 kg/s Leck Gas DN 55 Hochdruckteil: 0.5 kg/s Leck Gas DN 35 Hochdruckteil: 0.2 kg/s

Tabelle 6.15: Freisetzungsmengen und -raten für Propen

Ammoniak

Spontane Freisetzung	Der gesamte Inhalt (20 kg) wird innert Sekunden freigesetzt
Kontinuierliche Freisetzung (10% Leitungsquerschnitt)	Leck Flüssigkeit DN 80 Niederdruckteil: 0.7 kg/s
Anteil Ammoniak, der in die Gasphase übergeht	Leck Flüssigkeit DN 30 Hochdruckteil : 0.06 kg/s
	Leck Gas DN 80 Niederdruckteil: 0.15 kg/s
	Leck Gas DN 55 Hochdruckteil: 0.15 kg/s
	Leck Gas DN 35 Hochdruckteil: 0.06 kg/s

Tabelle 6.16: Freisetzungsmengen und -raten für Ammoniak

Ausbreitung

Die Ventilationsrate des Maschinenraums beträgt 370 m³/h. Damit können maximal 200 g/s Propen bzw. 80 g/s Ammoniak ins Freie befördert werden. Somit werden die Freisetzungsraten aus den Leitungen DN 30 und 35 insofern beherrscht, als kein Gas den Maschinenraum über Undichtheiten z.B. bei der Türe verlässt

Brand und Explosionsgefahr nach Propenfreisetzung

Eine Freisetzung von 20 kg Propen in einem Raum von 120 m³ Inhalt ergibt bei homogener Verteilung eine Konzentration von 8 Vol.%. Diese Konzentration liegt innerhalb des explosiblen Bereichs von Propen. Nach einer derartigen Freisetzung braucht die Lüftung wesentlich länger als 10 min, bis die Konzentration unter die untere Explosionsgrenze von 2.0 Vol.% gesunken ist.

Werden 20 kg Propen freigesetzt, so entstehen bei 20°C 10 m³ Gas. Wird das Gas homogen im Maschinenraum verteilt, so resultiert eine Konzentration von 8 Vol.% (konservative Annahme: der Maschinenraum ist dicht, es entweicht kein Gas über die Ventilationsöffnung). Werden nun 10 m³ Gas-Luftgemisch à 8 Vol.% aus dem Maschinenraum verdrängt, so kann damit ein Volumen von 40 m³ à 2 Vol.% gefüllt werden. Auf ein angenommenes Korridorvolumen von 600 m³ sind dies 7%. Bei einer Zündung im Maschinenraum wird sich deshalb der Druck im Korridor nicht weiter aufbauen. Es wird daher davon ausgegangen, dass bei einer Explosion im Maschinenraum auf der Verkaufsebene keine Personen zu Schaden kommen.

Aufgrund dieser Überlegungen werden Personenschäden gemäss **Tabelle 6.17** erwartet (Schätzung des Berichtsverfassers). Pro Memoria: Im Korridorbereich halten sich fünf Personen auf (siehe Abschnitt 6.3.1).

Szenario (kontinuierliche oder spontane Freisetzung)	Geschätzter Personenschaden (Tote)
Ventilation läuft, explosibles Gas befindet sich ausschliesslich im Maschinenraum	1
Ventilation läuft, explosibles Gas tritt aus Maschinenraum aus	3
Ventilation läuft nicht, explosibles Gas befindet sich ausschliesslich im Maschinenraum	3
Ventilation läuft nicht, explosibles Gas tritt aus Maschinenraum aus	5
Freisetzung findet wegen unsachgemässer Handhabung statt (Freisetzungshäufigkeit 10^{-3} pro Jahr)	wie oben, zusätzlich 1 toter Monteur

Tabelle 6.17: Geschätzte Personenschäden infolge Propanexplosion

Im Brandfall werden keine Personenschäden, wohl aber Sachschäden erwartet. Diese werden wie auch im Explosionsfall mit 1 mio Fr. beziffert.

Toxische Wirkung von Ammoniak

Werden 20 kg Ammoniak freigesetzt, so entstehen 6 kg Gas. Dieses nimmt unverdünnt ein Volumen von 8 m³ ein. Wird dieser Ammoniak homogen im Maschinenraum verteilt, so resultiert eine Konzentration von 70'000 ppm (konservative Annahme: der Maschinenraum ist dicht, es entweicht kein Gas über die Ventilationsöffnung). Werden nun 8 m³ Gas-Luftgemisch à 70'000 ppm aus dem Heizungsraum verdrängt, so kann damit ein Volumen von 600 m³ à 1'000 ppm gefüllt werden. Auf ein angenommenes Volumen des Korridors von gerade 600 m³ sind dies 100% (= Bereich mit 100% Verletzten). Werden 8 m³ Gas-Luftgemisch à 1'000 ppm aus dem Korridor in den Supermarkt verdrängt, so entspricht dies bei einem Volumen des Ladenbereichs von 7'500 m³ rund 0.1%. Daraus werden folgende (konservativen) Wahrscheinlichkeitswerte abgeleitet (Tabelle 6.18):

Situation (spontane oder kontinuierliche Freisetzung)	Verletzte
Verletzte im Korridor	100% oder 5 Personen
Verletzte im Ladenbereich	0.1% oder 0.5 Personen ⁶

Tabelle 6.18: Verletzungswahrscheinlichkeiten nach Ammoniakfreisetzung

⁶ Da die Schadenskala kontinuierlich ist, wird hier für die Risikodarstellung mit 'halben Personen' gerechnet

6.3.4 Resultate

Figur 4.2 zeigt die verschiedenen Summenkurven im W/A-Diagramm.

6.3.5 Schlussfolgerungen

Die Risikoanalyse für die zentrale Kälteanlage in einem Supermarkt zeigt, dass unter den angenommenen Voraussetzungen die Risiken einer mit Propan oder Ammoniak betriebenen Anlage tragbar sind. Folgende Faktoren sind dabei wichtig:

- Es muss ein hoher Sicherheitsstandard vorliegen. Würde mit den genannten Kältemitteln gleich sorglos umgegangen wie heute mit den FKW, so kämen die Risiken in den Übergangsbereich resp. auf die Grenze zwischen einem akzeptablen und nicht akzeptablen Risiko zu liegen.
- Es muss eine Barriere vorliegen, die ein direktes Austreten von Ammoniak in den Publikumsbereich verhindern bzw. die Auswirkung einer Gasexplosion im Maschinenraum von diesem Bereich fernhalten (in der vorliegenden Analyse bildet der Korridor diese Barriere).
- Die maximal tolerierbare Kältemittelmenge ist situationsspezifisch.
- Je nach Situation kann durch zusätzliche Sicherheitsmassnahmen (z.B. Druckentlastungsöffnungen, Sprühflutanlage als Gaswäscher) auch in ungünstiger Umgebung das Risiko akzeptabel gestaltet werden.

6.4 Dezentrale Gefriereinheiten in einem Supermarkt

6.4.1 Systembeschreibung

50 dezentrale Gefriereinheiten, die je mit rund 200 g Kältemittel betrieben werden, befinden sich in der Verkaufsebene in einem Supermarkt gemäss Beschrieb unter 6.3.1. Betrachtete Kältemittel: Propan, Ammoniak, R 404a

6.4.2 Datengrundlagen

Häufigkeit Leck dezentrale Gefriereinheiten	Für dezentrale Gefriereinheiten werden aus einer isländischen Statistik Leckhäufigkeiten von $2 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr und Apparat mit 110 g Kältemittel angegeben [8].
---	--

6.4.3 Modellierung des Systems, Szenariengenerierung

Freisetzungshäufigkeiten	Für die Risikoanalyse werden die oben erwähnte Freisetzungshäufigkeit gemäss [8] eingesetzt. Bei 50 Einheiten resultiert eine Freisetzungshäufigkeit von $1 \cdot 10^{-2}$ pro Jahr. Da jedoch nur Freisetzen während der Ladenöffnungszeit zu Personenschäden führen können, beträgt die relevante Freisetzungshäufigkeit rund $5 \cdot 10^{-3}$ pro Jahr.
--------------------------	---

Freisetzung	Es wird angenommen, dass 10% der Freisetzen ein relevantes Ausmass besitzen. Sie werden als spontane Freisetzen modelliert.
-------------	---

Zündwahrscheinlichkeit	Bei Propanfreisetzen wird eine Zündwahrscheinlichkeit von 0.1 angenommen, der doppelte Wert gemäss Ref. Rahmenbericht, da im Ladenlokal mehr Zündquellen vorhanden sind.
------------------------	--

Ausbreitung	200 g Propan nehmen als 2%-ige Einmischung in Luft ein Volumen von 5 m^3 ein. Dies entspricht einer Halbkugel mit Radius 1.3 m, welche wiederum eine Grundfläche von 5.6 m^2 besitzt.
-------------	---

200 g Ammoniak ergeben 60 g Gas (siehe Abschnitt 6.2.3). Diese nehmen als 1000 ppm Einmischung in Luft ein Volumen von 100 m^3 ein. Dies entspricht einer Halbkugel mit Radius 3.6 m, welche wiederum eine Grundfläche von 41 m^2 besitzt.

Wirkung	Bei einer Personendichte von 500 Personen pro $1'500 \text{ m}^2$ befinden sich auf einer Fläche von 5.6 m^2 durchschnittlich 2 Personen. Es wird angenommen, dass diese bei einem Propanbrand verletzt werden.
---------	---

Auf einer Fläche von 41 m^2 befinden sich 14 Personen. Es wird angenommen, dass diese bei einer Ammoniakfreisetzung verletzt werden.

6.4.4 Resultate

Figur 4.3 zeigt die beiden Summenkurven im W/A-Diagramm.

6.4.5 Schlussfolgerungen

Die Summenkurven ergeben für Propan ein akzeptables, für Ammoniak ein eher nicht akzeptables Risiko. Dieser Befund ist insoweit zu relativieren, als die Modelle zur Abschätzung des Schadenausmasses wohl sehr konservativ sind. Dies trifft insbesondere auf Ammoniak zu. Andererseits widerspiegeln die ausgewiesenen Risiken die Problematik gefährlicher Gase mitten in einem Bereich mit grosser Personendichte. Demzufolge wird empfohlen, vor einer Realisierung einer derartigen Einrichtung die Risiken zuerst differenzierter als hier möglich zu untersuchen.

7. Haftungsrechtliche und strafrechtliche Risiken

7.1 Vorbemerkungen

In diesem Abschnitt wird die straf- und haftpflichtrechtliche Situation in Bezug auf die Verwendung von Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen als Kältemittel dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass bisher soweit bekannt kein Urteil (zumindest kein oberinstanzliches) besteht, in welchem ein Unfall in einer der hier betrachteten Anlagen zu beurteilen war. Eine abschliessende Beurteilung kann deshalb nicht gegeben werden. Die Darstellung basiert auf den Grundsätzen, welche die Gerichtspraxis und die Lehre in vergleichbaren Fällen entwickelt haben. Sie versucht, daraus Konsequenzen zu ziehen, wie ein solcher Unfall gerichtlich beurteilt werden dürfte. Eine Garantie dafür, dass die Gerichte tatsächlich so entscheiden werden, kann naturgemäss nicht übernommen werden.

Die Darstellung basiert auf dem schweizerischen Recht. Die Ergebnisse dürften für alle europäischen Rechtsordnungen etwa die gleichen sein. Der Hersteller, der eine Anlage in die USA liefert, muss sich bewusst sein, dass dort andere Beurteilungskriterien angewendet werden.

7.1.1 Unterschied in der Optik

Haftpflicht- und Strafgerichte haben eine andere Optik als die Risikoanalyse: Diese versucht, im Voraus zu untersuchen, was geschehen könnte, und ist dementsprechend immer in einem gewissen Umfang hypothetisch. Die Gerichte kommen hingegen zum Zuge, nachdem ein Ereignis eingetreten ist. Dieses ist bis in seine Details bekannt. Die Frage ist nicht mehr, was passieren könnte, sondern ob das, was geschehen ist, hätte vermieden werden sollen oder können.

7.1.2 Konsequenzen

Um eine gerichtliche Beurteilung zuverlässig zu supponieren, müssten im Grunde alle denkbaren Unfallereignisse konkret analysiert werden. Das würde den Rahmen dieses Berichts sprengen. Es werden hier statt dessen die Kriterien, nach denen ein Gericht urteilen wird, aufge-

zeigt und mit Beispielen illustriert. Das soll den Interessierten ermöglichen, selber eine Abschätzung vorzunehmen.

7.1.3 Selbstschädigung

Ein weiterer Unterschied zwischen Risikoanalyse und Haftpflicht- und Strafrecht ist zu beachten: Dieses kommt nur zum Zuge, wenn jemand *einem anderen* Schaden zugefügt hat. Selbstschädigung ist straflos und macht auch nicht haftpflichtrechtlich verantwortlich. Die Risikoanalyse hat gezeigt, dass das grösste Risiko im Zusammenhang mit natürlichen Kältemitteln auf den Monteuren lastet. Wenn ein Monteur durch einen Fehler bei der Montage oder beim Unterhalt sich selber schädigt, liegt zwar ein Schaden vor, der aber haftpflicht- und strafrechtlich nicht relevant ist (wohl aber unfallversicherungsrechtlich).

Hingegen kann eine Haftung des Arbeitgebers des Monteurs in Frage kommen, wenn er einen ungenügend ausgebildeten Monteur mit einer Aufgabe betraut, der dieser nicht gewachsen ist.

7.2 Rechtliche Situation in Bezug auf die Verwendung von FKW-haltigen Kältemitteln

Gemäss Art. 26 USG dürfen Stoffe nicht für Verwendungen in Verkehr gebracht werden, bei denen sie die Umwelt gefährden können. Nach Art. 29 USG kann der Bundesrat über Stoffe, die aufgrund ihrer Eigenschaften, Verwendungsart oder Verbrauchsmenge die Umwelt gefährden können, Vorschriften erlassen. Gestützt darauf hat der Bundesrat in Anhang 3.4 und 4.15 der Stoffverordnung die Verwendung *ozon-schichtabbauender* Kältemittel grundsätzlich verboten (mit Übergangsfristen). Darunter fallen Fluorchlorkohlenwasserstoffe (wie z.B. die Kältemittel R12 [Dichlordifluormethan, CCl_2F_2]). Was die Verwendung von *treibhauswirksamen* Stoffen betrifft, so ist die Schweiz durch Art. 4 des Rahmenübereinkommens vom 9. Mai 1992 über Klimaänderungen ⁷ verpflichtet, die anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen zu begrenzen. Indessen wurden solche Stoffe als Kältemittel (z.B. R134a) bisher nicht verboten. Das USG würde aber ein solches Verbot zulassen. Jedenfalls kann auf Grund des genannten Rahmenübereinkommens davon ausgegangen werden, dass ein weltweiter Konsens dar-

⁷ SR 0.814.01.

über besteht, dass die Verwendung von Treibhausgasen begrenzt werden sollte.

7.3 Haftpflichtrecht

7.3.1 Akteure

Als Akteure, die als Verantwortliche oder als Geschädigte eine Rolle spielen, kommen in Frage:

- Der Hersteller, Importeur oder Händler (nachstehend: *Hersteller*) der Anlage; er kommt als Schädiger in Frage.
- der Architekt oder Ingenieur (nachstehend: *Projektant*), der eine Anlage mit Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen statt mit FKW vorsieht bzw. dem Bauherrn vorschlägt; kommt ebenfalls als Schädiger in Frage.
- der *Monteur*, der die Anlage installiert oder einen Service vornimmt, kommt einerseits als Schädiger in Frage; andererseits kann er auch Geschädigter sein, wenn er bei der Montage der Anlage einen Schaden erleidet.
- der *Bauherr/Eigentümer* der Anlage; er kommt vor allem als Geschädigter in Frage, wenn er bzw. sein Haus/seine Anlage durch einen Unfall beschädigt wird. Er kann aber auch Schädiger sein, wenn Dritte durch Unfälle in seiner Anlage zu Schaden kommen. Es stellt sich alsdann die Frage, ob er gegen Hersteller, Projektant oder Monteur einen Regressanspruch hat.
- der unbeteiligte *Dritte* (Kunde, Anwohner): Er kommt als Opfer in Frage, wenn er durch einen Unfall in der Anlage geschädigt wird ⁸.

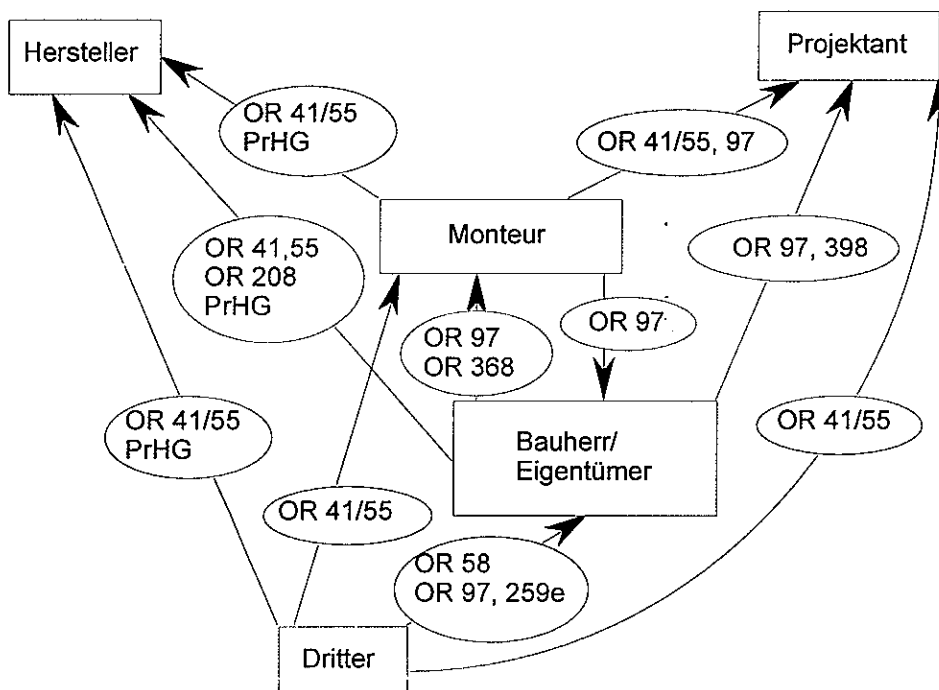
7.3.2 Haftungsgrundlagen

Die anwendbaren Haftungsgrundlagen unterscheiden sich je nach Konstellation (siehe **Tabelle 7.1** und **Figur 7.1**)

⁸ Nicht behandelt wird hier der Fall, dass ein Dritter durch Manipulation an der Anlage einen Schaden verursacht und dadurch auch als Schädiger in Frage kommt.

Anspruch des	gegen	Verhältnis	Haftungsgrundlage
Monteurs	Hersteller	ausservertraglich (vertraglich ⁹)	OR 41/55 PrHG OR 328/UVG 44 ¹⁰)
Monteur	Projektant	ausservertraglich vertraglich ¹¹	OR 41/55 OR 97
Monteur	Bauherr/Eigentümer	Werkvertrag	OR 97
Bauherr/Eigentümer	Monteur	Werkvertrag	OR 97, 368
Bauherr/Eigentümer	Projektant	Auftrag	OR 97, 398
Bauherr/Eigentümer	Hersteller	Kaufvertrag; ausservertraglich	OR 208 OR 41/55, PrHG
Dritter	Hersteller	ausservertraglich	OR 41/55, PrHG
Dritter	Projektant	ausservertraglich	OR 41/55
Dritter	Monteur	ausservertraglich	OR 41/55
Dritter	Bauherr/Eigentümer	Mietvertrag Kaufvertrag ¹² ausservertraglich	OR 259e OR 97 OR 58

Tabelle 7.1: Haftungsgrundlagen



Figur 7.1: Haftungsgrundlagen

⁹ Wenn der Installateur Arbeitnehmer des Herstellers ist.

¹⁰ Der Arbeitgeber haftet gemäss Art. 44 UVG nur bei absichtlicher oder grobfahrlässiger Schädigung, was hier vernachlässigt wird. Im Übrigen wird der Installateur durch die Unfallversicherung entschädigt. Dieser ganze Bereich wird hier nicht behandelt, da er für den Hersteller keine Konsequenzen hat.

¹¹ Der Architekt/Ingenieur ist Hilfsperson des Bauherrn, welcher in einem vertraglichen Verhältnis zum Installateur steht, vgl. Fellmann (1998) S. 81 f..

¹² Z.B. als Kunde in einem Warenhaus.

7.3.3 Haftungsvoraussetzungen

Rechtsdogmatisch sind die Haftungsvoraussetzungen je nach Haftungsgrundlage unterschiedlich:

Bei den meisten vertraglichen Haftungsgrundlagen (Werkvertrag, Auftrag, Mietvertrag) wird gehaftet für eine **schuldhafte** und **rechtswidrige** Schädigung, wobei das Verschulden vermutet wird (Art. 97 OR).

Eine Ausnahme ist die Haftung des Herstellers (Verkäufers): Dieser haftet für den durch **fehlerhafte Ware** verursachten unmittelbaren Schaden des Käufers auch ohne Verschulden (OR 208 Abs. 2). Diese gesetzliche Regelung kann durch vertragliche Garantiebestimmungen geändert werden.

Die Haftungsgrundlagen für ausservertragliche Haftungen sind unterschiedlich:

- Nach **Art. 41 OR** wird eine **schuldhafte, rechtswidrige** Schädigung verlangt.
- Nach **Art. 55 OR** haftet der Geschäftsherr (Unternehmer) für den Schaden, den seine Arbeitnehmer in Ausübung ihrer dienstlichen oder geschäftlichen Verrichtungen verursacht haben, wenn er nicht nachweist, dass er **alle nach den Umständen gebotene Sorgfalt** angewendet hat. Die Bundesgerichtspraxis hat dies relativ streng ausgelegt und praktisch eine Organisationshaftung eingeführt dafür, dass eine sichere Konstruktion gewählt wird¹³.
- Nach **Art. 58 OR** haftet (nur) der Werkeigentümer (Bauherr/Eigentümer) für Schäden, die infolge **fehlerhafter Herstellung** oder mangelhafter Unterhaltung des Werks entstanden sind.
- Nach **PrHG** haftet der Hersteller oder Importeur (unter Umständen auch der Händler) der Anlage für Schäden, die durch **fehlerhafte Produkte** verursacht wurden.

Obwohl die Haftungsvoraussetzungen in den verschiedenen Gesetzen unterschiedlich umschrieben sind, sind die Unterschiede in der Praxis nicht gross: Entscheidend ist der Begriff der **Fehlerhaftigkeit**: Ist die Anlage fehlerhaft, so wird nach Art. 58 OR oder nach PrHG gehaftet.

¹³ BGE 110 II 456, sog. Schachtrahmenfall.

Dabei ist dieser Begriff im Rahmen von Art. 58 OR etwa gleich auszu-legen wie im Rahmen des PrHG. Literatur und Praxis zum einen Bereich können daher auch auf den anderen Bereich übertragen werden. Für die Frage des *Haftungsmassstabs* ist es daher vorliegend nicht von Bedeutung ob eine Kälteanlage als unbewegliches Werk im Sinne von Art. 58 OR oder als bewegliches Produkt im Sinne des PrHG zu bezeichnen ist ¹⁴. Zugleich ist aber auch die Lieferung oder Installation einer fehlerhaften Anlage eine Verletzung vertraglicher Pflichten. Da das Verschulden in vertraglichen Verhältnissen vermutet und zudem in der Praxis weitgehend objektiviert gehandhabt wird, kommt ein Exkulpationsbeweis praktisch kaum in Frage ¹⁵. Ist umgekehrt die Anlage nicht fehlerhaft, so besteht weder nach Art. 58 OR noch nach PrHG eine Haftung. Zudem ist damit die vertragliche Leistungspflicht erfüllt, so dass auch eine vertragliche Haftung nicht besteht.

Etwas vereinfacht kann somit gesagt werden:

- **Hersteller und Bauherr/Eigentümer** haften, wenn die Anlage **fehlerhaft** beschaffen ist.
- Der **Projektant** haftet höchstens dann, wenn er eine **fehlerhafte Anlage** projiziert. Zusätzlich ist Voraussetzung, dass er weiss oder wissen muss, dass sie fehlerhaft oder für den Verwendungszweck nicht geeignet ist. Ist die Anlage nicht fehlerhaft, dann kann es auch nicht haftungsbegründend sein, sie zu projizieren.
- Der **Monteur** haftet, wenn er die Anlage **fehlerhaft installiert oder unterhält**.

Es ist also zu prüfen, ob eine Kälteanlage mit Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen **fehlerhaft** ist.

7.3.4 Fehlerhaftigkeit der Anlage

In der Lehre zum **Produkthaftpflichtrecht** werden unterschieden ¹⁶:

¹⁴ Diese Frage ist hingegen für die Bestimmung des Haftpflichtigen wichtig: Nach Art. 58 OR haftet der Eigentümer des Werks, nach PrHG der Hersteller oder Importeur.

¹⁵ Fellmann (1998) S. 101 f., mit Hinweisen.

¹⁶ Bühler, S. 1428 f.; Hess, S. 248 ff.; Schmidt-Salzer, S. 602 ff.; Seiler, Rz. 19.6 und 19.25 f.

-
- **Fabrikationsfehler**
 - **Instruktionsfehler.**
 - **Konstruktionsfehler**

Ein **Fabrikationsfehler** liegt vor, wenn das Produkt nicht so fabriziert wurde, wie es konzipiert war (Ausreisser). Um eine Haftung für Fabrikationsfehler zu vermeiden, ist eine wirksame Qualitätssicherung erforderlich. Die Frage der Fabrikationsfehler stellt sich für Kälteanlagen aber nicht grundsätzlich anders als für jedes andere Produkt, so dass hier nicht besonders darauf eingegangen wird.

Ein **Instruktionsfehler** liegt vor, wenn ein Produkt immanent ein gewisses Gefährdungspotential enthält, um bestimmungsgemäss verwendet werden zu können, wenn aber der Verantwortliche dem Abnehmer nicht die notwendigen Instruktionen gibt, um den Eintritt einer Schädigung zu vermeiden.

Wenn also die Montage oder Bedienung einer Kälteanlage gewisse Gefahren impliziert, die sich bei unsachgemässer Handhabung aktualisieren können, dann muss die Anlage mit einer entsprechenden Anweisung oder Warnung versehen sein. Diese muss sich an den zu erwartenden Adressaten richten. Wenn eine Anlage in einem Privathaushalt installiert wird, muss nicht nur auf die Fachkenntnisse eines durchschnittlich ausgebildeten Monteurs abgestellt werden, sondern auf die Kenntnisse eines Laien, der die Anlage zu bedienen hat. Das Fehlen einer solchen Anweisung könnte als Produktfehler betrachtet werden.

Von Interesse sind hauptsächlich die **Konstruktionsfehler**. Ein solcher liegt vor, wenn das Produkt falsch konzipiert wurde. Das kann auch in Frage kommen, wenn kein Fabrikationsfehler vorliegt, wenn also die Anlage zwar gemäss den Konstruktionsvorschriften hergestellt wurde, aber die Konzeption als solche fehlerhaft war. Die Frage lautet also: Wie muss ein Produkt konzipiert sein, damit im Falle eines Falles nicht von einem Konstruktionsfehler gesprochen werden kann? Und insbesondere: Ist es ein Konstruktionsfehler, Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen zu verwenden anstelle von FKW?

7.3.5 Im Besonderen: Konstruktionsfehler

Allgemeines

In der Praxis zu Art. 58 OR wird ein Werk als fehlerhaft bezeichnet, wenn es die Sicherheit nicht bietet, welche die Benutzer oder das Publikum bei bestimmungsgemäsem Gebrauch vernünftigerweise erwarten können¹⁷. Das stimmt inhaltlich überein mit der Umschreibung in Art. 4 PrHG, wonach ein Produkt als fehlerhaft gilt, wenn es nicht die Sicherheit bietet, die man unter Berücksichtigung aller Umstände zu erwarten berechtigt ist. Ähnlich gilt für die allgemeine Produktesicherheit, dass als sicher jedes Produkt gilt, welches bei normaler oder vernünftigerweise vorhersehbarer Verwendung keine oder nur geringe, mit seiner Verwendung zu vereinbarende und unter Wahrung eines hohen Schutzniveaus für die Gemeinschaft und Sicherheit von Personen vertretbare Gefahren birgt¹⁸. Ein Konstruktionsfehler liegt nicht immer vor, wenn sich ein Schaden ereignet hat¹⁹. Es müssen nicht alle denkbaren Gefahren vermieden werden, sondern nur diejenigen, die bei normalem oder vorhersehbarem Gebrauch resultieren. Die Pflicht des Eigentümers, Sicherheitsvorkehrungen zu treffen, ist um so schwerer, je grösser das Risiko ist und je eher die Technik Mittel bietet, die Risiken zu vermeiden²⁰.

Das Produkt muss auch von Laien ohne Gefährdung benutzt werden können, wenn es bestimmungsgemäss nicht nur Fachpersonen zugänglich ist²¹.

Massgeblich ist insbesondere die **Fehleranfälligkeit** eines Produkts. Ein Konstruktionsfehler kann vorliegend, wenn das Produkt zwar ungefährlich ist, solange es normal funktioniert, aber relativ leicht beschädigt werden kann und dann erhebliche Risiken birgt.

Beispiel aus der Gerichtspraxis: Ein Gasdurchlauferhitzer enthielt einen Lüftungskanal, der nicht unzerstörbar war. Dieser wurde in der Folge zerstört; ein Benutzer zog sich deshalb eine CO-Vergiftung zu. Der

¹⁷ BGE 123 III 306 E. 3b/aa S. 311; 122 III 229 E. 5a/bb S. 235.

¹⁸ Art. 2 Bst. b EG-Produktesicherheitsrichtlinie.

¹⁹ BGE 123 III 306 E. 3b/aa S. 311.

²⁰ BGE 123 II 306 E. 3b/aa S. 311; 117 II 50 E. 2 S. 52.

²¹ Hess, S. 251.

Gasdurchlauferhitzer wurde als fehlerhaft konstruiert qualifiziert, insbesondere auch deshalb, weil es einfach und nicht kostspielig gewesen wäre, ihn anders zu konstruieren ²².

Ein Konstruktionsfehler liegt in der Regel vor, wenn bei der Konzeption einer Anlage Konstruktionsvorschriften nicht beachtet werden, die *für diese Art von Anlagen* massgebend sind, das heisst, wenn sie nicht nach dem **Stand der Technik** errichtet wurden. Dabei ist in der Regel auf bestehende polizeiliche Sicherheitsvorschriften oder auf technische Normen abzustellen. Diese sind zwar nicht absolut massgebend für die Frage der zivilrechtlichen Haftung, begründen aber eine tatsächliche Vermutung: Wenn die Vorschriften und Normen eingehalten sind, so liegt in der Regel kein Fabrikationsfehler vor. Eine Ausnahme gilt dann, wenn die Norm veraltet war oder erkennbar nicht dem Stand der Technik entsprach. Umgekehrt wird eine Fehlerhaftigkeit vermutet, wenn die Vorschriften und Normen nicht eingehalten sind ²³; der Verantwortliche kann allenfalls nachweisen, dass die Anlage einen vergleichbaren Sicherheitsstand geboten hat und sich damit von der Haftung befreien.

Ein Konstruktionsfehler kann auch dann vorliegen, wenn es keine Konstruktionsvorschriften gibt ²⁴.

Ein besonderer Fall des Konstruktionsfehlers sind die sog. **Entwicklungsrisiken**, d.h. Risiken, welche nach dem Stand der Wissenschaft und Technik nicht erkannt werden konnten. Für solche Risiken besteht keine Haftpflicht ²⁵. Darum geht es aber vorliegend *nicht*: Die Risiken, die sich aus der Verwendung brennbarer bzw. explosiver Kältemittel ergeben, sind bekannt. Die Frage ist, ob es zulässig ist, Produkte zu verwenden, *obwohl* deren Risiko erkannt wurde.

Verwendung natürlicher Kältemittel

Es kann sein, dass die Kälteanlage mit Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen zwar gemäss dem Stand der Technik, der für *solche* Anlagen gilt, erstellt wurde, aber trotzdem sich ein Unfall ereignet, der so nicht geschehen wäre, wenn anstelle von natürlichen Kältemitteln FKW-hal-

²² BGE 117 II 50 E. 2a S. 53.

²³ Bühler, S. 1438; v.Büren-v.Moos S. 1378, 1383 f.; Fellmann/v.Büren-v.Moos S. 106 ff.; Hess S. 284 f.; Wyss, S. 113.

²⁴ BGE 123 III 306 E. 3b/bb S. 311.

²⁵ Art. 5 Abs. 1 Bst. e PrHG.

tige verwendet worden wären. Es fragt sich nun, ob es den Verantwortlichen rechtlich zum Vorwurf gereicht, natürliche Kältemittel verwendet zu haben, obwohl es technisch möglich gewesen wäre, diese durch andere – nicht brennbare und explosive – zu ersetzen. Anders gefragt: Ist es ein Konstruktionsfehler, Ammoniak oder Kohlenwasserstoffe statt FKW-haltige Kältemittel zu verwenden?

Nun werden ja diese Risiken nicht mutwillig oder sinnlos eingegangen, sondern deshalb, weil damit **andere Nachteile vermieden werden** können, nämlich ökologische Risiken. Die Gerichtspraxis und die Lehre haben sich bisher wenig mit dieser Frage einer vergleichenden Risiko-beurteilung befasst; insbesondere ist mir kein Urteil bekannt, in welchem ausdrücklich die Frage thematisiert wurde, ob eine Konstruktionsweise fehlerhaft ist, die aus ökologischen Gründen bewusst bestimmte Personen- und Sachrisiken in Kauf nimmt. Es gibt jedoch verwandte Fragestellungen, die für die Beantwortung dieser Frage herangezogen werden können:

Allgemein gilt der **Grundsatz**: Die bloße Möglichkeit, dass es andere Konstruktionsweisen gibt, die eine geringere Gefährdung darstellen, bedeutet noch keinen Konstruktionsfehler ²⁶. Es kann sachliche Gründe dafür geben, nicht jede technisch mögliche Sicherheitsvorkehrung zu treffen.

Als solcher Grund kommen oberhalb eines unbedingt einzuhaltenden minimalen Sicherheitsniveaus namentlich die **Kosten** in Frage: Zwischen den Kosten zusätzlicher Sicherheitsvorkehrungen und dem damit erreichten Sicherheitsgewinn muss ein vernünftiges Verhältnis bestehen; erforderlich sind wirtschaftlich zumutbare Schutzvorkehrungen ²⁷. Von einem preisgünstigeren Produkt kann nicht die gleiche Sicherheit erwartet werden wie von einem teureren ²⁸.

Ein weiterer Grund ist die **Gebrauchstauglichkeit**: Manche Produkte haben ein immanentes Gefährdungspotential, welches gerade erforderlich ist, um ihren Zweck zu erfüllen. Paradebeispiel sind Motorfahr-

²⁶ vgl. Art. 2 Bst. b Abs. 2 EG-Produktesicherheitsrichtlinie.

²⁷ BGE 123 III 306 E. 3b/aa S. 311; 117 II 50 E. 2a S. 53; 117 II 399 E. 2 S. 400; 116 II 422 E. 1 S. 424.

²⁸ Bühler, S. 1438; Fellmann/v.Büren-v.Moos, S. 105; Schmidt-Salzer, S. 665 f., 797, 802 f., 881 f..

zeuge, welche weltweit jährlich den Tod von Hunderttausenden von Menschen verursachen. Dieses Risiko könnte zwar technisch weitgehend eliminiert werden, beispielsweise indem die technisch mögliche Geschwindigkeit wesentlich reduziert würde, doch würde damit der Gebrauchswert des Produkt erheblich verringert. Der blosser Umstand, dass Motorfahrzeuge bei vorhersehbarem Gebrauch ohne weiteres geeignet sind, Menschen zu schädigen, wurde aber noch nie als Konstruktionsfehler qualifiziert ²⁹.

Immanente Risiken eines Produkts sind ferner zulässig aufgrund einer **Risiko-Nutzen-Abwägung**, wenn gerade die Produkteigenschaft, welche den angestrebten Nutzen bringt, riskante Nebenwirkungen aufweist (z.B. bei Arzneimitteln) ³⁰.

Gesamthaft ist somit nicht schon jedes Risiko haftungsbegründend, das technisch vermeidbar wäre, sondern nur ein **unnötiges, nicht sozialadäquates oder unzumutbares Risiko** ³¹.

Nach PrHG besteht zudem keine Haftung, wenn der Fehler bzw. der Schaden darauf zurückzuführen ist, dass das Produkt verbindlichen, hoheitlich erlassenen **Vorschriften** entspricht ³². Das gilt als allgemeiner Rechtsgrundsatz auch für die anderen Haftungstatbestände: Der Private kann nicht verantwortlich gemacht werden für etwas, das ihm der Staat vorschreibt. Ein Konstruktionsfehler liegt also nicht vor, wenn die weniger riskante alternative Konstruktion zwar technisch möglich wäre, aber rechtlich verboten ist. Dahinter steht auch die Überlegung, dass die staatliche Vorschrift, welche eine bestimmte Konstruktion verlangt, ihrerseits gewisse Ziele verfolgt, die in Abwägung zwischen verschiedenen Rechtsgütern festgelegt wurden. So wird z.B. im Berner Oberland aus Gründen des Ortsbild- und Landschaftsschutzes in vielen Ortschaften für Häuser eine Holzbauweise verlangt. Das birgt ein grösseres Brandrisiko als Steinbauten, aber der Gesetzgeber hat, indem er Holzbauten verlangte, verbindlich festgelegt, dass der Schutz des Landschaftsbildes höher zu gewichten ist als das erhöhte Brandrisiko. Es kann daher nicht als fehlerhafte Konstruktion betrachtet werden,

²⁹ Es besteht dafür eine scharfe Kausalhaftung des Inhabers, Art. 58 SVG.

³⁰ Schmidt-Salzer, S. 656 f.

³¹ Plüss/Jetzer, S. 38; Schmidt-Salzer, S. 788 ff.; Wyss, S. 113 f.

³² Art. 5 Abs. 1 Bst. d PrHG.

wenn ein Architekt ein Holzhaus statt eines sichereren Steinhauses konstruiert.

Diese Überlegung gilt auch, wenn die Konstruktion nicht gesetzlich vorgeschrieben ist, aber sonstwie sachliche Gründe dafür bestehen, ein Produkt so und nicht anders zu konzipieren. Auch in Gemeinden, in denen Holzbauweise nicht vorgeschrieben ist, werden bisweilen Holzhäuser erstellt. Trotzdem wurde noch nie ein Architekt allein deswegen haftpflichtig, weil er ein Holzhaus anstelle eines Steinhauses gebaut hätte.

Ein anderes Beispiel: Energiesparende Leichtfahrzeuge sind für die Insassen riskanter als schwere Autos. Trotzdem kann die Leichtbauweise nicht per se als fehlerhafte Konstruktion bezeichnet werden; das Bestreben, den Energieverbrauch und die damit verbundene Umweltbelastung zu reduzieren, ist ein sinnvoller Grund für den Bau solcher Fahrzeuge. Zwar sind grössere Autos nicht verboten. Aber trotzdem ist bei der Beurteilung, ob ein Konstruktionsfehler vorliegt, eine gesamtgesellschaftliche Risikobeurteilung vorzunehmen: Insbesondere darf nicht auf einen Konstruktionsfehler geschlossen werden, wenn das technisch mögliche Alternativverhalten zwar genau den eingetretenen Unfall vermieden hätte, dafür andere, höhere Risiken enthalten hätte. Dabei sind auch die Umweltrisiken zu berücksichtigen.

Wenn durch eine Änderung der Stoffverordnung die Verwendung FKW-haltiger Kältemittel verboten würde, wäre von vornherein klar, dass es kein Konstruktionsfehler sein kann, brennbare statt FKW-haltiger Kältemittel zu verwenden.

Nun sind zwar diese Kältemittel bisher nicht ausdrücklich hoheitlich verboten. Doch besteht ein globaler Konsens, dass die Verwendung FKW-haltiger Kältemittel ökologische Risiken birgt und deshalb reduziert werden sollte, was übrigens auch behördlich empfohlen wird. Dabei ist auf den Stand des Wissens abzustellen, der zur Zeit der Konstruktion galt. Wenn heute die Verwendung FKW-haltiger Kältemittel als problematisch betrachtet wird, dann ist es *heute* kein Konstruktionsfehler, solche zu vermeiden. Sollte in Zukunft nachgewiesen werden, dass in Wirklichkeit diese Mittel ökologisch unbedenklich sind, dann müsste die Frage für die dannzumal hergestellten Anlagen neu aufge-

worfen werden. Das hätte aber nicht zur Folge, dass die heute konzipierten Anlagen nachträglich als fehlerhaft zu beurteilen wären.

Folgerung: Es ist *nicht* als Konstruktionsfehler zu werten, FKW-haltige Kältemittel zu vermeiden und statt dessen Ammoniak oder Kohlenwasserstoffe zu verwenden. Das daraus resultierende, allenfalls leicht erhöhte Risiko eines Brandes oder einer Explosion ist nicht unnötig im Sinne der dargelegten Kriterien, sondern durch das berechtigte Ziel gerechtfertigt, die Umweltbelastung gering zu halten.

Anders wäre es höchstens, wenn die Brand- und Explosionsrisiken natürlicher Kältemittel unverhältnismässig viel höher wären als die ökologischen Risiken der FKW-haltigen Mittel. Die Gerichtspraxis hat bisher den Begriff „unverhältnismässig“, in diesem Zusammenhang nicht quantifiziert (schon deshalb nicht, weil kaum je quantitative Risikoanalysen vorliegen). Nach den Ergebnissen der Risikoanalyse sind die Brand- und Explosionsrisiken jedenfalls nicht unverhältnismässig hoch.

Es kann nach dem heutigen Stand des Wissens mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit (fast 100 %) davon ausgegangen werden, dass kein Gericht in der Verwendung brennbarer Kältemittel an sich einen Konstruktionsfehler erblicken wird.

Fehlerhafte Konstruktion von Anlagen mit natürlichen Kältemitteln

Hingegen kann die konkrete Konstruktion einer Anlage fehlerhaft sein. Ein Gericht wird sich in erster Linie die Frage stellen, ob die einschlägigen Normen beachtet wurden.

Für die Herstellung von Kühlanlagen mit brennbaren und explosiblen Kältemitteln bestehen solche Vorschriften und Normen:

- Verordnung vom 19. März 1938 betreffend Aufstellung und Betrieb von Druckbehältern (SR 832.312.12)
- SN 253 130 Kälteanlagen, Anforderungen in Bezug auf den Aufstellungsort
- SN 253 120 Kältemittel – Definitionen, Kurzzeichen, Gefahrengruppen
- EN 378 Kälteanlagen und Wärmepumpen, Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen
- ferner elektrotechnische Normen und EKAS-Normen für die Arbeitssicherheit.

Nach diesen Normen müssen bei der Verwendung von L3-Kältemitteln bestimmte Sicherheitsvorschriften beachtet werden, namentlich

- Vorschriften, welche den Austritt von Gas vermeiden sollen, z.B.
 - Konstruktionsvorschriften
 - Druckprüfung
- Vorschriften, welche erlauben sollen, den Austritt von Gas zu beherrschen, z.B.
 - maximale Füllmengen und minimale Raumgrössen bei Innenaufstellung
 - Lüftungsanforderungen
 - Keine Zündquellen
 - Leckdetektor bei Montage
 - Warnhinweise und Instruktionspflicht

Werden bei der Konzeption oder Installation einer Kälteanlage diese Vorschriften missachtet, so liegt vermutungsweise ein Konstruktionsfehler vor, der eine Haftpflicht begründet.

Wenn infolge eines Lecks Gas austritt, wird ein Gericht fragen, ob dieses Leck nicht mit einer anderen Konstruktion (z.B. andere Führung von Rohrleitungen, bessere Verschraubung usw.) vermeidbar gewesen wäre. Der Konstrukteur wird nachzuweisen haben, dass die andere Konstruktion entweder technisch/betriebliche Nachteile hätte, oder unverhältnismässig viel teurer wäre, oder mit ebenso grosser Wahrscheinlichkeit ein Leck verursacht hätte.

Tritt Gas aus und wird es durch menschliches Hinzutreten entzündet, wird man sich fragen, weshalb das Gas nicht odoriert war, denn nach allgemeiner Lebenserfahrung werden Menschen – auch Laien – durch „Gasgeruch“ aufmerksam³³, während sie ohne diesen Geruch nicht daran denken, dass Gas ausgetreten sein könnte. Nach dem heutigen Stand der Technik gibt es offenbar technische Hindernisse für eine Odorierung. Wenn diese Gründe plausibel belegt werden können, ist die Unterlassung der Odorierung nicht als Konstruktionsfehler zu werten. Hingegen muss auf der Anlage eine deutlich sichtbare Warnung angebracht sein, dass die Anlage geruchloses Gas enthält und deshalb u.U. auch Gefahr drohen kann, ohne dass der Laie dies bemerkt.

³³ Vgl. z.B. BGE 110 IV 68 E. 5.

Das Gericht wird fragen, ob es nicht Instrumente (Sensoren, Detektoren) gäbe, die anzeigen, wenn Gas austritt. Solche Geräte sind technisch möglich, allerdings für Kleinanlagen relativ teuer (Für Propan ca. Fr. 500.-- pro Anlage, entsprechend etwa 5-8 % des Anlagepreises). Dieser Preis muss in Relation gesetzt werden zu den damit vermiedenen Risiken. Schon eine grobe Abschätzung führt zum Ergebnis, dass – angesichts des kleinen Risikos - der Aufwand unverhältnismässig hoch wäre, auch wenn der absolute Betrag nicht allzu hoch erscheint ³⁴. Verhältnismässig und deshalb auch in den Normen vorgeschrieben ist jedoch der Beizug von Leckdetektoren bei der Installation.

Verhältnis zwischen dem Hersteller von Teilkomponenten und dem Hersteller des Endprodukts

Offenbar liefern viele (v.a. amerikanische) Kompressorhersteller keine Kompressoren für Anlagen mit brennbaren Kältemitteln, weil sie sich vor Produkthaftpflichtansprüchen fürchten. Wie verhält es sich hier?

Nach Art. 2 Abs. 1 Bst. a PrHG haftet sowohl der Hersteller der Gesamtanlage als auch der Hersteller eines Teilprodukts. Letzterer kann sich allerdings von der Haftpflicht befreien, wenn er nachweist, dass der Fehler durch die Konstruktion des Gesamtprodukts (und nicht seines Teilprodukts) verursacht worden ist (Art. 5 Abs. 2 PrHG).

Wenn ein Kompressorhersteller ausdrücklich seinen Kompressor nicht freigibt für Anlagen mit Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen, dann ist er von einer Haftung befreit, denn es ist ein Fehler des Endprodukts, einen Kompressor zu verwenden, der für diese Art von Anlagen nicht ausgelegt ist. Der Kompressorhersteller muss allerdings zumutbare Massnahmen treffen, um seine Anweisungen durchzusetzen (z.B. Liefersperre gegenüber einem Anlagenhersteller, der die Kompressoren weisungswidrig verwendet). Wenn er die Verwendung duldet und weiterhin liefert, obwohl er weiss, dass der Anlagenhersteller die Kompressoren weisungswidrig verwendet, dann haftet er trotzdem (natürlich immer nur, wenn die entsprechende Beschaffenheit des Kompressors kausal war für den Unfall). Umgekehrt wird der Anlagenhersteller, der

³⁴ Kollektivrisiko Haus (4 Bewohner): ca. 3E-07 Tote/Jahr-Anlage (gemäss Ergebnissen Risikoanalyse). Annahme: Leckdetektor könnte Wahrscheinlichkeit einer Zündung (und damit Risiko) um Faktor 100 reduzieren, d.h. auf 3E-9, also etwa 300 Tote pro 1 Mrd. Jahren vermeiden. Bei einer angenommenen Lebensdauer der Anlage von 20 Jahren würde also die einmalige Investition von Fr. 500.-- bedeuten, dass pro vermiedenen Todesfall ca. 80 Mio. Franken investiert würden, was exorbitant ist. (1 Mrd. Anlagenjahre entspricht 0,05 Mrd. Anlagen, entspricht 25 Mrd. Anlagekosten, dies geteilt durch 300).

Kompressoren entgegen den Anweisungen des Kompressorherstellers verwendet, grundsätzlich haftbar. Er kann sich eventuell entlasten, wenn er nachweist, dass der Kompressor die gleichen Qualitäten aufwies wie andere und die Anweisung der Kompressorherstellers nicht gerechtfertigt war, dass also der Kompressor in Wirklichkeit gar nicht fehlerhaft (bzw. untauglich für den betreffenden Verwendungszweck) war, d.h. dass der Unfall gar nicht auf die Beschaffenheit des Kompressors zurückzuführen ist.

7.3.6 Fehlerhafte Montage

Der Monteur macht sich verantwortlich, wenn er die Sorgfalt nicht anwendet, die man von ihm auf Grund seiner Ausbildung verlangen kann.

Man kann differenzieren:

Flüchtigkeitsfehler: Der Monteur begeht aus Flüchtigkeit/Sorglosigkeit einen Fehler, den er als Fachmann ohne weiteres hätte vermeiden können und sollen (Beispiel: Verwendung von Zündquellen in der Gegenwart von Gas; fehlerhaftes Löten). Dieser Fall ist vergleichbar mit dem Fabrikationsfehler beim Hersteller. Er begründet in jedem Fall eine Haftung. Im Streitfall wird ein Gutachten zu beurteilen haben, ob die Art und Weise, wie der Monteur gearbeitet hat, ein solcher Fehler war.

Ausbildungsfehler: Der Monteur war für die Aufgabe zu wenig ausgebildet. Dann kann ein Fehler darin liegen, dass er die Aufgabe trotz seiner mangelhaften Ausbildung übernommen hat. Im Allgemeinen wird von einem Fachmann erwartet, dass er die Geräte, mit denen er umgeht, fehlerfrei handhaben kann, sei es weil er die Geräte kennt, sei es weil er in der Lage ist, die vom Hersteller mitgelieferten Montageanleitungen zu verstehen. Im Zweifel muss der Monteur sich beim Hersteller erkundigen. Hat ein Montageunternehmen einen ungenügend ausgebildeten Mitarbeiter für eine Arbeit eingesetzt, so haftet das Unternehmen.

Mangelhafte Instruktion: Die Ausbildung ist im Zusammenhang mit der Instruktion/Montageanleitung des Herstellers zu sehen: Der Hersteller muss nicht auf Dinge aufmerksam machen, die ein gewöhnlich ausgebildeter Monteur kennt. Je ungewöhnlicher aber die Anlage oder die Risiken sind, desto eher muss der Hersteller eine Montageanleitung

oder Warnung mitgeben. Befolgt der Hersteller eine zweckmässig und verständlich abgefasste Anleitung nicht und entsteht deswegen ein Schaden, so haftet der Monteur und der Hersteller ist entlastet. Ist jedoch die Anleitung fehlerhaft oder unverständlich, so haftet der Hersteller.

7.3.7 Verhältnis Haftung Hersteller/Monteur

Haften für den gleichen Schaden mehrere Personen, haften sie grundsätzlich alle solidarisch ³⁵. Indessen wird die Haftung durch überwiegendes Drittverschulden aufgehoben. Wenn also ein Monteur eine an sich fehlerfreie Anlage fehlerhaft montiert und deshalb ein Unfall geschieht, so haftet grundsätzlich nicht der Hersteller der Anlage.

Freilich wird von Geräten, die ein immanentes Gefährdungspotential haben, eine gewisse Fehlertoleranz erwartet: Der Hersteller muss Vorkehrungen treffen, um naheliegende Fehlbedienungen zu vermeiden. Dazu gehört etwa ein markantes (z.B. farbliches) Hervorheben potentiell gefährlicher Komponenten und vor allem eine leicht verständliche und fehlerfreie Montageanleitung.

Begeht jedoch der Monteur einen Fehler, mit dem vernünftigerweise nicht gerechnet werden muss, dann liegt ein überwiegendes Drittverschulden vor, das den Hersteller entlastet.

Der Monteur wird umgekehrt entlastet, wenn die Konstruktion so aussergewöhnlich war, dass ein normal ausgebildeter Fachmann nicht damit rechnen musste, oder wenn die Montageanleitung fehlerhaft war und er als Fachmann diesen Fehler nicht bemerken musste. Je gefährlicher und aussergewöhnlicher die Anlage, desto weniger kann man vom Monteur eine einwandfreie Montage verlangen.

Es ist zu beachten, dass gemäss der Risikobeurteilung die grössten Risiken daraus entstehen, dass der Monteur bei der Montage selber zu Schaden kommt. Ist der Unfall auf ein Fehlverhalten des Monteurs zurückzuführen, so ist das eine sowohl haftpflicht- als auch strafrechtlich irrelevante Selbstschädigung. Ist jedoch der Unfall auf eine Fehlerhaftigkeit der Anlage zurückzuführen (mit Einschluss fehlerhafter Monta-

³⁵ Art. 50/51 OR.

geanleitung), dann haftet der Hersteller auch für den Schaden des Monteurs.

7.4 Strafrecht

7.4.1 In Frage kommende Straftatbestände

Wenn Kältemittel brennen oder explodieren, kommen in Frage:

Art. 222 StGB Fahrlässige Verursachung einer Feuersbrunst

1 Wer fahrlässig zum Schaden eines andern oder unter Herbeiführung einer Gemeingefahr eine Feuersbrunst verursacht, wird mit Gefängnis oder mit Busse bestraft.

2 Bringt der Täter fahrlässig Leib und Leben von Menschen in Gefahr, so ist die Strafe Gefängnis.

Art. 223 StGB Verursachung einer Explosion

1 Wer vorsätzlich eine Explosion von Gas, Benzin, Petroleum oder ähnlichen Stoffen verursacht und dadurch wissentlich Leib und Leben von Menschen oder fremdes Eigentum in Gefahr bringt, wird mit Zuchthaus bestraft.

Ist nur ein geringer Schaden entstanden, so kann auf Gefängnis erkannt werden.

2 Handelt der Täter fahrlässig, so ist die Strafe Gefängnis oder Busse.

Werden Menschen nicht nur gefährdet, sondern effektiv verletzt oder getötet, so kommen in Frage:

Art. 117 StGB Fahrlässige Tötung

Wer fahrlässig den Tod eines Menschen verursacht, wird mit Gefängnis bestraft.

Art. 125 StGB Fahrlässige Körperverletzung

1 Wer fahrlässig einen Menschen am Körper oder an der Gesundheit schädigt, wird, auf Antrag mit Gefängnis oder mit Busse bestraft.

2 Ist die Schädigung schwer, so wird der Täter von Amtes wegen verfolgt.

7.4.2 Fahrlässigkeit

Voraussetzung, dass sich jemand strafbar macht, ist Fahrlässigkeit.

Fahrlässigkeit bedeutet, die Vorsicht nicht zu beachten, zu der man

nach den Umständen und nach den persönlichen Verhältnissen verpflichtet ist ³⁶. Sie enthält eine objektive und eine subjektive Komponente:

- Objektiv ist die nach den Umständen verlangte Sorgfalt
- Subjektiv ist die nach den persönlichen Verhältnissen verlangte Sorgfalt.

Für die Beurteilung der **objektiven Komponente** in Bezug auf die Herstellung/ Montage von Produkten werden die gleichen Grundsätze herangezogen wie für die haftpflichtrechtliche Beurteilung ³⁷. Massgeblich sind die Sorgfaltspflichten, die sich aus den geltenden Sicherheitsvorschriften, aus technischen Normen und aus allgemeinen Grundsätzen ergeben ³⁸.

Das können sowohl Fabrikations-, Instruktions- als auch Konstruktionsfehler sein.

Beispiele aus der Gerichtspraxis, wo Instruktionsfehler bejaht wurden:

- Ein Fachkundiger stellte einem Laien ein Flüssiggasheizgerät zur Verfügung, ohne ihm die notwendigen Instruktionen zu geben. Er machte sich strafbar, als in der Folge durch eine unsachgemässe Bedienung durch den Laien ein Unfall eintrat ³⁹. Fehlerhaft war aber nicht das zur Verfügung Stellen des Gasgeräts an sich, sondern nur das Unterlassen der erforderlichen Instruktion ⁴⁰.

Beispiele aus der Gerichtspraxis, wo Konstruktionsfehler bejaht wurde:

- Seilbahn, die wiederholt aus dem Seil gesprungen war ⁴¹;
- Hebebühne, die nicht mit einer Abrollsickeung versehen war ⁴².

Das bedeutet:

- Ist im Sinne des Haftpflichtrechts eine Anlage fehlerhaft oder erfolgt eine fehlerhafte Montage, dann wird ein Verantwortlicher strafbar,

³⁶ Art. 18 Abs. 3 StGB.

³⁷ BGE 121 IV 10 E. 3a S. 15

³⁸ BGE 122 IV 145 E. 3b S. 147 f.

³⁹ BGE 110 IV 68 E. 3.

⁴⁰ A.a.O., E. 4.

⁴¹ BGE 122 IV 61.

⁴² BGE 121 IV 10 E. 3b S. 17.

wenn er zusätzlich die subjektiven Voraussetzungen erfüllt, d.h. wenn er aufgrund seiner persönlichen Verhältnisse verpflichtet gewesen wäre, die Fehlerhaftigkeit zu vermeiden.

- Liegt jedoch keine haftpflichtrechtliche Fehlerhaftigkeit vor, dann ist in aller Regel auch keine strafbare Handlung gegeben.

7.4.3 Verfahrensrechtliche Bemerkung

Es ist nicht ganz zu vermeiden, dass unterschiedliche Gerichte im Einzelfall zu gegensätzlichen Beurteilungen kommen, wenn sie zu entscheiden haben, ob ein Produkt fehlerhaft ist. Da haftpflichtrechtliche Fragen teilweise von anderen Gerichten beurteilt werden als strafrechtliche, ist es auch denkbar, dass ein Strafgericht in einem bestimmten Fall eine Fehlerhaftigkeit annimmt, in dem ein (anderes) Zivilgericht eine Anlage möglicherweise als nicht fehlerhaft beurteilt hätte ⁴³. Das bedeutet aber nicht, dass das Strafrecht strengere Anforderungen stellen würde, sondern ergibt sich daraus, dass der Beurteilungsspielraum unterschiedlich konkretisiert wird. Grundsätzlich gilt aber für das Strafrecht dasselbe wie oben zum Haftpflichtrecht: Das Gericht wird weitgehend auf die wissenschaftliche Beurteilung abstellen.

7.5 Zusammenfassende Folgerungen

Wenn sich in einer Anlage mit Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen als Kältemittel ein Unfall ereignet, stellt sich die Frage nach einer haftpflicht- und strafrechtlichen Verantwortung des Herstellers oder des Monteurs. Damit eine solche Verantwortung geltend gemacht werden kann, müssen objektive und subjektive Voraussetzungen gegeben sein.

Dem Hersteller und Monteur obliegen bestimmte **Sorgfaltspflichten**, die nach einem generellen Massstab beurteilt werden. Das nennt man die objektiven Umstände (Rechtswidrigkeit). Subjektiv ist zu prüfen, ob der betreffende Verantwortlich ganz konkret und persönlich auf Grund seiner individuellen Umstände in der Lage gewesen wäre, die objektiv gebotene Sorgfalt anzuwenden (Verschulden).

⁴³ Nigg kritisiert das in Bezug auf den zit. BGE 121 IV 10 im Vergleich zur zivilrechtlichen Praxis des Bundesgerichts.

Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden

Ausgearbeitet durch

M. Jakob, E. Jochem, Centre for Energy Policy and Economics (CEPE) und

K. Christen, Architektur und Baurealisation, ETH Zürich

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

September 2002

Die objektiven Anforderungen sind im Straf- und im Haftpflichtrecht grundsätzlich die gleichen. Ein Unterschied besteht auf der subjektiven Seite: Das Haftpflichtrecht stellt teilweise überhaupt nicht auf die subjektive Seite ab (bei den Kausalhaftungen) und auch sonst wird eher ein objektivierter Verschuldensmassstab angewendet. Das Strafrecht prüft demgegenüber das individuelle Verschulden des konkreten beteiligten. Daraus folgt als Faustregel:

- Wer haftpflichtrechtlich nicht verantwortlich ist, macht sich auch nicht strafbar.
- Wer haftpflichtrechtlich verantwortlich ist, ist deswegen nicht automatisch auch strafbar.

Eine Ausnahme gilt für den Arbeitgeber des Monteurs, wenn er seinen Monteur schädigt, indem er ihn mit ungenügender Ausbildung, Instruktion oder Ausrüstung eine Arbeit ausführen lässt. Zivilrechtlich haftet er nur für grobe Fahrlässigkeit (Art. 44 UVG), während er strafrechtlich für jede Fahrlässigkeit einstehen muss.

Im Folgenden werden daher die objektiven Voraussetzungen dargestellt:

Der **Hersteller** haftet, wenn das von ihm hergestellte Produkt **fehlerhaft** ist. Vorausgesetzt ist dabei, dass der Fehler kausal war für den Unfall.

Fehlerhaft ist das Produkt, wenn

- es nicht entsprechend den Konstruktionsvorschriften fabriziert war (Fabrikationsfehler),
- es fehlerhaft konzipiert war (Konstruktionsfehler)
- Montage- oder Gebrauchsanleitungen mangelhaft oder fehlerhaft waren (Instruktionsfehler).

Die Verwendung von Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen anstelle FKW-haltiger Kältemittel kann nicht an sich als fehlerhaft bezeichnet werden, dies auch dann, wenn damit unvermeidlicherweise ein gewisses Brand- und Explosionsrisiko verbunden ist, weil es nach dem heutigen Stand des Wissens vernünftige ökologische Gründe gibt, auf die Verwendung FKW-haltiger Kältemittel zu verzichten.

Hingegen kann eine konkrete Konstruktion trotzdem fehlerhaft sein, so wenn

- der Stand der Technik bzw. die geltenden Normen nicht eingehalten sind,
- zumutbare (technisch/betrieblich mögliche und finanziell vertretbare) Sicherheitsmassnahmen nicht getroffen wurden,
- keine Warntafeln angebracht sind.

Zudem muss der Anlage eine verständliche und korrekte Montage- und Gebrauchsanleitung beigelegt werden, wenn die Anlage Gefahren bietet, die ein normal ausgebildeter Monteur nicht ohne weiteres kennt und meistern kann.

Der **Projektant** kann sich verantwortlich machen, wenn er eine fehlerhafte Anlage plant bzw. dem Bauherrn vorschlägt. Man kann aber nicht vom Projektanten verlangen, dass er die Anlage besser kennt als der Hersteller. Eine Haftung kommt in Frage,

- wenn er eine Anlage für einen bestimmten Verwendungszweck plant, obwohl der Hersteller angibt, dass die Anlage für diesen Zweck nicht geeignet ist.
- wenn er eine Anlage plant, von der in der Fachwelt bekannt ist, dass sie fehlerhaft ist.

Der blosse Umstand, dass der Projektant eine Anlage mit Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen plant, begründet keine Haftung.

Der **Monteur** kann sich verantwortlich machen, wenn er

- bei der Montage oder beim Service Flüchtigkeitsfehler begeht, die ein normal ausgebildeter und sorgfältiger Fachmann nicht begeht,
- eine Anlage montiert, obwohl er dafür nicht genügend ausgebildet ist.
- bei der Montage die Montageanleitung des Herstellers nicht befolgt,

Als Monteur gilt dabei sowohl die Person, die konkret die Arbeit ausführt, als auch ihr Arbeitgeber, wenn er ungenügend ausgebildet, instruiert oder ausgerüstet hat.

Es besteht eine Wechselwirkung zwischen Hersteller und Monteur:

- Wenn beide fehlerhaft gehandelt haben, haften beide solidarisch.

-
- Wenn der Monteur einen groben Montagefehler begeht, dann wird – sofern dieser Montagefehler für den Unfall kausal war – der Hersteller entlastet.
 - Mit einem leichten Fehlverhalten muss freilich gerechnet werden. Der Hersteller muss die Anlage soweit möglich so konzipieren, dass nicht jede kleine Unsorgfältigkeit bereits zu einem Unfall führt.

Konsequenzen:

Kann ich Kälteanlage mit Ammoniak oder Kohlenwasserstoffen herstellen, projektieren oder montieren? Was muss ich dabei beachten, um eine straf- oder zivilrechtliche Haftung zu vermeiden?

Ja. Die bloße Verwendung natürlicher Kältemittel führt nicht zu einer Haftung.

Man muss jedoch:

Als Hersteller:

- Den Stand der Technik einhalten,
- die entsprechenden Normen beachten,
- überlegen, ob weitere zumutbare Massnahmen möglich wären, um die Risiken zu reduzieren,
- eine Qualitätssicherung haben, um Ausreisser zu vermeiden,
- auf der Anlage eine Warnung anbringen, dass sie Gas enthält und dass dieses Gas nicht odoriert ist,
- eine korrekte und verständliche Montage- und Bedienungsanleitung mitliefern.

Als Projektant:

- Anlagen nur für Verwendungszwecke planen, die der Hersteller zulässt.

Als Monteur:

- Die übliche Sorgfalt bei der Montage aufbringen,
- die Montageanleitungen des Herstellers beachten,
- bei Unsicherheiten beim Hersteller nachfragen.

8. Abkürzungsverzeichnis

BGE	Bundesgerichtsentscheid
EG	Erdgeschoss; Europäische Gemeinschaft
FCKW	Vollständig halogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FKW	Teilweise oder vollständig halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
HFCKW	Teilweise halogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe
OR	Obligationenrecht
PrHG	Produkthaftungpflichtgesetz
SR	Systematische Sammlung des Bundesrechts
StFV	Störfallverordnung
StGB	Strafgesetzbuch
UG	Untergeschoss
USG	Umweltschutzgesetz
UVG	Unfallversicherungsgesetz
W/A-...	Wahrscheinlichkeits/Ausmass... (in W/A-Diagramm)
ZGB	Zivilgesetzbuch

9. Literaturverzeichnis

9.1 Risikoanalyse

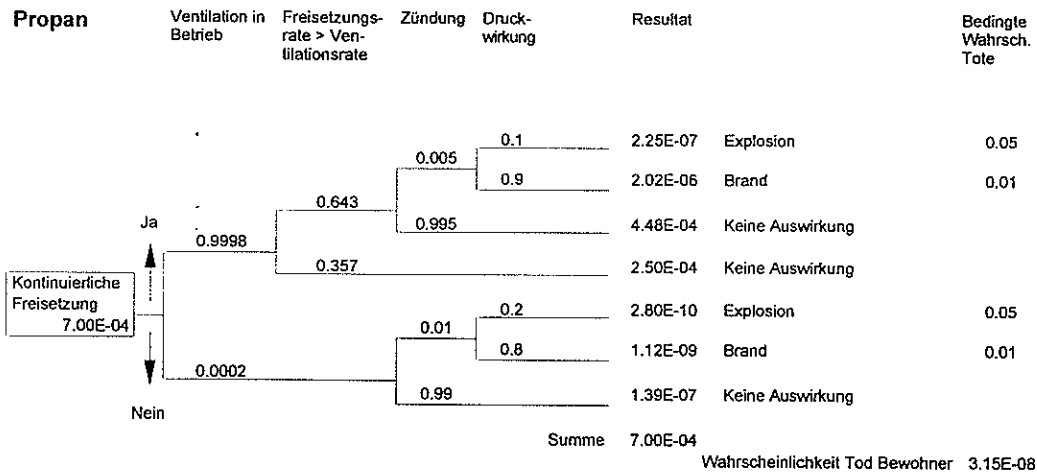
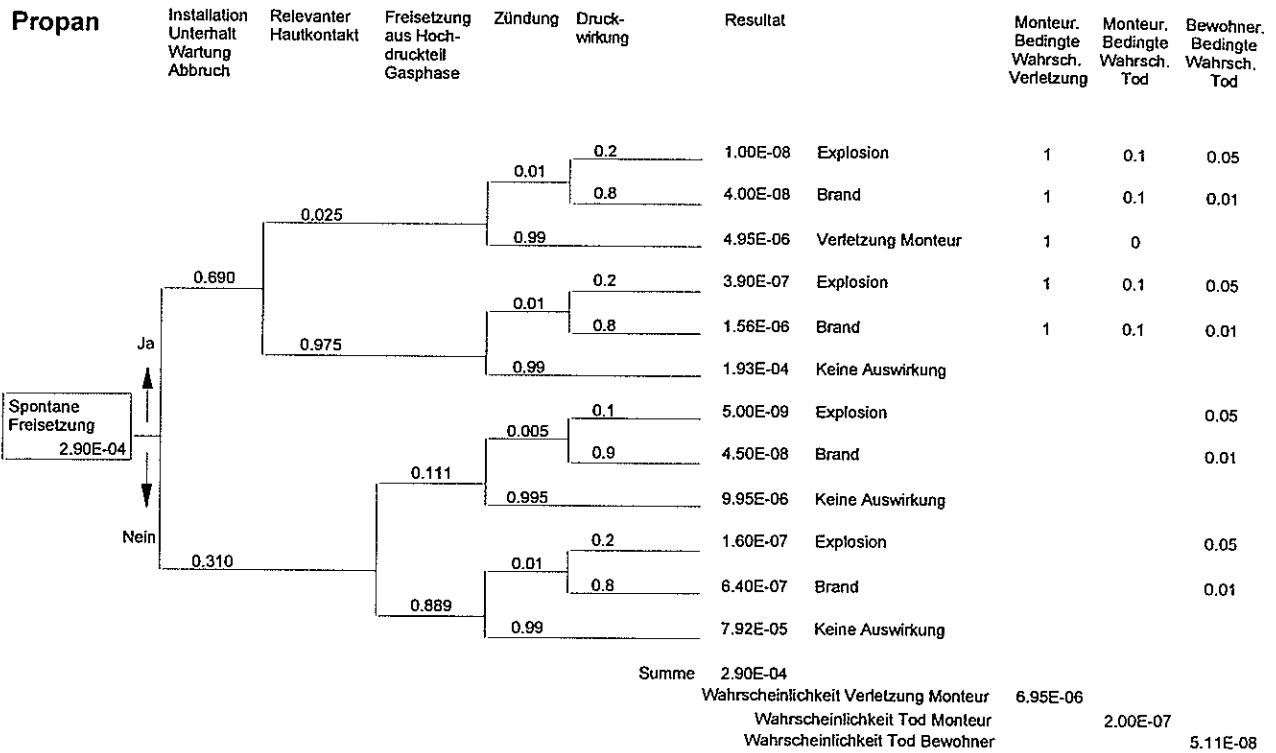
- [1] J.R. Taylor, Risk Analysis for Process Plant, Pipelines and Transport, E&FN Spon, London, 1994
- [2] BUWAL, Arbeitsgruppe Ammoniak, Methodikbeispiel einer Risikoermittlung für die Ammoniak-Kälteanlage einer Kunsteisbahn, Entwurf, Stand 11.5.1999.
- [3] H.A. Seligson, R.T. Eguchi, K.J. Tierney, K. Richmond, Chemical Hazards, Mitigation and Preparedness in Areas of High Seismic Risk: A Methodology for Estimating the Risk of Post-Earthquake Hazardous Materials Release, Technical Report NCEER-96-0013, Buffalo NY, 1996
- [4] Niederländisches Dokument: Project A73 (IPO Nr. 54), 04/94, Übersetzt: "Anleitung für die Erstellung und Beurteilung eines externen Sicherheitsberichts" (EVR), Interprovinciaal Overleg (IPO), RE-95-1, Version 2.2.96
- [5] Working Fluid Safety, Annex 20, Report No. HPP-AN20-1, 1994
- [6] TNO-report, TNO-MEP-R 96/477, Risk Assessment of typical cooling and heating systems using natural working fluids, part: propane residential heat pump, 1996
- [7] Accidat, Koordinationsstelle für Störfallvorsorge, AWEL, Kanton Zürich, Störfall-Datenbank, 1999
- [8] Calor Gas Limited, Risk Assessment of Flammable Refrigerants, 1998
- [9] Herr U. Berger, Migros Genossenschaftsbund, persönliche Mitteilung, 1999
- [10] R. Sägesser, D. Mayer-Rosa, "Erdbebengefährdung in der Schweiz", Schweizerische Bauzeitung, Heft 7, 1978
- [11] International Institute of Refrigeration: "Ammonia as a refrigerant", Paris 1993
- [12] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), "Handbuch I" zur Störfallverordnung StFV, 1991
- [13] Baudirektion Kanton Zürich, "Beurteilung des Kurzberichtes gemäss Art. 6 Störfallverordnung", 1998
- [14] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), "Beurteilungskriterien I zur Störfallverordnung StFV", Richtlinien, 1996
- [15] Committee for the Prevention of Disasters, CPR14E, "Methods for the calculation of physical effects", 1992 (Yellow Book)

-
- [16] Committee for the Prevention of Disasters, CPR16E, "Methods for the determination of possible damage", 1992 (Green Book)
 - [17] Arbeitsgruppe Flüssiggas-Tankanlagen, "Rahmenbericht Flüssiggas-Tankanlagen", 1992 (Bezug Basler & Hofmann)
 - [18] Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis", New York 1989
 - [19] Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, "Process Equipment Reliability Data", New York 1989
 - [20] Schweizerische Eidgenossenschaft, "Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV) vom 27. Februar 1991", SR 814.012
 - [21] Bundesamt für Statistik, "Todesursachenstatistik", z.B. Tabellen 1994, Bern 1995
 - [22] J. Schmidli, "The Initial Phase of Sudden Releases of Superheated Liquid", Diss ETHZ Nr. 10391, Zürich 1993
 - [23] S. Kaplan, B.J. Garrick, "On the Quantitative Definition of Risk", Risk Analysis, Vol. 1, No. 1, 1991, S. 11 - 27

9.2 Rechtliche Aspekte

- Roland Bühler, Definition des Produktfehlers im Produkthaftpflichtgesetz (PrHG), AJP 1993 S. 1425-1439.
- Gabrielle von Büren-von Moos. Normen und Vorschriften über Produktsicherung. AJP 1994 S. 1376-1386.
- Harald Eichinger. Die strafrechtliche Produkthaftung im deutschen im Vergleich zum anglo-amerikanischen Recht. Frankfurt u.a. 1997.
- Walter Fellmann/Gabrielle von Büren-von Moos. Grundriss der Produkthaftpflicht. Bern 1993.
- Walter Fellmann, Der Produkte- und Fehlerbegriff, in: Weber/Thürer/Zäch (Hrsg.), Produkthaftpflichtrecht im europäischen Umfeld, Zürich 1994, S. 31-87.
- Walter Fellmann. Die Haftung des Architekten und des Ingenieurs für Werkmängel. In: Koller (1998) S. 77-120.
- Peter Gauch. Die Vereinheitlichung der Delikts- und Vertragshaftung. ZSR 1997 I 315-341.
- Winfried Hassemer, Produktverantwortung im modernen Strafrecht. 2. Aufl., Heidelberg 1996.
- Hans-Joachim Hess. Kommentar zum Produkthaftpflichtgesetz (PrHG), 2. Aufl., Bern 1996.
- Susanne Hill-Arning, Produkthaftung in Europa: EG-Produkthaftungsrichtlinie, nationale Produkthaftungsgesetze, weitergeltendes Deliktsrecht, Verfahrensrecht und Kosten, Heidelberg 1995.
- Alfred Koller. Haftung für Werkmängel. St. Gallen 1998.
- Nigg H., Verschärfung der zivilrechtlichen Produkthaftpflicht durch ein Strafurteil? Schweizerische Versicherungs-Zeitschrift 63/1995 S. 310-312.
- Adrian Plüss/Rolf P. Jetzer. Die Produkthaftpflicht. Zürich 1999.
- Joachim Schmidt-Salzer, Produkthaftung. Bd. III/1, 2. Aufl., Heidelberg 1990.
- Joachim Schmidt-Salzer, Konkretisierungen der strafrechtlichen Produkt- und Umweltverantwortung. NJW 49/1996 S. 1-8. *** EPZB Zq 162(49)
- Martina Schwarz, Strafrechtliche Produkthaftung. Frankfurt u.a. 1999.
- Hansjörg Seiler, Produktfehler. In: Geiser/Münch (Hrsg.), Schaden – Haftung – Versicherung, Basel 1999, S. 935-972.
- Lukas Wyss. Der Fehlerbegriff im schweizerischen Produkthaftpflichtgesetz (PrHG) vom 18. Juni 1993. recht 1996 S. 108-120.

Anhang 1 Ereignisbäume Wärmepumpe



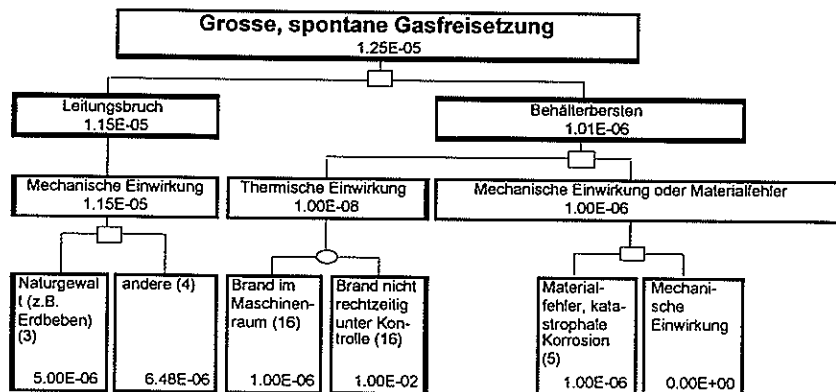
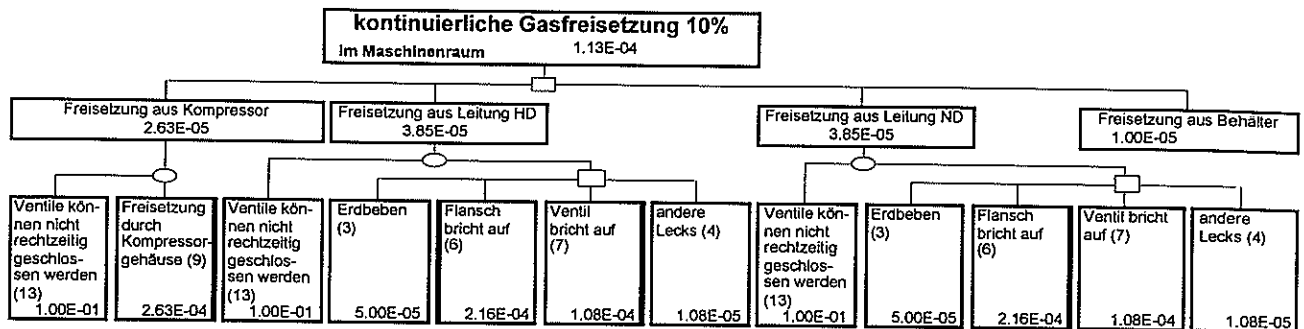
Ammoniak	Ventilation in Betrieb	Freisetzungsrate > Ventilationsrate	Ausbreitung in Wohnung (Türe offen)	Resultat	Bedingte Wahrsch. Verletzte		
Kontinuierliche Freisetzung 7.00E-04	Ja	0.9998	0.643	0.01	4.69E-06 Ammoniak in Wohnung	0.006	
			0.99	4.45E-04	Keine Auswirkung		
		0.0002	0.357		2.50E-04	Keine Auswirkung	0.012
			0.01	1.46E-09	Ammoniak in Wohnung		
	Nein		0.99	1.39E-07	Keine Auswirkung		
			Summe	7.00E-04	Wahrscheinlichkeit Verletzung Bewohner	2.81E-08	

Ammoniak	Installation Unterhalt Wartung Abbruch	Ausbreitung in Wohnung (Türe offen)	Resultat	Monteur. Bedingte Wahrsch. Verletzung	Bewohner. Bedingte Wahrsch. Verletzte		
Spontane Freisetzung 2.90E-04	Ja	0.690	0.01	2.08E-06	Ammoniak in Wohnung	1	0.012
			0.99	1.98E-04	Verletzung Monteur	1	
		0.310	0.01	9.38E-07	Ammoniak in Wohnung		0.012
			0.99	8.91E-05	Keine Auswirkung		
	Nein		Summe	2.90E-04	Wahrscheinlichkeit Verletzung Monteur Wahrscheinlichkeit Verletzung Bewohner	2.00E-04	3.63E-08

FKW	Installation Unterhalt Wartung Abbruch	Relevanter Hautkontakt	Resultat	Monteur. Bedingte Wahrsch. Verletzung		
Spontane Freisetzung 2.90E-04	Ja	0.025	5.00E-06	Verletzung Monteur	1	
		0.690	0.975	1.95E-04	Keine Auswirkung	
		0.310		9.00E-05	Keine Auswirkung	
		Summe	2.90E-04	Wahrscheinlichkeit Verletzung Monteur	5.00E-06	
	Nein					

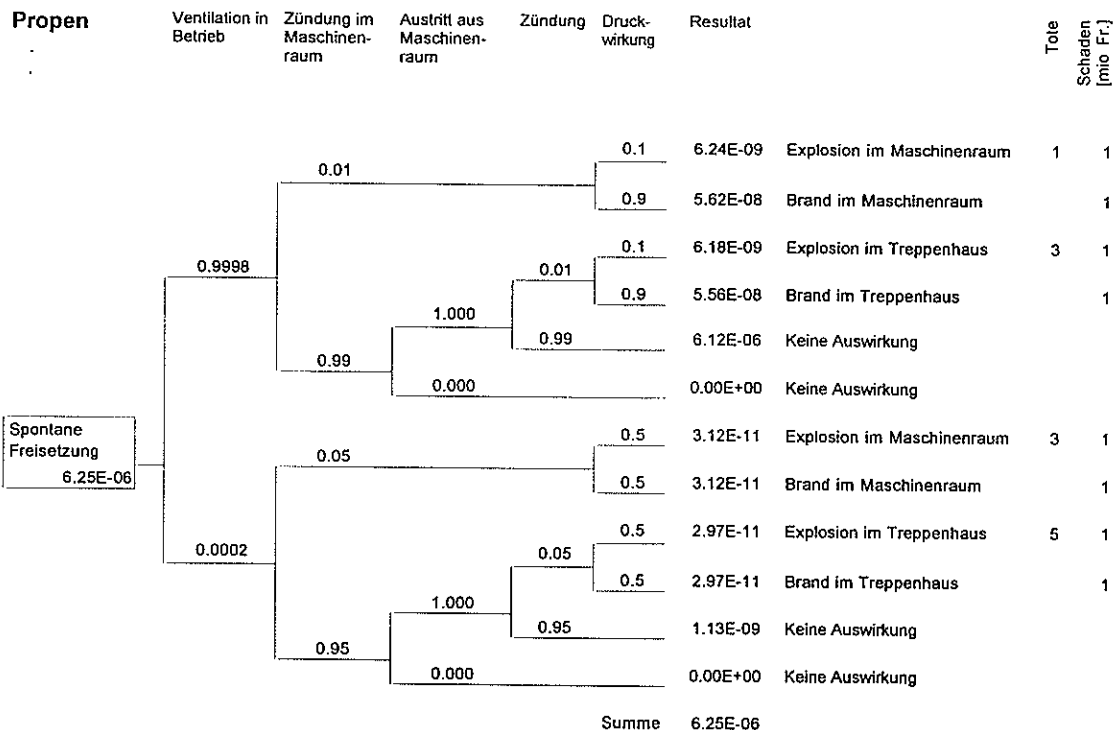
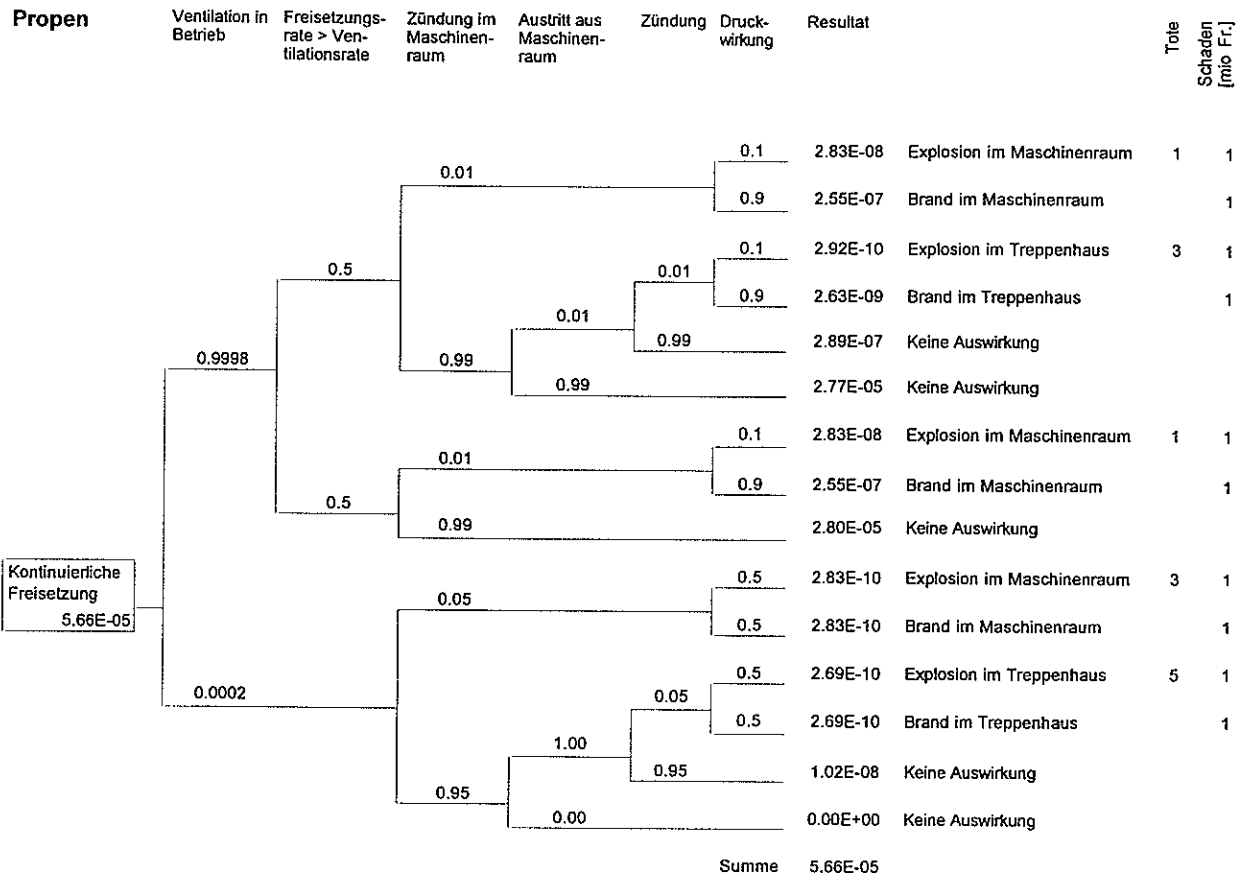
Anhang 2 Fehlerbäume Kälteanlage Supermarkt

Fehlerbäume Kälteanlage Supermarkt



- Oder-Verknüpfung. Jedes der verknüpften Ereignisse führt zum beschriebenen Zustand.
Die Einzelwahrscheinlichkeiten werden näherungsweise addiert.
- Und-Verknüpfung. Die verknüpften Ereignisse müssen simultan auftreten, um zum beschriebenen Zustand zu führen.
Die Einzelwahrscheinlichkeiten werden multipliziert.

Anhang 3 Ereignisbäume Kälteanlage Supermarkt



Ammoniak kontinuierlich

Ammoniak kontinuierlich	Ventilation in Betrieb	Freisetzungs- rate > Ven- tilationsrate	Austritt aus Maschinen-raum	Austritt in Ladenlokal	Resultat		Verletzte	
Kontinuierliche Freisetzung 5.66E-05	0.9998	0.5	0.01	0.1	2.95E-08	Ammoniak im Ladenlokal	5.3	
				0.9	2.65E-07	Ammoniak im Treppenhaus	5	
			0.99		2.80E-05	Keine Auswirkung		
					2.83E-05	Keine Auswirkung		
		0.0002	1	0.5	5.66E-09	Ammoniak im Ladenlokal	5.6	
				0.5	5.66E-09	Ammoniak im Treppenhaus	5	
			0		0.00E+00	Keine Auswirkung		
		Summe					5.66E-05	

Ammoniak spontan

Ammoniak spontan	Ventilation in Betrieb	Austritt aus Maschinenraum	Austritt in Ladenlokal	Resultat		Verletzte	
Spontane Freisetzung 6.25E-06	0.9998	1	0.5	3.12E-06	Ammoniak im Ladenlokal	5.5	
			0.5	3.12E-06	Ammoniak im Treppenhaus	5	
		0		0.00E+00	Keine Auswirkung		
				1.25E-09	Ammoniak im Ladenlokal	5.5	
		1	1	0.00E+00	Ammoniak im Treppenhaus		
			0	0.00E+00	Keine Auswirkung		
		0.0002	0		0.00E+00	Keine Auswirkung	
Summe				6.25E-06			

Allgemeine Freisetzungshäufigkeit 10-3

Propen

Propen	Zündung im Maschinenraum	Austritt aus Maschinenraum	Zündung	Druckwirkung	Resultat	Tote	Verletzte	Schaden [mio Fr.]
Spontane Freisetzung 1.00E-03	0.05		0.1	5.00E-06	Explosion im Maschinenraum	4		1
			0.9	4.50E-05	Brand im Maschinenraum	1		1
		0.05	0.1	4.75E-06	Explosion im Treppenhaus	6		1
			0.9	4.28E-05	Brand im Treppenhaus	1		1
	0.95	1	0.95	9.03E-04	Keine Auswirkung			
		0		0.00E+00	Keine Auswirkung			
	Summe				1.00E-03			

Ammoniak spontan

Ammoniak spontan		Austritt aus Maschinenraum	Austritt in Ladenlokal	Resultat		Tote	Verletzte	Schaden [mio Fr.]
Spontane Freisetzung 1.00E-03	1	1	1	1.00E-03	Ammoniak im Ladenlokal	1	6.5	
		0	0	0.00E+00	Ammoniak im Treppenhaus			
		0		0.00E+00	Keine Auswirkung			
	Summe			1.00E-03				

FKW

FKW		Kälteeinwirkung			
Spontane Freisetzung 1.00E-03	1	0.01	1	1.00E-05	Kälteeinwirkung
		0.99		9.90E-04	Keine Auswirkung
		Summe		1.00E-03	