

LIS - Berichte

Nr. 71

Zusammenstellung von zusätzlichen
sicherheitstechnischen Anforderun-
gen an Anlagen zur Lagerung
von druckverflüssigtem Ammoniak
in Kraftwerken

Herausgeber:

Landesanstalt für Immissionsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Straße 6

D-4300 Essen 1

März 1987

ISSN 0720-8499

Zusammenstellung von zusätzlichen sicher-
heitstechnischen Anforderungen an Anlagen
zur Lagerung von druckverflüssigtem
Ammoniak in Kraftwerken

Heinrich Wefers und Helga Katzer

Landesanstalt für Immissionsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Zentralstelle Störfallverordnung und gefährliche Stoffe
Wallneyer Str. 6
D-4300 Essen 1

Grundlage dieser Zusammenstellung bildet die im Anhang aufgezeigte Literatur.

Anmerkungen und Ergänzungen können an die vorstehende Adresse gerichtet werden.

Inhaltsverzeichnis	Seite
Übersicht "Lagerbehälter für Ammoniak" (Kurzfassung des Abschnittes 6)	7
Zusammenfassung	9
Summary	9
Vorbemerkung	11
1. Einleitung	13
2. Lagerungsmöglichkeiten von Ammoniak	13
2.1 Lagerung von Ammoniak druckverflüssigt	13
2.2 Lagerung von Ammoniak tiefkalt	14
2.3 Lagerung von Ammoniak in Wasser gelöst	14
2.4 Bewertung der Lagermöglichkeiten aus der Sicht der Störfallverordnung	14
3. Eigenschaften von Ammoniak bei Drucklagerung unter Störfall- gesichtspunkten	15
4. Anlagenbeschreibung	18
5. Beschreibung der Gefahrenquellen	19
5.1 Großes Leck ($>> 2 \text{ cm}^2$)	19
5.2 Kleines Leck ($\leq 2 \text{ cm}^2$)	19
6. Lagerbehälter für Ammoniak	20
6.1 Anforderungen an den Druckbehälter (unabhängig von der Art der Aufstellung)	20
6.1.1 Zweck des Druckbehälters	20
6.1.2 Werkstoff	21
6.1.3 Schweißnähte	21
6.1.4 Glühen	21
6.1.5 Anordnung der Stützen	22
6.1.6 Domschacht	22
6.1.7 Bauprüfung	22
6.1.8 Ausrüstung	23
6.1.9 Entnahme aus dem Druckbehälter	25
6.1.10 Wasserdruckprüfung	26
6.1.11 Wiederkehrende Prüfung	26
6.1.12 Wassersprüheinrichtungen	26
6.1.13 Auffangraum	27
6.1.14 Installation	27
6.1.15 Spülen des Druckbehälters	27
6.1.16 Notstromversorgung	27
6.1.17 Gaswarneinrichtung	28
6.1.18 Fernsehanlage	28

6.2	Bauartabhängige Anforderungen an den Druckbehälter	28
6.2.1	Druckbehälter oberirdisch, einwandig mit Auffangraum	28
6.2.2	wie 6.2.1 mit einer vollständigen Erddeckung von mindestens 1 m	30
6.2.3	Druckbehälter einwandig mit teilweiser Erddeckung (z.B. Stirnseite frei)	31
6.2.4	Druckbehälter doppelwandig, oberirdisch mit einwandigem Domschachtbereich	31
6.2.5	Druckbehälter doppelwandig mit einwandigem Domschacht und mit vollständiger Erddeckung von mindestens 1 m	32
6.2.6	Druckbehälter vollständig doppelwandig	32
7.	Zusätzliche technische Maßnahmen an der Entladestation	33
7.1	Maßnahmen zur Verhinderung des Austritts von Ammoniak	33
7.2	Begrenzung der Auswirkungen nach dem Austritt von Ammoniak	36
8.	Einhausung, Druckbehälter oder Entladestation in einem Gebäude aufgestellt	37
9.	Verdampferstation	39
Anhang I	Merkblatt Ammoniak	41
Anhang II	Dichte und Dampfdruck von Ammoniak	45
Literatur		49
Abkürzungsverzeichnis		52

Übersicht "Lagerbehälter für Ammoniak" (Kurzfassung des Abschnittes 6)

Allgemeine Anforderungen, gültig für alle Bauarten von Druckbehältern	Behälter darf keine Verdampferstation sein / Werkstoff StE355 / keine Kehlnähte / Stumpfnähte beschleifen / alle Schweißnähte prüfbar / verwendungsfertig spannungsarm glühen / alle Stutzen in Gasphase / Minimierung der Öffnungen / Domschacht mit Gaswarneinrichtung / Verfahrensprüfung und Bauüberwachung / 100 % Schweißnahtprüfung / Absperrventile bauteilgeprüft / Chemief lansche / Schnellschlußventile / Berstscheibe vor dem Sicherheitsventil / Druckbegrenzer / redundante Überfüllsicherung / Blockflansche in der Flüssigphase / wiederkehrende innere Prüfung alle 2 Jahre / Wasserberieselung 200 l/m ² h / Wassersprüheinrichtung 600 l/m ² h / Auffangraum mit Eignungsfeststellung / Notstromversorgung 3 Std. / Gaswarneinrichtung / Fernsehanlage
---	--

Bauartabhängige Anforderungen

Einwandige Druckbehälter oberirdisch mit Auffangraum	Betriebsüberdruck > 24 bar / Ofenglühung / Behältervolumen < 200 m ³ / Domschacht / zusätzliche Schweißnahtprüfung / Schaum / Auffangraum dicht / keine Fugen im Auffangraum
Einwandiger Druckbehälter mit 1 m Erddeckung mit Auffangraum	z.Zt. keine Eignungsfeststellung des Auffangraumes möglich, daher nicht genehmigungsfähig
wie vorstehend mit teilweiser Erddeckung	z.Zt. keine Eignungsfeststellung des Auffangraumes möglich, daher nicht genehmigungsfähig
Doppelwandiger Druckbehälter mit einwandigem Domschacht	Betriebsüberdruck \geq 20 bar für Innen- und Außenbehälter / Zwischenraum überwachen
wie vorstehend mit 1 m Erddeckung	Korrosionsschutz / Sicherung gegen Aufschwimmen / Betriebsüberdruck \geq 16 bar für Innen- und Außenbehälter / Zwischenraum überwachen
Druckbehälter vollständig doppelwandig (Containment)	Reduzierung der allgemeinen Anforderungen hinsichtlich Prüfung / Absperrventile im Zwischenraum / Überwachung des Zwischenraumes
Einhausung	Anlagenteile in Ex-Schutz-Ausführung / Kabel resistent gegen Ammoniak / Alarmanlagen und Gasspürgeräte / Wasserberieselung / kurze Fluchtwege / Lüftungsanlage mit Kolbenströmung in Bodennähe / Abblaseleitung der Lüftungsanlage in ausreichender Höhe / druckfeste Wände

ZUSAMMENSTELLUNG VON ZUSÄTZLICHEN SICHERHEITSTECHNISCHEN ANFORDERUNGEN AN ANLAGEN ZUR LAGERUNG VON DRUCKVERFLÜSSIGTEM AMMONIAK IN KRAFTWERKEN

Heinrich Wefers und Helga Katzer

Z u s a m m e n f a s s u n g

Der Betrieb von DeNO_x-Anlagen in Kraftwerken macht es erforderlich auf dem Kraftwerksgelände Ammoniak zu lagern. Bei den dafür in Frage kommenden Ammoniakmengen besteht die Möglichkeit der Lagerung in Form von Ammoniakwasser oder in Form von druckverflüssigtem Ammoniak. Bei Eintritt eines Störfalles an einer Ammoniakanlage, bei dem druckverflüssigtes Ammoniak frei wird, kann eine Ammoniakwolke entstehen, die sich in kurzer Zeit ausbreitet.

In dem vorliegenden Bericht werden sicherheitstechnische Anforderungen an Anlagen zur Lagerung von druckverflüssigtem Ammoniak aufgezeigt. Es handelt sich dabei um fortschrittliche Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, die zur Verhinderung von Störfällen oder zur Begrenzung der Auswirkung von Störfällen nach dem Stand der Sicherheitstechnik erforderlich erscheinen. Es wurde bewußt darauf verzichtet, allgemein anerkannte Regeln der Technik erneut zu beschreiben.

S u m m a r y

For operation of DeNO_x-units in power plants it is necessary to store ammonia on the area of the power plants. Considering the quantity of ammonia required it is possible to store it as an aqueous solution or under high pressure as liquid ammonia. In case of a release of liquid ammonia from a pressurized container caused by a major accident in an ammonia storage, a heavy cloud can be formed. This cloud can rapidly cover a large area around the source.

The present report describes technical demands of safety at plants for storage of pressurized liquid ammonia. These demands consist of progressive processes, installations and methods of operation, which seem necessary to prevent major accidents or to limit the effects of major accidents. General rules of technical science are not described once more.

V o r b e m e r k u n g

Anlagenbegriff

Anlagen zum **Lagern** von brennbaren Gasen (hier: Ammoniak) in Behältern mit einem Fassungsvermögen von insgesamt 300 t oder mehr (Anhang I Nr. 9 Störfall-VO) unterliegen den Vorschriften der Störfall-Verordnung (Störfall-VO). Dies gilt auch, wenn mehr als 50 t Ammoniak in sonstigen Anlagen nach Anhang I der Störfall-VO vorhanden sein können (z.B. Nr. 1 Müllverbrennungsanlagen).

Bei Anlagen zum Lagern von druckverflüssigtem Ammoniak mit weniger als 300 t Ammoniak bzw. bei sonstigen Anlagen i.S. von Anhang I Störfall-VO mit weniger als 50 t Ammoniak können sich aus dieser "Zusammenstellung" Anforderungen im Sinne von § 5 BImSchG bzw. § 5 Druckbehälter-VO ergeben.

Wasserrechtliche Regelungen sind neben der Störfallverordnung anzuwenden. Die sich ergebenden Anforderungen sind zu erfüllen.

Sicherheitspflicht

Der Betreiber der o.g. Anlage hat die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, um **Störfälle zu verhindern**. Maßstab für das Erfordernis der Vorkehrungen sind Art und Ausmaß möglicher Gefahren und der dabei drohenden Schäden.

Irreparable Schäden an verfassungsrechtlich geschützten Rechtsgütern - dazu gehört insbesondere das menschliche Leben - müssen nach dem Maßstab praktischer Vernunft ausgeschlossen sein. Gefahrenquellen und Eingriffe sind nicht zu berücksichtigen, wenn sie als Störfallursachen vernünftigerweise ausgeschlossen werden können. Es sind also nicht alle theoretisch denkbaren Störfallursachen zu betrachten, sondern nur solche, deren Eintritt aufgrund praktischer Erfahrung nicht ausgeschlossen werden kann.

"Hat ein Umstand in der Praxis bereits einmal zu einem Störfall geführt, so ist damit erwiesen, daß er als Störfallursache in Betracht kommt. Ein solches Ereignis kann daher nicht mehr von vorneherein als Störfallursache vernünftigerweise ausgeschlossen werden" (Beschuß des OVG Lüneburg vom 06.04.1984 - 72979 - Seite 17).

Zweck der Zusammenstellung

Stand der Sicherheitstechnik im Sinne der Störfallverordnung ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Verhinderung von Störfällen oder zur Begrenzung ihrer Auswirkungen gesichert erscheinen läßt. Bei der Bestimmung des Standes der Sicherheitstechnik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind (§ 2 Abs. 3 Störfall-VO).

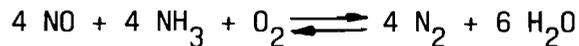
Druckbehälter für Ammoniak müssen gemäß § 4 Abs. 1 der Druckbehälterverordnung nach den Vorschriften des Anhanges I zu dieser Verordnung und im übrigen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik errichtet und betrieben werden. Die Technischen Regeln Druckbehälter - TRB - enthalten die Sicherheitstechnischen Anforderungen, bei deren Anwendung die Vorschrift des § 4 Abs. 1 Druckbehälterverordnung im Regelfall erfüllt ist. Für die Aufstellung, Befüllung und den Betrieb der Druckbehälter gelten die TRB 600, TRB 610, TRB 700, TRB 801, TRB 851, TRB 852.

Zweck dieser Zusammenstellung ist es unter den Vorgaben der Störfall-Verordnung Gefahrenquellen und deren Auswirkungen aufzuzeigen, die vernünftigerweise bei der Errichtung und dem Betrieb von Lagern für druckverflüssigtes Ammoniak nicht ausgeschlossen werden können. Dies gilt nur, solange nicht - in Übereinstimmung mit § 5 Druckbehälter-Verordnung bzw. § 7 Dampfkessel-Verordnung - über das bestehende Regelwerk hinaus weitergehende Anforderungen i.S. von § 3 Abs. 1 Störfall-Verordnung erfüllt werden. Es werden Vorkehrungen aufgezeigt, mit denen Störfälle verhindert werden. Darüber hinaus werden Vorkehrungen beschrieben, die aus Gründen der Vorsorge erforderlich sind, um die Auswirkungen von dennoch eintretenden Störfällen so gering wie möglich zu halten (§ 3 Abs. 3 der Störfall-VO).

Die hier vorgelegte "Zusammenstellung" soll den Genehmigungsbehörden des Landes NRW Hilfestellung bei der Beurteilung der Genehmigungsfähigkeit von Ammoniaklagern geben.

1. Einleitung

In Kraftwerken wird Ammoniak (NH_3) zur Minderung der Stickoxidemissionen eingesetzt.



Um in einen Rauchgasvolumenstrom von z.B. $10^6 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\hat{=}$ Kraftwerksleistung ca. $330 \text{ MW}_{\text{el}}$) die Rohgaskonzentration von $1200 \text{ mg NO}_x/\text{m}^3$ (NO_x gerechnet als NO_2) auf $200 \text{ mg NO}_x/\text{m}^3$ zu reduzieren, werden etwa 400 kg Ammoniak pro Stunde benötigt, d.h. es sind je 1 kg NO_x , das reduziert wird, $0,4 \text{ kg}$ Ammoniak erforderlich.

Der hohe Ammoniakverbrauch sowie eine Mindestvorratshaltung für ca. 10 Tage erfordert im Regelfall eine Lagerkapazität von wesentlich mehr als 30 t Ammoniak. Lager mit mehr als 300 t Ammoniak unterliegen den Vorschriften der Störfallverordnung. Derartig große Lager sind bisher außerhalb von Chemieanlagen selten errichtet worden. Im übrigen wurden bisher von Kraftwerksbetreibern große Mengen an giftigen und brennbaren Gasen nicht gehandhabt. Die Infrastruktur der Kraftwerke muß erst noch darauf ausgerichtet werden Ammoniaklager zu betreiben. Die chemische Industrie hat langjährige Erfahrungen im Umgang mit Ammoniak, derartige Erfahrungen liegen bei den Kraftwerksbetreibern noch nicht vor. In der chemischen Industrie ist oft eine Starkwasserproduktion vorhanden, in die Leckagen bzw. Emissionen von Ammoniak eingeleitet werden. Derartige Anlagen können die Auswirkungen eines Störfalls stark herabsetzen. Außerdem ist in Werken der chemischen Industrie eine Werksfeuerwehr vorhanden, die speziell ausgerüstet ist Leckagen jeder Art zu bekämpfen.

2. Lagerungsmöglichkeiten von Ammoniak

2.1 Lagerung von Ammoniak druckverflüssigt

Ammoniak kann u.a. druckverflüssigt in Druckbehältern gelagert werden. Die Druckbehälter sind gemäß TRB bei oberirdischer Lagerung für eine Temperatur von 40°C auszulegen, d.h. für einen Innendruck von $15,6 \text{ bar}^*$). Werden die

*) Drucke als Absolutdruck angegeben

Druckbehälter erdgedeckt gelagert (1 m Erddeckung), sind sie für eine Temperatur von mindestens 30°C auszulegen, d.h. für einen Innendruck von 11,7 bar. Der Innendruck des Lagerbehälters ist abhängig von der Temperatur des Lagergutes^{**}). Es ist zu erwarten, daß bei erdgedeckter Lagerung die max. Temperatur des Ammoniaks etwa 15°C und der max. Innendruck etwa 7 bar beträgt. Bei Befüllung können höhere Temperaturen auftreten.

2.2. Lagerung von Ammoniak tiefkalt

Die Lagerung von Ammoniak erfolgt drucklos bei Temperaturen unterhalb des Siedepunktes (-33,4°C) in doppelwandigen, isolierten Behältern. Es ist festzustellen, daß diese Art der Lagerung z.Zt. nur in der ammoniakherstellenden Industrie vorhanden ist.

2.3. Lagerung von Ammoniak in Wasser gelöst

Ammoniak hat eine gute Löslichkeit in Wasser und kann zum Beispiel als 25- bis 32%ige Lösung ("Ammoniakwasser", "Starkwasser", "Salmiakgeist") drucklos gelagert werden.

Die Siedetemperatur (Siedebeginn) beträgt bei der 25%igen Ammoniaklösung +37,7°C, bei der 32%igen +24,7°C.

Es ist besonders hervorzuheben, daß die Schmelztemperatur einer eingefrorenen 25%igen Ammoniaklösung -57,5°C beträgt, d.h. das Einfrieren von Leitungen und Armaturen ist auszuschließen.

2.4. Bewertung der Lagermöglichkeiten aus der Sicht der Störfallverordnung

Die Lagerung von Ammoniakwasser unterliegt nicht den Vorschriften der Störfallverordnung, weil der Anlagenbegriff i.S. des Anhang I Ziff. 9 der Störfallverordnung nicht vorliegt. Eine Störung der Anlage hätte deutlich geringere Auswirkungen aus der Sicht des Immissionsschutzes und des Gewässerschutzes als bei einer Anlage mit tiefkalter Lagerung bzw. mit Drucklagerung von Ammoniak.

^{**}) Siehe Anhang II

Anlagen zum Lagern von tiefkaltem Ammoniak wurden bisher in Kraftwerksbereich nicht errichtet. Grundsätzlich kann gesagt werden, daß bei gleicher Lagermenge bei der Lagerung von tiefkaltem Ammoniak ein Störfall deutlich geringere Auswirkungen hat als bei einem Lager für druckverflüssigtes Ammoniak.

3. E i g e n s c h a f t e n v o n A m m o n i a k b e i D r u c k - l a g e r u n g u n t e r S t ö r f a l l g e s i c h t s p u n k - t e n

Die wichtigsten Daten über Ammoniak sind dem Datenblatt im Anhang zu entnehmen.

Daraus geht hervor, daß Ammoniak weniger wegen seiner Brennbarkeit und Explosionsfähigkeit ein Gefahrenpotential darstellt, sondern vielmehr wegen seiner gesundheitsgefährdenden (mindergiftig und ätzend gemäß Chemiekaliengesetz, sehr giftig und brennbar gemäß TRB 610) und wassergefährdenden Wirkung.

Eine wichtige Eigenschaft von druckverflüssigtem Ammoniak ist das Verursachen von Spannungsrißkorrosion in den Lagerbehältern.

Aus Untersuchungen geht hervor, daß bereits geringe Sauerstoffkonzentrationen im Ammoniak (> 2 ppm) die Spannungsrißkorrosion begünstigen. Dagegen wirkt der Zusatz von Wasser (0,15 bis 0,20 Gew.%) der Spannungsrißkorrosion entgegen.

Beim Entspannen des druckverflüssigten Ammoniaks über die Gasphase verdampfen mindestens 20 % des flüssigen Behälterinhaltes. Die dazu erforderliche Verdampfungswärme wird vom restlichen Ammoniak aufgebracht, das sich dabei bis auf seinen Siedepunkt von -33°C abkühlt.

Eine weitere Verdampfung des Ammoniaks kann nur durch Wärmeübertragung von außen (Erdreich, Luft) mit zeitlicher Verzögerung erfolgen.

Entsteht ein Leck am Behälter im Bereich der Flüssigphase, verdampfen mindestens 20 % unmittelbar nach dem Ausfließen aus der Öffnung. Ein großer Anteil (ca. 50 %) des ausströmenden Ammoniaks wird als Aerosol (Tröpfchen bzw. Nebel) mitgerissen. Dabei können im Nebel sehr tiefe Temperaturen (-70°C) auftreten.

Es wird angenommen, daß der Anteil Ammoniak, der flüssig am Boden zurückbleibt, weniger als 30 % der ausgeströmten Ammoniakmenge beträgt und daß dieses Ammoniak kontinuierlich verdampft.

Gasförmiges Ammoniak hat bei 0°C und 1013 mbar eine Dichte von 0,7714 kg/m³.

Aus 1 kg flüssigem Ammoniak entstehen bei 0°C 1,3 m³ gasförmiges Ammoniak, bzw. aus 1 l flüssigem Ammoniak entstehen 820 l gasförmiges Ammoniak.

Aufgrund seines Molekulargewichtes ist Ammoniak bei gleichen Bedingungen leichter als Luft.

Tritt jedoch druckverflüssigtes Ammoniak aus einem Behälterleck aus, bildet sich sichtbar kalter Nebel, der schwerer als Luft ist.

Beim Freisetzen von unter Druck stehendem Ammoniak aus der Flüssigphase wird sich die entstehende "Ammoniakwolke" am Boden in Windrichtung ausbreiten und dort auch längere Zeit bleiben. Die "Ammoniakwolke" wird sich tunnelartig ausbreiten, d.h. eine geringe Breite und Höhe im Verhältnis zur Länge in Windrichtung haben. "Ammoniakwolken", die aus druckverflüssigtem Ammoniak entstehen, verhalten sich wie ein schweres Gas (d.h. ein Gas, dessen Dichte größer als die Dichte von Luft ist).

Beim Freisetzen von unter Druck stehendem Ammoniak aus der Gasphase kann sich das Ammoniak gleichartig ausbreiten.

Bei Versuchen in den USA wurde nach Austritt von druckverflüssigtem Ammoniak aus einem Rohr mit 94,5 mm Durchmesser in 800 m Entfernung noch eine Konzentration von 2,1 Vol% und in 2800 m Entfernung von 0,5 Vol%, in einem Meter Höhe über dem Erdboden, gemessen.

Ammoniak ist ein wassergefährdender Stoff (Wassergefährdungsklasse 2). Gelangt es in das Erdreich, besteht die Gefahr der Grundwasserverseuchung. Lagerbehälter für Ammoniak bedürfen der Eignungsfeststellung nach den Vorschriften des Wasserhaushaltsgesetzes. Ammoniak in Gewässern ist bereits bei einer Konzentration von 0,2 - 2,0 mg/l tödlich für Fische. Erste Wirkungen bei Fischen treten bereits bei 0,006 mg/l auf.

4. Anlagenbeschreibung

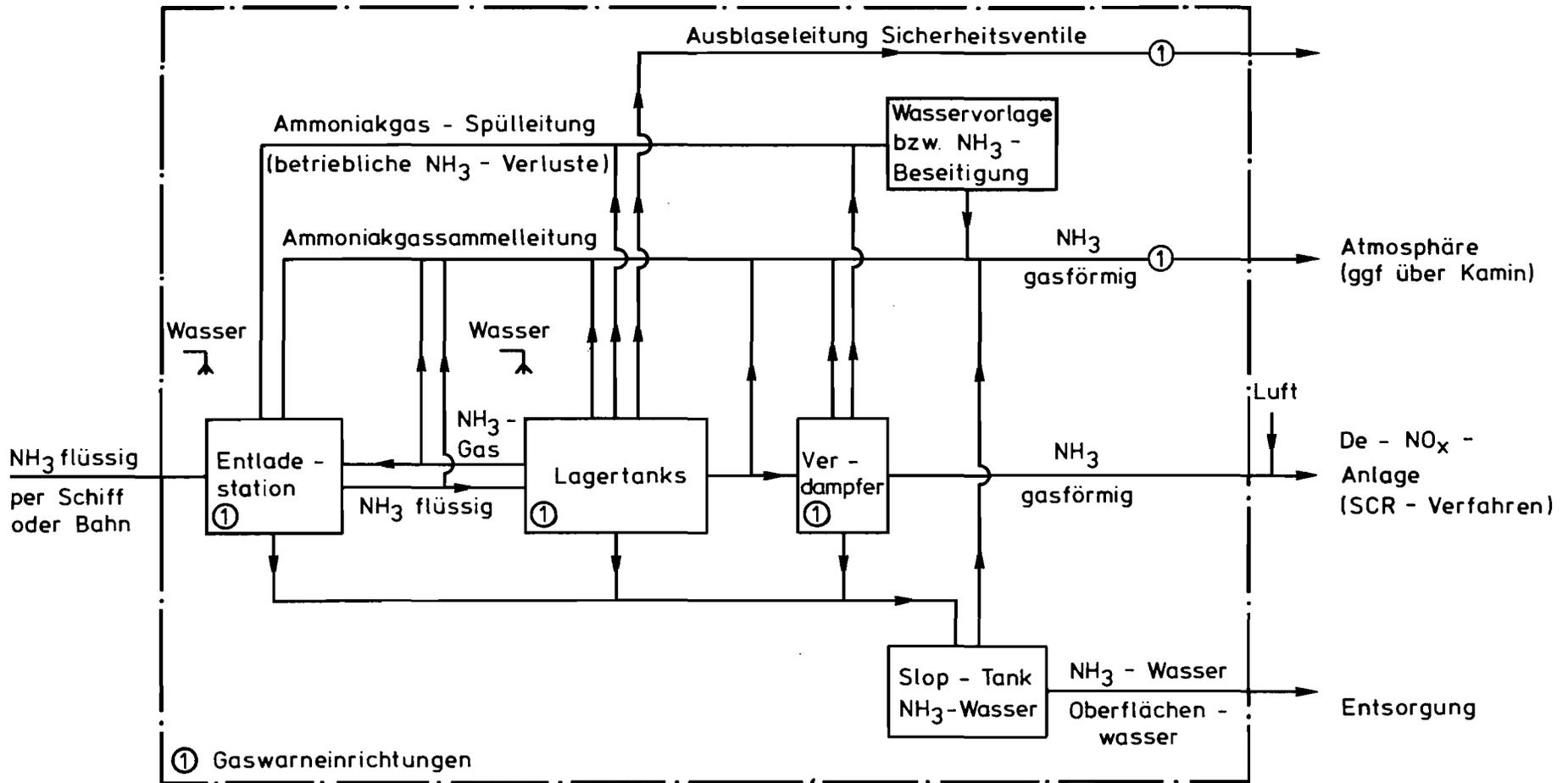
Zu dem Ammoniaklager gehören im Regelfall neben dem eigentlichen Lager eine Entladestation und eine Verdampferstation. In der Entladestation wird das Ammoniak von den Transporteinheiten (Bahn-Kesselwagen, Container - falls kein Bahnanschluß, Schiff) in die Lagerbehälter umgefüllt. Das Ammoniak wird in druckverflüssigter Form angeliefert.

Das Ammoniak wird im Regelfall in mehreren Lagertanks gelagert. In der Verdampferstation wird das druckverflüssigte Ammoniak verdampft. Vom Verdampfer gelangt das nun gasförmige Ammoniak über Leitungen zur Rauchgasentstickungsanlage und wird dort mit Luft verdünnt (in einer Konzentration von 3 - 5 %) dem Rauchgasstrom zugemischt.

An die Stelle eines Lagers im Kraftwerksbereich kann auch ein externes Lager außerhalb des Kraftwerkes treten, wenn z.B. das Ammoniak über eine Hochdruckleitung zugeführt wird. Dadurch kann ein großes Lager an ungünstigem Standort vermieden werden. Die dann erforderlichen besonderen Anforderungen an die Rohrleitung sind im Einzelfall festzulegen.

Kritische Anlagenbereiche sind die Entladestation und die Lagerbehälter, weil dort größere Mengen flüssiges Ammoniak vorhanden sind und ggfl. in flüssigem oder gasförmigem Zustand freigesetzt werden können. Dazu zählen auch Rohrleitungen für flüssiges Ammoniak, z.B. zwischen Entladestation und Lagerbehälter bzw. Lagerbehälter und Verdampfer.

Zu der Anlage gehört auch die Versorgung mit Wasser zum Kühlen der Behälter bzw. zum Niederschlagen von Ammoniak. Dieses Wasser wird im Regelfall dem Löschwassernetz entnommen. Dabei ist zu beachten, daß die erforderliche Kühlwassermenge stets zur Verfügung steht (auch bei einem Brand außerhalb der Anlage). Das anfallende Niederschlagswasser und das Wasser zum Kühlen muß ordnungsgemäß in ausreichend dimensionierten Auffangräumen bzw. Behältern gesammelt und einer Entsorgung zugeführt werden.



Prinzip eines Ammoniaklagers im Kraftwerksbereich

5. Beschreibung der Gefahrenquellen

Bei einem Lager für druckverflüssigtes Ammoniak sind alle Zustände oder Ereignisse, bei denen eine größere Menge Ammoniak freigesetzt werden kann, Gefahrenquellen, die geeignet sind, einen Störfall zu verursachen. Zur Beurteilung der Gefahrenquelle kann die Leckgröße herangezogen werden.

5.1. Großes Leck ($\gg 2 \text{ cm}^2$)

Unter einem großen Leck ist hier das Zerbersten eines Behälters oder das vollständige Abreißen, zum Beispiel einer Leitung DN 50, die mit der Flüssigphase des Behälters in Verbindung steht, zu verstehen. Derartige Ereignisse sind vernünftigerweise auszuschließen, wenn der Druckbehälter gemäß den Vorschriften der Druckbehälterverordnung bzw. Dampfkesselverordnung sowie nach dem Stand der Sicherheitstechnik errichtet und betrieben wird.

Wie zuvor beschrieben, würden beim Austreten von druckverflüssigtem Ammoniak aus einem Behälterleck min. 20 % der ^{abströmten} Ammoniakmenge ^{ausströmen} spontan verdampfen und bis zu 50 % als Aerosol mitgerissen, wenn das Leck unter dem Flüssigkeitsspiegel liegt. Bei sehr großen Leckagen von flüssigem Ammoniak ist es für die Verdampfung der übrigen Ammoniakmenge von Bedeutung, ob sich das flüssige Ammoniak am Boden ausbreiten kann, oder ob es gezielt in einer (wärme- gedämmten) Grube mit kleiner Oberfläche (ggfl. Abdeckung) gesammelt werden kann. Jede Wärmezufuhr, z.B. Lösungswärme durch Einbringen von Wasser, ist zu vermeiden, da dies die Verdampfung des flüssigen Ammoniaks beschleunigen würde.

5.2. Kleines Leck ($\leq 2 \text{ cm}^2$)

Nach § 3 Abs. 2 letzter Halbsatz der Störfallverordnung sind alle Gefahrenquellen zu berücksichtigen, die vernünftigerweise nicht ausgeschlossen werden können.

Selbst bei einem Ammoniaklager, das nach den anerkannten technischen Regeln erstellt ist und betrieben wird, darf unter den Vorgaben der Störfallverordnung nicht von vorneherein ausgeschlossen werden, daß ein etwa 2 cm^2 Leck auftritt. Es muß jedoch alles getan werden, auch kleinste Lecks bzw. Undichtigkeiten zu erkennen bzw. zu verhindern, damit sich ein größeres Leck erst gar nicht bilden kann.

Wenn die unter 6. beschriebenen Maßnahmen optimal verwirklicht werden, kann im Einzelfall davon ausgegangen werden, daß ein Leck von 2 cm^2 vernünftigerweise ausgeschlossen werden kann. Dies gilt nur, wenn insbesondere Pkt. 6.1.6 erfüllt ist und die Auflager so ausgeführt sind, daß dort erhöhte Spannungen und Korrosion sicher ausgeschlossen werden. Der Behälter darf außer im Bereich des Domschachtes keine Nippel, Rohrstutzen, An- und Einschweißverbindungen haben.

Aus einem 2 cm^2 Leck im Bereich der flüssigen Phase des Behälters treten je nach Innendruck (8 - 15 bar) etwa 10 bis 20 t Ammoniak flüssig je Stunde aus. Wenn das Ammoniak waagrecht ausströmt, bildet sich die in Kapitel 3 beschriebene Ammoniakwolke, die in Windrichtung in Bodennähe verbleibt. Auch wenn das Ammoniak senkrecht nach oben ausströmt, sind ähnliche Verhältnisse zu erwarten, da das kalte Gas zur Erde "fällt". Wenn die Austrittsstelle zum Boden gerichtet ist, wird ein Teil des Ammoniaks am Boden eine Lache bilden, der überwiegende Teil wird sich aber, wie unter Kapitel 3 beschrieben, ausbreiten. Da das Leck als Düse wirkt, breitet sich das Ammoniak in allen Fällen erst einige Meter hinter der Austrittsstelle als Gas und Aerosol aus, bzw. es sammelt sich teilweise als tiefkalte Flüssigkeit am Boden. Es ist anzunehmen, daß 7 bis 14 t Ammoniak gasförmig je Stunde aus dem o.a. Leck entstehen. Ein Rest wird zunächst als tiefkalte Flüssigkeit am Boden verbleiben.

Wenn das Leck im Bereich der Gasphase des Behälters liegt, tritt pro Zeiteinheit nur ein Bruchteil (etwa 1/10) der o.g. Ammoniakmenge aus. Durch Nachverdampfung aus der Flüssigphase tritt dabei eine Abkühlung und damit eine Druckabsenkung im Behälter ein. Dadurch verringert sich der Leckstrom entsprechend. Wenn das Leck in einer abgesperrten Rohrleitung entsteht, ist zu erwarten, daß die gesamte Ammoniakmenge als Gas freigesetzt wird.

Die Versuche in den USA haben ergeben, daß die Geschwindigkeit der Ammoniakwolke bis etwa 100 m hinter der Austrittsstelle höher ist als die Windgeschwindigkeit. Danach driftet die Ammoniakwolke mit Windgeschwindigkeit weiter.

6. Lagerbehälter für Ammoniak

6.1. Anforderungen an den Druckbehälter

(unabhängig von der Art der Aufstellung)

- 6.1.1. Der Druckbehälter darf nur den Zweck haben, das Ammoniak zu lagern. Der Druckbehälter darf nicht als Verdampferstation ausgerüstet sein

und insbesondere nicht mit Beheizungseinrichtungen versehen sein. Durch die Gasentnahme darf die Temperatur des flüssigen Ammoniaks nicht deutlich und immer wiederkehrend herabgesetzt werden, es sei denn, der Behälter ist für diesen Lastwechsel ausgelegt.

- 6.1.2. Die Werkstoffe für den Behälter und das Schweißgut sind so auszuwählen, daß Materialien mit geringer Festigkeit bevorzugt werden, weil diese weniger anfällig sind für Spannungsrißkorrosion.

Der Behälter sollte aus Feinkornbaustahl StE355 bzw. TStE355 oder Feinkornbaustahl geringerer Festigkeit nach DIN 17102 hergestellt werden. Die kaltzähe Reihe TStE ist zu bevorzugen. Die Rohrstutzen am Behälter dürfen keine höhere Festigkeit haben als der Druckbehälter. Die Rohrstutzen müssen ein Zeugnis 3.1B bzw. 3.1C nach DIN 50049 haben. Die Rohrstutzen müssen vor dem Einbau mit Ultraschall geprüft sein. Die Behälter und Armaturen müssen frei von Buntmetallen sein.

- 6.1.3. Alle Stutzen und Einschweißverbindungen, außer Anschweißteile außen am Behälter, sind so auszuführen, daß keine Kehlnähte entstehen. Alle Schweißnähte sind durchzuschweißen (Stumpfnäht, K-Naht). Spannungsspitzen (Dehnungsbehinderungen) sind durch entsprechende Gestaltung der Werkstücke zu minimieren. Stumpfnähte sind auf der Behälterinnenseite blechen bzw. prüffähig zu beschleifen. Es ist ein Schweißfolgeplan zu erstellen. Stumpfnähte sind zu bevorzugen.

Alle drucktragenden Schweißnähte müssen so ausgeführt sein, daß sie bei Fertigung und wiederkehrender Prüfung uneingeschränkt und vollständig prüfbar sind. Dies gilt uneingeschränkt an allen Stutzen sowie an allen An- und Einschweißverbindungen und Hilfsschweißverbindungen.

Kugelstrahlen der Schweißnähte an der Behälterinnenseite bringt Druckspannungen in die Oberfläche und damit nur einen zeitlich begrenzten Schutz vor Spannungsrißkorrosion.

- 6.1.4. Der gesamte Behälter ist mit allen Flanschen, An- und Einschweißverbindungen sowie Hilfsschweißverbindungen spannungsarm im Ofen zu glühen. Das Spannungsarmglühen sollte bis an die obere Grenze der für

den Grundwerkstoff angegebenen Temperaturspanne durchgeführt werden. Nach dem Glühen darf am Behälter nicht geschliffen und nicht geschweißt werden. Abweichungen bedürfen der schriftlichen Zustimmung des Sachverständigen nach § 24c GewO.

- 6.1.5. Alle **Stutzen**, Anschlüsse und Mannlöcher sind so **anzuordnen**, daß sie in der Gasphase des Behälters liegen. Falls dies nicht möglich ist, sind nur blecheben eingeschweißte Blockflansche zulässig. Die Zahl der Öffnungen an dem Behälter ist auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken. Die Ausrüstungsteile sollten auf eine Mindestzahl von Öffnungen gruppiert werden. Der Durchmesser der Rohrstützen sollte DN 25 nicht unterschreiten. Meßstützen sollten einen lichten Durchmesser von 1,5 mm nicht überschreiten.
- 6.1.6. Alle Ausrüstungsteile sind in einem **Domschacht** anzuordnen. Der Domschacht ermöglicht auch bei oberirdischen Behältern, Leckagen im Armaturenbereich frühzeitig mit Gasspürgeräten zu erkennen. Außerdem ist ein gezieltes Niederschlagen von Ammoniakemissionen mit Wasser leichter möglich. Der Domschacht muß so hoch sein, daß alle Flanschverbindungen der abgehenden Rohrleitungen unterhalb der Oberkante des Domschachtes liegen. Der Domschacht ist flüssigkeitsdicht auf den Behälter zu setzen und mit einer Berieselungsanlage und einer Gaswarnanlage auszurüsten. Der Domschacht ist mit einem sicheren Zugang zu versehen und zu belüften. Die Berieselungsanlage soll Leckagen sicher niederschlagen und eine Leistung von mindestens $600 \text{ l/m}^2 \text{ h}$ (bezogen auf den Querschnitt des Domschachtes) haben. Die Mindestberieselungsleistung sollte insgesamt $6 \text{ m}^3/\text{h}$ je Baugruppe nicht unterschreiten. Das Berieselungswasser ist sicher in einen Auffangraum abzuleiten.
- 6.1.7. Für jeden Druckbehälter ist eine **erweiterte Vorprüfung**, auch im Hinblick auf die hier beschriebenen zusätzlichen Anforderungen, und eine **Bauüberwachung** nach einem Bauüberwachungsplan durchzuführen.

Die Bauüberwachung und die zerstörungsfreie Prüfung aller Schweißverbindungen ist mindestens an allen Stutzen durchzuführen und darf

nur vom Sachverständigen nach § 24 c der Gewerbeordnung erfolgen. Der Sachverständige hat diese Prüfung, wie nachstehend vorgegeben, durchzuführen.

Nach dem Schleifen und Gühen sind alle Schweißnähte zu 100 % Ultraschall zu prüfen und zusätzlich zu 100 % mittels Magnetpulver auf Oberflächenrisse (Längs- und Querrisse) zu prüfen. Falls eine Magnetpulver-Prüfung nicht möglich ist, ist das Farbeindringverfahren durchzuführen. Zusätzlich sind alle Bereiche mit hohem Verformungsgrad mittels Magnetpulver zu prüfen.

Die elektrischen Schaltpläne für die Steuerungs-, Regel- und Begrenzungseinrichtungen sowie für die Alarm und Not-Aus-Systeme sind in die Prüfung des Sachverständigen einzubeziehen.

- 6.1.8. Alle Rohranschlüsse an dem Behälter mit weiterführenden Rohrleitungen (bis auf den Anschluß für die Sicherheitsventile) sind mit mindestens 2 Absperrarmaturen auszurüsten. Beide Absperrarmaturen müssen bauteilgeprüft sein, bzw. DIN 3230 Teil 6 entsprechen. Die zweite Absperrarmatur muß eine Schnellschlußarmatur mit Fernbedienung sein. Falls die Leitung mit der Flüssigphase in Verbindung steht oder größer als DN 50 ist, sind beide Absperrarmaturen als Schnellschlußarmaturen mit Fernbedienung auszurüsten.

Rohrstutzen ohne weiterführenden Rohranschluß sind mit zwei Absperrarmaturen und mit Blindflansch auszurüsten.

Die Stellung aller Ventile muß immer eindeutig erkennbar sein.

Die Flansche sind mit Vor- und Rücksprung oder mit Nut und Feder zu erstellen. Alternativ sind nicht herausdrückbare Dichtungen mit Metallaußenring zulässig.

Die fernbedienbaren Schnellschlußarmaturen für den Füllanschluß und den Gaspindelanschluß sind so zu verriegeln, daß beide Ventile gleichzeitig betätigt werden. Die Schaltstellung muß elektrisch überwacht werden.

Alle Schnellschlußventile müssen "fail safe" arbeiten, d.h. bei Störungen in sichere Stellung gehen.

Der Druckbehälter ist mit Wechselsicherheitsventilen auszurüsten. Die **2 Sicherheitsventile** können mit einer Berstscheibe vor jedem Sicherheitsventil ausgerüstet werden. Der Zwischenraum zwischen der Berstscheibe und dem Sicherheitsventil ist mit einem Druckschalter zu überwachen. Der Druckschalter muß bei geringem Überdruck (max. 3 bar) Alarm in der ständig besetzten Warte des Kraftwerkes auslösen.

Ein Verzicht auf die Berstscheibe erfordert, daß das Wechselventil vor den Sicherheitsventilen mit Stellantrieb von der ständig besetzten Warte aus betätigt werden kann. Außerdem muß Handbetätigung möglich sein. Die Ausblaseleitung der Sicherheitsventile ist in diesem Fall auf schleichende Ammoniakemissionen zu überwachen.

Die Anlagengerichter legen bei der Dimensionierung von Sicherheitsventilen unterschiedliche Kriterien zugrunde. Folgende Auslegungskriterien für Sicherheitsventile werden bei der Drucklagerung von Ammoniak z.Zt. angewendet:

- 1) Das Sicherheitsventil soll nur das bei der Befüllung max. verdrängte Gasvolumen (als Gas) sicher ableiten. Es wird hierbei davon ausgegangen, daß flüssiges Ammoniak nie am Sicherheitsventil ansteht.
- 2) Das Sicherheitsventil soll beim Überfüllen des Behälters die max. mögliche Ammoniak-Befüllmenge in der Flüssigphase (Ammoniak flüssig) sicher ableiten. Dabei ist das sich bildende Zweiphasengemisch und der Gegendruck beim Abblasen bei der Dimensionierung des Sicherheitsventiles und der Abblaseleitung zu berücksichtigen.
- 3) Das Sicherheitsventil wird so ausgelegt, daß der Wärmeeintrag im Brandfall berücksichtigt wird.

Es wird vorgeschlagen, die Sicherheitsventile gemäß 2) auszulegen. Ob bei der Dimensionierung der Abblaseleitung das Zweiphasengemisch berücksichtigt werden sollte, ist im Einzelfall zu prüfen. Bei kurzen Abblaseleitungen ist dies ggfls. nicht erforderlich.

Im Behälter ist eine kontinuierliche Drucküberwachung und ein Druckbegrenzer mit Meldung und Alarm zur ständig besetzten Warte erforderlich. Der Schaltpunkt zur Unterbrechung des Füllvorganges sollte bei oberirdischen Behälter 12 bar nicht überschreiten bzw. deutlich ($\Delta P > 2$ bar) unter dem maximalen Betriebsdruck liegen.

Der Füllstandsanzeiger muß die Eignungsfeststellung z.B. nach VbF haben. Er muß eine Fernanzeige haben.

Es sind zwei Überfüllsicherungen erforderlich. Die 2 Überfüllsicherungen je Behälter (Füllstandsbegrenzer) sollen nach verschiedenen Meßmethoden arbeiten und müssen eine Bauartzulassung nach VAWs haben. Die Schaltimpulse müssen in getrennten Leitungen auf die Schnellschlußventile und Pumpen (Kompressoren) wirken. Beim Ansprechen einer Überfüllsicherung müssen die Schnellschlußventile und die Pumpen (Kompressoren) den Förderstrom unterbrechen. Bei oberirdischen Behältern ist der erste Schaltpunkt auf $\leq 83\%$, der zweite Schaltpunkt auf $\leq 85\%$ zu legen. Bei erdgedeckten Behältern sind die Schaltpunkte auf $\leq 88\%$ bzw. $\leq 90\%$ zu legen.

Der Behälter muß eine Druck- und Temperaturüberwachung mit örtlicher Anzeige und zusätzlicher registrierender Fernanzeige haben. Die Temperaturüberwachung muß auch Tiefalarm auslösen. Die Sicherheitsventile und die Füllstandsbegrenzer sind von einem Sachverständigen nach § 24c Gewerbeordnung einzustellen.

Die Leitungen für die Befüllung, Gaspendingung, Flüssigkeits- und Gasentnahme sowie ggfl. Rücklauf sollten zusätzlich mit innenliegenden Rückschlag- bzw. Rohrbruchventilen ausgerüstet sein.

Die Gaspendelleitung ist im Einzelfall so auszurüsten, daß eine Notentspannung der Gasphase des Behälters möglich ist bzw. die Gasphase abgesaugt werden kann.

Der Betriebsdruck der Fördereinrichtungen (z.B. Pumpen, Kompressoren) ist so zu begrenzen, daß ein Überschreiten des Betriebsdruckes des Behälters nicht möglich ist. Dies gilt auch, wenn ausnahmsweise Ammoniak durch Drucküberlagerung dem Behälter entnommen wird.

- 6.1.9. Die Entnahme des flüssigen Ammoniaks ist über Tauchrohre mit dem im Behälter vorhandenen Druck möglich. Die Tauchrohre sind im Bereich der Gasphase am Behälter anzuordnen.

Für die Entleerung des Behälters stehen inzwischen auch geeignete Tauchmotorpumpen zur Verfügung, die in einem vom Behälter absperrbaren Schacht (Schleuse) eingebaut werden. Wenn alle Ausrüstungsteile des Druckbehälters - bis auf die Sicherheitsventile - im Bereich

der Schleuse eingebaut sind, ergibt sich aus der Sicht der Störfallverordnung eine zusätzliche Sicherheit gegen Störfälle, da die Schleuse absperrbar gegenüber dem eigentlichen Behälter ist. Im Störfall kann nur die Ammoniakmenge freigesetzt werden, die in der Schleuse ist, wenn der Störfall den Armaturenbereich betrifft.

- 6.1.10. Die wiederkehrende **Wasserdruckprüfung** ist mit verwendungsfertig eingebauten ersten Absperrventilen und sonstigen Ausrüstungsteilen durchzuführen. Nur die Sicherheitsventile hinter dem Wechselventil dürfen dabei blindgeflanscht sein.
- 6.1.11. Die Fristen für die **wiederkehrenden Prüfungen** werden unter Berücksichtigung der wasserrechtlichen Vorschriften je nach Behälterbauart (siehe Pkt. 6.2.1.5) festgelegt.

Bei der inneren Prüfung ist stichprobenweise eine Ultraschallprüfung (insbesondere im Bereich der Schweißnähte der Anschlüsse) und eine 100 % Magnetpulverprüfung aller Schweißnähte in dem Behälter erforderlich. Die Behälterinnenwand ist auch unter der Anschweißnaht des Domschachtes von innen zu prüfen.

Die äußere Prüfung aller Behälterbauarten durch den Sachverständigen nach § 24c GewO sollte jedes Jahr durchgeführt werden. Die äußere Prüfung schließt die Funktionsprüfung aller Sicherheitseinrichtungen ein.

- 6.1.12. Zum **Niederschlagen** von aus Armaturen austretendem Ammoniak müssen **Wassersprüheinrichtungen** mit einer Mindestleistung von $6 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Armatur bzw. Armaturengruppe vorhanden sein. Ist die zu besprühende Fläche größer als 10 m^2 , muß die Sprühleistung 600 l/h m^2 betragen. Die Zeitspanne der im Leersystem eingerichteten Wassersprüheinrichtungen vom Einschalten bis zum Austreten der benötigten Wassermenge sollte kurz sein. Die Einschaltung sollte von Hand und nicht automatisch erfolgen. Im Dombereich muß die Wassersprüheinrichtung von den Gaswarngeräten ausgelöst werden.

- 6.1.13. Lagerbehälter für Ammoniak müssen doppelwandig sein oder als einwandige Behälter in einem flüssigkeitsdichten **Auffangraum** stehen. Lagerbehälter für Ammoniak bedürfen der Eignungsfeststellung.

Die Dichtheit des Auffangraumes muß dauerhaft prüfbar sein.

Da bisher kein Fugendichtungsmittel für Beton mit Zulassung bekannt ist, darf der Auffangraum nicht mit Fugen erstellt werden. Auffangwannen aus Beton ohne Fugen können bis zu einer Abmessung von etwa 15 m x 15 m ohne erheblichen Aufwand hergestellt werden.

Eine Alternative zu Beton-Auffangwannen ist eine Stahl-Auffangwanne bzw. Beton mit Stahlauskleidung. Hierbei sind konstruktive Schwierigkeiten bei den Behälterauflagen zu beachten. Der Korrosionsschutz derartiger Auffangwannen unter dem Stahlblech ist problematisch. Die **vollständige Dichtheit** des Auffangraumes muß **dauerhaft** prüfbar sein.

- 6.1.14. Die Anlage darf zu keiner Zeit, auch nicht vorübergehend, mit provisorischen **Installationen**, die nicht den anerkannten Regeln der Technik entsprechen, betrieben werden.

- 6.1.15. Der Druckbehälter ist **vor** dem **Füllen** luftfrei zu machen, weil Sauerstoff die Spannungsrißkorrosion fördert, (z.B. Füllen mit Wasser, Spülen mit Stickstoff). Dies gilt auch für "tote Winkel". Der Restsauerstoffgehalt im Behälter ist zu überwachen. Die Spülgase sind z.B. über die DENOX-Anlage gesichert abzuleiten.

- 6.1.16. Alle sicherheitsrelevanten Schaltungen und Geräte sind an die **Notstromversorgung** (Betriebsdauer mindestens 3 Stunden) anzuschließen. Dies sind insbesondere Gaswarnanlagen, Inhalts- und Druckmessung des Ammoniakbehälters, Berieselungsanlage, Beleuchtung, sowie Antriebe, deren Funktion auch bei Netzausfall sichergestellt sein muß. Alle sicherheitsrelevanten Ausrüstungsteile und Geräte, die nicht an die Notstromversorgung angeschlossen sind, müssen bei Stromausfall in einen sicheren Betriebszustand gehen.

Das **Not-Aus-System** ist so zu installieren, daß es in sicherer Schütz-/Relaistechnik unmittelbar auf die Antriebe und Stellglieder wirkt, die den sicheren Betriebszustand herbeiführen.

6.1.17. Die Gaswarneinrichtungen sind in Anlagenbereichen mit erhöhter Wahrscheinlichkeit des Freisetzens von Gas (im Bereich von Armaturengruppen, Pumpen usw.) einzurichten. Die Schaltpunkte der Gaswarneinrichtungen sind auf max. 400 ppm bzw. max. 800 ppm einzustellen. Bei 400 ppm muß Alarm ausgelöst werden, bei 800 ppm muß die Anlage auf Not-Aus gehen. Bei der örtlichen Installation muß das Ausbreitungsverhalten von Ammoniak berücksichtigt werden.

6.1.18. Zum Schutz vor Eingriff Unbefugter und zum Einleiten von Abwehrmaßnahmen im Störfall ist die Überwachung mit einer Fernsehanlage sinnvoll. Alle Sicherheits- und Alarmfunktionen (Füllstand, Endlageanzeige von Armaturen, Druck, Temperatur) sind in der ständig besetzten Warte zusammenzufassen.

6.2. Bauartabhängige Anforderungen an den Druckbehälter

6.2.1. Druckbehälter oberirdisch, einwandig mit Auffangraum

Es gelten die Anforderungen 6.1.1 - 6.1.18. Darüber hinaus sind folgende Anforderungen zu stellen:

Hinweis: Es ist standortbezogen zu prüfen, ob der Behälter und seine Ausrüstung gegen äußere Einwirkungen - Strahlungswärme, Trümmerwurf oder andere mechanische Einwirkungen - ausreichend geschützt ist.

6.2.1.1. Der Behälter ist für einen Betriebsüberdruck von mindestens 24 bar auszulegen.

2
6.2.1.2. Der Druckbehälter ist an einem Stück im Ofen zu glühen. Abweichungen hiervon sind nicht zulässig.

6.2.1.3. Die Behältergröße sollte möglichst 200 m³ nicht wesentlich überschreiten.

- 6.2.1.4. Der in 6.1.6 beschriebene Domschacht ist zur Emissionsminderung erforderlich, um Leckagen im Armaturenbereich sicher mit Gasspürgeräten festzustellen und gezielt mit Wasser niederzuschlagen.

Öffnungen in der Flüssigphase sind nur mit eingeschweißtem Blockflansch zulässig. Bei Anschlüssen, die in der Flüssigphase des Behälters liegen, sind diese mit einem innenliegenden, fernbedienbaren Schnellschlußventil auszurüsten (Bauart wie z.B. bei Eisenbahnkesselwagen gemäß GGVE - Anhang XI). Wenn kein innenliegendes Schnellschlußventil verwendet wird, ist die erste außenliegende Armatur als eingeschweißte Armatur oder Armatur mit Schweißlippenabdichtung auszuführen. In jedem Fall müssen Flüssig-Entnahmeleitungen mit zwei fernbedienbaren Schnellschlußventilen ausgerüstet sein, mindestens eine Armatur muß von Hand abgesperrt werden können.

- 6.2.1.5. Zusätzlich zu den in 6.1.7 beschriebenen Prüfungen ist eine Prüfung aller T-Schweißstöße (Längs- und Quernaht stoßen aneinander) des Behälters vom Sachverständigen nach § 24c Gewerbeordnung (§ 11 VAWS) durchzuführen.

Bei einwandigen Behältern muß die erste innere Prüfung innerhalb des zweiten Betriebsjahres, die zweite innere Prüfung im vierten Betriebsjahr durchgeführt werden. Danach ist die Frist für die weiteren Prüfungen je nach Befund, auf Vorschlag des Sachverständigen, im Einvernehmen mit der Überwachungsbehörde festzulegen.

- 6.2.1.6. Die Wasserberieselung hat die Aufgabe, bei Wärmestrahlung (Feuer außerhalb der eigentlichen Ammoniakanlage), die Behälter zu kühlen. Ammoniak ist in dem hier interessierenden Bereich praktisch nicht brennbar. Eine Unterfeuerung durch Ammoniak braucht nicht betrachtet zu werden.

Die Berieselungsleistung muß $\geq 200 \text{ l/m}^2 \text{ h}$ betragen und einen geschlossenen Wasserfilm auf der Behälterhaut bilden.

- 6.2.1.7. Zur Reduzierung der Verdampfung von Ammoniak aus einer Ammoniak-Lache ist eine ortsbewegliche Anlage zur Erzeugung von synthetischem Schaum (mittelschwerer Schaum) in der Nähe der Ammoniakanlage bereitzuhalten.

6.2.2. Druckbehälter einwandig im Auffangraum mit einer vollständigen Erddeckung von mindestens 1 m

Es gelten die Anforderungen 6.1.1 - 6.1.11, 6.1.13 - 6.1.18, 6.2.1.4 und 6.2.1.5. Darüber hinaus sind folgende Anforderungen zu stellen:

Hinweis: Da aus wasserrechtlichen Gründen die Dichtheit des Auffangraumes dauerhaft prüfbar sein muß, ist nach dem derzeitigen Kenntnisstand eine Eignungsfeststellung für die in 6.2.2 genannte Behälterbauart nicht möglich.

Diese Behälterbauart bietet aus der Sicht der Störfall-Verordnung einen zusätzlichen Schutz gegen äußere Einwirkungen. Darüber hinaus ist zu erwarten, daß durch austretendes Ammoniak das Erdreich einfriert und damit das Emissionsverhalten günstig beeinflußt wird. Die vollständige Erddeckung führt zu niedrigeren Lagertemperaturen als die oberirdische Lagerung, damit wird die Anfälligkeit für Spannungsrißkorrosion herabgesetzt. Außerdem werden tägliche Temperaturschwankungen in dem Behälter verhindert.

6.2.2.1. Der Druckbehälter ist für einen Betriebsüberdruck von mindestens 16 bar auszulegen.

6.2.2.2. Der Behälter muß gegen Aufschwimmen gesichert sein. Leckagen müssen durch geeignete Maßnahmen auch dann erkannt werden, wenn sie im Bereich der Erddeckung liegen (z.B. Drainage-Rohre mit Zwangsbelüftung und Gasspürgerät).

Es ist zu berücksichtigen, daß die Erddeckung nur ein Porenvolumen von ca. 8 % hat. Bei einem Leck in der Flüssigphase entleert sich der Behälter vollständig (Dampfdruck aus Nachverdampfung). Zwei Lagerbehälter mit je 200 m³ Volumen erfordern z.B. eine Auffangwanne mit 2900 m³-Gesamtvolumen.

siehe
S. 15

6.2.2.3 Die Behälter sind mit dauerhafter Korrosionsschutzbeschichtung (mit Hochspannungsprüfung) und zusätzlich mit kathodischem Korrosionsschutz auszurüsten.

6.2.3. **Druckbehälter einwandig mit teilweiser Erddeckung**

(z.B. Stirnseite frei)

Es gelten die Anforderungen 6.1.1 - 6.1.18, 6.2.1.1 - 6.2.1.7, 6.2.2.2 und 6.2.2.3. Darüber hinaus sind folgende Anforderungen zu stellen:

Hinweis: Da der gesamte Auffangraum nicht dauerhaft auf Dichtheit prüfbar ist, gilt insoweit der Hinweis unter **6.2.2** (keine Eignungsfeststellung möglich). Im Übrigen werden die Nachteile des erdgedeckten Behälters - Dichtheit des Auffangraumes nicht dauerhaft prüfbar - mit den Nachteilen des oberirdischen Behälters - z.B. geringerer Schutz gegen äußere Einwirkungen - kombiniert.

6.2.3.1. In dem **Auffangraum** an der Stirnseite sollen keine **Pumpen**, Stellantriebe o.ä. vorhanden sein, die **tief** liegen, als der anzunehmende Flüssigkeitsspiegel, wenn der gesamte Behälter ausgelaufen ist. Der Auffangraum an der Stirnseite muß das gesamte Behältervolumen aufnehmen können.

Die Verdampferstation und die Pumpenstation müssen räumlich getrennt sein vom Armaturenbereich des Behälters.

6.2.4. **Druckbehälter doppelwandig, oberirdisch mit einwandigem Domschachtbereich**

Es gelten die Anforderungen 6.1.1 - 6.1.11, 6.1.14 - 6.1.18. Der Zwischenraum zwischen den Behältern ist der Auffangraum. Darüber hinaus sind folgende Anforderungen zu stellen:

Hinweis: Es ist standortbezogen zu prüfen, ob der Behälter und seine Ausrüstung gegen äußere Einwirkungen - Strahlungswärme, Trümmerwurf oder andere mechanische Einwirkungen - ausreichend geschützt ist.

6.2.4.1. **Druckinnenbehälter und Druckaußenbehälter** sind für einen **Betriebsüberdruck** von mindestens **20 bar** auszulegen.

6.2.4.2. Der Zwischenraum ist ständig mit einem Leckanzeigergerät zu überwachen. Bei einem Leck muß Alarm auf eine ständig besetzte Warte gegeben werden.

Bei doppelwandigen Behältern ist die innere Prüfung, wie in 6.1.11, innerhalb des zweiten Betriebsjahres durchzuführen. Die Prüfung gemäß 6.2.1.5 braucht nur den einwandigen Dombereich zu erfassen. Im übrigen ist die Prüfung gemäß 6.1.7 durchzuführen. Je nach Befund sind die Fristen für die weiteren inneren Prüfungen festzulegen.

6.2.5. Druckbehälter doppelwandig mit einwandigem Domschacht und mit vollständiger Erddeckung von mindestens 1 m

Es gelten die Anforderungen 6.1.1 - 6.1.11, 6.1.14 - 6.1.18 sowie 6.2.2.3, 6.2.4.2. Der Zwischenraum zwischen den Behältern ist der Auffangraum. Die Erddeckung sorgt für eine gleichmäßige Lagertemperatur und damit für geringere Druckschwankungen (weniger Spannungsrißkorrosion). Darüber hinaus sind folgende Anforderungen zu stellen:

Hinweis: Der Behälter ist gegen Aufschwimmen zu sichern.

6.2.5.1 Druckinnenbehälter und Druckaußenbehälter sind für einen Betriebsüberdruck von mindestens 16 bar auszulegen.

6.2.6. **Druckbehälter vollständig doppelwandig**

Die Anforderungen unter 6.1 können möglicherweise reduziert werden, da hier kein einwandiger Domschacht vorhanden ist. Mit einem gleichzeitigen Leck des Innenbehälters und des äußeren Behälters, auch nicht aus Gründen der Spannungsrißkorrosion, ist nicht zu rechnen, da beide Behälter für den gleichen Druck ausgelegt sind. Die Ausrüstung des Behälters, insbesondere die Auslegung der Sicherheitsventile, sollte Pkt. 6.1.8 entsprechen. Zusätzlich zu den Anforderungen der Druckbehälterverordnung ist wegen der neuartigen Bauart eine Bauüberwachung erforderlich.

Es wird davon ausgegangen, daß Spannungen des Innenbehälters nicht an den Außenbehälter übertragen werden können. Dies gilt auch für alle Rohrleitungen. Außerdem ist das erste Schnellschlußventil der Fülleitung, der Gaspendelleitung und der Entnahmeleitung in dem Zwischenraum zwischen den beiden Behältern anzuordnen.

Der Zwischenraum ist ständig mit einer geeigneten Anlage zu überwachen, die auch in der Lage ist, den Ammoniakgehalt zu überwachen. Der Alarm muß an eine Warte gegeben werden.

Der in 6.2.6 genannte Behälter wirft neue Probleme auf, die noch nicht abschließend diskutiert sind.

7. Zusätzliche technische Maßnahmen an der Entladestation

7.1. Maßnahmen zur Verhinderung des Austritts von Ammoniak

7.1.1. Die Entleerung der Kesselwagen sollte möglichst mittels Gaskompressor im Gaspendelverfahren erfolgen. Dabei wird aus dem Lagerbehälter die Gasphase abgesaugt, verdichtet und über die Gaspendelleitung in den Kesselwagen gedrückt. Durch die Druckdifferenz wird der Förderstrom in Gang gesetzt. Dadurch werden die Entladezeiten kurz gehalten. Der Maximaldruck des Kompressors ist so zu begrenzen, daß der max. zulässige Innendruck im Kesselwagen bzw. der max. zulässige Innendruck des Lagerbehälters deutlich unterschritten wird. Bei der Entladung mit Gaskompressoren können die Kesselwagen und die Fülleitungen soweit entleert werden, daß kein flüssiges Ammoniak mehr vorhanden ist.

7.1.2. Erfolgt die Entleerung des Kesselwagens mittels Pumpen (nur Pumpen ohne Wellendurchführung sind zulässig), so ist der Pumpenkennwert (NPSH-Wert, Saughöhe) zu beachten. In jedem Fall ist eine Berechnung der Pumpenleistung für den Sommerbetrieb zu verlangen. Bei der Entleerung des Kesselwagens mit Pumpen bleibt flüssiges Ammoniak unter Betriebsdruck in den Fülleitungen. Der Maximaldruck der Pumpen ist so zu begrenzen, daß der max. zulässige Innendruck des Lagerbehälters nicht überschritten werden kann.

- 7.1.3. Die **Entladezeit** je Kesselwagen sollte nachweislich weniger als 6 Stunden betragen und muß ständig von einer unterwiesenen Person überwacht werden. Wenn möglich, soll die Entladung vom gleichen Schichtpersonal durchgeführt werden. Falls das Schichtpersonal wechselt, ist ein schriftlicher Nachweis über die Übergabe zu führen.
- 7.1.4. Die **Entfernung** zwischen Entladestation und Ammoniaklager sollte klein gehalten werden, um bei Leckagen an den dazwischenliegenden Rohrleitungen die freiwerdende flüssige Ammoniakmenge zu begrenzen.
- 7.1.5. Das **Not-Aus-System** muß auch auf alle Schnellschluß-Ventile wirken, die am Verladearm angebracht sind. Die erste fernbedienbare Schnellschlußarmatur muß unmittelbar hinter den beweglichen Teilen des Verladearms anlagenseitig liegen. In der Flüssigphase sind 2 fernbedienbare Schnellschlußarmaturen anzuordnen. Eine Armatur kann durch eine Rückschlagarmatur ersetzt werden.
- 7.1.6. **Unterbrechungen** des Entladevorganges von mehr als einer Stunde sind nur zulässig, wenn der Eisenbahnkesselwagen versandfertig abgeflanscht wird.
- 7.1.7. Bei **Dunkelheit** ist die Entladestation und das Ammoniaklager mit mind. 100 lx zu beleuchten. Während des Entladevorgangs muß die Beleuchtung im Entladebereich 500 lx betragen.
- 7.1.8. Für die Betätigung des Not-Aus-Systems von Hand sind rund um die Entladestation und um das Ammoniaklager in allen Fluchrichtungen **Not-Aus-Schalter** im Abstand von ca. 10 m zu installieren. Die Schalter müssen gekennzeichnet und bei Dunkelheit beleuchtet sein. Außerdem sind Not-Aus-Schalter auch in größerer Entfernung (ca. 150 m) anzuordnen.

- 7.1.9. In der Nähe der Entladestation und des Ammoniaklagers sollen keine Verkehrswege verlaufen. Im Einzelfall ist die Auswirkung von Verkehrswegen, die weniger als 30 m entfernt sind, zu prüfen.
- 7.1.10. Alle Armaturen, Flansche und Instrumente mit einem Querschnitt $< DN 25$ müssen gegen mögliche mechanische Einwirkungen von außen auch nach oben geschützt sein. Dies gilt insbesondere auch für Sicherheitsventile auf Rohrleitungen. Die Notwendigkeit eines Schutzes ist im Einzelfall aufgrund der örtlichen Gegebenheiten zu prüfen. Es soll verhindert werden, daß die o.g. Bauteile beschädigt bzw. abgerissen werden.
- 7.1.11. Der Schienenhaken am Bodenventil des Kesselwagens ist in das elektrische Not-Aus-System (Reißleine genügt nicht) der Gesamtanlage einzubeziehen. Das elektrische Not-Aus-System muß über Gaswarngeräte, beim Verschieben des Kesselwagens, sowie von Hand ausgelöst werden können. Nur dadurch ist sichergestellt, daß das Schnellschlußventil des Kesselwagens und das der Fülleitung bei einer Störung gleichzeitig geschlossen werden. Verladearme mit Schnelltrenneinrichtung sind zweckmäßig.
- 7.1.12. Die Wasserberieselungsanlage zum Kühlen des Kesselwagens ist so zu installieren, daß das Wasser auf der Oberfläche der Kesselwagen einen geschlossenen Wasserfilm bildet. Die Wassermenge sollte möglichst 600 l/h m^2 Behälteroberfläche nicht unterschreiten, muß aber mindestens 200 l/h m^2 betragen. Der untere Bereich des Kesselwagens ist gezielt zu besprühen, wenn eine Unterfeuerung durch andere brennbare Stoffe nicht ausgeschlossen werden kann.
- 7.1.13. Pumpen für Ammoniak sollten nicht in engen Schächten aufgestellt werden. Die Aufstellung in einer größeren flüssigkeitsdichten Betonwanne unter Erdgleiche ist zulässig, wenn die Entwässerung über automatisch arbeitende, ex-geschützte Tauchpumpen in einen Slop-Tank erfolgt.

- 7.2. Begrenzung der Auswirkungen nach dem Austritt von Ammoniak
- 7.2.1. Zum **Niederschlagen** von gasförmigem Ammoniak sind fest installierte **Wassersprüheinrichtungen** anzubringen, die für verschiedene Anlagenbereiche getrennt einschaltbar sind, z.B. über Armaturen und Pumpen, wo Undichtigkeiten am wahrscheinlichsten auftreten können. Dabei soll ausgeschlossen werden, daß Wasser in flüssiges, ausgelaufenes Ammoniak gelangen kann. Die Leistung der Wassersprüheinrichtungen muß je Armaturengruppe mindestens $6 \text{ m}^3/\text{h}$ bzw. bei einer zu besprühenden Fläche größer 10 m^2 $600 \text{ l}/\text{m}^2 \text{ h}$ betragen. Je 1 Sprühwasser können max. 0,1 kg Ammoniak gelöst werden.
- 7.2.3. Im Bereich der Entladestation und des Ammoniaklagers sind beleuchtete **Windrichtungsanzeigen** (Windsäcke) anzubringen. Die Windrichtung in Bodennähe ($\leq 5 \text{ m}$) ist von besonderer Bedeutung. Die von Gebäuden unbeeinflusste Windrichtung und die Windgeschwindigkeit sind in der ständig besetzten **Warte anzuzeigen**. Im Bereich der Entladestation und des Ammoniaklagers ist eine Warte einzurichten, die ggfl. die Funktion eines Fluchtraumes übernimmt. In dem erforderlichen Fluchtraum müssen Schutzkleidung und Atemschutzgeräte (Isoliergeräte) jederzeit erreichbar sein. Der Fluchtraum ist mit Überdruck (z.B. Preßluftflaschen), Notbeleuchtung, Telefon, Not-Aus usw. auszustatten. Der Fluchtraum muß einen zweiten Fluchtweg haben.
- 7.2.6. Das im Bereich der Entladestation anfallende Ammoniakwasser (Oberflächenwasser, Niederschlagswasser, Kühlwasser) ist zu sammeln und je nach pH-Wert einer **Behandlung** bzw. der Entsorgung zuzuführen.
- 7.2.7. Das Ammoniakwasser muß über Kanäle mit dem nötigen Gefälle bzw. über Pumpen gezielt in den stets leer zu haltenden Auffangraum der Entladestation geleitet werden. Das Volumen des Auffangraumes soll 180 m^3 nicht unterschreiten. Das Ammoniakwasser muß sicher entsorgt werden.

- 7.2.8. Die Bodenplatte im Bereich der Entladestation, auch im Gleisbereich, ist so zu errichten, daß Ammoniak nicht über das Erdreich ins Grundwasser gelangen kann.
- 7.2.9. Das Entfernen von betrieblichen Restmengen an Ammoniak aus Behältern und Rohrleitungen (z.B. Ausblasen der Verladearme) sollte so erfolgen, daß das Ammoniak in Wasser gelöst wird bzw. keinesfalls gasförmig, außer in ausreichender Höhe, freigesetzt wird (Emissionsquelle).
- 7.2.10. Die Schutzkleidung muß die Beschäftigten auch bei Kontakt mit flüssigem Ammoniak (tiefe Temperaturen) schützen. Die Schutzkleidung ist immer erforderlich, weil Ammoniakdämpfe in Verbindung mit feuchten Körperbereichen (z.B. Schweiß in den Achselhöhlen) Verätzungen hervorrufen.

8. Einhausung

Druckbehälter oder Entladestation in einem Gebäude aufgestellt

Es werden zur Zeit Überlegungen angestellt, die Entladestation bzw. die Druckbehälter vollständig oder teilweise einzuhausen, d.h. in einem Gebäude aufzustellen, das nur den Zweck hat, die Druckbehälter oder die Entladestation aufzunehmen. Das ggfl. austretende Ammoniakgas soll erfaßt und sicher über eine Abluftanlage abgeleitet werden.

Zur Beurteilung der Einhausung werden als Beispiel folgende Annahmen getroffen:

Grundfläche der Einhausung:	10 m x 25 m
Höhe der Einhausung:	7,5 m
Raumvolumen:	1.875 m ³

Fall 1: Leckage der Dichtflächen von 1 kg Ammoniak pro Stunde

Fall 2: Leck von 2 cm² mit 10 t Ammoniakemission je Stunde

Bei einem MAK-Wert von 35 mg/m^3 ist für den Fall 1 ein 15facher Luftwechsel erforderlich. Bei gleicher Luftwechselzahl wäre bei Fall 2 eine mittlere Konzentration von 355 g/m^3 ($500 \cdot 10^3 \text{ ppm}$, 50 Vol%) in der Einhausung zu erwarten. Wenn 50 % der unteren Explosionsgrenze für Ammoniak zugelassen wird, ergibt sich daraus ein ca. 100facher Luftwechsel.

Da Ammoniak als "kaltes Gas" in Bodennähe bleibt, ist eine Absaugung "nach unten" zweckmäßig, d.h. die Zuluft strömt von oben oder von der Seite zu und wird nach unten abgesaugt. Eine vollständige Erfassung des Ammoniaks durch Absaugung "nach oben" ist offensichtlich nicht möglich.

Folgende Gründe sprechen gegen eine Einhausung:

1. Es wird ein zusätzlicher explosionsgefährdeter Bereich geschaffen. Ammoniakgas hat im Freien praktisch keinen Explosionsbereich.
2. Die Arbeitnehmer sind durch das giftige Ammoniak ständig gefährdet, da mit einem Gasaustritt gerechnet werden muß.
3. Die erforderlichen Maßnahmen zur Bekämpfung von eingetretenen Störfällen werden verzögert und stark behindert. Es bildet sich bei Konzentrationen von mehr als 1000 ppm Ammoniak dichter Nebel. Dadurch wird das Auffinden der Ursache für den Gasaustritt erschwert wenn nicht verhindert.
4. Durch den erforderlichen hohen Luftwechsel in der Einhausung wird die Verdampfungsrates von flüssig ausgetretenem Ammoniak erhöht.
5. Bei Austritt von Ammoniak aus Sicherheitsventilen oder einem Leck von 2 cm^2 entstehen große Ammoniak-Gaswolken. Derartige Gasmengen können auch durch eine Lüftung nicht sicher erfaßt werden. Als Beispiel sei hier angenommen, daß 10 t Flüssigammoniak je Stunde austreten, daraus ergeben sich 13000 m^3 gesättigtes Ammoniakgas. In diesem Fall ist die Einhausung wirkungslos. Das Ammoniak wird auch in Bodennähe aus dem Gebäude austreten.

Wenn ungünstige Standorte eine Einhausung erforderlich machen, sollte vorher die Alternative "Ammoniakwasser" an Stelle von druckverflüssigtem Ammoniak geprüft werden.

Falls eine Einhausung errichtet wird, sind folgende Anforderungen zugrunde zu legen:

1. Alle Anlagenteile in Ex-Schutz-Ausführung. Alle Kabel resistent gegen Ammoniak.
2. Alarmanlagen durch Gaswarngeräte in der Einhausung ausgelöst. Wasserberieselung von Hand ausgelöst.
3. Fluchtwege mit kurzem Weg ins Freie auch unter Berücksichtigung des angeschlossenen Kesselwagens bzw. von Einbauten.
4. Auslegung der Lüftungsanlage so, daß die Emissionen aus einem Leck von 2 cm^2 sicher abgeleitet werden können.
5. Der Druckanstieg durch austretendes Ammoniak aus einem 2 cm^2 -Leck ist bei Auslegung des Gebäudes und der Lüftung zu berücksichtigen.
6. Berechnung der Kaminhöhe auf der Grundlage der Ammoniak-Emission aus einem 2 cm^2 -Leck. Die maximale Immissionskonzentration im Störfall muß deutlich kleiner als der MAK-Wert sein.
7. Die Lüftung sollte eine "Kolbenströmung" erzeugen. Daraus folgt, daß Zu- und Abluftventilatoren erforderlich sind. Die Lüftung muß in Bodennähe wirksam sein.
8. Die Einhausung darf nur die Lagerbehälter bzw. nur die Entladestation für Ammoniak umschließen und keinem anderen Zweck dienen.
9. V e r d a m p f e r s t a t i o n

Die maximal in der Verdampferstation vorhandene Ammoniakmenge ist zu berechnen. In Abhängigkeit von dem Standort der Verdampferstation ist die zwischen den Schnellschlußventilen maximal vorhandene Ammoniakmenge zu begrenzen, die im Störfall freigesetzt werden kann. Die Schnellschlußventile müssen durch Not-Aus- und Gaswarneinrichtungen die maximal freisetzbare Ammoniakmenge begrenzen. Es ist anzustreben, die maximal freisetzbare Ammoniakmenge auf 100 kg zu begrenzen.

Die Ausrüstung der Verdampferstation muß gemäß Elex-Verordnung erfolgen.

Die betriebsmäßig in der Verdampferstation entstehenden Ammoniakemissionen (z.B. beim Ausbau der Pumpen) sind zu erfassen und in Wasser zu lösen.

Die Abblaseleitungen der Sicherheitsventile, z.B. auf Rohrleitungen, sind zusammenzufassen und täglich mit einem Gasspürgerät zu kontrollieren.

Die Verdampferstation ist in einem Gebäude zu errichten, das ausschließlich den Zweck hat, Verdampfer und Pumpen aufzunehmen. Die Lagerbehälter oder Ausrüstungsteile der Lagerbehälter dürfen nicht in dem gleichen Raum mit dem Verdampfer bzw. den Pumpen untergebracht sein.

Die Verdampferstation ist mit Gasspürgeräten zu überwachen.

Der Verdampfer sollte sich in unmittelbarer Nähe von den Lagerbehältern in einem freistehenden Gebäude befinden, um die Rohrleitungen für flüssiges Ammoniak kurz zu halten. Das Verdampfergebäude sollte nicht in einem anders genutzten Gebäude untergebracht werden. Der Verdampfer darf nicht im Kesselaufstellungsraum untergebracht sein. Dies gilt auch, wenn zwischen Kesselaufstellungsraum und Verdampfer eine Schleuse vorhanden ist (§ 14 FeuVO, TRD 403 Ziff. 3.1.1, Ziff. 3.4, Ziff. 4.5; TRD 412 Ziff. 11.1.2, 11.3).



Umweltbundesamt

Handbuch Stoffdaten
zur Störfall-Verordnung

Merkblatt Nr. 140-03

Daten zur Identifikation

IUPAC-Name	Ammoniak	UBA-Nr.	18217
		CAS-Nr.	7664-41-7
		UN-Nr.	1005
		EG-Nr.	007-001-00-5
		Kemler-Zahl	268
Gebrauchsname	Ammoniak	Anzahl regist. Störfälle	43
Synonyme Handelsnamen	Wasserfreies Ammoniak, ver- flüssigtes Ammoniakgas	Transport-Gefahrenklasse ADR(D-GGVS)	Kl.2 Rn 2201 Ziff.3at
		RID(D-GGVE)	Kl.2 Rn 201 Ziff.3at
		IMDG (D-GGVE)	O 2107/E-F 2016 Kl.2
		ADNR	Kl.2 Rn 6201 Ziff.3at
Molekulargewicht	17,03	Literaturhinweise Beilstein	
Summenformel	NH ₃	Ullmann	Bd.7, S.445ff.
Strukturformel		Gmelin	Syst.-Nr.4.N.1936, S.395ff.; Syst.-Nr.23, NH ₃ ,1936, S.6ff.
		Reinheitsgrad	Reinstoff
		Aggregatzustand/Farbe/Aussehen	Farbloses Gas, das nur verflüssigt in Druckbehältern aus Eisen oder Stahl transportiert wird.
Besondere Gefahren	Mindergiftiges, auch in großer Verdünnung stark ätzendes, verdichtetes bzw. verflüssigtes Gas, das mit Kohlenmonoxid, Methan oder Holzkohle bei höheren Temperaturen Cyanwas- serstoff bildet.	Geruch/Geruchsschwelle	Stechender, zu Tränen reizender Geruch/5-50 ppm.

Stoffkonstanten

Schmelzpunkt	-78°C
Siedepunkt	-33°C
Rel. Dichte/Dichte	0,7714 g/l (Gas)
Dampfdruck	8500(20), 11700(30), 20300(50) hPa (°C)
Sättigungskonzen- tration in Luft	
Dampfdichte- Verhältnis, Luft = 1	0,59
Löslichkeit in Wasser	52 g/100ml (20°C)
Verteilungskoeffizient in Oktanol/Wasser	
Löslichkeit in Fett/Öl	
löslich in	

Thermodynamische Daten

kritischer Druck	113000hPa
kritische Temperatur	132,4°C
Verdampfungswärme	13,7x10 ⁵ J/kg
Verbrennungswärme	-185,9 x10 ⁵ J/kg
Schmelzwärme	332,277 J/kg
Lösungswärme	-5,40 x10 ⁵ J/kg
Bildungswärme	-45.929 kJ/mol
Zersetzungswärme	
Polymerisationswärme	
Oberflächenspannung	
Flüssigkeits- viskosität	

Bemerkungen zum Verhalten mit Luft, Wasser und anderen Stoffen

Mindergiftiges, stark ätzendes Gas, das leichter als Luft ist und als Druckgas transportiert wird; beim Entspannen des Druckgases Bildung kalter Nebel, die schwerer als Luft sind, leicht verdampfen und ätzende, explosive Gemische mit Luft auch über der Wasseroberfläche bilden; mischt sich vollständig mit Wasser und ist auch in großer Verdünnung noch stark ätzend; kann mit festen, flüssigen oder gasförmigen Oxidationsmitteln explosionsartig reagieren; bei Kontakt mit stark sauren Gasen sind gefährliche Reaktionen möglich; bei Kontakt mit Jod oder dessen Lösungen entsteht der schon durch schwachen Stoß explodierende Jodstickstoff.

Anhang I: Fortsetzung

Merkblatt Nr. 140-03

Ammoniak

Umweltbundesamt

**Feuerrisikodaten****Löschmittel**

Der Stoff selbst ist kaum entzündbar; austretendes Ammoniakgas und Nebel mit Sprühwasser niederschlagen; Container mit Sprühwasser kühlen.

Gefahrklasse (VbF)**Flammpunkt**

Zündtemperatur 830°C; 651°C

Verbotene Löschmittel

Kein Wasser in flüssiges Ammoniak bringen.

Explosionsgrenzen in Luft

15 - 30,2 Vol%,
105 - 215g/m³

Bemerkungen

Mindergiftiges, stark ätzendes, verdichtetes bzw. verflüssigtes Gas; Ammoniak brennt nur in hohen Konzentrationen bei hoher Temperatur und starker Energiequelle; bestimmte Gas/Luft-Gemische sind jedoch zündfähig.

Toxizität**Allgemeine Bemerkungen**

Mindergiftiges, doch stark ätzendes, verdichtetes bzw. verflüssigtes Gas; durchdringt leicht die Gewebe, wodurch die Ätzwirkung auf Haut und Schleimhäute eine beträchtliche Tiefe erreicht; wirkt schon in großer Verdünnung reizend; die Reizwirkung kann sehr nachhaltig sein und zum vorübergehenden Orientierungsverlust führen; Symptomverzögerung.

Deutsche Giftgesetze

Mindergiftig, ChemG

MAK-Wert/TRK-Wert

50ml/m³ (ppm), 35mg/m³; Spitzenbegrenzung, Kat. I

MIK-Wert

Langzeit 1mg/m³; Kurzzeit 2mg/m³

Reizschwellen

Ammoniak wirkt in der Verdünnung 0,1mg/l Luft-144ppm bereits reizend; 2500ppm (0,25%) Dampfkonzentration in der Luft über 30 Minuten sind gefährlich.

Erträglichkeitsgrenzen

USA TLV (TWA 25ppm, 18mg/m³, STEL 35ppm, 27mg/m³)
UdSSR PDK 28ml/m³, 20mg/m³

Akute Toxizität: Daten

LCL₀ Mensch Inhalation 30000 ppm/5Min.
LDLo Mensch unberichtet 132 mg/kg
TCLo Mensch Inhalation 20 ppm
LD₅₀ Ratte oral 350 mg/kg
LCLo Ratte Inhalation 2000 ppm/4 Std.
LC₅₀ Maus Inhalation 4230 ppm/1 Std.
LCLo Kaninchen Inhalation 7000 ppm/1 Std.
LCLo Katze Inhalation 7000 ppm/1 Std.

Gesundheitsgefährdung

Starke Reizung und schwere Verätzung der Augen, der Atmungsorgane und der Haut; Vergiftungen; Hornhauttrübung, Erblindung; bei hohen Konzentrationen Einschmelzen des Auges; Glottisödem; schwere Schleimhautschädigungen; Schädigungen des Atemsystems bis zum Lungenödem; kalte Flüssigkeit ruft schwere Erfrierungen und Verätzungen hervor; Erhöhung des Blutdrucks und der Infektionsbereitschaft; Folgen treten oft erst nach Tagen ein.

Akute Toxizität: Beschreibung

Das Einatmen von hochkonzentriertem Gas kann den plötzlichen Tod zur Folge haben.

Chronische Toxizität

Augenentzündung; Hornhauttrübung; Bronchialkatarrh; mutagen: cyt-Ratte Inhalation 19800 µg/m³/16 Wochen.

Wassertoxizität**Wassergefährdungsklasse**

2

Akute Toxizität: Daten

Störungsschwelle für Forellen 0,3mg/l;
Tödlichkeitsgrenze 1,25 - 5 mg/l;
für Fischnährtiere 8 mg/l tödlich;
Wassertoxizitätsrate TLm95: 10 - 1 ppm.

Akute Toxizität: Beschreibung

Durch Erhöhung des pH-Wertes für Wasserorganismen schon in sehr niedriger Konzentration schädlich; über 0,3 mg/l toxisch für Fische und Plankton.

Ökotoxizität

Aufgrund der akuten Toxizität und der Wasserlöslichkeit sowie der stark ätzenden Wirkung der wässrigen Ammoniaklösungen, Gefährdung aller Arten von Gewässern, besonders der Brauch- und Abwässer; Trinkwassergefährdung bei Eindringen in den Boden.



Chemische Reaktionen des Stoffes

Ammoniak ist entzündlich und bildet mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch.

- Ammoniak reagiert explosionsartig mit:
Antimonwasserstoff (Hitze), Calcium, Chlorazid, Chlordinitrobenzol, Chlorformamidiniumnitrat, Chlornitrobenzol, Dichloroxid, Difluortrioxid, Goldchlorid, Iod, Quecksilber (mit Wasser), Quecksilberhyponitrit, Sauerstoff, Silberchlorid (beim Lagern), Silbernitrat (beim Lagern), Silberoxid (beim Lagern), Stickstofftrichlorid unter Zersetzung, Sulfinychlorid, Tellurhalogeniden, Wasserstoffperoxid.
- Ammoniak reagiert zu entzündlichen Gasen oder Dämpfen mit:
Bor, Chromtrioxid, Chromylchlorid, Pentaboran, Phosphortrioxid, Salpetersäure, Siliciumwasserstoff.
- Ammoniak reagiert unter starker Hitzeentwicklung mit:
Acrolein, Borhalogeniden, Brom, Brompentafluorid, Bromwasserstoff, Calcium, Chlor, Chlordinitrobenzol, Chlortrifluorid, Chlorwasserstoff, Chromtrioxid, Chromylchlorid, Dimethylsulfat, Distickstoffoxid, Ethylenoxid, Fluor, Kaliumchlorat, Kohlendioxid, Kohlenoxid, Methylmercaptan, Nitrylchlorid, Phosphortrioxid, Phosphorwasserstoff, Platinkatalysator, Säuren, Schwefeldioxid, Schwefelwasserstoff, Stickstoffdioxid, Stickstoffperoxid, Stickstofftrioxid, Tetramethylammoniumamid unter Zersetzung, Thiocarbonylazidthiocyanat.
- Ammoniak reagiert möglicherweise gefährlich mit:
Barium, Chlorsilan, hypochloriger Säure, Phosgen, Propinylchlorid.

Chemische Reaktionen zur Herstellung des Stoffes

Syntheseverfahren

HABER-BOSCH-Verfahren

Dieses Verfahren ist das technisch wichtigste. Es gliedert sich in drei Schritte: Synthesegasherstellung, Kompression, Synthese.

1. Synthesegasherstellung

Zur Herstellung des Synthesegases (Stickstoff und Wasserstoff im Verhältnis 1 : 3) dienen Wasser, Luft und kohlenstoffhaltige Reduktionsmittel (z.B. Erdgas). Dabei gibt es zwei Verfahrensgruppen - die Partielle Oxidation und das Steam-Reforming-Verfahren.

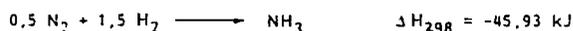
Beim ersten Verfahren werden die vorgewärmten Ausgangsstoffe in einem ausgemauerten Reaktor bei 1200 - 1400°C umgesetzt. Beim Steam-Reforming-Verfahren werden die Rohstoffe entschwefelt, mit Wasserdampf vermischt, vorehitzt und durch eine Vielzahl von mit nickelhaltigem Katalysator gefüllten Rohren geführt, die von außen mit Brennern geheizt werden (950°C, 40 bar). Anschließend muß das Gas von CO₂, CO, H₂S und COS gereinigt werden.

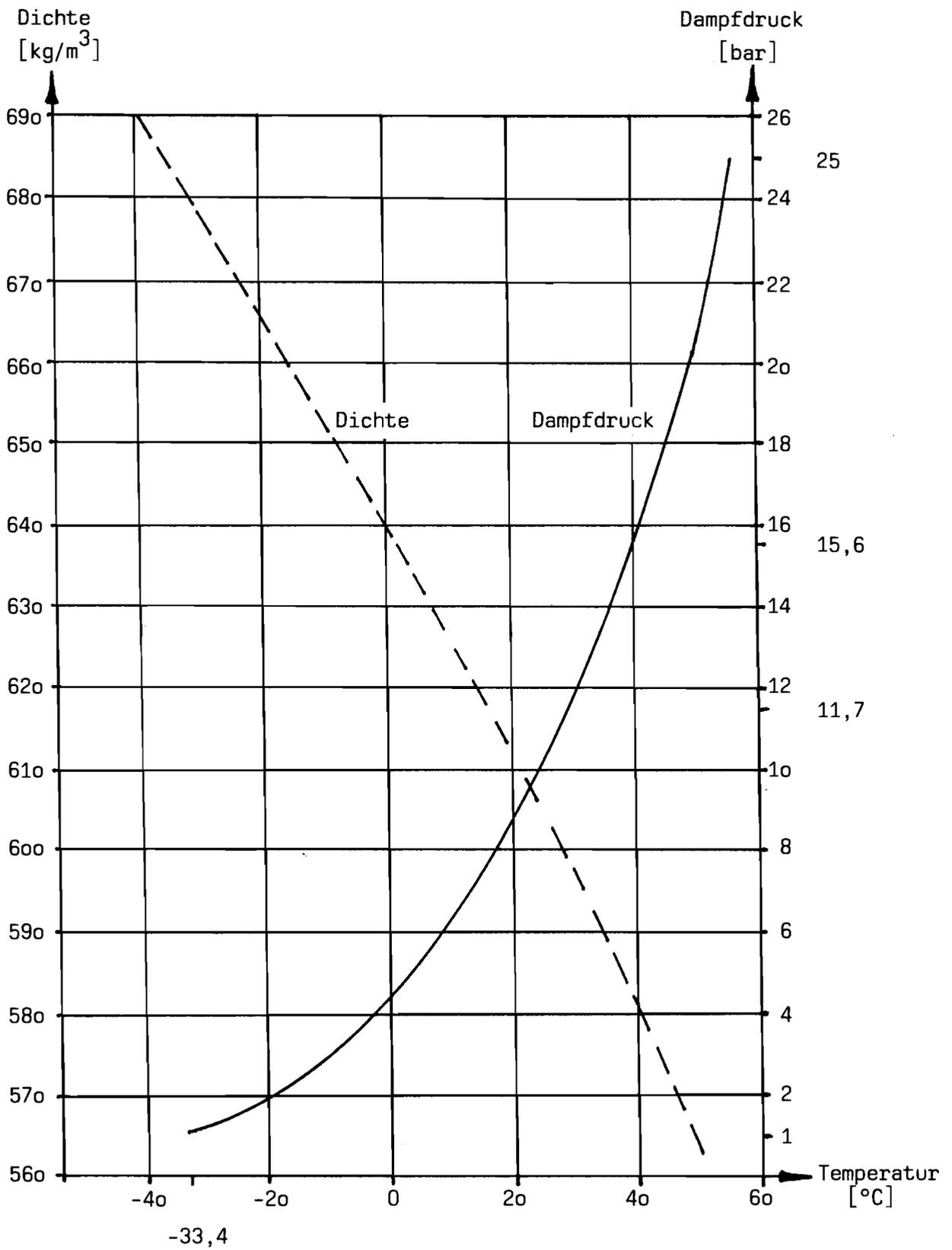
2. Kompression

Je nach Verfahren sind Drücke zwischen 100 und 1000 bar üblich, 250 - 350 bar gelten als der wirtschaftlichste Bereich. Die Kompression nicht nur des Synthesegases, sondern auch von Luft, Sauerstoff und Ammoniak geschieht mittels Turboverdichtern.

3. Synthese

In einem Reaktor werden Stickstoff und Wasserstoff (Synthesegas) unter Druck zu Ammoniak umgesetzt. In einem Kreislaufverfahren wird das gebildete Ammoniak durch Kondensation aus dem Gas entfernt, das nicht umgesetzte Synthesegas wird in den Reaktor zurückgeführt.





Anhang II: Dichte und Dampfdruck von Ammoniak

Bei den Vorarbeiten zu dieser Zusammenstellung wurden neben Literaturstudien zahlreiche Gespräche mit Sachverständigen geführt, die unmittelbar oder mittelbar mit der Lagerung von Ammoniak befaßt sind. Daraus konnten wichtige Erkenntnisse aus der praktischen Erfahrung in diese Arbeit miteinbezogen werden.

Wir möchten uns an dieser Stelle bei all denjenigen Gesprächspartner bedanken, die uns mit Rat und Sachverstand, mit Unterlagen und Literaturhinweisen, durch konstruktive Kritik und durch Geduld und Ausdauer bei Gesprächen und Anlagenbesichtigungen unterstützt haben.

Stellvertretend für alle seien hier folgende Gruppen genannt:

Anlagenplaner bzw. Anlagenbauer, Anlagenbetreiber, Ammoniakhersteller, Deutsche Bundesbahn, Gewerbeaufsichtsämter, Hersteller von Armaturen, Ingenieurbüros, Druck-Behälterhersteller, Technische Überwachungsvereine, Vertreter von Universitäten, Wasserbehörden.

Literatur:

Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) vom 24.07.1985
BGBI. I S. 1586

Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung) - 12. BImSchV - vom 27.06.1980
BGBI. I S. 772

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Störfall-Verordnung (1. Störfall VwV) vom 23.04.1981
GMBI. S. 178

Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Störfall-Verordnung (2. Störfall VwV) vom 27.04.1982
GMBI. S. 205

Gefahrgutverordnung Eisenbahn (GGVE) vom 22.07.1985
BGBI. I S. 1560

Verordnung über Anlagen zur Lagerung, Abfüllung und Beförderung brennbarer Flüssigkeiten zu Lande (Verordnung über brennbare Flüssigkeiten - VbF) vom 27.02.1980
BGBI. I S. 229

DIN 17102 - Schweißgeeignete Feinkornbaustähle normalgeglüht - vom Oktober 1983

Dechema-Werkstoff-Tabelle/Chemische Beständigkeit Ammoniak - vom November 1978

Rheinisch-Westfälischer TÜV, Schriftenreihe - Bau und Betrieb von Druckbehältern - Sicherheitstechnische Aspekte -. Heft 18 vom Oktober 1983

Beschluß des Oberverwaltungsgerichtes Lüneburg (7. Senat) vom 6. April 1984 in Sachen Immissionsschutzrecht - Störfallvorsorge, Sicherheitsanalyse -

Ammoniak-Handbuch EC, 1985

Gefährliche Stoffe, Ammoniak-Merkblatt. Verlag Chemie, Weinheim, 1976

Handbuch Stoffdaten zur Störfall-Verordnung. Umweltbundesamt (E.Schmidt Verlag, Berlin) 1985, 3. Bd.

H. Reidick: Transport, Lagerung und Dosierung von Ammoniak. Tagungsband VGB, 1985

H. Gräfen, H. Hennecken, E.-M. Horn, H.-D. Kamphusmann und D. Kuron: Spannungsrißkorrosion von unlegierten Stählen in flüssigem Ammoniak. Werkstoffe u. Korrosion 37, 203-215 (1985)

W. Weißbach: Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung. Vieweg + Sohn, Braunschweig, 8. Aufl. 1982

C.P. Guldemon: The Behaviour of denser than air ammonia clouds in the presence of obstacles - wind tunnel experiments. Presented at the 1985 Ammonia Symposium. American Institute of Chemical Engineers, Seattle, Washington

Storage of anhydrous ammonia under pressure in the United Kingdom. Spherical and cylindrical vessels. Health and Safety Booklet. London, 1986

J. Prijatelj: Accidental Venting of Liquid Ammonia. Plant/Operations Progress (Vo. 2, No. 2) April 1983

Jr. J. Jeulink: Bestrijding van ammoniakongevallen. Ministerie van Binnenlandse Zaken. Directie Brandweer/Inspectie voor het Brandweerwezen. 's-Gravenhage 1984

H.C. Goldwire, Jr. J. Livermore: Large-Scale Ammonia Spill Testes. CEP, April 1986

J.M. Blanken: Unie van Kunstmestfabrieken (UKF), Holland. Behavior of Ammonia in the Event of an Spillage. American Institute of Chemical Engineers, 1980

W.L. Ball: A Review of Atmospheric Ammonia Reserach Study. Ammonia Plant Safety, Vol 12, (1969), S. 1-7

G.D. Kaizer, B.C. Walker: Releases of anhydrous ammonia from pressurized containers - The importance of denser - than - air mixtures. Atm. Env. 12 (1978), 2289-2300

Loss Prevention Bulletin: Infomation Exchange Scheme. List of Incidents 1985

Models of Breakdowns when Handling Ammonia at Supra AB, Landskrona. FOA-Report A 40024 - C1 (H1) 1977/78

G. Perbal: Bekämpfung der Wirkungen von Schadensfällen mit Ammoniak. Arbeitsschutzreferat, 1982

Anweisung für Rißprüfungen an Druckgaskesselwagen. Bundesbahn-Zentralamt Minden (Westf.), 1986

Katalog der im Rahmen von Eignungsfeststellungen an Anlagen zum Lagern wassergefährdender flüssiger Stoffe zu stellenden Anforderungen (Anforderungskatalog). RdErl. des MELF vom 12.02.1985 MBl.NW Nr. 14 vom 18.03.1985

VDI-Kommissions Reinhaltung der Luft: Störfälle und Luftreinhaltung. VDI-Berichte 558, 1986, VDI-Verlag, Düsseldorf

Kurt Schäfer: Störfall-Verordnung. Verlag W. Kohlhammer, 1982

Abkürzungsverzeichnis

Störfallverordnung	Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung) - 12. BImSchV vom 27. Juni 1980 (BGBl. I S. 772)
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 15. März 1974 (BGBl. I S. 721, 1193)
DruckbehV	Druckbehälterverordnung
OVG	Oberverwaltungsgericht
TRB	Technische Regeln Druckbehälter
TRD	Technische Regeln für Dampfkessel
FeuVO	Feuerungsverordnung
VAwS	Verordnung über Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe

Berichte der

LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, ESSEN

- LIS-Berichte -

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus den wissenschaftlichen Untersuchungen der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Sie werden - soweit nicht vergriffen - Interessenten auf Anforderung kostenlos zur Verfügung gestellt. Alle LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in zahlreichen Universitäts- und Hochschulbibliotheken zur Einsichtnahme und Ausleihe zur Verfügung.

Anforderungen sind zu richten an die

Landesanstalt für Immissionsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Str. 6
4300 E s s e n 1

- Berichte-Nr. 1: KRAUTSCHEID, S. und P. NEUTZ:
(vergriffen) LIDAR zur Fernüberwachung von Staubemissionen.
- Nachweis der Kalibrierfähigkeit eines LIDAR-Systems - (1978).
- Berichte-Nr. 2: BUCK, M.:
(vergriffen) Die Bedeutung unterschiedlicher Randbedingungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität (1978).
- Berichte-Nr. 3: SCHEICH, G.:
(vergriffen) Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen und Luftüberwachungsprogramme in den USA (1979).
- Berichte-Nr. 4: SPLITTGERBER, H. und K.H. WIETLAKE:
(vergriffen) Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau (1979).
- Berichte-Nr. 5: SPLITTGERBER, H.:
(vergriffen) Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen (1979).
- Berichte-Nr. 6: STRAUCH, H. und K.H. GOLDBERG:
(vergriffen) Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege (1979).
- Berichte-Nr. 7: KRAUSE, G.M.H., B. PRINZ UND K. ADAMEK:
(vergriffen) Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie für die Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkungen auf Pflanzen (1980).
- Berichte-Nr. 8: WIETLAKE, K.H.:
(vergriffen) Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern (1980).
- Berichte-Nr. 9: STRAUCH, H.:
(vergriffen) Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen (1980).
- Berichte-Nr. 10: HILLEN, R.:
(vergriffen) Untersuchung zur flächenbezogenen Geräuschbelastungs-Kennzeichnung -Ziele, Methodik, Ergebnisse- (1980).
- Berichte-Nr. 11: MANN, H., H. GIES und W. STRAMPLAT:
(vergriffen) Erprobung des Staub-Immissionsmeßgerätes FH62I für die kontinuierliche Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Luft (1980).
- Berichte-Nr. 12: GIEBEL, J.:
(vergriffen) Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten (1981).
- Berichte-Nr. 13: BRÖKER, G., H. GLIWA und F. MEURISCH:
Abscheidegrade von biologisch- und chemisch-aktiven Aggregaten zur Desodorierung osmogener Abluft von Tierkörperbeseitigungsanlagen (1981).

- Berichte-Nr. 14: BRANDT, C.J.:
(vergriffen) Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum und andere Nutzpflanzen (1981).
- Berichte-Nr. 15: WELZEL, K. und H.D. WINKLER:
(vergriffen) Emission und interner Kreislauf von Thallium bei einem Drehrohrofen mit Schwabegaswärmeaustauscher zur Herstellung von Portlandzementklinker unter Einsatz von Purpureerz als Eisenträger. - 1. Bericht - (1981).
- Berichte-Nr. 16: PRINZ, B. und E. KOCH:
Umweltpolitik und technologische Entwicklung in der VR China (1984).
- Berichte-Nr. 17: BRÖKER, G. und H. GLIWA:
(vergriffen) Untersuchungen zu den Dioxin-Emissionen aus den kommunalen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 18: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:
Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region (1982).
- Berichte-Nr. 19: PFEFFER, H.U.:
Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 20: BACH, R.W.:
(vergriffen) Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben (1982).
- Berichte-Nr. 21: STRAUCH, H.:
(vergriffen) Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel (1982).
- Berichte-Nr. 22: SPLITTGERBER, H.:
(vergriffen) Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen (1982).
- Berichte-Nr. 23: KRAUSE, G.M.H.:
(vergriffen) Immissionswirkungen auf Pflanzen - Forschungsschwerpunkte in den Vereinigten Staaten von Amerika. Bericht über eine Reise in die USA und die Teilnahme am 1. Air Pollution Workshop in Ithaca, N. Y., in der Zeit vom 02.05.-24.05.1981 (1982).
- Berichte-Nr. 24: KÜLSKE, S.:
(vergriffen) Analyse der Periode sehr hoher lokaler Schadstoffbelastungen im Ruhrgebiet vom 15.01.1982 bis 20.01.1982 (1982).
- Berichte-Nr. 25: VAN HAUT, H. und G.H.M. KRAUSE:
(vergriffen) Wirkungen von Fluorwasserstoff-Immissionen auf die Vegetation (1982).
- Berichte-Nr. 26: KOCH, E., V. THIELE, J. GIEBEL, H. STRAUCH und P. ALTENBECK:
Empfehlungen für die problemgerechte Erstellung von Immissionsschutzgutachten im Bauleitplanverfahren (1982).
- Berichte-Nr. 27: MANNS, H., H. GIES und G. NITZ:
(vergriffen) Verbesserung der Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit von Messungen zur Ermittlung aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Außenluft (1982).
- Berichte-Nr. 28: PRINZ, B., G.M.H. KRAUSE und H. STRATMANN:
Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland (1982).
- Berichte-Nr. 29: GIEBEL, J.:
(vergriffen) Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Sperrschichthöhen und Immissionsbelastung (1983).

- Berichte-Nr. 30: MANN, H. und H. GIES:
Ergebnisse der Laborprüfung und Optimierung des meßtechnischen Teiles der Ozon-
Meßplätze im Meßnetz LIMES-TEMES (1983).
- Berichte-Nr. 31: BEINE, H., R. SCHMIDT UND M. BUCK:
Ein Meßverfahren zur Bestimmung des Schwefelsäure- und Sulfatgehaltes in Luft
(1983).
- Berichte-Nr. 32: BEIER, R. und P. BRUCKMANN:
Messung und Analyse von Kohlenwasserstoff-Profilen im Rhein-Ruhrgebiet (1983).
- Berichte-Nr. 33: FRONZ, W.:
Ermittlung von Verkehrsgeräusch-Immissionen
- zum tageszeitlichen Verlauf des Geräuschpegels und des Verkehrsaufkommens an
Bundes- und Sammelstraßen (1983).
- Berichte-Nr. 34: BRÖKER, G.:
Zusammenfassende Darstellung der Emissionssituation in Nordrhein-Westfalen und
der Bundesrepublik Deutschland für Stickstoffoxide (1983).
- Berichte-Nr. 35: PIORR, D. und R. HILLEN:
Veränderung akustischer Kenngrößen infolge der nächtlichen Abschaltung von
Lichtsignalanlagen (1983).
- Berichte-Nr. 36: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:
(vergriffen) Benzol-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen (1983).
- Berichte-Nr. 37: BACH, R.-W. und H. STRATMANN:
Untersuchungen zur Bestimmung der Aufnahme rate des IRMA-Gerätes bei verschiedenen
Anströmverhältnissen (1983).
- Berichte-Nr. 38: WIETLAKE, K.H.:
(vergriffen) Beurteilung und Minderung tieffrequenter Geräusche (1983).
- Berichte-Nr. 39: STRAUCH, H. und K. SCHWENGER:
(vergriffen) Geräusche und Erschütterungen, verursacht durch elektrisch angetriebene
Wärmepumpen (1983).
- Berichte-Nr. 40: BRÖKER, G. und B. SCHILLING:
Schwermetallemissionen bei der Verbrennung kommunaler Klärschlämme (1983).
- Berichte-Nr. 41: HILLEN, R.:
(vergriffen) Über Möglichkeiten zur Verbesserung der Qualität von Schießgeräuschmessungen im
Immissionsbereich (1983).
- Berichte-Nr. 42: KLEIN, M.:
Untersuchung zur Schallausbreitung im Freien - Ziele, Physik der
Schallausbreitung, Vorgehensweise, Ergebnisse - (1983).
- Berichte-Nr. 43: PFEFFER, H.-U., S. KÜLSKE und R. BEIER:
(vergriffen) Jahresbericht 1981 über die Luftqualität an Rhein und Ruhr.
Ergebnisse aus dem telemetrischen Immissionsmeßnetz TEMES in Nordrhein-Westfalen.
(1984)
- Berichte-Nr. 44: BUCK, M., H. IXFELD und R. BEIER:
Immissionsbelastung durch Fluor-Verbindungen in der Nachbarschaft der
Aluminiumhütte LMG in Essen. (1984).
- Berichte-Nr. 45: STRAUCH, H. und R. HILLEN:
(vergriffen) Geräuschimmissionen in Großstädten; Flächenbezogene Kennzeichnung dieser
Geräuschimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 46: BUCK, M. und P. BRUCKMANN:
(vergriffen) Air quality surveillance in the Federal Republic of Germany (1984).

- Berichte-Nr. 47: BEIER, R.:
Kohlenwasserstoffbelastung in Ahlen - eine statistische Analyse -. (1984)
- Berichte-Nr. 48: SCHADE, H.:
Prognose der Schadstoffemissionen aus Verbrennungsanlagen im Belastungsgebiet
Rheinschiene-Süd für die Jahre 1985 und 1990. (1984)
- Berichte-Nr. 49: STRATMANN, H.:
Wirkungen von Luftverunreinigungen auf die Vegetation.
Bewertung der Luftanalyse auf der Grundlage weiterentwickelter Dosis-
Wirkungsbeziehungen für Schwefeldioxid und Ozon zur Ursachenaufklärung der
neuartigen Waldschäden. (1984)
- Berichte-Nr. 50: GOLDBERG, K.H.:
(vergriffen) Untersuchungen zu Schießlärmminderungen, dargestellt an Fallbeispielen. (1984)
- Berichte-Nr. 51: HERPERTZ, E., J. ASSMANN, D. KRANE, E. HARTMANN, B. STECK, E. BREWIG und J.
KROCHMANN:
Messen und Beurteilen von Lichtimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 52: Pfeffer, H.-U.:
(vergriffen) Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen.
Teil 3: Ringversuche der staatlichen Immissions- Meß- und Erhebungsstellen in der
Bundesrepublik Deutschland (STIMES).
Ergebnisse für die Komponenten SO₂, NO_x, O₃ und CO. (1984).
- Berichte-Nr. 53: BEIER, R.:
Zur Planung und Auswertung von Immissionsmessungen gemäß TA-Luft 1983. (1985).
- Berichte-Nr. 54: BRÖKER, G. und H. GLIWA:
Polychlorierte Dibenzodioxine und Furane in den Filterstäuben und Schlacken der
zwölf Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen sowie einiger
Sondermüllverbrennungsanlagen. (1985).
- Berichte-Nr. 55: KÜLSKE, S., J. GIEBEL, H.-U. PFEFFER und R. BEIER:
ANALYSE der Smoglage vom 16. bis 21. Januar 1985 im Rhein-Ruhr-Gebiet.
Teil 1: Text- und Bildband. (1985).
Teil 2: Meßergebnisse. (1985).
- Berichte-Nr. 56: SPLITTGERBER, H., M. KLEIN und P. NEUTZ:
Untersuchungen zur Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle bei Einwirkung von
Erschütterungen auf den Menschen - Beschreibung der Versuchsanlage - (1985).
- Berichte-Nr. 57: PRINZ, B., J. HRADETZKY, H.-U. PFEFFER, H.W. ZÖT'EL und H.-K. LICHTENTHALER:
(vergriffen) Forschungsergebnisse zur Problematik der neuartigen Waldschäden. (1985).
- Berichte-Nr. 58: GIEBEL, J. und W. STRAMPLAT:
Untersuchung über die Eignung des Korrelationspektrometers Cospec V zur
Bestimmung des Transportes von Schwefeldioxid bzw. Stickstoffdioxid. (1986).
- Berichte-Nr. 59: PRINZ, B., D. SCHWELA, E. KOCH, S. GANSER und T. EIKMANN:
Untersuchungen zum Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Häufigkeit von
Pseudokrupperkrankungen im Stadtgebiet Essen. (1986).
- Berichte-Nr. 60: MANNS, H. und H. GIES:
Ergebnis der Erprobung des automatischen Ozon-Meßgerätes Dasibi, Typ 1008 AH
(1986).
- Berichte-Nr. 61: SPLITTGERBER, H.:
Messung und Beurteilung von Erschütterungsmissionen - Vergleich verschiedener
Verfahren - (1986).
- Berichte-Nr. 62: BUCK, M. und P. KIRSCHMER:
Immissionsmessungen polychlorierter Dibenzop-Dioxine und Dibenzofurane in
Nordrhein-Westfalen. (1986).
- Berichte-Nr. 63: GIEBEL, J.:
Untersuchung über die praktische Anwendung eines numerischen Ausbreitungsmodells
(K-Modell) für die Praxis der Immissions-Simulation. (1986)

- Berichte-Nr. 64: WINKLER, H.D.:
Thalliumemissionen bei der Zementherstellung - Ursachen und Minderungsmaßnahmen -
(1986).
- Berichte-Nr. 65: WIETLAKE, K.H.:
Erschütterungseinwirkung durch Exzenter-Schmiedepressen und ihre Minderung durch
Direktabfederung.
(1986)
- Berichte-Nr. 66: Viertes Symposium über die Technik der Kernreaktorfernüberwachungssysteme am
8. und 9.10.1986 in der LIS, Essen.
(1986).
- Berichte-Nr. 67: ASSMANN, H. et. al:
Hinweise zur Prognose von Geräuschimmissionen im Rahmen von Genehmigungsverfahren
nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz.
(1986)
- Berichte-Nr. 68: MANNS, H. und H. GIES:
Erprobung des Schwebstaubmeßgerätes FH 62 I 3 m³/h für die automatisierte
Immissionsmessung.
(1986)
- Berichte-Nr. 69: BEINE, H.:
Phosphorsäureester und verwandte Verbindungen - Umweltrelevanz und
luftanalytische Bestimmung.
(1987)
- Berichte-Nr. 70: BUCK, M. und H.-U. PFEFFER:
Air quality surveillance in the state North-Rhine-Westphalia
(Federal Republic of Germany).
(1987)