



# **Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft**

Bundesrepublik Deutschland

---

**Merkblatt Nr. 71**

**1. Auflage**

**September 1993**

---

## **Drucktest zur Bestimmung der Begasungsfähigkeit von Gebäuden, Kammern oder abgeplanten Gütern bei der Schädlingsbekämpfung**

mit Bemerkungen zur Begasungstechnik

Ch. Reichmuth

Institut für Vorratsschutz

Königin-Luise-Straße 19, D-14195 Berlin

---

# Inhaltsverzeichnis

Seite :

	<b>Vorwort</b>	iii
<b>1</b>	<b>Einführung</b>	1
1.1	Übersicht über die verwendeten chemischen, physikalischen und mathematischen Symbole und Einheiten sowie andere Abkürzungen	1
1.2	Einleitung	5
<b>2</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>	7
2.1	Luftdurchsatztest (LDT)	8
2.2	Halbwertszeitest (HZZ)	9
<b>3</b>	<b>Ausführliche Beschreibung eines Dichtigkeitstest</b>	9
3.1	Vorbereitende Maßnahmen	9
3.2	Auswahl der Geräte für den Aufbau der Druckdifferenz	10
3.3	Festlegung der Saug- bzw. Blasrichtung	10
3.4	Verlegung des Druck-Meßschlauchs	10
3.5	Justierung des Manometers	11
3.6	Bestimmung der Gasdichtigkeit durch Drucktest	11
3.6.1	Drucktest mit ständigem Luftdurchsatz (LDT)	12
3.6.1.1	Beispielhafte Berechnung der Dichtigkeitskriterien	12
3.6.2	Drucktest mit kurzzeitig erzeugter Druckdifferenz und Erfassung der Druck-Halbwertszeit (HZZ)	14
3.6.2.1	Berechnung	14

<b>4</b>	<b>Testkriterien für verschiedene Begasungsobjekte</b>	<b>15</b>
4.1	Mühlen und andere Lebensmittelbetriebe	15
4.2	Kirchen	16
4.3	Getreidelager	16
4.4	Silozellen	17
4.5	Abgeplante Sackstapel	18
4.6	Gasdichte Kammern und Container	18
4.7	Hausschwammbefallene Gebäude	19
4.8	Protokollierung der Testergebnisse	19
<b>5</b>	<b>Notwendige Geräte für die Testverfahren</b>	<b>19</b>
5.1	Geräte für beide Testverfahren	19
5.1.1	Feinmanometer	19
5.1.2	Meßschlauch	19
5.1.3	Schreiber (nicht unbedingt erforderlich)	19
5.2	Zusätzliche Geräte für den Halbwertszeitest	20
5.2.1	Stoppuhr	20
5.2.2	Gebläse oder Preßluft	20
5.3	Zusätzliche Geräte für den Luftdurchsatztest	20
5.3.1	Regelbares Gebläse	20
5.3.2	Strömungsmeßgerät	20
5.4	Alternative Gerätschaften zur meßtechnischen Bestimmung der stündlichen Verlustraten bei Differenzdrücken von 10 Pa	20
5.5	Alternative Testverfahren	20
<b>6</b>	<b>Anlagen</b>	<b>21</b>
6.1	Anlage 1 : Liste der Sachverständigen	21
6.2	Anlage 2 : Bezugsquellen	22
6.3	Anlage 3 : Erläuterungen zu Geometrie, Leckrate und c-t-Produkt mit Abbildungen 1 bis 6	23
6.4	Anlage 4 : Luftwechselrate, Halbwertszeit und Druckdifferenz Abbildung 7 und 8	29
6.5	Anlage 5 : Sicherheitsabstand bei kleineren Objekten Abbildung 9	31
6.6	Anlage 6 : Erläuterungen zu Schreiberausdrucken Abbildungen 10 bis 13	33
6.7	Anlage 7 : Protokollvorlage	38

## Vorwort

Die Idee zur Erstellung dieses Merkblattes geht auf Überlegungen des Arbeitskreises "Begasung" des Bundesministeriums für Arbeit zurück, der mit seinem Vorsitzenden, dem Leiter des Gewerbeaufsichtsamtes Bremen, Herrn Horn, die Technische Regel für Gefahrstoffe Nr. 512 "Begasungen" verfaßt hat. Weiterhin flossen Erfahrungen des Autors während eines längeren Forschungsaufenthaltes in Australien am dortigen Stored Grain Research Laboratory der CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) in den Text ein.

Der Komplexität der Materie entsprechend, hat sich die Arbeit am Manuskript neben anderer Routinearbeit über Jahre hingezogen. Bei der Vorbereitung halfen in vielen hilfreichen Gesprächen zahlreiche Begasungsfirmen mit ihren Fachleuten, die Mitarbeiter des Arbeitskreises, Vertreter der für die Anzeige von Begasungen zuständigen Ländereinrichtungen, Kollegen bei den Technischen Überwachungsvereinen sowie der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Allen Beteiligten gilt mein Dank für ihre konstruktive Kritik. Herrn Ch. Bentert verdanke ich wertvolle Unterstützung bei der Zusammenstellung einiger funktionaler Zusammenhänge in den Formeln und Herrn H. Bentert anregende Diskussionsbeiträge.

Trotz intensiver Bemühung um allseits einvernehmliche Sicherheitsansätze, konnte nicht in allen Einzelheiten mit allen Beteiligten Übereinstimmung bei den Textformulierungen erzielt werden. Die Praxis der nächsten Jahre sollte dazu dienen, für eine Neuauflage des Merkblatts gegebenenfalls Vorschläge zu sammeln, um die Umsetzung von Sicherheitsvorschriften in die Begasungspraxis noch zu verbessern. Eine Absprache der Sicherheitsvorschriften bei Begasungsmaßnahmen zur Schädlingsbekämpfung mit den zuständigen Behörden in anderen europäischen Ländern ist geplant.

Berlin-Dahlem

September 1993

Dr. Christoph Reichmuth  
Direktor und Professor  
Leiter des Instituts für Vorratsschutz

## I Einführung

### 1.1 Übersicht über die im Text verwendeten Abkürzungen sowie über die mathematischen, chemischen und physikalischen Symbole und Einheiten

<b>Chemisches Symbol bzw. Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
$\text{PH}_3$	Phosphorwasserstoff, auch Phosphin oder Phosphan genannt, zur durchgreifenden Schädlingsbekämpfung in Holz, Vorratsgütern und leeren Räumen geeignet, einziges zugelassenes Getreidebegasungsmittel in Deutschland, die Anwendungsgebiete im Pflanzen- und Vorratsschutz gelten entsprechend der Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung
$\text{CH}_3\text{Br}$	Brommethan (Monobrommethan), früher Methylbromid genannt, Leerraumbegasungsmittel, verbreitetes Mittel zur durchgreifenden Entseuchung von Mühlen und anderen Lebensmittelbetrieben sowie Kirchen und zur Quarantänebehandlung, Anwendung in Vorratssgütern außer Getreide, die Anwendungsgebiete im Pflanzen- und Vorratsschutz gelten entsprechend der Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung
$\text{HCN}$	Cyanwasserstoff, früher Blausäure genannt, Begasungsmittel mit hoher Warmblüttoxizität, zur Bekämpfung von Ratten und Mäusen bevorzugt eingesetzt, auch zur Quarantänebehandlung sowie zur Anwendung in leeren Räumen und zur Schädlingsbekämpfung in Vorräten außer Getreide zugelassen, Holzschutzbegasungsmittel, die Anwendungsgebiete im Pflanzen- und Vorratsschutz gelten entsprechend der Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung
$\text{CO}_2$	Kohlenstoffdioxid, auch Kohlensäure und Kohlendioxid genannt, reaktionsträges, alternatives Begasungsmittel, Insekten und andere Schädlinge werden durch Sauerstoffentzug erstickt sowie durch leichte Ansauerung der Zellinhaltsstoffe zusätzlich geschädigt
$\text{N}_2$	Stickstoff, alternatives Begasungsmittel ohne jede Neigung zur chemischen Reaktion (inert), Schädlinge werden durch Verdrängung des Luftsauerstoffs erstickt

ppm

Abkürzung für parts per million, steht für das Zahlenverhältnis 1 : 1.000.000 von physikalischen oder chemischen Einheiten, ppm ist dimensionslos, deshalb müssen immer gleiche Dimensionen in das Verhältnis gesetzt werden, wie z.B. ml mit ml oder g mit g, ppm wird auch etwas unzutreffend als Konzentrationsangabe verwendet: z.B. 1 ppm PH<sub>3</sub> Phosphin in Luft entspricht 1 ml reinem PH<sub>3</sub>, gemischt mit 999.999 ml reiner Luft

c

Konzentration eines chemischen Stoffes, z.B. in g/m<sup>3</sup> oder mg/l

c · t

Produkt aus Wirkstoffkonzentration c und Einwirkzeit t, um Schädlinge abzutöten, Grammstundenwert oder c · t-Produkt genannt

### Physikalisches Symbol

Physikalisches Symbol	Einheit	Bedeutung
m	kg oder t	Masse in Kilogramm oder Tonnen
l	m	Länge in Meter
V	m <sup>3</sup>	Volumen in Kubikmeter
t <sub>1/2</sub>	min oder s	Halbwertszeit in Minuten oder Sekunden
t	h oder d	Zeit in Stunden oder Tagen
n	1/d oder 1/h	Luftwechselrate pro Tag oder Stunde, gemeint ist hier das Luftvolumen ΔV im Verhältnis zum Gesamtvolumen V <sub>G</sub> des zu behandelnden Raumes, das beim Drucktest pro Tag bzw. pro Stunde durch die Undichtigkeiten der Raumabdichtung dringt
n <sub>c</sub>	1/d oder 1/h	Leckrate pro Tag oder pro Stunde bei der Emission chemischer Substanzen aus einem Begasungsobjekt
v	m/s	Strömungsgeschwindigkeit der Luft durch den Lüfter in Meter pro Sekunde
U	V	Elektrische Spannung in Volt

D	m <sup>3</sup> /h	Luftdurchsatz durch den Lüfter bzw. durch die Undichtigkeiten in den Wänden des zu prüfenden Raumes in Kubikmeter pro Stunde
F	m <sup>2</sup>	offene Querschnittsfläche der Lüfteröffnung in Quadratmeter
p	bar oder Pa	Druck in Bar oder Pascal: 1 bar = 100.000 Pa, 1 millibar = 1/1.000 bar 1 millibar = 100 Pa
	oder mm WS	Druck in Millimeter Wassersäule: 1 bar = 10.000 millimeter WS 1 bar = 10 m Wassersäule, 1 millimeter WS = 10 Pa
$\Delta p$	Pa	Druckdifferenz beim Drucktest in Pascal
$p_0$	Pa	Ausgangsdruck beim Halbwertszeittest in Pascal
$n_p$	1/d oder 1/h	Abnahmerate der Druckdifferenz $\Delta p$ pro Tag oder pro Stunde

Mathematisches Symbol	Einheit	Bedeutung
r	m	Radius eines Kreises in Meter
$r_s$	m	Sicherheitsabstand um ein begastetes Objekt in Meter, abgeleitet vom Sicherheitsabstand 50 m um ein Objekt mit 100.000 m <sup>3</sup> bzw. t und einer Leckrate $n = 2,4$ pro Tag
d	m	Durchmesser eines Kreises in Meter: $d = 2 \cdot r$ , $r = \frac{1}{2} \cdot d$
a	m	Seite eines Würfels in Meter

$\pi$ (griechisch: $\pi$ )		Quotient aus Umfang und Durchmesser eines Kreises. $\pi = u/d$
$u$	m	Umfang eines Kreises in Meter: $u = 2 \cdot \pi \cdot r$
$O_K$	m <sup>2</sup>	Oberfläche einer Kugel in Quadratmeter $O_K = 4 \cdot \pi \cdot r^2$
$V_K$	m <sup>3</sup>	Volumen einer Kugel in Kubikmeter: $V_K = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$

#### Andere Abkürzungen

#### Bedeutung

MAK	Maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentration
MIK	Maximal zulässige Immissionskonzentration (für organische Stoffe 1/20 der MAK)
TÜV	Technischer Überwachungsverein
VDI	Verein Deutscher Ingenieure, Herausgeber technischer Richtlinien
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
TRGS 512	Technische Regel für Gefahrstoffe, Begasungen
BBA	Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
PflSchG	Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz)



## 1.2 Einleitung

Auf den Einsatz gasförmiger Wirkstoffe zur Bekämpfung von Schadorganismen kann in einigen Bereichen nicht verzichtet werden. Dazu gehören die durchgreifende Entseuchung von Massengütern wie z.B. Schüttgetreide und gesackte Samenkerne, die Bekämpfung von Nagern und Schaben in seegehenden Schiffen, die Großlagerraum- und Mühlenbegasung, die Bekämpfung holzerstörender Insekten und Pilze in Kirchen und anderen wertvollen historischen Gebäuden. Begasungsmittel wie Phosphorwasserstoff, Brommethan und Cyanwasserstoff, aber auch Kohlenstoffdioxid und Stickstoff, haben bei der Schädlingsbekämpfung wegen ihrer guten Durchdringungsfähigkeit befallener Güter und Gebäude einen festen Platz. Ihren bevorzugten Gebrauch verdanken diese Stoffe der Tendenz, in behandelten Gütern nach der Lüftung bei Ende der Behandlung keine oder nur äußerst geringe, meist schnell abnehmende Rückstände zu hinterlassen. Bei der Zulassung nach PflSchG wird dem durch Einführung von Wartezeiten vor dem Inverkehrbringen solcher Güter Rechnung getragen.

Die für die durchgreifende Schädlingsbekämpfung geeigneten Gase durchdringen auch undichte Wände und Abdeckungen und können bei unzureichender Abdichtung in Bereiche diffundieren, in denen sich Menschen und Tiere aufhalten. Durch fehlerhaften Einsatz der giftigen Gase kann es vereinzelt außerhalb der abgesicherten, zu begasenden Räume zu Gaskonzentrationen über den zulässigen Immissionswerten kommen. Auch wegen des gewachsenen öffentlichen Sicherheitsbedürfnisses sind im Zuge der neuen Arbeitssicherheitsgesetzgebung mit Chemikaliengesetz, Gefahrstoffverordnung (z.B. § 25 Begasungen) und Bundesimmissionsschutzgesetz in letzter Zeit beschränkende Bedingungen für den Einsatz von Gasen festgelegt wurden. Unglücksfälle sollen durch verschärfte Sicherheitsbestimmungen in Zukunft nach Möglichkeit ausgeschlossen werden.

Die Wirksamkeit der Begasungsmittel ist an die Anwendung in einem hinreichend gasdichten Raum geknüpft. Je nach Gasdichtigkeit erfolgt abhängig von den Witterungsbedingungen ein natürlicher Luftwechsel zwischen der Umgebung und den abgedichteten Räumlichkeiten. Hierdurch kann sich die Wirkstoffkonzentration im Gebäude während der Begasungsmaßnahme mehr oder weniger stark verringern. Trotz der Verluste kann die Konzentration des Wirkstoffes durch beständiges Nachdosieren oder einmaliges, anfängliches Überdosieren im erforderlichen, wirksamen Konzentrationsbereich gehalten werden. Weil Gas über das eigentlich erforderliche Maß eingebracht werden muß, wird aber der Umfang der Emission vergrößert. Der überwiegende Teil der insgesamt eingesetzten Substanz entweicht während und innerhalb kurzer Zeit nach der Anwendung in die umgebende Atmosphäre.

Diese Problematik kann durch geeignete Abdichtmaßnahmen vor der Begasung weitgehend vermieden bzw. stark verringert werden. Daher wird mit diesem neuen Test der Begasungsmittelsinsatz in Zukunft von einer besonders guten, vorherigen Abdichtung des zu begasenden Bereiches abhängig gemacht. Die hinreichende Gasdichtigkeit ist

durch ein anerkanntes Testverfahren zu belegen. Damit sind die Voraussetzungen gegeben, die Wirkstoffmengen trotz vollständiger Schädlingsbekämpfung zu vermindern sowie eine Belästigung oder gar Gefährdung der Nachbarschaft auszuschließen. Die spätere Lüftung sollte langsam erfolgen, damit durch stetige Verdünnung des Gases beim Eintritt in die umgebende Atmosphäre höchstzulässige Konzentrationen (MIK) in der Atmosphäre nicht überschritten werden. Gastransport durch Diffusion wird mit diesem Test nicht umfassend beurteilt.

Auch werden die Möglichkeiten einer Wiedergewinnung und/oder Abscheidung der giftigen Gase nach Ende der Einwirkzeit durch die Maßnahmen der besseren Abdichtung und Verringerung der Gesamtmengen erleichtert. Den Begasungsleitern werden mit dem Drucktest zur Feststellung der Gasdichtigkeit objektiv nachvollziehbare Kriterien zur Beurteilung der Güte der Abdichtung an die Hand gegeben, wodurch ihnen und der nach Landesrecht für die Anzeige und Überwachung der Begasung zuständigen Behörde die Wahrnehmung ihrer Aufgaben auch im Gespräch mit Anwohnern erleichtert wird.

Begasungsleiter und auch die zuständigen Vertreter dieser Behörde sollten für die Durchführung und Beurteilung des Drucktests geschult werden.

Die Einhaltung der in diesem Merkblatt aufgeführten Luftwechselraten und Empfehlungen führt dazu, daß während und nach der Begasung mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit keine Überschreitungen der "Maximalen Immissionskonzentrationswerte" in der Umgebung dieser Objekte auftreten. Gemeinsam mit den Vorschriften der TRGS 512 (Begasungen) wird demzufolge auch die Sicherheit von Anwohnern erhöht.

Die genannten Werte basieren auf zahlreichen Messungen bei Begasungen und Ausbreitungsrechnungen. Damit sollte sich in Zukunft die Forderung nach Ausbreitungsrechnungen als Voraussetzung der sicheren Anwendungen von Gasen bei der Schädlingsbekämpfung weitgehend erübrigen.

Insbesondere bei hohem Gefährdungspotential für in der Nähe wohnende Anlieger durch sehr große freizusetzende Wirkstoffmengen bei großen Begasungsobjekten sollte die zuständige Behörde prüfen, ob für den Drucktest vor der Begasung ein Sachverständiger und eine sicherheitstechnische Begutachtung verlangt werden muß.

Zur Frage der Beurteilung des Gefahrenpotentials kann ein umfassendes Gutachten des Germanischen Lloyds/ Hamburg (Herr Schildt) angefordert werden oder auch auf Begutachtung und Informationsmaterial des TÜV Südwest (Herr Laßmann und Herr Salomon) sowie des TÜV Hannover (Herr Domas) zurückgegriffen werden (Adressen und Telefonnummern Siehe 6.1, Seite 21).

Dieses Merkblatt beschreibt zusammen mit den BBA-Merkblättern 64 und 66 und den in der TRGS 512 genannten Richtlinien wichtige Grundlagen für die sichere Anwendung von Begasungsmitteln.

## 2 Kurzbeschreibung

Nach dem neuesten Stand der Technik wird zur Beurteilung der **Begasungsfähigkeit** von Lägern, Mühlen und Lebensmittelbetrieben, Kirchen, Häusern, abgeplanten Sackstapeln und Silozellen sowie Begasungskammern und Containern von den zuständigen Länderbehörden häufig ein **Dichtigkeittest** verlangt. Hierbei wird die **Gasdichtigkeit** eines zur Begasung anstehenden Objekts durch Beaufschlagung mit einer Druckdifferenz geprüft.

Es soll sichergestellt werden, daß durch Einhaltung der im hier beschriebenen Testverfahren als gerade noch tolerierbar aufgeführten Undichtigkeit des zu behandelnden Objekts während der Begasung keine überhöhten Emissionen an Phosphorwasserstoff, Brommethan oder Cyanwasserstoff auftreten. Weiterhin soll bei den verschiedenen Begasungsobjekttypen dem Emissionsminderungsgebot entsprechend ein Dichtigkeitsgrad eingestellt werden, der sich mit vertretbarem Aufwand erzielen läßt. Insofern sind z.B. bei Sackstapeln und Silozellen mit geringem Abdichtaufwand kleinere Luftwechselraten zu erreichen als bei Mühlen und Kirchen oder Lägern.

Nach Modellrechnungen und Erfahrungen mit Wind und Wetter sollte bei einer permanenten Druckdifferenz  $\Delta p$  von **10 Pa** zwischen dem Innenraum des abgedichteten, zu begasenden Bereichs und der Umgebung bei Gebäuden nicht mehr als **1/10** des zu begasenden Gesamtvolumens pro Stunde bzw. nicht mehr als das **2,4-fache** des Gesamtvolumens pro Tag hineingepumpt oder herausgesaugt werden müssen. Im folgenden Text wird je nach Eignung die stündliche oder die tägliche Luftwechselrate  $n$  verwendet. Erfahrungsgemäß besteht eine recht gute Übereinstimmung zwischen der Luftwechselrate  $n$  des Drucktests und der bei der Begasung auftretenden Leckrate  $n_c$ , wenn Gas durch Einfluß von Wind und Wetter langsam in die Umgebung austritt. Eine Druckdifferenz von  $\Delta p \approx 10$  Pa entsteht bei Begasungen in der Praxis zwischen Gebäudeinnerem und Umgebung bei Windgeschwindigkeiten von wenigen m/s, die in Deutschland häufig auftreten.

Widrigenfalls sollte solange nachgedichtet und der Test wiederholt werden, bis die geforderten Bedingungen erfüllt sind. Auf die Begasung sollte verzichtet werden, wenn die Testergebnisse schlechter als die genannten Mindestwerte bleiben, und nach Abstimmung mit der zuständigen Behörde und dem gegebenenfalls hinzugezogenen Sachverständigen nicht andere, die Sicherheit ausreichend gewährende Maßnahmen ergriffen werden können. Hierzu können z.B. die Begasung eines Teils des Gesamtkomplexes oder - nach Beratung durch die Zulassungsbehörde und den Inhaber der amtlichen Zulassung - die Erniedrigung der Anfangsdosierung mit Nachdosierung zu einem späteren Zeitpunkt während der Begasung gehören.

Die bei den Drucktestverfahren eingesetzten Meßverfahren unterliegen Schwankungen durch Einfluß von Wind, Wetter und Temperatur. Deshalb müssen durch wiederholte Messung Mittelwerte gebildet werden, die dann in die Beurteilung eingehen.

Die Streuung der Ergebnisse um den richtigen Wert liegt abgeschätzt im Bereich von ca. +/- 10 %. Diese Toleranzen sollten bei der Beurteilung berücksichtigt werden. Je kleiner die zu begasenden Räume sind, desto schwieriger sind die Drucktestkriterien zu erfüllen. Dies hängt mit dem Verhältnis von Oberfläche und Volumen der Objekte zusammen. Da auf der anderen Seite aber das Immissionsrisiko mit abnehmender Objektgröße sinkt, weil insgesamt weniger Wirkstoff eingesetzt wird, kann insbesondere bei kleineren Gebäuden das schwächere genannte Testkriterium (die größere Luftwechselzahl bzw. die kürzere Druckabfall-Halbwertszeit) oder im begründeten Einzelfall auch ein noch geringeres akzeptiert werden (vgl. dazu einen Vorschlag in Anlage 6.3 auf Seite 23). In Zweifelsfällen kann hierzu bei den unter 6.1 auf Seite 21 genannten Stellen nachgefragt werden.

Der Test sollte möglichst während einer Zeit erfolgen, in der atmosphärische Störeinflüsse wie Windstöße und schnell wechselnde Sonneneinstrahlung gering sind. Die kontinuierlichen Messungen im 10 Pa-Bereich sind infolge dieser natürlichen Druckschwankungen sehr erschwert. Deshalb sollte wiederholt mindestens 10 Minuten lang gemessen werden.

## **2.1 Testverfahren mit ständigem Luftdurchsatz (Luftdurchsatztest, LDT, bei 10 Pa)**

Dieser Test läßt sich nach Ermittlung des Volumens des Begasungsobjekts mit

- einem regelbaren Gebläse,
- einem Durchflußmesser sowie
- einem elektronischen Feinmanometer

durchführen, wobei mit dem Gebläse solange der Luftstrom nachgeregelt wird, bis sich der Differenzdruck von 10 Pascal einstellt. Die Förderleistung des Gebläses darf nach Erreichen dieses Differenzdruckes nicht mehr als 1/10 des Gebäudevolumens pro Stunde (bzw. das 2,4-fache des Gebäudevolumens pro Tag), bei Silozellen nicht mehr als 1/20 des Silovolumens pro Stunde (bzw. das 1,2-fache des Silovolumens pro Tag) und bei abgeplanten Sackstapeln nicht mehr als 1/20 des Stapelvolumens pro Stunde (bzw. das 1,2-fache pro Tag) betragen. Abbildung 10 auf Seite 35 gibt den Schreiber Ausdruck zur Ermittlung der Druckdifferenz von 10 Pa für diesen Test exemplarisch wieder.

## 2.2 Testverfahren mit kurzzeitiger Erzeugung einer Druckdifferenz (Halbwertszeittest, HZT, z.B. von 20 Pa auf 10 Pa)

Alternativ kann der Test auch nach einem anderen Prinzip durchgeführt werden:

- Mit Preßluft oder einem Gebläse, das aber nicht regelbar zu sein braucht sowie
- einem elektronischen Feinmanometer und
- einer Stoppuhr oder einer Uhr mit Sekundenanzeige

wird eine Druckdifferenz in der Größenordnung von 10 Pa bis 20 Pa (bei Sackstapeln und abgeplantem Getreide 5 Pa bis 10 Pa) erzeugt. Mit einer Uhr wird dann die Zeit bestimmt, in der die Druckdifferenz  $\Delta p$  gerade auf die Hälfte des Ausgangswertes abfällt, nachdem die Luftversorgung gasdicht unterbrochen wurde. Aus dieser **Halbwertszeit** kann sofort auf die Dichtigkeit geschlossen werden.

Die kritische Zeit liegt bei **4 Sekunden für Gebäude**. Diese Zeit entspricht in etwa einer stündlichen Förderleistung von ca. 1/10 des Begasungsvolumens bei einer Druckdifferenz von 10 Pa aus Test 2.1 und beträgt für Silozellen und bei abgeplanten Sackstapeln **20 Sekunden** und bei gasdichten Kammern und Containern **mindestens 30 Sekunden**. Eine Kenntnis des Begasungsvolumens ist bei diesem Test nicht erforderlich. In Anhang 6.4 auf Seite 29 wird auf den Zusammenhang zwischen der Halbwertszeit für einen Test, den jeweiligen Druckdifferenzen und verschiedenen Luftwechselraten eingegangen. Abbildung 11 auf Seite 37 zeigt einen Schreiberausdruck zu diesem Test mit eingezeichneten Hilfslinien zur Bestimmung der Druckabfall-Halbwertszeit.

## 3 Ausführliche Beschreibung eines Drucktests:

### 3.1 Vorbereitende Maßnahmen

Vor jeder Begasung muß der Begasungsort genau inspiziert werden. Hierbei ist besonders auf Aspekte der sicheren Begasung zu achten, wobei nach TRGS 512 auch die Sicherheit des Anwenderpersonals gewährleistet werden muß. Bei der Inspektion sind die Gasdichtigkeitsverhältnisse auch unter Berücksichtigung der Hinweise und Vorschriften des BBA-Merkblattes Nr. 66 zu beachten. Die Angabe der Bezugsquelle befindet sich in Anlage 6.2 auf Seite 22.

Bevor Dichtigkeitsuntersuchungen mit Gebläseeinsatz vorgenommen werden, müssen bei Abdichtung mit Papier und Kleister die Abdichtungen gut **durchgetrocknet** bzw. bei Einsatz von Kunststoffschäumen und Silikonkautschuk **durchgehärtet sein**. Durch Druckunterschiede von mehr als 20 Pa können sonst die Abdichtungen aufreißen und zerstört werden.



### 3.2 Auswahl des Geräts für den Aufbau der Druckdifferenz

Um eine meßbare Druckdifferenz zwischen dem Innenraum des abgedichteten, zu begasenden Bereichs und der Umgebung aufzubauen, wird entsprechend dem Begasungsobjekt und der Testart entweder

- ein Gebläse (bei Großobjekten wie z.B. großen Mühlen, Getreidesilos, Gebäudetrakten, Häusern, Lägern oder Kirchen),
- Preßluft aus einem Kompressor oder
- ein größerer Industriestaubsauger (bei kleineren Objekten wie Räumen, kleineren Silos oder Häusern sowie Sackstapeln oder Containern) eingesetzt.

Die Förderleistung muß so groß sein, daß deutlich mehr als 1/10 des Volumens des Begasungsobjekts pro Stunde, bzw. mehr als das 2,4-fache des Gesamtvolumens pro Tag, gesaugt oder gepumpt werden kann. Hierbei kann vorteilhaft ein regelbares Gebläse eingesetzt werden. Dieses ist beim Testverfahren mit konstantem Luftdurchsatz und Druckdifferenz  $\Delta p = 10 \text{ Pa}$  nach 2.1 unerläßlich.

### 3.3 Festlegung der Saug- bzw. Blasrichtung

Für die Abschätzung der zu erwartenden Gasverluste während einer Begasung durch Undichtigkeiten des Objekts ist es grundsätzlich gleich, ob zum Test Überdruck oder Unterdruck erzeugt und daraufhin die Dichtigkeit beurteilt wird. Je nach Objektart kann sich Unterdruck (z.B. bei der Prüfung eines Sackstapels) oder Überdruck (z.B. beim Testen eines Objekts, bei dem eine Folie großflächig innen zur Abdichtung vor ein Rolltor gespannt wurde) empfehlen.

Die Richtung des Druckunterschieds kann also im Sinne einer möglichst geringen Belastung der Abdichtung angepaßt werden.

### 3.4 Verlegung des Druck-Meßschlauchs

Je nach Standort des Prüfers und des Meßgeräts sollte zur Bestimmung von Druckdifferenzen ein Meßschlauch mit einem Mindestinnendurchmesser von 6 mm von außerhalb in das Innere des Objekts - aber mit seiner Öffnung entfernt vom Gebläse - verlegt werden. Grundsätzlich ist der Standort des Meßgeräts für die Messung selbst unerheblich, kann aber z.B. durch Wettereinfluß oder Art und Lage des Objekts vorgegeben sein. Ein direkter Einfluß des Gebläses auf das Meßgerät sollte unbedingt vermieden werden. Ein sehr langer Meßschlauch kann durch seinen Strömungswiderstand das Meßergebnis verfälschen.

Man sollte darauf achten, daß die Messungen z.B. nicht durch böigen Wind gestört werden. Falls z.B. bei Kirchenbegasungen die Sakristei nicht mitbehandelt wird, kann dort ein geschützter Umgebungsmeßpunkt eingerichtet werden, ohne daß der Wind direkt auf das Meßgerät einwirkt.

### **3.5 Justierung des Manometers**

Das Feinmanometer kann jetzt an den Meßschlauch angeschlossen werden. Der zu begasende Bereich muß genauso wie später bei der Begasung abgedichtet sein. Am Manometer wird der Nullpunkt eingeregelt. Da sich der atmosphärische Luftdruck von Zeit zu Zeit ändert, kann dieser Nullpunkt von Begasung zu Begasung bei verschiedenen absoluten Luftdruckwerten liegen. Aufgrund von Wind und wechselnder Sonneneinstrahlung schwankt der Nullpunkt kurzzeitig meist im Bereich weniger Pascal. Die Größe dieser Schwankungen muß mindestens 10 Minuten genau beobachtet und protokolliert werden. Dafür kann auch ein registrierender Schreiber mit entsprechend langsam eingestelltem Papiertransport von ca. 1 cm/min oder eine Integriervorrichtung eingesetzt werden. Der Mittelwert der Schwankungen wird als Nullpunkt gewählt und einjustiert. Bei Erfassung der Halbwertszeit sollte die Papierlaufgeschwindigkeit beim Druckabfall der zu erwartenden Halbwertszeit angepaßt werden. Für 4 Sekunden Halbwertszeit sollte mindestens 1 cm/s als Laufgeschwindigkeit eingestellt werden, damit der gesuchte Wert anschließend graphisch hinreichend genau ermittelt werden kann. Durch die strömende Luft wird auch Wärme transportiert und die Temperatur im Objekt lokal verändert. Diese Temperaturveränderungen führen auch zu Änderung der Druckverhältnisse im Objekt, wodurch die Testdurchführung gestört werden kann. Bei der Justierung können solche Probleme der Größenordnung nach abgeschätzt und anschließend kompensiert werden.

### **3.6 Bestimmung der Gasdichtigkeit durch Drucktest**

Auf ein Kommando hin wird schnell die Absperrung des laufenden Gebläses entfernt oder der Sauger eingeschaltet bzw. die Preßluft angeschlossen. Der Aufbau des Druckunterschieds kann gleichzeitig am Manometer beobachtet und gegebenenfalls registriert werden. Wenn ein Gebläse eingesetzt wird, empfiehlt sich der Anschluß eines Zusatzrohres von ca. 1 m an das Gebläse, um die Messungen des Durchsatzes und von Druckdifferenzen bei gleichmäßiger Strömung durchführen zu können. Wenn empfindliche Abdichtungen vorliegen, sollte spätestens bei einem Druckunterschied von 20 Pa der Lufttransport gedrosselt werden, um die Dichtungen nicht aufzureißen.

### 3.6.1 Drucktest mit ständigem Luftdurchsatz (Luftdurchsatztest, LDT) (vgl. 2.1)

Der Luftstrom wird solange vergrößert, bis sich ein Druckunterschied von 10 Pa eingestellt hat. Bei größeren Schwankungen wird, wie bereits beschrieben, ein Mittelwert gebildet. Dies ist auf den Seiten 33 und 35 beschrieben.

Bei diesem Testverfahren muß zusätzlich der Luftdurchsatz ermittelt werden, der zu dieser Druckdifferenz führt. Ein regelbares Gebläse ist meist geeicht, so daß die Größenordnung des Luftstroms aus der Reglerstellung abgelesen werden kann. Besser sollte aber der Durchsatz  $D$  in jedem Einzelfall mit einem Staurohr oder anderen Meßapparaturen, z.B. mit einem Flügelradanemometer nach VDI-Richtlinie Nr. 2066, Bl.1, ermittelt werden, denn bei Staudruck im zu untersuchenden Gebäude oder schwacher Pressung des Ventilators können von Fall zu Fall starke Meßfehler gegenüber der ursprünglichen Kalibrierung des Gebläses auftreten.

Physikalisch-mathematische Beziehungen zur Berechnung des Durchsatzes  $D$ , der bei vorgegebener Objektgröße nicht überschritten werden darf, um dem Test zu genügen:

$$D = v \cdot F, \quad \text{mit } F = \pi \cdot r^2 \text{ bei runder Lüfteröffnung}$$

Wird z.B. die Strömungsgeschwindigkeit  $v$  in m/s gemessen, kann durch Multiplikation von  $v$  mit der offenen Querschnittsfläche  $F$  des Lüfters in  $m^2$  der Durchsatz  $D$  in  $m^3/s$  bzw.  $m^3/h$  errechnet werden.

#### 3.6.1.1 Beispielhafte Berechnung der zulässigen Leckluftmenge und anderer Testkriterien

**Beispiel:**

$$\text{Strömungsgeschwindigkeit } v = 5,5 \text{ m/s (gemessen)}$$

$$\text{Kreisförmige Fläche der Lüfteröffnung } F = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (d/2)^2 = \pi \cdot d^2/4$$

$$\text{mit } d = \text{Durchmesser der runden Querschnittsöffnung des Lüfters} \\ \text{z.B. } 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m (gemessen)}$$

$$\text{und mit } \pi = 3,14159 \\ \text{ergibt sich } F = 3,14159 \cdot (0,3/2)^2 \\ = 3,14159 \cdot (0,15)^2 \\ = 3,14159 \cdot 0,0225 \\ F = 0,0706857 \quad m^2$$



$$\begin{aligned}
 \text{Durchsatz} \quad D &= v \cdot F \\
 &= 5,5 \cdot 0,0706857 \\
 D &= 0,3887713 \quad \text{m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Will man den stündlichen Durchsatz berechnen, muß man mit 3600 multiplizieren:

$$\begin{aligned}
 D &= 0,3887713 \cdot 3.600 \\
 D &= 1.399,5766 \\
 D &\approx 1.400 \quad \text{m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$


---

Nach 2.1 sollte die stündliche Förderleistung des Gebläses bei einem Differenzdruck von 10 Pa nicht mehr als 1/10 des Gesamtvolumens des zu begasenden Raumes betragen.

Daraus folgt mit dem Durchsatz für eine Stunde als Grenzvolumen V des zu begasenden Gebäudes, das mit diesen Meßwerten gerade noch den Drucktest zur Begasungsfähigkeit besteht:

$$\begin{aligned}
 V &= 10 \cdot D \cdot t; \quad \text{mit } t = 1 \text{ h folgt} \\
 V &= 14.000 \text{ m}^3.
 \end{aligned}$$

Für Begasungsobjekte, wie z.B. Gebäude, die größer sind als 14.000 m<sup>3</sup> (mehr als das Zehnfache des in diesem Beispiel gemessenen stündlichen Durchsatzes!), ist dieser Durchsatz  $D = 1.400 \text{ m}^3/\text{h}$  ausreichend, um den Drucktest zu bestehen, weil der stündliche Durchsatz geringer ist als 1/10 des Begasungsvolumens.

War das zu prüfende Gebäude lediglich 10.000 m<sup>3</sup> groß, bzw. kleiner als 14.000 m<sup>3</sup>, so erfüllt dieser Durchsatz zum Erzielen einer Druckdifferenz von 10 Pa die Testbedingung nicht, da in diesem Fall 1.400 m<sup>3</sup> mehr als 1/10 des Gebäudevolumens ausmachen.

In jedem Fall muß der Durchsatz D mit dem Volumen V des zu begasenden Objekts verglichen werden und darf dann nicht größer sein als 1/10 dieses Volumens pro Stunde bzw. als das 2,4-fache des Volumens pro Tag.

Bei anderen Objekten gelten wegen der leichteren Abdichtbarkeit statt 1/10 bzw. dem 2,4-fachen die oben unter 2.1 erwähnten Werte. Wie erwähnt, ist das Emissionsrisiko bei kleineren Objekten geringer (vgl. Anlage 6.4 auf Seite 29).

Gleichzeitig ist wegen der Veränderung des Verhältnisses zwischen Oberfläche und Volumen von Begasungsobjekten der Anspruch an die Abdichtungsmaßnahmen bei kleineren Objekten größer als bei größeren Objekten, um das Testkriterium Luftwechselrate  $n = 2,4$  pro Tag bzw.  $n = 0,1$  pro Stunde zu erfüllen. Demzufolge können bei kleineren Objekten eher etwas größere Luftwechselraten akzeptiert werden (vgl. 2). Die Kopie eines Schreiberausdrucks befindet sich im Anhang 6.6 auf den Seiten 33 bis 37.

### 3.6.2 Testverfahren mit kurzzeitig erzeugter Druckdifferenz und Erfassung der Druck-Halbwertszeit (Halbwertszeittest, HZT) (vgl. 2.2)

Wenn annähernd 20 Pa Druckdifferenz erreicht sind, wird der Luftstrom schlagartig vollständig unterbrochen und gleichzeitig eine Stoppuhr gestartet. Das Gebläse oder der Sauger muß hierzu abgeschaltet und abgedichtet bzw. die Preßluftzufuhr unterbrochen werden. Zur Abdichtung von Lüftern kann eine Holzplatte mit Schaumgummibelag von zwei Leuten auf ein Kommando gegen die Öffnung des Lüfters gedrückt werden. Die Luft ist bestrebt, den Druckunterschied möglichst schnell auszugleichen, indem sie durch Undichtigkeiten des für die Begasung abgedichteten Komplexes strömt. Mit Uhr und Feinmanometer wird das Zeitintervall bestimmt, in dem der Druckunterschied sich bis zur Hälfte verringert (z.B. von 15 Pa auf 7,5 Pa in 7 s). Diese Halbwertszeit sollte mehrfach bestimmt und dann gemittelt werden. Der Druckabfall kann auch mit einem kurzzeitig schnellaufenden Schreiber (mindestens 1cm/s bzw. 60 cm/min) erfaßt und die Halbwertszeit aus dem Ausdruck ermittelt werden. Text und Abbildung 11 auf den Seiten 33 und 35 erläutern diesen Vorgang. Ein Meßgerät zur gezielten Bestimmung dieses Wertes ist erhältlich (vgl. 6.2, Seite 22).

In der Drucktestpraxis wirken sich die im Anhang 6.3 auf den Seiten 23 bis 25 beschriebenen geometrischen Verhältnisse von Volumen und Oberfläche zu begasender Objekte so aus, daß zum Erreichen einer Leckrate von  $n = 2,4$  pro Tag bzw.  $n = 0,1$  pro Stunde bei einem kleineren Gebäude intensivere Abdichtmaßnahmen erforderlich sind als bei einem großen Begasungsobjekt.

In Verbindung mit der Erfordernis einer vollständigen Schädlingsbekämpfung muß allerdings gewarnt werden, eine Leckrate größer  $n = 4$  zu akzeptieren, weil dann nur durch flankierende Maßnahmen, wie z.B. Erhöhen der Dosierung oder ständiges Nachdosieren der Bekämpfungserfolg gesichert werden kann (vgl. Anhang 6.3, Seite 23).

#### 3.6.2.1 Berechnung

Aus der unter 3.6.2 ermittelten Halbwertszeit  $t_{1/2}$  kann ohne weitere Berechnung das Testergebnis entnommen werden:

Für Gebäude, die begast werden sollen, gilt, daß diese Zeit  $t_{1/2}$  generell größer sein sollte als 4 Sekunden.

Dieser Grenzwert entspricht bei einer konstanten Druckdifferenz von 10 Pa einem Durchsatz von ca. 1/10 des Gebäudevolumens pro Stunde bzw. dem 2,4-fachen Luftaustausch pro Tag nach Testverfahren 3.6.1. Die Kenntnis des Gebäudevolumens entfällt. Beispiele mit Kopie eines Schreiberausdrucks befinden sich im Anhang 6.6 auf den Seiten 33 bis 37.

Für andere Begasungsobjekte gelten die unter 2.1 und weiter unten genannten anderen Testhalbwertszeiten. Die Abhängigkeit der Halbwertszeit von der anfänglichen Druckdifferenz und der Luftwechselrate erläutert Anhang 6.4 auf Seite 29.

#### 4. Testkriterien für verschiedene Begasungsobjekte

##### **4.1 Mühlen u.a. Lebensmittelbetriebe**

Vor einer Begasung müssen grundsätzlich Mindestdichtigkeiten erzielt werden, die nach einem der beiden folgenden Verfahren nachgewiesen werden sollen und zu vorgegebenen Drucktestergebnissen führen :

- Nach 3.6.1 (LDT) bei Durchsatz D kleiner oder gleich  $1/10$  des Gebäudevolumens pro Stunde sowie einer Druckdifferenz von 10 Pa. Bei diesen Druckverhältnissen erfolgt demnach an einem Tag ein 2,4-facher Wechsel der gesamten Luftmenge im Gebäude, die Luftwechselrate  $n$  beträgt demnach 2,4 Luftwechsel pro Tag bzw. 0,1 Luftwechsel pro Stunde.

- Nach 3.6.2 (HZT) mit einer Druckhalbwertszeit von  $t_{1/2}$  länger oder gleich 4 s.

Die in der TRGS 512 geforderte Sicherheit mit Ausschluß von Gefahren und Belästigungen kann gut gewährleistet werden, wenn bei Begasungen die Wohnbebauung weiter als ca. 50 m entfernt ist. Für kleinere Objekte als  $100.000 \text{ m}^3$  kann der Sicherheitsabstand gemäß dem Vorschlag in Anhang 6.5 auf Seite 31 angepaßt werden. Bei dichter liegenden Wohnungen sollte gegebenenfalls geräumt oder ein Sachverständiger hinzugezogen werden. Als Obergrenze in bestimmten Situationen, wie z.B. weit entfernter Wohnbebauung und Objekten mit einem Volumen  $< 40.000 \text{ m}^3$ , können Drucktestergebnisse mit  $n = 4,0$  akzeptiert werden. Der entsprechend etwas höhere Durchsatz zum Erreichen der Druckdifferenz von 10 Pa beträgt dann  $1/6$  des Mühlenvolumens pro Stunde - die dazugehörige etwas kürzere, noch tolerierbare Halbwertszeit liegt bei  $t_{1/2}$  gleich 3 s. Diese Werte sind mit Nachdichtungsmaßnahmen sehr wohl zu erzielen und können insbesondere dort toleriert werden, wo die Wohnbebauung mehr als 100 m entfernt liegt.

In Sonderfällen können in Absprache mit dem Behördenvertreter und gegebenenfalls auch einem Sachverständigen nach Einzelfallbetrachtung unter Zuhilfenahme zusätzlicher Sicherheitsvorkehrungen, wie z.B. überwachende Gaskonzentrationsmessungen in engen Zeitintervallen in der Umgebung, regelmäßige Überprüfung der Abdichtungen bei stärkerem Wind, Aufteilung des Objekts in nacheinander zu behandelnde Teilbereiche, auch Begasungen mit ungünstigeren Testergebnissen erfolgen, wenn die Sicherheit der Anwohner durch Zusatzmaßnahmen gewährleistet wird.

## 4.2 Kirchen

Holzerstörende Insekten in Holzeinbauten in Kirchen können mit Gasen schnell und durchgreifend bekämpft werden. Nach bisherigen Erfahrungen läßt sich für Objekte mit einem Volumen von  $< 10.000 \text{ m}^3$  mit vertretbarem Aufwand bei einer Druckdifferenz von  $\Delta p = 10 \text{ Pa}$  eine tägliche Luftwechselrate von weniger als  $n = 4$  erzielen. Für die Begasungen zur Schädlingsbekämpfung im Vorratsschutz reichen meist niedrigere Dosierungen aus als im Holzschutz. Wegen der höheren Dosierungen sollte deshalb bei größeren Kirchen  $n = 2,4$  erreicht werden. Der Glockenturm kann häufig als Dachentlüftung genutzt werden und verhilft zu überschaubaren Emissionsverhältnissen. Die Bemerkungen zum Abstand der Wohnbebauung gelten analog zu 4.1.

## 4.3 Getreideläger

Bei gelagertem Getreide in Hallen sowie Flach- und Schüttbodenlagern scheiden einige Lagerstellen in Zukunft wegen schlechter Abdichtmöglichkeiten für eine Begasung aus, insbesondere wenn man am Konzept des insgesamt gasdicht zu verschließenden Lagersaumes festhält. Wirtschaftlich vertretbar sind solche Läger nicht abzudichten.

Durch möglichst gasdichtes Einschlagen des zu behandelnden Getreides können Gaskonzentrationen in der Umgebung von Getreidelägern unterhalb der MIK-Werte gehalten werden, wenn der leere Raum des Lagers oberhalb des Getreides als Puffervolumen zur Verdünnung des durch die Abdeckfolie tretenden Wirkstoffs genutzt wird. Diese Gas-Luftmischung sollte ständig abgesaugt, mit Frischluft vermischt und dann z.B. über Dach in die Umgebung freigesetzt werden.

Beim Drucktest von Getreideschüttbodenlagern sollte das gesamte Gebäude einbezogen werden, wenn nicht einzelne Böden oder Stockwerke gasdicht abgetrennt werden können. Dabei sollten die unter 4.1 beschriebenen Werte erreicht werden. Falls die einzelne Getreidepartie insgesamt gasdicht eingeschlagen werden kann, sollten Werte wie unter 4.5 erreicht werden.

Bei Flachlagerbegasung liegt das geschüttete Getreide:

- a) direkt an den Seitenwänden oder
- b) an den Parkwänden innerhalb des Lagers an.

Das Getreide wird im Fall a) auf der Oberfläche mit gasdichter Sperrfolie abgedeckt, die mit den Seitenwänden gasdicht verklebt wird. Im Fall b) wird die Folie über die Oberfläche und die Kanten der Parkwände hinaus bis auf den Boden des Lagers verlegt und dort gasdicht verklebt. Die Folienqualität bezüglich der Gasdurchlässigkeit ist durch die TRGS 512 (vgl. Nr. 10.3) festgelegt. Beim Drucktest des abgedichteten Getreides sollte in beiden Fällen  $n = 2,4$  pro Tag erreicht werden.

Der Luftraum über dem Getreide sollte vom Begasungsleiter meßtechnisch überwacht werden. Bei Anstieg der  $\text{PH}_3$ -Konzentration über 20 ppm bieten sich folgende Vorgehensweisen an, um Überschreitungen des MIK-Wertes in der Umgebung des Lagers zu vermeiden:

Im Fall a) sollte der überstehende Luftraum ständig durch Querlüftung mit Frischluft gespült und das Gas/Luft-Gemisch möglichst über Dach abgeführt werden. Dabei muß sichergestellt sein, daß nicht durch zu große Undichtigkeiten die gezielte Querlüftung verhindert wird. Sauggebläse und Öffnung in der Lagerwand sollten sich gegenüberliegen. Auf die zusätzliche Öffnung sollte keinesfalls verzichtet werden, weil sonst Frischluft in das zu behandelnde, abgedichtete Getreide hineingesaugt wird.

Im Fall b) kann das Risiko des Aufbaus von  $\text{PH}_3$ -Konzentrationen im Luftraum durch ständiges Absaugen der überstehenden Luft vermindert werden. Frischluft strömt dabei durch Undichtigkeiten in das Lager und verdünnt ständig den durch die Folie nach außen dringenden Phosphorwasserstoff. Hierbei kann vorteilhaft ein Dränagerohr auf der Oberfläche der Abdeckfolie ausgelegt werden. Das Gas/Luft-Gemisch wird dann in Anlehnung an die VDI-Richtlinie Nr. 2286 (Emission) mindestens 10 m über dem Boden und mindestens 3 m über Dach sowie 3 m über dem Niveau des höchsten Firstes der näheren Umgebung gezielt abgeblasen. Bei Behandlung des gesamten Lagers kann wie bei Mühlen und anderen Lebensmittelbetrieben (4.1) verfahren werden. Die Abdichtung der Getreidepartie wird dann keinem eigenen Dichtigkeittest mehr unterzogen.

#### 4.4 Silozellen

Einige Daten über Drucktests liegen vor. Mit gewissem Abdichtaufwand sind Halbwertszeiten bei Druckdifferenzänderung um 50 % von 30 bis 60 Sekunden zu erreichen. Dies entspricht täglichen Luftwechselraten bei einem Differenzdruck von 10 Pa von  $n = 0,2$  bis  $0,1$  pro Tag. Aufwendiger abgedichtete Zellen halten die Druckdifferenz bis zum Halbwert des Ausgangsdrucks einige Minuten. Durch Verminderung der Anzahl der gleichzeitig begasten Zellen läßt sich das Emissionsrisiko einer großen Siloanlage verringern. Außenzellen sind bezüglich der Emission etwas schlechter als Innenzellen zu beurteilen. Neue Begasungsverfahren wie Einsatz besonders dichter Abdeckfolien, Kreislaufbegasung oder auch der kombinierte Einsatz von  $\text{CO}_2$  und  $\text{PH}_3$  könnten dazu beitragen, dieses Risiko durch geringeren Mittelaufwand zu verkleinern.

Bei der Silozellenbegasung und Mitteldosierung muß die prozentuale Füllung der Zelle ("Load factor") berücksichtigt werden. Bei leeren Zellen wird auf das freie Volumen der Zelle dosiert, bei gefüllten Zellen auf die Menge des geladenen Gutes. Bei teilgefüllten Zellen wird eine Mischdosierung auf Raum und Tonnage vorgenommen. Je vollständiger die Silozelle gefüllt ist, desto geringer ist das Risiko einer plötzlichen Gasfreisetzung durch Undichtigkeiten. Andererseits ist der Mittelaufwand zur Begasung einer leeren Silozelle wesentlich geringer. Im Versuch hat sich bei leeren und vollen Zellen die



oben genannte Mindesthalbwertszeit von 30 Sekunden bewährt. Dies entspricht einer Leckrate von  $n = 0,2$  pro Tag.

Ein alternativer Luftdurchsatztest schreibt bei einer Druckdifferenz von 100 Pa eine Luftwechselrate von nicht mehr als 50 % des Silozellenvolumens pro Stunde vor. Formel (7) in Anhang 6.4 auf Seite 29 ist geeignet, um aus diesen Bedingungen die entsprechende Luftwechselzahl für 10 Pa zu errechnen. Der sich ergebende Wert von  $n = 2,0$  pro Tag läßt sich leicht der Abbildung 8 auf Seite 30 entnehmen, wenn man für  $t_{1/2} = 30$  s die 100 Pa-Parameterkurve schneidet und den dazugehörigen Wert von  $n$  abliest.

Zur Erläuterung seien an dieser Stelle die Druckdifferenzen zwischen innen und außen genannt, die sich durch Windeinfluß und Staudruck an Gebäuden und Silozellen ergeben können: Bei einer Windgeschwindigkeit von 5 m/s [10 m/s] ca. 10 Pa [40 Pa].

Alle 3 Jahre sowie nach baulichen Veränderungen spätestens vor der nächsten Begasung sollten die Zellen abgedrückt werden. Nur hinreichend gasdichte Zellen sollten zur Begasung freigegeben werden. Bei der Sichtprüfung und Abdichtungsmaßnahmen im Innenbereich muß aus Arbeitsschutzgründen streng die Unfallverhütungsvorschrift 112 über Arbeiten in Silos und Bunkern eingehalten werden.

#### 4.5 Abgeplante Sackstapel

Auch Sackstapel lassen sich durch Unterdrucktest begutachten. Dies wurde in mehreren Versuchsbegasungen nachgewiesen. Die Halbwertszeit sollte nach Möglichkeit mehrere Minuten betragen. Beim Durchsatztest entspricht dies Luftwechselraten von  $n < 0,1$  pro Tag, die bei Behandlung von Stapeln auf gasdichtem Untergrund leicht erreichbar sind. In Sonderfällen, z.B. bei kleinen Sackstapeln, bei denen das Immissionsrisiko wegen der geringen Wirkstoffmenge gering ist, können auch Halbwertszeiten bis zu 20 Sekunden  $n < 0,3$  pro Tag nach Durchsatztest akzeptiert werden. Die genannten Halbwertszeiten sorgen für eine ausreichende Sicherheit und lassen sich erfahrungsgemäß erreichen. Die Druckdifferenz während des Tests sollte weniger als 10 Pa betragen, weil sonst die Gefahr des Zerreißen der Folie bzw. des Lösens der Verschlößstellen besteht.

#### 4.6 Gasdichte Kammern und Container

Diese leicht abdichtbaren Objekte sollten mindestens 1 Minute die Druckdifferenz bis zum Halbwert halten. Dies entspricht  $n < 0,1$  pro Tag nach LDT. Generell läßt sich die Gasmenge und damit der Behandlungskostenansatz deutlich vermindern, wenn die Abdichtung des Türbereiches mit besonderer Sorgfalt erfolgt.

#### 4.7 Bekämpfung des Echten Hausschwamms in Gebäuden

Wenn bei Begasungen höhere Wirkstoffdosierungen als im Vorratsschutz erforderlich sind (z.B. bei der Bekämpfung des Echten Hausschwamms in Schlössern), sind besonders hohe Anforderungen an die Abdichtung zu stellen. Ein Sicherheitsabstand von mindestens 50 m um das Objekt sollte eingehalten werden. Auch wenn es sich um Begasungen außerhalb des Geltungsbereichs des PflSchG handelt, sind selbstverständlich die Vorschriften der Gefahrstoffverordnung und der TRGS 512 einzuhalten.

#### 4.8 Aufzeichnungen und Protokoll über den Drucktest

Der Begasungsleiter oder der Sachverständige stellt nach dem Test über die Gasdichtigkeitsverhältnisse ein Protokoll zusammen, das zu den Begasungsunterlagen genommen wird. Eine Kopie erhält die nach Landesrecht zuständige Überwachungsbehörde. Diese Unterlagen enthalten Angaben über die Art des Dichtigkeitstest und das Testergebnis in Form der berechneten Luftwechselzahl bzw. der Druckabfall-Halbwertszeit bei angegebener Druckdifferenz. Eine Vorlage befindet sich als Anlage 6.7 auf Seite 38 in diesem Merkblatt.

### 5 Notwendige Geräte und Hilfsmittel für die Testverfahren

**Bezugsquellen und Preise für die unten aufgeführten Geräte können u. a. bei den deutschen Begasungsfirmen, im einschlägigen Fachhandel sowie bei den in Anlage 6.1 auf Seite 21 genannten Einrichtungen erfragt werden.**

#### 5.1 Geräte für beide Testverfahren:

- |       |   |   |                             |
|-------|---|---|-----------------------------|
| 5.1.1 | - | ein elektronisches Feinmanometer<br>Meßbereich bis ca. +/- 100 Pa<br>Schreiberanschluß +/- 1 V                    | Kosten ca. 1.500,- DM       |
| 5.1.2 | - | einige Meter Nylon- oder Poly-<br>äthylenschlauch (Durchmesser x<br>Wandstärke = 8 x 1 mm)                        | pro Meter Kosten ca. 0,5 DM |
| 5.1.3 | - | ein Flachsreiber zur Registrierung,<br>1 Kanal, (2 Kanäle, wenn z.B. der<br>Durchsatz mitgeschrieben werden soll) | Kosten ca. 2.500,- DM       |

## **5.2 Zusätzliche Geräte für den Halbwertszeitest**

- 5.2.1 - eine Stoppuhr
- 5.2.2 - ein geeignetes Gebläse zur Erzeugung von ca. 20 Pa Druckdifferenz mit einer stündlichen Mindestförderleistung von etwas mehr als 1/10 des zu behandelnden Begasungsobjekts, ggf. kann auch Preßluft eingesetzt werden.

## **5.3 Zusätzliche Geräte für den Luftdurchsatztest**

- 5.3.1 - ein regelbares Gebläse mit einer Mindestleistung von 1/10 des zu begasenden Volumens pro Stunde
- 5.3.2 - ein Strömungsmeßgerät zur Bestimmung des Luftdurchsatzes: Anemometer oder auch Feinmanometer und Staurohr

## **5.4 Alternative Gerätschaften zur meßtechnischen Bestimmung der stündlichen Verlustraten bei Differenzdrücken von 10 Pa**

Es sind Lüftungsgeräte erhältlich, die regelbar und werkseitig geeicht sind.

## **5.5 Alternative Testverfahren**

Die Begasungsfähigkeit kann auch durch andere Verfahren belegt werden, auf die hier nicht weiter eingegangen wird, wie durch Einsatz von Ultraschall, Rauchpatronen oder die Dotierung mit inerten Stoffen. Es sollte beim Einsatz anderer Verfahren nachgewiesen werden, daß die ermittelten Parameter den hier mit den beiden Drucktests geforderten entsprechen.



## 6 Anlagen

### 6.1 Anlage 1: Liste der Sachverständigen

Herr Domas und  
Herr Felgenbauer

TÜV Hannover/Sachsen Anhalt e. V.  
Am TÜV 1, D - 30519 Hannover  
Telefon: 0511 / 986-1423 und -1426  
Telefax : 0511 / 986-1915

Herr Gliwa

Landesanstalt für Immissionsschutz,  
Wallneyerstraße 6, D - 45133 Essen,  
Telefon: 0201 / 72006-(0) / 79  
Telefax : 0201 / 72006-57

Herr Laßmann  
Herr Salomon

und TÜV Südwest  
Dudenstraße 28, D - 68167 Mannheim  
Telefon: 0621 / 395-(0) / 392  
Telefax : 0621 / 395-578

Herr Dr. Reichmuth

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft  
Institut für Vorratsschutz  
Königin-Luise-Straße 19, D - 14195 Berlin  
Telefon: 030/8304-(1) / 261  
Telefax : 030/8304-284

Herr Schildt

Germanischer Lloyd  
Vorsetzen 32, D - 20459 Hamburg  
Telefon: 040/36149-(0) / 355  
Telefax : 040/36149-200

Weitere Sachverständige können sich durch fachliche Weiterbildung z.B. in Lehrgängen und bei Begasungen qualifizieren.

## **6.2 Anlage 2: Bezugsquellen**

**Für die BBA-Merkblätter :** Saphir Verlag Heike Kramer  
Gutsstraße 15, D - 38551 Ribbesbüttel  
Telefon: 05374 / 6576  
Telefax : 05374 / 6577

**Für das Spezialgerät zur  
Bestimmung der  
Druckabfallhalbwertszeit :** Fa. Desinsekta  
Schönberger Weg 9, D - 60488 Frankfurt  
Telefon: 069 / 763040  
Telefax : 069 / 7681036

**Manometer, Schreiber und Durchflußmesser sowie Lüfter werden von Meßgeräte- und Lüfterfirmen angeboten.**

### 6.3 Anlage 3: Erläuterungen zu den geometrischen Verhältnissen, den Gasverlusten sowie dem Einfluß der Leckraten auf die c-t-Produkte

Größere Leckraten bzw. Luftwechselraten im Drucktest ziehen schnelleren Gasverlust aus dem Inneren des Gebäudes nach sich. Abbildungen 1 und 2 auf Seite 26 geben diesen Zusammenhang für eine Brommethanbegasung einer Mühle mit 100.000 m<sup>3</sup> Volumen für eine Ausgangsdosierung von 15 g/m<sup>3</sup> und bei drei verschiedenen Leckraten wieder. Für die biologische Wirksamkeit ist ein Mindestmaß von Konzentration c und Einwirkzeit t erforderlich. Die Abhängigkeit dieses c-t-Produktes von der Leckrate und der Einwirkzeit kann für dieses Beispiel der Abbildung 3 auf Seite 27 entnommen werden. Da dieser Wert nicht unter 100 gh/m<sup>3</sup> liegen sollte, um den Bekämpfungserfolg gegen Insekten sicherzustellen, sind der Akzeptanz größerer Leckraten auch aus Sicht der vollständigen Wirkung Grenzen gezogen. Im vorliegenden Beispiel könnte man nur noch durch Erhöhung der Ausgangsdosierung von 15 g/m<sup>3</sup> auf z.B. 30 g/m<sup>3</sup> bei einer Leckrate mit  $n = 4,8$  ein c-t-Produkt im sicher abtötenden Bereich über 100 gh/m<sup>3</sup> einstellen.

Betrachtet man ausschließlich den Zusammenhang von Gebäudevolumen, Luftwechselrate bzw. Leckrate und Emission, kann nach einem einfachen Modell eines auf gasdichtem Boden stehenden Würfels oder einer Halbkugel folgende Abhängigkeit dargestellt werden:

Oberfläche und Volumen werden in Abhängigkeit von der Seitenlänge bzw. des Radius angegeben (Abbildung 4, Seite 27). Bemerkenswert ist, daß für wachsende Seitenlänge a eines Würfels das Verhältnis von Oberfläche O zu Volumen V sich wie eine Hyperbel mit den Achsen  $x = 0$  und  $y = 0$  als Asymptoten verhält. Das Volumen wächst mit größer werdendem a dem Betrag nach schneller als der Betrag der Oberfläche. Entsprechende Werte lassen sich für Oberfläche und Volumen einer Halbkugel angeben.

Bei einem würfelförmigen Begasungsobjekt mit 100.000 m<sup>3</sup> Rauminhalt beträgt die Seitenlänge  $a = 46,4$  m. Die Emission durch die 5 freiliegenden quadratischen Flächen mit je 2.154,4 m<sup>2</sup> bei einer Leckrate  $n = 2,4$  pro Tag läßt sich auf die gleichmäßig emittierende Oberfläche (10.772 m<sup>2</sup>) des Würfels verteilen. Entsprechend kann man bei der Annahme eines halbkugelförmigen Begasungsobjekt verfahren. Für eine Halbkugelschale mit dem Volumen von 100.000 m<sup>3</sup> ergibt sich ein Radius von  $r = 36,28$  m sowie eine emittierende Oberfläche von 13.144 m<sup>2</sup>.

Nun kann die tägliche Luftwechselrate  $n$  pro  $m^2$  und Tag errechnet werden, die bei Kenntnis der Innenraumkonzentrationsverhältnisse (vgl. Abbildung 1 und 2) mit hoher Wahrscheinlichkeit bei einer späteren Begasung und entsprechender Leckrate  $n_c$  nicht zur Überschreitung von Immissionstoleranzen führt:

$$\text{beim Würfel} \quad : n_{m^2} = 2,4 : 10.772 = 2,228 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{bei der Halbkugel} \quad : n_{m^2} = 2,4 : 13.144 = 1,826 \cdot 10^{-4}$$

Mit kleiner werdendem Volumen verringert sich die Oberfläche in geringerem Maße (Abbildung 5, Seite 28). Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 5 für den Würfel dargestellt. Das Volumen von  $100.000 \text{ m}^3$  und die dazugehörige Oberfläche von  $10.772 \text{ m}^2$  wurde zu 100 % angesetzt. Für kleinere und größere Volumina ist in Abbildung 5 die Oberfläche prozentual zu dem Wert von  $10.772 \text{ m}^2$  für  $100.000 \text{ m}^3$  wiedergegeben. Das Verhältnis des Volumens zur emittierenden Oberfläche beträgt für

die 5 Würfelteilflächen:

$$V : O = a^3 \quad : (5 \cdot a^2) = a \quad : \quad 5 \quad (1)$$

und für die Halbkugel:

$$V : O = 2 \cdot \pi \cdot r^3 / 3 \quad : 2 \cdot \pi \cdot r^2 = r \quad : \quad 3 \quad (2)$$

(vgl.  $V_K$  und  $O_K$  auf Seite 3).

Daraus ergibt sich, daß bei gleicher Anfangskonzentration höhere Leckraten bei kleineren Objekten dennoch nicht zu größeren Emissionen pro Flächeneinheit führen müssen.

Gegenüber einem Objekt mit einem Volumen  $V$  von  $100.000 \text{ m}^3$  Rauminhalt kann folgende Abschätzung für ein kleineres Begasungsobjekt mit  $V = 50.000 \text{ m}^3$  angestellt werden.

Betrachtet als Würfel mit  $a = 36,9 \text{ m}$  und  $O = 6.785 \text{ m}^2$ ,

folgt für die freie Oberfläche  
in Prozent der Oberfläche  $O$   
eines Würfels mit

$$V = 100.000 \text{ m}^3$$

$$(100 \cdot 6.785/10.772) = 62,99 \%$$

Betrachtet als Halbkugel mit  $r = 28,8 \text{ m}$  und  $O = 5.212 \text{ m}^2$ ,

folgt für die freie Oberfläche

in Prozent des Wertes zu  $V = 100.000 \text{ m}^3$

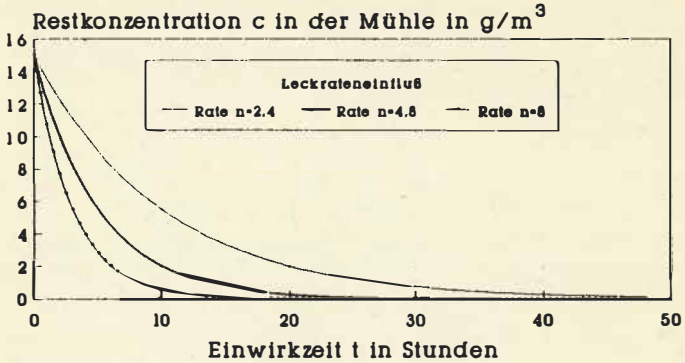
$$(100 \cdot 5.212/8.279) = 62,95 \%$$

Dieser Zusammenhang ist für den Würfel in Abbildung 5 auf Seite 28 wiedergegeben. Dementsprechend kann bei kleineren Gebäuden als  $100.000 \text{ m}^3$  eine etwas größere Luftwechselrate  $n$  akzeptiert werden, ohne daß dadurch größere Leckverluste als die für Objekte mit  $100.000 \text{ m}^3$  verursacht würden. Bei einem Gebäude mit  $47.000 \text{ m}^3$  Rauminhalt würde bei einer Leckrate von  $n_c = 4$  eine vergleichbare Emission wie bei einem Gebäude mit  $100.000 \text{ m}^3$  und einer Leckrate von  $n_c = 2,4$  auftreten (vgl. Abbildung 6 auf Seite 28).

In der Drucktestpraxis wirken sich diese Verhältnisse so aus, daß zum Erzielen einer Luftwechselrate von  $n = 2,4$  pro Tag bei einem kleineren Gebäude meist wesentlich intensivere Abdichtmaßnahmen erforderlich sind als bei einem großen Begasungsobjekt.

In Verbindung mit der Forderung nach vollständiger Schädlingsbekämpfung muß allerdings gewarnt werden, eine Luftwechselrate von mehr als  $n = 4$  pro Tag zu akzeptieren, weil dann nur durch andere Maßnahmen, wie z.B. das Erhöhen der anfänglichen Dosierung oder ein ständiges Nachdosieren von Wirkstoff bzw. Mittel während der Behandlung der Bekämpfungserfolg gesichert werden kann.

**Abbildung 1: Emission aus der Mühle**  
 Restmenge Brommethan in der Mühle  
 Leckrate n als Parameter

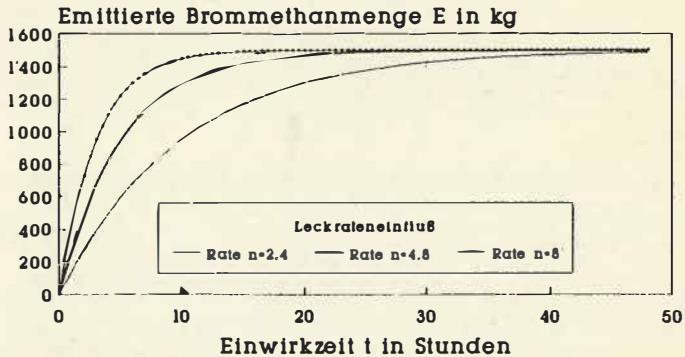


Leckraten  $n = 2.4$  (4,8 und 8) pro Tag

$$c = 15 \cdot \text{EXP}(- (n/24) \cdot t)$$

Dosierung :  $15 \text{ g}/\text{m}^3$

**Abbildung 2: Emission aus der Mühle**  
 Emittierte Brommethanmenge  $E$   
 Leckrate als Parameter

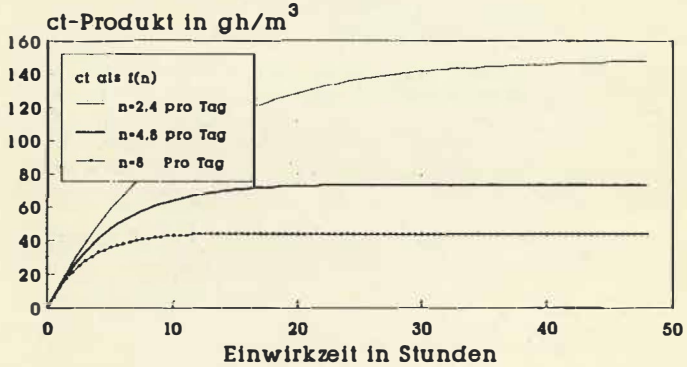


Leckraten  $n = 2.4$  (4,8 und 8) pro Tag

$$c = 15 \cdot \text{EXP}(- (n/24) \cdot t); E = (15 - c) \cdot 100$$

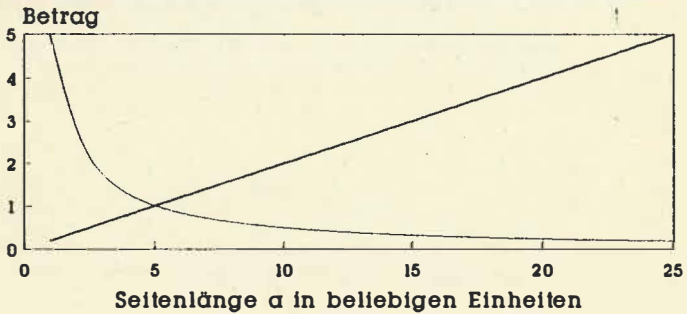
Dosierung:  $15 \text{ g}/\text{m}^3$  auf  $100.000 \text{ m}^3$

**Abbildung 3: ct-Produkt in Abhängigkeit von der Einwirkzeit**  
Leckrate n als Parameter



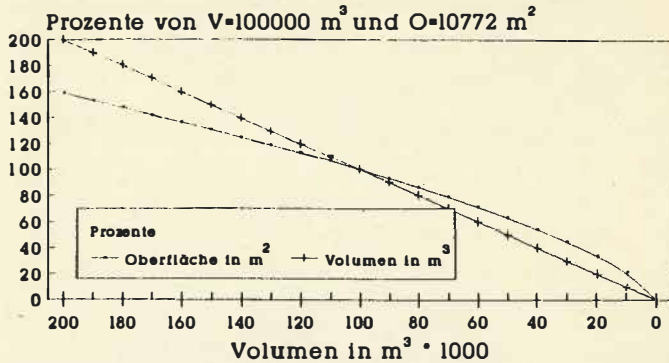
Ausgangskonzentration  $15\text{g/m}^3$   
 $ct = (15/(n/24)) \cdot (1 - \exp((-n/24) \cdot t))$   
 $ct = \text{Integral der Emissionsfkt. (Abb.1)}$

**Abbildung 4: Würfel**  
Seite, Volumen, Oberfläche



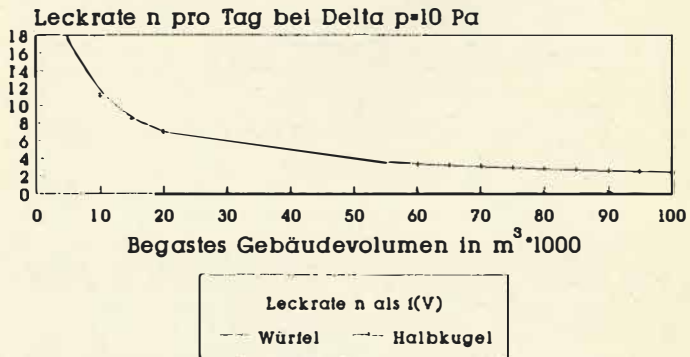
Oberfläche / Volumen =  $5 / a$   
 Volumen / Oberfläche =  $a / 5$

**Abbildung 5: Volumen V und Oberfläche O**  
als Prozent der Werte für  $V=100000 \text{ m}^3$   
5 emittierende Teilflächen eines Würfels



$V = \alpha^3$ ;  $O = 5 \cdot \alpha^2$ ;  $O = 5 \cdot 3 \cdot W(V)^2$   
 $\alpha$  = Seitenlänge des Würfels  
 $V = 100000 \text{ m}^3$ ;  $O = 10772 \text{ m}^2$

**Abbildung 6: Gaswechselrate n pro Tag**  
gleiche Gesamtemission  
 $V=100000 \text{ m}^3$  und  $n=2.4$  als Bezug



Gebäude als Kubus oder Halbkugel  
 $n = 2.4 \cdot 10772 / (3 \cdot \text{Wurzel}(V))^2$   
 $n = 2.4 \cdot 8270 / (6.284 \cdot (3 \cdot \text{Wurzel}(3 \cdot V / 6.284))^2)$



#### 6.4 Anlage 4: Zusammenhang zwischen Luftwechselrate $n$ , der Druckabfall-Halbwertszeit $t_{1/2}$ , der Druckdifferenz $\Delta p$ und dem Anfangsdruck $p_0$

Erzeugt man in einem Gefäß mit dem Volumen  $V$  einen konstanten Überdruck  $p_{\bar{U}}$ , indem man ständig Luft hineinbläst, so ist das in der Zeiteinheit entweichende Volumen  $V$  in erster Näherung proportional zu  $p_{\bar{U}}$  (für Unterdruck gilt mit umgekehrtem Vorzeichen Entsprechendes):

$$\Delta V / V = -L \cdot p_{\bar{U}} \cdot \Delta t \quad (1)$$

Die Konstante  $L$  mit der Dimension  $[\text{Pa}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}]$  ist ein Maß für die Luftundichtigkeit des Gefäßes. In (1) wird von Überdruck ausgegangen. Das Vorzeichen wechselt bei Unterdruck zu +. Unterbricht man den Luftstrom, so entweicht weiterhin Luft aus dem Gefäß, wobei der Überdruck abgebaut wird:

$$\Delta V(t) / V = L \cdot p_{\bar{U}}(t) \cdot \Delta t \quad (2) \quad \text{Bei Unterdruck wechselt das Vorzeichen zu -}$$

Es gilt allgemein  $\Delta V / V = -\Delta p / p$  (3), wobei für den Fall des Überdrucks  $p = p_{\text{at}} + p_{\bar{U}}$  der Gesamtdruck im Gefäß, und  $p_{\text{at}} = 10^5 \text{ Pa}$  der atmosphärische Druck ist. Bei Unterdruck gilt:  $p = p_{\text{at}} - p_{\bar{U}}$ . Mit  $\Delta p = \Delta p_{\bar{U}}$  und der Näherung  $p \approx p_{\text{at}}$  erhält man aus Gleichung (2) und (3) für den Abbau von Überdruck:

$$\Delta p_{\bar{U}}(t) = -L \cdot p_{\text{at}} \cdot p_{\bar{U}}(t) \cdot \Delta t \quad (4), \quad \text{bzw. die Differentialgleichung}$$

$$dp_{\bar{U}}(t) / dt = -L \cdot p_{\text{at}} \cdot p_{\bar{U}}(t) \quad (5) \quad \text{als Abnahmegeschwindigkeit der}$$

Überdruck-Druckdifferenz mit der Lösung:

$$p_{\bar{U}}(t) = p_{\bar{U}, t=0} \cdot e^{(-L \cdot p_{\text{at}} \cdot t)} \quad (6).$$

$p_{\bar{U}, t=0}$  kann als Überdruck-Druckdifferenz zu Beginn des Druckabfalls oder auch als Anfangsdruck mit  $p_0$  bezeichnet werden. In der Halbwertszeit  $t_{1/2}$ , die unabhängig vom Anfangsdruck  $p_0$  ist, fällt die Druckdifferenz jeweils um die Hälfte des jeweiligen Ausgangswertes. Entsprechend der Kinetik erster Ordnung beim radioaktiven Zerfall ergibt sich:

$$t_{1/2} = (\ln 2) / (p_{\text{at}} \cdot L) \quad (7)$$

Die Luftwechselrate  $n$  als Funktion des jeweiligen Anfangsdrucks  $p_0$  und der Halbwertszeit  $t_{1/2}$  kann nun mit den Gleichungen 2, 6 und 7 beschrieben werden zu:

$$n = \Delta V / V = (p_0 \cdot \ln 2 \cdot \Delta t) / (10^5 \cdot t_{1/2}) \quad (8)$$

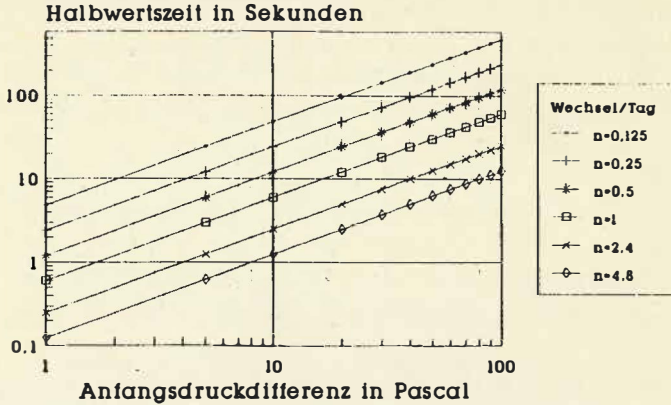
Nimmt man dabei  $\Delta t$  mit einem Tag zu 86 400 Sekunden und  $p_0$  als Anfangsdruck in Pascal über dem Luftdruck von  $10^5 \text{ Pa}$  an, ergeben sich die in den Abbildungen 7 und 8 auf Seite 30 wiedergegebenen Zuordnungen, wobei den in diesem Merkblatt angegebenen Werten für kleine Halbwertszeiten noch eine gewisse Sicherheit von ca. 1 Sekunde vorgehalten ist. Für  $n = 2,4$  pro Tag und 10 Pascal Anfangsdruck ergibt sich aus (8) eine theoretische Halbwertszeit:

$$t_{1/2} = 6,93 \cdot 86\,400 / 240\,000 = 2,5 \text{ Sekunden}$$

Bei 20 Pascal Anfangsdruck erhöht sich für  $n=2,4$  die Halbwertszeit auf 5 Sekunden

### Abbildung 7: Halbwertszeit

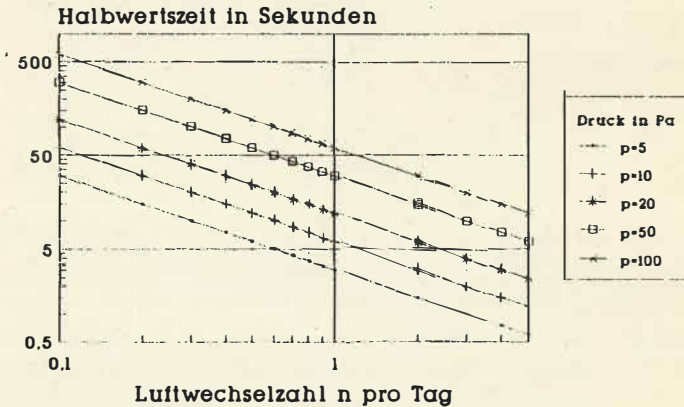
$t_{1/2}$  für verschiedene  $p$  und  $n$   
 $n$  als Luftwechsel pro Tag



$$t_{1/2} = 0.6 \cdot p_0 / n$$

### Abbildung 8: Halbwertszeit

$t_{1/2}$  für verschiedene  $p$  und  $n$   
 Anfangsdruckdifferenz  $p$  in Pascal



$$t_{1/2} = 0.6 \cdot p_0 / n$$

## 6.5 Anlage 5: Zur Frage des Sicherheitsabstandes zu unter Gas stehenden Objekten bei der Schädlingsbekämpfung

Nach langer Diskussion mit vielen beteiligten Fachleuten wurden für Begasungen und Drucktestergebnisse mit Leckrate  $n = 2,4$  pro Tag 50 m Mindestabstand zwischen begastem Objekt und der nächsten Wohnbebauung festgelegt, so wie in 4.1 auf Seite 14 beschrieben. Dieser Wert sollte für alle Objekte bis 100.000 m<sup>3</sup> gelten. Selbstverständlich erfordern kleinere Objekte meist geringere Gasmengen. Dies trifft insbesondere auf kleinere Kirchen, Container, viele Sackstapel und auch Getreideschüttböden zu, für die dementsprechend geringere Sicherheitsabstände gelten sollten. Entscheidend bleiben die Bestimmungen der TRGS 512 nach ausreichender Sicherheit während der Begasung. Hier wird ein Weg beschrieben, um die Sicherheitsabstände sinnvoll dem Immissionsrisiko anzupassen.

Ein Halbkugelschalenmodell erscheint geeignet, für geringere Volumina bzw. Gasmengen entsprechend verringerte Sicherheitsabstände zu bestimmen. Das Begasungsobjekt wird dabei als in der Mitte der Halbkugel stehend angenommen.

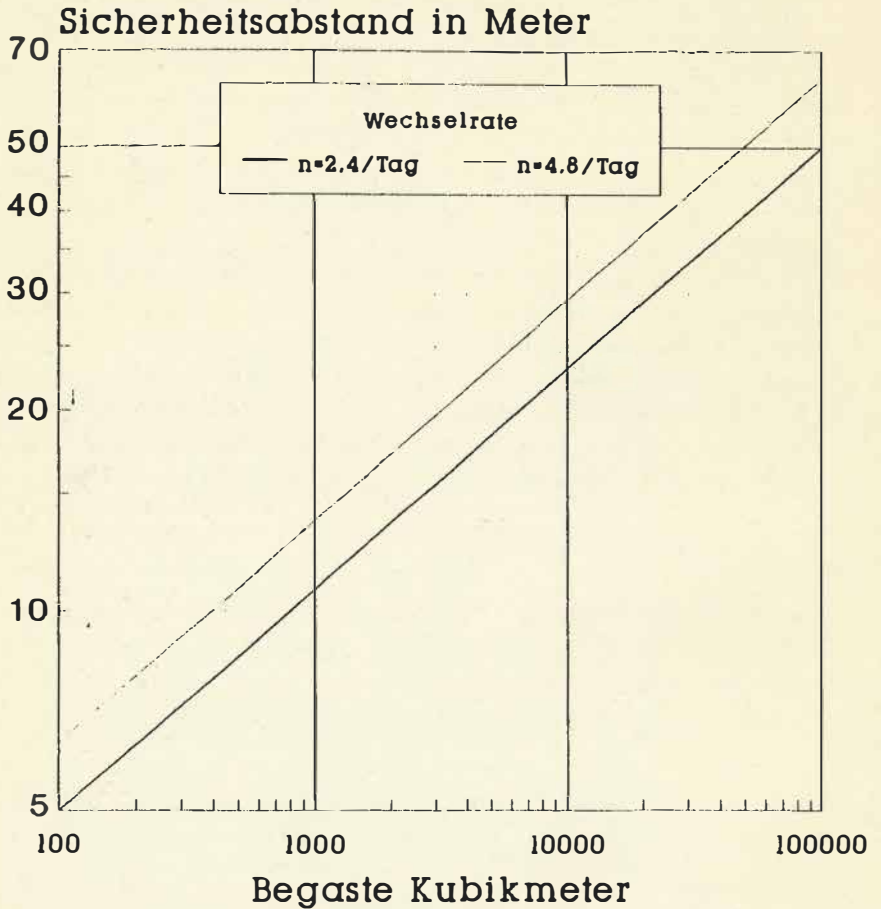
Aus Gleichung (2) läßt sich der jeweilige Sicherheitsabstand als Radius  $r_s$  einer Halbkugel errechnen, wenn das Emissionsrisiko auf ein 100.000 m<sup>3</sup> großes Objekt mit einem Radius von 36,28 m sowie einen dafür geltenden Mindestabstand von 50 m bezogen wird:

$$r_s = (50 \cdot 36,28) \cdot \sqrt[3]{3 \cdot V / (2 \cdot \pi)} \quad (8)$$

Um bei einer Leckrate von  $n_c = 4,8$  pro Tag die gleiche Flächenemission bei einer Halbkugelschale zu haben, muß bei einem 100.000 m<sup>3</sup> großen Objekt der Radius  $r_s$  von 50 m auf 63 m vergrößert werden.

Abbildung 9 auf Seite 32 stellt diesen Zusammenhang graphisch dar.

**Abbildung 9: Sicherheitsabstand  $r_s$**   
 $r_s=50\text{m}$  bei  $100.000\text{m}^3$  und  $n=2,4$  als Basis



Halbkugelschale mit  $100.000\text{m}^3$   
 $r = (3 \cdot \sqrt[3]{V / (2 \cdot \pi)}) \cdot 50 / 36.28$

6.6 Anlage 6: Kopien von Schreiberausdrucken und erläutern der Text mit Abbildungen zum Halbwertszeittest

Abbildung 10, Seite 35 : Schreiberausdruck zum Luftdurchsatztest

Abbildungen 11 und 12, Seite 36 : theoretische Beispiele zum Halbwertszeittest

Abbildung 13, Seite 37: Schreiberausdruck zum Halbwertszeittest

Die Schreiberausdrucke sind von rechts nach links zu lesen, dies entspricht der Laufrichtung des Papiers. Die Windgeschwindigkeit während der Messungen lag bei 0,5 bis 1 m/s mit kurzzeitigen, schnelleren Böen.

Zu Abbildung 10: Die Schreibergeschwindigkeit wurde deutlich sichtbar während der Aufzeichnung verlangsamt - von anfänglichen 1 cm/s auf 1 cm/min. Bei 20 Skalenteilen (Skt) wurde der Schreiber auf 0 Pascal eingeeicht. 2,5 Skt entsprechen 1 Pa; dementsprechend liegen 10 Pa bei  $20 + 25 = 45$  Skt. Die Schwankungen um die beiden Richtwerte 0 Pa und 10 Pa sind deutlich mit bis zu  $\pm 5$  Skt ( $\cong \pm 2$  Pa) im unteren und  $\pm 2$  bis 3 Skt ( $\cong \pm 1$  Pa) im oberen Meßbereich abzulesen. Es wird ersichtlich, daß zwischen den beiden gemessenen Druckwerten eine Differenz von mindestens 25 Skt ( $\cong 10$  Pa) liegt, wie nach LDT gefordert. Die abschließende Bewertung des Testergebnisses hängt nun von der Strömungsleistung des Gebläses und dem Volumen des untersuchten Begasungsobjekts ab (vgl. 3.6.1 auf den Seiten 12 und 13).

Zu Abbildung 11: Bei Windstille kann für ein relativ undichtes Begasungsobjekt ein ähnlicher Kurvenverlauf wie in Abbildung 11 erwartet werden. Die Halbwertszeit kann dabei für den Druckabfall von 10 auf 5 Pascal mit etwa 1 s entnommen werden.

Zu Abbildung 12: In dieser Abbildung ist sowohl das Ergebnis eines HZT für ein undichtes Objekt, wie auch der theoretische Kurvenverlauf für einen gasdichteren Raum dargestellt. Man beachte die um den Faktor 10 verminderte Registriergeschwindigkeit gegenüber dem vorigen Beispiel. Die Daten aus Abbildung 11 sind hier zum Vergleich noch einmal eingezeichnet.

Zu Abbildung 13: Im zu Beginn der Messung langsam mit 1 cm/min aufgezeichneten Schwankungsbereich um den Nullpunkt bei 20 Skt erkennt man die Ausschläge mit  $\pm$  ca. 15 Skt. Bei diesem Beispiel entsprechen 50 Skt 10 Pascal. Daraus ergeben sich 25 Skt für 5 Pa und 5 Skt für 1 Pa. Die Schwankungen betragen demnach  $\pm 3$  Pa. Schwankungen von  $\pm 12$  Skt ( $\cong \pm 2,5$  Pa) lassen sich auch dem langsam auslaufenden Kurvenbereich links in der Abbildung entnehmen. Die Druckdifferenz-Abfallkurve wurde mit 1 mm/s bzw. 1 cm/10 s Laufgeschwindigkeit des Schreiberpapiers aufgenommen. Die

Druckdifferenz wurde zunächst auf über 10 Pa aufgebaut. Nach Abschalten des Luftstroms und gleichzeitigem Abdichten der Belüftungsöffnung fiel die Druckdifferenz deutlich erkennbar langsam ab. Die Halbwertszeit für den Abfall der Druckdifferenz auf 50 % von 10 Pa auf 5 Pa wird wie folgt dem Ausdruck entnommen:

Der Durchlauf der aufgezeichneten Kurve durch den Meßwert 10 Pa Druckdifferenz bzw. 70 Skt wird auf der x-Achse (Zeit-Achse) markiert. Nun wird der Durchlauf durch den Meßwert 5 Pa (45 Skt) gesucht, und auch zu diesem Wert die Zeit auf der x-Achse markiert. Aus der bekannten Vorlaufgeschwindigkeit des Schreiberpapiers kann die Halbwertszeit als zeitlicher Abstand zwischen den beiden Markierungen entnommen werden. Im vorliegenden Beispiel sind dies ca. 2 cm bzw. 20 Sekunden. Für ein Gebäude reicht diese Halbwertszeit in jedem Fall aus. Für eine Silozelle ist dieser Wert gerade noch akzeptabel.

Die beiden Markierungen entsprechen dem Ein- und Ausschalten der Stoppuhr beim Test. Die Ergebnisse mit der Stoppuhr und dem Schreiber sollten mehrfach verglichen werden. Insbesondere bei größeren Abweichungen sollte der Test öfter wiederholt werden. Selbstverständlich kann die Halbwertszeit auch aus anderen Wertepaaren mit dem dazugehörigen Zeitunterschied entnommen werden (15 Pa auf 7,5 Pa o.ä.).



Abbildung 10

Luftdurchsatztest

0906/NSO/26974/7.B4

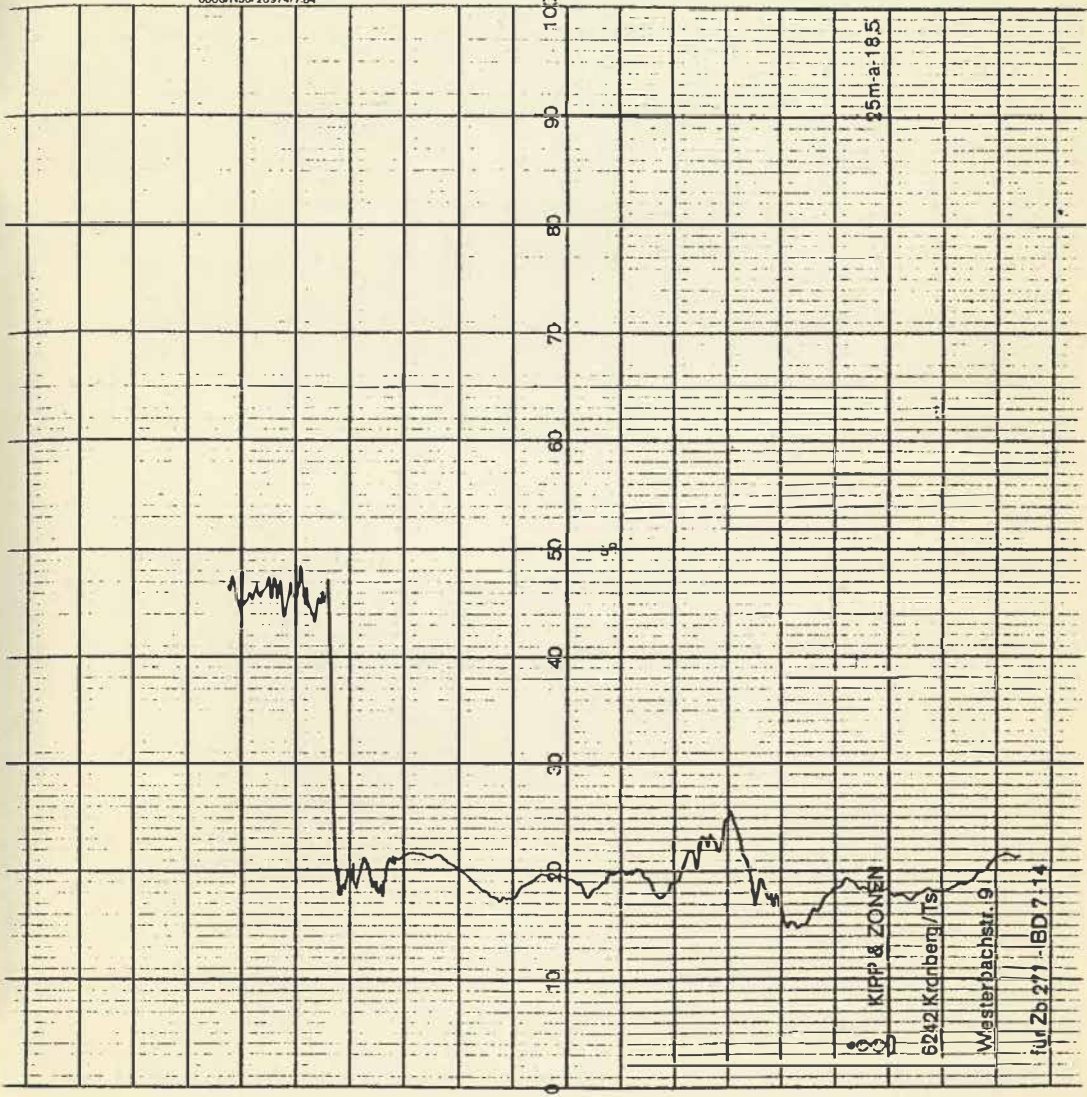


Abbildung 11: Druckdifferenz  
 Beispiel zum Halbwertszeittest  
 Kurvenverlauf ohne Windeinfluß

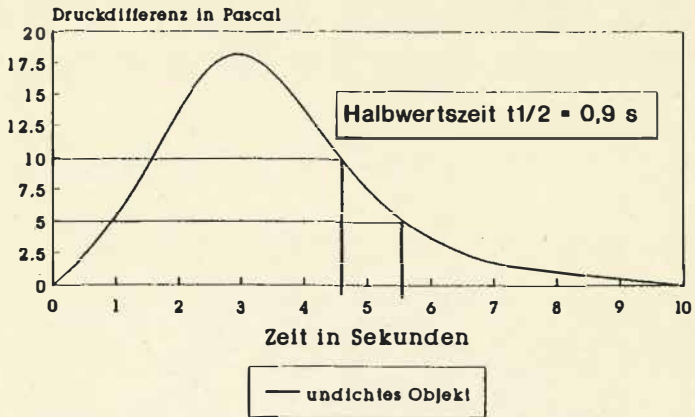


Abbildung 12 Druckdifferenz  
 Beispiel zum Halbwertszeittest  
 Kurvenverlauf ohne Windeinfluß

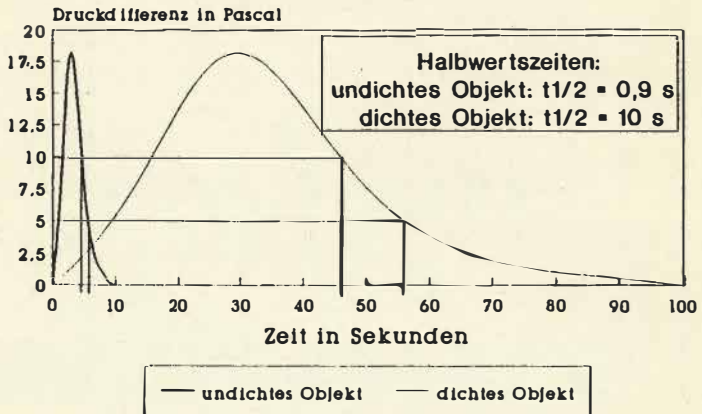
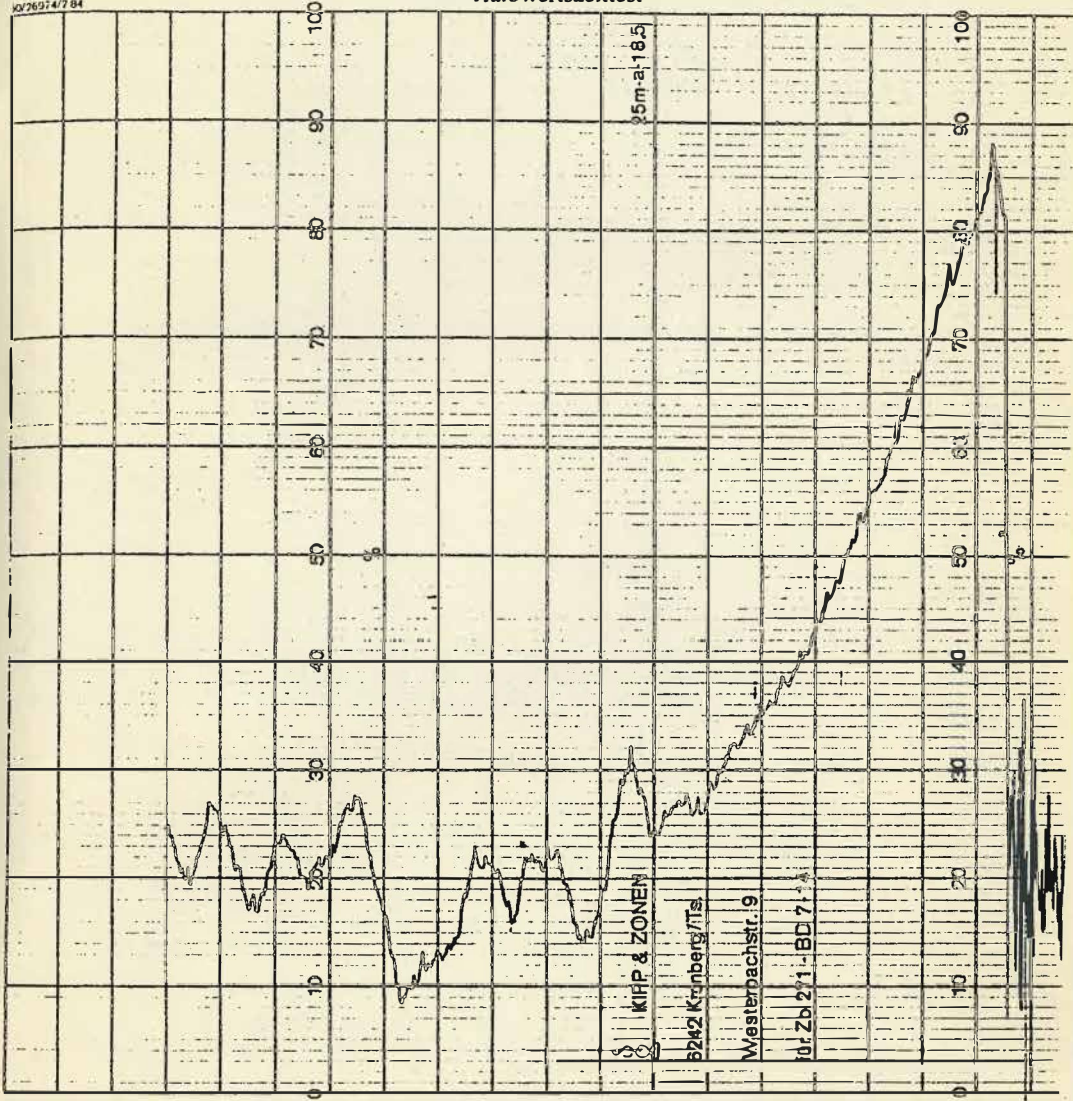




Abbildung 11

Halbwertszeittest

KV 26974/784



6.7 Anlage 7:

Protokoll zum Drucktest

Art des Begasungsobjekts:

- 1) Mühle oder anderer Lebensmittelbetrieb
- 2) Kirche
- 3a) Getreidelager, Getreide abgedichtet
- 3b) Getreidelager, Getreidehalle wird mitbegast
- 4) Silozelle
- 5) Sackstapel
- 6) Kammer und Container

Lebens- und Futtermittelläger sowie andere Lagerräume, die begast werden sollen, lassen sich mit den von 1 bis 6 gegebenen Kategorien beurteilen.

		Erforderliche Dichtigkeitskriterien			
Ob. Nr.:	Volumen V[m <sup>3</sup> ] Tonnage T[t]	Durchsatz [m <sup>3</sup> /h]	Druckdifferenz [Pa]	Halbwertszeit [s]	Luftwechszahl [Vol.Wechsel/Tag]
1)	V	V/10(5)	10	4 (3)	2,4 (4)
2)	V	V/10(5)	10	4 (3)	2,4 (4)
3a)	V bzw.T	V/10	10	4	2,4
3b)	V	V/10	10	4	2,4
4*)	V	V/120	10	30	0,2
5)	V	V/80	10	20	0,3
6)	V	V/240	10	60	0,1

Die Zahlen in Klammern (außer bei 4) stehen als Testbedingungen für die im Text erwähnten Grenzfälle. Bei Silozellen (\*) wird auch ein stündlicher Luftwechsel von 50 % bei 100 Pa Druckdifferenz als Grenzwert vorgeschlagen.

Ort :

Test am :....., Objektart:....., Größe:.....

		Erzielte Dichtigkeitskriterien			
Ob. Nr.:	Volumen [m <sup>3</sup> ] Tonnage [t]	Durchsatz [m <sup>3</sup> /h]	Druckdifferenz [Pa]	Halbwertszeit [s]	Luftwechszahl [Vol.Wechsel/Tag]

Unterschrift:

Begasungsleiter .....

und, wenn anwesend, Sachverständiger.....