

**Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt  
für Land- und Forstwirtschaft  
Berlin-Dahlem**

Heft 173

Dezember 1976



**Versuche zur Begasung unter Quarantäne  
liegender geschütteter Expeller in Schuten  
gegen Khaprakäfer (*Trogoderma granarium* Ev.)**

Von

**Dr. Richard Wohlgemuth, Dr. Joachimhans Drosihn  
und Dr. Faris El-Lakwah**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft  
Institut für Vorratsschutz, Berlin-Dahlem,  
und TESTA GmbH, Hamburg

Berlin 1976

*Herausgegeben  
von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft  
Berlin-Dahlem*

Kommissionsverlag Paul Parey, Berlin und Hamburg  
Lindenstraße 44-47, D-1000 Berlin 61

ISSN 0067-5849

ISBN 3-489-17300-7

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funk- sendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Werden einzelne Vervielfältigungsstücke in dem nach § 54 Abs. 1 UrhG zulässigen Umfang für gewerbliche Zwecke hergestellt, ist an den Verlag die nach § 54 Abs. 2 UrhG zu zahlende Vergütung zu entrichten, die für jedes vervielfältigte Blatt 0,40 DM beträgt.

1976 Kommissionsverlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, D - 1000 Berlin 61, Linden- straße 44-47, Printed in Germany by Arno Brynda GmbH, 1 Berlin 62. Buchbinder: C.F. Walter, 1 Berlin 61.

## Inhalt

	Seite
1. Einleitung . . . . .	5
2. Bedingungen der Quarantänebegasung im Hamburger Hafen . . . . .	6
2.1 Bau und Abdeckung von Schuten . . . . .	6
2.2 Ware . . . . .	6
3. Ergebnis der Versuche . . . . .	7
3.1 Einbringen des Bekämpfungsmittels in den Luftraum über der Ware . . . . .	7
3.1.1 Versuchsdurchführung . . . . .	7
3.1.2 Versuchsergebnis . . . . .	7
3.1.2.1 Gasverteilung während der Einwirkungs- zeit . . . . .	7
3.1.2.2 Abtötungserfolg bei den eingebrachten Versuchstieren . . . . .	8
3.2 Eingasen des Methylbromids in die Ware durch Gasspeere . . . . .	9
3.2.1 Versuchsdurchführung . . . . .	9
3.2.2 Versuchsergebnis . . . . .	10
3.2.2.1 Gasverteilung . . . . .	10
3.2.2.2 Abtötungserfolg bei den eingebrachten Versuchstierproben . . . . .	11
3.3 Eingasen des Methylbromids in die Ware durch Gasspeere mit zusätzlichem Absaugen des Gas-Luft-Gemisches vom Boden der Schute . . . . .	11
3.3.1 Versuchsdurchführung . . . . .	11
3.3.2 Versuchsergebnis . . . . .	12
3.3.2.1 Gaskonzentrationsmessungen . . . . .	12
3.3.2.2 Abtötungserfolg bei den eingebrachten Versuchstierproben . . . . .	12

	Seite
3.4 Kombinationsbegasung mit Methylbromid und Phosphorwasserstoff . . . . .	13
3.4.1 Versuchsdurchführung . . . . .	13
3.4.2 Gaskonzentrationsmessungen . . . . .	14
3.4.3 Abtötungserfolg bei den eingebrachten Versuchstierproben . . . . .	14
4. Diskussion . . . . .	15
Zusammenfassung . . . . .	17
Summary . . . . .	17
Literatur . . . . .	18
Abbildungen . . . . .	19

## 1. Einleitung

Expeller, d. h. Preßrückstände öl- und fetthaltiger Samen, werden als hochwertiger Grundstoff zur Erzeugung von Futtermitteln in großem Umfang seit etwa 1950 aus überseeischen Ländern nach Deutschland eingeführt. Die Einfuhr hat seit 1965/66 stets über 3 Mio. t/Jahr betragen und erreichte 1972/73 mit über 4 Mio. t/Jahr (NN 1975) ein vorläufiges Maximum. Je nach Warenart und Herkunft ist ein mehr oder weniger hoher Prozentsatz dieser importierten Expeller von Schädlingen befallen, von denen der Khaparakäfer für den Vorratsschutz als besonders gefährlich angesehen wird. Alle Expellerladungen werden daher nach der Pflanzenbeschauverordnung vom 13. 8. 57 (NN 1970) im Zuge der Einfuhr ins Bundesgebiet überprüft. Bei Befall mit Khaparakäfern wird eine Begasung angeordnet.

Bis in die Mitte der 60er Jahre wurde Expeller vorwiegend gesackt gehandelt. Im Hafen\* wurden die Säcke aus den seegehenden Schiffen in Schuten, Küstenmotorschiffe und Binnenschiffe umgeladen und in diesen auch begast. Durch Versuche des Institutes für Vorratsschutz konnte nachgewiesen werden, daß durch Methylbromid-Begasungen bei dieser Sackware ein vollständiger Bekämpfungserfolg auch gegen den Khaparakäfer-Befall zu erzielen war.

Etwa ab 1965 begann der Handel jedoch - gezwungen durch den hohen Arbeitsaufwand bei gesackter Ware - sich auf den Import geschütteter Expeller umzustellen. Die Expeller werden entweder schon im Ursprungsland lose geladen, oder bei der Entladung der Überseeschiffe werden die Säcke noch an Bord geschnitten und die Ware dann mit Greifern oder Saughebern gelöscht. Für die Begasungstechnik ergaben sich aus dieser Art des Warenumschlages Probleme, da das Gas jetzt eine geschlossene Expellermasse durchdringen mußte, während es bei der Begasung von gesacktem Expeller zwischen den gestapelten Säcken ausreichend Lücken zur Verteilung gefunden hatte. Nachdem sich in einem Begasungsversuch gezeigt hatte, daß es dem Methylbromid bei der Anwendung in geschütteter Ware nicht gelingt, in alle Bereiche der Ladung aus-

---

\*) Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Verhältnisse im Hamburger Hafen.

reichend zur Abtötung der Schädlinge einzudringen, war es die Aufgabe der für den Vorratsschutz verantwortlichen Stellen, Wege zu einem Verfahren zu zeigen, mit dem eine volle Wirkung der Begasung zu erreichen war\*.

## 2. Bedingungen der Quarantänebegasung im Hamburger Hafen

### 2.1 Bau und Abdeckung von Schuten

Die im Hamburger Hafen vorhandenen Schuten zeigen bei allen Abweichungen in den Einzelheiten doch im großen und ganzen folgendes Bild: Es sind aus Stahlplatten geschweißte Kähne mit einem Laderaum von ca. 6 m Breite, ca. 3 m Tiefe und einer Länge von 15 bis 20 m. Die vorgelegten Versuchsergebnisse dürften auch auf andere kleine Wasserfahrzeuge ähnlicher Größenordnung übertragbar sein. Bei den älteren Typen werden die ein oder zwei Luken des Laderaumes mit einzelnen Brettern verschlossen und zusätzlich durch eine regendichte Plane abgedeckt; neuere Typen haben in Schienen laufende übereinanderschiebbarer Deckel aus Stahlblech (Roldeckschuten), die einen Schutz des Ladegutes sichern. Bei Begasungen werden über die mit Brettern bzw. Roldecks verschlossenen Laderäume Plastikplanen und wetterfeste Persenninge gezogen und beide mit Hilfe von Schalk-Latten und -Keilen von außen gegen die Wände des Laderaumes gepreßt. Stellen, an denen Undichtigkeiten vorhanden sind, werden zusätzlich mit Papierstreifen abgeklebt. Bei sorgfältiger Arbeit wird so ein hinreichend gasdichter Raum geschaffen.

### 2.2 Ware

Bei den zu begasenden Waren handelt es sich vorwiegend um Baumwollsaat- und Erdnußexpeller. Es kommen aber auch Expeller aus anderen ölhaltigen Samen und Früchten vor (Sonnenblumen, Kokos, Sesam, Leinsaat, Babassu, Palmkern usw.). Das Substrat fällt in allen Übergängen von grob gebrochenen Platten bis zu annähernd mehlfeyner Vermahlung an. Da die Ware aus tropischen und subtropischen Gebieten eingeführt wird, liegt die Warentemperatur

---

\*) Wir danken der Firma DEGESCH Frankfurt sowie der Amtlichen Pflanzenbeschau Hamburg für die Unterstützung bei den Versuchen.

bei der Entladung im Hafen selbst im Winter normalerweise bei +20 bis ca. +35 °C.

### 3. Ergebnis der Versuche

#### 3.1 Einbringen des Bekämpfungsmittels\* in den Luftraum über der Ware

##### 3.1.1 Versuchsdurchführung

Für diesen Versuch, der bei Lufttemperaturen um  $\pm 0$  °C (min. -2,7 °C; max. +3,9 °C) stattfand, wurde eine Schute mit einem Fassungsvermögen von ca. 200 t mit nur 116 t Erdnußexpeller beladen. Die Warentemperatur lag bei der Eingasung zwischen +14,5 und +26,5 °C (Mittel +22,5 °C). Über der Ladung war ein freier Raum von mindestens 1 m Höhe vorhanden, d. h. die Schütthöhe des Expellers betrug höchstens 2 m (s. Abb. 1). Die geringe Beladung war gewählt worden, um dem Gas einen ausreichenden Raum über der Ware zur gleichmäßigen Verteilung zu bieten.

Das HALTOX wurde aus Stahlflaschen über je eine Doppeldüse an beiden Schmalseiten des Laderaumes in den Freiraum über der Ware eingeblasen. Der nötige Druck wurde mit Preßluft erreicht, die auf das in der Stahlflasche flüssige Präparat wirkt. Beim Austritt aus den Düsen wurde das HALTOX in Tröpfchen zerstäubt, die sich in dem großen Luftraum über der Ware verteilten und verdampften. Die Dosierung betrug  $72 \text{ g/m}^{3**}$ , berechnet auf den Gesamtladeraum der Schute.

##### 3.1.2 Versuchsergebnis

###### 3.1.2.1 Gasverteilung während der Einwirkungszeit

Während der Einwirkungszeit des Gases (insgesamt 42 h) wurden an vier Stellen im Luftraum über dem Expeller und an weiteren 32 Meßstellen innerhalb

---

\*) Als Begasungsmittel wurde Methylbromid ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ) in Form des Präparates HALTOX<sup>®</sup> (Zul.-Nr. 0781) der Firma DEGESCH, Frankfurt, verwendet.

\*\*\*) Die Dosierung des Präparates ist nach der gegenwärtig gültigen Zulassung abhängig von der Warentemperatur zur Zeit der Eingasung (Rothert 1975).

der Ware mit Gasmesssonden wiederholt Gasproben entnommen und mit einem Wärmeleitfähigkeits-Meßgerät (B & M Thermal-Conductivity-Meter)\* gemessen. Eine typische Gasverteilung ist in Abb. 1 wiedergegeben. Außer im Freiraum waren nur in den tieferen Warenschichten in Bodennähe höhere Gasmenngen in Form eines flachen "Gas-Sees" festzustellen. Große Bereiche im Inneren der Ware wurden jedoch vom Gas nicht erreicht. Selbst Gasmessstellen, die nur wenig über dem Boden des Laderaumes lagen, zeigten deutlich geringere Werte. Die anfänglich sehr großen Konzentrationsunterschiede in der Ware wurden zwar während der Einwirkungszeit kleiner, doch wurde die Ladung auch im Laufe von 41 h (Zeitpunkt der letzten Gaskonzentrationsmessung) nicht so weit durchdrungen, daß eine zur Abtötung der Khaprakäfer-Larven ausreichende Gaskonzentration im Inneren erreicht wurde.

Bei diesem Versuch blieb ungeklärt, wie das Gas aus dem Freiraum über der Ware in die tiefliegenden Expeller-Schichten gelangt war, ohne daß es im Inneren der Ware selbst nachgewiesen werden konnte. In den weiteren Versuchen wurde jedoch bei Meßstellen direkt an den Bordwänden eine sehr hohe Konzentration gefunden. Es kann daher angenommen werden, daß das Gas durch die der Bordwand anliegenden Schichten zum Boden der Schute abfließt.

### 3.1.2.2 Abtötungserfolg bei den eingebrachten Versuchstieren

Vor Beginn der Begasung wurden in die Ware an verschiedenen Stellen Proben mit älteren Larven des Khaprakäfers eingebracht. Diese ausgewachsenen, verpuppungsfähigen Larven wurden gewählt, da sie nach eigenen Erfahrungen und Angaben in der Literatur gegen Gase am widerstandsfähigsten sind. Die Larven befanden sich zusammen mit etwas grobem Weizenschrot\*\* in kleinen Käfigen aus Edelstahl-Drahtgaze. Diese Käfige steckten wiederum in kleinen gelochten Stahlbehältern, die mit Hilfe eines Stechers auf die gewünschte Tiefe gebracht werden konnten, oder in den gelochten Spitzen von Einstechsonden.

---

\*) siehe Wohlgemuth 1971

\*\*\*) Übliches Zuchtsubstrat der Khaprakäfer-Zuchten des Institutes für Vorratsschutz.

Wie aufgrund der Gaskonzentrationsmessungen zu erwarten war, wurden die meisten überlebenden Tiere in den Proben gefunden, die sich in 0,5 bzw. 1,0 m Tiefe unter der Oberfläche der Expellerladung befunden hatten. In den Proben am Schutenboden überlebten nur an einer Stelle, die auch niedrige Gasmeßwerte zeigte, eine Anzahl von Larven.

Ein Vergleich zwischen der Gaskonzentrationsmessung und dem Abtötungserfolg zeigt eine befriedigende Übereinstimmung. Überlebende Tiere wurden bei CT-Produkten von 13, 23, 33, 78 und 117 g·h/m<sup>3</sup> gefunden. Nach den Ergebnissen zur Zeit laufender noch unveröffentlichter Versuche über die Wirkung von Methylbromid auf Trogoderma-Larven wären jedoch bei der gemessenen durchschnittlichen Warentemperatur von rund +23 °C ca. 180 g·h/m<sup>3</sup> zur Abtötung (LD<sub>99,9</sub>) erforderlich gewesen. Der o. a. CT-Wert von 117 g·h/m<sup>3</sup> hätte erst bei ca. +29 °C für eine vollständige Abtötung (LD<sub>99,9</sub>) der Larven ausgereicht.

### 3.2 Eingasen des HALTOX in die Ware durch Gasspeere

Nachdem der unter 3.1 beschriebene Versuch gezeigt hat, daß Methylbromid unter solchen Versuchsbedingungen die Ware nicht ausreichend durchdringt, wurde versucht, das Gas mit Hilfe von Gasspeeren in die Warenladung einzubringen.

#### 3.2.1 Versuchsdurchführung

Als Versuchsobjekt diente eine Schute, die mit 200 t Baumwollsaatexpeller praktisch voll beladen war, so daß nur ein geringer Freiraum zwischen Warenoberfläche und gasdichter Abdeckung verblieb. Die Ware hatte mit durchschnittlich +18 °C (min. +15 °C; max. +22,5 °C) eine relativ niedrige Temperatur, so daß mit 96 g/m<sup>3</sup> HALTOX (s. Fußnote S. 7) begast wurde. Als Gasspeere wurden 3 m lange Stahl-Rohre mit einem Innendurchmesser von 6 mm verwendet. Die Rohre waren am unteren Ende zugeschweißt und in ihrem Mittelstück auf 2 m Länge mit Löchern versehen, durch die das Gas in die Ware eintreten konnte (s. Abb. 2a). Die Gasspeere wurden senkrecht in Abständen von 1,5 m zueinander in die Ware eingestochen, so daß in der

Diagonalen zwischen den Speeren kein Bereich weiter als etwa 1 m von einem der Gasspeere entfernt war\*. Die Gasspeere wurden durch Polyamid-Schläuche mit einem in der Schutenmitte über die Ware gelegten stärkeren Polyäthylen-Schlauch, der durch die Abdeckung gasdicht nach außen geführt war, durch entsprechende Metall-Flansche verbunden (s. Abb. 2b). Das HALTOX wurde, wie unter 3.1.1 beschrieben, aus Stahlflaschen freigesetzt, jedoch vor dem Eintritt in das Schlauchsystem mit Hilfe eines Verdampfers erhitzt, so daß es nur in gasförmigem Zustand in das Verteilernetz eintrat und durch die Löcher in den Gasspeeren in die Ware gepreßt wurde. Um die gleichmäßige Verteilung des Methylbromids in der Ware noch zusätzlich zu fördern, wurde über ein Elektrogebläse, das in der verschalteten Schute auf der Ware stand, nach der Eingsung noch für 2 Stunden ein Kreislauf des Gas-Luft-Gemisches aufrechterhalten (s. Abb. 2). Während der restlichen Einwirkungszeit von insgesamt 48 Stunden war der Kreislauf nicht in Betrieb.

### 3.2.2 Versuchsergebnis

#### 3.2.2.1 Gasverteilung

Die Abb. 3a und b zeigen einen Querschnitt durch die Schute, und zwar 3a in gleicher Ebene mit den Gasspeeren, Abb. 3b in der Mitte zwischen zwei Reihen von Gasspeeren. Hohe Gaskonzentrationen wurden wiederum am Boden der Schute, vor allem aber an den Bordwänden gemessen. Das unter 3.1.2 beschriebene Verteilungsbild war also im Prinzip auch bei dieser Einbringungsart erhalten geblieben, doch gelang es, auch ins Innere der Warenladung Gas einzubringen. Als Nachteil des "offenen" Kreislaufes, d. h. des Ansaugens aus dem Luftraum über der Ware, ergab sich, daß dadurch der Methylbromid-Gehalt in diesem Bereich auf Null absank, was sich auch an der Höhe der Abtötungsrate in den hier ausgebrachten Proben zeigte (s. 3.2.2). Dieser extreme Abfall der Gaskonzentration im Freiraum über der Ware läßt auf eine außerordentlich hohe Sorptionsfähigkeit des Expellers gegenüber Methylbromid schließen.

---

\*) Gleiche Versuche mit einem Gasspeerabstand von 2 m ergaben eine schlechtere Gasverteilung und damit eine deutlich geringere Abtötungsrate der Schädlinge.

### 3.2.2.2 Abtötungserfolg bei den eingebrachten Versuchstierproben

Bei diesem Versuch wurden ebenfalls Khapprakäfer-Larven in der unter 3.1.2.2 beschriebenen Form in die Ware eingebracht. Die Stellen wurden so gewählt, daß die Proben möglichst weit von den Gasspeeren entfernt waren, weil dort die geringsten Gaskonzentrationswerte erwartet wurden. In den Abb. 3a und b sind die Stellen, an denen überlebende Tiere gefunden wurden, durch einen Kreis um die Meßstellenmarkierung gekennzeichnet. Wie aufgrund der Konzentrationsmessungen vorherzusehen, wurden auch unter diesen veränderten Versuchsbedingungen die überlebenden Tiere im Inneren der Expellerladung gefunden, während am Boden und an den Bordwänden der Schute der Erfolg war. Überlebende Tiere wurden bei CT-Werten von 43, 84, 110 sowie  $122 \text{ g} \cdot \text{h}/\text{m}^3$  gefunden. Diese Werte hätten selbst bei der höchsten gemessenen Warentemperatur ( $+22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) nicht ausgereicht, da nach zur Zeit laufenden Untersuchungen bei dieser Temperatur ca.  $190 \text{ g} \cdot \text{h}/\text{m}^3$  Methylbromid für eine LD<sub>99,9</sub> erforderlich sind.

Ferner wurden sehr viele überlebende Tiere in solchen Proben gefunden, die im Luftraum über der Ware ausgelegt worden waren - eine Folge des "offenen" Kreislaufes (s. 3.2.2.1).

### 3.3 Eingasen des HALTOX in die Ware durch Gasspeere mit zusätzlichem Absaugen des Gas-Luft-Gemisches vom Boden der Schute

Bei vorstehend beschriebenem Versuch war es zwar gelungen, das Gas in die Ware einzubringen, doch hatte sich wiederum ein "Gas-See" (s. 3.1.2.1) am Boden der Schute gebildet, dessen Inhalt für die Abtötung der Schädlinge im Inneren der Ware fehlte. Es mußte daher nach Wegen gesucht werden, dieses Gas wieder in den Kreislauf einzubeziehen.

#### 3.3.1 Versuchsdurchführung

Für den Versuch stand eine mit 170 t Erdnußexpeller zu ca. 85 % ihres Fassungsvermögens beladene Schute zur Verfügung. Die Temperatur des Expellers war mit  $+24$  bis  $+37 \text{ }^\circ\text{C}$  (Durchschnitt  $+30 \text{ }^\circ\text{C}$ ) relativ hoch. Es wurden  $72 \text{ g}/\text{m}^3$  HALTOX eingesetzt. Die Speere zum Einbringen des Gases wurden in der unter

3.2.1 beschriebenen Art und Anordnung in die Ware eingestochen. Zusätzlich dazu wurden in gleichmäßiger Verteilung weitere Rohre, die an ihrem unteren Ende einige Öffnungen hatten, bis an den Boden der Schute eingestochen und an ein weiteres Schlauchsystem angeschlossen (s. Abb. 4 a und b). Nach der Eingasung in der unter 3.2.1 beschriebenen Form, wurden beide Schlauchsysteme über das Elektrogebläse miteinander verbunden, so daß ein "geschlossener" Kreislauf entsprechend der Abb. 4 hergestellt war. Dieser Kreislauf wurde ca. 8 Stunden aufrechterhalten.

### 3.3.2 Versuchsergebnis

#### 3.3.2.1 Gaskonzentrationsmessungen

In den Abb. 5 a und b sind die Gasverteilungen zu verschiedenen Zeiten nach der Eingasung dargestellt. Wie unter 3.2.2.1 beschrieben, ist in Abb. 5 a der Schnitt durch die Ebene der Gasspeere, in Abb. 5 b in die Zwischenräume gelegt. In beiden Schnittebenen ist die relativ gleichmäßige Verteilung des Gases über die gesamte Ware zu erkennen. Die Bildung des "Gas-Sees" wurde durch diese Art der Einbringung weitgehend verhindert. Da der Freiraum über der Ware nicht wie bei 3.2 in den Kreislauf einbezogen war, konnte sich hier eine ausreichende Konzentration von Methylbromid, das aus der Ware nach oben austrat, halten.

#### 3.3.2.2 Abtötungserfolg bei den eingebrachten Versuchstierproben

Wie in den vorhergehenden Versuchen war an jeder Gasmeßstelle eine Probe mit Khaprakäferlarven eingebracht worden. Nur in einer Probe, deren Lage in Abb. 5 b gekennzeichnet ist (s. 3.2.2.2), überlebten einige Larven die 46-stündige Begasung. An dieser Stelle waren auch bei allen Gasmessungen die niedrigsten Werte gefunden worden.

Nach den zur Zeit laufenden Untersuchungen entspricht für eine  $LD_{99,9}$  das hier gemessene CT-Produkt von  $90 \text{ g} \cdot \text{h}/\text{m}^3$  einer Temperatur von ca.  $+34^\circ\text{C}$ , hätte also zur Abtötung nur ausgereicht, wenn die Probe an einer Stelle mit überdurchschnittlich hoher Warentemperatur gelegen hätte.

### 3.4 Kombinationsbegasung mit Methylbromid (HALTOX) und Phosphorwasserstoff (PHOSTOXIN®-Beuteln\*)

Der unter 3.3 beschriebene Versuch läßt erwarten, daß es mit einem noch weiter verbesserten Kreislaufsystem grundsätzlich möglich ist, eine ausreichend gleichmäßige Gasverteilung zu erreichen. Unter den Anforderungen der Praxis bringen jedoch diese Gasverteilungssysteme gewisse Erschwernisse, so daß dieser Weg nicht weiter verfolgt worden ist. Vorhergehende Versuche zur Schutenbegasung mit Phosphorwasserstoff-entwickelnden Präparaten bei einer Einwirkungszeit von 3 Tagen hatten gezeigt, daß mit diesem Gas befriedigende Abtötungserfolge im Inneren der Ware zu erreichen sind, in den Randbereichen der Partien jedoch Larven überleben. Es lag daher der Gedanke nahe, die beiden Gase in einem Kombinationsverfahren gleichzeitig einzusetzen.

#### 3.4.1 Versuchsdurchführung

Für den Versuch wurde eine mit ca. 140 t Baumwollsaatexpeller bis ca. 1 m unter die Abdeckung beladene Schute verwendet. Die Warentemperatur betrug durchschnittlich  $+29,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (min.  $+26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; max.  $+31\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Entsprechend der hohen Warentemperatur wurden  $56\text{ g/m}^3$  HALTOX verwendet. Zusätzlich wurden PHOSTOXIN-Beutel in einer Aufwandmenge von 1 Beutel mit 40 g Präparat pro  $3\text{ m}^3$  Laderaum eingesetzt. Die rechnerische Gaskonzentration betrug rund  $4,4\text{ g/m}^3$  Phosphorwasserstoff  $\hat{=}$  ca. 3000 ppm  $\text{PH}_3$ .

Die PHOSTOXIN-Beutel wurden möglichst gleichmäßig verteilt auf der Oberfläche der Ware ausgeworfen. Anschließend wurde die Schute sofort abgedeckt und gasdicht verschlossen. Über zwei Schläuche, die vor dem Abdichten an den beiden Schmalseiten des Laderaumes eingelegt worden waren, wurde HALTOX in der unter 3.1.1 beschriebenen Weise in den Freiraum über der Ware eingeblasen. Die Begasungszeit wurde auf 72 h verlängert, da sich der Phosphorwasserstoff erst mit Verzögerung über längere Zeit aus dem Präparat entwickelt und dieses zur Abtötung von Insekten außerdem erfahrungsgemäß ohnehin eine längere Einwirkungszeit erfordert (Howe 1974).

---

\*) (Zul.-Nr. 0783)

### 3.4.2 Gaskonzentrationsmessungen

Auf die Messung der Gaskonzentration des Methylbromids mußte verzichtet werden, da zu befürchten war, daß der Phosphorwasserstoff die Platin-Heizwendel des Thermal-Conductivity-Meter beschädigen könnte. Es darf jedoch auch bei diesem Versuch die für Methylbromid typische Gasverteilung (hohe Konzentration am Boden und an den Wänden der Schute; geringe Konzentration im Inneren der Ware) angenommen werden. Die Verteilung des Phosphorwasserstoffes wurde an 6 Meßstellen in zwei verschiedenen Querschnitten durch die Ware sowie an einer weiteren Meßstelle im Luftraum über der Ware mit  $\text{PH}_3$ -Prüfröhrchen gemessen (Abb. 6a und b). Während der Begasungszeit von 72 h verteilte sich der Phosphorwasserstoff relativ gleichmäßig über die gesamte Ware. Auch weitere zur Entwicklung des Verfahrens durchgeführte Versuche der Autoren an anderen expellerbeladenen Schuten lassen eine zufriedenstellend gleichmäßige Verteilung des Phosphorwasserstoffes erkennen. Wesentlich für den Bekämpfungserfolg ist dabei, daß dieses Gas im Gegensatz zum Methylbromid ins Innere der Expellermasse voll eindringt.

### 3.4.3 Abtötungserfolg bei den eingebrachten Versuchstierproben

In dem beschriebenen Versuch wurden insgesamt 24 Proben mit je 50 Khaprakäfer-Larven an verschiedenen Stellen in der Ware sowie im Freiraum über der Ware ausgebracht. Alle Tiere wurden abgetötet.

Bei zwei ähnlich angelegten Versuchen, bei denen als Phosphorwasserstoff-Quellen PHOSTOXIN-Tabletten\* (3 Tabletten/ $\text{m}^3 \hat{=} \text{rd. } 2000 \text{ ppm } \text{PH}_3$ ; 5 Tabletten/ $\text{m}^3 \hat{=} \text{rd. } 3400 \text{ ppm } \text{PH}_3$ ) etwa 1 m tief in die Ware eingestochen wurden, überlebten in einzelnen Proben einige Larven. Diese Proben lagen jedoch direkt über dem Boden der Schute bzw. an den Bordwänden, wo wegen der hier tieferen Waren- bzw. Lufttemperatur die Wirkung des Phosphorwasserstoffes ohnehin gering ist. In beiden Fällen waren also wahrscheinlich Unterdosierung bzw. schlechte Verteilung des Methylbromids die Ursachen für den unvollständigen Bekämpfungserfolg.

---

\*) (Zul.-Nr. 0783)

#### 4. Diskussion

Untersuchungen an Objekten der Praxis zur Entwicklung von Bekämpfungsverfahren bringen stets besondere Schwierigkeiten mit sich, die bei Laboruntersuchungen meist vermieden werden können. So haben auch im vorliegenden Fall technische Schwierigkeiten nicht gestattet, so exakt wie bei Laboruntersuchungen vorzugehen. Die Versuchsobjekte mußten weitgehend so akzeptiert werden, wie sie im Betrieb eines Hafens anfallen. Jede Versuchsschute unterschied sich von den anderen in einer ganzen Reihe von Parametern, wie z. B. Bauart, Art der Ware, Umfang und Verteilung der Ladung, Temperatur der Ware. Auch die klimatischen Bedingungen (Verlauf der Lufttemperatur, Wassertemperatur, Windstärke) sind nicht zu beeinflussen. Selbst Versuchsserien am gleichen Objekt, die sich aus handelstechnischen Gründen nicht verwirklichen ließen, hätten keine völlig befriedigenden Ergebnisse ermöglicht, da sich von Versuch zu Versuch die Temperaturverteilung in der Ware geändert hätte, und es auch unmöglich gewesen wäre, den "Gas-See" aus den unteren Schichten der Ladung vollständig zu entfernen. Trotzdem bieten die Versuchsergebnisse einen Einblick in die bei Methylbromid- und Phosphorwasserstoff-Begasungen geschütteter Expellerladungen in Schuten ablaufenden Vorgänge und zeigen Wege zu ihrer Beeinflussung auf.

Die Versuche zur Zwangsverteilung des Methylbromids in der Expellermasse über Schlauchsysteme lassen erkennen, daß dieser grundsätzlich gangbare Weg einen für die Praxis höheren Einsatz an technischer Einrichtung und großen Arbeitsaufwand bedeutet. Dagegen stellt die Kombinationsbegasung mit Methylbromid+Phosphorwasserstoff einen Ausweg dar, wenn auch die Dauer der Begasung auf 72 h verlängert werden muß, was im Hafenbetrieb sicher eine zusätzliche Belastung ist. Da der Phosphorwasserstoff zu seiner Entwicklung aus dem Metallphosphid jedoch einige Zeit benötigt und aufgrund der physiologischen Wirkungsweise dieses Gases auch bei Konzentrationserhöhung eine gewisse Einwirkungszeit nicht umgangen werden kann (s. 3.4.1), wird man diese Erschwernis in Kauf nehmen müssen. Man kann jedoch davon ausgehen, daß das Verfahren noch nicht optimiert ist. Vermutlich werden besonders bei der Dosierung und Eingasung des Methylbromids noch Verbesserungen

möglich sein, wenn man das Sorptionsverhalten der verschiedenen Expellerarten und deren Verarbeitungszustände (sorptive Oberfläche in Abhängigkeit von Zerkleinerungs-Grad, Pelletierung usw.) bei der Dosierung berücksichtigt. Da bei Expeller aufgrund seines Fettgehaltes immer mit Bromid-Rückständen nach einer Methylbromidbegasung zu rechnen ist, sollte die Möglichkeit genutzt werden, eine vermeidbare Belastung zu vermindern. Ferner ist zu untersuchen, welchen Einfluß die Waren- bzw. Außentemperatur (Luft und Wasser) auf die Dosierung der beiden Gase und das Dosierungsverhältnis hat. Dem wird zwar durch die Abhängigkeit der Methylbromid-Dosierung von der Warentemperatur auch jetzt bereits Rechnung getragen, doch erscheint es nach den vorliegenden Versuchsergebnissen zweifelhaft, ob dieses Dosierungsschema (s. Rothert 1975) bei dem beschriebenen Einsatz zur Expellerbegasung in Schuten sinnvoll ist, da

Methylbromid seinen Wirkungsbereich vorwiegend in den Randpartien der Ladung hat, in denen aber die Geschwindigkeit der Abkühlung des Expellers wahrscheinlich stärker von der Temperatur der Luft bzw. des Wassers beeinflusst wird als von der Warentemperatur im Augenblick der Eingasung. Die Dosierung müßte sich demnach in erster Linie nach den vorhandenen bzw. zu erwartenden klimatischen Verhältnissen richten.

Phosphorwasserstoff wegen seiner guten Durchdringungsfähigkeit die Aufgabe zufällt, die Larven im Inneren der Ware abzutöten, hier aber die klimatischen Verhältnisse sich erfahrungsgemäß auch bei 72-stündiger Einwirkungszeit kaum auswirken, so daß für die Phosphorwasserstoff-Dosierung die Warentemperatur der entscheidende Faktor ist.

Zur Zeit laufen Untersuchungen, in denen unter anderem diese Fragen geklärt werden sollen.

### Zusammenfassung

Die Verfahren zur Begasung geschütteter Expellerladungen in Schuten gegen Khaprakäferbefall (*Trogoderma granarium* Ev.) wurden unter den Verhältnissen der Einfuhr-Quarantäne im Hamburger Hafen untersucht. Begasungen mit Methylbromid erwiesen sich als ungenügend wirksam, da das Gas nicht ins Innere der Expellerladung eindringt. Verteilungssysteme, mit denen das Gas in die Ware eingeleitet und umgewälzt wurde, brachten zwar gewisse Erfolge, waren aber für den praktischen Einsatz zu aufwendig. Es wurde daher ein Kombinationsverfahren mit gleichzeitigem Einsatz von HALTOX<sup>®</sup> (Methylbromid) und PHOSTOXIN<sup>®</sup> (Phosphorwasserstoff) entwickelt. Bei dreitägiger Begasungszeit konnte ein befriedigender Bekämpfungserfolg gegen die Larven des Schädling erzielt werden. Daher hat die Biologische Bundesanstalt das Präparat PHOSTOXIN (als Tabletten und Beutel) in Kombination mit HALTOX zur Begasung geschütteter Expeller in Schuten und Küstenmotorschiffen zugelassen. Es bieten sich jedoch noch verschiedene Ansatzpunkte für eine Weiterentwicklung.

Tests for fumigation of bulk-loaded expeller in barges against Khapra-beetle (*Trogoderma granarium* Ev.)

### Summary

Fumigation of bulk-loaded expeller in barges against the larvae of khapra-beetle (*Trogoderma granarium* Everts) was investigated in the port of Hamburg under import quarantine conditions. Fumigation with methyl-bromide proved to be unsatisfactory because the gas could not penetrate into the bulk of the expeller. Distribution systems used for insertion and circulation of the gas through the expeller showed positive results, but they were too complicated for practical use. Therefore a method for the combined use of PHOSTOXIN<sup>®</sup> (phosphine) and HALTOX<sup>®</sup> (methyl-bromide) was developed. A fumigation period of 3 days showed satisfying results for controlling the larvae of this pest. Therefore PHOSTOXIN (as tablets and bags) in combination with HALTOX was licensed by the Biologische Bundesanstalt for fumigation of bulk-loaded expellers in barges and coasting vessels; however there is still room for development.

Literatur

Howe, R. W.

Problems in the laboratory investigation of the toxicity of Phosphine to stored product insects

J. stored Prod. Res. 10. 1974, 167-181

NN

Pflanzenbeschauverordnung vom 23. 8. 1957 in der Neufassung vom 11. 5. 1970

Bundesgesetzblatt -Teil I-, Nr. 42 vom 14. 5. 1970, S. 477

und

13. Verordnung zur Änderung der Pflanzenbeschauverordnung

Bundesgesetzblatt -Teil I-, Nr. 121 vom 5. 11. 1975, S. 2707

NN

Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Berlin: Parey 19. 1975, S. 101

Rothert, H.

Die Bekämpfung von Vorratsschädlingen in Expellern nach dem Stand der Zulassung für Pflanzenschutzmittel am 1. Januar 1975

Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. (Braunschweig) 27. 1975, 7-9

Wohlgemuth, R.

Methoden zur Konzentrationsmessung von Methylbromid im Vorratsschutz

Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtsch. Berlin-Dahlem 142. 1971, 33 S.

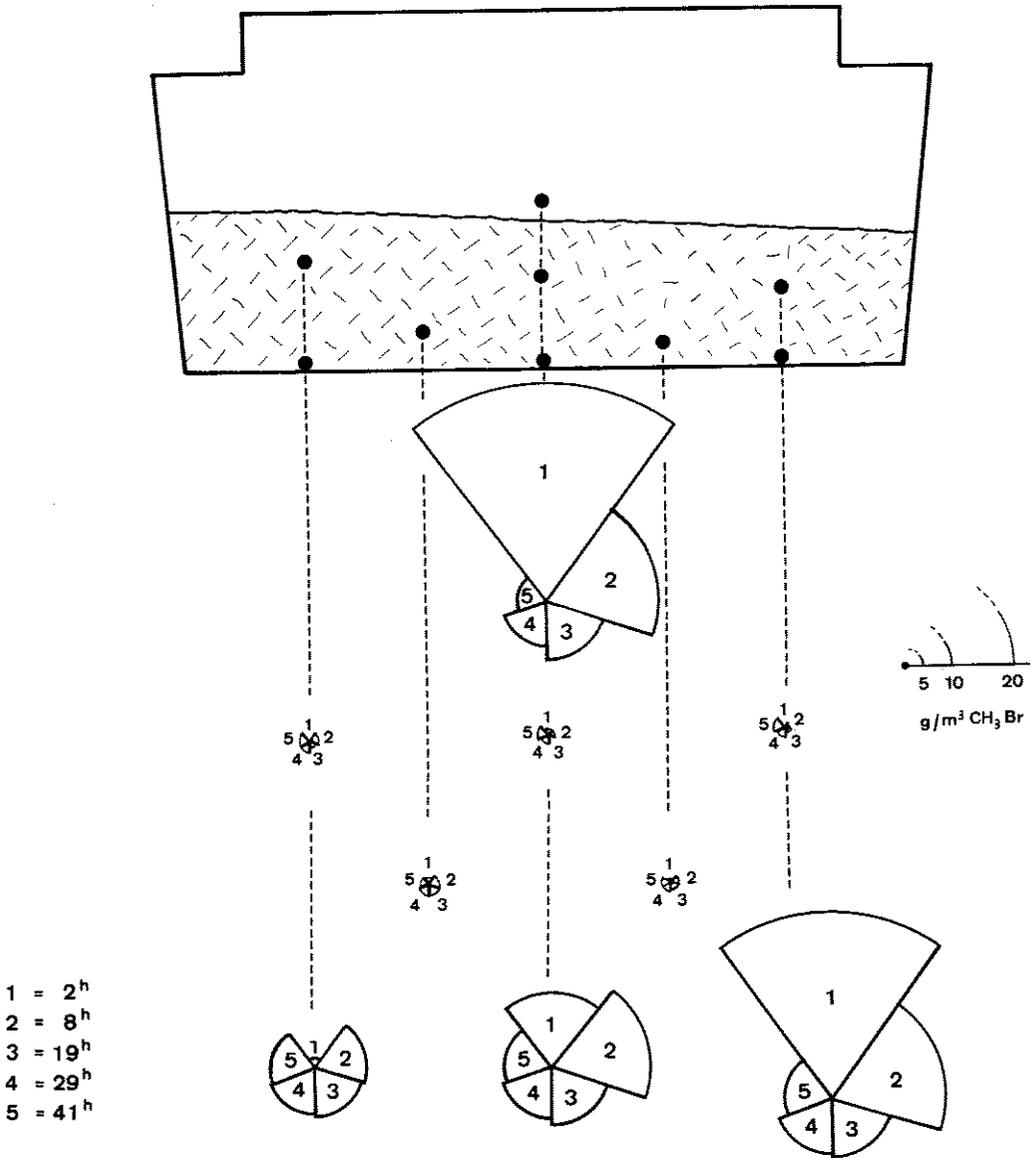


Abb. 1

Querschnitt durch Versuchsschute ohne Gasverteilungssystem mit Angabe der Gasmesspunkte.

Zahlen an/in den Kreissektoren:

Zeitpunkt der Gaskonzentrationsmessung nach Eingassung (s. Aufstellung links unten).

Radius der Kreissektoren:

gemessene Konzentration in g/m<sup>3</sup> CH<sub>3</sub>Br (s. Maßstab rechts Mitte).

Abb. 2a

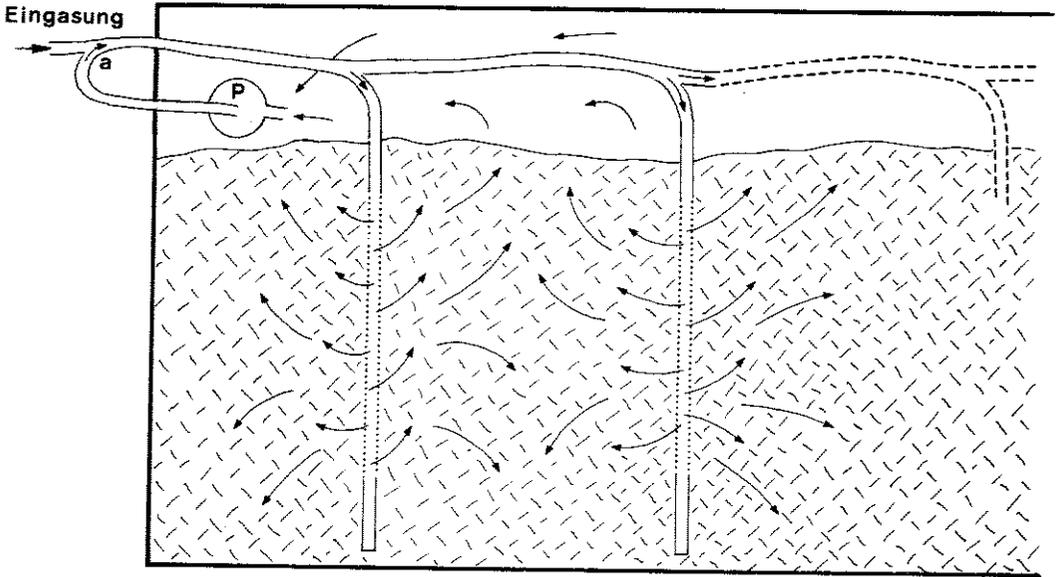


Abb. 2

Gasverteilungssystem in Versuchsschute mit "offenem Kreislauf"

2 a: von der Seite

2 b: von oben

P = Elektro-Gebläse

a = Verbindung des Verteilungssystems nach Eingassung

Abb. 2b

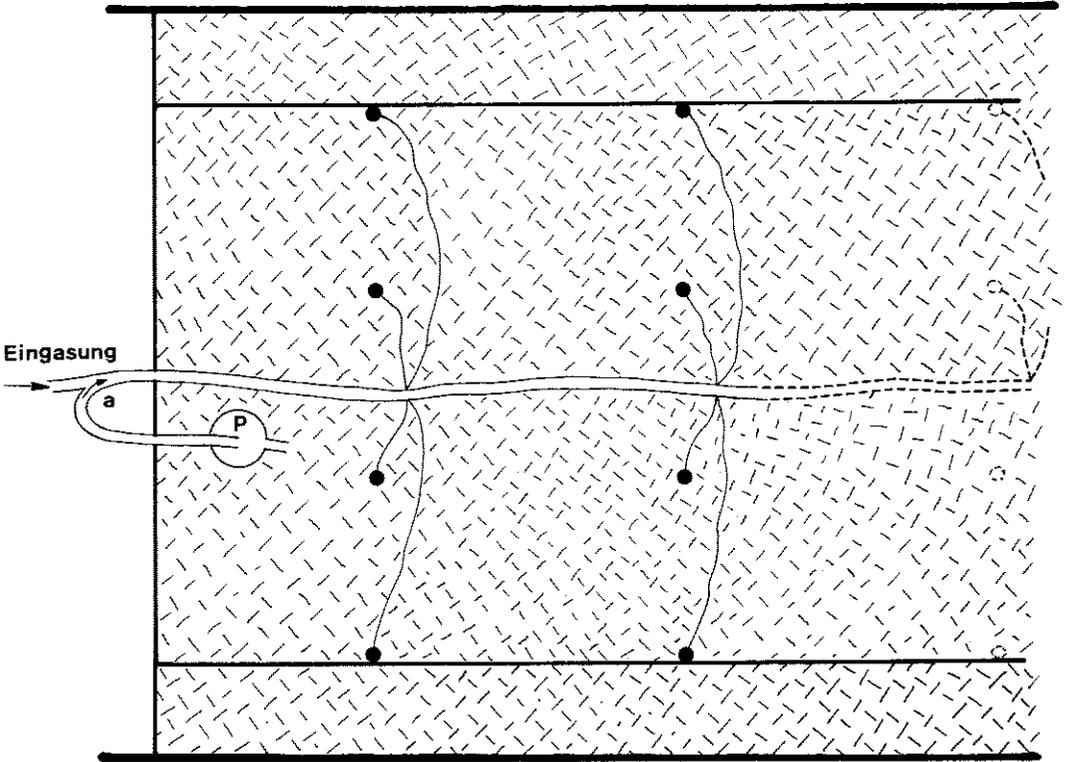


Abb. 3 a

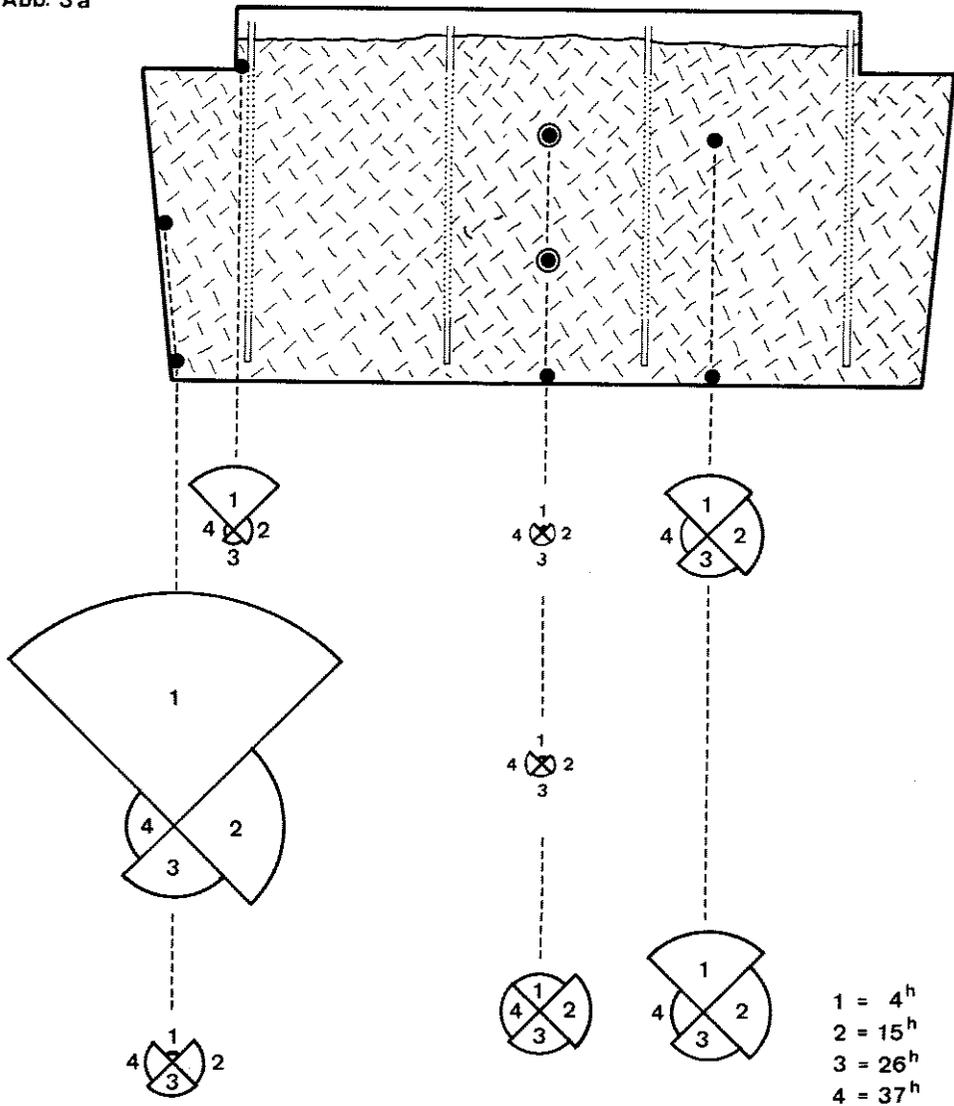


Abb. 3

Querschnitt durch Versuchsschute mit "offenem Kreislauf"

3 a: Schnitt in einer Ebene mit Gasspeeren

3 b: Schnitt in einer Ebene zwischen Gasspeeren

Gasmeßstellen, an denen Khaprakäfer-Larven überlebten, mit Kreisen um den Meßpunkt.

Erläuterung über Zeitpunkt der Gasmessung und -konzentration entsprechend Abb. 1.

Abb. 3 b

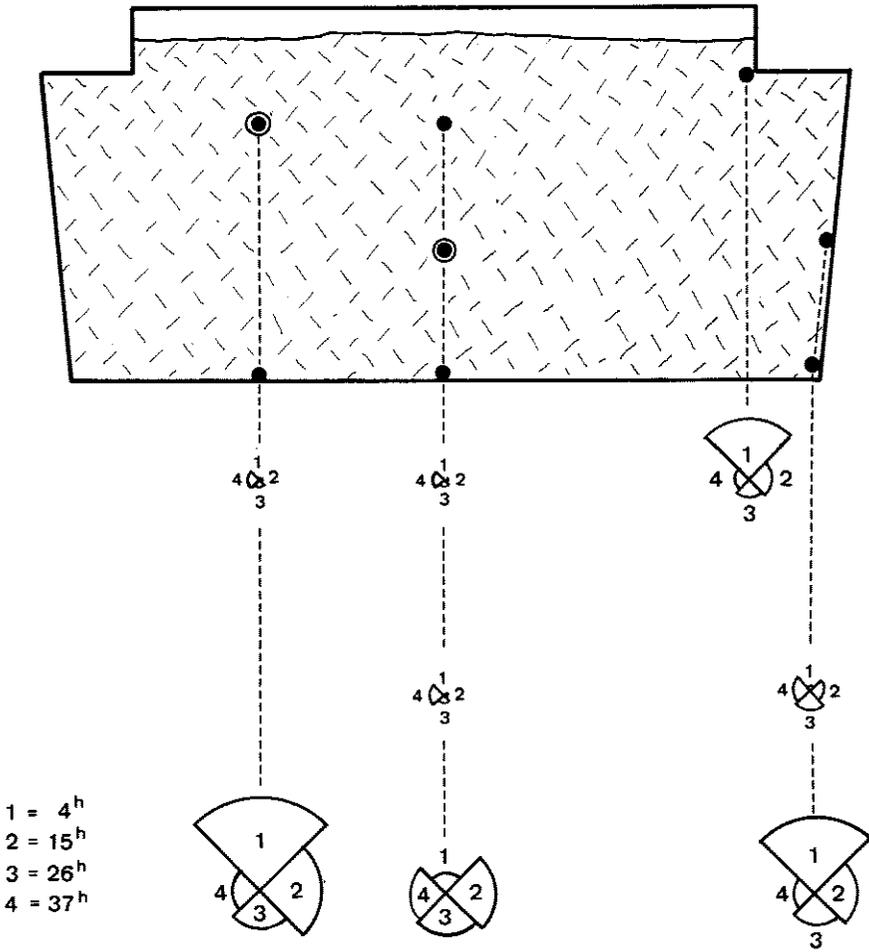
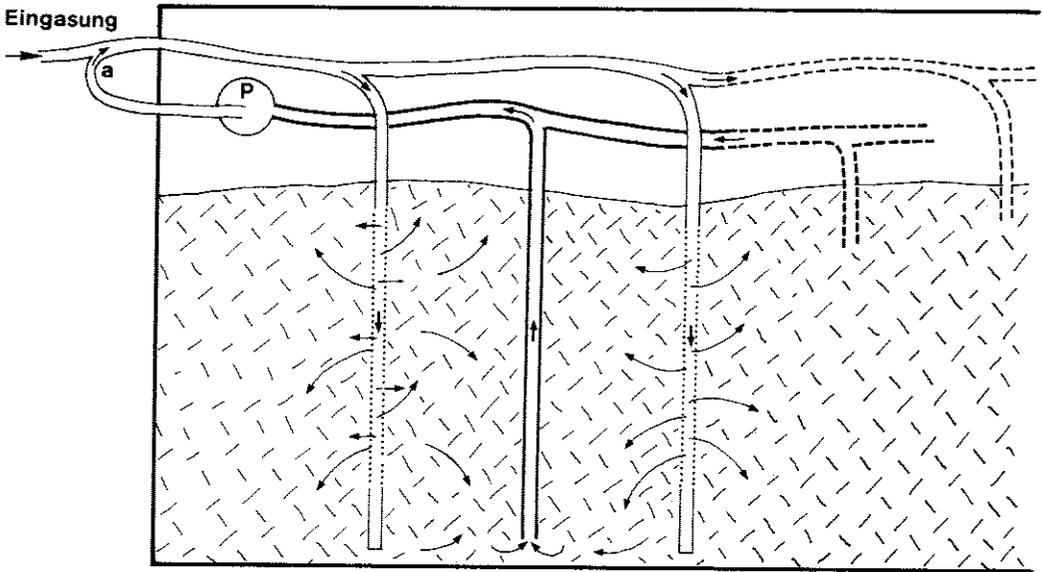


Abb. 4 a

Abb. 4

Gasverteilungssystem in Versuchsschute mit "geschlossenem Kreislauf"

4 a: von der Seite

4 b: von oben

P = Elektro-Gebläse

a = Verbindung des Verteilungssystems nach Eingassung

Abb. 4b

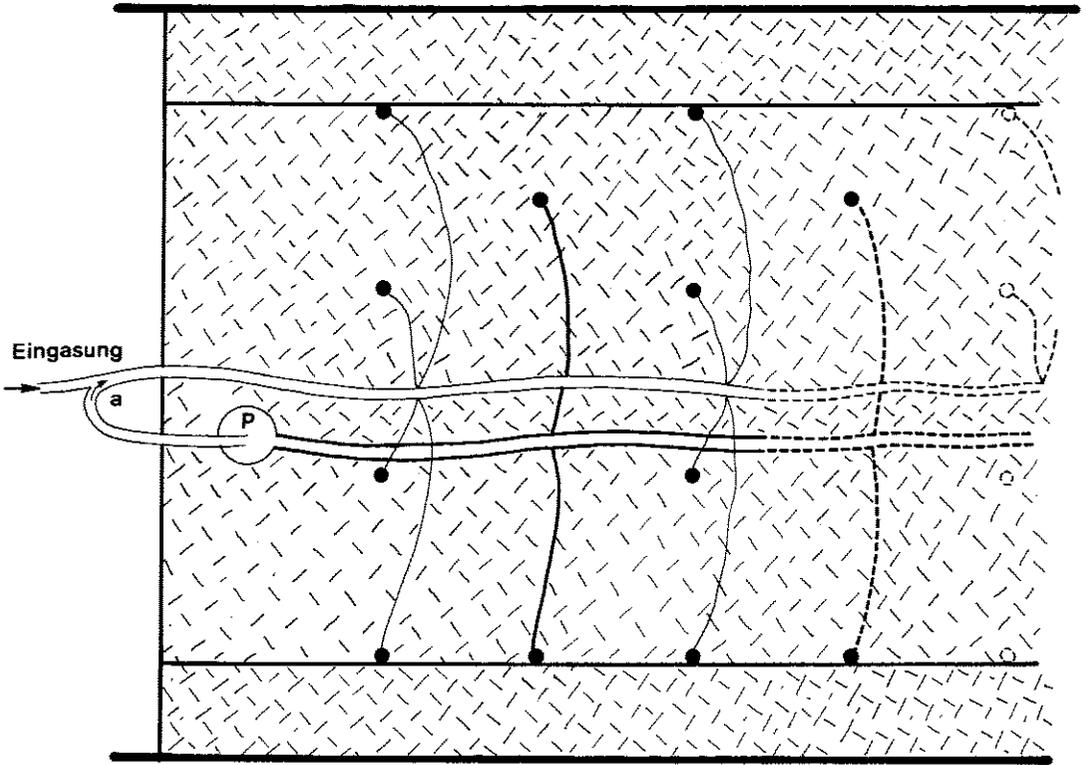


Abb. 5a

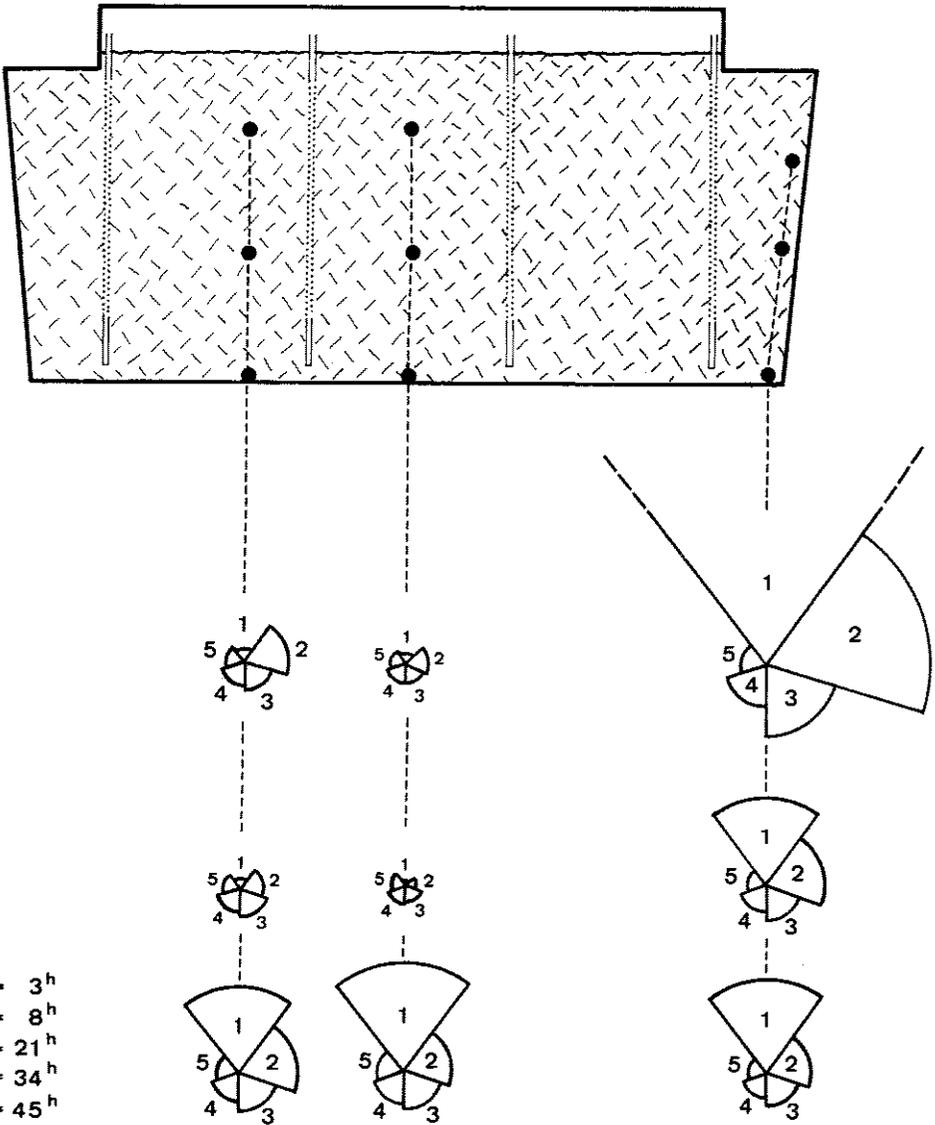


Abb. 5

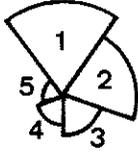
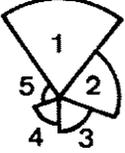
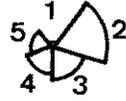
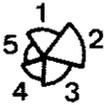
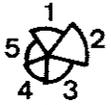
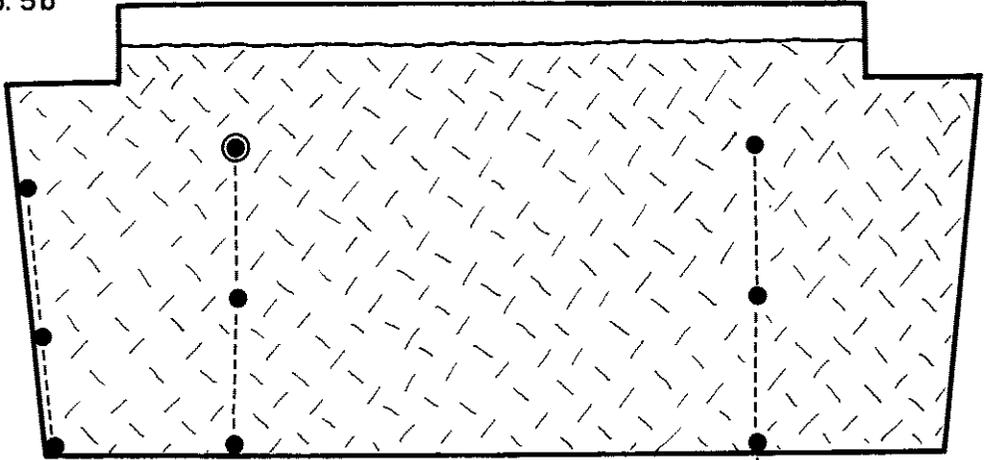
Querschnitt durch Versuchsschute mit "geschlossenem Kreislauf"

5 a: Schnitt in einer Ebene mit Gasspeeren

5 b: Schnitt in einer Ebene zwischen Gasspeeren

Erläuterung s. Abb. 1 und 3.

Abb. 5b



- 1 =  $3^h$
- 2 =  $8^h$
- 3 =  $21^h$
- 4 =  $34^h$
- 5 =  $45^h$

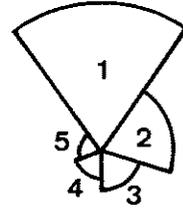


Abb. 6a

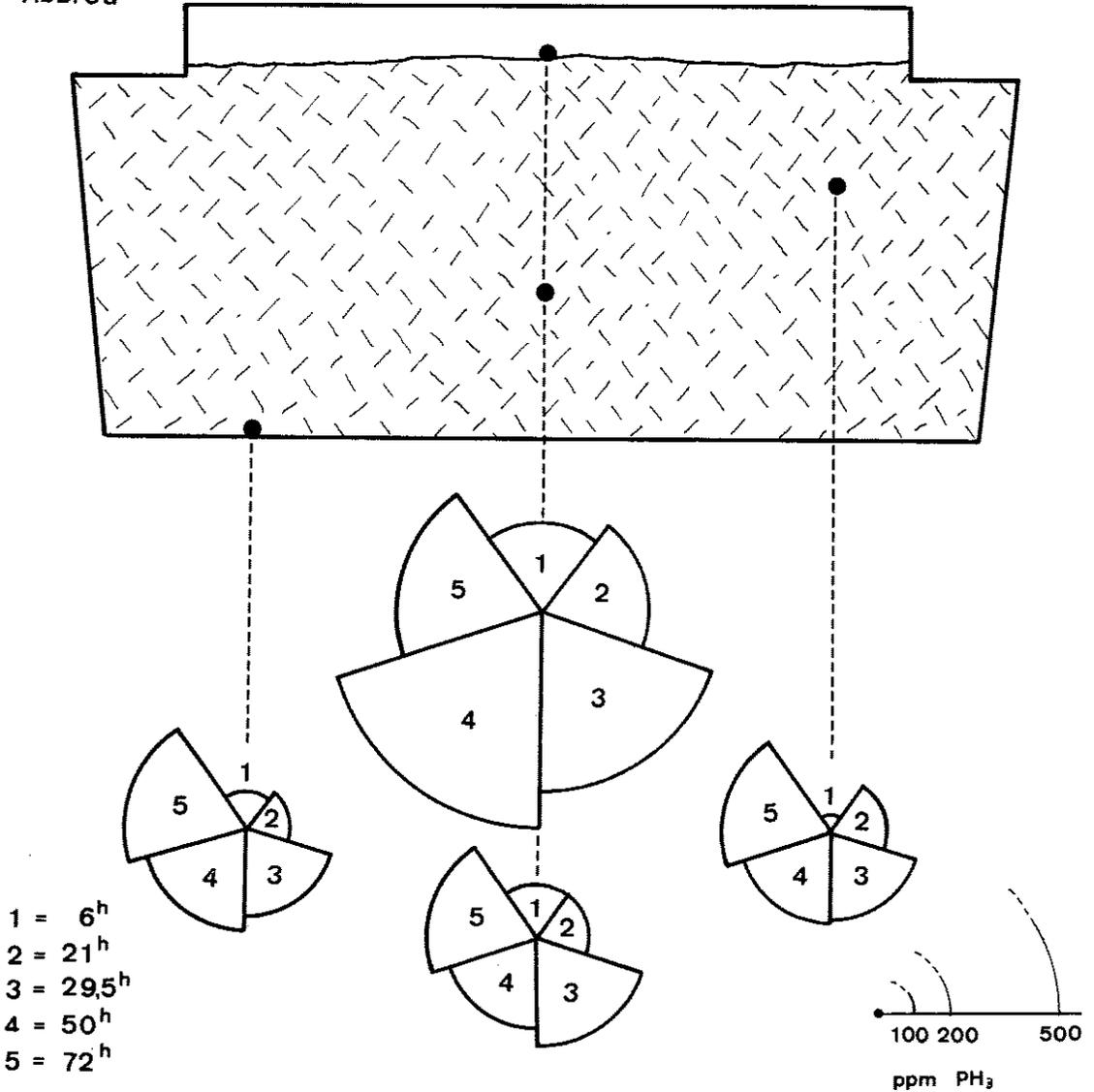


Abb. 6

Querschnitt durch Versuchsschute mit kombinierter CH<sub>3</sub>Br/PH<sub>3</sub>-Begasung.

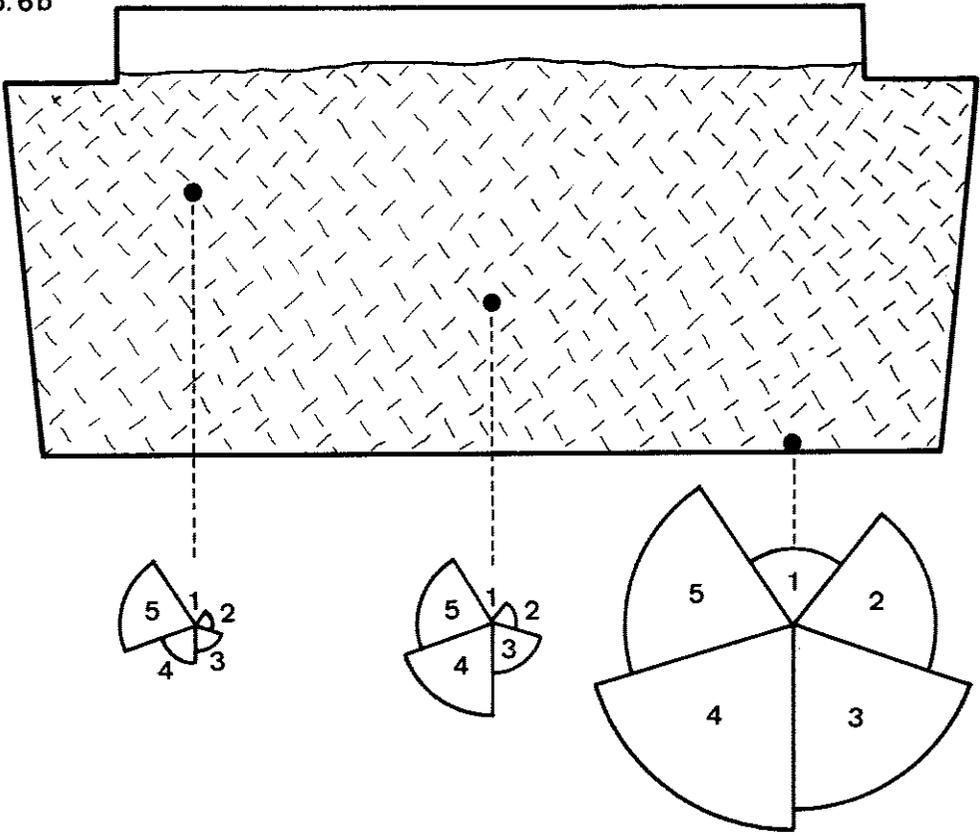
Zahlen an/in den Kreissektoren:

Zeitpunkt der Gaskonzentrationsmessung nach Eingasung.

Radius der Kreissektoren:

gemessene Konzentration in ppm PH<sub>3</sub> (s. Maßstab Abb. 6a rechts unten).

Abb. 6b



$$\begin{aligned}
 1 &= 6^h \\
 2 &= 21^h \\
 3 &= 29,5^h \\
 4 &= 50^h \\
 5 &= 72^h
 \end{aligned}$$