



Die Bekämpfung von holzerstörenden Insekten

Merkblatt über Notwendigkeit, Durchführung und Einschränkungen einer Behandlung mit Gasen

INHALT

KURZFASSUNG	2
1. HOLZSCHUTZ - ALLGEMEINE HINWEISE	2
2. EINSATZGEBIETE DER BEHANDLUNG MIT GASEN	3
2.1. Die wesentlichen Schadinsekten des Holzes:	3
3. DIE GASARTEN.....	4
4. WICHTIGE ANWENDUNGSPARAMETER.....	4
4.1. Feuchtigkeit.	4
4.2. Temperatur.	5
4.3. Diffusion.....	5
4.4. Gaskonzentration.....	5
4.5. Einwirkungszeit.....	5
4.6. Anforderungen an Räume.	5
5. TOXISCHE GASE	6
5.1. Charakteristik der toxischen Gase:.....	6
5.2. Sicherheitsmaßnahmen und Einschränkungen.....	7
5.3. Schutz von gebäudebewohnenden Tieren bei Begasung.....	8
5.4. Durchführung der Behandlung mit toxischen Gasen.....	8
6. ERSTICKENDE GASE.....	11
6.1. Inert-Begasung mit Stickstoff und Edelgasen.....	12
6.2. Kohlendioxid-Begasung.....	12
6.3. Modifizierte Atmosphären.....	12
7. ERFOLGSKONTROLLE / GEWÄHRLEISTUNG (gemäß VOB/BGB).	13
8. VORSCHRIFTEN, GENEHMIGUNGEN.	14

Erarbeitet durch den Unterausschuß 3.3. der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V.

© DGfH 2002

KURZFASSUNG

In diesem Merkblatt wird die Bekämpfung von Schadinsekten im Holz mittels toxischer oder erstickender Gase behandelt. Für den Einsatz von Gasen sind besondere Raumzellen oder Folienzelte notwendig. Toxische Gase können auch in Gebäuden angewendet werden, jedoch ist für dieses Verfahren aus Umweltgründen die Notwendigkeit besonders zu prüfen. Unerlässlich für jede Begasung ist die Dichtigkeit der Wände bzw. Umhüllung des Raums. Großen Einfluß haben die klimatischen Bedingungen. Die Anwendung toxischer Gase setzt eine Zulassung voraus. Nachfolgend werden die Themen behandelt, die zum Verständnis der Maßnahme notwendig sind.

Angesprochen werden alle Baubeteiligten, die für die Erhaltung alter Holzsubstanz und insbesondere von Kulturgut aus Holz Verantwortung tragen.

1. HOLZSCHUTZ - ALLGEMEINE HINWEISE.

Holz wird im Kreislauf der Natur von Organismen befallen und abgebaut. Diesem Prozess versucht man im Bauwesen und bei Kulturgegenständen entgegenzuwirken. Dazu wird das Holz konstruktiv nach altbewährten Richtlinien verbaut und in kritischen Fällen auch mit Holzschutzmitteln behandelt. Jedoch greifen diese Maßnahmen nicht immer. Besonders in älteren Gebäuden sind Schäden an Holz durch Pilze und Insekten in großem Umfang verbreitet. Dabei können die Schäden substanzbedrohende Ausmaße annehmen.

Bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen ist grundsätzlich Folgendes zu beachten:

- Voraussetzung für die Anwendung eines Bekämpfungsverfahrens ist der Nachweis der Anwesenheit von lebenden Schädlingen.
- Voraussetzung für die Anwendung eines bestimmten Bekämpfungsverfahrens ist die nachgewiesene Wirksamkeit.
- Nicht jedes Verfahren eignet sich für jeden Schädling.

Grundlage einer Bekämpfungsmaßnahme ist DIN 68 800 – 4 „Holzschutz; Bekämpfungsmaßnahmen gegen holzerstörende Pilze und Insekten“.

Demnach ist Voraussetzung jeder Schädlingsbekämpfung eine Untersuchung durch einen *unabhängigen* Fachmann.

Je nach Notwendigkeit sind holzerstörende Pilze und Insekten wahlweise zu bekämpfen

- durch Entfernung der befallenen Bauteile,
- durch Trockenlegung,

- durch Behandlung mit chemischen Mitteln,
- durch Behandlung mit thermischen Verfahren, insbesondere durch Heißluft,
- durch Behandlung mit Gasen.

2. EINSATZGEBIETE DER BEHANDLUNG MIT GASEN.

Das Begasungsverfahren wird fast ausschließlich zur Bekämpfung von Insekten in Kunst- und Kulturgut von Kirchen, Schlössern und Museen angewendet. Soweit befallene Gegenstände transportabel sind, ist die Behandlung in einem dafür geeigneten Raum oder Zelt vorzunehmen. Aus verfahrens-, umwelt- und sicherheitstechnischen Gründen wird das Verfahren zur Bekämpfung eines Insektenbefalls in Dachstühlen, Balkenlagen und vergleichbaren Holzkonstruktionen kaum einmal angewendet. Die Begasung von Wohnhäusern bzw. –räumen stellt die Ausnahme dar und muß in jedem Einzelfall durch ein unabhängiges Gutachten stichhaltig begründet werden.

In Abhängigkeit von der Art des Gases und der jeweils angewendeten Behandlungsparameter ist eine Begasung wirksam gegen alle Insektenstadien: Vollinsekten, Eier, Larven und Puppen.

2.1. Die wesentlichen Schadinsekten des Holzes:

Hausbockkäfer („Großer Wurm“) – (*Hylotrupes bajulus* (L.))

Richtet Fraßschäden an in Holz bis ca. 100 Jahre nach der Baumfällung. Lebt nur im Splint von Nadelholz. In älteren Bauten muß geprüft werden, ob befallbares jüngeres Holz nachträglich eingebaut wurde. Der Hausbock kann bei schwachen Querschnitten die Standfestigkeit stark beeinträchtigen. Daher ist eine Prüfung des Holzes im Hinblick auf seinen Restquerschnitt durch geeignete Maßnahmen (Anbeilen, Bohrkernentnahme) unerlässlich. Stark geschädigte Hölzer sind auszubauen.

Hausbockbefall ist häufig durch – gegebenenfalls feuchtegeregelte - Heißluft oder durch flüssige Chemikalien günstiger zu bekämpfen.

Gewöhnlicher Nagekäfer („Kleiner Wurm“) – (*Anobium punctatum* (De Geer))

Frißt insbesondere in älterem Holz, in allen Holzarten. Gilt als gefährlichster Zerstörer von Kulturgut, ist aber auch in Dachräumen, insbesondere in Dielenböden, stark vertreten.

Gescheckter Nagekäfer („Totenuhr“) (*Xestobium rufovillosum* (De Geer))

Frißt insbesondere in altem, von Pilzen befallenem Eichenholz in Splint- und Kernbereichen, kommt aber auch in Nadelholz vor.

Bei Kulturgut ist Nagekäferbefall häufig nur durch Begasung zu bekämpfen, weil andere Verfahren kaum anwendbar sind.

Entsprechendes gilt für die verwandten Arten Trotzkopf (*Dendrobium pertinax* L.) und Schwammholz-Nagekäfer (*Priobium carpini* (Herbst)).

Brauner Splintholzkäfer (*Lyctus brunneus* (Steph.)) und andere Lyctiden

Fressen nur in stärkereichem Laubholz, ausschließlich im Splintholz. Kennzeichen ist puderförmiges Fraßmehl. Bedeutender Schädling in Holzteilen mit anteiligen tropischen Importhölzern; aber auch in Eichensplintholz, z.B. Möbel, Treppen, Leisten u.ä.. Wenn die Holzteile nicht ausgebaut werden können, ist eine Begasung meist die einzige Möglichkeit der Bekämpfung.

Für eine Bekämpfung von Fäulnispilzen ist die Begasung nach bisherigen Erfahrungen nicht ausreichend wirksam.

3. DIE GASARTEN.

Es gibt zwei Gruppen von Gasen, die angewendet werden:

- Gase, deren Anwendung wegen ihrer hohen Toxizität (Giftigkeit) den Nachweis einer besonderen Befähigung des Anwenders erfordert.
- Gase, die überwiegend erstickend wirken und keiner Anwendungsbeschränkung unterliegen.
Warnung: Unsachgemäßer Umgang kann zum Ersticken der (ungeschulten) Anwender führen!

Auch mit Gasmischungen in modifizierten Varianten wird gearbeitet.

4. WICHTIGE ANWENDUNGSPARAMETER.**4.1. Feuchtigkeit**

Bei Begasungen muß ein Klima aufrecht erhalten werden, das den üblichen Raum- bzw. Aufbewahrungsbedingungen der Objekte entspricht. Andernfalls würde den zu behandelnden Objekten schlagartig Feuchtigkeit entzogen, was zu Trockenschwundschäden vor allem an den Oberflächen führen kann.

4.2. Temperatur.

Je höher die Temperatur, desto kürzer ist die Einwirkzeit. Unter 16°C ist selbst bei langer Einwirkzeit mit keinem befriedigenden Ergebnis zu rechnen, da der Stoffwechsel der Insekten eine zu geringe Aktivität aufweist. Ein Erwärmen fördert die Wirkung der Gase.

4.3. Diffusion.

Zu berücksichtigen ist der Faktor der Diffusion, d.h. der Durchgang des Gases durch ein Objektgefüge. Dieser ist von verschiedenen Faktoren abhängig, aber berechenbar. Der Diffusionswiderstand des Holzes ist abhängig von der Holzart und der Durchdringungsrichtung, die dem Gas zur Verfügung steht, aber auch von Oberflächenbeschichtungen. Da der Widerstand quadratisch in die Berechnung eingeht, führt eine doppelte Materialdicke zu einer Vervierfachung der Diffusionszeit. Dies kann dazu führen, daß bei ungünstigen Zugangsbedingungen erst einige Tage nach Begasungsbeginn eine für die Insekten tödliche Dosis im Inneren des Materials vorliegt.

4.4. Gaskonzentration.

Ausgedrückt in Gramm Gas oder Prozent Gasanteil je m³ Luftraum. Die Grenzen sind definiert. Bei zu hoher Gaskonzentration können am begasten Gut Schäden auftreten. Bei zu niedriger Konzentration ist die Wirksamkeit in Frage gestellt. Eine einmal eingestellte Konzentration muß gehalten werden. Dies erfordert je nach Begasungsraum und Abdichtung eine unterschiedlich hohe Nachdosierung.

4.5. Einwirkungszeit.

Sie ist abhängig vom Begasungsgut (Material, Dimensionen, Oberflächen u.a.) und dem Behandlungsraum (Volumen, Abdichtung u.a.). Zeit t und Konzentration c ergeben das „ct-Produkt“. Daraus kann bei einer bestimmten Gaskonzentration die notwendige Zeit berechnet werden, da die notwendige Gesamtdosierung in g x h / m³ Luft für jedes Gas aus Laborversuchen bekannt ist.

4.6. Anforderungen an Räume.

Die Anwendung von Gasen setzt in sich geschlossene Räume voraus. Solche sind:

- Ganze Gebäude oder Räume davon.

Die Gebäude dürfen nicht in baulicher Verbindung mit weiteren Baulichkeiten stehen. Wenn das aber unvermeidlich ist, müssen diese anderen Baulichkeiten während der Begasung evakuiert und abgesperrt sein.

- Mit gasdichten Folien abgeplante Bereiche

z.B. Raumteiler für "Teilbegasungen" oder Folienballons ("Bubbles"). Das umgebende Gebäude muss evakuiert und abgesperrt sein, die Gefährdung von angrenzenden Räumen ist zu überprüfen.

- Spezielle Begasungsanlagen, dafür zugelassene Kammern oder Container.

Die Dichtigkeit ist laufend zu überprüfen.

5. TOXISCHE GASE

Gase, deren Anwendung wegen Toxizität (Gifftigkeit) den Nachweis besonderer Befähigung des Anwenders erfordert.

5.1. Charakteristik der toxischen Gase:

In der Gefahrstoffverordnung sind folgende zulässige toxische Begasungsmittel genannt, die für die Bekämpfung holzerstörender Insekten in Frage kommen.

1. Brommethan (Methylbromid)
2. Cyanwasserstoff (Blausäure, Hydrogencyanid) bzw. Stoffe und Zubereitungen, die zum Entwickeln oder Verdampfen von Cyanwasserstoff oder leicht flüchtigen Cyanwasserstoffverbindungen dienen.
3. Phosphorwasserstoff (Phosphin, Phosphortrihydrid) sowie Phosphorwasserstoff entwickelnde Stoffe und Zubereitungen
4. Sulfuryldifluorid (früher Sulfurylfluorid), im Juli 2002 in die Gefahrstoffverordnung aufgenommen.

Brommethan [CH₃Br]

Brommethan besitzt den Vorteil der besonders guten Durchdringung in Verbindung mit einer kurzen Einwirkungszeit. Die Lüftung kann problemlos ohne Zeitverzögerung erfolgen. Holzerstörende Insekten werden in allen Entwicklungsstadien zuverlässig abgetötet. Nachteilig wirkt sich aus, daß Brommethan mit textilen Geweben oder Kissenfüllungen aller Art (auch solchen aus Kunststoffen) Verbindungen eingehen kann, die sich durch unangenehme Gerüche auszeichnen.

Das bedingt, daß vor der Begasung mit Brommethan diese Gegenstände aus den zu begasenden Räumen zu entfernen sind. Dies ist durchaus möglich, ohne den Zweck der Begasung in Frage zu stellen (in den genannten Gegenständen sind keine holzerstörenden Insekten aufzufinden).

Brommethan kann unter ungünstigen Klimabedingungen Farben und Bindemittel verändern. Das Gas wird als stark umweltschädlich eingestuft (Wirkung auf die Ozonschicht der Erdatmosphäre), auch besteht Verdacht auf erbgutschädigende Wirkung. Daher ist die Anwendung beschränkt worden, ein Verbot der Produktion und Anwendung gilt ab 31.12.2004 (Verordnung (EG) Nr. 2037/2000 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29.6.2000 über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen. Abl. L 244 vom 29.9.2000, S. 1-24).

Cyanwasserstoff [HCN]

HCN wurde früher vorrangig in Kirchen, Museen, Bibliotheken etc. verwendet. Die Vorteile liegen in der verhältnismäßig kurzen Einwirkungszeit. Der gravierende Nachteil zeigt sich u.U. erst bei der Lüftung: Durch die starke Affinität zu Feuchtigkeit, bedingt durch das starke Lösungsvermögen der gasförmigen Blausäure in feuchtem Milieu, kann die vorgesehene Lüftungszeit erheblich verzögert werden. Durch Säurebildung können Metallauflagen an Kunstgegenständen nachhaltig geschädigt werden. Deshalb kann Cyanwasserstoff nur dann verwendet werden, wenn keine erhöhte Feuchte im Objekt vorhanden ist. Dies wird im Zuge der Vorbereitungen der Begasung im/am Objekt geprüft.

Phosphorwasserstoff [PH₃]

PH₃ wird aus Festkörpern (Tabletten oder Platten) innerhalb von 72 Stunden entwickelt. Durch die zeitverschobene Gasentwicklung ergeben sich Einwirkungszeiten von bis zu 7 Tagen. Deshalb verlängert sich entsprechend der Begasungszeitraum gegenüber den anderen Begasungsmitteln. Phosphorwasserstoff besitzt keine Wasserlöslichkeit, evtl. vorhandene Feuchte im Gebäude spielt daher im Hinblick auf die Begasung nur eine untergeordnete Rolle. Ein gravierender Nachteil ist jedoch die Neigung des gasförmigen Phosphorwasserstoffes, unter ungünstigen Klimabedingungen bzw. Klimaveränderungen mit Metallen unter Farbveränderung zu reagieren.

Sulfuryldifluorid [SO₂F₂]

SO₂F₂ ist chemisch nahezu inert (reaktionsträge). Ebenso wie Methylbromid und Blausäure besitzt Sulfuryldifluorid den Vorteil der besonders guten Durchdringung in Verbindung mit einer kurzen Einwirkungszeit. Die Lüftung kann problemlos ohne Zeitverzögerung erfolgen. Holzerstörende Insekten werden in den Stadien Larve, Puppe und Vollkerf (Imago) vollständig abgetötet. Im Vergleich zu den anderen Entwicklungsstadien haben die Eier vieler holzerstörender Insekten eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen SO₂F₂. Um eine vollständige Bekämpfung zu gewährleisten, wird eine Begasung entweder vor oder nach der Ausflugperiode empfohlen. Die Temperatur bei der Begasung mit Sulfurylfluorid sollte >15°C betragen.

Das Gas enthält chemische Verunreinigungen, die zu Schäden an Kulturgut führen können. Durch die Einleitung von hochgereinigtem Gas in den Begasungsraum wird die Gefahr von Schäden stark verringert.

5.2. Sicherheitsmaßnahmen und Einschränkungen.

Um sicherzustellen, daß niemand bei der Anwendung toxischer Gase zur Schädlingsbekämpfung zu Schaden kommt, wurden mit dem Chemikaliengesetz, der Gefahrstoffverordnung und den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS Nr. 512) strenge Sicherheitsgrundsätze aufgestellt. So dürfen nur solche Firmen mit sehr giftigen Gasen umgehen, die eine von der hierfür zuständigen Behörde erteilte Erlaubnis besitzen und über besonders ausgebildete und qualifizierter Mitarbeiter mit Begasungsbefähigung („Befähigungsscheininhaber“) verfügen.

Gemäß den genannten Anwendungsvorschriften für giftige Gase ist u.a. folgendes zu beachten:

- Vom Zeitpunkt unmittelbar vor Eingasung bis zur Freigabe des Objektes durch den Begasungsleiter ist ein Sicherheitsabstand rund um das Objekt freizuhalten.
- Vor Begasung ist die hinreichende Gasdichtigkeit des Begasungsraumes herzustellen und zu prüfen, z.B. durch einen Drucktest.

- Während der Einwirkzeit wird das begaste Gebäude durch den Begasungsleiter und - wenn erforderlich - besonders befähigte Mitarbeiter unter Beobachtung gehalten. Es werden laufend Kontrollmessungen vorgenommen.
- Nach der Einwirkzeit beginnt die Lüftung in kontrollierter Weise. Erst wenn die Gaskonzentration unter dem MAK-Wert liegt, wird die Abdichtung entfernt und die Nachlüftung beginnt.
- Die Freigabe eines begasteten Gebäudes bzw. Raumes durch den Begasungsleiter erfolgt erst dann, wenn keinerlei Gasspuren mehr meßbar sind.
- Im Vorfeld der Maßnahme sind die Materialeigenschaften von zu begasenden Gegenständen zu prüfen, insbesondere von Kunstwerken oder sakralen Gegenständen.

Eine Begasung darf nur durchgeführt werden, wenn es keinerlei Alternativen gibt. So darf ein Dachstuhl nicht begast werden, wenn die weitaus unproblematischere Heißluftbehandlung möglich ist.

5.3. Schutz von gebäudebewohnenden Tieren bei Begasung.

Gelegentlich werden zu begasende Gebäude von Tieren bewohnt, die es besonders zu schützen gilt. In vielen Fällen sind dies Vögel (z.B. Greifvögel oder Schwalben) bzw. Fledermäuse. Falls eine Umsetzung oder Fernhaltung dieser Tiere während der Gaseinwirkzeit nicht möglich ist, kommt die Einrichtung besonderer Belüftungssysteme – ggf. in Verbindung mit entsprechender Abklebung/Abschottung der Aufenthaltsplätze – in Betracht, die eine für diese Tiere gefährliche Gaskonzentration in ihren Aufenthaltsbereichen verhindert.

5.4. Durchführung der Behandlung mit toxischen Gasen.

In den folgenden zwei Tabellen sind die organisatorischen und zeitlichen Abläufe sowie üblichen Eingangsverfahren bei Begasungen gem. TRGS 512 dargestellt.

Tabelle 1: Organisatorischer und zeitlicher Ablauf einer Schädlingsbekämpfung mittels giftiger Gase gemäß TRGS 512.	
Maßnahme	Verantwortlich
Vor Beginn der Bekämpfungsmaßnahme	
• Ausarbeitung eines Sanierungskonzepts, Entscheidung	Baulastträger mit Gutachter für Begasung
• Denkmalpflegerisches Gutachten nach Notwendigkeit	Zuständiges Amt für Denkmalpflege
• Einholung von Angeboten	Baulastträger als Auftraggeber bzw. Bauleiter
• Prüfung der Angebote, Auftragserteilung	Baulastträger bzw. Bauleiter
• Aufnahme des Objekts	Begasungsunternehmen
• Benennung eines Begasungsleiters	Begasungsunternehmen
• Ermittlung evtl. begleitender Stellen	Begasungsleiter
• Konsultation bei Naturschutzbehörde w. Artenschutz falls Probleme zu erwarten	Begasungsleiter
Spätestens sieben Tage vor Begasung	
• Anmeldung bei der zuständigen Behörde	Begasungsleiter

<ul style="list-style-type: none">• Absprachen mit Auftraggeber, Anwohnern u.a.	Begasungsleiter
Spätestens ein Tag vor Begasung	
<ul style="list-style-type: none">• Vorbereitung des Raums, ausräumen gasempfindlicher Gegenstände (Polster, Textilien u.a.), Hinzustellen zu begasender Gegenstände	Begasungsleiter, Auftraggeber
<ul style="list-style-type: none">• Herstellung der Gasdichtheit durch Abklebungen, Einrichten von Absperrungen, Messung von Klimawerten im Raum,	Begasungsunternehmen

Direkt vor der Eingasung	
• Dichtheitsprüfung durch Drucktests, Bereitstellen der Gasmittel, Einrichten der Einbringwege und ggf. Gas-konzentrationsmeßgeräte, letzte Sicherheitsprüfung	Abnahme durch Begasungsleiter
• Auslegen von Testblöcken mit Zielorganismen ersatzweise Begasungsleiter	Gutachter/Sachverständiger,
• Bereitstellung von Hilfsmaßnahmen	Begasungsleiter
Eingasung	
• Einleiten des Gases je nach Gasart und vereinbarter Methode, evtl. über Filter	Begasungsleiter, Befähigungsscheininhaber
• Kontrollmessungen in unmittelbarer Nähe des Objekts, Sicherung des Geländes	Begasungsleiter (Befähigungsscheininhaber)
• Überwachung der Einhaltung der vorgegebenen Messwerte in der Umgebung	Begasungsleiter, Befähigungsscheininhaber
Ende der Begasung	
• Einleiten der Lüftung, ggf. kontrolliertes Absaugen/ Belüften über Filter/Rückhalteanlage	Begasungsleiter, Befähigungsscheininhaber
• Überwachung des Erreichens des MAK-Werts durch Kontrollmessungen, anschließend vorläufige Freigabe	Begasungsleiter
Bis zu drei Tagen nach Begasungsende	
• Abbau der Abdichtungen, Schaffung zusätzlicher Öffnungen, weiteres Be- und Entlüften	Begasungsunternehmen
• Entnahme der Testblöcke	Gutachter, hilfsweise Begasungsleiter
• Nach entsprechenden Messungen schriftliche Erteilung der endgültigen Freigabe des Objekts	Begasungsleiter
• Wenn kein Gas mehr meßbar, Entfernung der Absperrungen, Reinigung von Abklebungen	Begasungsunternehmen
Dokumentation	
• Zusammenstellung aller relevanten Unterlagen (Meßprotokolle, Lageskizzen, Anzeigen u.ä.)	Begasungsunternehmen
• Bericht über Untersuchung an den Testblöcken	Gutachter/Sachverständiger
• Erstellen und Übergabe des Protokolls der Begasung, Anbringen der Anzeige über Begasung an wieder auffindbarer Stelle an der Wand o.ä.	Begasungsleiter
• Übergabe der Dokumentation an Auftraggeber, an Behörde und an die betriebliche Ablage	Begasungsunternehmen

Tabelle 2: Überblick über Dauer, Gaseinbringung und übliche Konzentration				
Gas	Zeit	Gaseinbringung	Nachdosierung	übliche Konzentration
Blausäure	24 h bis 72 h	Blausäure liegt in mit Filzlagen gefüllten Dosen vor. Nach Öffnen der Dosen (mit Spezialöffner) werden die mit flüssiger Blausäure vollgesogenen Filzlagen auf geeignete Unterlagen ausgeschüttet. Das Gas verdampft aus den Filzlagen.	Nachdosierung nur möglich, wenn Begasungsraum betreten werden kann.	2-5 g/m ³
Phosphorwasserstoff	7 d bis 42d	Magnesium- oder Aluminiumphosphid liegt in Form von Tabletten, Pellets, Strips o.ä. vor, die im Begasungsraum ausgelegt werden. Durch Zutritt von Luftfeuchtigkeit entsteht Phosphorwasserstoff	Nachdosierung nur möglich, wenn Begasungsraum betreten werden kann.	5-10 g/m ³
	48 h bis 10 d	Phosphorwasserstoff befindet sich in Druckgasflaschen und wird entweder direkt oder über Schlauchleitungen in den Begasungsraum	Nachdosierung über Schlauchleitungen möglich.	5-10 g/m ³ ggf. wird Trägergas eingesetzt
Brommethan	24 h bis 72 h	Brommethan wird in Druckgasflaschen geliefert und direkt im Begasungsraum abgeblasen oder über Schlauchleitungen eingeleitet.	Nachdosierung über Schlauchleitungen möglich.	20-40 g/m ³ ,
		Brommethan wird von außen aus den Druckgasflaschen über einen Verdampfer (ca. 80°C) über Schlauchleitungen in den Begasungsraum geleitet und tritt dort über einen verlegten perforierten Schlauch in die Raumluft aus.		
Sulfuryldifluorid	24 h bis 96 h	Sulfuryldifluorid wird aus Druckgasflaschen von außen über Schlauchleitungen und durch einen Filter in den Begasungsraum geleitet.	Nachdosierung über Schlauchleitungen möglich.	10-35 g/m ³

6. ERSTICKENDE GASE.

Gase, die überwiegend erstickend wirken und keiner Anwendungsbeschränkung unterliegen.

Verwendet werden:

1. Kohlendioxid
2. Stickstoff

Sie bewirken eine Modifizierung der normalen Atmosphäre. Der Einsatz von modifizierten Gasatmosphären für den Holzschutz an musealen Objekten stammt aus dem Vorratsschutz und wird dort seit Jahrzehnten erfolgreich angewendet. In den USA und in Australien wurden die ersten Versuche, erstickende Gase im musealen Bereich einzusetzen, 1988 unternommen. Seither wurde diese Methode so weit entwickelt, dass sie eine wirksame Alternative darstellt.

Grundsätzlich sind hier drei Verfahren zu unterscheiden, die sich in ihrer Wirkung und Anwendung unterscheiden. Bei diesen Verfahren ist die Einhaltung der Randbedingungen Temperatur, Feuchte, Gaskonzentration mit Hilfe geeigneter Meß- und Regeltechnik zu gewährleisten und zu dokumentieren.

6.1. Inert-Begasung mit Stickstoff und Edelgasen.

Den Insekten wird der lebensnotwendige Sauerstoff entzogen durch Verdrängung mit anderen, inerten (reaktionsträgen) Gasen. Dies führt zum Zusammenbruch des Stoffwechsels der Insekten. Für eine Verdrängung des Sauerstoffs aus einem geschlossenen System eignen sich im Prinzip alle Gase. Interessant für einen objektschonenden Einsatz sind derzeit nur Stickstoff und Edelgase (z.B. Argon), weil ihre Anwendung sich nicht negativ auf die zu behandelnden Objekte auswirkt und einen gefahrlosen Umgang ermöglicht. Aus Kostengründen wird Stickstoff als inertes Gas bevorzugt. Er ist zu ca. 80% in unserer Atemluft enthalten. Um zu gesichert erfolgreichen Anwendungen zu gelangen, muß die Temperatur über 15°C liegen. Die Stickstoffkonzentration muß über einen Zeitraum von ca. 4 bis 6 Wochen über 99 % liegen. Die Aufrechterhaltung dieser sauerstoffarmen Atmosphäre muß über den gesamten Zeitraum sichergestellt werden und setzt hochdichte Begasungsräume (geschlossene Container, Kammern) voraus.

6.2. Kohlendioxid-Begasung.

Kohlendioxid löst sich in Wasser unter Bildung von Kohlensäure. Dadurch ergibt sich im Organismus der Insekten eine Blockierung pH-Wert-abhängiger Stoffwechselforgänge, was letztlich zur Abtötung führt.

Auf Grund seiner höheren Dichte gegenüber der Luft hat Kohlendioxid gute Verdrängungseigenschaften. Eingesetzt wird es in einer Konzentration von ca. 60 %. Der Behandlungsraum muß ausreichend dicht sein. Die Einwirkzeit beträgt 4 bis 6 Wochen. Nachteilig ist, daß ein Teil des Kohlendioxids sich mit Wasser zu Kohlensäure verbindet, unabhängig davon ob das Wasser in freier Form vorliegt oder im Objektgefüge gebunden ist. Durch die Acidität der Kohlensäure können Pigmente und Bindemittel wie Öle und Gummen, aber auch Überzugsmaterialien, wie Schellack, nachhaltig verändert werden. Die relative Luftfeuchte darf daher 50 % nicht übersteigen. Für empfindliche Objekte ist Kohlendioxid somit nicht geeignet.

6.3. Modifizierte Atmosphären.

Mit der Zunahme der Temperatur sinkt die Einwirkzeit für die Behandlung mit erstickenden Gasen wesentlich. Durch den Zusatz einer geringen Menge von Kohlendioxid zum Stickstoff läßt sich die Einwirkzeit reduzieren, da Kohlendioxid in dieser schwachen Konzentration für

die Insekten stoffwechsellanregend wirkt. Die zugegebene Menge Kohlendioxid reicht selbst bei hoher Feuchtigkeit nicht aus, Pigmente und Bindemittel zu verändern.

Die Kombination aus Wärme und Gas ermöglicht so eine wesentlich verkürzte Begasungsdauer gegenüber der bisher üblichen reinen Stickstoff- und Kohlendioxidbehandlung. Modifizierte Gasatmosphären ermöglichen eine vollkommen objektbezogene Schädlingsbekämpfung.

7. ERFOLGSKONTROLLE / GEWÄHRLEISTUNG (gemäß VOB/BGB).

Die Erfolgskontrolle von Begasungen gem. TRGS 512 erfolgt zunächst durch die Überwachung und Protokollierung der bekannten Letaldosen bzw. letalen ct-Produkte. Darüber hinaus ist sinnvollerweise zu empfehlen, geeignete Probekörper mit den Zielinsekten im Begasungsraum zu platzieren. Sie sollten nach der Begasung durch einen unabhängigen Gutachter/Sachverständigen in Abstimmung mit dem Begasungsleiter und dem Auftraggeber hinsichtlich der Abtötungswirkung geprüft werden. Die Begasung hat lediglich eine momentane bekämpfende Wirkung. Eine anschließende vorbeugende Wirkung besteht nicht. Die Erfolgskontrolle ist also nur bezüglich der Schädlingsfreiheit unmittelbar nach der Begasung möglich. Die nach VOB bzw. BGB üblichen Gewährleistungsfristen sind deshalb nicht relevant.

8. VORSCHRIFTEN, GENEHMIGUNGEN.

Die wesentlichen Ausführungsvorschriften für die Anwendung toxischer Gase finden sich in der Gefahrstoff-Verordnung (§15d, §43, Nr. 8 und Anhang V Nr.5 und §51, Nr. 9) sowie in der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) Nr. 512 – Begasung -. Die nachfolgende Tabelle führt diese Vorschriften stichwortartig auf.

Tabelle 3: Vorgaben zur Begasung gem. Gefahrstoff-Verordnung und TRGS 512				
	Phosphorwasserstoff	Blausäure	Brommethan	Sulfuryldifluorid
Firmenbezogen: Betriebserlaubnis, wenn verfügbar:	2 Befähigungsschein-Inhaber	4 Befähigungsschein-Inhaber		
Personenbezogen: Befähigungsschein wird erteilt	bei Sachkundenachweis und 18 Monaten Praxis			
Zu einer Begasung sind notwendig	i.d.R. 2 Befähigungsschein- Inhaber	2 Befähigungsschein-Inhaber		
Wesentliche Arbeitsschritte sind	Prüfen der Dichtigkeit, Eingasung, Lüftung, Freigaben			
Anzeige einer Begasung mit Frist	von 7 Tagen, bei drohendem Schaden kürzer			
Hilfskräfte bei wesentlichen Arbeitsschritten	nach vorheriger Unterweisung zugelassen	nicht zugelassen		
Sachkundige zur Praxisausbildung sind einsetzbar	unter allgemeiner Aufsicht des Begasungsleiters	nur unter direkter Aufsicht eines Befähigungsschein-Inhabers		
Während Begasung muß der Begasungsleiter	innerhalb 15 min tel. erreichbar und in 2h vor Ort sein können	ständig verfügbar sein		
Für die ordnungsgemäße Begasung haftet	der Begasungsleiter strafrechtlich immer persönlich			
	die Firma zivilrechtlich und ggf. strafrechtlich			

Die toxischen Begasungsmittel unterliegen aufgrund ihrer bioziden Wirkung der „Richtlinie 98/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Februar 1998 über das Inverkehrbringen von Biozidprodukten“, die ein europaweites einheitliches Zulassungsverfahren für Biozidprodukte vorsieht. Voraussetzung für die Zulassung ist die Aufnahme des bioziden Wirkstoffs in den Anhang I zur Richtlinie. Vor dem Jahr 2006 ist allerdings kaum mit der ersten Aufnahme eines Wirkstoffs zu rechnen. Gase, die überwiegend erstickend wirken und keiner Anwendungsbeschränkung unterliegen, werden auch in Zukunft keiner Zulassung bedürfen.