
Materialien

Nr. 34

Explosionsschutz bei der Lagerung brennbarer Flüssigkeiten

Entwicklungen und Erkenntnisse



Landesumweltamt
Nordrhein-Westfalen

Materialien

Nr. 34

Explosionsschutz bei der Lagerung
brennbarer Flüssigkeiten

Entwicklungen und Erkenntnisse

Essen 1996

IMPRESSUM

Herausgegeben vom

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

Wallneyer Str. 6 • 45133 Essen

Telefon (02 01) 79 95 - 0 • Fax (02 01) 79 95 - 446

ISSN: 0947 – 5206

Autor: Dipl.-Ing. Manfred Schütz

Mitarbeit: Dr. rer. nat. K. Beisheim (StUA Krefeld)

Dipl.-Ing. H. Esser (TÜV, Mönchengladbach)

Dipl.-Ing. Dr. R. Jaspers (3M, Neuss/öbv.SV, Schwalmthal)

Dipl.-Ing. W. Meyer (TÜV, Mönchengladbach)

Gedruckt auf 100 % Altpapier ohne Chlorbleiche

VORWORT

Im vorliegenden Bericht werden Feldversuche in einem Lager für brennbare Flüssigkeiten (VbF-Lager) dargestellt, die klären sollten, inwieweit die geänderten Anforderungen hinsichtlich Luftwechselrate und explosionsgefährdeter Bereiche ausreichen.

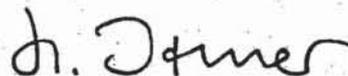
Vorausgegangen waren mehrere Änderungsvorschläge des Deutschen Ausschusses für brennbare Flüssigkeiten (DAbF) zur Ergänzung der Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF). Zwei dieser Änderungsvorschläge wurden in die TRbF 110 „Lager“ (Stand: 15.06.1995) übernommen.

Eingangs wird das VbF-Lager, in dem die Versuche stattfanden, beschrieben, wobei insbesondere auf die baulichen, technischen und organisatorischen Maßnahmen zum Brand- und Explosionsschutz eingegangen wird.

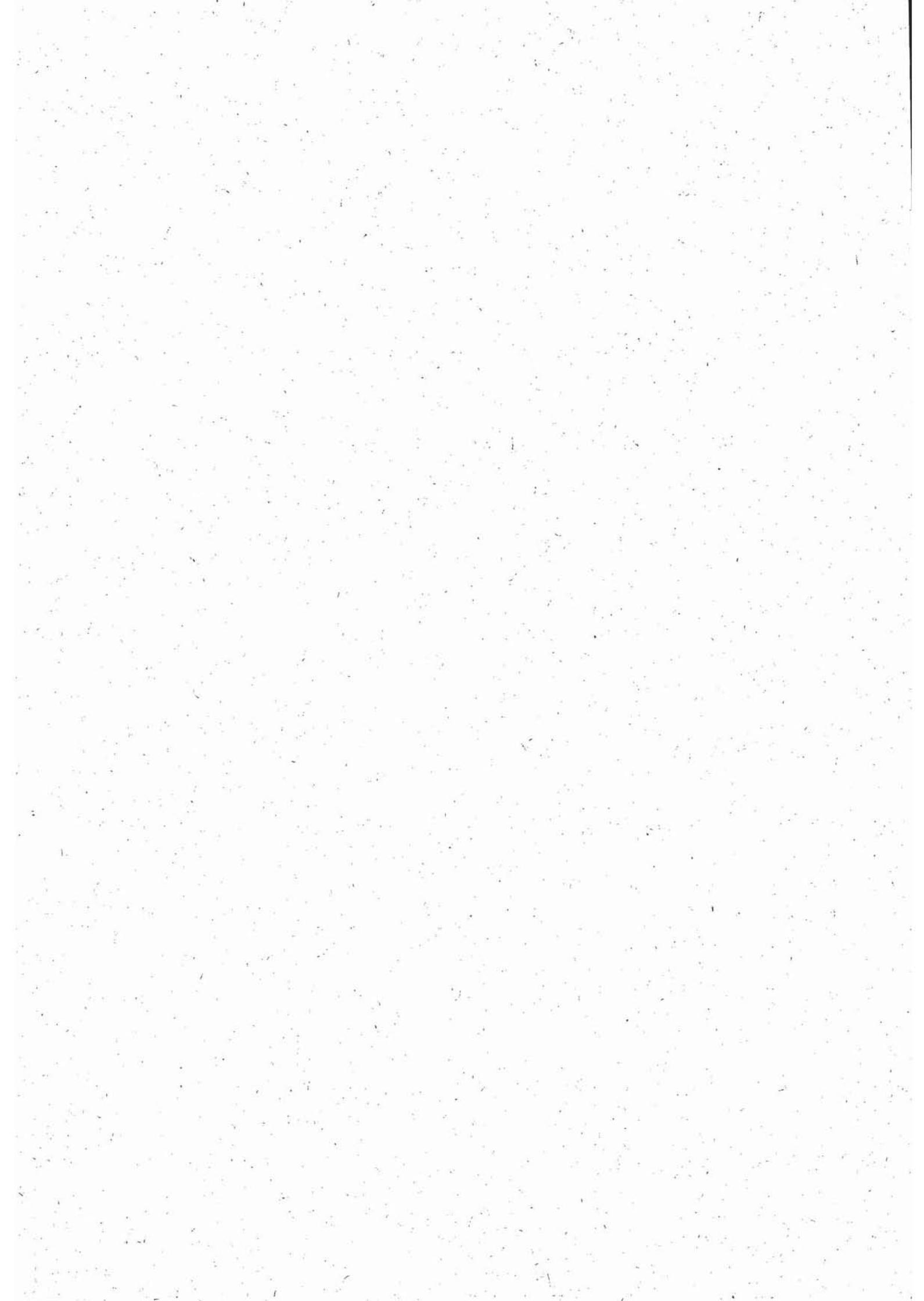
Es folgen Erläuterungen zum Versuchsaufbau und -ablauf sowie die Präsentation der Versuchsergebnisse. Abschließend werden die Versuchsergebnisse diskutiert, die zu einer Reihe von Erkenntnissen in den Bereichen Lüftungskonzept, Gaswarnanlage, Explosionsschutzzonen-Einteilung und Flurförderzeuge führten.

Ich hoffe, daß dieser Bericht dazu beiträgt, den Stand der Technik bei sicherheitsrelevanten Anlagen fortzuentwickeln.

Essen, im September 1996



Dr.-Ing. Harald Irmer
Präsident des
Landesumweltamtes NRW



Inhaltsverzeichnis

Seite

Vorwort	3
Zusammenfassung	7
Summary	9
1. Allgemeines zur Gesamtanlage	11
2. Funktionsbereiche des Distribution Centers	12
3. Gebäude 3: Sonderlager für brennbare Flüssigkeiten	13
3.1 Technische Einrichtungen und Schutzmaßnahmen	13
3.1.1 Mechanische Be- und Entlüftungsanlagen	14
3.1.2 Gaswarnanlage.....	15
3.1.3 Elektrische Anlagen.....	15
3.1.4 Automatische Feuerlöschanlage	17
3.1.5 Rauch- und Wärmeabzugsanlage	17
3.1.6 Auffangvorrichtung nach VAWS/Löschwasserrückhalteanlage (LRA) nach LÖRüRL	17
3.1.7 Arbeitsschutzmaßnahmen.....	18
3.2 Allgemeine Hinweise zur Gesamtanlage.....	20
4. Aufgabenstellung und Randbedingungen für die Feldversuche im VbF-Lager (Gebäude 3)	21
4.1 Änderungen im Technischen Regelwerk	21
4.2 Aufgabenstellung für Feldversuche	22
4.3 Struktur der beabsichtigten Lagerung und Angaben zur qualitativen und quantitativen Zusammensetzung der Lagergüter	23
4.4 Angaben zu den Lüftungstechnischen Einrichtungen des VbF-Lagers	24
5. Erste Versuchsreihe	25
5.1 Versuchsaufbau und -ablauf.....	25
5.2 Versuchsergebnisse.....	28
5.2.1 Ergebnisse Versuch 2	30
5.2.2 Ergebnisse Versuch 3	30
5.2.3 Ergebnisse Versuch 4.....	31
5.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.....	32
5.4 Rauchversuche	33

6. Zweite Versuchsreihe	36
6.1 Versuchsaufbau und -ablauf.....	36
6.2 Versuchsergebnisse	37
6.2.1 Ergebnisse Versuch 1	39
6.2.2 Ergebnisse Versuch 2	41
6.2.3 Ergebnisse Versuch 3	43
6.2.4 Ergebnisse Versuch 4.....	45
6.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.....	47
7. Abschließende Beurteilung der Versuche	47
7.1 Lüftungskonzept	48
7.2 Gaswarnanlage.....	49
7.3 Ex-Zonen-Einteilung	50
7.4 Flurförderzeuge	51
Liste der bisher erschienenen LUA-Materialien	52

EXPLOSIONSSCHUTZ BEI DER LAGERUNG BRENNBARER FLÜSSIGKEITEN

Entwicklungen und Erkenntnisse

Zusammenfassung

Während der letzten zwei Jahre waren einige Schutzmaßnahmen in Lagerräumen für brennbare Flüssigkeiten (VbF) in der Diskussion:

- die stündliche Luftwechselrate
- die Abmaße der Explosionsschutz-Zonen
- der Explosionsschutz an Flurförderzeugen (Gabelstapler)

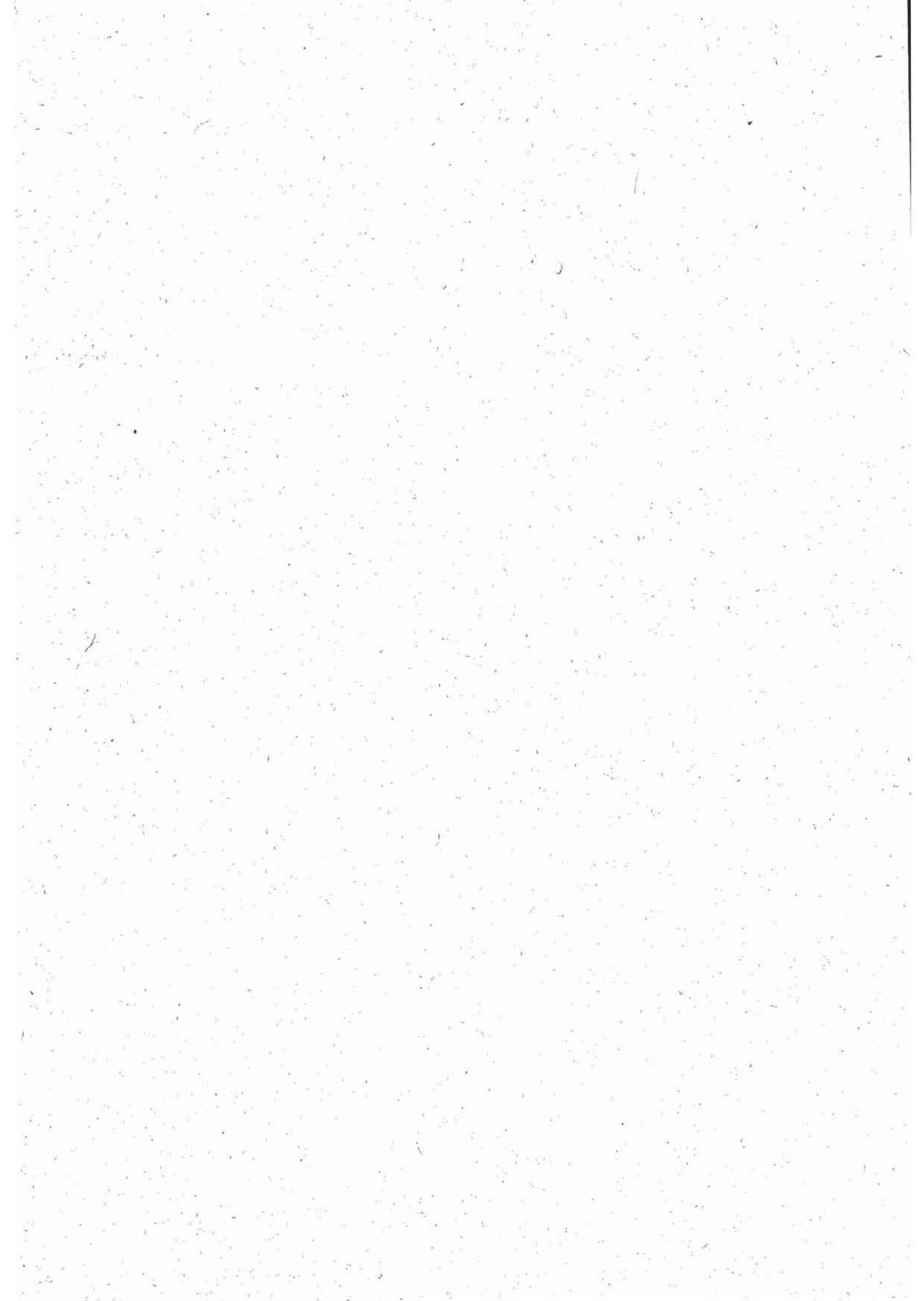
Aus diesem Grunde wurden Feldversuche durchgeführt, die klären sollten, inwieweit diese vorgeschlagenen (und zum Teil inzwischen umgesetzten) Änderungen des technischen Regelwerkes aus sicherheitstechnischen Erwägungen als ausreichend erachtet werden können.

Das Lagergebäude, in dem der Versuchsaufbau errichtet wurde, wird mitsamt seiner technischen Installationen und Schutzvorkehrungen beschrieben.

Dieser Beschreibung folgen Informationen über Versuchsaufbau und -ablauf sowie die Darstellung der Versuchsergebnisse.

Abschließend werden die Versuchsergebnisse diskutiert und die gewonnenen Erkenntnisse über einige technische und organisatorische Schutzmaßnahmen dargelegt. Wesentliche Erkenntnisse sind:

- Der einfache stündliche Luftwechsel kann die gleiche Sicherheit bieten wie der fünffache stündliche Luftwechsel, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt werden.
- Eine Begrenzung der Explosionsschutzonen sollte nicht in dem Maße verallgemeinert werden, wie es in den Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF) geschieht.



EXPLOSION PREVENTION IN CASE OF STORING FLAMMABLE LIQUIDS

Trends and Findings

Summary

During the last two years, several protective arrangements in special warehouses for flammable liquids have been discussed:

- the rate of air changes per hour
- the dimensions of explosion prevention zones
- the explosion prevention concerning fork-lift trucks

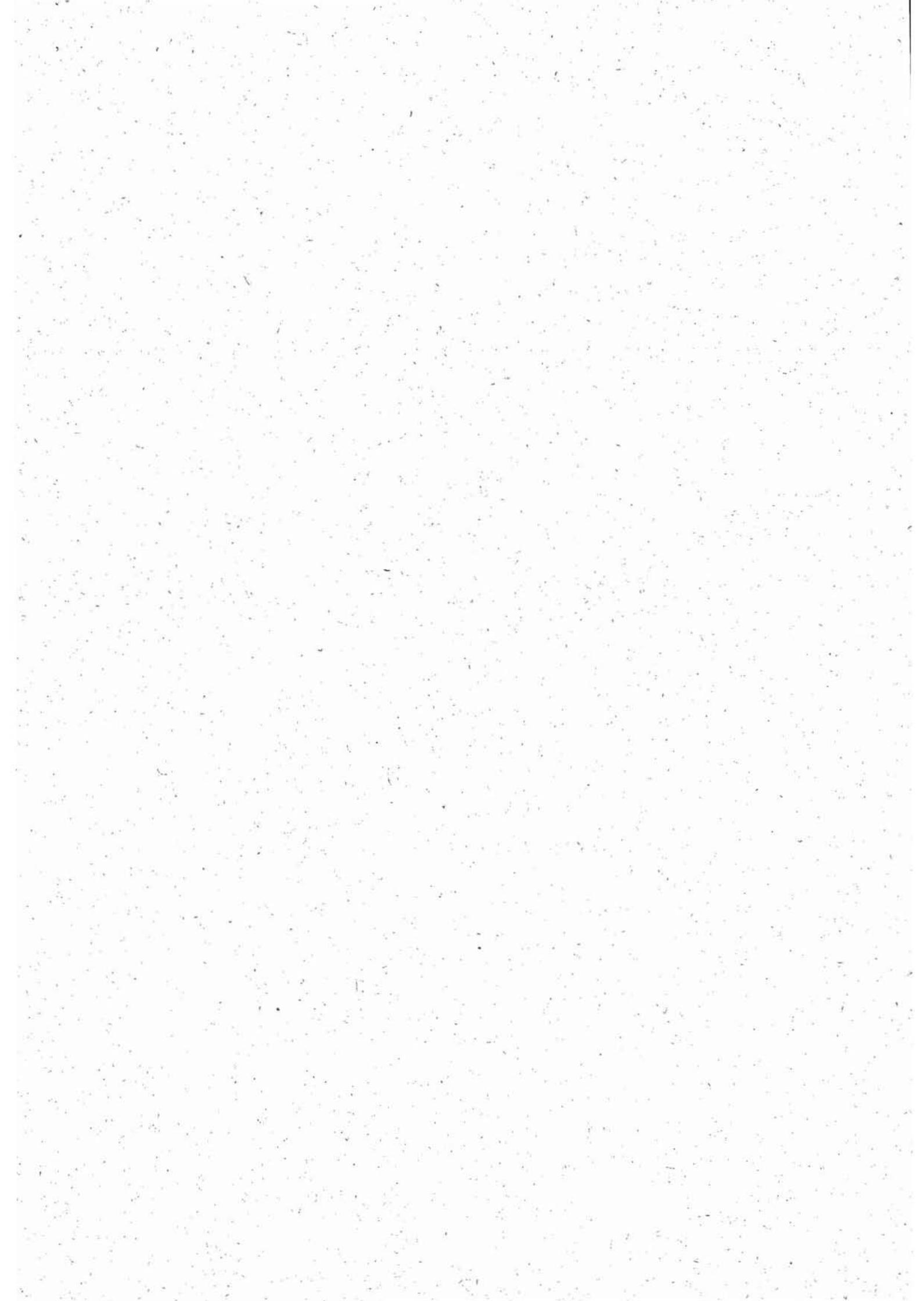
Therefore, field tests have been carried out, which should reveal, if those proposed modifications of the technical guidelines are sufficient.

The warehouse where tests had been set up and installed, is described, including technical installations and protective arrangements.

These descriptions are followed by informations about the test set-up, as well as procedures and the presentation of the test results.

Finally, the test results are discussed and findings on several technical and organizational provisions are presented. Essential findings are:

- One air change per hour can offer the same protection and security compared to five air changes per hour when particular conditions are fulfilled.
- A limitation of explosion prevention zones should not be generalized the way it is outlined in the Technical Guidelines for Flammable Liquids (TRbF).



1. Allgemeines zur Gesamtanlage

Nach zwölfmonatiger Bauzeit wurde das neue 3M Distribution Center in Jüchen, Kreis Neuss, am 10. Oktober 1994 offiziell eröffnet. Durch dieses zentrale Verteillager soll sichergestellt werden, daß die Kunden in ganz Deutschland bereits 24 Stunden nach ihrer Bestellung die Ware termingerecht und zuverlässig erhalten können.

Mittelfristig sollen 170 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am neuen Standort Jüchen in Verwaltung und Lager beschäftigt werden. Sie bearbeiten dort pro Tag ca. 1.800 Lieferungen.

Auf dem 105.000 m² großen Gelände wurden neben einem zweigeschossigen Verwaltungsgebäude (mit Küche, Kantine und Sozialräumen), Besucherparkplätzen, dem Pfortner für den LKW-Verkehr sowie Straßen und Rangierflächen insgesamt 34.500 m² Lagerflächen errichtet. Für die reibungslose Anlieferung bzw. den Versand der Produkte stehen 24 Laderampen und eine 6.000 m² große Umschlaghalle zur Verfügung. Täglich können rund 1.000 Paletten in Jüchen abgefertigt werden.

Die Kapazität des Distribution Centers beträgt insgesamt rund 40.000 Palettenplätze. Sie ist noch weiter ausbaufähig. Das Kernstück des Lagerbereiches bildet das Hochregallager. Es wird ergänzt durch ein Kleinteile- und Schnelldreherlager und einen Bereich, in dem Übergrößen gelagert werden können. Außerdem gibt es ein Blocklager sowie ein Kühllager für temperaturempfindliche Produkte. Sonderlager für brennbare Flüssigkeiten (VbF), Druckgasdosen und wassergefährdende Produkte stehen ebenfalls zur Verfügung.

Den Umweltaspekten wurde bei der Errichtung des Centers besondere Aufmerksamkeit geschenkt. In Zusammenarbeit mit dem BUND (Bund für Umwelt- und Naturschutz in Deutschland e.V.) ist für das Gelände des Distribution Centers ein beispielhaftes ökologisches Begrünungskonzept mit Biotopen und Rückhaltebecken für Dachregenwasser konzipiert worden.

Ferner wurden alle Bereiche mit den modernsten Sicherheits- und Umweltschutzeinrichtungen (d.h. automatische Löschanlagen, Löschwasser-Rückhaltevorrichtungen, etc.) gemäß den Arbeits-, Brand-, Gewässer- und Umweltschutzvorschriften ausgerüstet.

Per Computer werden alle Warenbewegungen im Lager papierlos bearbeitet, überwacht und optimal gesteuert. Die ankommenden Produkte werden über eine Strichcodierung identifiziert und teils durch Transportbänder automatisch bis an ihren vorgesehenen Platz dirigiert, teils bringen funkgesteuerte Flurförderzeuge die Waren in die verschiedenen Lagerzonen.

Im Bereich des Hochregallagers wurde ein besonders ebener Boden eingebracht, damit die bis zu 13 Meter hohen Flurförderzeuge ohne Schwankungen die Gänge befahren können. Bezogen auf eine Länge von 100 m durften die Bodenunebenheiten 6 mm nicht überschreiten.

Vom Lager aus werden die Waren per Computer abgerufen, über Transportbänder oder funkgesteuerte Flurförderzeuge in die Umschlaghalle transportiert und zum Versand vorbereitet. Dabei können Etikettierung, Aufmachung und Kommissionierung der Ware kunden- und länderspezifisch angepaßt werden. Die Speditionspartner nehmen ihre Ladung transportsicher verpackt und zielgerecht zusammengestellt entgegen.

2. Funktionsbereiche des Distribution Centers

- Gebäude 1: - Verwaltung mit 2 Geschossen
- Gebäude 3: - Sonderlager für brennbare Flüssigkeiten
(Gefahrgut)
- VbF AI, AII, AIII und B
 - WGK 0 - 2
 - Regallager mit 5 Ebenen
 - ca. 2.200 Palettenplätze
 - Gesamtkapazität: 980 t
- Gebäude 4: - Sonderlager für Druckgase
(Gefahrgut)
- Druckgasdosen < 1.000 ml
 - Gesamtkapazität: < 30 t
- Gebäude 5: - Sonderlager für wassergefährdende Stoffe
(Gefahrgut)
- WGK 0 - 2
 - Regallager mit 5 Ebenen
 - ca. 2.000 Palettenplätze
 - Gesamtkapazität: 700 t
- Sonderlager für sehr giftige und giftige Stoffe
- ca. 30 Palettenplätze
 - Gesamtkapazität: < 10 t, davon < 2 t sehr giftig
- Gebäude 6: - Kühllager für graphische Produkte
- Regallager mit 5 Ebenen
 - ca. 2.200 Palettenplätze
- Gebäude 7: - Lagerbereich für Blocklagerung und Übermaßartikel
- Stapelhöhe max. 3 Paletten
 - Gesamtkapazität: ca. 950 t
- Flurförderzeuge-Ladestation
- Instandhaltung
- Gebäude 8: - Warenein-/ausgang
- Gebäude 9/10:-
- ca. 26.300 Palettenplätze
 - Gewicht pro Palette ca. 300 kg
- Gebäude 9, Teilbereich 1 (9a)
- Regallager mit 4 Ebenen
 - Handkommissionierbereich
- Gebäude 9, Teilbereich 2/Gebäude 10
- Hochregallager
 - oberste Einlagerungsebene ca. 12 m
 - Schmalganggassen

3. Gebäude 3: Sonderlager für brennbare Flüssigkeiten (VbF AI-AIII und B)

In diesem Gebäude werden brennbare Flüssigkeiten nach der VbF mit den o.g. Gefahr- bzw. den Wassergefährdungsklassen in Regalen gelagert. In der Hauptsache handelt es sich bei den einzulagernden Stoffen um Klebstoffe, Farben, Reinigungsmittel usw. Das Lager wird dreischichtig betrieben.

Die Materialien werden in Stahlregalen, die in Gebäudelängsrichtung als Einfach- bzw. Doppelregale aufgestellt sind, auf Paletten eingelagert. Zur Einlagerung kommen bei voller Auslastung ca. 2.200 Paletten mit einem durchschnittlichen Paletten-Gesamtgewicht von 450 kg. Die Ein- und Auslagerung sowie die Beförderung im Lager geschieht mittels Elektroflurförderzeugen normaler Bauart.

Die Umfassungswände des Gebäudes wurden in F90-A (DIN 4102) ausgebildet; ausgenommen hiervon ist das wärmegeämmte Stahltrapezblech an der Außenschmalseite. Das Gebäudedach wurde auf eine nicht brennbare Unterkonstruktion aufgelegt und besteht aus Trapezblech mit mineralischer Wärmedämmung (A1, DIN 4102) und einer bituminösen Dacheindeckung (DIN 4102 Teil 7, gegen Flugfeuer und strahlende Wärme widerstandsfähige (harte) Bedachung).

Da es sich bei der Anlage um ein erlaubnisbedürftiges Lager nach §9 der VbF handelt, wurde bereits bei der Planung der sicherheitstechnischen Ausrüstung der Lagereinrichtung der amtlich anerkannte Sachverständige (§11 GSG) eingeschaltet, der die Anlage vor Inbetriebnahme (§13 VbF) abnahm und danach die wiederkehrenden Prüfungen (§15 VbF) durchführt.

3.1 Technische Einrichtungen und Schutzmaßnahmen

Zur sicherheitstechnischen Ausrüstung des Gebäudes gehören:

- a) eine mechanische Be- und Entlüftungsanlage
- b) eine Gaswarnanlage mit automatischer Auslösung von Schutzmaßnahmen
- c) die Ausführung der elektrischen Anlagen gemäß VDE 0165 und ElexV
- d) eine automatische Sprinkleranlage mit Schaummittel-Injektion (3M-Light-Water)
- e) eine Rauch- und Wärmeabzugsanlage
- f) eine Leckagen-Auffangvorrichtung mit Löschwasserrückhalteanlage nach VbF, VAWS und LÖRüRL
- g) Maßnahmen zur Sicherstellung des Arbeitsschutzes

Folgende Vorschriften, Regelungen u. dergl. wurden bei der Planung berücksichtigt:

- VbF, TRbF 100, TRbF 110, TRbF 180, VAWS
- Richtlinien für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung - Explosionsschutz-Richtlinien - (EX-RL)
- DIN/VDE 0165: Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen
- Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen (ElexV)

- Nabert/Schön: Sicherheitstechnische Kennzahlen
- TRGS 900 (MAK-Wert-Liste)
- DIN 1946: Lüftungstechnische Anlagen
- DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
- DIN 18 232: Rauch- und Wärmeabzugsanlagen
- Arbeitsstättenverordnung (ArbstättV)
- Richtlinie zur Bemessung von Löschwasser-Rückhalteanlagen beim Lagern wassergefährdender Stoffe (LöRüRL)

3.1.1 Mechanische Be- und Entlüftungsanlage

Im Sonderlager für brennbare Flüssigkeiten wurde eine Be- und Entlüftungsanlage mit Einrichtungen zum Filtern und Erwärmen der Außenluft, die im 24-Stunden-Dauerbetrieb läuft, eingebaut. Je nach Bedarf, d.h. in Abhängigkeit vom Lagergut, kann die Raumtemperatur der Lagerhalle während der kalten Jahreszeit frostfrei geregelt werden. Die Zu-, Ab- und Außenluftströme werden überwacht; bei unzulässigen Abweichungen oder Ausfällen erfolgen automatische Störmeldungen. Die Abluft der Lüftungsanlage wird in Bodennähe wirksam.

Folgende Betriebszustände sind möglich:

a) Normalbetrieb:

In diesem Anlagenzustand laufen Zu- und Abluftventilatoren, die einen 1-fachen Luftwechsel mit 100% Außenluftanteil bewerkstelligen.

b) Erster Gasalarm:

Die installierten Gassensoren (siehe Pkt. 3.1.2) wurden auf Methylethylketon (MEK) kalibriert; ein erster optischer und akustischer Gasalarm innerhalb des Lagers erfolgt bei 1% der unteren Explosionsgrenze von Methylethylketon (UEG(MEK)). Daraufhin wird - dies ist in einer Betriebsanweisung festgelegt - der Lagerbetrieb eingestellt.

c) Zweiter Gasalarm:

Bei 2% UEG(MEK) wird ein zweiter optischer und akustischer Gasalarm im Lager ausgelöst. Gleichzeitig erfolgt automatisch

- die Durchschaltung des Signales zum ständig besetzten Pfortnerhaus,
- das Zuschalten der Abluftanlagen auf 5-fachen Luftwechsel mit 100% Außenluftanteil, d.h. Inbetriebnahme 8 weiterer Abluftventilatoren und Öffnen von drei Außenwandklappen auf der Zuluftseite.
- Weiter ist auf organisatorischer Seite der Lagerbetrieb **sofort** zu unterbrechen und die Flurförderzeuge sind umgehend stillzusetzen; dies wird in einer Betriebsanweisung geregelt.

d) Feuersalarm:

Bei Feuersalarm wird die gesamte Lüftungsanlage ausgeschaltet, so daß die automatische Feuerlöschanlage zielgerichtet und wirksam eingesetzt werden kann. Schaltungstechnisch hat der Feuersalarm (Lüftung aus) Priorität gegenüber einem Gasalarm (Erhöhung der Luft-

wechselrate). Feuerschutzabschlüsse, die offen stehen, werden automatisch geschlossen. Eine Weiterleitung des Signals erfolgt verzögerungsarm zur öffentlichen Feuerwehr.

3.1.2 Gaswarnanlage

Die in Gebäude 3 installierte Gaswarnanlage der Firma Dräger, Lübeck, besteht im wesentlichen aus der Zentraleinheit (Steuergerät) und 9 bodennah installierten Gasspürköpfen (≤ 5 cm). Die Festlegung von Anzahl und Anordnung der Spürköpfe erfolgte in Abstimmung mit einem Sachverständigen. Es handelt sich um bauartgeprüfte Infrarotsensoren (PTB-Prüfzeichen), die verzögerungsarm arbeiten und die gemessenen Konzentrationen kontinuierlich an das Steuergerät übertragen. Für die sicherheitsrelevanten Stoffgruppen liegt ein sicherheitstechnisches Gutachten der DMT vor.

Am Steuergerät wurden für jeden Fernmeßkopf zwei Konzentrationsschwellen fest eingestellt:

- 1. Gaswarnstufe: 1 % UEG (MEK)
Bei Erreichen dieser Schwelle wird ein optisches und akustisches Warnsignal innerhalb des Lagers ausgelöst.
- 2. Gaswarnstufe: 2 % UEG (MEK)
Bei Erreichen dieser Schwelle wird die Lüftungsanlage automatisch auf den 5-fachen Luftwechsel mit reinem Außenluftbetrieb umgeschaltet und ein optisches und akustisches Warnsignal wird ausgelöst und an den Pförtner weitergeleitet, und zwar sowohl während der Betriebszeit als auch während der Betriebsruhe.

Bei Ausfall bzw. Störung der Warnanlage wird die Lüftungsanlage automatisch auf 5-fachen Luftwechsel geschaltet.

3.1.3 Elektrische Anlagen

Die elektrischen Anlagen und Betriebsmittel im Gebäude wurden entsprechend DIN/VDE 0165 ausgelegt. Darüber hinaus erfolgte zur Erhöhung der Sicherheit die Auslegung oberhalb von 0,5 m über dem Boden für Zone 2 und unterhalb von 0,5 m für Zone 1. Das Gesamtgebäude ist mit einer Blitzschutzanlage gemäß DIN/VDE 0185 ausgerüstet.

Störmeldungen bei Ausfall von technischen Anlagen, z.B. E-Technik, Lüftung, Gaswarnanlage, werden durch die Gebäudeleittechnik erfaßt und im ständig besetzten Pförtnerhaus ausgedruckt.

Die Lagereinrichtung verfügt über eine automatische Brandmeldeanlage der Fa. Wörl ALARM, die von der automatischen Feuerlöschanlage (Sprinkler) gesteuert wird. Es erfolgt eine Durchschaltung zur öffentlichen Feuerwehr. Die Brandmeldeanlage wurde nach DIN/VdS ausgeführt und mit Feuerwehrbedienfeld sowie einem Feuerwehrschränkkasten im ständig besetzten Pförtnerhaus ausgestattet. Brandmeldelinienpläne können direkt über Drucker ausgegeben werden; gleichzeitig stehen die Pläne als Hardcopy im Pförtnerhaus zur Verfügung.

3.1.4 Automatische Feuerlöschanlage

Der gesamte Lagerbereich wird durch eine automatische Sprinkleranlage mit der Möglichkeit der Schaummittelzugabe (Light Water, 3M-Produkt) geschützt, die von einem anerkannten Errichterbetrieb geplant und ausgeführt wurde. Hierbei waren die Vorgaben des amerikanischen Sachversicherers bzw. das Regelwerk der National Fire Protection Association (NFPA) sowie der Factory Mutual (FM) zu berücksichtigen, deren Anforderungen über die des VdS hinausgehen:

- Löschwasserbevorratung: - 1 Tank , 1.200 m³
- Versorgung:
 - 2 Diesel-Pumpen (3.000 gpm = 681,3 m³/h)
 - Hydrantenringleitung DN 250, p= 15 bar
 - 2h Vorhaltung
- Deckensprinkler:
 - Leistung: 16,3 l/min
 - Wirkfläche: 200 m²
 - Auslösetemperatur: 141°C
 - Versorgung: DN 20
- Regalsprinkler:
 - Auslösetemperatur: 74°C
 - Versorgung: DN 15
- Schaummittel: - 3% AFFF (Light Water), Vorhaltung für 20minütigen Einsatz, automatische Zugabe über Injektoren

3.1.5 Rauch- und Wärmeabzugsanlage

Weiterhin wurde eine Rauch- und Wärmeabzugsanlage (RWA-Anlage) installiert, die nach DIN 18 232, Teil 2 bemessen ist. Ein weiterer Anteil ist als ausschmelzbare Fläche, d.h. in Form von Polycarbonat-Lichtkuppeln, ausgeführt worden, so daß bezogen auf die Lagergrundfläche ein Gesamtanteil von 3 % zustande kommt.

Die eingebaute RWA-Anlage kann nach Erfordernis von der Feuerwehr ausgelöst werden, bzw. öffnet automatisch 20°C oberhalb der Auslösetemperatur der Sprinklerköpfe.

3.1.6 Auffangvorrichtung nach VbF und VAWS/Löschwasserrückhalteanlage (LRA) nach LÖRüRL

Der Boden des gesamten Lagers wurde als fugenlose Wanne ausgebildet. Die Ausführung des Bodens erfolgte als Stahlbetonplatte in der Mindestbetongüte B 35 gemäß DIN 1045. Weiterhin fand die Richtlinie "Bemessung unbeschichteter Bauteile" des Deutschen Ausschusses für Stahlbetonbau (DAfStb) Berücksichtigung; der Nachweis "ungerissener Beton" mit Nachweis der Rißbreiten ($w_{cal} \leq 0,1 \text{ mm}$) wurde erbracht.

Zur Bemessung des Auffangvolumens wurde die LÖRüRL, Nr. 7.2.2 zugrundegelegt. Dies beinhaltet einen Anteil für die Leckagemenge gemäß TRbF 110, Nr. 7.43, der nach derzeit

geltendem Regelwerk für eine genehmigte Lagermenge von 980 t bei "3% des Rauminhalts aller in dem Auffangraum gelagerten Gefäße, mindestens jedoch 10 m³", d.h. in diesem Fall ca. 30 t bzw. 30 m³ liegen muß.

Innerhalb des Raumes ist die Bodenwanne bzw. deren Aufkantung ca. 10 cm hoch ausgeführt, so daß sich hier allein ein Leckagenauffang- und Löschwasserrückhaltevolumen von ca. 130 m³ ergibt. Das Restvolumen kann im außenliegenden Löschwasserrückhaltebecken, welches unterirdisch hinter dem Gebäude eingebaut wurde und ein Volumen von 500 m³ besitzt, aufgefangen werden.

Der Zulauf von der im Gebäude realisierten Auffangwanne zum außenliegenden Löschwasserrückhaltebecken wurde mit einem betriebsmäßig geschlossenen Schieber ausgerüstet, der außerhalb des Gebäudes in der Nähe der Löschwasserrückhalteinlage angeordnet ist. Im Brandfall kann dieser bei Bedarf von der Feuerwehr manuell geöffnet werden. Die unterirdische Leitung ist ständig mit einem Wasser-Light Water-Gemisch gefüllt, so daß darin explosionsfähige Lösemitteldampf-Gemische nicht entstehen können.

3.1.7 Arbeitsschutzmaßnahmen

- a) Die Sicherheitsbeleuchtung wurde durch Batterieeinzelleuchten realisiert. Weiterhin wird bei Netzausfall die Allgemeinbeleuchtung über ein Notstromaggregat innerhalb von max. 15 s gespeist. Zusätzlich sind im Bereich der Rettungswege nachleuchtende Hinweiszeichen mit Fluchtleitmarkierung vorgesehen. In den Rettungswegen wurden die Hinweise so angebracht, daß die Fluchtrichtung erkennbar und eine Orientierung leicht möglich ist.
- b) Von jedem Punkt des Gebäudes beträgt der Abstand zur nächsten Notausgangstür maximal 20 m.
- c) Innerhalb des Lagerbereiches sind Mitarbeiter nicht ständig beschäftigt; deren Hauptarbeitsplätze befinden sich in anderen Bereichen des Distribution Centers.
- d) Ein Einlagerungsplan, der Angaben über Art und Menge sowie höchstzulässige Lagermengen enthält, wird an einer jederzeit leicht erreichbaren Stelle (Pfortner) bereitgehalten und durch den Einsatz von EDV ständig aktualisiert. Der Plan wird nachweislich mindestens einmal monatlich überprüft. Weitere Informationen (EG-Sicherheitsdatenblätter) stehen über EDV auf mehreren Ausgabegeräten (Drucker) auf Anforderung zur Verfügung.
- e) Die Zusammenlagerungsverbote nach TRbF, TRGS, TRG etc. werden EDV-gesteuert eingehalten und regelmäßig überprüft.
- f) Es wurden Betriebsanweisungen nach §20 GefahrStoffV erstellt, die Angaben über den sachgerechten Umgang mit den gelagerten Gefahrstoffen enthalten. Auf die sachgerechte Entsorgung gefährlicher Abfälle wird hingewiesen. Die Betriebsanweisungen wurden in verständlicher Form und Sprache abgefaßt und an geeigneter Stelle im Bereich des Lagers bekanntgemacht. In den Betriebsanweisungen werden auch Anweisungen über das Verhalten im Gefahrfall und über Erste Hilfe getroffen.

- g) Als Kurzanweisung für das Verhalten bei besonderen Vorkommnissen wie Feuer, Unfall, Leckagen wurde ein Alarmplan erstellt und an mehreren gut zugänglichen Stellen im Lagerbetrieb sowie im Pförtnerhaus ausgehängt. Der Alarmplan enthält wichtige Verhaltensregeln und Informationen wie z.B.:
- Telefonnummern von Feuerwehr, Arzt, Krankenhaus, Krankentransport, Polizei
 - Telefonnummer des Betriebsleiters, Meisters oder sonstiger Personen
 - Angaben zu Alarmsignalen, Sammelplatz und Anwesenheitskontrolle der Belegschaft, Abschaltung von Energien, Benutzung von Flucht- und Rettungswegen, Brandbekämpfung.
- h) Die Unterweisung der im Lager beschäftigten Mitarbeiter erfolgt, arbeitsplatzbezogen und in verständlicher Form und Sprache, einmal vor Aufnahme der Tätigkeit und danach in regelmäßigen Zeitabständen, d.h. mindestens einmal jährlich. Ebenfalls werden die Mitarbeiter sofort informiert, wenn Stoffe mit neuen Gefahrenmerkmalen zur Einlagerung kommen.
Unterwiesen wird anhand der Betriebsanweisungen über den richtigen Umgang mit den gelagerten Gefahrstoffen. Gebärfähige Arbeitnehmerinnen werden zusätzlich über die für werdende Mütter möglichen Gefahren und Beschäftigungsbeschränkungen unterrichtet. Inhalt und Zeitpunkt der Unterweisungen werden schriftlich festgehalten und von den Unterwiesenen durch Unterschrift bestätigt.
- i) Mindestens einmal jährlich werden Notfallübungen durchgeführt. Sie haben zum Inhalt das richtige Verhalten bei Freiwerden der im Lager befindlichen Stoffe, bei Brand oder bei einem anderen Unfall/Notfall.
- j) Den Mitarbeiter/innen werden geeignete Körperschutzausrüstungen zur Verfügung gestellt, die im Normalbetrieb nicht zum Einsatz kommen, da im Lagerbereich weder um- noch abgefüllt wird. Die Einrichtungen werden dann verwendet, wenn es durch eine Beschädigung des Behälters zu Leckagen gekommen ist.
- k) Im Bereich der Sonderlager stehen geeignete Waschbecken, automatische Augenspüleinrichtungen und Notduschen zur Verfügung.
- l) Eine ausreichende Anzahl von Light Water-Löschern zur Bekämpfung von Entstehungsbränden wurde im Bereich der Türen und Tore installiert.
- m) Die Gangbreite der Regalgassen beträgt ca. 2,7 m. Die Sicherheitsabstände nach ArbStättV von 0,5 m in den Fahrgassen werden damit eingehalten.
- n) Die einschlägigen technischen Regeln, Unfallverhütungsvorschriften sowie die Festlegungen der ArbStättV wurden bei der Realisierung des Lagers berücksichtigt.

3.2 Allgemeine Hinweise zur Gesamtanlage

- a) Die Einleitungsstellen in die öffentliche Kanalisation sind mit Pumpensystemen ausgerüstet, so daß sie im Gefahrenfall durch die eintreffende Feuerwehr bzw. durch den Pförtner fernbedienbar abgeschaltet werden können.
- b) Der gesamte Bereich der Rampenanlage wird über einen Leichtflüssigkeitsabscheider, mit Abschiebersystem und Rückhalteeinrichtung (400 m³), entwässert.
- c) Das gesamte Distribution Center wurde mit einer Feuerwehrumfahrt, die entsprechend §5 BauO NW ausgeführt wurde, umgeben.
- d) Der gesamte Gebäudekomplex verfügt neben den Hydranten aus der kommunalen Versorgung über eine eigene aus dem Löschwassertank (1.200 m³) gespeiste Hydrantenringleitung auf dem Grundstück.
- e) Zum Löschen von Entstehungsbränden werden geeignete Feuerlöscher, entsprechend ASR 13/1,2, vorgehalten. Ebenfalls wurden Wandhydranten, nach DIN 14 461, Teil 1, mit 35 m langen, formbeständigen Schläuchen installiert, womit der gesamte Lagerbereich abgedeckt wird.
- f) Das gesamte Betriebsgelände ist von einem 2,5 m hohen Zaun umgeben, der mit einer Übersteigesicherung und einer elektronischen Zaunsicherung versehen wurde.
- g) In den Sonderlagern wird weder um- noch abgefüllt. Es werden komplette Verpackungs- bzw. Ladeeinheiten ein- und ausgelagert.
- h) Auf Rauchverbot bzw. den Umgang mit offenem Licht wird durch dauerhaft und gut sichtbare Hinweise aufmerksam gemacht; es besteht generelles Rauchverbot innerhalb der Gesamtanlage.
- i) Feuer- und Heißenarbeiten werden nur nach vorheriger schriftlicher Erlaubnis ausgeführt. Die schriftliche Erlaubnis enthält:
 - Angabe des Ortes, an dem die Arbeit ausgeführt werden soll
 - Art der Arbeit
 - Zeitangabe, wann die Arbeit ausgeführt werden soll
 - Name der ausführenden Personen und Name des aufsichtführenden Sachkundigen
 - Zweck sowie Art und Weise der Durchführung der Arbeiten
 - Sicherheitsmaßnahmen
 - Unterschrift des Lagerhalters bzw. dessen verantwortlichen Vertreters oder Beauftragten
- j) Die Sicherheitseinrichtungen, wie z. B. Brandmelde-, Lösch- und Wärmeabzugsanlagen, automatisch schließende Tore sowie die Blitzschutzanlage werden regelmäßig gewartet und in den vorgeschriebenen Abständen auf ordnungsgemäße Funktion geprüft. Mit der Prüfung werden anerkannte Sachverständige beauftragt; die ordnungsgemäße Funktion der Sicherheitseinrichtungen wird in einem Prüfprotokoll bescheinigt.

- k) Sicherung des Lagergutes:
- Die Stoffe werden übersichtlich geordnet gelagert.
 - Die Stoffe werden nur in geschlossenen, für den Transport zugelassenen Behältnissen oder Verpackungen eingelagert.
 - Die Verpackungen und Behälter sind so beschaffen, daß vom Inhalt nichts ungewollt ins Freie gelangen kann.
- l) Für das Verhalten der Einsatzkräfte bei Freiwerden oder Brand der im Lager gehandhabten Stoffe werden stoffspezifische Informationen im Pfortnerhaus bzw. über EDV-Ausgabegerät bereitgehalten. Diese Notfallinformationen enthalten folgende Angaben:
- die Bezeichnung des gelagerten Stoffes
 - Name und Anschrift dessen, der den Stoff hergestellt/eingeführt hat oder vertreibt
 - Hinweise auf die besonderen Gefahren
 - Maßnahmen bei Beschädigung der Verpackung
 - Maßnahmen/Hilfeleistungen bei Kontakten von Personen mit Gefahrstoffen
 - Maßnahmen im Brandfall, insbesondere die Verwendbarkeit von Löschmitteln
 - Maßnahmen zur Vermeidung von Umweltschäden
- m) Die Sonderlager werden nur betrieben, wenn Mängel nicht vorhanden sind.
- n) Die gesamten Arbeits-, Brand- und Umweltschutzmaßnahmen erfolgten in enger Abstimmung mit dem amerikanischen Sachversicherer, dem Vorbeugenden Brandschutz und der Unteren Bauaufsicht des Kreises Neuss, dem Staatlichen Amt für Arbeitsschutz, Mönchengladbach, dem Staatlichen Umweltamt, Krefeld, und den amtlich anerkannten Sachverständigen des TÜV Rheinland, Mönchengladbach.

4. Aufgabenstellung und Randbedingungen für die Feldversuche im VbF-Lager (Gebäude 3)

4.1 Änderungen im Technischen Regelwerk

Die Technischen Regeln für brennbare Flüssigkeiten (TRbF) erfuhren 1995 hinsichtlich der darin enthaltenen Explosionsschutz-Maßnahmen zwei Änderungen:

- 1.) Die TRbF 110, Nr. 6.28 (3) wurde ergänzt:
In Lagerräumen zur ausschließlich **passiven** Lagerung brennbarer Flüssigkeiten in verkehrsrechtlich zugelassenen **Transportbehältern** mit einem Rauminhalt **bis 1.000 l** ist ein **mindestens 2-facher Luftwechsel** pro Stunde ausreichend.
- 2.) Die TRbF 110, Nr. 6.7 (2) wurde ergänzt:
Lagerräume mit einem **Rauminhalt über 1.000 m³** zur ausschließlich **passiven** Lagerung brennbarer Flüssigkeiten in verkehrsrechtlich zugelassenen **Transportbehältern** mit einem Rauminhalt **bis 1.000 l** sind abweichend von Absatz 1 **bis zu einer Höhe von 1,5 m Zone 2**.

Ein dritter Änderungsvorschlag des Deutschen Ausschusses für brennbare Flüssigkeiten (DAbF), den Explosionsschutz an Flurförderzeugen betreffend, wurde nicht ins Regelwerk übernommen:

"In Lagerräumen zur ausschließlich passiven Lagerung brennbarer Flüssigkeiten in verkehrsrechtlich zugelassenen Transportbehältern mit einem Rauminhalt bis 1.000 l dürfen

1. für Zone 2 geeignete Flurförderzeuge oder
2. Flurförderzeuge normaler Bauart verwendet werden, wenn
 - a) die an ihnen auftretenden Oberflächentemperaturen die Zündtemperatur der gelagerten Flüssigkeiten nicht überschreiten und
 - b) sie im Gefahrenfall (Leckage durch Beschädigung) unverzüglich still gesetzt werden. Auf TRbF 180, Nr. 6.4 (9) wird verwiesen."

(DAbF-Änderungsvorschlag, Ergänzung für TRbF 100, Nr. 3.242)

Aus den schon 1994 kursierenden DAbF-Änderungsvorschlägen ergab sich in einigen Fällen bei Genehmigungsanträgen ein erheblicher Diskussionsbedarf zwischen Betreibern und Genehmigungs- bzw. Aufsichtsbehörden. Den geplanten Erleichterungen für die Betreiber im Explosionsschutz standen die Behörden eher skeptisch gegenüber, zumal das Regelwerk seinerzeit in der TRbF 110, Nr. 6.28 (2) ohne Ausnahme einen mindestens 5-fachen Luftwechsel forderte.

Von Betreiberseite wurden die Änderungsvorschläge dagegen sehr begrüßt, da eine Umsetzung dieser Vorschläge ins Regelwerk eine erhebliche Einsparung sowohl von Anschaffungskosten (-> Flurförderzeuge, raumluftechnische Anlage) als auch von Betriebskosten (-> Heizung/Kühlung, Stromverbrauch) verhielt.

Im hier vorgestellten VbF-Lager wurde ein abgestuftes Konzept umgesetzt:

- 1-facher Luftwechsel bei Normalbetrieb,
- Zuschalten weiterer Abluftventilatoren zur Erhöhung von 1-fachen auf 5-fachen Luftwechsel durch die installierte Gaswarnanlage, sobald ein Sensor die Alarmkonzentration von 2 % UEG (MEK) detektiert.

Solche Konzepte wurden und werden bei der Begutachtung von Sicherheitsanalysen und Sicherheitskonzepten durch das Landesumweltamt NRW und die Landesanstalt für Arbeitsschutz NRW, Aufgabenbereich Anlagensicherheit, als adäquate Maßnahme zum 5-fachen Luftwechsel anerkannt, ja wegen der installierten Gassensoren sogar bevorzugt.

4.2 Aufgabenstellung für Feldversuche

Im Zusammenhang mit der VbF-Erlaubnis sollte, aufgrund der Gespräche zwischen Betreiber und Staatlichem Amt für Arbeitsschutz, Mönchengladbach, durch Feldversuche festgestellt werden, ob mit dem 1-fachen Luftwechsel im VbF-Lager die gleiche Sicherheit wie mit einem

5-fachen Luftwechsel erreicht wird. Dieser Nachweis sollte durch Simulation des folgenden Szenarios geführt werden:

"In der obersten Regalebene beschädigt ein Gabelstaplerfahrer ein Gebinde mit Lösemittelgemischen. Das Lösemittel ergießt sich auf darunter gelagerte Waren und fließt nach unten auf den Fußboden."

4.3 Struktur der beabsichtigten Lagerung und Angaben zur qualitativen und quantitativen Zusammensetzung der Lagergüter

Im VbF-Lager (Geb. 3) kommen ortsbewegliche UN-Gebinde zur passiven Einlagerung. Hierbei handelt es sich um Gebindegrößen von 2 bis 1.000 l. Großgebände, d.h. 1.000 l-IBC's und 200 l-Stahlfässer, werden nur in der ersten Regalebene, ca. 30 cm über dem Boden, eingelagert. Alle anderen Produkte werden gestapelt oder in Gebinden mit max. 30 l Inhalt auf Paletten gestellt und entsprechend dem Merkblatt der BG Chemie gesichert.

Die Produkte liegen zum größten Teil als Zubereitungen vor, wobei der maximale Lösemittelanteil 50% beträgt. Bei 70 - 80% dieser Produkte ist das Lösemittel immer in der Zubereitung gelöst. In reiner Form liegen nicht mehr als 3 t der eingelagerten Materialien in Gebinden mit max. 5 l Inhalt vor; dabei handelt es sich z.B. um Verdüner. Weiterhin ist festzustellen, daß mindestens 50% der Lagergüter als höherviskos einzustufen sind, entsprechend GGVS, Klasse 3, Kap. D, Bemerkung, GGVS, Anlage A, 2302 Ziff. 5, Fußnoten 1 u. 2 (60 s, 6 mm Becher).

Folgende Lösemittel sind in den Zubereitungen enthalten; die fett gedruckten liegen auch in reiner Form vor:

- Aceton
- Acrylsäureester
- n-Butanol
- n-Butylacetat
- Butylglykol
- **Butylglykolacetat**
- Cyclohexan
- Diethylenglykol
- Dimethylethanolamin
- Dipropylenglykol
- Dipropylenglykolmethyletheracetat
- Erdöldestillate
- Ester
- Ethanol
- 2-Ethoxyethylacetat
- **Ethylacetat**
- **Ethylethoxypropionat**
- Heptan
- 3-Heptanon
- Hexan

- Isopropanol
- Methanol
- **Methylethylketon (MEK)**
- Methylisobutylketon
- Naphtha
- Petroleum Spirit
- n-Propanol
- Propylenglykol
- **Propylenglykolester (1-Methoxy-2-Propylacetat)**
- Solvent Naphtha
- Styrol
- Testbenzin
- Toluol
- Xylol

4.4 Angaben zu den lüftungstechnischen Einrichtungen des VbF-Lagers

Das VbF-Lager besitzt folgende Abmessungen:

- Breite $B = 30 \text{ m}$
- Länge $L = 40 \text{ m}$
- Grundfläche $A = 1.200 \text{ m}^2$
- Raumvolumen $V = 13.200 \text{ m}^3$

Dieses Raumvolumen wird im Normalbetrieb, d.h. 1-facher Luftwechsel mit 100% Außenluftanteil, stündlich einmal durch die Lüftungsanlage ausgetauscht.

Die Abluft wird an zwei Stellen an der Außen-Längswand in Fußbodennähe abgesaugt, während die Zuluft an der gegenüberliegenden Längswand eingeblasen wird. Die Besonderheit liegt hierbei in der Einblastechnik; die Zuluft wird in ca. 0,5 - 1,7 m Höhe über 3 nebeneinanderliegende Weitwurfdüsen, jeweils in Richtung der 7 Regalgassen, eingeblasen. Dieser Luftstrahl führt zu einer kolbenförmigen Luftströmung mit hoher Induktion in die Regalgassen. Bei Durchführung der Feldversuche waren noch keine Waren im Lager eingelagert, so daß die geplante Luftführung bzw. Luftströmung im Bodenbereich in ihrer vollen Wirkung noch nicht gegeben war.

Während im Normalbetrieb lediglich 2 Abluftventilatoren laufen, werden bei Betriebsstörungen (Leckagefall) 8 weitere in Betrieb genommen, um den 5-fachen Luftwechsel bewerkstelligen zu können. Diese automatische Umschaltung der Lüftungsanlage wird über die ansprechenden Infrarot-Sensoren der Gaswarnanlage gesteuert. Um den Lufthaushalt in Gebäude 3 bei 5-fachem Luftwechsel zu decken und Querströmung zu erzeugen, können zusätzlich zu der in Betrieb befindlichen Zuluftanlage drei deckennahe Nachströmöffnungen in der Außenwand, oberhalb der mechanischen Zuluft einbringung, geöffnet werden.

Aufgrund der installierten lüftungstechnischen Einrichtungen konnten die nachfolgend beschriebenen und ausgewerteten Versuche, in denen das Verhalten der Raumluftkonzentrationen bei 0-, 1- und 5-fachem Luftwechsel ermittelt wurde, durchgeführt werden.

5. Erste Versuchsreihe

5.1 Versuchsaufbau und -ablauf

Die Durchführung der Versuche im Distribution Center, Jüchen, der Fa. 3M erfolgte mit Unterstützung der Fa. Dräger, Niederlassung Krefeld, dem TÜV Rheinland, Niederlassung Mönchengladbach und dem Landesumweltamt Essen.

In einem Regal in Hallenmitte wurden leere Kartons auf Paletten (in einem Regalfeld) von der untersten bis zur obersten Regalebene eingelagert. Aus einem durchlöchernten Karton auf der obersten Ebene wurde jeweils eine Menge von 45 l Methylethylketon (MEK) verschüttet. Dieser Vorgang dauerte jeweils ca. 5 Minuten, ein gesamter Versuch jeweils ca. 30 Minuten.

Das Lösemittel MEK wurde ausgewählt, da es den höchsten Dampfdruck der in reiner Form eingelagerten Materialien hat und dessen Freisetzung somit den "worst case" darstellt.

Einige Daten zu Methylethylketon:

- Dampfdruck: $p_D(20^\circ\text{C}) = 105 \text{ mbar}$
- Flammpunkt: -1°C
- Zündtemperatur: 505°C
- MAK-Wert: $200 \text{ ppm} = 590 \text{ mg/m}^3$

Die Anordnung der Infrarot-Gassensoren für die Versuche erfolgte an folgenden Stellen:

Meßpunkt	Ort	Höhe über Boden
1	Fußbodennähe, ca. 10 m von der "Unfallstelle" in Richtung der Abluftabsaugung und von dieser noch ca. 5 m entfernt	ca. 0,05 m
3	Fußbodennähe, direkt vor den gestapelten Kartons	ca. 0,05 m
2	1. Regalebene, links neben den gestapelten Kartons	ca. 1,8 m
4/5	3. Regalebene, links und rechts neben den Kartons, ca. 1,5 m auseinander	ca. 4,6 m
6	4. Regalebene, ca. 1 m vom Einfüllkarton entfernt	ca. 7,5 m

Die Sensoren wurden von der Fa. Dräger für Versuch 1 zunächst auf 10% UEG und für alle weiteren Versuche auf 50% UEG kalibriert. Die von allen Sensoren gemessenen Konzentrationen konnten an einem Anzeigergerät abgelesen werden; weiterhin wurden die von den Sensoren 1 bis 5 gemessenen Werte durch Schreiber/Computer registriert.

Während der Versuche lagen folgende Randbedingungen vor:

- Außentemperatur: ca. 23°C
- Innentemperatur: ca. $22,5^\circ\text{C}$
- Außenwindverhältnisse: gering
- Türen/Tore des VbF-Lagers: geschlossen

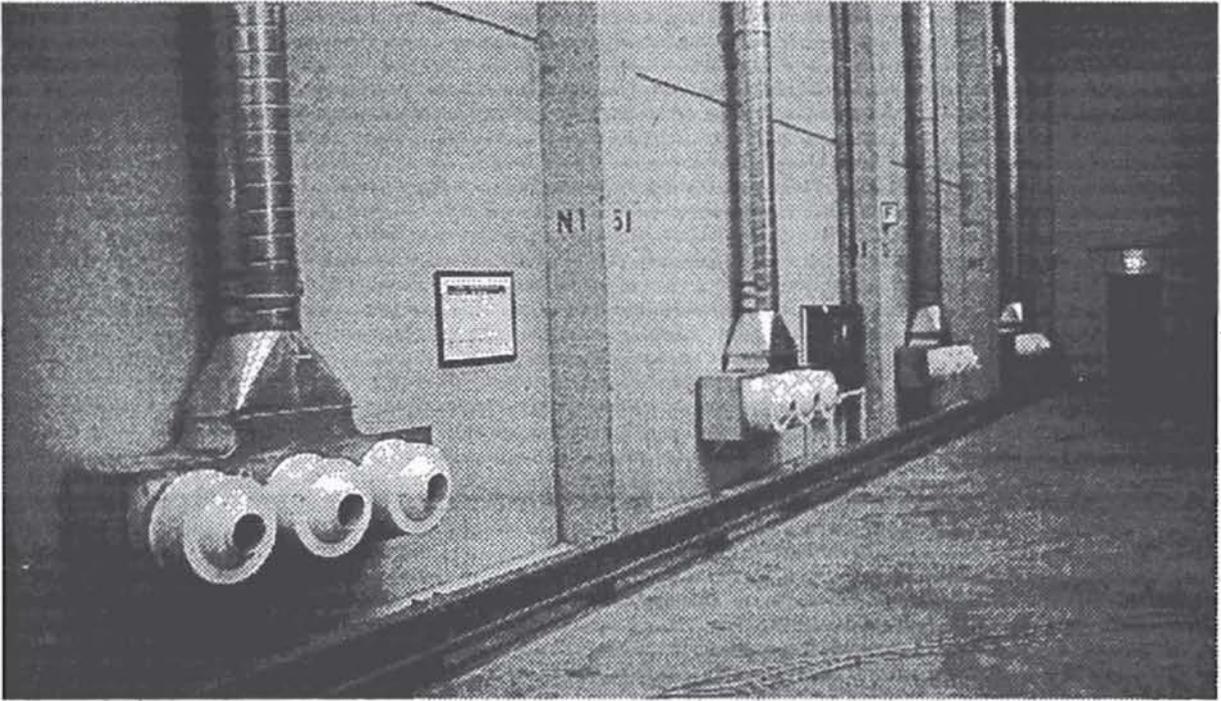


Bild 2: Weitwurfdüsen für die Zuluftfeinblasung (Quelle: 3M, Neuss)

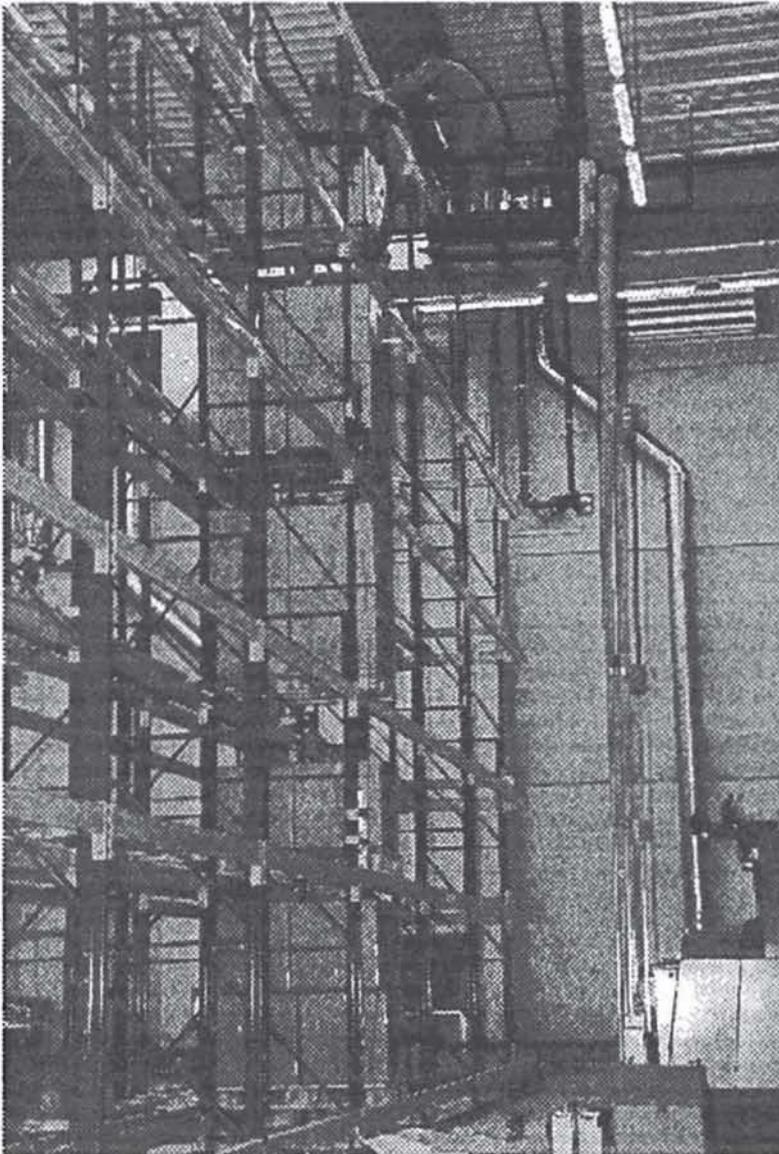


Bild 3: Versuchsaufbau für die Feldversuche im VbF-Lager (Quelle: 3 M, Neuss)

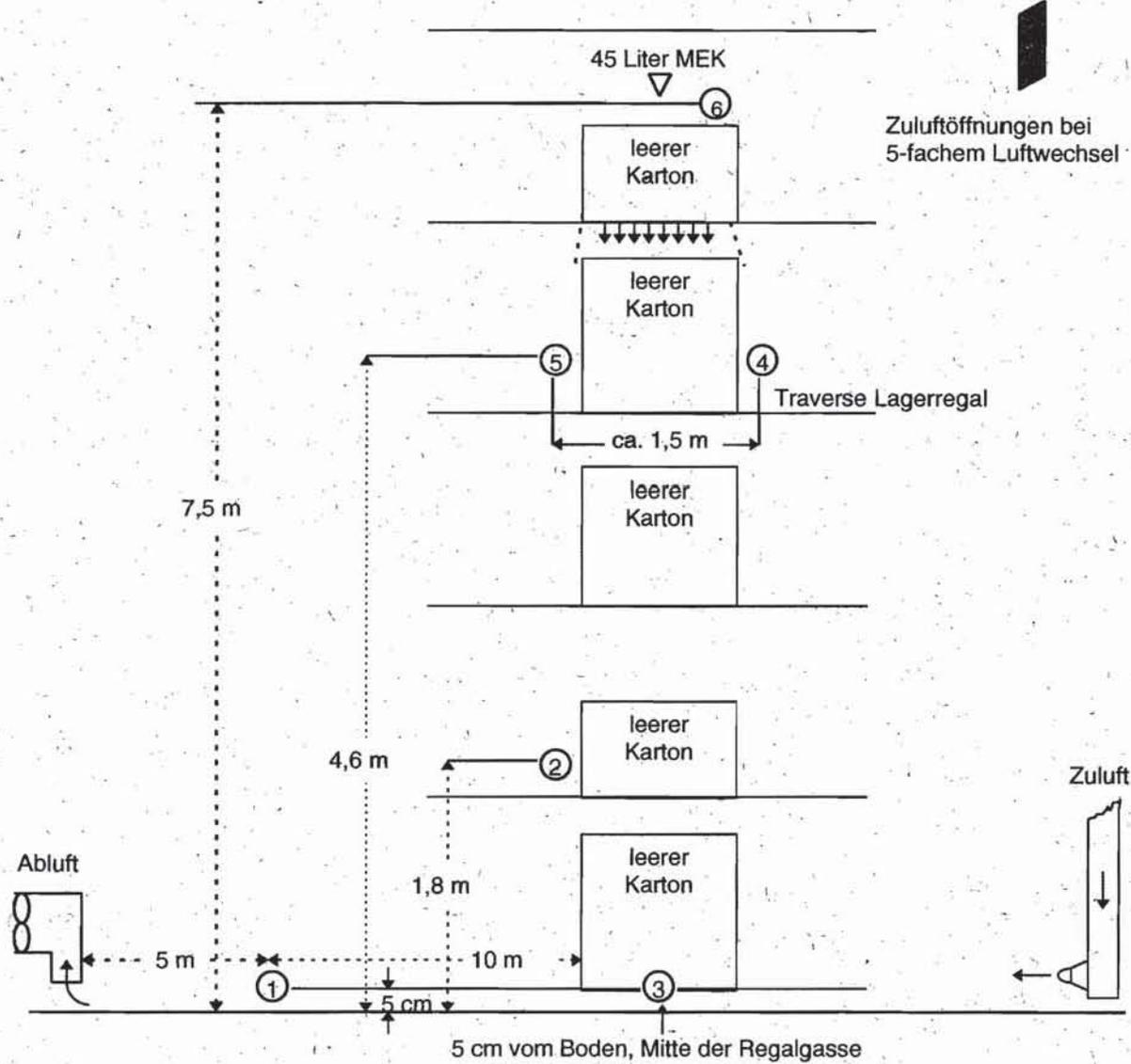


Bild 4: Anordnung der 6 Meßköpfe für die erste Versuchsreihe, (Quelle: 3 M, Neuss)

Die einzelnen Versuche liefen unter folgenden Lüftungstechnischen Bedingungen ab:

Versuch 1: ohne Lüftung

Der Versuch 1 stellte einen Probeversuch dar. Dabei wurde festgestellt, daß die Kalibrierung der Sensoren von 10% UEG auf 50% UEG erhöht werden mußte. Außerdem waren nach diesem Versuch die Kartons vom Lösemittel erst gut benetzt und durchnäßt, so daß für die Folgeversuche 2 bis 4 gleiche Voraussetzungen gegeben waren.

Versuch 2: ohne Lüftung

Versuch 3: 1-facher mechanischer Zu- und Abluftwechsel, mit spezieller Zuluft einblasung (Abluft = Zuluft in Bodennähe)

Versuch 4: 5-facher mechanischer Abluftwechsel mit natürlicher Nachströmung über vorhandene Öffnungen in einer Außenwand, den Absaugstellen gegenüber/wirksam in Bodennähe (seinerzeit aktuelles Anforderungsprofil der TRbF 110)

5.2 Versuchsergebnisse

Wie schon erwähnt, mußte der Versuch 1 als Probeversuch verworfen werden, weil die Konzentrationen höher als erwartet anstiegen. Deshalb wurden die Meßköpfe auf 50% UEG (MEK) kalibriert und der Versuch wiederholt. Auch diese Meßspanne wurde während der Versuche 2 bis 4 überschritten; kurzfristige Spitzenwerte (Peaks) lagen bei 60 bis 70% UEG (MEK). Mittels eines mobilen Ex-Meters wurde überprüft und bestätigt, daß auch gemessene Konzentrationen oberhalb der 50% UEG stimmig waren, so daß diese Kalibrierung beibehalten wurde.

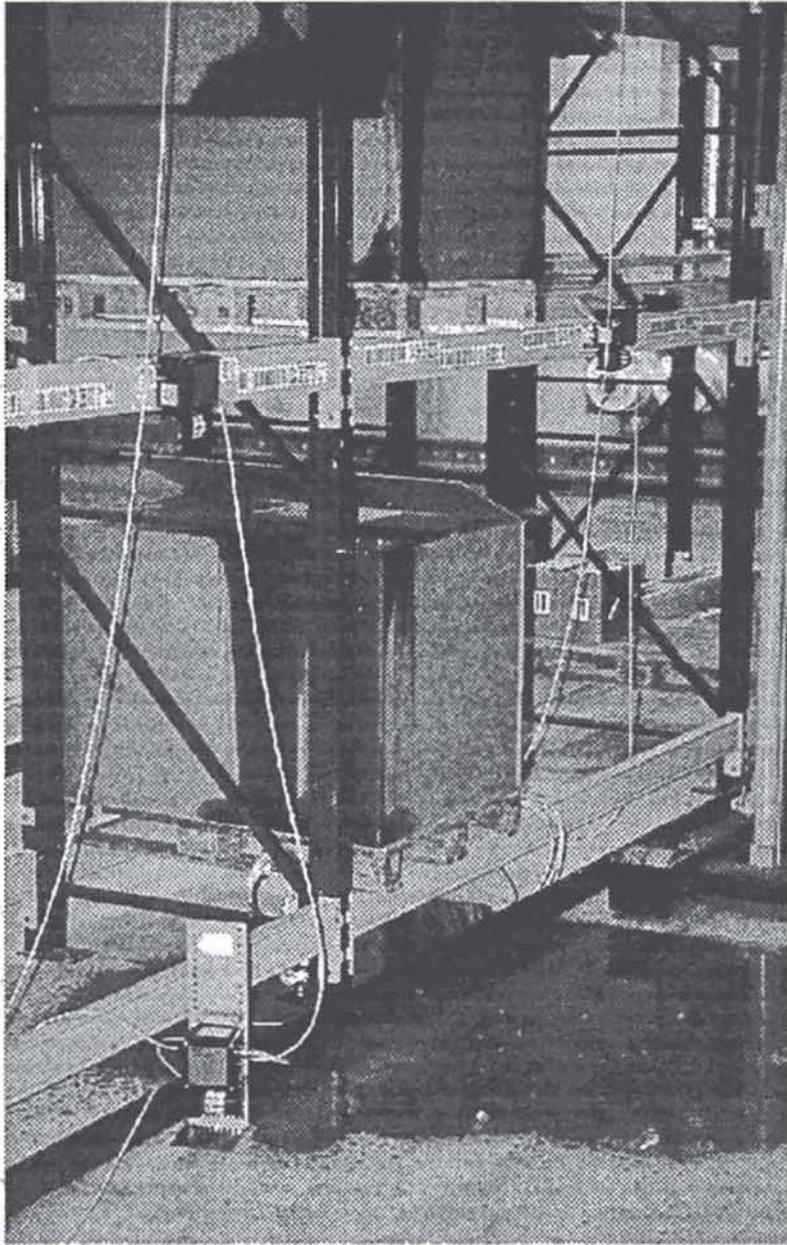


Bild 5: Getränkte Kartonagen und Bodenlache nach einem Feldversuch (Quelle: 3M, Neuss)

5.2.1 Ergebnisse Versuch 2

- Sensor 6: Konzentrationen während des Versuches unterhalb 1% UEG
- Sensor 5: Die max. Konzentration betrug ca. 30 % UEG, 20 % UEG wurde zweimal überschritten und zwar über eine Zeitdauer von ca. 0,7 Minuten
- Sensor 4: Die max. Konzentration betrug ca. 60 % UEG und wurde mehrfach kurzfristig während des Versuches überschritten. Weiterhin wurden folgende Konzentrationen ermittelt:
- 50 % UEG über ca. 2,5 Minuten
 - 40 % UEG über ca. 3,5 Minuten
 - 30 % UEG über ca. 4,1 Minuten
 - 20 % UEG über ca. 5,0 Minuten
- Sensor 3: Die max. Konzentration betrug kurzzeitig, aber mehrfach ca. 60 % UEG. Weiterhin wurden folgende Konzentrationen ermittelt:
- 50 % UEG über ca. 0,8 Minuten
 - 40 % UEG über ca. 2,7 Minuten
 - 30 % UEG über ca. 3,4 Minuten
 - 20 % UEG über ca. 5,1 Minuten
- Sensor 2: Die max. Konzentration betrug kurzzeitig ca. 60 % UEG. Weiterhin wurden folgende Konzentrationen ermittelt:
- 50 % UEG über ca. 0,1 Minuten
 - 40 % UEG über ca. 0,3 Minuten
 - 30 % UEG über ca. 1,6 Minuten
 - 20 % UEG über ca. 3,2 Minuten
- Sensor 1: Die max. Konzentration betrug über ca. 0,2 Minuten 23 % UEG. Weiterhin wurden folgende Konzentrationen ermittelt:
- 20 % UEG über ca. 0,5 Minuten
 - 15 % UEG über ca. 4,0 Minuten
 - 10 % UEG über ca. 4,5 Minuten

5.2.2 Ergebnisse Versuch 3

- Sensor 6: ca. 1 - 2 % UEG
- Sensor 5: Die max. Konzentration betrug zweimal kurzzeitig ca. 55 % UEG. Weiterhin wurden folgende Konzentrationen ermittelt:
- 50 % UEG über ca. 0,2 Minuten
 - 40 % UEG über ca. 0,4 Minuten
 - 30 % UEG über ca. 0,6 Minuten
 - 20 % UEG über ca. 3,5 Minuten

Sensor 4: Die max. Konzentration betrug ca. 70 % UEG. Weiterhin wurden folgende Konzentrationen ermittelt:

- 60 % UEG über ca. 0,5 Minuten
- 50 % UEG über ca. 1,0 Minuten
- 40 % UEG über ca. 1,7 Minuten
- 30 % UEG über ca. 2,3 Minuten
- 20 % UEG über ca. 3,5 Minuten

Sensor 3: Die max. Konzentration betrug ca. 60 % UEG und wurde dreimal kurzzeitig erreicht. Weiterhin wurden folgende Konzentrationen ermittelt:

- 50 % UEG über ca. 0,7 Minuten
- 40 % UEG über ca. 1,2 Minuten
- 30 % UEG über ca. 1,6 Minuten
- 20 % UEG über ca. 2,0 Minuten

Sensor 2: Die max. Konzentration betrug ca. 60 % UEG und wurde viermal kurzzeitig erreicht. Weiterhin wurden folgende folgende Konzentrationen ermittelt:

- 50 % UEG über ca. 0,7 Minuten
- 40 % UEG über ca. 1,3 Minuten
- 30 % UEG über ca. 1,5 Minuten
- 20 % UEG über ca. 1,7 Minuten

Sensor 1: Die max. Konzentration betrug ca. 33 % UEG. Weiterhin wurden folgende Konzentrationen ermittelt:

- 30 % UEG über ca. 0,1 Minuten
- 20 % UEG über ca. 0,4 Minuten
- 15 % UEG über ca. 1,0 Minuten
- 10 % UEG über ca. 2,8 Minuten

5.2.3 Ergebnisse Versuch 4

Sensor 6: ca. 1 - 2 % UEG

Sensor 5: Die max. Konzentration betrug ca. 50 % UEG. Weiterhin wurden folgende Konzentrationen ermittelt:

- 40 % UEG über ca. 0,4 Minuten
- 30 % UEG über ca. 0,4 Minuten
- 20 % UEG über ca. 11 Minuten

Sensor 4: Die max. Konzentration betrug ca. 65 % UEG. Weiterhin wurden folgende Konzentrationen ermittelt.

- 50 % UEG über ca. 2,1 Minuten
- 40 % UEG über ca. 3,0 Minuten
- 30 % UEG über ca. 3,2 Minuten
- 20 % UEG über ca. 3,7 Minuten

Sensor 3: Die max. Konzentration betrug ca. 65 % UEG. Weiterhin wurden folgende Konzentrationen ermittelt:

- 50 % UEG über ca. 3,2 Minuten
- 40 % UEG über ca. 4,7 Minuten
- 30 % UEG über ca. 5,0 Minuten
- 20 % UEG über ca. 5,0 Minuten

Sensor 2: Die max. Konzentration betrug ca. 65 % UEG. Weiterhin wurden folgende folgende Konzentrationen ermittelt:

- 50 % UEG über ca. 1,9 Minuten
- 40 % UEG über ca. 2,2 Minuten
- 30 % UEG über ca. 2,6 Minuten
- 20 % UEG über ca. 3,1 Minuten

Sensor 1: Die max. Konzentration betrug ca. 35 % UEG. Weiterhin wurden folgende Konzentrationen ermittelt:

- 30 % UEG über ca. 0,5 Minuten
- 20 % UEG über ca. 3,7 Minuten
- 15 % UEG über ca. 5,0 Minuten
- 10 % UEG über ca. 5,1 Minuten

5.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Um einen direkten Vergleich der einzelnen Versuche zu vereinfachen, wurden die zeitlichen Überschreitungen bestimmter Konzentrationswerte, ausgedrückt in %UEG, tabellarisch dargestellt. Diese Daten wurden zum größten Teil durch manuelle Auswertung der Meßschriebe gewonnen; Angaben über kurzzeitig, d.h. über wenige Sekunden aufgetretene Peaks wurden handschriftlichen Aufzeichnungen aus der Beobachtung des Ablesegerätes entnommen.

Aus der Tabelle wird eindeutig ersichtlich, daß bei 1-fachem Luftwechsel (Versuch Nr. 3) deutlich geringere zeitliche Überschreitungen der einzelnen Konzentrationsklassen auftreten im Vergleich zu den anderen Versuchen (ohne Lüftung bzw. mit 5-fachem Luftwechsel). Bei der Beurteilung der Konzentrationsspitzen (Peaks) ist zu beachten, daß die in der Tabelle mit einem "x" angedeuteten kurzzeitigen Peaks bei den Sensoren 2, 3, 4 und 5 zum Teil dadurch entstanden, daß die Sensoren direkt mit Lösemittelspritzern benetzt wurden.

Sensor	Ver- such- Nr.	Luft- wech- sel [h ⁻¹]	Zeitliche Überschreitung [min] der MEK-Konzentrationen								
			10 % UEG	15 % UEG	20 % UEG	30 % UEG	35 % UEG	40 % UEG	50 % UEG	60 % UEG	70 % UEG
5	2	0	-	-	5,0	x	-	-	-	-	-
	3	1	-	-	3,5	0,6	-	0,4	0,2	x	-
	4	5	-	-	11,0	0,4	-	0,4	x	-	-
4	2	0	-	-	5,0	4,1	-	3,5	2,5	-	-
	3	1	-	-	3,5	2,3	-	1,7	1,0	0,5	x
	4	5	-	-	3,7	3,2	-	3,0	2,1	x	-
2	2	0	-	-	3,2	1,6	-	0,3	0,1	x	-
	3	1	-	-	1,7	1,5	-	1,3	0,7	x	-
	4	5	-	-	3,1	2,6	-	2,2	1,9	x	-
3	2	0	-	-	5,1	3,4	-	2,7	0,8	x	-
	3	1	-	-	2,0	1,6	-	1,2	0,7	x	-
	4	5	-	-	5,0	5,0	-	4,7	3,2	x	-
1	2	0	4,5	4,0	0,5	-	-	-	-	-	-
	3	1	2,8	1,0	0,4	0,1	-	-	-	-	-
	4	5	5,1	5,0	3,7	0,5	x	-	-	-	-

x = kurzzeitige, d.h. wenige Sekunden andauernde Konzentrationsspitzen
(Peaks)

5.4 Rauchversuche

Im Anschluß an die oben beschriebenen Feldversuche wurden Rauchversuche durchgeführt, um Aufschlüsse über die im VbF-Lager auftretenden Luftströmungen zu erhalten. Die zielgerichtete Strömung im Bodenbereich von den Zuluftdüsen hin zu den Abluft-Absaugstellen wurde dadurch deutlich erkennbar. Vor allen Dingen wurde die ausgesprochen gute bodennahe Wirkung der auf die einzelnen Regalgassen ausgerichteten Dreiergruppen der Weitwurfdüsen ersichtlich.

Insgesamt bildet sich eine groß angelegte Luftwalze bis zur Decke hin, die zu einer deckennahen Rückströmung führt und so zum Teil sicherlich die erhöhten Konzentrationen in mehreren Metern Höhe, die durch die Sensoren 4, 5 und 2 gemessen wurden, erklären kann. Die Einteilung des Raumvolumens in Ex-Zonen (siehe Kap. 3.1.3), wobei die Ex-Zone 2 bis zur Decke reicht, wurde somit bestätigt.

Die Bilder 6 bis 8 zeigen in chronologischer Abfolge den Verlauf eines Rauchversuchs.

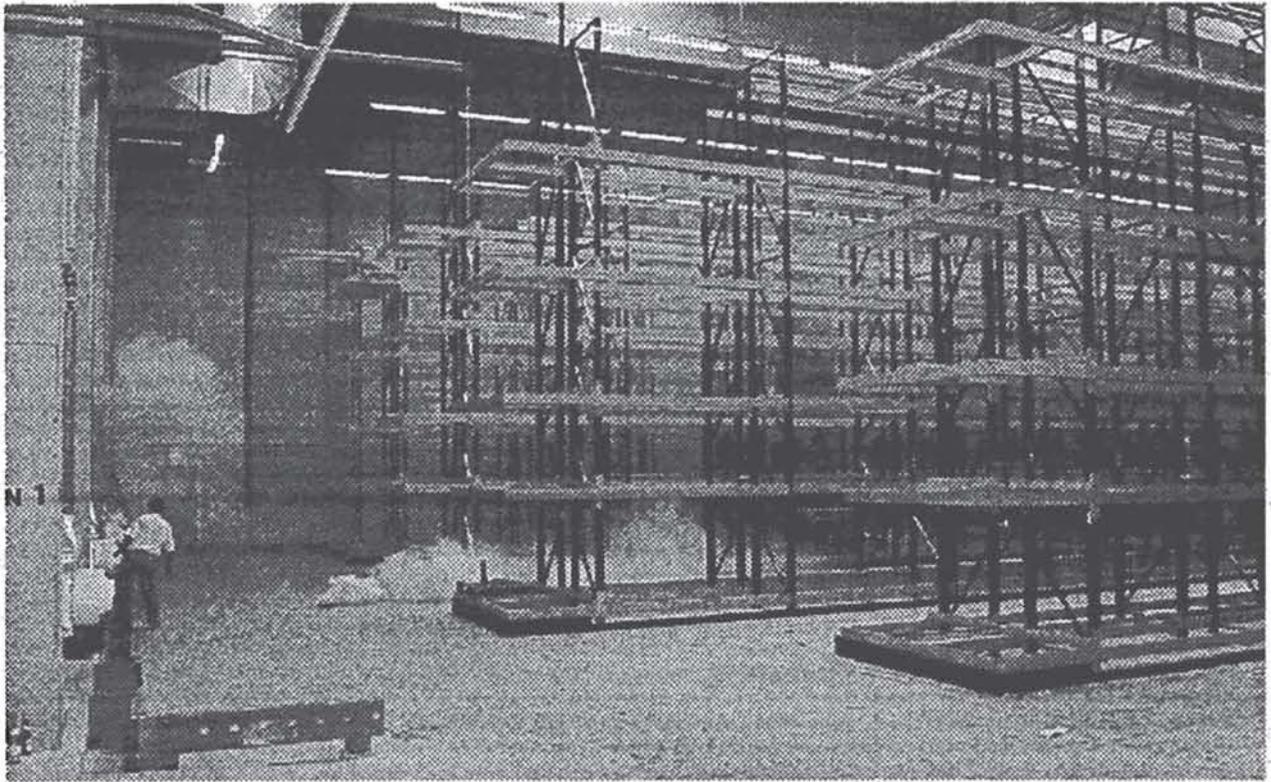


Bild 6: Rauchversuch (Quelle: 3M, Neuss)

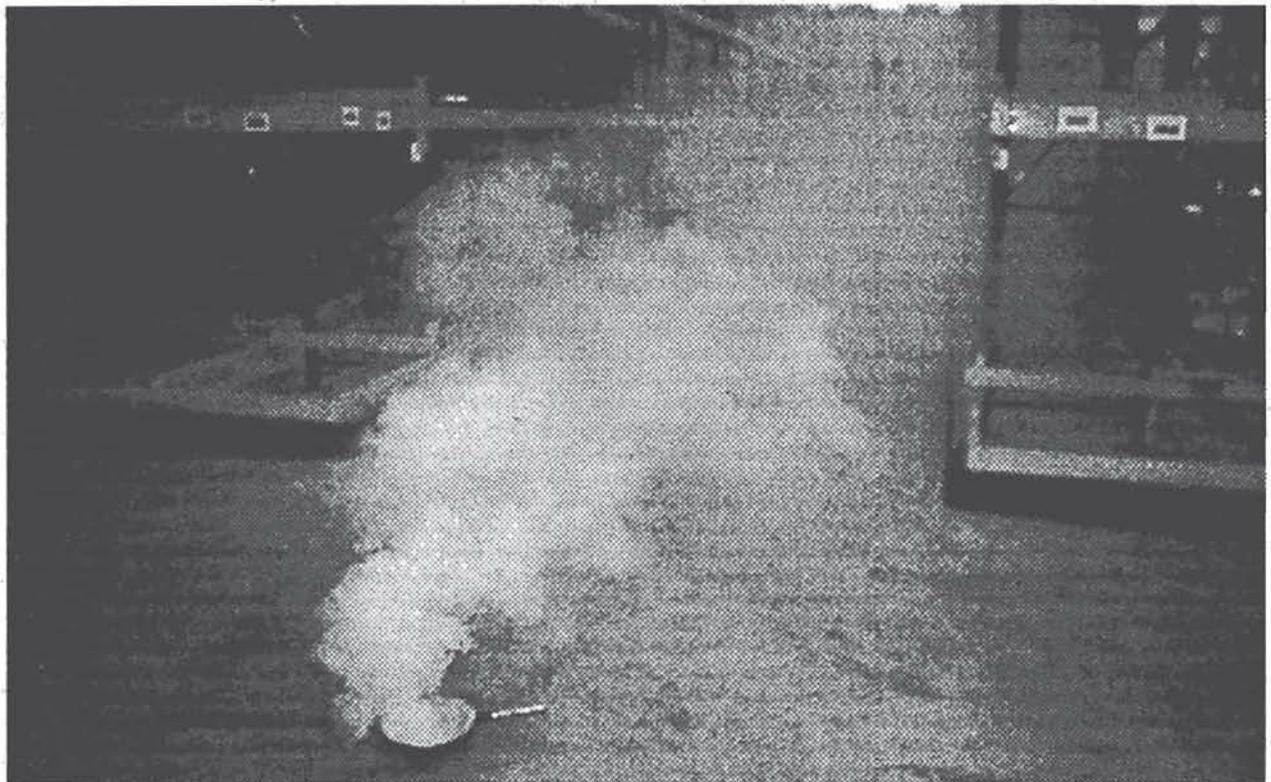


Bild 7: Rauchversuch (Quelle: 3M, Neuss)

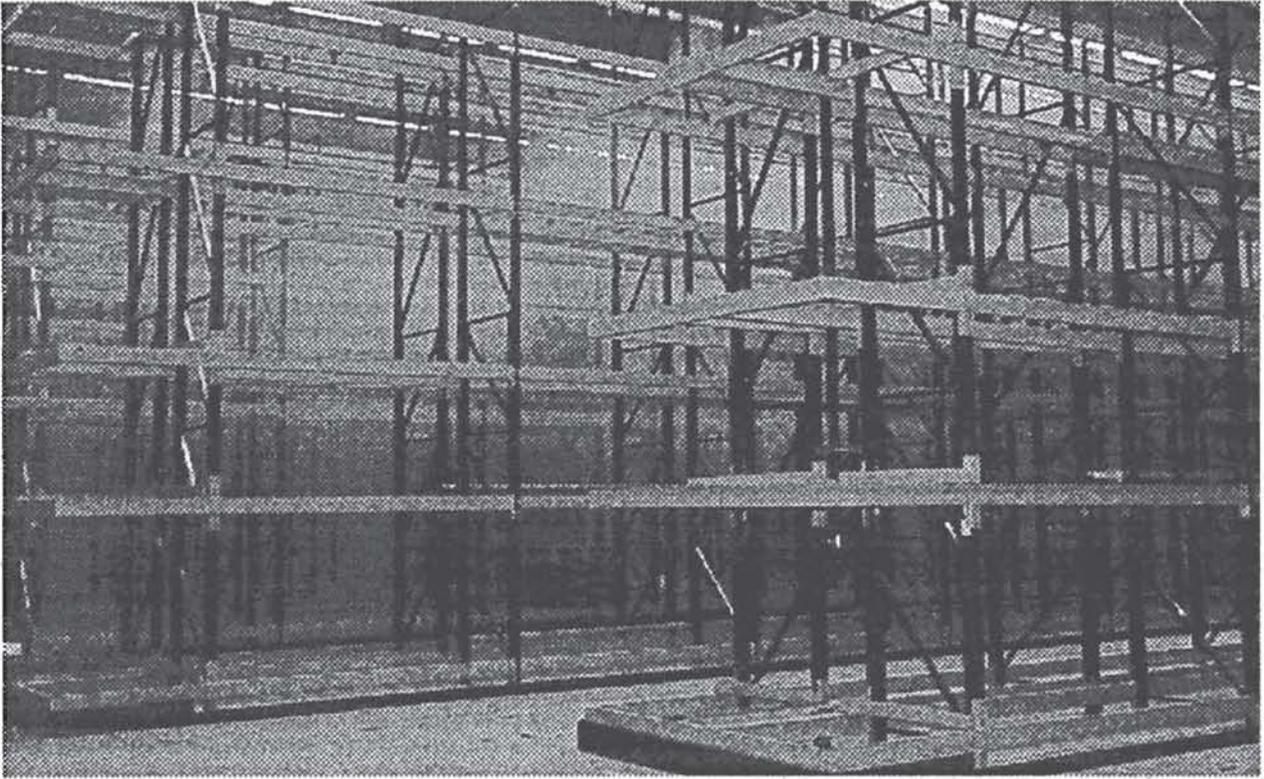


Bild 8: Rauchversuch (Quelle: 3M, Neuss)

6. Zweite Versuchsreihe

6.1 Versuchsaufbau und -ablauf

Versuchsaufbau und -ablauf waren im wesentlichen dem der ersten Versuchsreihe vergleichbar. Als Lösemittel wurde dieses Mal Ethylacetat verwendet, das ähnliche physikalische Daten wie Methylethylketon aufzuweisen hat, wie folgende Angaben belegen:

- Dampfdruck: $P_D(20^\circ \text{C}) = 97 \text{ mbar}$
- Flammpunkt: -1°C
- Zündtemperatur: 460°C
- MAK-Wert: $400 \text{ ppm} = 1.400 \text{ mg/m}^3$

Die Anordnung der Infrarot-Gassensoren wurde nach den aus der ersten Versuchsreihe gewonnenen Erkenntnissen modifiziert:

Meßpunkt	Ort	Höhe über Boden
1/2	3. Regelebene, links und rechts neben den Kartons, ca. 2,2 m auseinander	ca. 4,6 m
3/4	1. Regelebene, links und rechts neben den Kartons, ca. 2,2 m auseinander	ca. 1,8 m
5	Fußbodennähe, vor den gestapelten Kartons	ca. 0,05 m
6	Fußbodennähe, ca. 10 m von der "Unfallstelle" in Richtung der Abluftabsaugung und von dieser noch ca. 5 m entfernt	ca. 0,05 m

Diese Anordnung wurde u. a. deshalb gewählt, um eine direkte Benetzung der Sensoren mit Lösemittelspritzern, wie es bei den Versuchen der ersten Versuchsreihe aufgetreten ist, zu vermeiden. Die in der Tabelle aufgeführten 6 IR-Sensoren wurden für die Versuche installiert und von der Firma Dräger für alle Versuche auf 50 % UEG kalibriert. Um eine optimale Auswertung der gemessenen Lösemittelkonzentrationen bewerkstelligen zu können, wurde vom TÜV Rheinland, Niederlassung Mönchengladbach, eine rechnergestützte Meßtechnik installiert.

Abschließend bleibt anzumerken, daß inzwischen die in Kapitel 3.1.2 beschriebene Gaswarnanlage mit 9 Infrarot-Gassensoren installiert wurde. So konnten zum einen hiermit ergänzende Messungen während der Versuche durchgeführt werden und zum anderen daraus Erkenntnisse über die Anordnung und die Ansprechschwellen dieser Gassensoren gewonnen werden.

Während der zweiten Versuchsreihe lagen folgende Randbedingungen vor:

- Außentemperatur: $5,0 - 6,0^\circ \text{C}$
- Innentemperatur: $11,0 - 12,5^\circ \text{C}$
- Außenwindverhältnisse: gering
- Türen/Tore des VbF-Lagers: geschlossen

Hinsichtlich der Lüftungstechnischen Bedingungen wurden die Versuche 2 bis 4 der ersten Versuchsreihe, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, wiederholt.

Versuch 1: ohne Lüftung

Versuch 2: 1-facher mechanischer Zu- und Abluftwechsel, mit spezieller Zuluft einblasung (Abluft = Zuluft in Bodennähe)

Versuch 3: 5-facher mechanischer Abluftwechsel mit natürlicher Nachströmung über vorhandene Öffnungen in der Außenwand, den Absaugstellen gegenüber/wirksam in Bodennähe

Versuch 4: 5-facher mechanischer Abluftwechsel mit spezieller Zuluft einblasung und natürlicher Nachströmung über vorhandene Öffnungen in der Außenwand, den Absaugstellen gegenüber

6.2 Versuchsergebnisse

Nachfolgend werden die ermittelten Lösemittelkonzentrationen anhand von Meßkurven dargestellt. Hierzu ist erläuternd festzuhalten, daß es sich bei den Meßköpfen 1 - 9 um die inzwischen installierte Gaswarnanlage handelt. Die Zusatzmeßköpfe 1 - 6 sind die für die Versuche zusätzlich installierten Gassensoren, deren Positionierung aus Bild 9 ersichtlich wird.

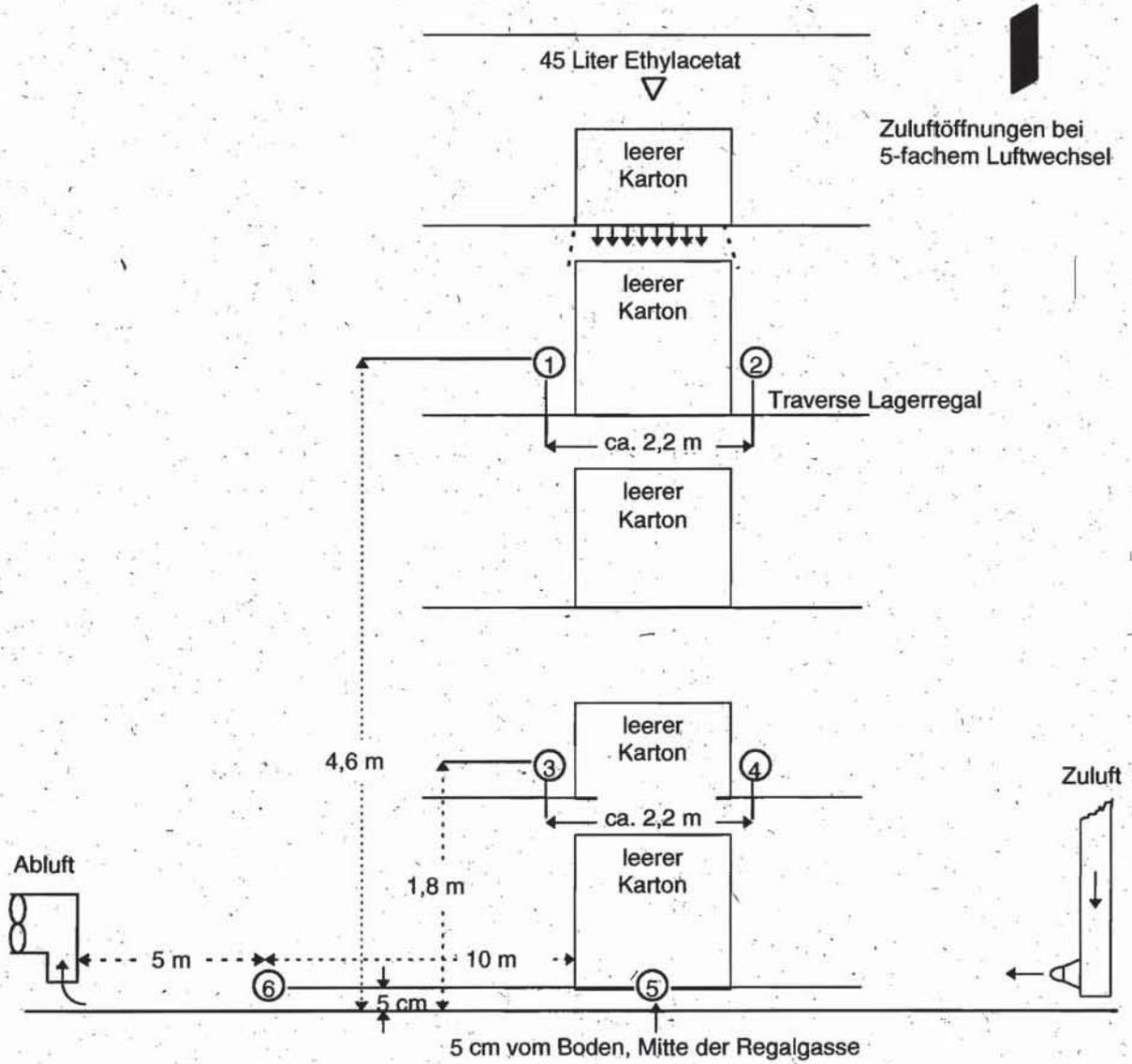


Bild 9: Anordnung der 6 Zusatzmeßköpfe für die zweite Versuchsreihe (Quelle: 3M, Neuss)

6.2.1 Ergebnisse Versuch 1

VbF-Lager 3M
Konzentrationsmessung 9.3.1995

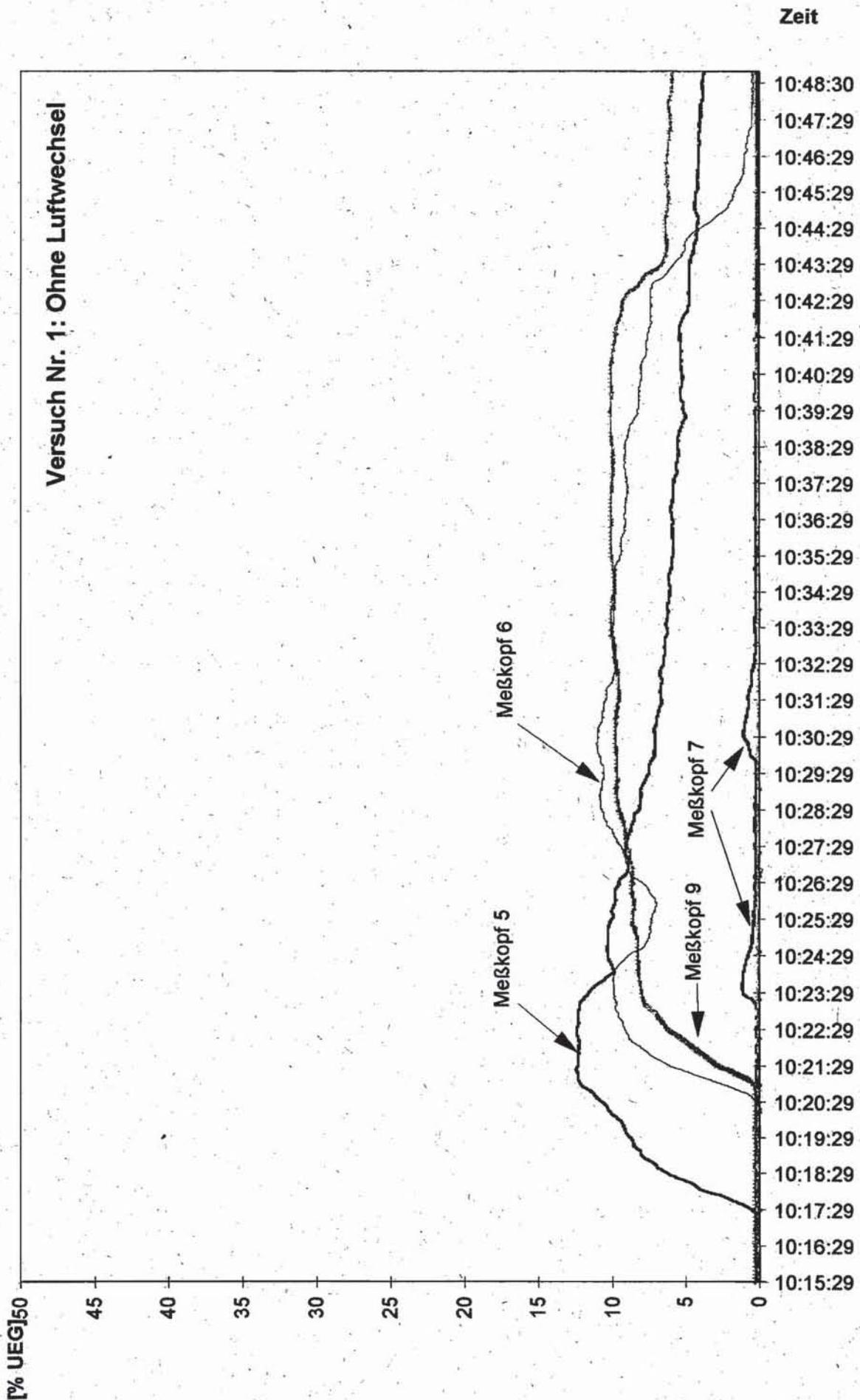


Bild 10: Konzentrationsverläufe, gemessen von den 9 Meßköpfen der Gaswarnanlage
(Quelle: TÜV, Mönchengladbach)

VbF-Lager 3M
Konzentrationsmessung 9.3.1995

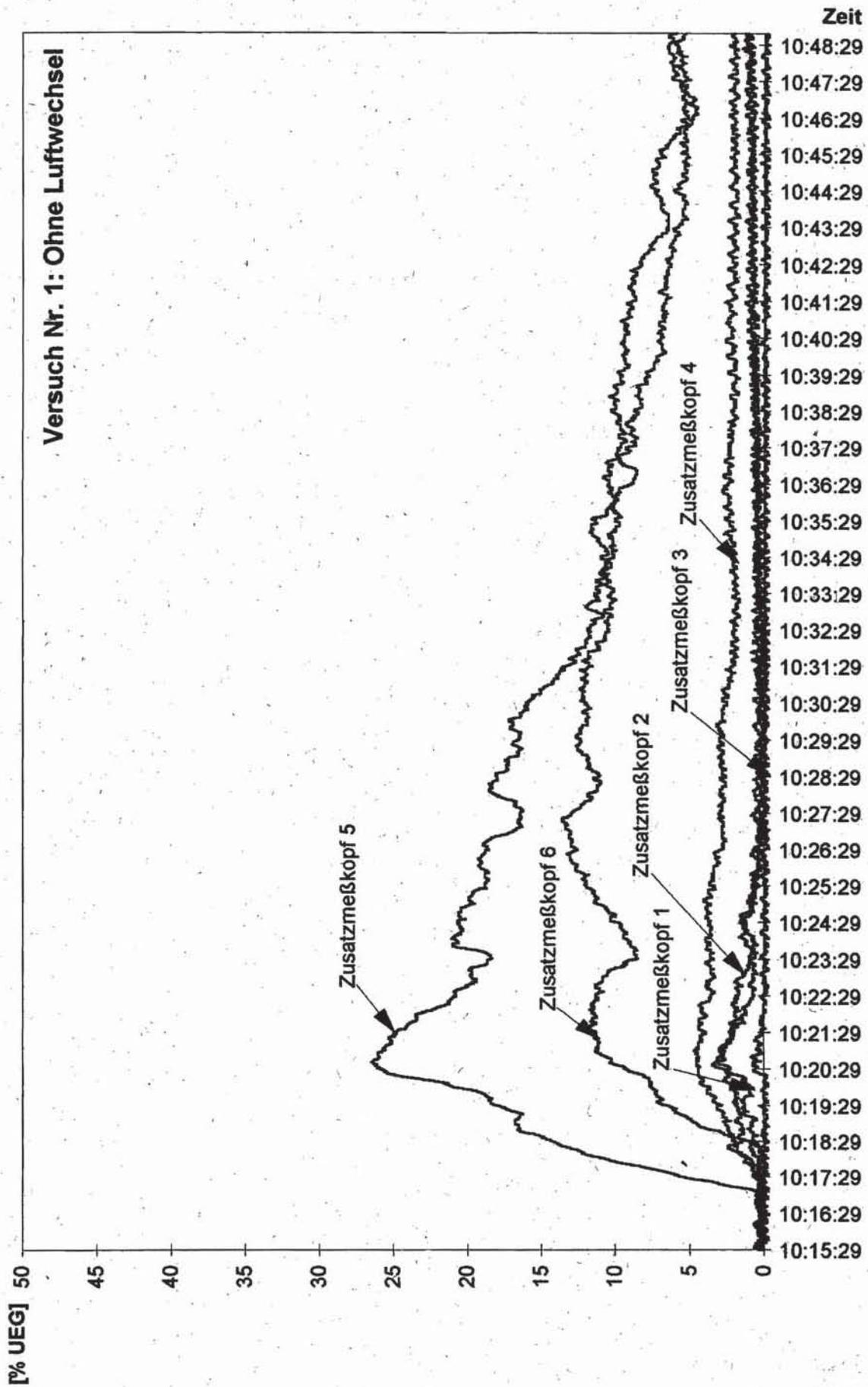


Bild 11: Konzentrationsverläufe, gemessen von den 6 Zusatzmeßköpfen
(Quelle: TÜV Mönchengladbach)

6.2.2 Ergebnisse Versuch 2

VbF-Lager 3M
Konzentrationsmessung 9.3.1995

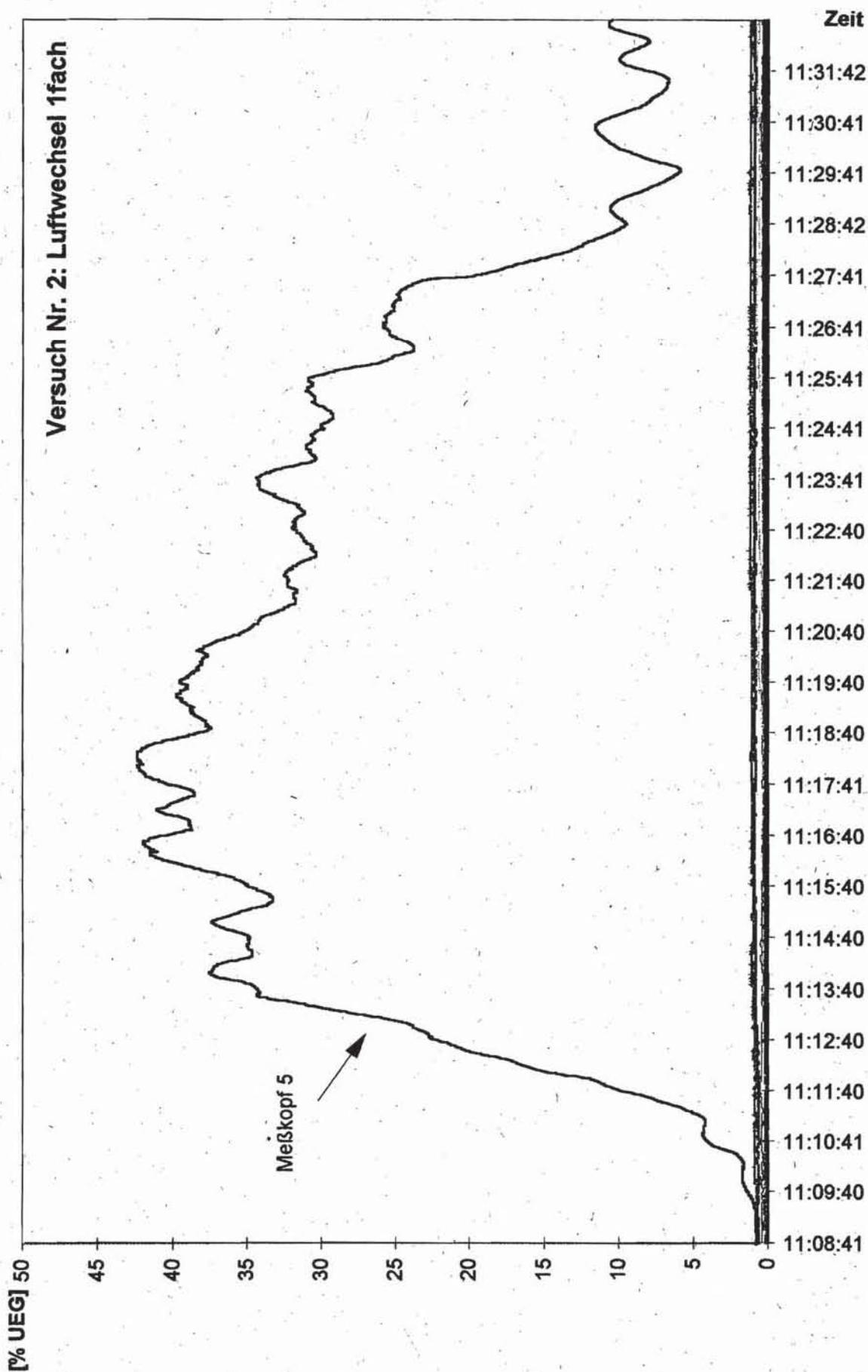
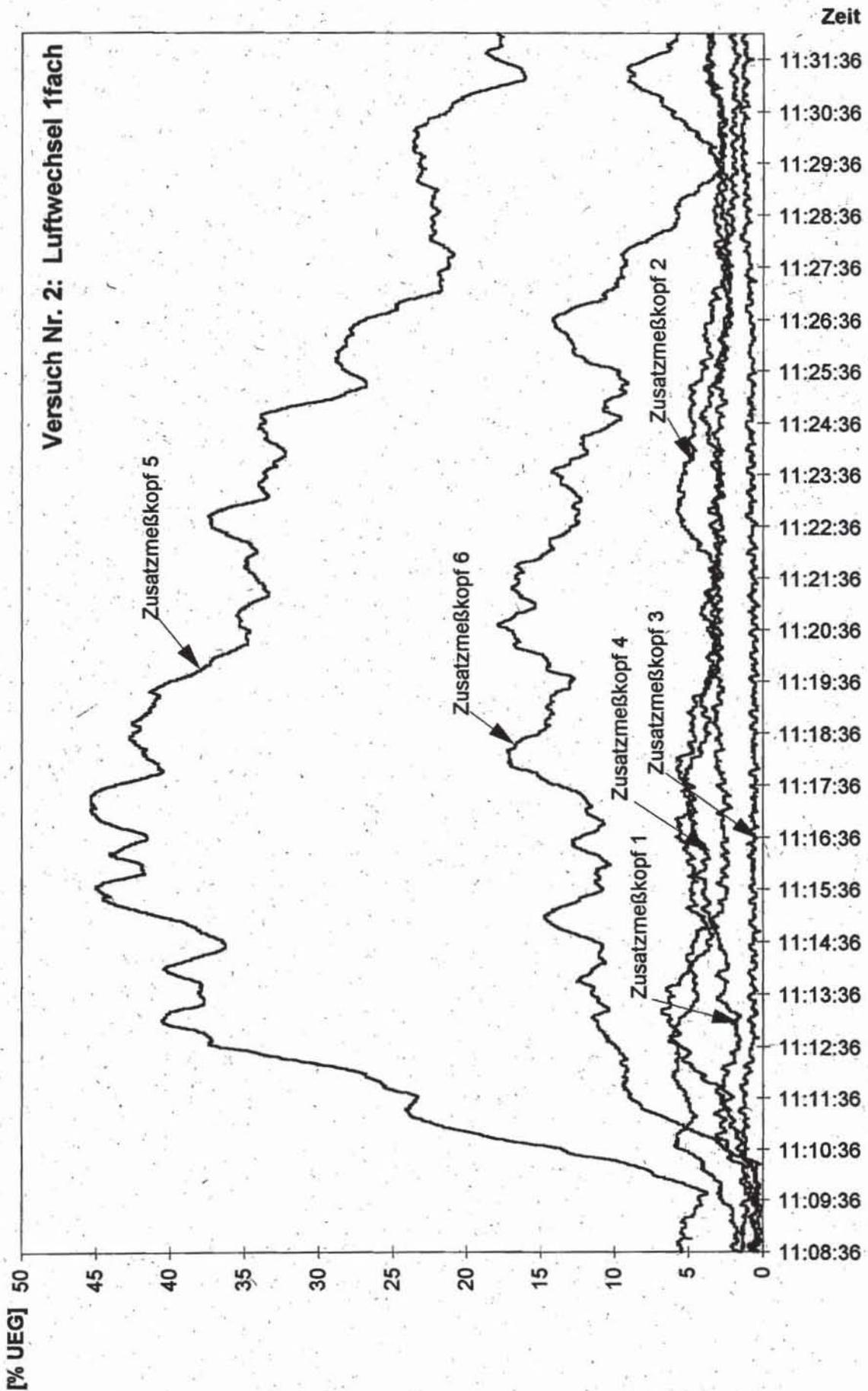


Bild 12: Konzentrationsverläufe, gemessen von den 9 Meßköpfen der Gaswarnanlage
(Quelle: TÜV, Mönchengladbach)

VbF-Lager 3M
Konzentrationsmessung 9.3.1995



6.2.3 Ergebnisse Versuch 3

VbF-Lager 3M
Konzentrationsmessung 9.3.1995

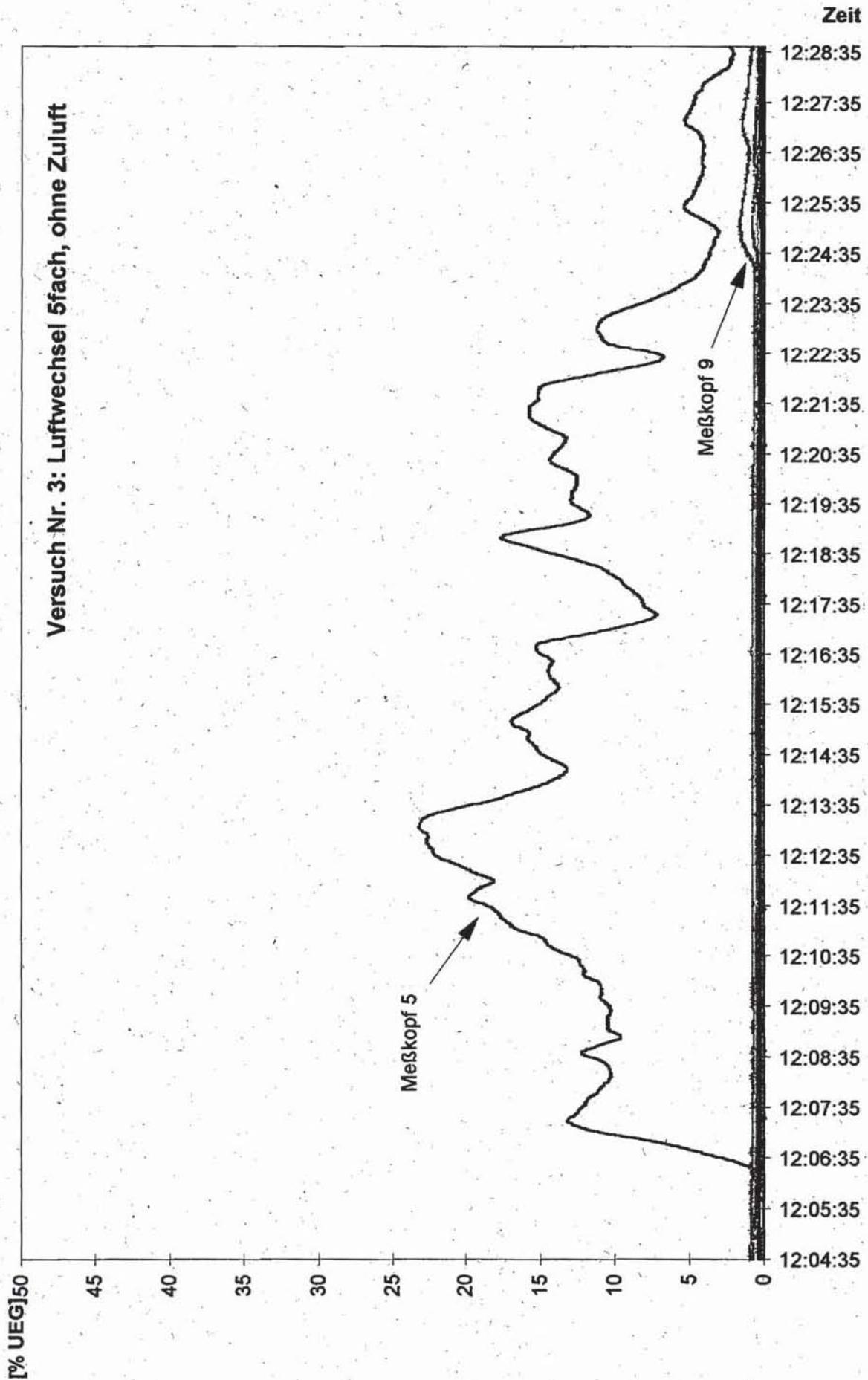


Bild 14: Konzentrationsverläufe, gemessen von den 9 Meßköpfen der Gaswarnanlage (Quelle: TÜV, Mönchengladbach)

VbF-Lager 3M
Konzentrationsmessung 9.3.1995

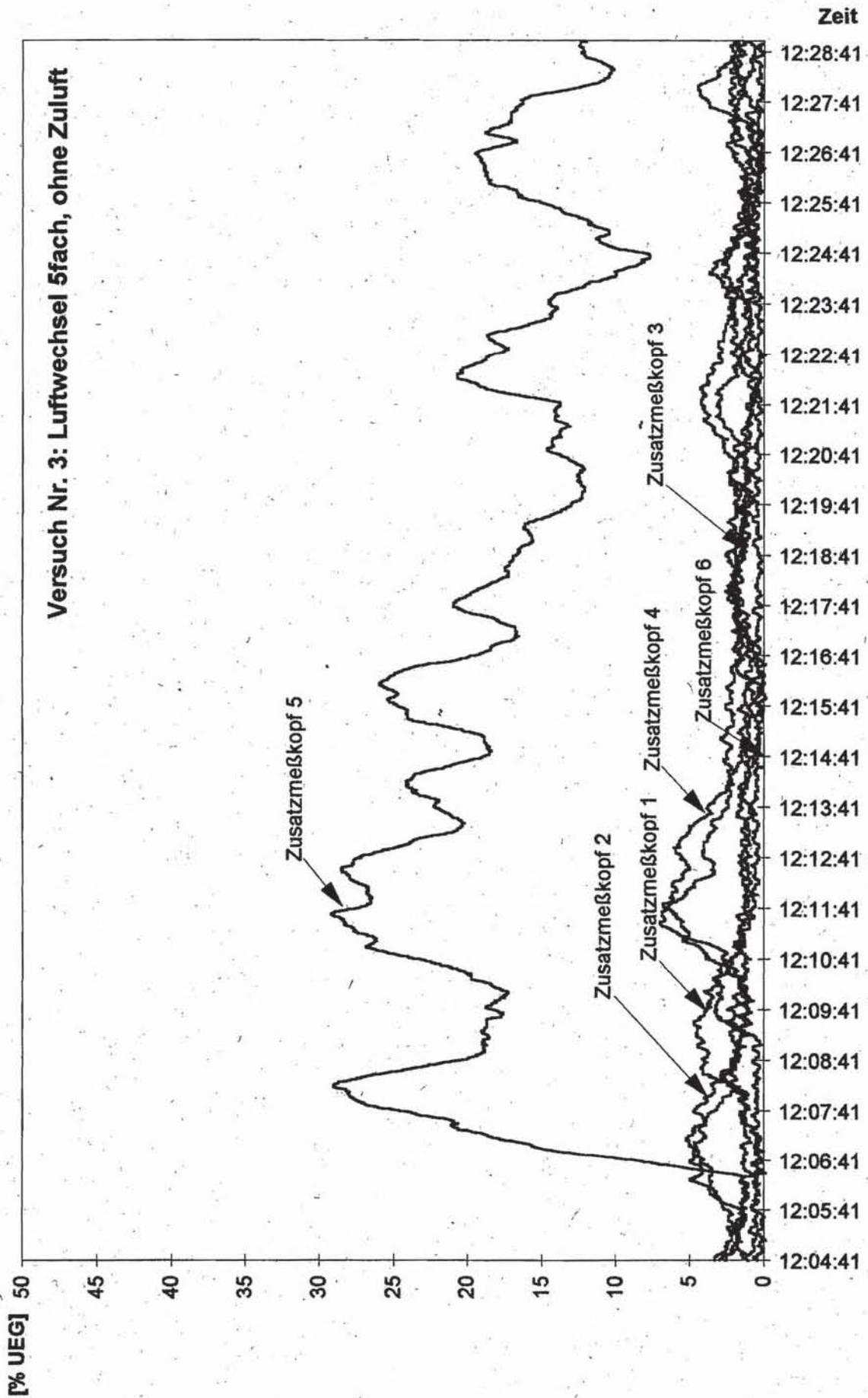


Bild 15: Konzentrationsverläufe, gemessen von den 6 Zusatzmeßköpfen
(Quelle: TÜV Mönchengladbach)

VbF-Lager 3M
Konzentrationsmessung 9.3.1995

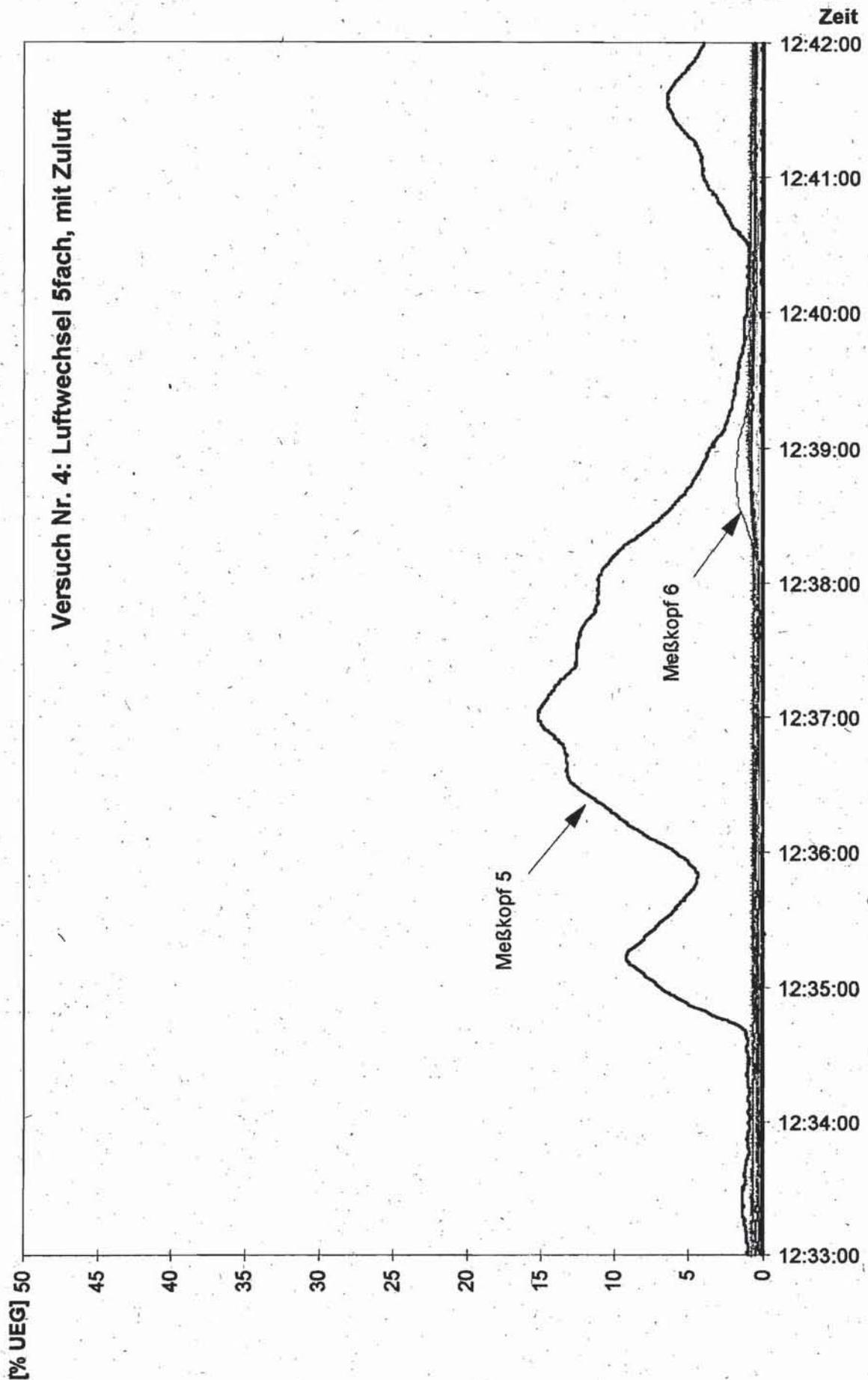
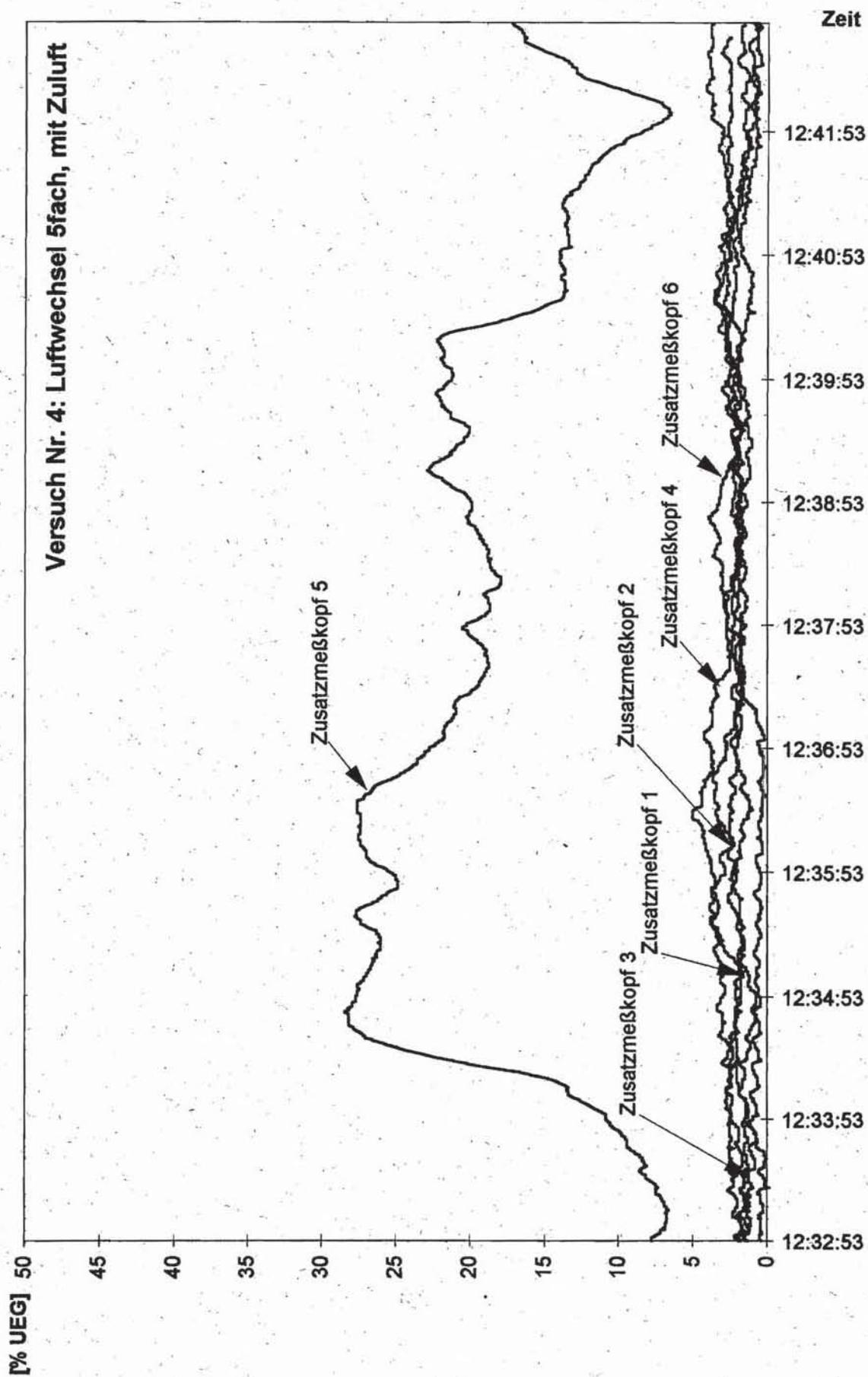


Bild 16: Konzentrationsverläufe, gemessen von den 9 Meßköpfen der Gaswarnanlage
(Quelle: TÜV, Mönchengladbach)

VbF-Lager 3M
Konzentrationsmessung 9.3.1995



6.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die Diagramme in Kap. 6.2 als Ergebnisse der Einzelversuche zeigen, daß hierbei niedrigere Lösemittelkonzentrationen im Vergleich zur ersten Versuchsreihe auftraten. Die jeweils am Zusatzmeßkopf 5 gemessenen Konzentrationsspitzen lagen bei:

- Versuch 1: ca. 26,4 % UEG
- Versuch 2: ca. 45,4 % UEG
- Versuch 3: ca. 29,2 % UEG
- Versuch 4: ca. 28,5 % UEG

Die niedrigeren Konzentrationen lassen sich durch folgende Umstände erklären:

1. Die Raumlufttemperatur betrug ca. 10 K weniger, so daß der Dampfdruck der freigesetzten Lösemittel während der zweiten Versuchsreihe erheblich niedriger war und wesentlich geringere Verdunstungsmengen hervorrief.
2. Um Meßwertverfälschungen durch die Benetzung einzelner Meßköpfe mit Lösemittelspritzern zu eliminieren, wurden die Zusatzmeßköpfe für die zweite Versuchsreihe ein wenig weiter vom Versuchsaufbau (Kartonagen) entfernt installiert (vergl. Tab. Kap. 5.1 u. Kap. 6.1).

Hinsichtlich der recht niedrigen Konzentrationen im Verlauf des Versuches 1 (ohne Lüftung) sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- a) Die Kartons in den Regalen waren noch nicht in dem Maße mit Lösemitteln getränkt wie in den nachfolgenden Versuchen, so daß die Abdampfungsoberfläche im Vergleich zu den Versuchen 2 bis 4 deutlich kleiner war.
- b) Die Leckagemenge ist mit 45 l zu niedrig, um ohne Lüftung, d. h. ohne wesentlichen konvektiven Stofftransport, höhere Raumluftkonzentrationen hervorrufen zu können.

Es zeigt sich aber anhand der durch die Meßköpfe der Gaswarnanlage erfaßten Konzentrationen, daß bei eingeschalteter Lüftung der Bereich höherer Lösemittelkonzentrationen in der Raumluft um einiges kleiner ist im Vergleich zu dem Versuch ohne Lüftung.

7. Abschließende Beurteilung der Versuche

Den durchgeführten Versuchen liegt das in Kap. 4.2 umrissene Szenario zugrunde, das als betriebliche Störung, d. h. Abweichung vom bestimmungsgemäßen Betrieb, vernünftigerweise nicht auszuschließen ist. Weiterhin ist es als konservativ zu bezeichnen, da andere denkbare, nicht vernünftigerweise auszuschließende Szenarien hierdurch abgedeckt werden.

Dies zeigt ein Vergleich mit Ergebnissen einer anderen Versuchsreihe, die auf dem Szenario "Lösemittellache auf dem Fußboden" basiert. Es wurde dabei aus einer 2 m² großen, von unten leicht beheizten Wanne (ca. 40° C) ebenfalls Methylethylketon (MEK) abgedampft, wobei



schon in geringer Entfernung (ca. 1 m) von den installierten Infrarot-Gassensoren Konzentrationen von nur noch ca. 10% UEG ermittelt wurden.

Die viel höheren Konzentrationen bei dem hier betrachteten Szenario (Kap. 4.2) lassen sich durch das mit Lösemittel getränkte Verpackungsmaterial, d.h. die Pappkartons in den Regalebenen unterhalb der Leckstelle, erklären. Diese Anordnung sorgt für eine große Abdampfungsoberfläche über die nahezu gesamte Höhe der luftdurchströmten Regalgasse.

Unterstellt man bei der vorgegebenen Lageranordnung (d.h. Lagergut, Gebindegrößen, Regalanordnung, Regalhöhe, etc.) größere Leckagen, so wird die benetzte Oberfläche an Verpackungsmaterialien kaum größer sein. Es wird lediglich mehr Flüssigkeit auf den Boden tropfen und sich eine mehr oder weniger große Lache ausbilden.

Zur Bewertung dieses Szenarios können die Versuchsergebnisse aus den Versuchsreihen zu beiden Szenarien überlagert und letztendlich der Schluß gezogen werden, daß auch hier die auftretenden Konzentrationen die untere Explosionsgrenze (UEG) nicht erreichen werden. Aufgrund der dann jedoch noch größeren räumlichen Verteilung der ausgelaufenen Flüssigkeit sowie der niedrigen Ansprechschwellen der installierten IR- Gasmessköpfe ist mit einem noch wesentlich schnelleren Ansprechen der Gaswarnanlage zu rechnen.

7.1 Lüftungskonzept

Generell ist eine Lüftung erforderlich zum Abtransport abgedampfter Leckagemengen, d. h. der Reduzierung von Lösemittelkonzentrationen in der Raumluft.

Abschließend kann aufgrund der Feldversuche festgestellt werden, daß das Lüftungssystem mit 1-fachem Luftwechsel und der besonderen Zuluft einblasung die gleiche Sicherheit wie das Lüftungssystem mit 5-fachem Luftwechsel gewährleistet. Aus Sicht der Verfasser ist dieses bodennah wirksame Lüftungssystem mit Zwangsbelüftung sogar noch wirkungsvoller als der seinerzeit in der TRbF 110 festgelegte 5-fache Luftwechsel mit freier Nachströmung auf der Zuluftseite.

Diese Aussage gilt strenggenommen erst einmal nur für die spezifischen Randbedingungen des Versuchsortes hinsichtlich Konzeption der Lüftungsanlage, Gebäude- und Regalgeometrie, Gebindegröße, etc.

Hervorzuheben ist vor allem die Zuluft einblasung mittels Weitwurfdüsen. In Bodennähe ergibt sich damit eine gezielte Luftströmung von der Zuluft - zur Abluftseite. Während der Rauchversuche konnte festgestellt werden, daß hiermit am Versuchsort eine Luftgeschwindigkeit von 1,0 - 1,5 m/s realisiert werden konnte. Bei mit Lagergut gefülltem VbF-Lager ist in den Regalgassen eine noch höhere Luftgeschwindigkeit zu erwarten. Es kommt also zu einer sofortigen Abführung, d. h. Konzentrationssenkung, der Lösemitteldampf Wolke am Unfallort und damit von den dort vorhandenen möglichen Zündquellen der möglicherweise vorhandenen Flurförderzeuge.

Wie die Versuche ohne Lüftung zeigen, wird unter den gegebenen Randbedingungen (Freisetzungsmenge 45 l, Lösemittel: MEK, Ethylacetat) die untere Explosionsgrenze nicht

erreicht. In Abhängigkeit vom Lagergut und von der Gebindegröße sollte deshalb eine Abschaltung der Grundlüftung außerhalb der Betriebszeiten möglich sein, wenn eine Gaswarnanlage, die die in Kap. 7.2 aufgeführten Kriterien erfüllt, installiert wurde. Eine automatische Wiederinbetriebnahme der Lüftungsanlage muß dann erfolgen

- über eine Schaltuhr mindestens eine halbe Stunde vor Betriebsbeginn,
- bei Ansprechen eines oder mehrerer Gassensoren.

7.2 Gaswarnanlage

Aus der zweiten Versuchsreihe stehen Meßergebnisse der Gaswarnanlage zur Verfügung, die Aussagen über Anzahl und Positionierung der Meßköpfe zulassen.

Während der Versuche mit eingeschalteter Lüftung zeigte sich, daß lediglich am Meßkopf 5 der Gaswarnanlage höhere Konzentrationen, deutlich oberhalb von 5 % UEG, gemessen wurden, und dies auch nur, weil dieser Meßkopf sich in der Nähe der Bodenlache in Strömungsrichtung der Raumluft befand. Die übrigen Meßköpfe der Gaswarnanlage detektierten Lösemittelkonzentrationen von weniger als 2 % UEG über die gesamte Versuchsdauer.

Die niedrigen Konzentrationen ergaben sich zum Teil durch den Umstand, daß sie in Bezug auf den "Unfallort" und die herrschenden Strömungsverhältnisse im "Windschatten" des installierten Anfahrschutzes der Regale lagen. Dies wird deutlich, wenn man die Lage der Meßköpfe 5 und 6 der Gaswarnanlage sowie der Zusatzmeßköpfe Z5 und Z6 (siehe Bild 1) und die von diesen Sensoren gemessenen Lösemittelkonzentrationen für jeden Versuch miteinander vergleicht.

Die aus den Feldversuchen gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Gaswarnanlage lassen sich in den nachfolgend aufgeführten Punkten zusammenfassen:

1. Grundsätzlich müssen bei der Konzeption einer Gaswarnanlage aufeinander abgestimmt werden:
 - das **Lüftungskonzept**, da die Strömungsverhältnisse im Lager die Detektion von Lösemitteldämpfen in der Raumluft beeinflussen
 - das **Meßprinzip** der Gassensoren, d. h. die daraus resultierenden, einstellbaren Alarmschwellen
 - die **Anordnung bzw. Verteilung** der Gassensoren, um auftretende Leckagen frühzeitig erkennen zu können
2. Es hat sich als notwendig erwiesen, nur Meßköpfe auszuwählen, deren Meßprinzip es erlaubt, Konzentrationen von unter 1 - max. 5 % UEG messen und entsprechende Alarmschwellen einstellen zu können. Bei der Wahl solcher Meßköpfe ist die Verteilung so vorzunehmen, daß jeder Sensor eine Lagergrundfläche von 100 - 150 m² überwacht. In einem Lagerraum sind jedoch mindestens zwei Gassensoren zu installieren.

Bei Gassensoren, deren Meßprinzip nur Alarmschwellen von ca. 20 % UEG zulassen, muß eine sehr viel dichtere Belegung, d. h. ein Meßkopf pro ca. 30 - 50 m² Lagergrundfläche, vorgenommen werden.

3. In unmittelbarer Nähe der Abluftabsaugstellen sind ebenfalls Gasspürköpfe anzuordnen. Die Installation direkt im Abluftkanal ist nicht ratsam, da hier zu hohe Strömungsgeschwindigkeiten die Meßergebnisse erheblich verfälschen können.
4. Die Sensoren der Gaswarnanlage sind unter den Regaltraversen anzuordnen, da hier bei einer Leckage die höchsten Lösemittelkonzentrationen und damit eine frühzeitige Alarmierung zu erwarten sind. Die Meßköpfe sind ca. 5 cm über dem Boden zu installieren. Damit die Konzentrationsmessung nicht von den Regalen als Strömungshindernissen beeinflusst wird, müssen die erste Einlagerungsebene sowie der Anfahrerschutz für die Regale, soweit umlaufend, oberhalb der Meßköpfe, d. h. mehr als 5 cm über dem Boden, liegen.

7.3 Ex-Zonen-Einteilung

Die beiden dargestellten Versuchsreihen gemäß dem in Kap. 4.2 formulierten Szenario wurden bei verschiedenen Raumlufttemperaturen durchgeführt. Ein Vergleich der gemessenen Konzentrationen aus den Versuchsreihen läßt, da die Dampfdrücke von Methylethylketon (MEK) und Ethylacetat nur geringfügig voneinander abweichen, den Temperatureinfluß deutlich erkennen.

Mit zunehmender Raumlufttemperatur steigt die Abdampftrate und damit die Raumluftkonzentration der Lösemittel. Zudem tritt bei niedrigen Außentemperaturen wegen einer starken Thermik in der Lagerhalle eine gute Verdünnung im unteren Bereich des Raumluftvolumens auf. Bei hohen Außentemperaturen ist keine Thermik vorhanden, so daß eine Anreicherung von Lösemitteldämpfen am Boden zu verzeichnen ist.

Insgesamt muß die Einteilung des Raumvolumens in Ex-Zonen, wie in Kap. 3.1.3 beschrieben, gut geheißen werden, da im Verlauf der durchgeführten Versuche noch in mehreren Metern Höhe Raumluftkonzentrationen von 60 bis 70 % UEG (MEK) auftraten.

Dies erklärt sich zum einen, wie oben erwähnt, mit den benetzten Kartonagen und zum anderen mit der in Kap. 5.4 angesprochenen Luftwalze.

Wenn man zudem berücksichtigt, daß auch Stoffe wie Aceton ($p_D(20^\circ \text{C}) = 233 \text{ mbar}$) oder Isopentan ($p_D(20^\circ \text{C}) = 780 \text{ mbar}$) zu den VbF AI-Flüssigkeiten gehören und um vieles höhere Dampfdrücke als die bei den Feldversuchen verwendeten Stoffe besitzen, ist die Ergänzung unter Nr. 6.7 der TRbF 110 sehr kritisch zu bewerten. Eine Beschränkung der Ex-Zone 2 auf 1,5 m über dem Boden sollte jedenfalls nach Ansicht der Verfasser nicht die Allgemeingültigkeit hinsichtlich des Lagergutes und anderer Parameter erhalten, die sie derzeit durch das Regelwerk erhält.

7.4 Flurförderzeuge

Wie aus dem in Kap. 4.1 erwähnten DAbF-Vorschlag zu ersehen ist, befindet sich auch der Explosionsschutz an Flurförderzeugen in der Diskussion.

Aus den durchgeführten Versuchen wird ersichtlich, daß kritische Lösemittelkonzentrationen in der Raumluft durchaus für bestimmte Zeiten auf begrenztem Raum auftreten können, insbesondere dann, wenn noch ungünstigere Randbedingungen (größere Gebinde, höhere Raumlufttemperatur, etc.) gegeben sind.

Da Flurförderzeuge in vielen Leckagefällen die nächstgelegene Zündquelle darstellen können, ergibt sich Handlungsbedarf hinsichtlich deren Ausstattung:

- Grundsätzlich sollten wegen der vorhandenen heißen Oberflächen keine Gas- oder Dieselbetriebenen, sondern nur elektrisch betriebene Flurförderzeuge eingesetzt werden.
- Bei dem untersuchten Szenario (siehe Kap. 4.2) kann sich Lösemittel direkt auf das Flurförderzeug ergießen. Deshalb müssen die funkenreißenden elektrischen Betriebsmittel der Fahrzeuge so abgedeckt und abgedichtet werden, daß Flüssigkeiten nicht in den Innenraum gelangen können. Dies kann z. B. realisiert werden durch geschlossene Fahrerschutzdächer sowie die Ausstattung von Abdeckklappen mit Dichtlippen (elektrische Betriebsräume, Motorklappen, Abdeckungen der Schaltschütze, usw.).
- Bei einem Unfall oder Ansprechen der Gaswarnanlage (Ertönen der Alarmhupe) muß umgehend eine qualifizierte Stillsetzung der Flurförderzeuge erfolgen.
 - Fahrerbetriebene Fahrzeuge sind manuell, z.B. über Not-Aus-Taster bzw. Entfernen des Fußes vom Fahrpedal, stillzusetzen.
 - Automatisch betriebene, fahrerlose Fahrzeuge müssen automatisch, direkt durch die Gaswarnanlage, stillgesetzt werden.
 - Ideal wäre es, wenn Flurförderzeuge, die in VbF-Lägern eingesetzt werden, mit einem bodennah installierten Gasmeßkopf ausgerüstet würden. Geeignete Gaswarnsysteme mit Meßköpfen sind auf dem Markt verfügbar und werden bereits eingesetzt.
- Bei Umsetzung der vorab dargestellten Maßnahmen bestehen aus Sicht der Verfasser keine Bedenken, Elektroflurförderzeuge normaler Bauart in VbF-Lägern einzusetzen, auch wenn diese in den Lägern ständig anwesend sind, da mögliche Leckagen und bereits geringe, d.h. ungefährliche, Lösemitteldampfkonzentrationen sicher erkannt und qualifizierte Maßnahmen eingeleitet werden können.
- Zu berücksichtigen ist weiterhin, daß möglicherweise anfallende Leckagen entweder mit explosionsgeschützten Fahrzeugen oder mit manuell betriebenen Geräten und Einrichtungen beseitigt werden.

Seit 1. April 1994 sind bisher folgende „Materialien“ des Landesumweltamtes NRW erschienen:

- | | | |
|----|---|----------|
| 1 | Der Dynamische Daphnientest
– Erfahrungen und praktische Hinweise –
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 44 S. | 15,00 DM |
| 2 | Umsetzung der TA-Siedlungsabfall bei Deponien
2. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 99 S. | 15,00 DM |
| 3 | Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 153 S. | 20,00 DM |
| 4 | Einsatz alternativer Baustoffe in Abdichtungssystemen
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 91 S. | 15,00 DM |
| 5 | Einwicklung im Bereich der Sonderabfallentsorgung
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 39 S. | 15,00 DM |
| 6 | Ökologische Auswirkungen von Fischteichen auf Fließgewässer
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 208 S. | 25,00 DM |
| 7 | Ökologische Effizienz von Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 462 S. | 28,00 DM |
| 8 | Vermeidung von Bunkerbränden in Abfallverbrennungsanlagen mit Hilfe
der Infrarot-Thermographie
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 53 S. | 15,00 DM |
| 9 | Prozeßleittechnik in Anlagen der chemischen Industrie –
Anlagenschutz und sicherheitsrelevante Komponenten.
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 119 S. | 20,00 DM |
| 10 | Sicherheitstechnische Hinweise und Anforderungen an Abschott- und
Entlastungssysteme aus der Sicht der Störfall-Verordnung
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 40 S. | 15,00 DM |
| 11 | Literaturstudien zum PCDD/F-Transfer vom Boden in die Nahrungskette
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 149 S. | 25,00 DM |
| 12 | Die verlust- und kontaminationsfreie Probenahme und -vorbereitung
von Wässern und Feststoffen
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 203 S. | 28,00 DM |
| 13 | Essener Verfahren zur Bewertung von Altlastenverdachtsflächen
– Erstbewertung und normierte Charakterisierung –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 66 S. | 15,00 DM |
| 14 | Optimierung der thermischen Behandlung organischer chlorhaltiger
Problemabfälle
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 132 S. | 25,00 DM |
| 15 | Entsorgungsbericht 1993 über Sonder- und Massenabfälle in NRW
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 75 S. | 20,00 DM |
| 16 | Begleitende meßtechnische Erfolgskontrolle bei der Sanierung
einer Textilreinigungsanlage
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 60 S. | 15,00 DM |

- | | | |
|----|--|----------|
| 17 | Ausgewählte Untersuchungsergebnisse der halbtechnischen Versuchskläranlage
– Untersuchungen zur Stickstoffelimination –
– Praxiserprobung von Online-Meßtechnik –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 110 S. | 20,00 DM |
| 18 | Vergleich verschiedener europäischer Untersuchungs- und Bewertungsmethoden für Fließgewässer
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 140 S. | 25,00 DM |
| 19 | Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer vor gefährlichen Stoffen
– Ergebnisse der Erprobung in NRW –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 150 S. | 25,00 DM |
| 20 | Information und Dokumentation bei Deponien
4. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch, 26. Oktober 1994
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 98 S. | 20,00 DM |
| 21 | Ausbreitungsuntersuchungen von Gerüchen anhand einer Modellquelle
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 57 S. | 15,00 DM |
| 22 | Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs
– Prognose und Schutzmaßnahmen –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 658 S. | 40,00 DM |
| 23 | Naturraumspezifische Leitbilder für kleine und mittelgroße Fließgewässer in der freien Landschaft
Eine vorläufige Zusammenstellung von Referenzbach- und Leitbildbeschreibungen für die Durchführung von Gewässerstrukturgütekartierungen in Nordrhein-Westfalen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 127 S. | 25,00 DM |
| 24 | Siedlungsabfalldeponien – Oberflächenabdichtung und Sickerwasser
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 162 S. | 25,00 DM |
| 25 | Thermodynamische Analyse der Verfahren zur thermischen Müllentsorgung
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 121 S. | 25,00 DM |
| 26 | Normierung und Konventionen in der Abfallanalytik – Aufgaben und Ziele
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 188 S. | 28,00 DM |
| 27 | Entsorgungsbericht 1994 über Sonder- und Massenabfälle in Nordrhein-Westfalen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 92 S. | 20,00 DM |
| 28 | Umweltüberwachung im Spannungsfeld; integral/medial – privat/staatlich
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 289 S. | 30,00 DM |
| 29 | Bauabfallentsorgung – von der Deponierung zur Verwertung und Vermarktung
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 181 S. | 28,00 DM |
| 30 | Ergebnisse von Dioxin-Emissionsmessungen an Industrieanlagen in NRW
– Dioxinmeßprogramm Nordrhein-Westfalen –
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 114 S. | 20,00 DM |
| 31 | Umsetzung der TA Siedlungsabfall bei Deponien in NRW
Fortbildungsveranstaltung am 27./28. Juni 1995 im Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) in Essen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 189 S. | 28,00 DM |

- 32 Medienübergreifendes Arbeiten im technischen Umweltschutz
Beiträge aus dem Fachgespräch anlässlich der Verabschiedung von
Herrn Abteilungsdirektor Dr.-Ing. H.-O. Weber am 06. Juli 1995
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 78 S. 20,00 DM
- 33 Handbuch der Laborpraxis für Ver- und Entsorgerinnen/
Ver- und Entsorger – 1. und 2. Ausbildungsjahr –
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 186 S. 30,00 DM
- 34 Explosionsschutz bei der Lagerung brennbarer Flüssigkeiten
Entwicklungen und Erkenntnisse
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 54 S. 18,00 DM