

Untersuchungen zur
Formaldehydminderung in Gebäuden
durch Ammoniakbehandlung

T 2371

T 2371

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Abschlußbericht

Untersuchungen zur Formaldehydminderung in Gebäuden durch Ammoniakbehandlung

Bewilligt

durch:

Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der
Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V.,
München, mit finanzieller Förderung durch
das Institut für Bautechnik, Berlin

Durchführende

Stelle:

Wilhelm-Klauditz-Institut
Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung
D-3300 Braunschweig

Abschlußbericht

Untersuchungen zur Formaldehydabgabeminderung in Gebäuden durch Ammoniakbehandlung

WKI-Projekt: 105 961

Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung	Seite 3
2. Aufgabenstellung	Seite 5
3. Untersuchungsmaterial	Seite 5
4. Methodenbeschreibung	Seite 9
5. Ergebnisse	Seite 15
6. Zusammenfassung	Seite 22

Dieser Abschlußbericht umfaßt 25 Textseiten, 10 Tabellen und 41 Bilder.

Untersuchungen zur Formaldehydminderung in Gebäuden durch Ammoniakbehandlung

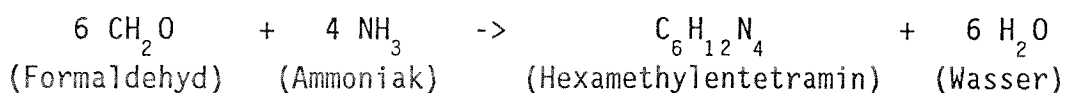
1. Einleitung

Von den bis 1980 in Holzfertigbauweise errichteten Gebäuden, bei deren Bau harnstoffharzgebundene Spanplatten eingesetzt wurden, weisen viele in der Raumluft Formaldehydkonzentrationen von 0,2 bis 0,3 ppm auf. Damit wird der vom Bundesgesundheitsamt für Aufenthaltsräume empfohlene wohngygienische Toleranzwert von 0,1 ppm deutlich überschritten. Ursächlich für die erhöhten Formaldehydbelastungen der Raumluft ist die damalige Verwendung von Spanplatten, deren Formaldehydemissionspotential gemessen am heutigen Niveau als zu hoch einzustufen ist. Da sich die Formaldehydabgabe harnstoffharzgebundener Spanplatten nur langsam verringert, stellen die eingebauten Platten auch 15 bis 20 Jahre nach der Produktion nennenswerte Emissionsquellen dar (Marutzky 1987).

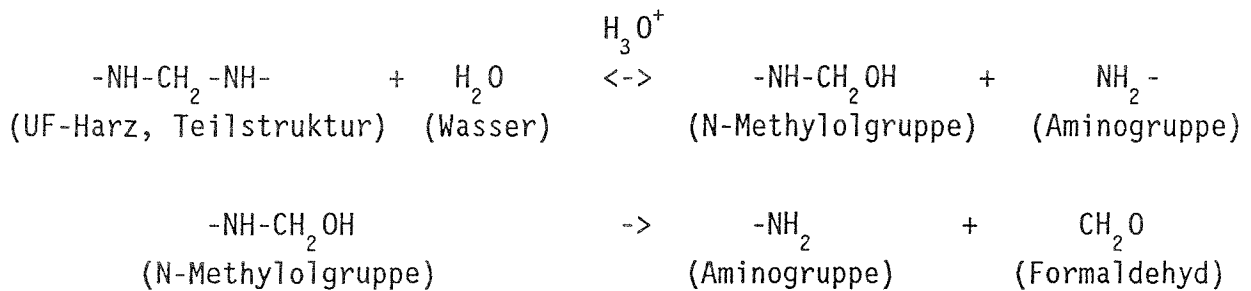
Eine nachträgliche Minderung der Emissionsquellen ist, außer durch Entfernung der Platten, vornehmlich durch Abdichtung oder durch chemische Behandlung mit Ammoniakgas möglich (Neusser, Zentner 1968; Marutzky 1986, 1987, 1989; Jungwirth 1987).

Ein Abdichten der Wände durch Aufbringen von Folien, Bekleidungen oder Anstrichsystemen als Sperrschicht gegen Formaldehydemissionen kann zum Teil eine erhebliche Minderung bewirken, ist jedoch relativ arbeitsaufwendig und teilweise konstruktiv nicht durchführbar.

Zur Minderung der Formaldehydemissionen in Gebäuden wird seit Anfang der 80er Jahre vom Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) - Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung - die Begasung mit Ammoniak eingesetzt. In einer chemischen Reaktion wird aus dem im Holzwerkstoff vorhandenen freien Formaldehyd und Ammoniak Hexamethylentetramin gebildet, eine bei Raumtemperatur schwer hydrolysierbare Verbindung:



Nach Roffael und Miertzsch (1990) ist die Formaldehydabgabe aus Hexamethylen-tetramin noch signifikant niedriger, als theoretisch zu erwarten wäre. Das Ammoniakgas reagiert ferner mit den im Holzwerkstoff vorhandenen Säuren, wodurch der pH-Wert des Materials deutlich in den neutral bis schwach basischen Bereich verschoben wird (Roffael, Miertzsch, Menzel 1982). Dies verringert die Hydrolyseempfindlichkeit des Harzes und damit auch die erneute Bildung von freiem Formaldehyd (Myers 1982).



Da die Hydrolysereaktion durch eine Ammoniakbegasung nur verlangsamt wird, stellt die Ammoniakbehandlung eine wirksame emissionsmindernde Maßnahme dar; die Abgabe von Formaldehyd kann jedoch hierdurch nicht vollständig unterbunden werden.

Inwieweit neben dem freien Formaldehyd auch der im Harnstoffharz gebundene Formaldehyd mit Ammoniak reagiert, ist nicht genau bekannt, so daß Einwirkungen auf die Spanverleimung und somit auf den Späneverbund innerhalb der Werkstoffplatte möglich sind. Auch stoffliche und farbliche Veränderungen von Werkstoffen durch das Ammoniakgas sowie eine mögliche längerfristige Ammoniakemission nach der Begasung waren zu vermuten. So ist die plastifizierende Wirkung von Ammoniak auf Holz auch ein technisch interessantes Phänomen (Parameswaran, Roffael 1984).

2. Aufgabenstellung

Im vorliegenden Forschungsvorhaben sollten die Räume eines Fertighauses mit Ammoniak nach der bisher im WKI praktizierten Methode behandelt werden. Im Anschluß an die Maßnahme sollten die Verläufe der Ammoniak- und Formaldehydkonzentrationen bis mehrere Monate nach Abschluß der Begasung ermittelt werden. Ergänzend sollten mittels "Screening-Analysen" andere in der Raumluft enthaltene organische Verbindungen erfaßt werden, um zu klären, ob die Begasung mit Ammoniak in der Praxis Einfluß auf die Belastung der Innenraumluft durch andere organische Stoffe hat.

Mit Hilfe von im Labor begasten Materialproben sollte vergleichend untersucht werden, inwieweit die Ammoniakbegasung eine Veränderung der mechanischen Werkstoffeigenschaften verursacht und ob die anschließende Herabsetzung der Formaldehydemission auch mit einer Änderung der Abgabe an VOC (Volatile Organic Compounds) verbunden ist. Zusätzlich war zu klären, ob auch mit geringeren Ammoniakkonzentrationen als auf Grund von Erfahrungen bisher praktiziert, vergleichbare Minderungseffekte erzielt werden können, wobei hier speziell die zeitliche Abhängigkeit zwischen eingesetzter Ammoniakkonzentration und erzielter Emissionsminderung ermittelt werden sollte.

Weiterhin sollte mit Hilfe orientierender Arbeiten das Eindringverhalten des Ammoniakgases in unbeschichtete und beschichtete Holzwerkstoffe untersucht werden.

3. Untersuchungsmaterial

3.1. Fertighaus

Für die Durchführung einer Ammoniakbegasung wurde ein typisches Fertighaus (Baujahr 1973) ausgewählt, bei dem Wände, Decken und Fußböden weitgehend mit harnstoffharzverleimten Spanplatten (UF-Spanplatten) beplankt waren. Es handelte sich um ein unmöbliertes, zweigeschossiges Gebäude, bestehend aus insgesamt sieben abgeschlossenen Wohnräumen mit einer Wohnfläche von ca. 230 m² und einem umbauten Raumvolumen von ca. 570 m³. Der Grundriß des Gebäudes ist in den

Bildern 1 und 2 dargestellt. Für die Untersuchungen wurden drei Räume im Untergeschoß sowie zwei Räume im Obergeschoß ausgewählt. Die Decken und Wände waren in diesen Räumen mit Papiertapeten bekleidet, der Fußboden war im Wohnzimmer mit Parkett, in den anderen Räumen mit Teppichböden ausgestattet. Bei den in der Küche eingebauten Möbelplatten (Einbauküche) handelte es sich um UF-Spanplatten mit Melaminharzbeschichtung, wobei einige nicht sichtbare Schmalflächen unbekleidet waren.

3.2. Materialproben

Für Laborversuche benötigte Materialproben wurden im Gebäude aus Raum 1 aus einer statisch tragenden und einer nichttragenden Innenwand entnommen. Hierbei handelte es sich um eine 60 mm dicke Röhrenstrangpreßplatte (tragende Innenwand), beidseitig mit Hartfaserplatten beplankt und mit Rauhfaser tapete beklebt sowie um eine 19 mm Flachpreßspanplatte (nichttragende Innenwand), einseitig mit Rauhfaser tapete beklebt.

Weitere Untersuchungen über die Wirkung der Ammoniakbegasung erfolgten an Materialproben aus den in Wänden, Decken und Fußböden eingebauten Spanplatten. Hierzu wurden an verschiedenen Stellen vor und im Anschluß an die Begasung Proben entnommen und gasdicht verpackt. Nach Abschleif der aufgetragenen raumseitigen Bekleidung wurde der Formaldehydgehalt der entnommenen Spanplattenproben nach der Perforator-Methode DIN EN 120 bestimmt.

Frühere vom WKI durchgeführte Ammoniakbehandlungen in Fertighäusern hatten gezeigt, daß es nicht erforderlich ist, melamin- oder PVC-beschichtete Möbelteile, insbesondere Küchenmöbel zu entfernen. Ursächlich hierfür ist die Widerstandsfähigkeit dieser Beschichtungen gegenüber Ammoniakgas. Aufgrund der annähernden Gasdichtigkeit dieser Kunststoffbeschichtungen kann Ammoniakgas praktisch nicht über die Oberflächen in den Holzwerkstoff eindringen. Mit Hilfe von Laborversuchen sollte geklärt werden, inwieweit das Gas über offene Schmalflächen, Konstruktionsbohrungen etc. in die Trägerplatte eindringen kann. Hierzu wurden den Küchenmöbeln im Haus verschiedene Proben entnommen, ein Teil mitbegast und der andere Teil als Rückstellprobe verpackt im Labor gelagert. Im Anschluß an die Ammoniakbehandlung wurde an den begasteten Proben sowie an den Rückstellmustern nach Abschleif der Beschichtung der Perforatorwert nach DIN EN 120 bestimmt.

3.3. Sonstige Materialproben

Zur Untersuchung möglicher Farbreaktionen bzw. chemischer Veränderungen wurden für die Laborversuche von folgenden Materialien jeweils zwei Proben ausgewählt:

- Spanplatten unterschiedlichen Typs
- Furniere unterschiedlicher Holzart
- Folien verschiedener Herkunft
- Metalle
- Mineralfaserdämmstoffe
- PUR-Hartschaumkunststoff
- verschiedene Teppichbeläge
- diverse auf Glas aufgetragene Lacksysteme

Eine Probe diente als Rückstellmuster, die andere wurde im Laborversuch begast.

3.4 Materialproben zur Ermittlung des Eindringverhaltens von Ammoniak

Im Fertighaus- und Innenausbau finden beschichtete und unbeschichtete Holzwerkstoffe unterschiedliche Verwendung. Bei der Begasung solcher Werkstoffe mit Ammoniakgas ist die Einbausituation des Materials und seine Oberflächenbeschichtung von entscheidendem Einfluß auf das Eindringverhalten und damit auf den Minderungseffekt der Maßnahme. Orientiert an den in der Praxis vorliegenden Einbausituationen der Materialien, wurden bei den nachfolgend beschriebenen Untersuchungen zwei Begasungszustände unterschieden:

Raumumschließende Wandbauteile werden bei einer Begasung weitgehend einseitig beaufschlagt, demzufolge sollte ermittelt werden, in welchem Zeitraum das Ammoniakgas das Probenmaterial vollständig durchdringt, d.h. wann auf der nicht beaufschlagten Werkstoffseite Ammoniak nachzuweisen war und nach welcher Begasungsdauer von einer näherungsweise vollständigen Umwandlung von Formaldehyd in Hexamethylentetramin auszugehen war (stationärer Zustand).

Werden die innerhalb eines Raumes eingesetzten beschichteten und unbeschichteten Werkstoffe (z.B. bei hinterlüfteten Vertäfelungen oder offenen Behältnismöbeln) begast, kann von einer beidseitigen Beaufschlagung durch das Ammoniakgas ausgegangen werden. Hierzu wurde beschichtetes und unbeschichtetes Probenmaterial in der Plattenebene aufgeteilt (im Querschnitt halbiert). Somit konnte die Zeit ermittelt werden, nach welcher das Ammoniakgas die Plattenmitte (des Querschnittes) erreichte, bzw. wann sich hierbei stationäre Versuchsbedingungen einstellten.

Während der Ammoniakbegasung ist von zwei physikalischen Prozessen auszugehen: Bei einer einseitigen Ammoniakbegasung eines porösen Werkstoffes findet ein Konzentrationsausgleich durch Diffusion des applizierten Gases durch die Trennmembran, hier: die Poren des Probenmaterials, statt. Bis zum Erreichen des stationären Zustandes reagiert das im Bindemittel enthaltene Formaldehyd mit Ammoniak zu Hexamethylentetramin; die Diffusion des Ammoniakgases ist von einer chemischen Reaktion des beaufschlagten Gases überlagert. Erst nach Erreichen des stationären Zustandes, d.h. nach einer näherungsweise vollständigen Absättigung der Probe mit Ammoniak, kann die chemische Reaktion vernachlässigt und ein reiner Diffusionsprozeß angenommen werden.

Als Probenmaterial wurden für diese Untersuchungen folgende Werkstoffe und Beschichtungsmaterialien untersucht:

Serie I:

- Probe A: Spanplatte, 16 mm, Typ E1, unbeschichtet
- Probe B: Spanplatte, 19 mm, Typ E1, unbeschichtet
- Probe C: Spanplatte, 16 mm, Typ E2, unbeschichtet

Serie II:

- Probe A: halbierte Spanplatte, 8,0 mm, Typ E1, unbeschichtet
- Probe B: halbierte Spanplatte, 9,5 mm, Typ E1, unbeschichtet
- Probe C: halbierte Spanplatte, 8,0 mm, Typ E2, unbeschichtet

Serie III:

- Probe C: halbierte Spanplatte, 8,0 mm, Typ E2, unbeschichtet
- Probe C: halbierte Spanplatte, 8,0 mm, Typ E2, mit Rauhfaser beschichtet
- Probe C: halbierte Spanplatte, 8,0 mm, Typ E2, mit Folie beschichtet

4. Methodenbeschreibung

4.1. Durchführung der Ammoniakbegasung im Fertighaus

Entsprechend den bisherigen Erfahrungswerten wurde die Ammoniakbegasung des Gebäudes wie folgt durchgeführt: Im Fertighaus wurde eine Gasflasche mit 40 kg Ammoniak im zentral gelegenen Wohnzimmer (Raum 1, Untergeschoß) aufgestellt. Die Türen der einzelnen Räume waren geöffnet, so daß das Ammoniakgas sich im Inneren des Gebäudes frei verteilen konnte. Nach Beendigung der Vorbereitungen wurden sämtliche Fenster sowie die Außenrolläden geschlossen, das Ventil der Gasflasche geöffnet und das Gebäude für die folgenden sieben Tage gesperrt. Erfahrungsgemäß benötigt die Flasche vier bis fünf Tage zur Entgasung, wobei in der ersten Zeit eine größere Menge an Ammoniak entweicht, danach die Ammoniakabgabe aber infolge Abkühlung (Wärmeentzug durch Verdampfung) abnimmt. Die für die Untersuchungen des Verlaufs erforderlichen Meßapparaturen waren im Kellerraum aufgebaut, die Tür zum Kellergang war entsprechend durch Kunststoffklebebänder abgedichtet. Während der Begasung herrschten in der Außenluft Temperaturen zwischen 8 und 21°C und rel. Luftfeuchten zwischen 35 und 95 % (Bild 3).

4.2. Probenahme

Die Probenahme zur Konzentrationsmessung (Ammoniak und Formaldehyd) erfolgte jeweils in Raummitte über getrennte Schlauchleitungen (PTFE-Schläuche) mit Hilfe von Gasprobenahmeapparaturen. Hierbei wurde die zu analysierende Raumluft durch mit Absorptionsflüssigkeit gefüllte Gaswaschflaschen geleitet. Die Apparatur bestand aus einem Trockenturm zur Entfeuchtung der Luft, einer Gaspumpe mit einem Nadelventil zur Regelung der Probenahmegeschwindigkeit und einem Gasbalgzähler zur Volumenmessung (Bild 4).

4.3. Bestimmung der Formaldehydkonzentration

Die Bestimmung des Formaldehyds nach der Acetylaceton-Methode beruht auf der Hantzschschen Reaktion, einer spezifischen Nachweisreaktion für Formaldehyd. Mit Hilfe der Gasprobenahmeapparatur wurde Formaldehyd aus der Raumluft in bi-distilliertem Wasser absorbiert und nach Umsetzung mit Acetylaceton und Ammoniumacetat zu Diacetyldihydrolutidin photometrisch bestimmt. Mit Hilfe dieser Reaktion kann Formaldehyd spezifisch und bis zu Konzentrationen im ppb-Bereich exakt erfaßt werden (VDI-Richtlinie 3484, Blatt 3).

4.4. Bestimmung der Ammoniakkonzentration

Für die Bestimmung von Ammoniakkonzentrationen in der Raumluft wurden je nach Konzentration verschiedene Analysemethoden angewandt. Die Grundlage des Nachweises bei höheren Konzentrationen beruht auf einer Neutralisationsreaktion. Die Entnahme der Raumluft erfolgte mit Hilfe der Gasprobenahmeapparaturen, als Absorptionslösung diente Schwefelsäure in Konzentration zwischen 0,01 und 1 mol/l. Zur Bestimmung der Ammoniakkonzentration während der Begasung wurde der Absorptionslösung Methylrot als Indikator zugegeben. Mit Hilfe einer Gasuhr konnte das Luftvolumen bis zum Farbumschlag (rot zu gelb), d.h. bis zur Neutralisation des vorgelegten Absorbers durch den Ammoniak, bestimmt werden. Die Ammoniakkonzentration wurde aus der stöchiometrischen Neutralisationsreaktion und dem bis zum Neutralisationspunkt gezogenen Luftvolumen berechnet.

Zur Ermittlung niedriger Ammoniakkonzentrationen in der Raumluft diente die Farbreaktion mit Indophenol. Nach Absorption des Ammoniaks in 0,1 molarer Schwefelsäure wurde die Probelösung mit 1 molarer Natronlauge auf einen pH-Wert zwischen 6,5 und 7 eingestellt und mit Lösungen aus Nitroprussid-Natrium und Phenol sowie Natronlauge und Natriumhypochlorit vermischt. Die Bestimmung des bei dieser Reaktion entstehenden bläulichen Farbstoffes (Indophenol) erfolgte photometrisch, die Berechnung des Ammoniakgehaltes mit Hilfe von Standardlösungen (Gutmann, Bergmeyer 1974).

4.5. Ammoniakbegasung im Labor

Für die Ammoniakbegasung von ausgewählten Materialien unter Laborbedingungen wurde eine vorhandene 1 m³-Kammer so umgebaut und ergänzt, daß hierin eine Begasung mit unterschiedlichen Ammoniakkonzentrationen durchgeführt werden konnte. Die Begasungen erfolgten bei einer Raumtemperatur von 23°C und einer rel. Luftfeuchte von 45 %. Die Luftwechselzahl betrug 0,5 h⁻¹. Um Verunreinigungen und damit Verfälschungen der Analysen durch andere organische Komponenten auszuschließen, wurde Ammoniak der Reinheit 5.0 eingesetzt. Die Konzentrationseinstellung in der Prüfkammer erfolgte mit Hilfe eines thermischen Massendurchflußreglers.

4.6. Untersuchungen der chemischen Eigenschaften

Zur differenzierenden Analyse flüchtiger organischer Stoffe (VOC) in der Raumluft erfolgte die Adsorption in der Probeluft enthaltener VOC an TENAX mit anschließender Thermodesorption, gaschromatographischer Trennung und massenspektrometrischer Identifizierung (GC/MS-Detektor).

Die Untersuchung der Materialproben wurde mit Hilfe der dynamischen Headspace bei einer Temperatur von 60°C und Kyrofokussierung in Verbindung mit einem MS-Detektor durchgeführt. Hierfür wurden jeweils 20 mg der behandelten und unbehandelten Materialproben in Glasröhrchen eingebracht und 10 Minuten bei einer Temperatur von 60°C erwärmt. Die dabei abgegebenen Komponenten wurden bei einer Temperatur von -90°C ausgefroren, durch fünfminütiges Erhitzen auf 250°C auf eine hochauflösende Kapillarsäule gebracht und gaschromatographisch getrennt. Anhand der massenspezifischen Zerfallsprodukte konnten die einzelnen organischen Komponenten identifiziert werden.

4.7. Minderung der Ammoniakkonzentration

Während der Behandlung des Fertighauses wurde diskontinuierlich die sich einstellende Ammoniakkonzentration gemessen. In anschließenden Laborversuchen sollte geklärt werden, inwieweit mit einer Reduzierung der Ammoniakkonzentration ein vergleichbarer Minderungseffekt erzielt werden kann.

Die Begasung im Labor erfolgte bei Konzentrationen von 0,5 / 0,4 / 0,3 / 0,2 und 0,1 Vol.-%. Als Probematerial diente eine 16 mm dicke E2-Spanplatte mit einem Formaldehydgehalt, ermittelt nach der Perforator-Methode DIN EN 120 von 18 mg HCHO/100 g atmo Platte, einem Formaldehydabgabewert ermittelt nach der Gasanalyse-Methode von 9,8 mg HCHO/(h.m²) und einer Formaldehydausgleichskonzentration in der 1 m³-Kammer von 0,20 ppm.

Die Begasungen erfolgten über jeweils sieben Tage. Im Anschluß daran wurden die Platten für eine Woche offen im Raum gelagert, zwei Wochen bei einer Temperatur von 23°C und einer rel. Luftfeuchte von 45 % konditioniert und danach erneut die Formaldehydkennwerte bestimmt. Diese Prüfung wurde nach 3 bzw. 6 Monaten Lagerung wiederholt.

4.8. Ermittlung des Eindringverhaltens

Um die Kenntnisse der erforderlichen Begasungsdauer bei harnstoffharzgebundenen Spanplatten zu erweitern, wurde eine Versuchsanlage entwickelt, bei der Platten- und Beschichtungsmaterial unterschiedlicher Dicke zwischen zwei abgeschlossene Begasungsreaktoren eingesetzt werden können (Bild 5). Bei dem in einem temperierten Raum aufgestellten Doppelkammerreaktor sind die rel. Luftfeuchte und der Luftwechsel der Kammersysteme getrennt regelbar. Über nachgeschaltete Vakuumpumpen wird der Luftwechsel eingestellt und die Gesamtdruckdifferenz zwischen beiden Kammern abgeglichen.

Zur Bestimmung der Ammoniakkonzentration wurde die zu untersuchende Luft der Kammern wechselseitig einer Analyseeinheit zugeführt, wobei der Ammoniak innerhalb einer Absorptionskolonne mit Schwefelsäure zu Ammoniumsulfat umgesetzt und in ein Reaktionsgefäß geleitet wurde. Mit zusätzlich kontinuierlich zugeführter Natronlauge reagiert das gebildete Ammoniumsulfat zu Ammoniak, Natriumsulfat und Wasser. Eine für Ammoniakgas spezifische Elektrode reagierte auf Änderungen der Ammoniakkonzentration im Analysengemisch mit Spannungsänderungen, die über einen angeschlossenen Analogschreiber dokumentiert wurden (Bild 6). Für die nachfolgend aufgeführten Untersuchungen wurde in der Primär- und Sekundärkammer eine rel. Luftfeuchte von 45 % eingestellt (Bild 7). Die Temperatur des klimatisierten Raumes lag bei ca. 23°C. Die Randbedingungen entsprechen damit den Anforderungen zur Klassifizierung von Spanplatten

(ETB-Richtlinie 1980), die Luftwechselzahl von $0,5 \text{ h}^{-1}$ liegt in einer für ältere in Holzfertigbauweise erstellte Gebäude typischen Größenordnung.

4.9. Untersuchungen zur Veränderung der mechanischen Eigenschaften

Die Untersuchungen wurden an 10 verschiedenen Industriespanplatten unterschiedlichen Normtyps durchgeführt. Je zwei Platten waren den Normtypen FPO, FPO/V20, V20, V100 und je eine Platte den Normtypen V100G und V100 (mit PMDI-Verleimung) zuzuordnen.

An diesen Platten wurden folgende Eigenschaften bzw. Kenndaten vor und nach der Begasung mit Ammoniak ermittelt:

Dicke, Rohdichte, Feuchte nach	(DIN 52 361)
Dickenquellung (q_2 bzw. q_{24}) nach	(DIN 52 364)
Biegefestigkeit nach	(DIN 52 362 T1) und
Querzugfestigkeit (V20 bzw. V100) nach	(DIN 52 365)

Vor der Prüfung wurden die Proben im Normalklima DIN 50 014 - 20/65-1 bis zur Gewichtskonstanz gelagert. Die Platten wiesen einen sog. Kalibrierschleiff auf.

4.10. Bestimmung der Formaldehydkennwerte

4.10.1. 1 m^3 -Kammer-Methode

Die Bestimmung der Formaldehydabgabe der Materialproben erfolgte in einer geschlossenen Prüfkammer mit einem Volumen von 1 m^3 bei einer Temperatur von 23°C und einer rel. Luftfeuchte von 45 % (Bild 8). Die Luftwechselzahl wurde derart eingestellt, daß das Verhältnis Raumbeladung/Luftwechselzahl jeweils 1 betrug und damit den in der ETB-Richtlinie zur Klassifizierung von Spanplatten geltenden Anforderungen bei der Prüfraumuntersuchung entsprachen. Die Prüfung erfolgte bis zur Einstellung einer konstanten Formaldehydkonzentration ("Ausgleichskonzentration"). Zur Ermittlung der Raumluftkonzentration wurde der Prüfraumluft täglich einmal eine Luftmenge von $0,1 \text{ m}^3$ entnommen und durch zwei

mit bi-dest. Wasser gefüllte Gaswaschflaschen geleitet. Die Bestimmung des Formaldehyds erfolgte photometrisch nach der Acetylaceton-Methode. Das Volumen der Analyseluft wurde auf eine Temperatur von 20°C und einen Luftdruck von 1013 hPa umgerechnet und die Formaldehydkonzentration in ppm (1 ppm = 1,248 mg HCHO/m³) angegeben.

4.10.2. Gasanalyse-Methode

Bei der Bestimmung der Formaldehydabgabe nach der Gasanalyse-Methode (DIN 52 368, September 1984) wurden Prüfkörper der Größe 400 mm x 50 mm x Dicke eingesetzt. Diese wurden in einem beheizten Rohr mit einem konstanten Strom gereinigter und getrockneter Luft umspült (Bild 9). Die Prüftemperatur betrug 60°C, der Luftdurchsatz 1 l/Minute. Der aus dem Probekörper in die Prüfluft abgegebene Formaldehyd wurde in zwei mit bi-dest. Wasser gefüllte Gaswaschflaschen absorbiert und photometrisch nach der Acetylaceton-Methode bestimmt.

Die Absorptionsdauer betrug jeweils 1 Stunde bei einer Prüfdauer von insgesamt 4 Stunden, die Werte der 2. bis 4. Stunde wurden gemittelt und auf die emissionsfähige Oberfläche des Probekörpers bezogen (mg HCHO/(h.m²)). Die Prüfung erfolgte bei unbeschichteten Spanplatten mit offenen Schmalflächen, bei beschichteten Platten wurden die Schmalflächen vor der Prüfung durch dreifachen Anstrich mit einem Zweikomponenten-Polyurethanlack gasdicht versiegelt.

4.10.3. Perforator-Methode

Die Bestimmung des Formaldehydgehaltes der Spanplattenproben erfolgte nach der in DIN EN 120 beschriebenen Perforator-Methode. Dabei wurden nach Abschleif der Beschichtung ca. 110 g zu Würfeln zerschnittene Probekörper (25 mm x 25 mm x Dicke) in einer Perforatorapparatur 2 Stunden mit siedendem Toluol extrahiert (Bild 10). Der abgegebene Formaldehyd wurde in einer Wasservorlage aufgefangen, jodometrisch bestimmt und auf das Trockengewicht des Materials bezogen (mg/100 g atro Platte). Zusätzlich zu der in der Norm vorgeschriebenen jodometrischen Formaldehydbestimmung erfolgte eine photometrische Auswertung des in der Vorlage enthaltenen Formaldehyds nach der Acetylaceton-Methode.

5. Ergebnisse

5.1. Ammoniakbegasung

Die Dauer der Ammoniakbegasung des Fertighauses betrug sieben Tage. Während dieser Zeit erfolgten tagsüber kontinuierliche Messungen der Ammoniakkonzentration in fünf ausgewählten Räumen (Bilder 11 bis 15). Die ermittelten Ammoniakkonzentrationen lagen zwischen 0,05 und 0,52 Vol.-% (Tabelle 1). Die höchsten Werte traten dabei in Raum 1 auf (bis 0,52 Vol.-%). In den Räumen 2 und 3 wurden etwa 0,3 Vol.-% Ammoniak erreicht, in den Räumen 4 und 5 lagen die maximalen Konzentrationen nur wenig über 0,1 Vol.-%. Hier zeigte sich somit eine von der Entfernung der Abgabestelle abhängige Ammoniakverminderung, die je nach Lage des Raumes zu erheblichen Unterschieden bei den Konzentrationswerten führte.

Nach sieben Tagen wurde die Ammoniakbegasung beendet, die Räume des Hauses intensiv belüftet und die sich einstellenden Formaldehyd- und Ammoniakkonzentrationen zeitabhängig gemessen (Bilder 16 bis 20). Es ergab sich eine Reduzierung der Ammoniakkonzentration zwei Monate nach der Begasung auf Werte unter 5 ppm (Tabelle 2). Auch hier konnten in der ersten Zeit noch Unterschiede zwischen den Räumen festgestellt werden, die der Belastungssituation während der Begasung entsprachen.

Die mittlere Anfangskonzentration an Formaldehyd in der Raumluft des Gebäudes lag bei 0,18 ppm (Tabelle 3). Stichprobenmessungen während der Begasung ergaben Formaldehydwerte von unter 0,01 ppm. Eine Woche nach der Begasung erreichten die Formaldehydkonzentrationen im Mittel einen Wert von 0,05 ppm, der sich auch zwei Jahre nach der Begasung nicht wesentlich erhöhte (Bilder 21 bis 25). In Übereinstimmung mit früheren Erkenntnissen wurde durch diese Ergebnisse somit die Dauerhaftigkeit der Minderungsmaßnahme bestätigt (Marutzky 1989). Ähnliche Resultate ergaben sich auch bei einer vom Bundesgesundheitsamt durchgeführten Ammoniakbehandlung eines Fertighauses (Wegner 1991).

Die Formaldehydkonzentrationen lagen im hier gegebenen Fall im Mittel in den Räumen des Untergeschosses (Raum 1 bis 3) geringfügig niedriger als in den Räumen des Obergeschosses (Raum 4 und 5). Dies ist ein Hinweis, daß die Minderung der Formaldehydbelastung von der Ammoniakkonzentration während der Begasung beeinflusst wird.

5.2. Ergebnisse der Laboruntersuchungen

5.2.1. Einfluß der Ammoniakbegasung auf die mechanische Eigenschaften der Spanplatten

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 4 und 5 als Mittelwerte mit Standardabweichungen und Variationskoeffizienten, jeweils unterschieden zwischen "vor" und "nach" der Ammoniakbegasung, aufgeführt. Eine Gegenüberstellung der Mittelwerte zeigt Tabelle 6.

Die Ammoniakbegasung bewirkte Veränderungen der Spanplatteneigenschaften bzw. -kenndaten. So erhöhte sich die Plattendicke geringfügig - im Mittel um 0,2 mm. Die Feuchte der Proben lag nach der Begasung um 0,5 Masse-% höher als vor der Begasung. Diese Ergebnisse bestätigen Angaben von Tarkow und Feist (1968), wonach durch Ammoniakbehandlung die Ausgleichsfeuchten von Holz zu höheren Feuchtegehalten verschoben wird.

Während eine Änderung der Rohdichte und der Querkzugfestigkeit nicht festgestellt werden konnte, erhöhten sich die 2-Stunden-Dickenquellung (q_2) durchschnittlich um 0,4 und die 24-Stunden-Dickenquellung (q_{24}) um 0,2 Quellungsprozente.

Die hier festgestellte deutliche Verringerung der Biegefestigkeit nach der Ammoniakbehandlung - bei 6 von 10 Platten nahm die Biegefestigkeit um bis zu 20 % ab - bestätigt Erkenntnisse andere Untersuchungen (Bariska 1969), wonach eine Begasung mit Ammoniak das Elastizitätsmodul des Holzes reduziert. Eine Abhängigkeit vom Plattentyp konnte nicht nachgewiesen werden. Offensichtlich findet durch die Begasung mit Ammoniak eine Veränderung des Spanverbundes statt. Je nach Begasungsdauer sind diese chemischen Reaktionen im Bindemittel auf die Deckschicht des Plattenmaterials begrenzt. Die geringe Erhöhung der Quellungswerte bei gleichzeitiger Zunahme der Dicke, deutet auf eine Auflockerung des Gefüges hin. Da die Bestimmung der Querkzugfestigkeit stets den "schwächsten" Bereich des Plattenquerschnittes prüft, können mit dieser Messung Veränderungen von Deck- und Mittelschichten nicht differenziert werden.

5.2.2. Einfluß der Ammoniakbegasung auf die Formaldehydkennwerte der untersuchten Materialproben

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den aus dem Gebäude großflächig entnommenen Proben zeigen, daß deren Formaldehydabgabewerte durch die Begasung signifikant vermindert wurden (Tabelle 7 und 8). Auch 24 Monate nach der Begasungsmaßnahme lagen die Formaldehydkonzentrationswerte deutlich unterhalb des vom Bundesgesundheitsamt für Aufenthaltsräume empfohlenen wohnhygienischen Toleranzwertes von 0,1 ppm.

Die Verminderung des Formaldehydgehaltes der einzelnen aus den Wänden, Decken und Fußböden entnommenen Materialproben zeigt Bild 26. Die Formaldehydgehalte der hier aufgeführten Proben wurden unter dem Einfluß des Ammoniaks vermindert, teilweise lagen die Werte bis zu 80 % unter dem Ausgangswert. Besonders hohe Minderungseffekte zeigten dabei die beiden im Untergeschoß entnommenen Plattenproben (P1 und P2). Im ersten Stockwerk des behandelten Fertighauses wurde im Fußboden als Trittschalldämmung unter der Spanplatte eine Weichfaserplatte eingesetzt. Dem Ergebnis der Probe 4 (P4) ist zu entnehmen, daß auch die unter der 16 mm dicken Spanplatte liegende Faserplatte mit dem Ammoniakgas der Luft reagiert hatte.

Anhand der Formaldehydgehalte der in Streifen aufgeschnittenen beschichteten Materialproben vor der Begasung ist zu erkennen, daß bereits ein gewisser Alterungseffekt in den Außenbereichen der Platte eingetreten war (Bild 27). Die Schmalflächen dieser Platte (Probe A und F) waren jeweils an der Längsseite unbeschichtet. Eine mit Ammoniakgas behandelte Probe, bei der nur die Längsschmalfläche (Probe G) nicht beschichtet war, zeigt Bild 28. Der Ammoniak war etwa 5 cm über die Schmalfläche in die Platte eingedrungen. Die Untersuchungen an den Streifen N und U einer weiteren begasten Probe (Bild 29), auch hier waren die Längsschmalflächen unbeschichtet, bestätigen dieses Ergebnis.

5.2.3. Einfluß der Ammoniakkonzentration

Der Einfluß der Ammoniakkonzentration auf die Verminderung der Formaldehydkennwerte gemessen in der 1 m³-Kammer, nach der Perforator- und der Gasanalyse-Methode, ist in den Bildern 30 bis 32 dargestellt. Bei allen Ammoniakkonzentrationen wurde eine nennenswerte Minderung festgestellt, die jedoch abhängig von der Konzentration war. Bei 0,5 Vol.-% Ammoniak verringerten sich die Abgabewerte in der 1 m³-Kammer um bis zu 75 %, bei 0,05 Vol.-% Ammoniak nur um etwa 50 %. Auf den Perforator- und den Gasanalysewert waren die Minderungseffekte stärker ausgeprägt.

Demzufolge, ist nur eine Begasung bei einer mittleren Ammoniakkonzentration von mindestens 0,2 Vol.-% sinnvoll. Niedrigere Konzentrationen führen zu einer nicht ausreichenden Verminderung des Formaldehydpotentials in den Platten, die Formaldehydabgabe an die Raumluft kann nach wenigen Monaten erneut auf Konzentrationswerte von 0,1 ppm ansteigen. Diese Ergebnisse lassen die Schlußfolgerung zu, daß noch günstigere Minderungseffekte als im vorliegenden Fall erreichbar sind, wenn das Gebäude gleichmäßiger begast werden würde, z.B. durch Aufstellen von jeweils zwei kleineren Gasflaschen im ersten und zweiten Geschoß.

5.2.4. Änderung der optischen und chemischen Eigenschaften durch Ammoniakeinwirkung

In Tabelle 9 sind die eingesetzten Materialien und ihre farbliche Veränderung nach einer 7-tägigen Ammoniakbegasung aufgeführt. Es waren bei allen Furnierarten geringe dunklere Verfärbungen nach der Begasung zu erkennen. Dies war auf Grund des hohen Tanningehaltes beim Eichenfurnier am deutlichsten erkennbar. Im Handwerk und in der Industrie wird Ammoniak als sog. "Räucherbeize" für Eichenholz verwendet. Die anderen untersuchten Materialien wiesen keine erkennbaren Verfärbungen auf.

Neben den optischen Veränderungen der Materialien wurde auch der Einfluß der Ammoniakbegasung auf das Emissionsverhalten organischer Substanzen untersucht (Tabelle 10).

Als Hauptkomponenten wurden folgende Verbindungen, eingeteilt nach chemischen Gruppen, identifiziert:

- 1 - Alkane und Isoalkane (C3 - C12)
 - Alkohole (Methanol, Ethanol)
- 2 - Aldehyde (Acetaldehyd, Hexanal)
- 3 - Ketone (Heptanon, Aceton)
- 4 - Org. Säuren (Essigsäure, Hexansäure, Adipinsäure)
- 5 - Terpene (α -Pinen, β -Pinen, Δ -3-Caren, Limonen)
- 6 - Fluorchlorkohlenwasserstoffe (R 11, R 12)
- 7 - Andere (Styrol, Acrylate)
- 8 - substituierte Aromaten (BHT (2,6-Di-tert.butyl-4-methyl-phenol), Xylole)

Alle identifizierten Substanzen gelten als typische Emittenten von Baustoffen und können im allgemeinen unter normalen Wohnbedingungen in verschiedenster Zusammensetzung in der Raumluft nachgewiesen werden.

Die Werte des häufig als Antioxidan eingesetzten und als geruchsintensiv geltenden Aromaten 2,6-Di-tert.butyl-4-methyl-phenol (BHT) sowie von Hexanal und der als Treibmittel für Schaumstoffe verwendeten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) verringerten sich signifikant. Die Tendenz war uneinheitlich, aber insgesamt degressiv. Bei insgesamt 55 Konzentrationsmessungen wurde 33 mal eine Abnahme und 23 mal eine Zunahme der Konzentration registriert.

Bei der Begasung wurden durch den Ammoniak aufgrund der Polaritätsunterschiede organische Komponenten wie z.B. Stoffe mit Carboxylgruppen (Methanol, Aldehyde, Ketone, Essigsäure etc.) aus den in einem Haus üblicherweise vorhandenen Materialien verdrängt und gelangten in die Raumluft. Die Messungen der Raumluft wenige Tage nach der Begasung zeigten gegenüber den Ergebnissen vor der Maßnahme erhöhte Konzentrationen an Methanol, Essigsäure und höheren Aldehyden (Bild 33 bis 38, Identifizierung s.oben). Dies steht in Übereinstimmung mit der Zunahme dieser Substanzen aus den im Labor untersuchten Materialien. Außer Verdrängungseffekten dürften hierbei auch Hydrolyseeffekte wirksam werden, bei denen aus Holzsubstanzen Essigsäure und Methanol freigesetzt werden. Hier wird auf die weiterführenden Arbeiten von Roffael (1989, 1990) verwiesen.

5.2.4 Eindringverhalten von Ammoniak

Zur Ermittlung des Eindringverhaltens von Ammoniak in raumumschließende Wandbauteile wurden unbeschichtete Spanplattenproben in den Doppelkammerreaktor eingesetzt und einseitig mit Ammoniak begast (vgl. 4.8). Die beidseitige Begasung wurde simuliert, indem die aufgeteilte Probe so eingebaut wurde, daß die Plattenoberfläche begast werden konnte (Reaktor-Primärseite), die Plattenmitte stand entsprechend mit der gasanalytischen Seite des Reaktors (Sekundärseite) in Verbindung.

Die dargestellten Diagramme (Bild 39 bis 41) zeigen die zeitabhängige Änderung der Ammoniakkonzentration, gemessen auf der Reaktorsekundärseite, wobei von annähernd konstanten Beaufschlagungsbedingungen auf der Primärseite auszugehen ist. Nach einer je nach Probenmaterial unterschiedlichen Versuchsdauer bei der sehr geringe Konzentrationswerte bzw. -änderungen ermittelt wurden, ist an allen untersuchten Proben (mit Ausnahme der mit einer Folie beschichteten Probe) eine deutliche Konzentrationsänderung auf der Sekundärseite des Reaktionsgefäßes zu erkennen, die sich mathematisch angenähert mit einer Exponentialfunktion beschreiben läßt. Dieser Versuchsphase schließt sich ein Zustand an, der als näherungsweise stationär zu bezeichnen ist, da sich im Anschluß nur noch geringe Konzentrationsänderungen ergaben.

Aufgrund ihres großtechnischen Herstellungsprozesses ist bei der Struktur, speziell bei der Porosität von Deck- und Mittelschichten von Spanplatten, mit deutlichen Unterschieden innerhalb eines Plattentyps zu rechnen. Entsprechend große Meßwertschwankungen waren auch bei den hier dargestellten Begasungsversuchen zu erwarten. Insofern können die Ergebnisse dieser ersten Versuche nur als grobe Orientierung eingeordnet werden; um abgesicherte quantitative Aussagen zu erhalten, wären eine größere Anzahl industriell oder auch labormäßig hergestellter Werkstoffplatten zu untersuchen. Bei den ungeteilten Plattenproben (Bild 39) läßt sich die Streubreite ihrer Porosität an den unterschiedlichen Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen deutlich erkennen.

Bei den formaldehydarm gebundenen Spanplatten (Typ E1) wurde ein stationärer Begasungszustand nach etwa 6 Tagen erreicht, wobei sehr geringe Ammoniakmengen schon ca. 36 Stunden nach der Beaufschlagung auf der Analytikseite der

Apparatur nachgewiesen wurden. Hingegen konnte bei den Spanplatten des Verleimtyps E2 ein stationärer Begasungszustand erst nach etwa 9 Tagen als erreicht angesehen werden; erste Ammoniakspuren auf der Sekundärseite des Reaktors waren hier nach etwa 5 Tagen zu analysieren.

Die aufgeteilten Proben (mit Ausnahme der Probe A) ließen schon bei deutlich kürzeren Begasungszeiten eine Absättigung des Materials mit Ammoniak erkennen (Bild 40). Hier verkürzten sich die Begasungszeiten bis zum Erreichen eines stationären Zustandes auf etwa 4 Tage, wobei teilweise schon nach wenigen Stunden erste Ammoniakspuren auf der Sekundärseite, d.h. in der Plattenmitte nachgewiesen wurden. Die Beschichtung des Materials mit handelsüblicher Raufasertapete unter Verwendung eines entsprechenden Methylcellulose-Klebers führte zu geringfügig veränderten Konzentrationen, die innerhalb der Meßgenauigkeit, d.h. der Porositätsunterschiede des Plattenmaterials zu vermuten sind. Deutliche Unterschiede ergaben sich dagegen bei der mit einer Folie beschichteten Spanplatte. Hier wurden auch nach einer 7-tägigen Ammoniakbegasung keine Gasanteile auf der Sekundärseite ermittelt, so daß von einer hohen Sperrwirkung der Folienbeschichtung gegenüber dem applizierten Gas bzw. dann auch gegenüber aus der Platte emittiertem Formaldehyd auszugehen ist (Bild 41). Die in Kapitel 5.2.2 beschriebenen Untersuchungen an folienbeschichteten Korpusteilen der Einbauküche bestätigen dieses Ergebnis.

6. Zusammenfassung

Die Untersuchungen ergaben, daß durch die Begasung mit Ammoniak mit den dargestellten Randbedingungen die Formaldehydkonzentration in der Raumluft eines Gebäudes, errichtet unter weitgehender Verwendung formaldehydgebundener Spanplatten, wirkungsvoll und dauerhaft vermindert wird. Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung ist eine Mindestkonzentration an Ammoniak von etwa 0,2 Vol.-%, besser jedoch 0,5 Vol.-% und einer Einwirkdauer von mindestens fünf Tagen. Um eine optimale Wirksamkeit der Minderungsmaßnahme zu erzielen, erwies es sich als notwendig, die Konzentration in allen Räumen des Gebäudes auf eine gleichmäßige Mindestkonzentration zu bringen. Durch eine im unmittelbaren Anschluß an die Begasung intensiv durchgeführte Belüftung kann die Anreicherung von Ammoniakgas in der Raumluft innerhalb kurzer Zeit auf ein verträgliches Minimum reduziert werden. Nach etwa sechs bis acht Wochen liegen dann nur noch sehr geringe Konzentrationen vor, die sich auch geruchlich nicht mehr bemerkbar machen.

Die Formaldehydkonzentrationen im Gebäude, die vor der Begasung bei etwa 0,18 ppm lagen, wurden durch die Maßnahme auf Werte deutlich unter 0,1 ppm reduziert. Messungen zwei Jahre nach Aufhebung der Minderungsmaßnahme ergaben noch Werte von 0,05 ppm und weniger.

Durch die im Labormaßstab durchgeführte Begasung wurden die Festigkeitswerte der Spanplatten nachweisbar beeinflusst. Die Verringerung der Biegefestigkeit wurde auf eine Veränderung des Spangefüges und der Holzeigenschaften im Deckschichtbereich zurückgeführt. Die - allerdings geringen - Dicken- und Quellungs-zunahmen unterstützten diese Feststellung. Eine plattenspezifische Abhängigkeit der untersuchten Zusammenhänge konnte aufgrund des geringen Versuchsumfanges nicht nachgewiesen werden.

Geringe optische Veränderungen waren nach der Ammoniakbegasung bei allen untersuchten Furnierarten mit einer Ausnahme festzustellen. Die untersuchten Anstrichsysteme, Metalle, Dämmmaterialien und Fußbodenbeläge wiesen dagegen keinerlei Verfärbungen auf. Möbel, Paneele bzw. Parkettböden aus Eiche hell oder mit Eichefurnier hell beschichtet, reagieren dagegen sehr stark auf Ammoniakgas und sollten vor einer möglichen Ammoniakbegasung aus den Räumen entfernt bzw. sorgfältig mit gasdichter Folie abgeklebt werden.

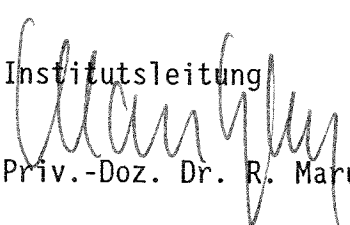
Der Einfluß der Ammoniakbehandlung auf die Abgabe anderer organischer Stoffe war unterschiedlich. Nach der Behandlung nahmen die Raumlufkonzentrationen für einige polare Stoffe (Methanol, Essigsäure u.a.) merklich zu, augenscheinlich durch Verdrängungsreaktionen an adsorptionsfähigen Oberflächen bzw. Hydrolysereaktionen im Holz. Dies wird durch die Laboruntersuchungen an den einzelnen Materialien bestätigt; auch hier wurde überwiegend eine Zunahme der polaren Stoffe ermittelt. Von der Tendenz ist die Ammoniakbehandlung hinsichtlich der Abgabe von VOC jedoch als eher degressiv zu bezeichnen.

Die ersten orientierenden Untersuchungen zum Eindringverhalten von Ammoniak bei der Begasung von Plattenmaterial in dem beschriebenen Doppelkammerreaktor lassen erkennen, daß mit den bisher empirisch für eine Fertighausbegasung angesetzten Applikationszeiten die zur Herstellung des Bauteils verwendeten Plattenmaterialien weitgehend durchdrungen werden. Von der Effektivität einer entsprechenden Minderungsmaßnahme bezüglich der Reduzierung der Formaldehyd-emission dieser Materialien ist daher aus den in diesem Forschungsprojekt gewonnenen weiterführenden Erkenntnissen auszugehen.

Sachbearbeiterin


A. Flentge

Institutsleitung


Priv.-Doz. Dr. R. Marutzky

Literatur

- Bariska, M. 1969: Plastifizierung des Holzes in Theorie und Praxis.
Holz-Zentralblatt 95: 1309-1311
- ETB-Richtlinie 1980: Richtlinie über die Verwendung von Spanplatten hinsichtlich der Vermeidung unzumutbarer Formaldehydkonzentrationen in der Raumluft - Richtlinie über die Klassifizierung von Spanplatten bezüglich der Formaldehydabgabe. Berlin, Köln: Beuth Verlag
- Gutmann, I., Bergmeyer, H.U. 1974 in: Bergmeyer, H.-U. (Hrsg): Methoden der enzymatischen Analysen. Verlag Chemie, Weinheim. Band II, 1839-1842
- Jungwirth, H. 1987: Formaldehyd im Wohnbereich - Ursache und Abhilfemaßnahmen. Schriftenreihe "Gesundes Wohnen" des Instituts für Baubiologie und Oekologie, Neubeuern
- Marutzky, R. 1986: Formaldehyd in Innenräumen: Zur Problematik von Beschwerdefällen. Gesundheits-Ingenieur 107, 327-334
- Marutzky, R. 1987: Formaldehyde Injuries in Prefabricated Houses: Causes, Prevention and Reduction. Proceedings of the 4th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Berlin, Band 2: 690-694
- Marutzky, R. 1989: Möglichkeiten der Formaldehydminderung in belasteten Innenräumen. Holz als Roh- und Werkstoff 47, 207-211
- Myers, G.E. 1982: Hydrolytic stability of cured urea-formaldehyde resins. Wood Science 15, 127-138
- Neusser, H. Zentner, M. 1968: Über die Ursachen und die Beseitigung des Formaldehydgeruchs von holzhaltigen Baustoffen, insbesondere von Spanplatten. Holzforschung, Holzverwertung, 20: 101-112
- Parameswaran, W. Roffael E 1984: Kenntnisstand und Untersuchungsergebnisse zur Wirkung von Ammoniak auf Holzspäne. Holz als Roh- und Werkstoff 42: 327-333
- Roffael, E. Miertzsch, H. Menzel W. 1982: Nachträgliche Behandlung von Spanplatten zur Verminderung ihres Formaldehydabgabepotentials. Adhäsion 26, 3: 18-23
- Roffael, E. 1989: Abgabe von flüchtigen Säuren aus Holzspänen und Holzspanplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 47, 447-452
- Roffael, E. 1990: Zur Abgabe von flüchtigen Säuren aus Spanplatten. Holz-Zentralblatt 116, 376-379
- Roffael, E, Miertzsch, H. 1990: Verminderung der Formaldehydabgabe durch Nachbehandlung

- Tarkow, H. Feist, W.C. 1968: The superswollen state of wood. Tappi 51, 80-83
- VDI-Richtlinie 3484: Blatt 3 (Entwurf 1991): Messen gasförmiger Immissionen -
Messen von Innenraumluft - Bestimmung der Formaldehydkonzentration nach
der Acetylaceton-Methode
- Wegner, J. 1991: Persönliche Mitteilung an die Verfasser

Tabelle 1: Ammoniakkonzentrationen im Fertighaus während der Begasung,
Start der Begasung: 05.06.1989, 12.35 Uhr

Begasungsdauer in h	Ammoniakkonzentration in Vol.-%				
	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
0,5	0,08	0,02	0,10	0,01	0,01
1,5	0,12	0,04	0,12	0,01	0,01
2,0	0,19	0,07	0,10	0,01	0,01
5,0	0,50	0,08	0,10	0,02	0,02
20,5	0,31	0,12	0,14	0,07	0,06
22,5	0,30	0,14	0,15	0,08	0,07
25,5	0,29	0,22	0,19	0,05	0,05
28,5	0,46	0,24	0,25	0,04	0,05
45,5	0,45	0,24	0,24	0,08	0,08
47,5	0,45	0,22	0,23	0,08	0,07
50,5	0,52	0,21	0,22	0,10	0,09
72,0	0,36	0,16	0,17	0,12	0,10
74,0	0,45	0,19	0,19	0,11	0,10
94,5	0,36	0,25	0,21	0,14	0,12
98,0	0,41	0,25	0,21	0,14	0,11
123,0	0,52	0,29	0,30	0,09	0,08
125,0	0,50	0,31	0,33	0,08	0,08
143,0	0,47	0,20	0,23	0,16	0,13
145,0	0,45	0,21	0,23	0,16	0,13
166,0	0,32	0,27	0,24	0,14	0,11

Tabelle 2: Ammoniakkonzentrationen im Fertighaus nach der Begasung,
Ende der Begasung: 12.06.1989, 11.45 Uhr

Datum/Uhrzeit	Ammoniakkonzentration in ppm				
	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
12.06.89/12.00	28,5	53,2	50,5	29,9	42,0
12.06.89/13.00	15,0	24,7	25,5	17,2	23,8
13.06.89 1.	17,4	18,4	24,9	10,9	17,3
13.06.89 2.	73,1	58,4	62,3	33,7	35,1
13.06.89 3.	130,8	89,1	77,2	48,3	51,6
15.06.89 1.	8,1	8,3	13,4	7,2	9,3
15.06.89 2.	35,2	26,9	31,9	19,0	20,5
15.06.89 3.	55,6	37,5	40,4	27,3	29,0
16.06.89 1.	5,7	4,5	6,4	7,1	7,4
16.06.89 2.	19,5	17,5	17,6	10,2	12,2
16.06.89 3.	21,9	-	27,6	16,3	14,0
19.06.89 1.	2,3	3,6	3,6	1,4	1,3
19.06.89 2.	14,1	11,7	10,5	5,0	5,0
19.06.89 3.	18,6	14,9	13,3	7,3	8,3
21.06.89 1.	3,0	3,7	4,4	1,3	2,4
21.06.89 2.	8,2	8,1	8,9	5,0	4,9
21.06.89 3.	12,2	7,4	11,0	12,0	6,2
23.06.89 1.	2,2	2,6	2,9	1,5	2,9
23.06.89 2.	6,5	5,8	4,5	3,0	3,8
23.06.89 3.	8,5	7,0	6,0	3,9	4,7

1. Messung bei Fenster in Kippstellung
2. und 3. Messung nach $\frac{1}{2}$ Stunde Nichtbelüftung

Fortsetzung

Tabelle 2: Ammoniakkonzentrationen im Fertighaus nach der Begasung,
Ende der Begasung: 12.06.1989, 11.45 Uhr

Datum/Uhrzeit	Ammoniakkonzentration in ppm				
	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
26.06.89 1.	1,7	1,5	1,1	1,5	1,1
26.06.89 2.	5,2	2,1	3,6	3,2	2,8
26.06.89 3.	6,8	5,5	4,4	4,3	3,9
05.07.89	5,5	4,2	4,0	3,7	2,5
02.08.89	3,9	2,6	2,9	3,7	1,6
06.09.89	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
10.10.89	0,3	0,2	0,2	0,4	0,3
13.02.90	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
14.06.90	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
21.08.91	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

1. Messung bei Fenster in Kippstellung
2. und 3. Messung nach $\frac{1}{2}$ Stunde Nichtbelüftung, ab August 1989 jeweils eine Messung nach 2 Stunden Nichtbelüftung

Tabelle 3: Formaldehydkonzentrationen im Fertighaus vor und nach der Begasung, Start der Begasung: 05.06.1989, 12.35 Uhr, Ende der Begasung: 12.06.1989, 11.45 Uhr

Datum/Uhrzeit	Formaldehydkonzentration in ppm				
	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 5
01.06.89	0,18	0,19	0,17	0,18	0,20
05.06.89/12.40	0,11	0,20	0,06	0,13	0,15
05.06.89/16.00	< 0,01	0,01	0,01	0,07	0,09

Während der Begasung lagen die Formaldehydkonzentrationen in allen Räumen unter 0,01 ppm.

14.06.89	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
15.06.89	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
16.06.89	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
19.06.89	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05
21.06.89	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
23.06.89	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06
26.06.89	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
05.07.89	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
02.08.89	0,04	0,04	0,05	0,07	0,06
06.09.89	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06
10.10.89	0,04	0,05	0,05	0,08	0,09
13.02.90	0,06	0,08	0,07	0,08	0,06
14.06.90	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06
21.08.91	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05

Tabelle 4: Eigenschaftskennwerte von Spanplatten vor einer Ammoniakbegasung

Norm- typ	Nr.	Dicke mm	Rohdichte kg/m ³	Feuchte %	Biege- festigkeit N/mm ²			Querzug- festigkeit N/mm ²			Dickenquellung					
					\bar{x}	s	V	\bar{x}	s	V	q2 %		q24 %			
FPO	1180	16,23	719	8,9	15,1	1,1	7,5	0,67	0,04	6,4	4,1	0,4	10,1			
FPO	1228	19,03	675	10,0	18,4	1,6	8,9	0,44	0,05	10,8	6,0	1,0	17,1			
FPO/V20	1023	12,97	726	9,3	18,3	1,5	8,2	0,62	0,05	7,9	2,8	0,4	14,1	12,4	1,1	9,0
FPO/V20	1207	19,14	673	8,9	13,4	1,9	14,1	0,54	0,05	8,8	3,4	0,4	10,9	18,4	0,7	3,9
V20	1144	13,31	718	8,9	22,0	1,8	8,3	0,70	0,04	5,2				10,8	1,3	11,7
V20	1146	19,45	670	8,9	20,6	1,0	5,0	0,38	0,04	10,1				18,1	0,9	4,8
V100	1038	13,07	789	10,0	22,9	1,2	5,3	0,38	0,02	5,5				10,8	0,4	3,8
V100	1216	18,95	780	8,8	19,0	1,9	9,9	0,14	0,03	20,7				16,7	3,3	19,7
V100G	1300	19,34	719	9,1	21,1	2,1	10,1	0,39	0,06	13,9				6,0	1,0	16,2
V100ISO	1	16,20	706	10,4	15,7	2,1	13,5	0,16	0,02	11,9				11,0	0,8	7,5

x = Mittelwert, s = Standardabweichung, V = Variationskoeffizient in %

Tabelle 5: Eigenschaftskennwerte von Spanplatten nach einer Ammoniakbegasung

Norm- typ	Nr.	Dicke mm	Rohdichte kg/m ³	Feuchte %	Biege- festigkeit N/mm ²			Querzug- festigkeit N/mm ²			Dickenquellung						
					\bar{x}	s	V	\bar{x}	s	V	q2 %		q24 %				
FPO	1180	16,47	707	10,0	11,7	1,2	9,9	0,60	0,05	7,9	4,9	1,0	19,3				
FPO	1228	19,39	679	10,4	15,4	1,0	6,6	0,41	0,02	5,1	6,2	0,8	13,0				
FPO/V20	1023	13,15	725	9,5	18,4	1,4	7,6	0,61	0,03	5,1	3,1	0,6	18,2	13,4	0,6	4,7	
FPO/V20	1207	19,33	692	9,8	13,2	1,5	11,1	0,54	0,04	6,9	3,6	0,5	12,9	17,7	0,9	5,1	
V20	1144	13,66	717	9,3	19,7	1,8	9,0	0,74	0,08	11,3				14,3	1,5	10,2	
V20	1146	19,63	686	8,8	20,7	1,0	5,1	0,41	0,03	7,3				18,1	0,7	4,0	
V100	1038	13,30	781	10,6	18,9	1,8	9,4	0,36	0,03	6,8				10,2	0,7	7,3	
V100	1216	19,22	817	9,3	18,1	1,1	6,3	0,17	0,02	10,2				14,2	1,0	7,3	
V100G	1300	19,53	708	9,4	19,9	0,9	4,7	0,41	0,03	7,6				5,9	0,6	9,9	
V100ISO	1	16,16	702	10,9	15,7	1,3	8,3	0,16	0,02	10,8				12,3	0,5	4,0	

\bar{x} = Mittelwert, s = Standardabweichung, V = Variationskoeffizient in %

Tabelle 6: Eigenschaftswerte von Spanplatten vor und nach einer Ammoniakbegasung

Norm- typ	Nr.	Dicke		Rohdichte		Feuchte		Biege- festigkeit		Querzug- festigkeit		Dickenquellung			
		mm		kg/m ³		%		N/mm ²		N/mm ²		q2		q24	
		vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach	vor	nach
FPO	1180	16,23	16,47	719	707	8,9	10,0	15,1	11,7	0,67	0,60	4,1	4,9		
FPO	1228	19,03	19,39	675	679	10,0	10,4	18,4	15,4	0,44	0,41	6,0	6,2		
FPO/V20	1023	12,97	13,15	726	725	9,3	9,5	18,3	18,4	0,62	0,61	2,8	3,1	12,4	13,4
FPO/V20	1207	19,14	19,33	673	692	8,9	9,8	13,4	13,2	0,54	0,54	3,4	3,6	18,4	17,7
V20	1144	13,31	13,66	718	717	8,9	9,3	22,0	19,7	0,70	0,74			10,8	14,3
V20	1146	19,45	19,63	670	686	8,9	8,8	20,6	20,7	0,38	0,41			18,1	18,1
V100	1038	13,07	13,30	789	781	10,0	10,6	22,9	18,9	0,38	0,36			10,8	10,2
V100	1216	18,95	19,22	780	817	8,8	9,3	19,0	18,1	0,14	0,17			16,7	14,2
V100G	1300	19,34	19,53	719	708	9,1	9,4	21,1	19,9	0,39	0,41			6,0	5,9
V100ISO	1	16,20	16,16	706	702	10,4	10,9	15,7	15,7	0,16	0,16			11,0	12,3

vor = vor der Begasung mit Ammoniak

nach = nach der Begasung mit Ammoniak

Tabelle 7: Formaldehydkennwerte einer 60 mm dicken Röhrenspanplatte, beidseitig mit Hartfaserplatten beplankt und mit Rauhfaserpapete beklebt

Prüfzeitraum	1 m ³ -Kammer-Wert ppm	Gasanalysewert* mg HCHO/(h.m ²)	Perforatorwert **	
			mg HCHO/100 g atro Platte jodometrisch	photometrisch
vor Begasung	0,56	11,3	24,5	23,8
direkt nach Begasung	0,06	0,4	3,1	1,4
1 Monat nach Begasung	0,07	-	-	-
6 Monate nach Begasung	0,07	-	-	-
17 Monate nach Begasung	0,06	-	-	-
24 Monate nach Begasung	0,04	0,7	2,7	1,6

* Prüfung mit abgedichteten Schmalflächen

** Rohplatte, Beschichtung vor Prüfung abgeschliffen

Tabelle 8: Formaldehydkennwerte einer 19 mm dicken Spanplatte beidseitig mit
Raufasertapete beklebt

Prüfzeitraum	1 m ³ -Kammer-Wert ppm	Gasanalysewert* mg HCHO/(h.m ²)	Perforatorwert **	
			mg HCHO/100 g atro Platte jodometrisch	photometrisch
vor Begasung	0,16	8,7	11,3	11,1
direkt nach Begasung	0,03	0,4	2,7	1,1
1 Monat nach Begasung	0,03	-	-	-
6 Monate nach Begasung	0,03	-	-	-
17 Monate nach Begasung	0,03	-	-	-
24 Monate nach Begasung	0,04	1,1	2,6	1,7

* Prüfung mit abgedichteten Schmalflächen

** Rohplatte, Beschichtung vor Prüfung abgeschliffen

Tabelle 9: Auflistung der Materialien und deren mögliche optische Verfärbung durch die Ammoniakbegasung

Schlüssel: 0 = keine sichtbaren Verfärbungen

1 = leichte Verfärbung, etwas dunkler

2 = deutliche Verfärbung

Material	Verfärbung
<u>1. Anstrichsysteme:</u>	
Nitrocelluloselack	0
Nitrolack	0
Acryllack	0
DD-Lack	0
Dispersionslack	0
Polyurethanlack	0
säurehärtender Lack	0
Dispersionsfarbe	0
<u>2. Furnierarten:</u>	
Eiche	2
Mahagoni	1
Macorè	1
Fichte	1
Kiefer	1
Nußbaum	1
Esche	1
Buche	1
<u>3. Dämmmaterialien:</u>	
PUR-Hartschaumkunststoff	0
Mineralwolle	0
Glaswolle	0
Styrodur	0
<u>4. Metalle:</u>	
Aluminium eloxiert	0
Kupfer	0
Messing	0
V2A-Stahl	0
Stahl	0
Aluminium	0
Aluminium lackiert	0
Stahl verzinkt	0
Blei	0
Silber	0

Fortsetzung

Tabelle 9: Auflistung der Materialien und deren mögliche optische Verfärbung durch die Ammoniakbegasung

Schlüssel: 0 = keine sichtbaren Verfärbungen

1 = leichte Verfärbung, etwas dunkler

2 = deutliche Verfärbung

Material	Verfärbung
<u>5. Folien:</u>	
Melaminfolie	0
Dünnfolie	0
Papierfolie	0
<u>6. Fußbodenbeläge:</u>	
Linoleumboden	0
PVC-Boden	0
Velourteppich	0
PVC-Boden	0
<u>7. Sonstige:</u>	
Leder	0
Recycling-Papier	1

Tabelle 10: Auflistung der im Labor begasteten Materialien und deren Änderung in der Abgabe organischer Stoffe (NWG = Nachweisgrenze)

Schlüssel: > bzw. < Zunahme bzw. Abnahme bis zu 50 %

>> bzw. << Zunahme bzw. Abnahme über 50 %

Material	Bezeichnung des org. Stoffes
<u>1. Anstrichsysteme:</u>	allgemein < BHT
Nitrolack	<< BHT < Alkane C ₁₀ -C ₁₃ (Testbenzin)
Dispersionsfarbe	< Alkane C ₁₀ -C ₁₃ (Testbenzin)
Polyurethanlack	< Ethylhexylacrylat >> m-, o-, p-Xylol (vorher unter NWG)
Dispersionslack	< Adipinsäure-di,-tert.butyl-ester << Alkane C ₁₀ -C ₁₃ (Testbenzin, nachher unter NWG) > nicht identifizierbare, N-haltige Substanz
SH-Lack	< Aldehyde > nicht identifizierbare, N-haltige Substanz (vorher unter NWG) > Aromaten > Heptanon (vorher unter NWG) > Heptannitril (vorher unter NWG) > Methylheptanon
Acryllack	keine Änderung
DD-Lack	keine Änderung
<u>2. Dämmmaterialien:</u>	
PUR-Hartschaumkunststoff	< Trichlorfluormethan (R 11) < arom. Carbonsäuren < BHT
Mineralwolle, Glaswolle	keine
Styrodur	< Styrol < Dichlordifluormethan (R12) << BHT

Fortsetzung

Tabelle 10: Auflistung der im Labor begasteten Materialien und deren Änderung in der Abgabe organischer Stoffe (NWG = Nachweisgrenze)

Schlüssel: > bzw. < Zunahme bzw. Abnahme bis zu 50 %

>> bzw. << Zunahme bzw. Abnahme über 50 %

Material	Bezeichnung des org. Stoffes
<u>3. Furnierarten:</u>	
Kiefer	<< α -Pinen, Δ -3-Caren, Limonen
Fichte	> Essigsäure < α -Pinen
Macoré	<< Hexanal (nachher unter NWG)
Nußbaum	keine Änderung
Buche	>> Essigsäure (vorher unter NWG)
Esche	>> Essigsäure (vorher unter NWG)
Mahagoni	keine Änderung
Eiche	>> Essigsäure
<u>4. Folien:</u>	
Melaminfolie, Dünnsfolie	keine
Papierfolie	<< Methanol
<u>5. Fußbodenbeläge:</u>	
Linoleumboden	< C ₃ -C ₉ -Aldehyde
PVC-Boden	< C ₄ -C ₆ -Benzole << C ₇ -C ₈ -Benzole
Velourteppich	< C ₄ -C ₆ -Benzole << C ₇ -C ₈ -Benzole

Fortsetzung

Tabelle 10: Auflistung der im Labor begasteten Materialien und deren Änderung in der Abgabe organischer Stoffe (NWG = Nachweisgrenze)

Schlüssel: > bzw. < Zunahme bzw. Abnahme bis zu 50 %

>> bzw. << Zunahme bzw. Abnahme über 50 %

Material	Bezeichnung des org. Stoffes
<u>6. Spanplatten:</u>	
FPO/V20	<< α -, β -Pinen << Δ -3-Caren (nachher unter NWG) >> Methanol < Hexanal
FPO/FPY/V20	>> Methanol, >> Aceton oder Propionaldehyd >> α -Pinen, β -Pinen >> Δ -3-Caren (vorher unter NWG) < Hexanal
V100G	>> Methanol < Hexanal < α -Pinen
FPO	>> Methanol >> Acetaldehyd
V100	>> Methanol << α -, β -Pinen, << Δ -3-Caren (nachher unter NWG)
FPY	<< Hexanal << α -Pinen
FPO-iso	> Methanol < Acetaldehyd < Hexanal > α -Pinen

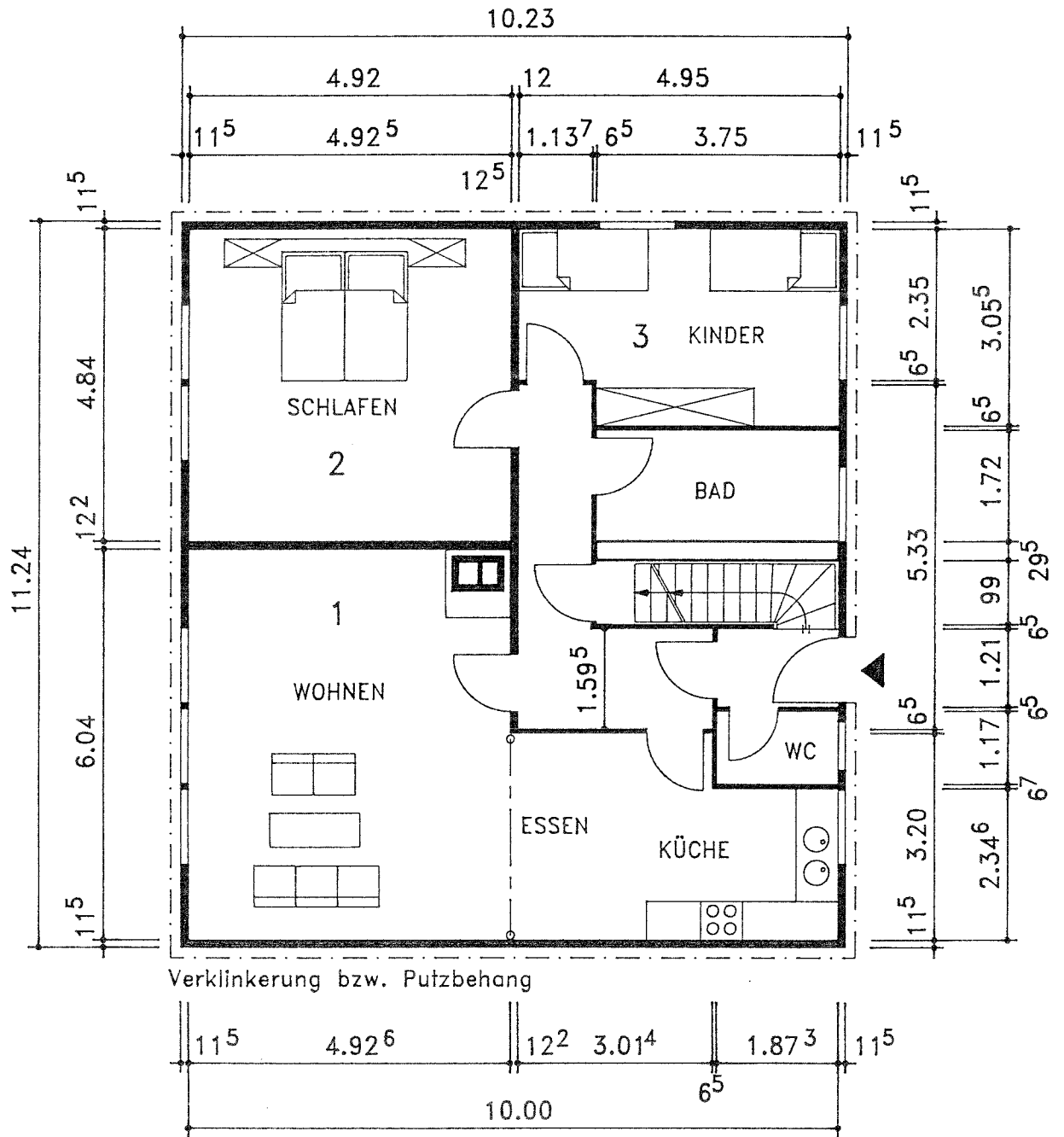


Bild 1 : Erdgeschoßgrundriß des Fertighauses

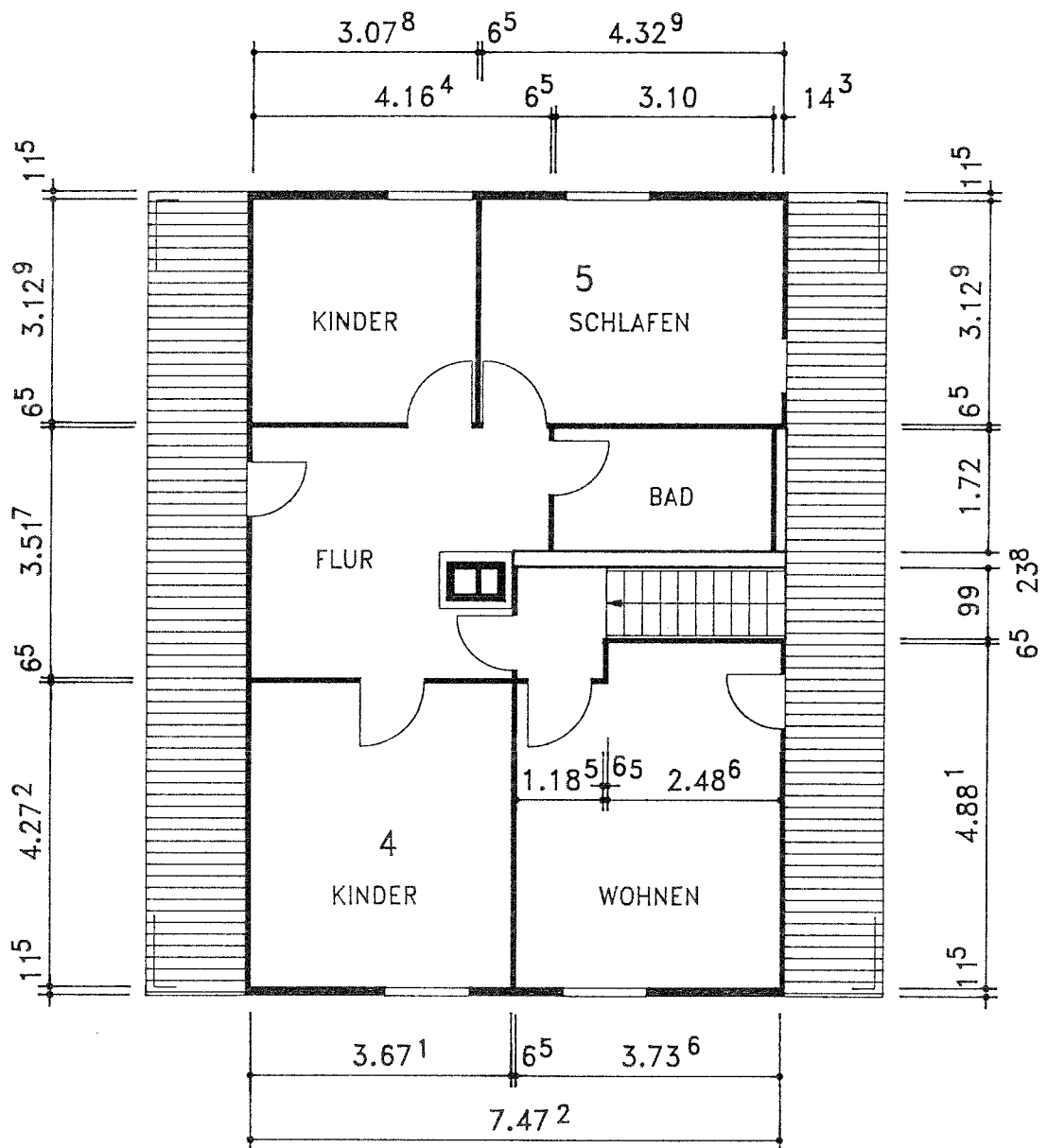


Bild 2 : Dachgeschoßgrundriß des Fertighauses

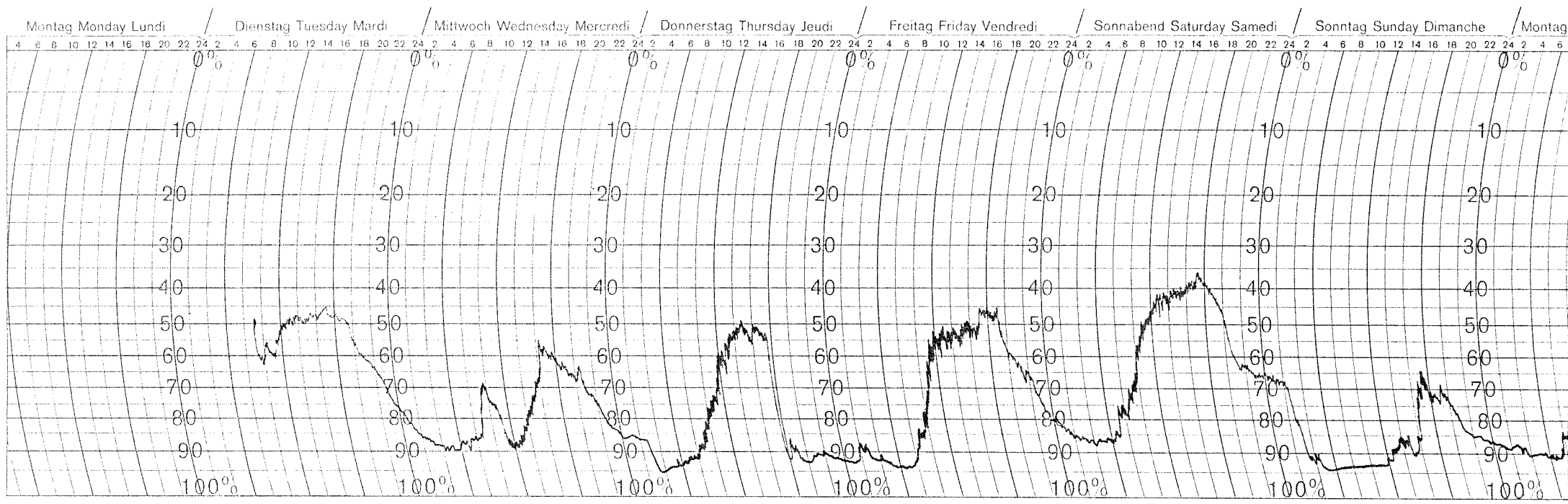
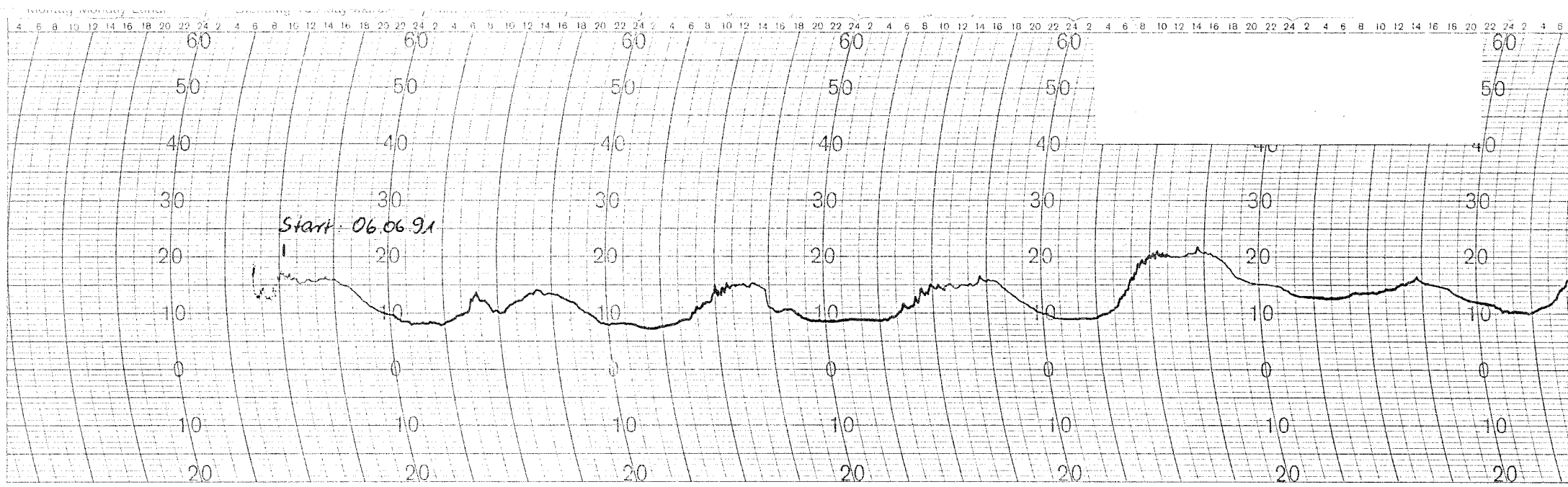
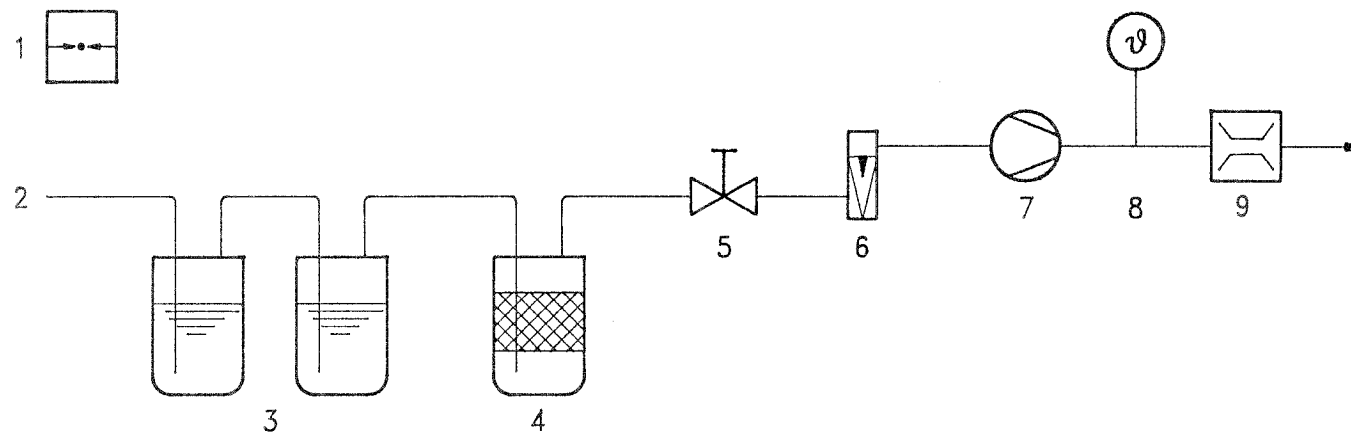


Bild 3: Aufzeichnungen eines Thermohygrographens (Außenluft)

Bestellzeichen: 620 -20-0 +60



- | | | | |
|---|------------------------------|---|-------------------------------|
| 1 | Barometer | 6 | Volumendurchflußmeßgerät |
| 2 | Gasprobenahmestelle | 7 | Pumpe |
| 3 | Gaswaschflasche (zweistufig) | 8 | Temperaturmeßstelle |
| 4 | Trockenturm | 9 | Gasbalgzähler (Gesamtvolumen) |
| 5 | Regulierventil | | |

Bild 4 : Schematischer Aufbau der Gasprobenahmeapparatur

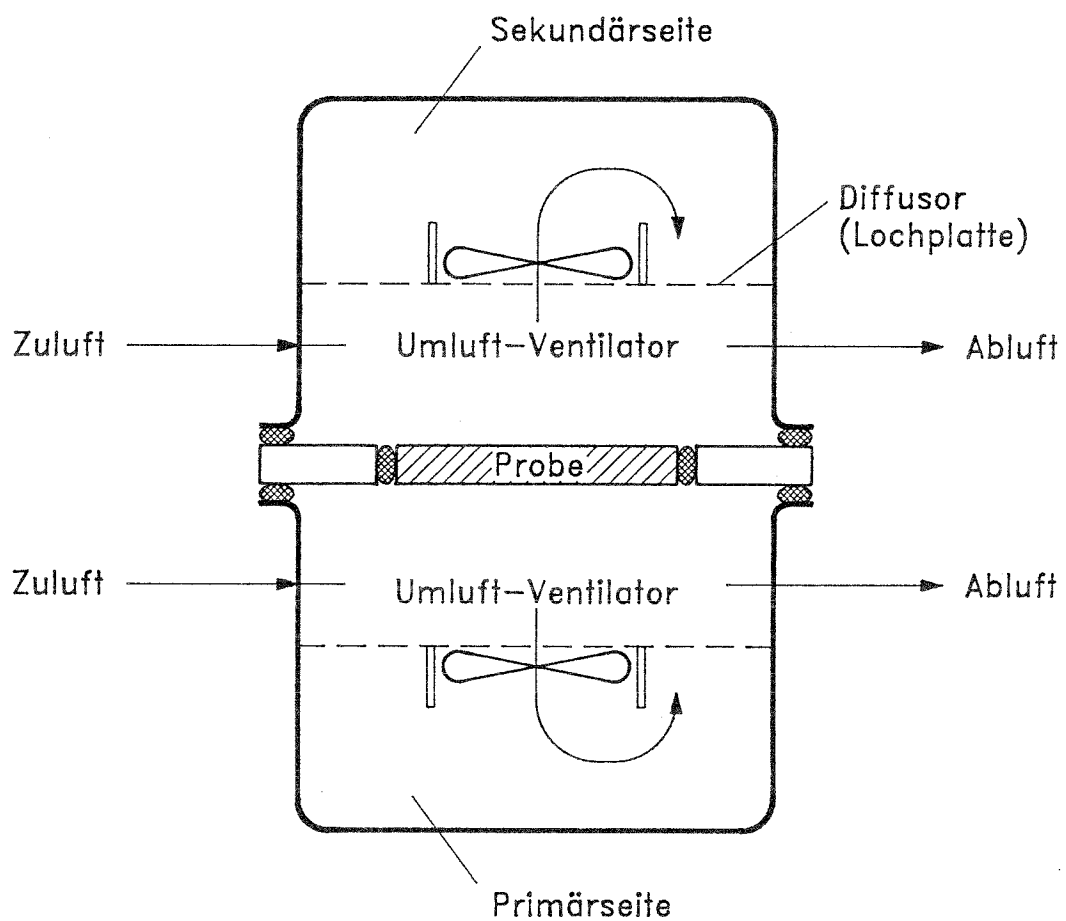


Bild 5 : Schematischer Aufbau des Begasungsreaktors zur Ermittlung der Eindringtiefe

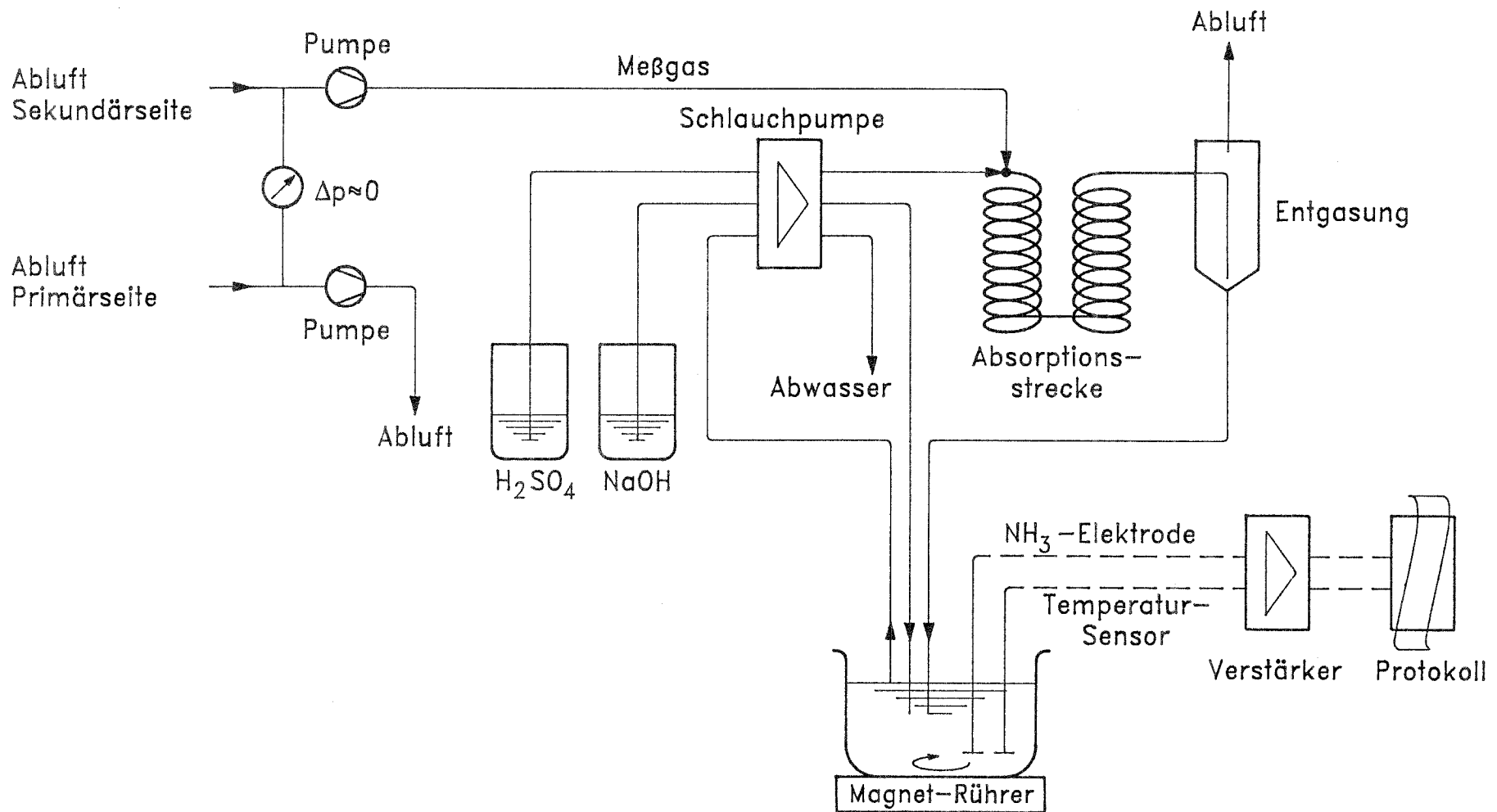


Bild 6 : Schematischer Aufbau der Analyseeinheit zur Bestimmung der Ammoniakkonzentration im Begasungsreaktor

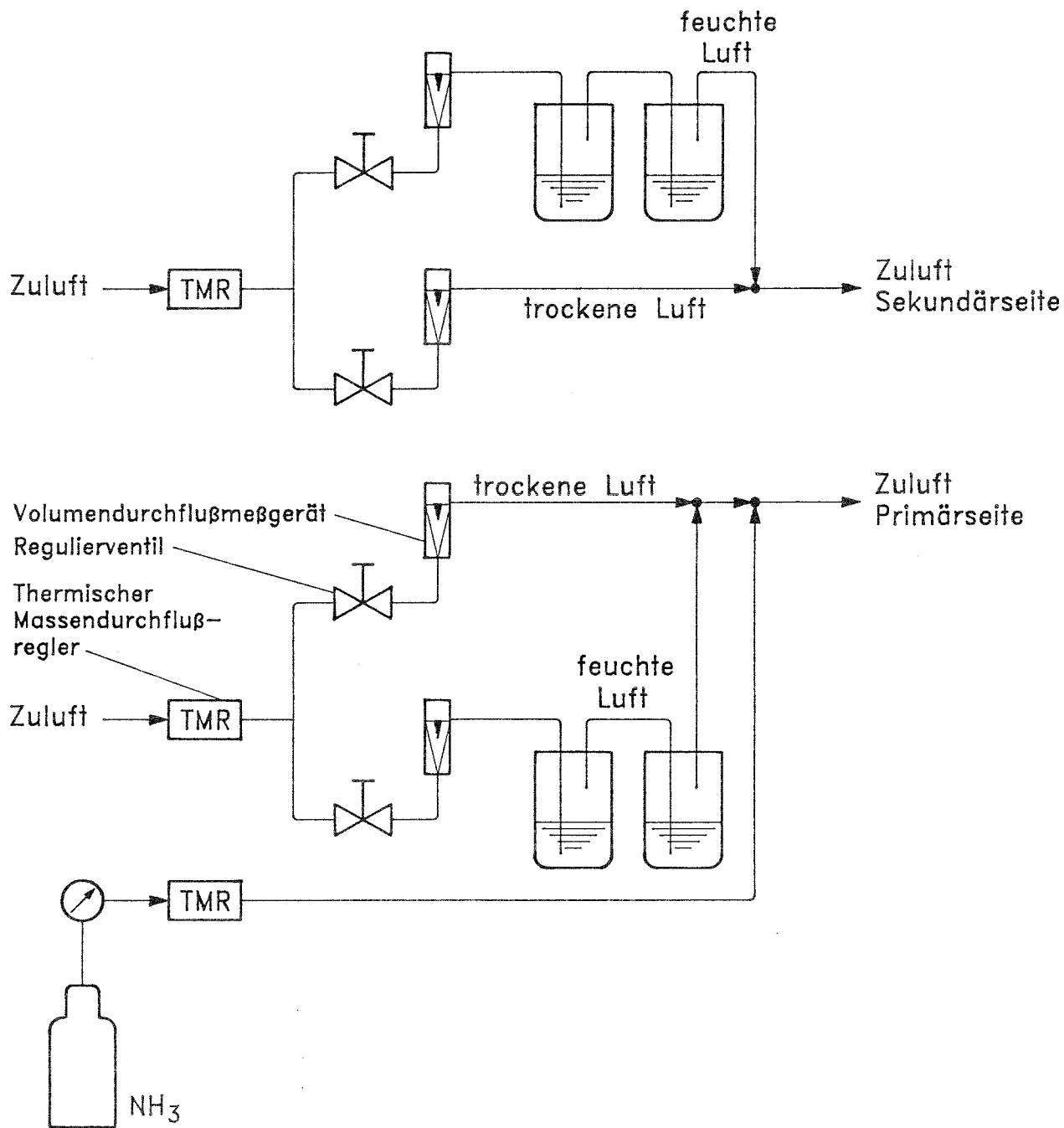
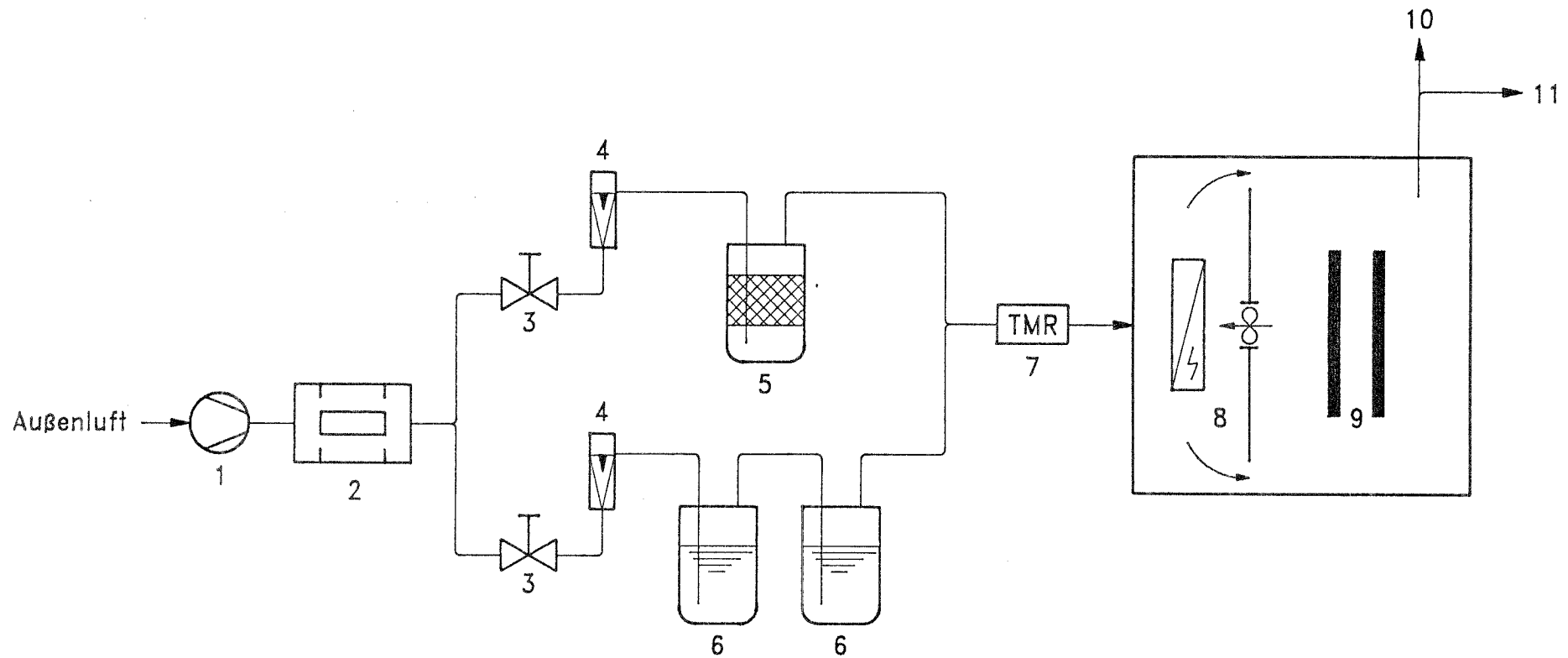


Bild 7 : Aufbereitung der Zuluft für den Begasungsreaktor



- | | | | |
|---|-------------------------------|----|--|
| 1 | Pumpe | 7 | Thermischer Massendurchflußregler |
| 2 | Aktivkohlefilter | 8 | Geregelte Heizung mit Umluftventilator |
| 3 | Regulierventil | 9 | Probenmaterial |
| 4 | Volumendurchflußmeßgerät | 10 | Abluff |
| 5 | Trockenturm | 11 | Gasprobenahme |
| 6 | Waschflaschen zur Befeuchtung | | |

Bild 8 : Schematischer Aufbau der 1 m³-Kammer

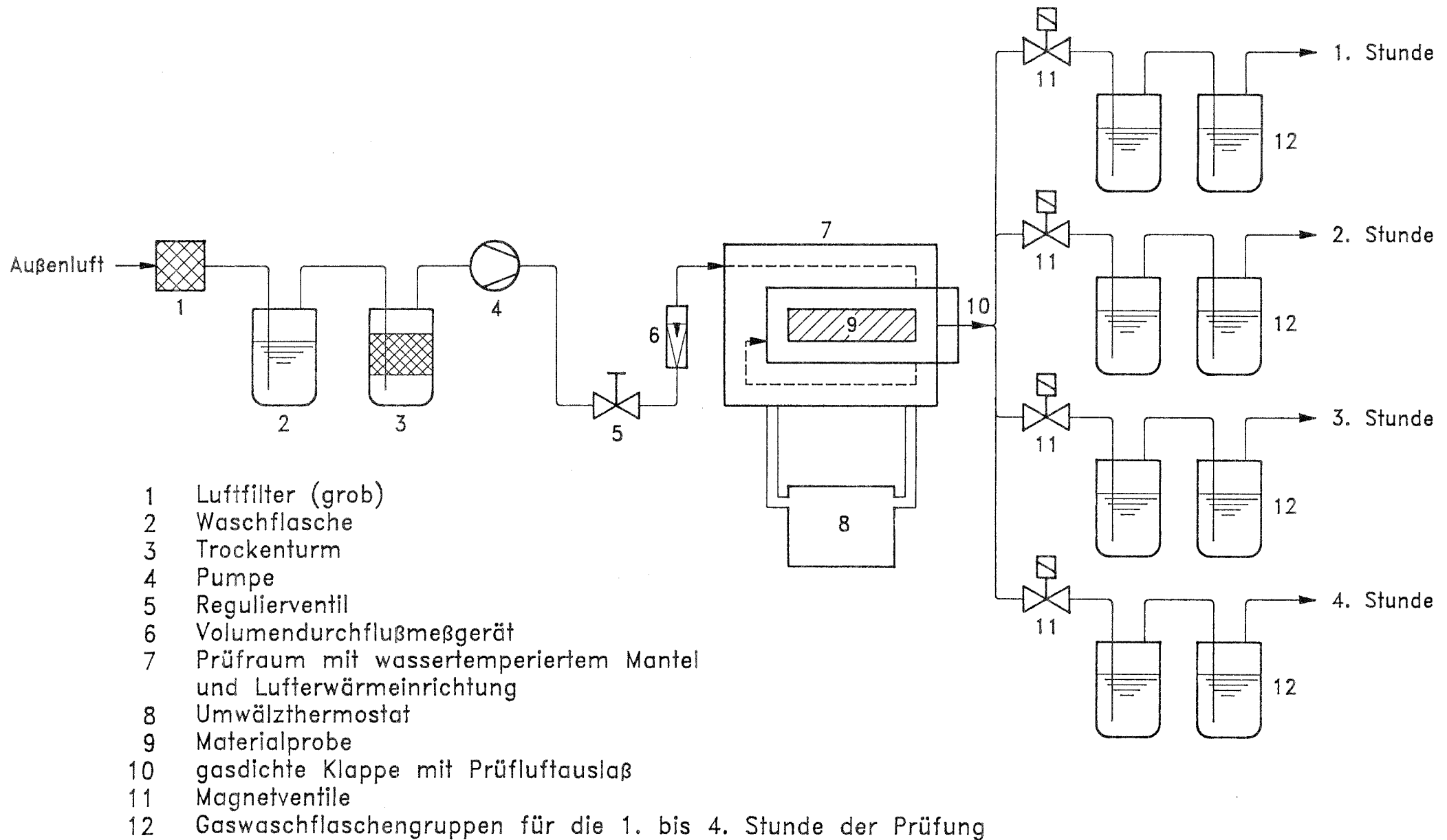


Bild 9 : Schematischer Aufbau der Gasanalyseapparatur

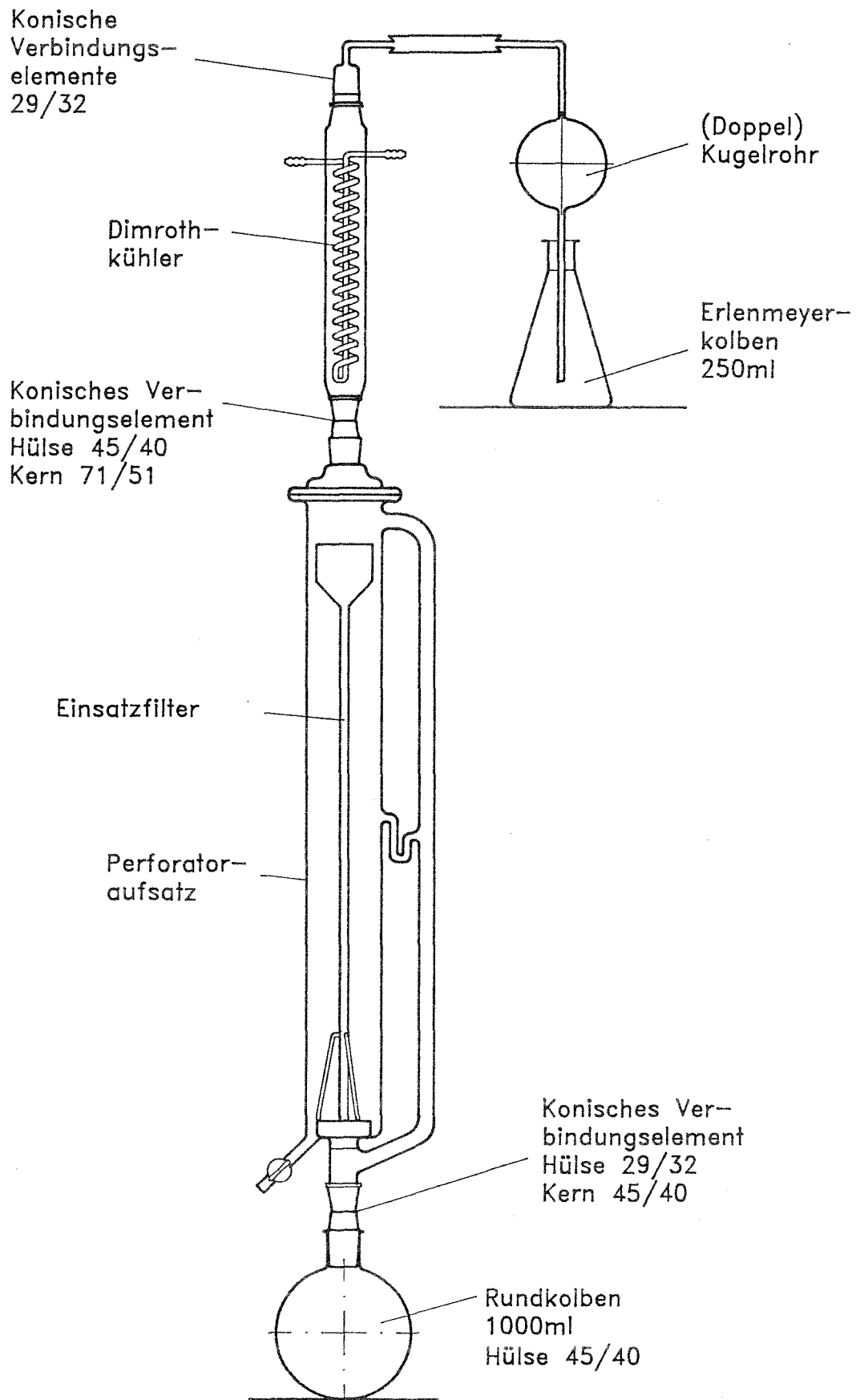


Bild 10 : Schematischer Aufbau der Perforatorapparatur

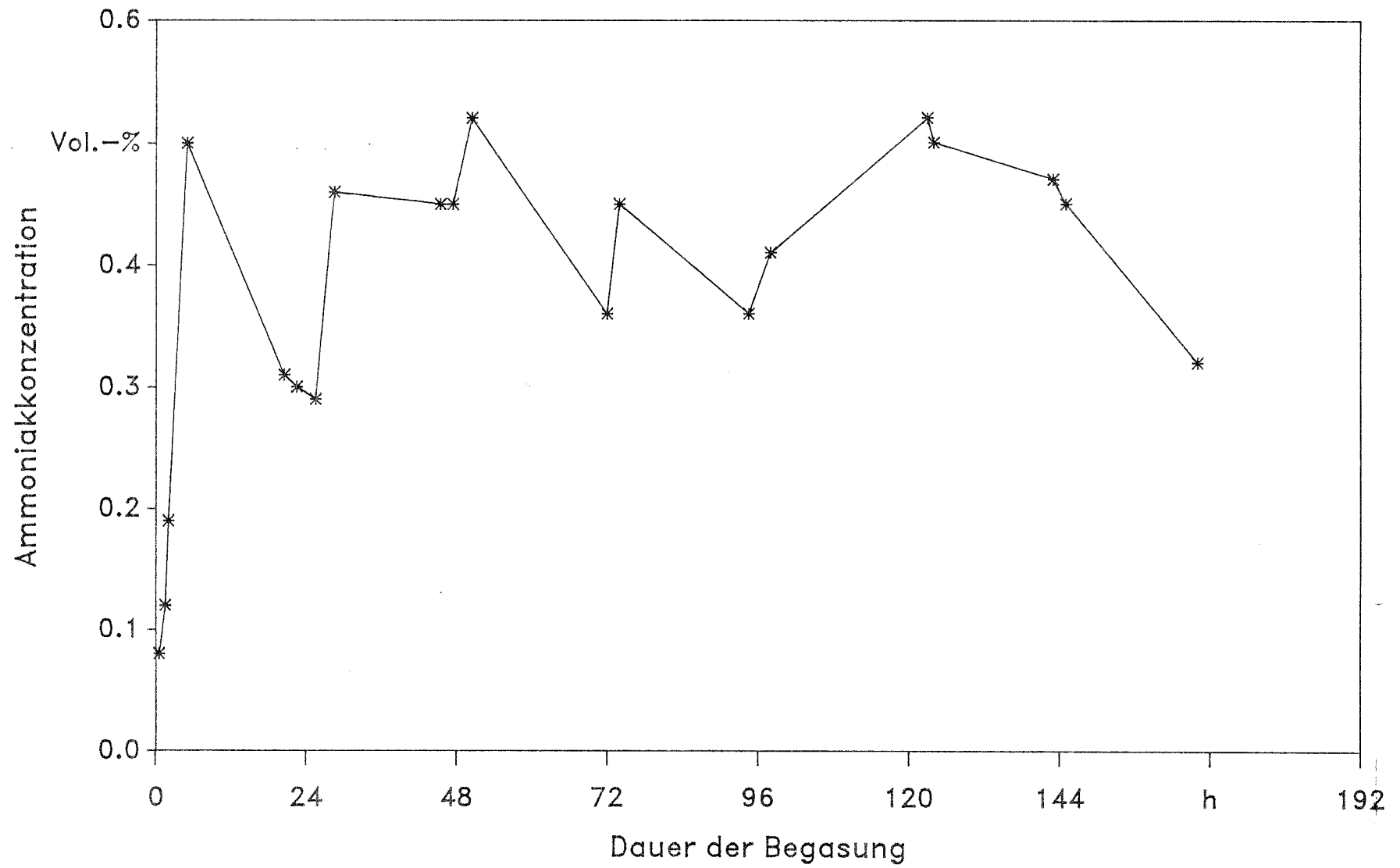


Bild 11: Ammoniakkonzentrationen während der Begasung, Raum 1

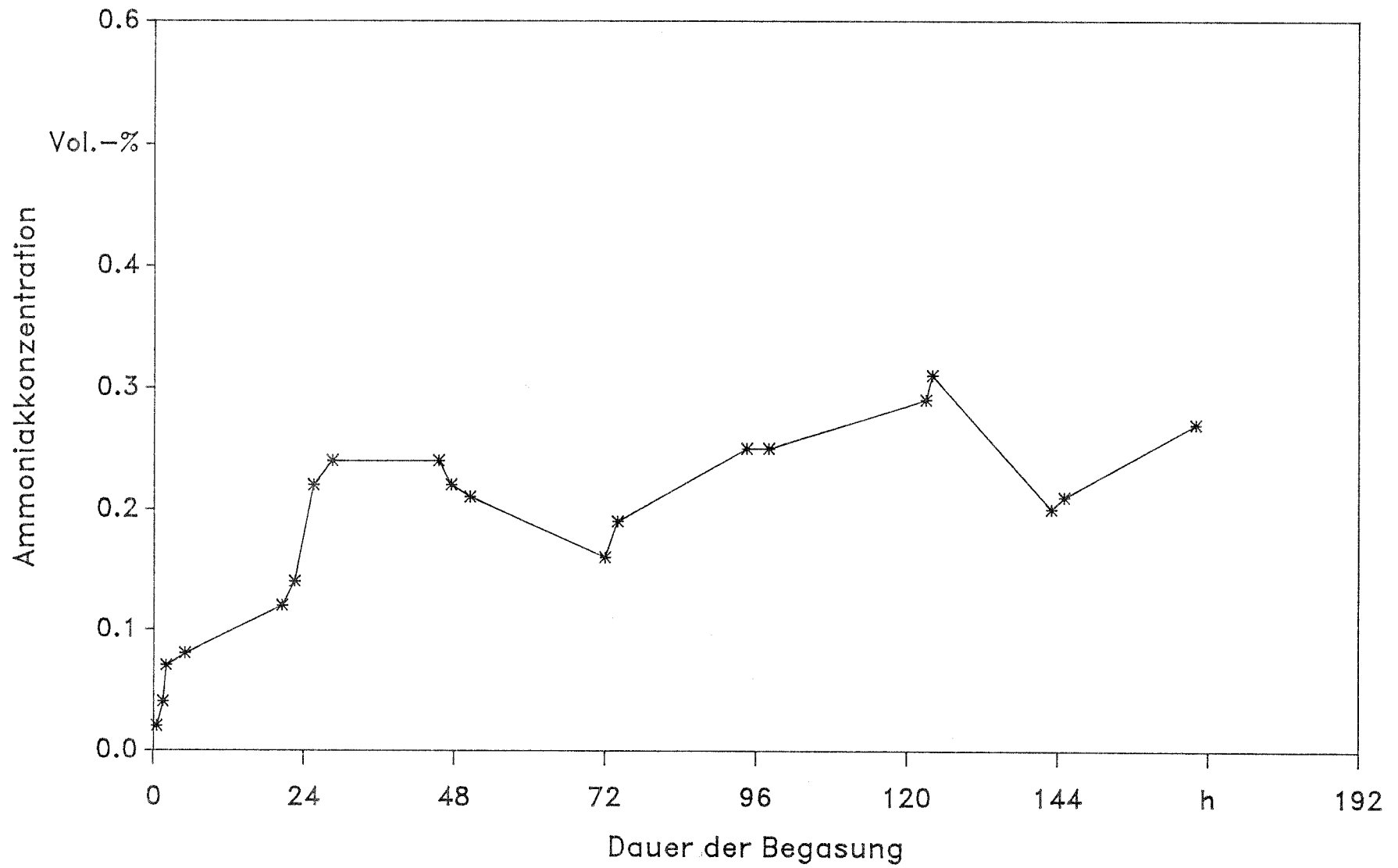


Bild 12 : Ammoniakkonzentrationen während der Begasung, Raum 2

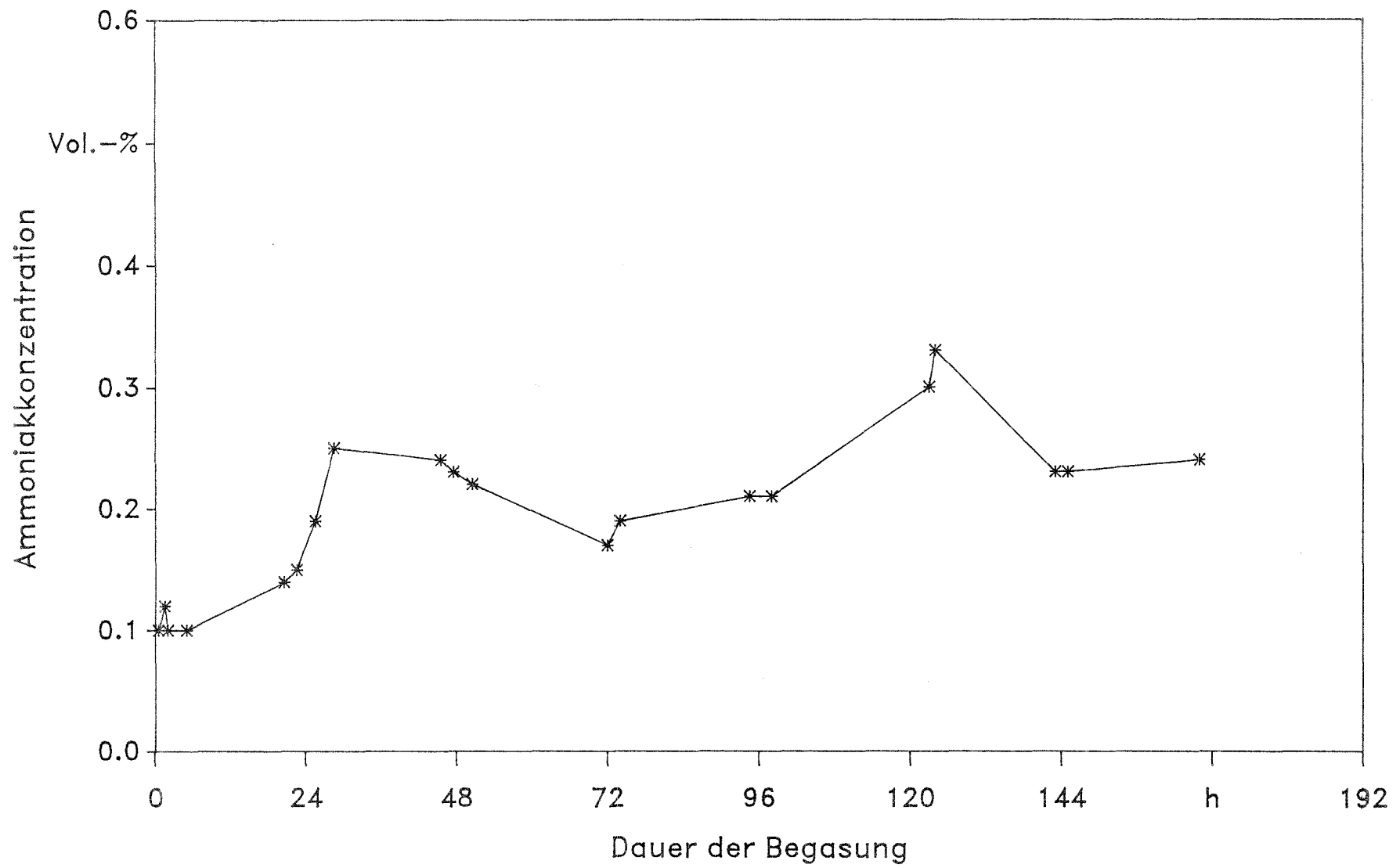


Bild 13: Ammoniakkonzentrationen während der Begasung, Raum 3

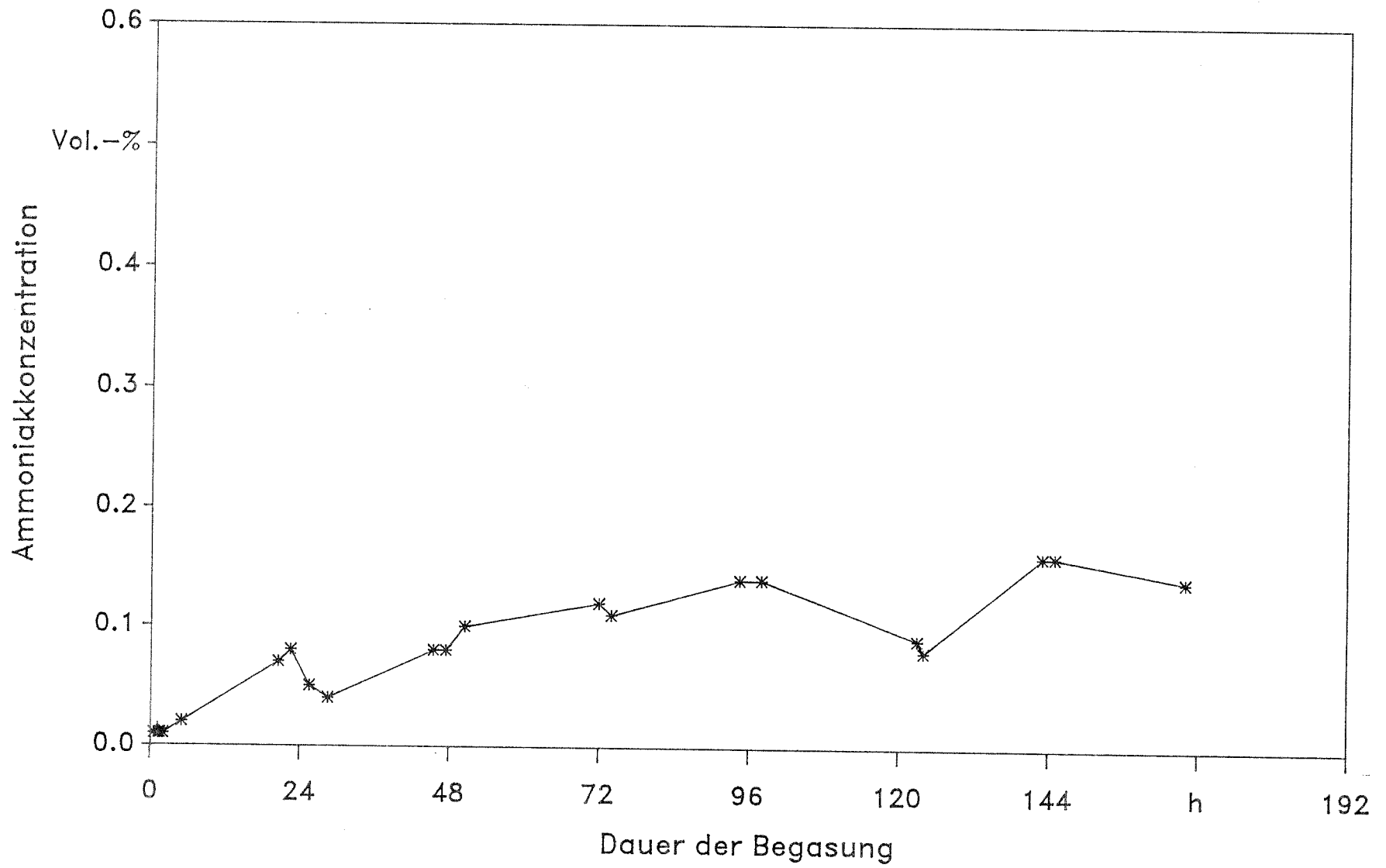


Bild 14 : Ammoniakkonzentrationen während der Begasung, Raum 4

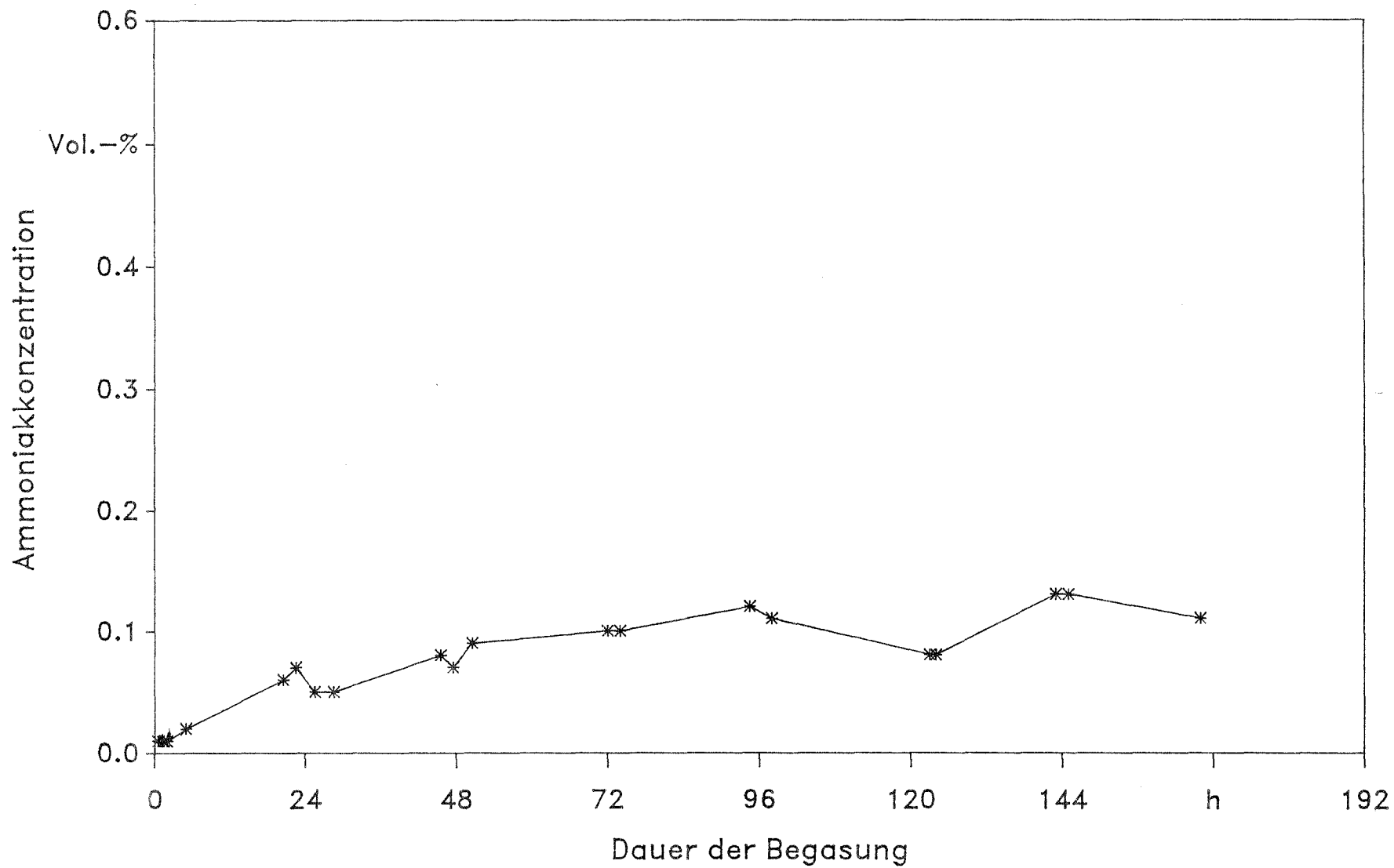


Bild 15 : Ammoniakkonzentrationen während der Begasung, Raum 5

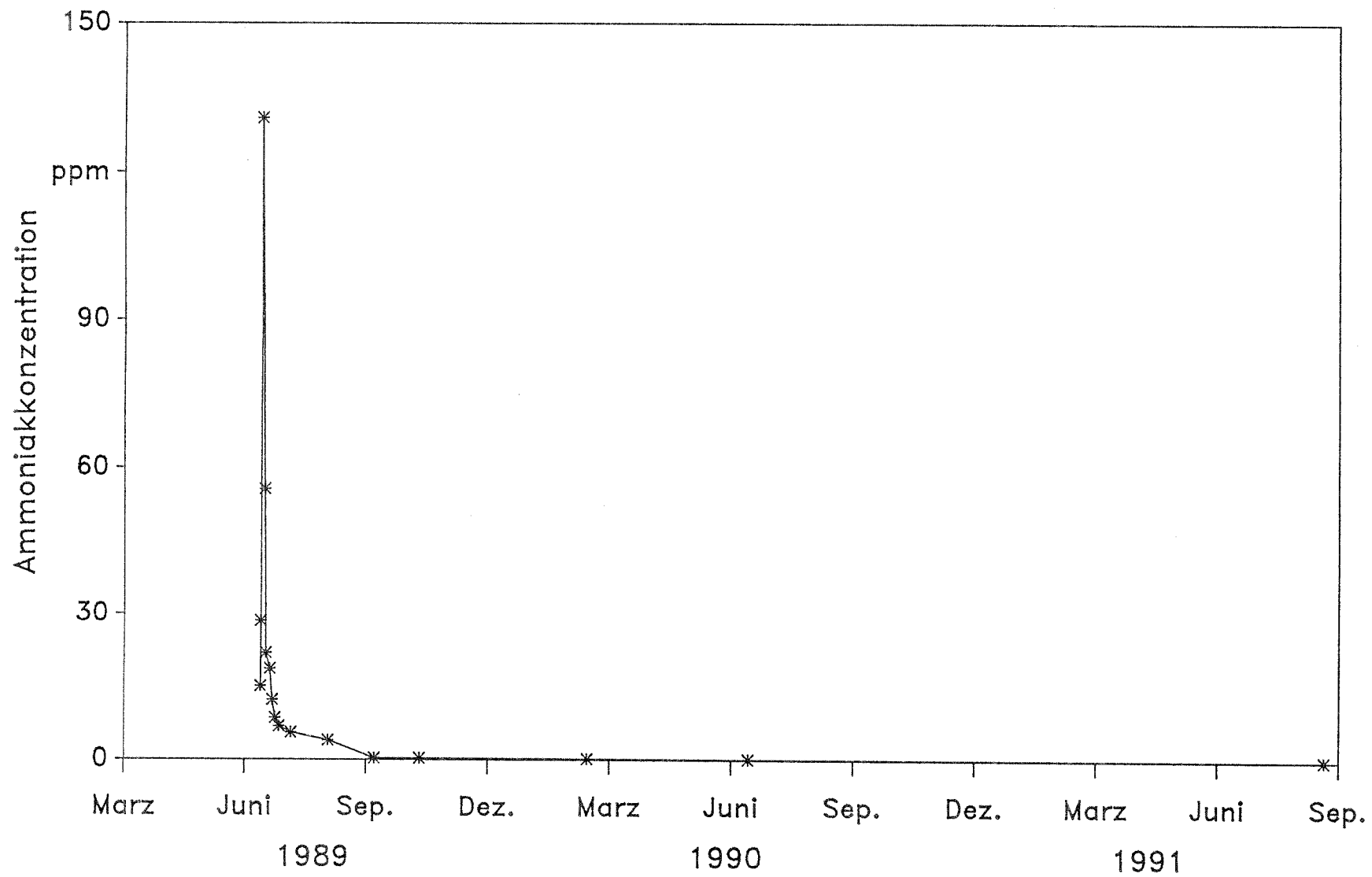


Bild 16: Ammoniakkonzentrationen nach der Begasung, Raum 1

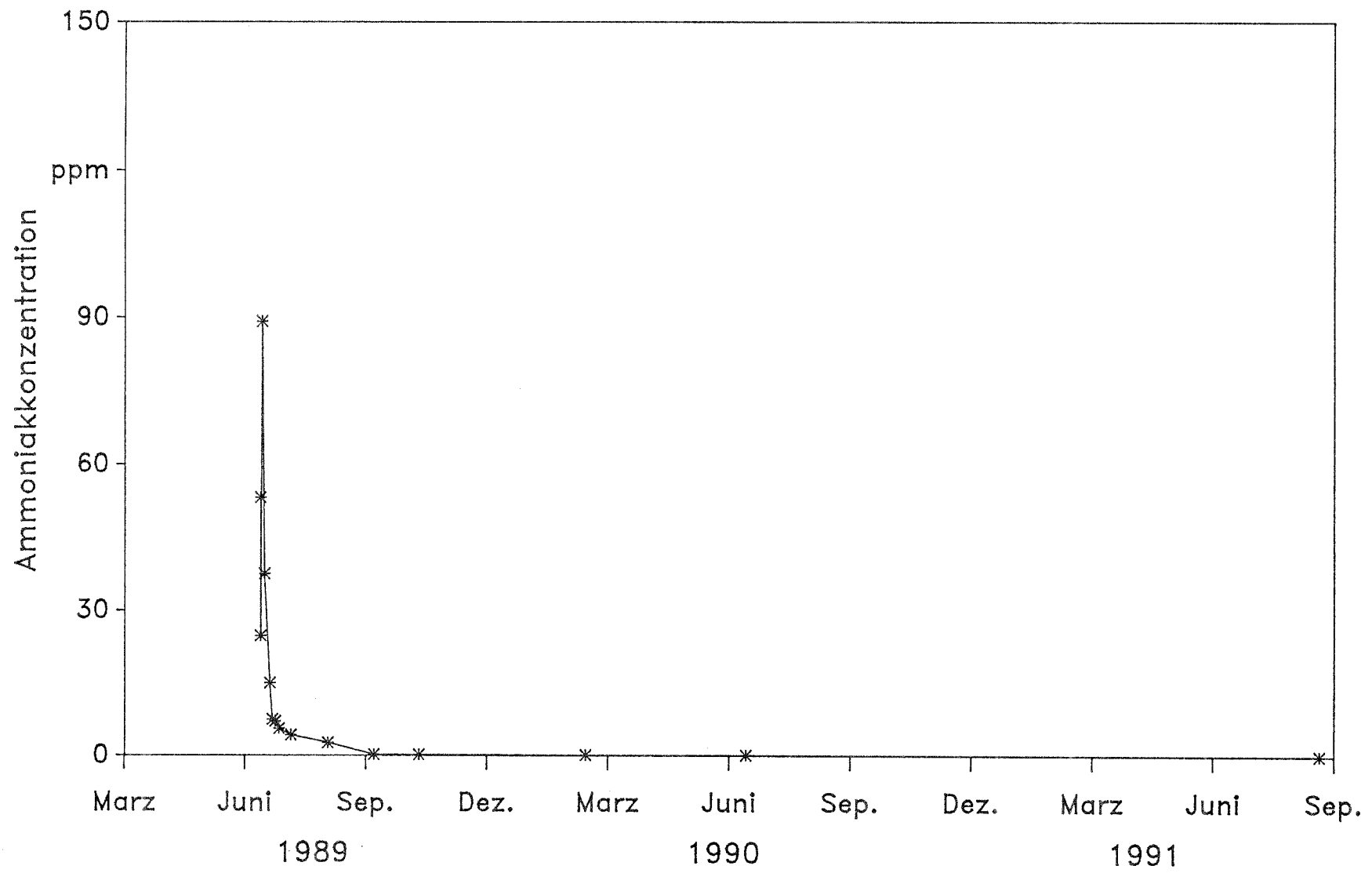


Bild 17 : Ammoniakkonzentrationen nach der Begasung, Raum 2

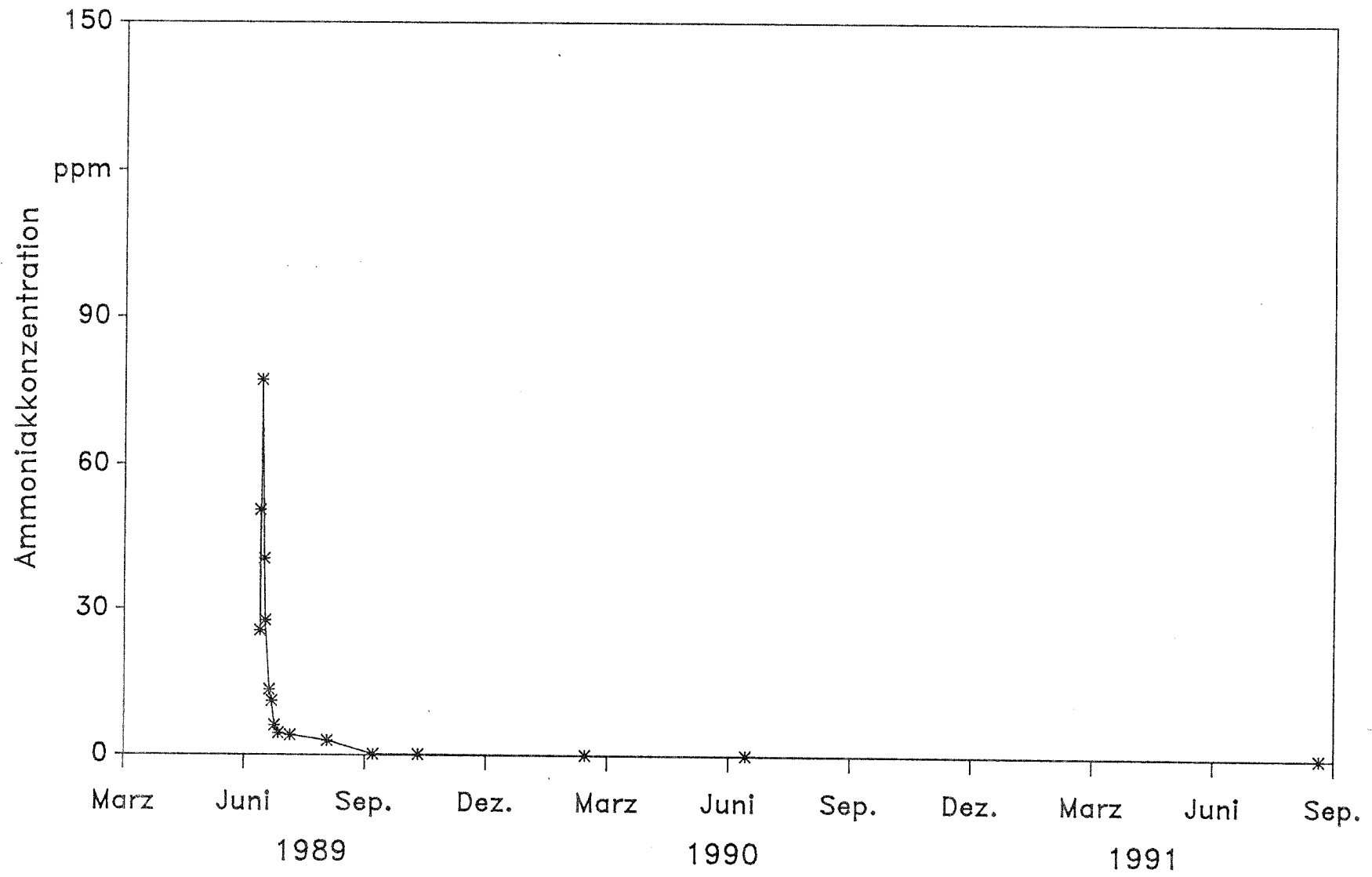


Bild 18: Ammoniakkonzentrationen nach der Begasung, Raum 3

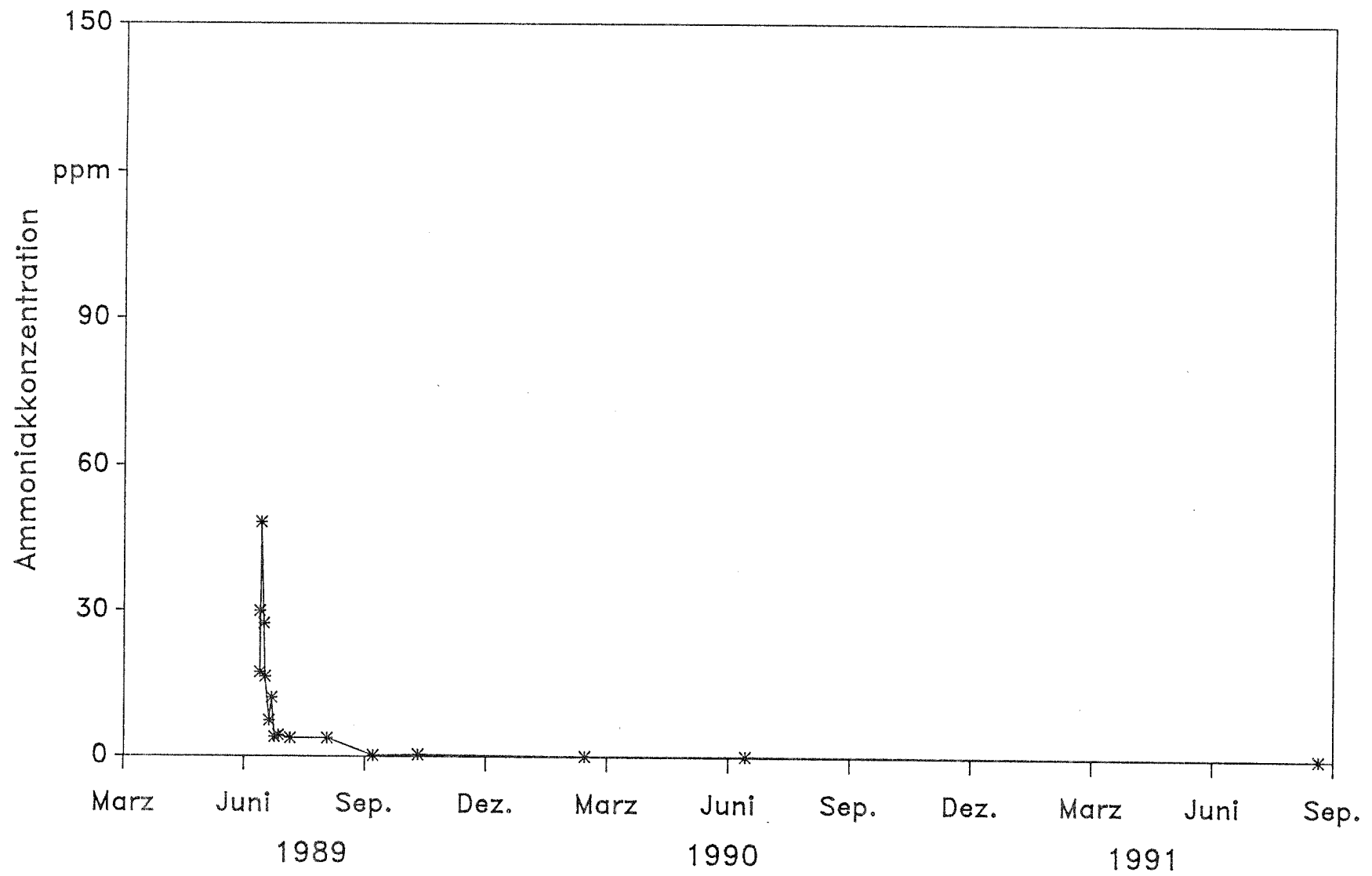


Bild 19 : Ammoniakkonzentrationen nach der Begasung, Raum 4

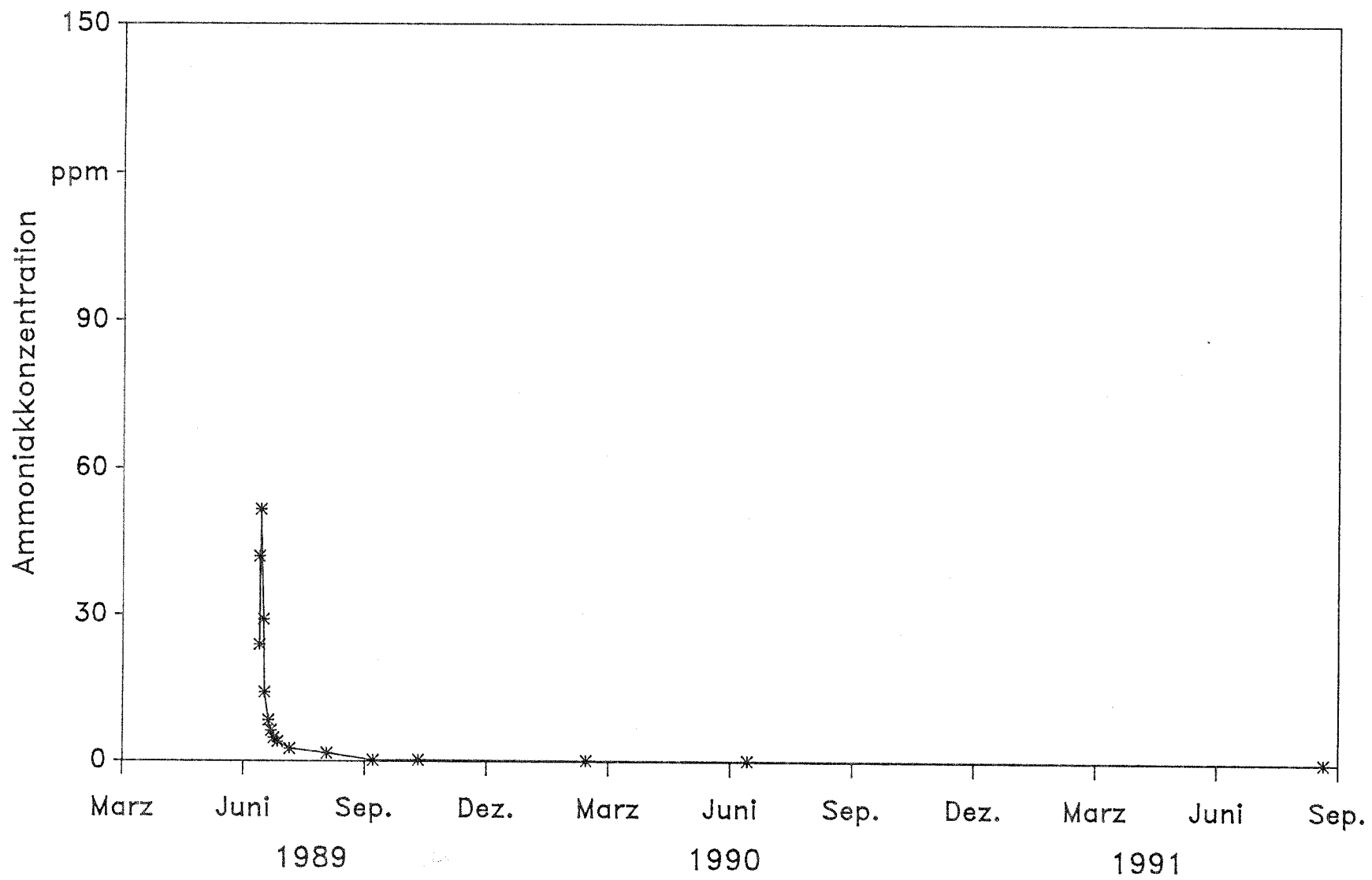


Bild 20 : Ammoniakkonzentrationen nach der Begasung, Raum 5

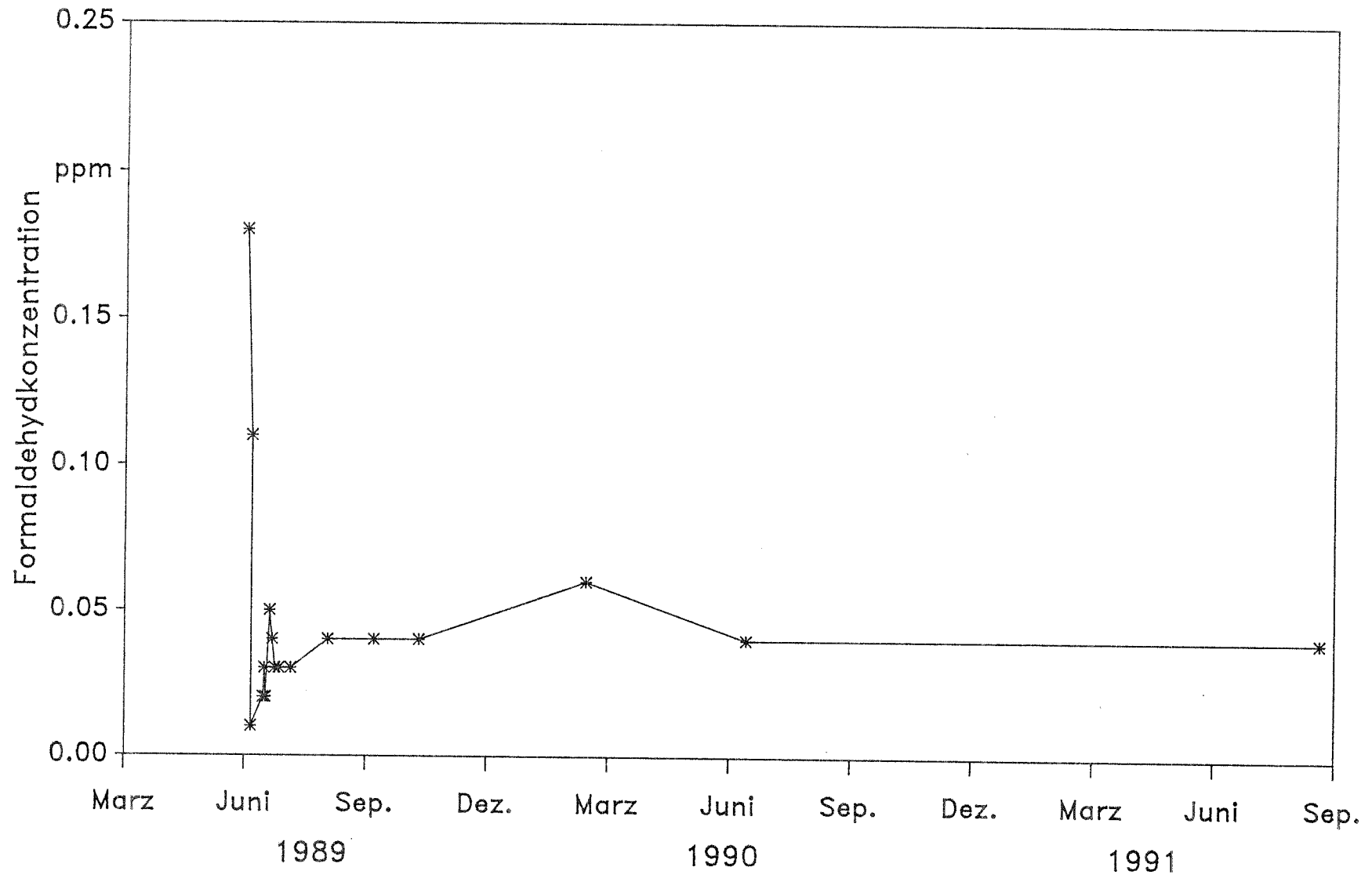


Bild 21: Formaldehydkonzentrationen vor und nach der Begasung, Raum 1

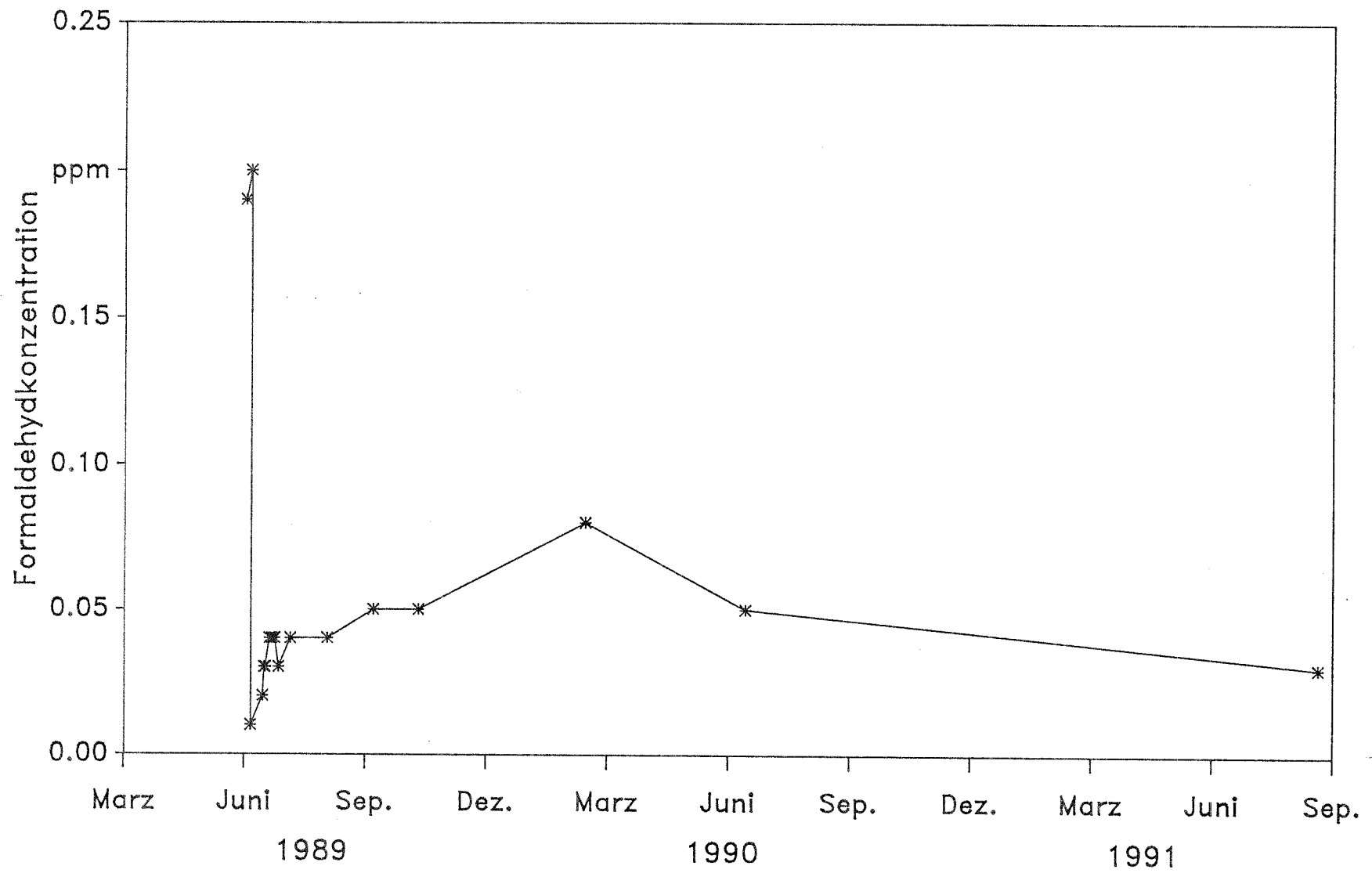


Bild 22: Formaldehydkonzentrationen vor und nach der Begasung, Raum 2

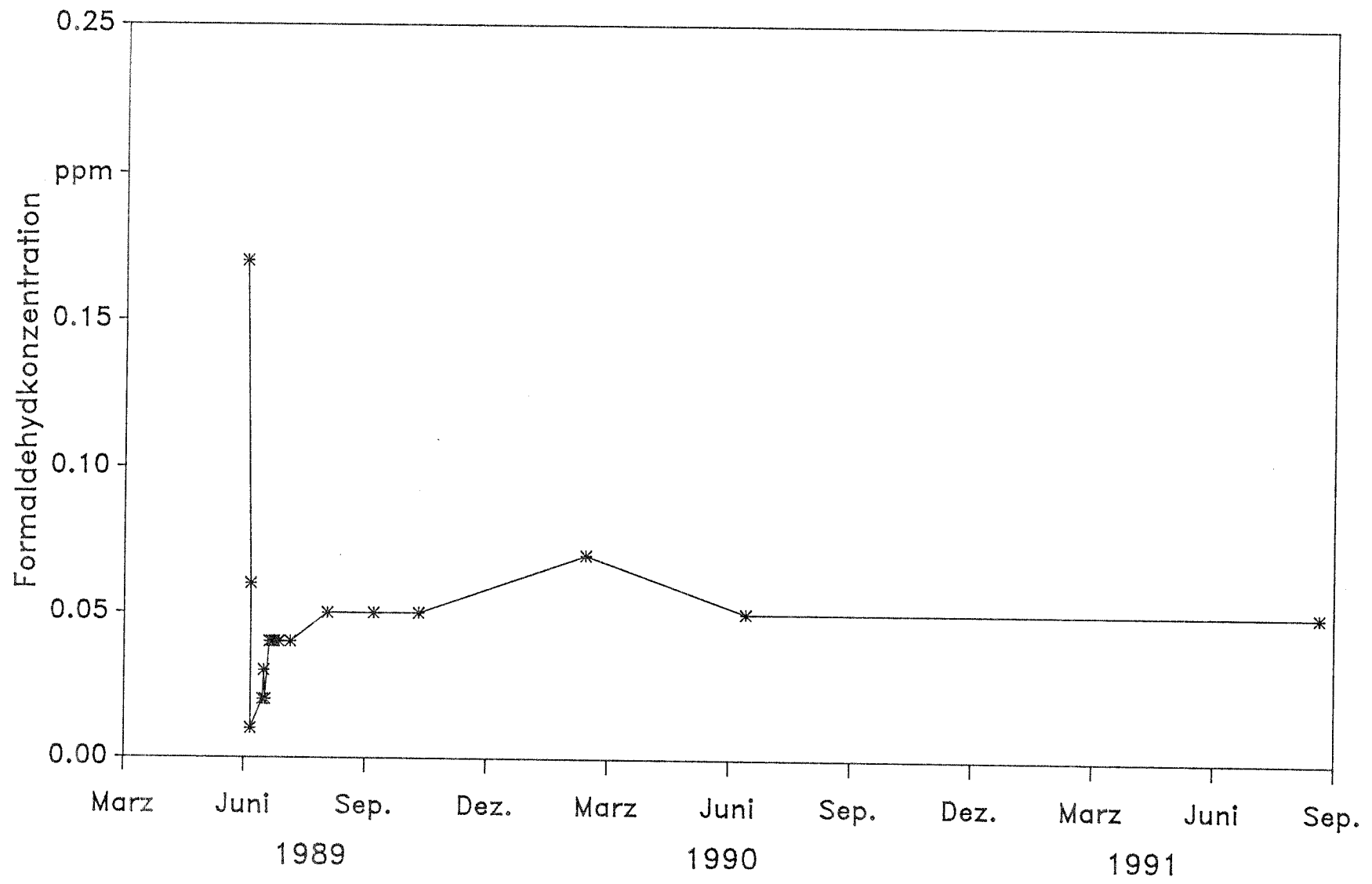


Bild 23: Formaldehydkonzentrationen vor und nach der Begasung, Raum 3

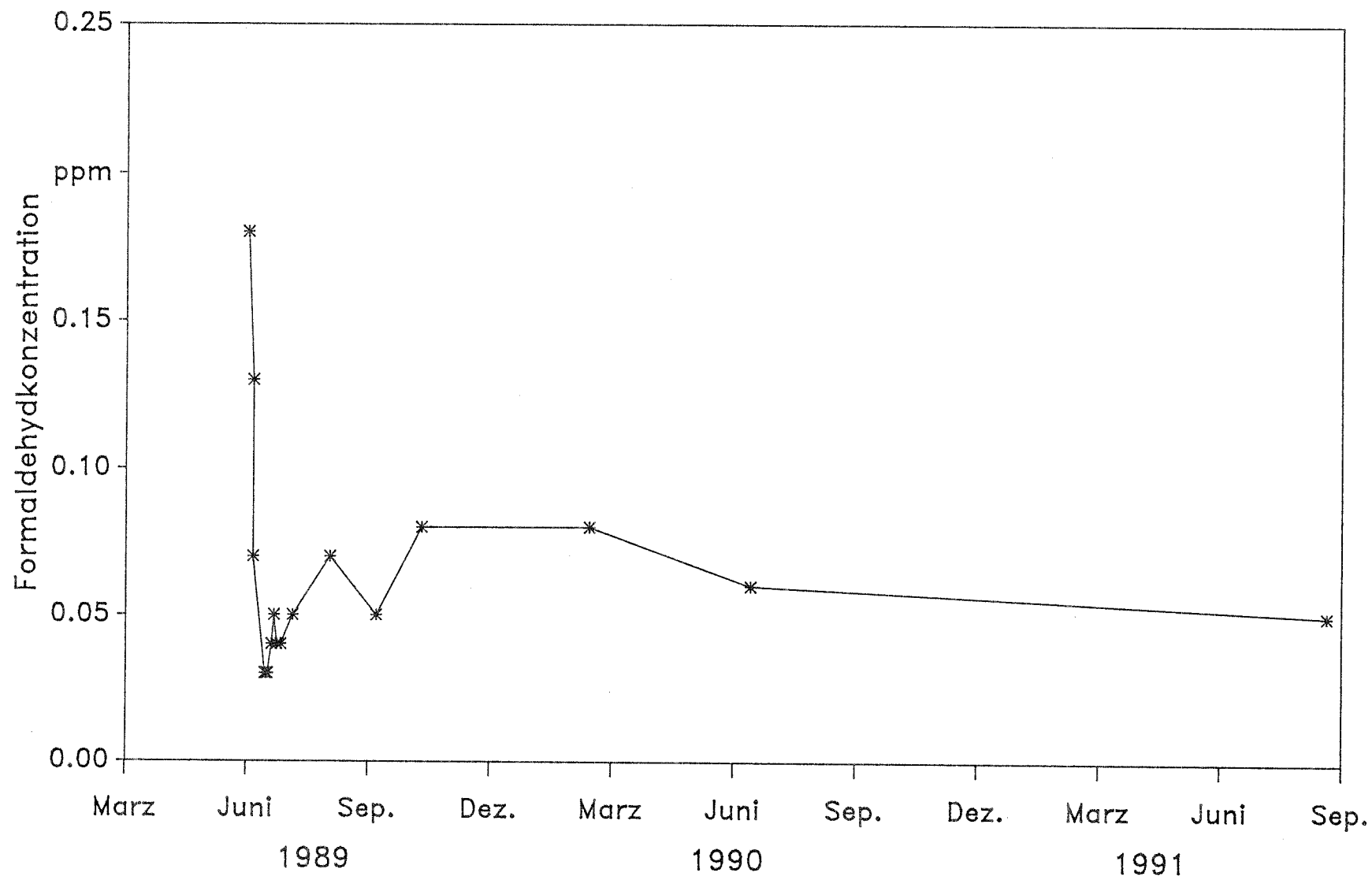


Bild 24: Formaldehydkonzentrationen vor und nach der Begasung, Raum 4

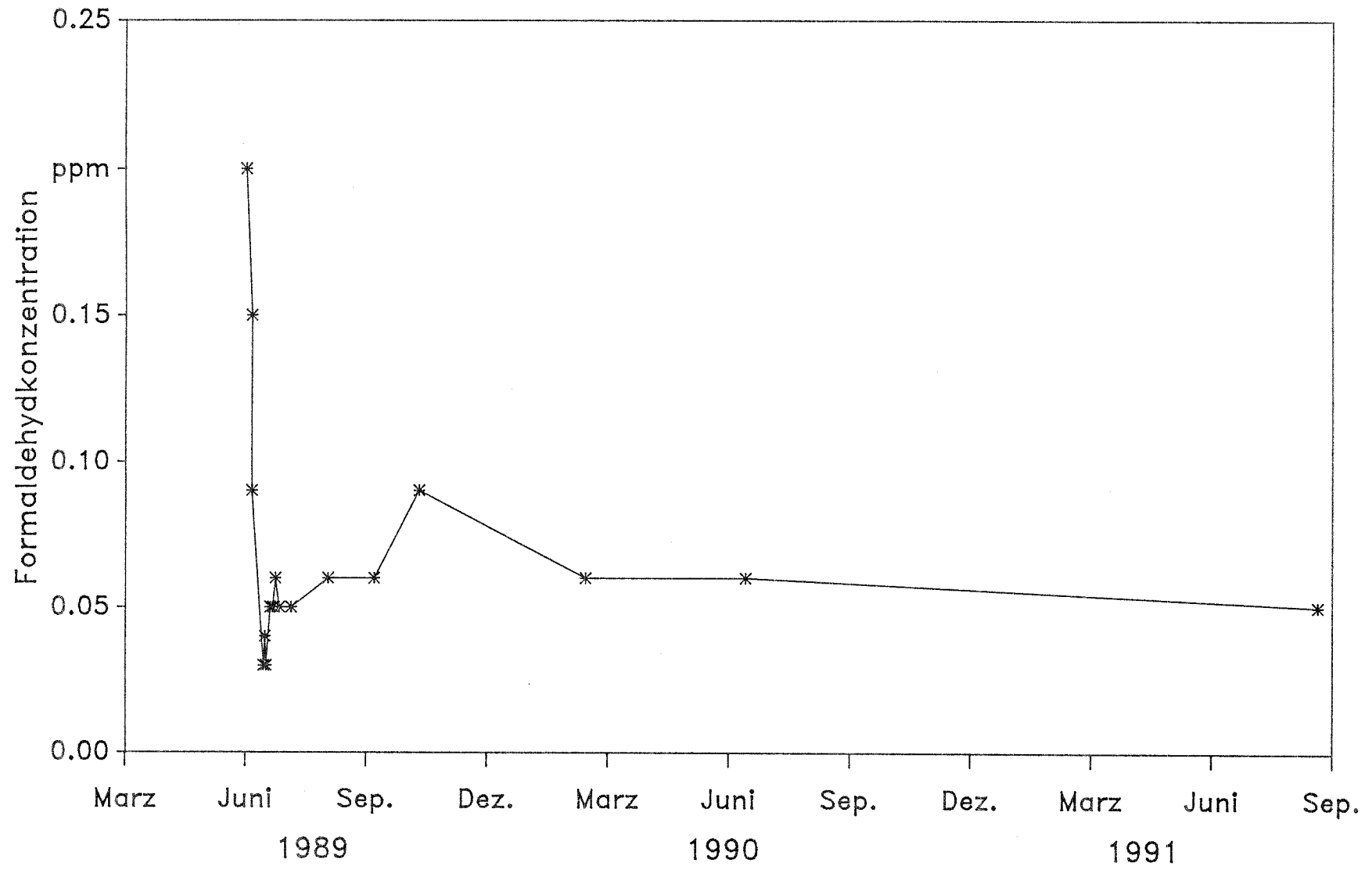
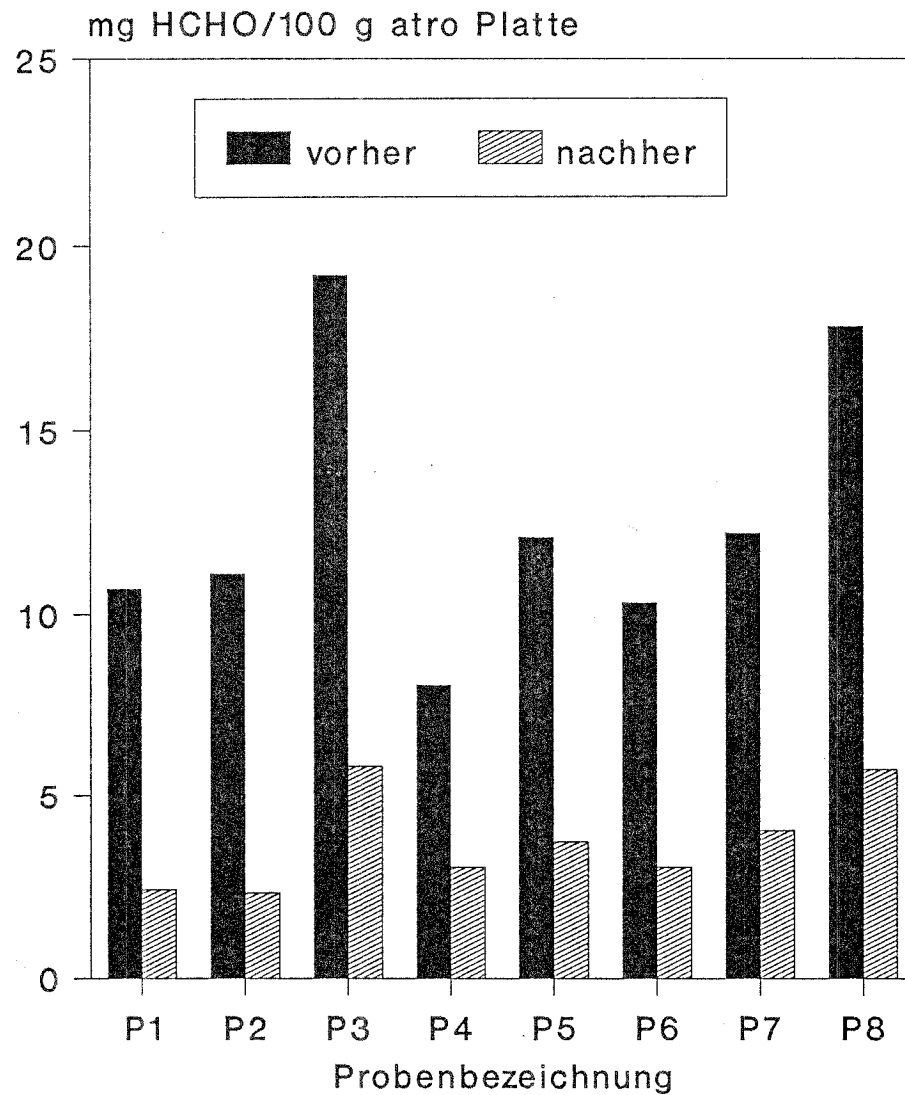


Bild 25: Formaldehydkonzentrationen vor und nach der Begasung, Raum 5



- P1 : Raum 1, Trennwand, 16 mm
- P2 : Raum 3, Außenwand Nord, 16 mm
- P3 : Raum 5, Dachschräge Süd, 25 mm
Röhrenstrangpreßplatte
- P4 : Raum 5, Fußboden, 16 mm Weichfaser
- P5 : Raum 5, Fußboden, 16 mm Spanplatte
- P6 : Raum 6, Außenwand West, 16 mm
- P7 : Raum 6, Fußboden, 16 mm Spanplatte
- P8 : Raum 6, Dachschräge West, 25 mm
Röhrenstrangpreßplatte

Bild 26: Perforatorwerte von aus dem Gebäude vor und nach der Begasung entnommenen Materialproben

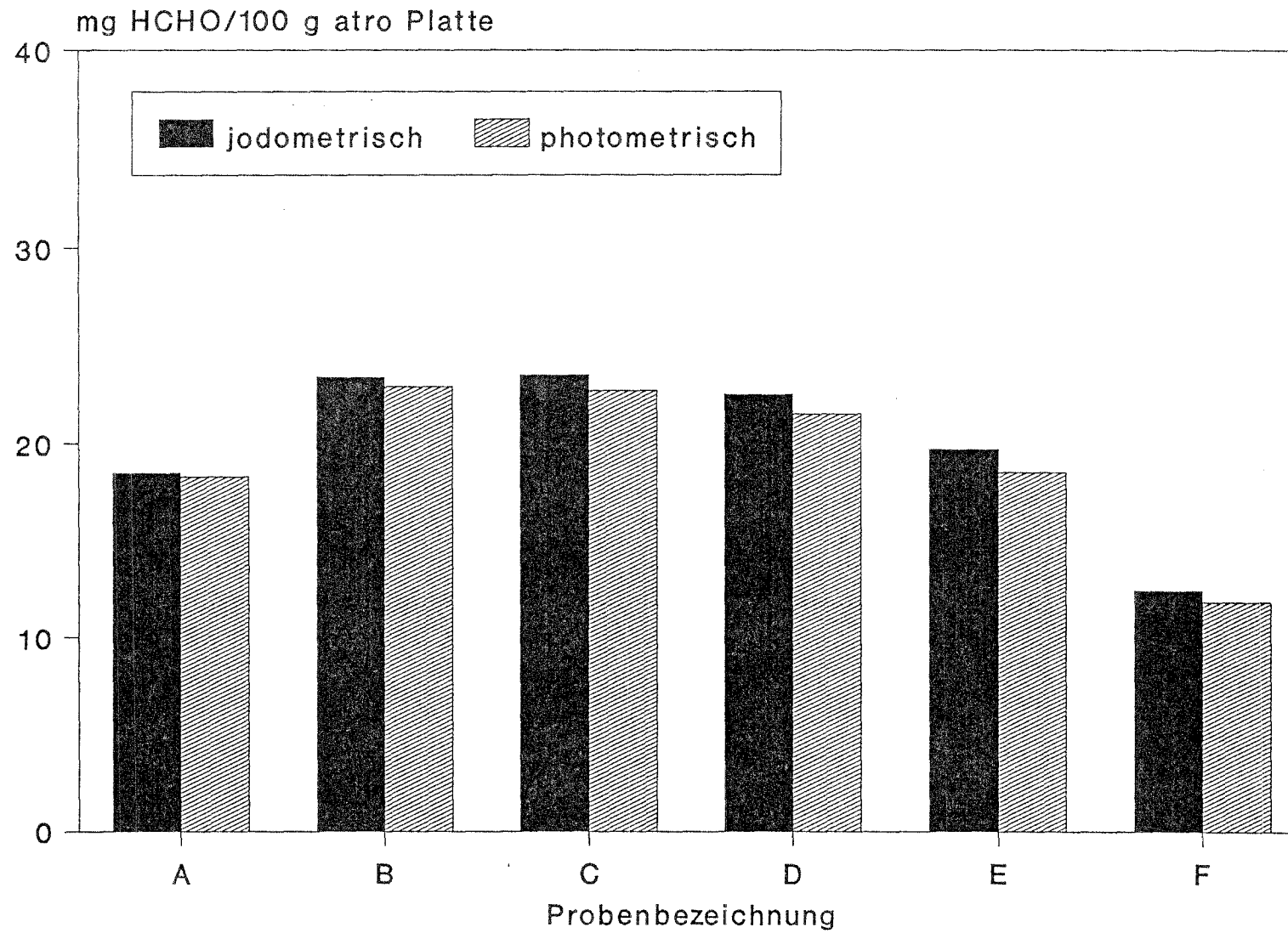


Bild 27: Perforatorwerte einer Küchenfront vor der Begasung, Längsschmalflächen von Probe A und F unbeschichtet

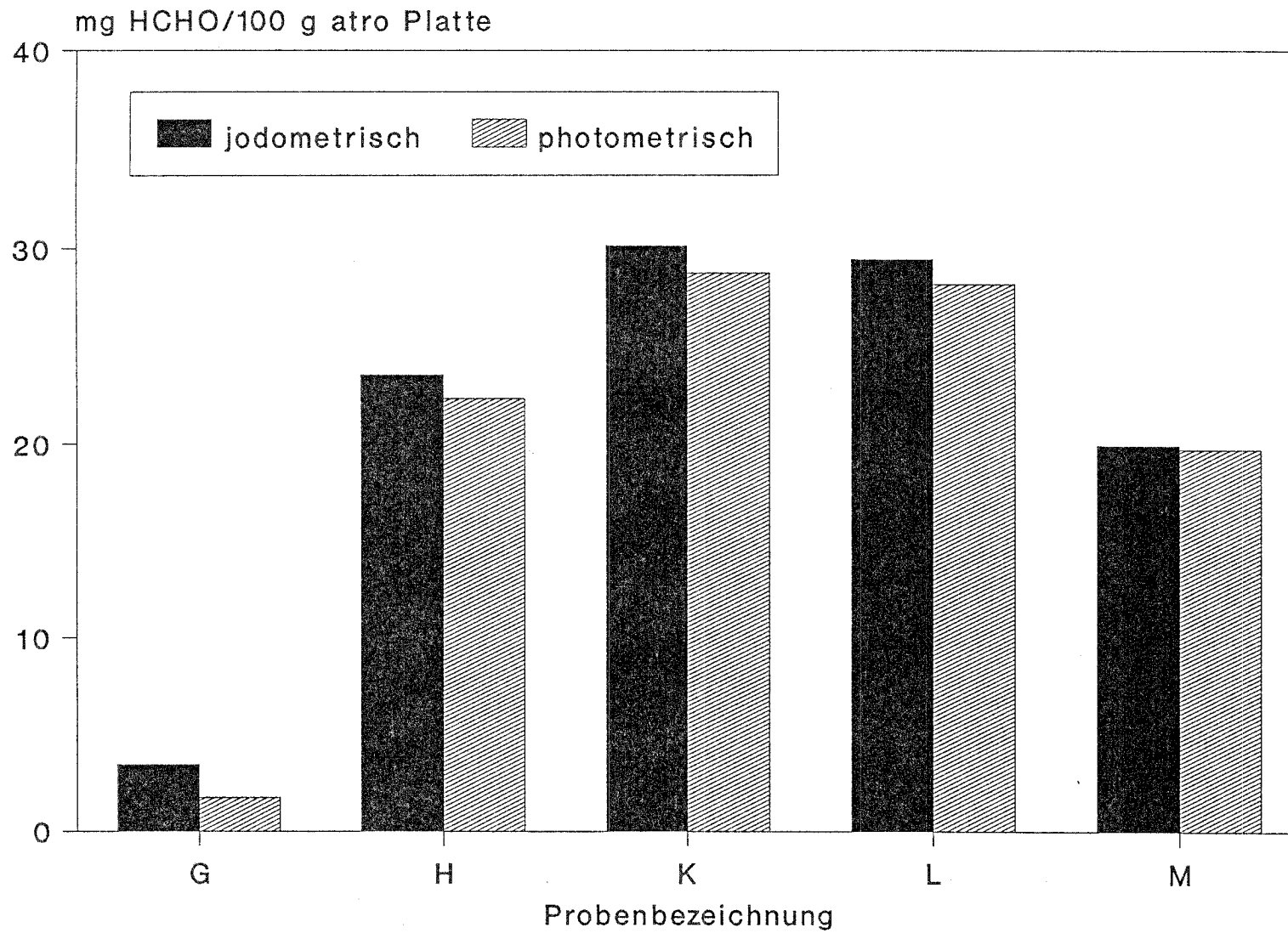


Bild 28: Perforatorwerte einer Küchenfront nach der Begasung, Längsschmalfläche von Probe G unbeschichtet

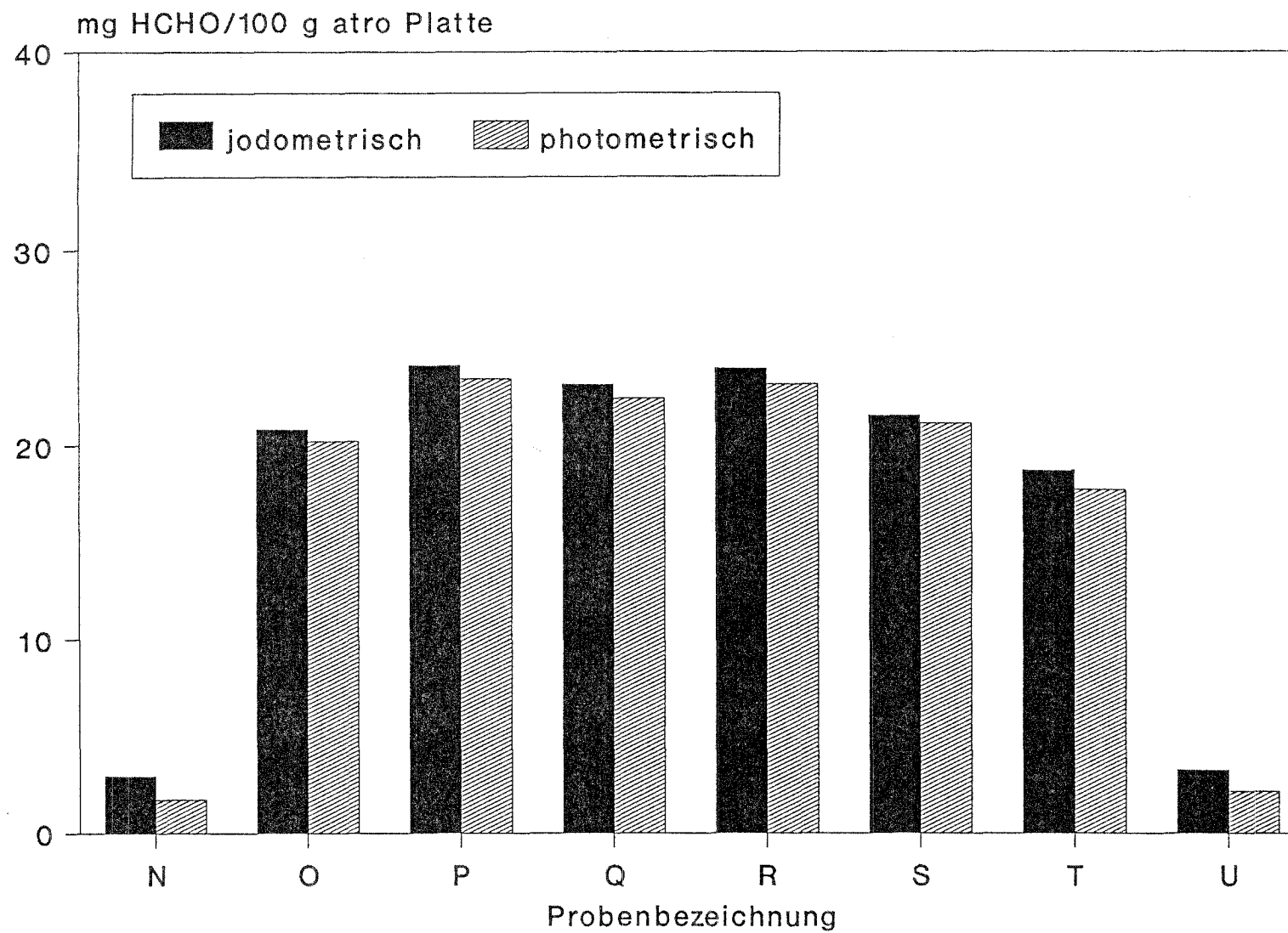


Bild 29: Perforatorwerte eines Einlegebodens nach der Begasung, Längsschmalflächen von Probe N und U unbeschichtet

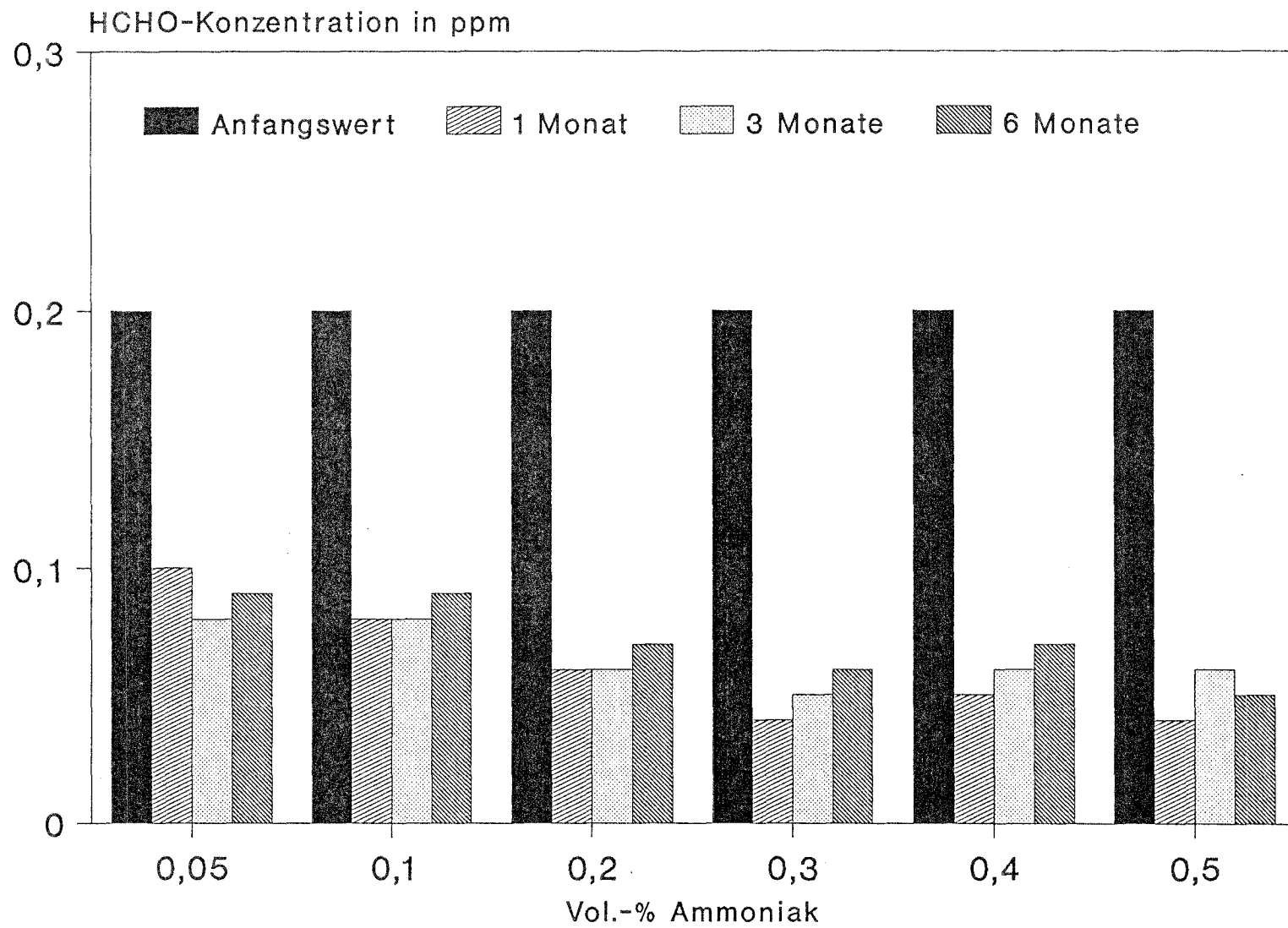


Bild 30: Einfluß der Ammoniakkonzentration; Formaldehydkonzentrationen in der 1 m³-Kammer

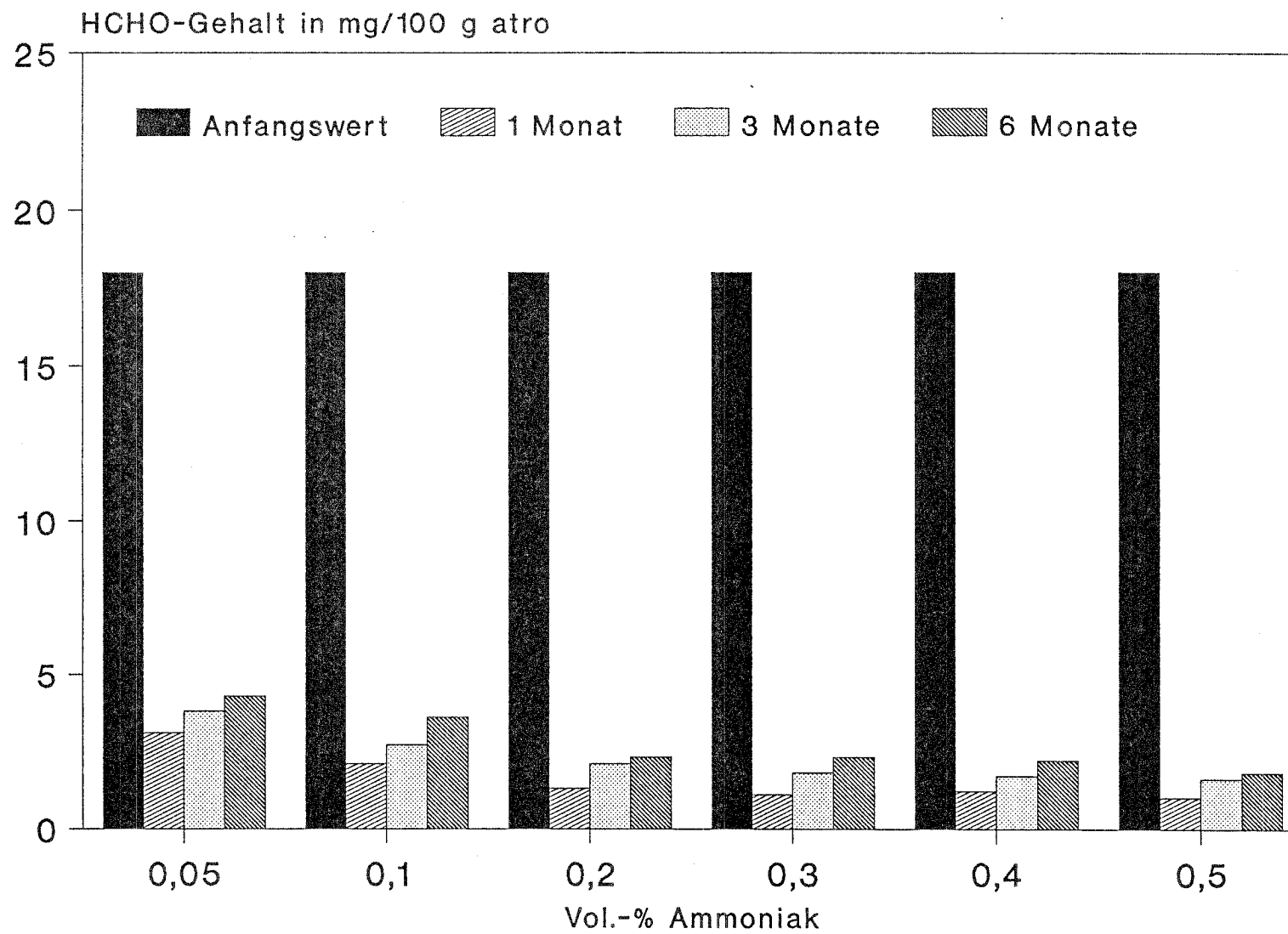


Bild 31 : Einfluß der Ammoniakkonzentration; Formaldehydgehalt nach der Perforator-Methode

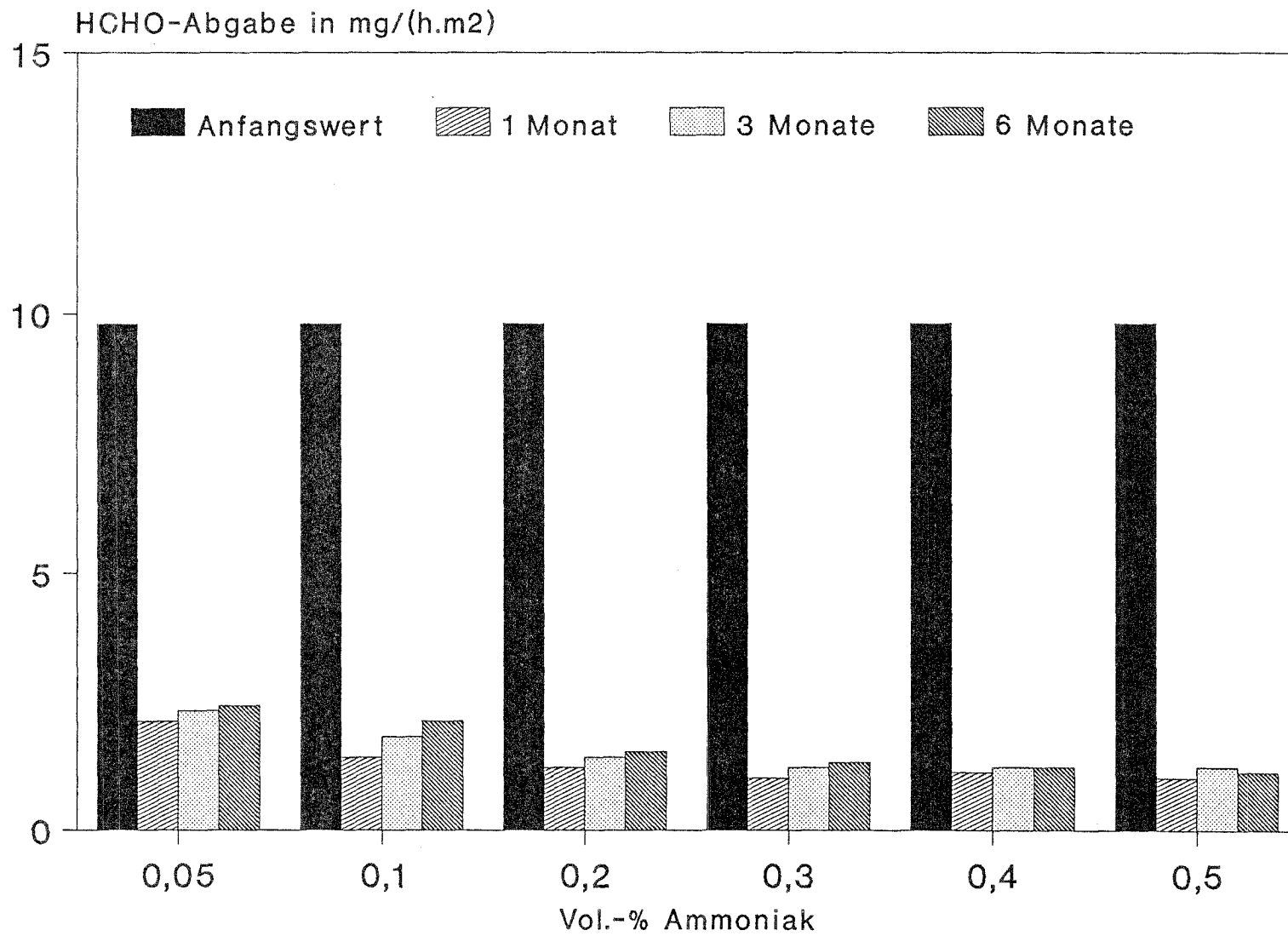


Bild 32: Einfluß der Ammoniakkonzentration; Formaldehydabgabe nach der Gasanalyse-Methode

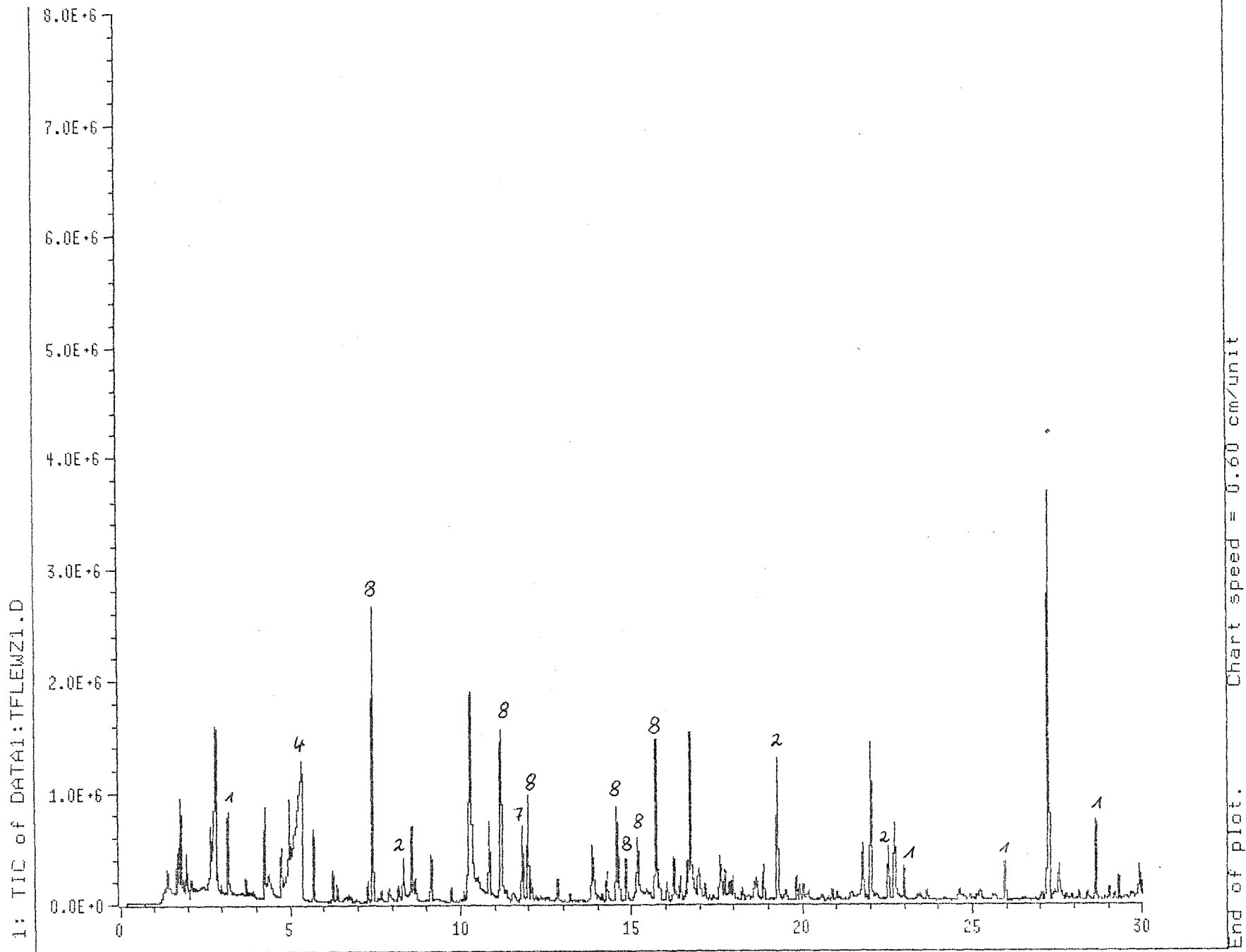


Bild 33: Totalionenchromatogramm der Raumluft vor der Begasung, Raum 1

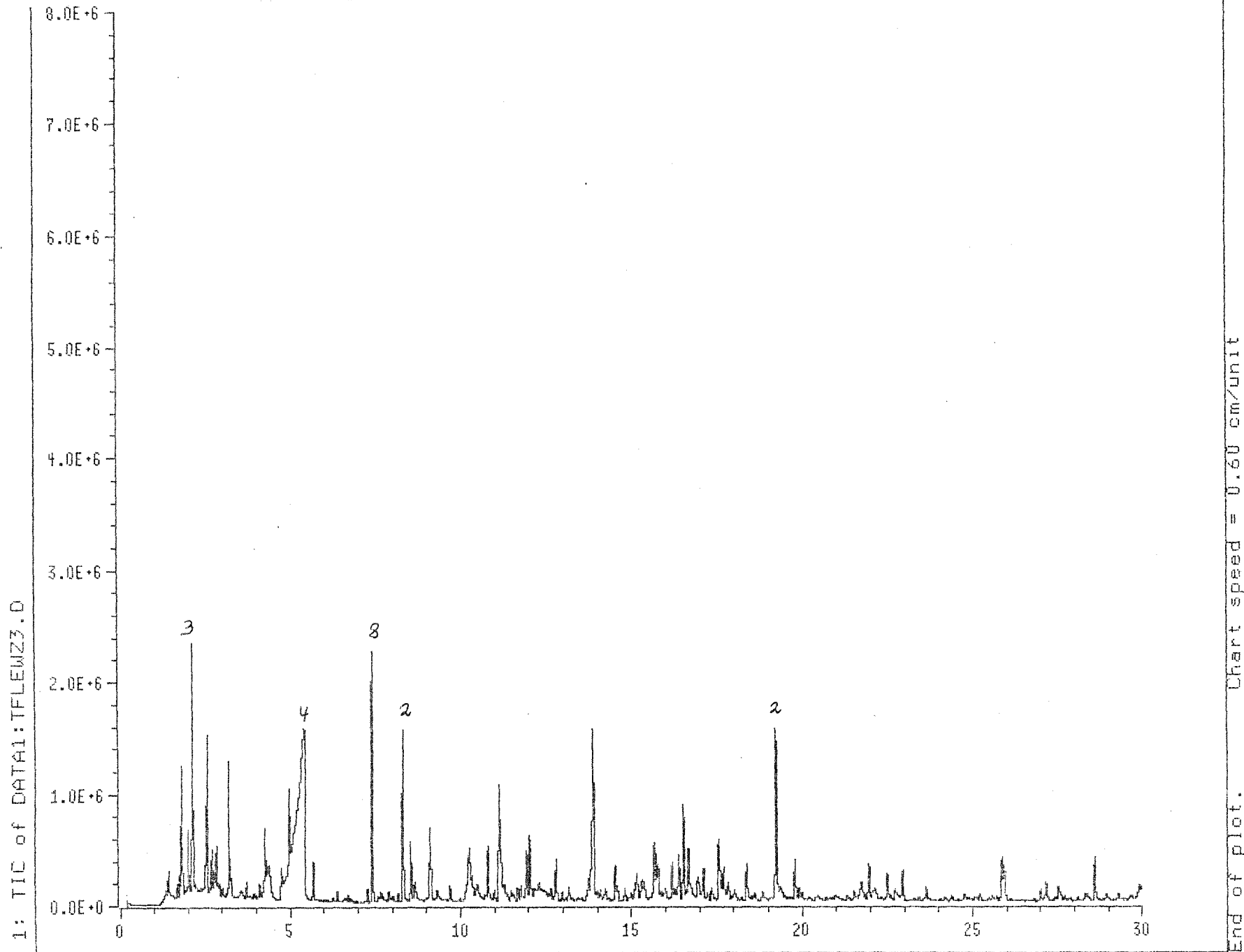


Bild 34: Totalionenchromatogramm der Raumluft nach der Begasung, Raum 1

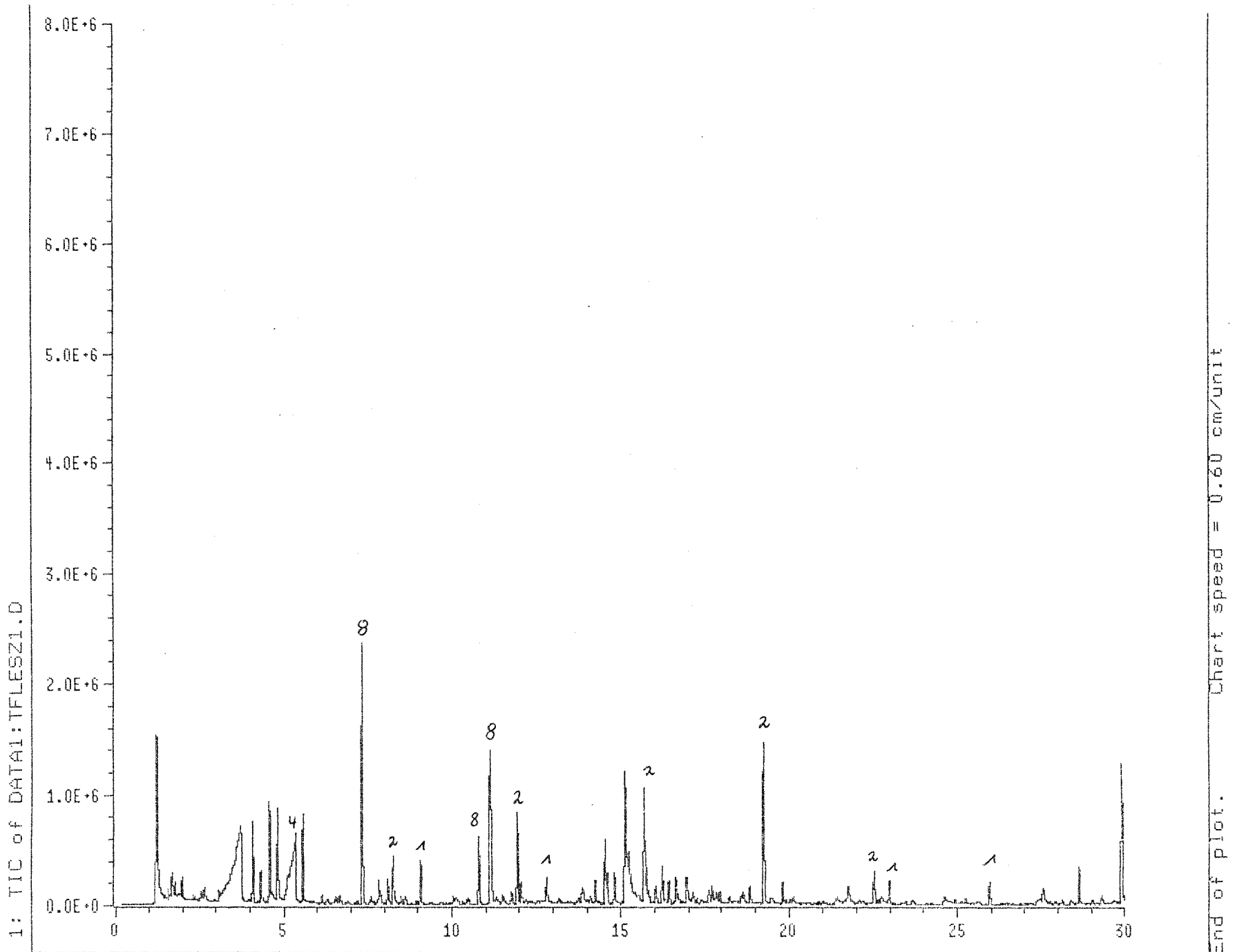


Bild 35: Totalionenchromatogramm der Raumluft vor der Begasung, Raum 2

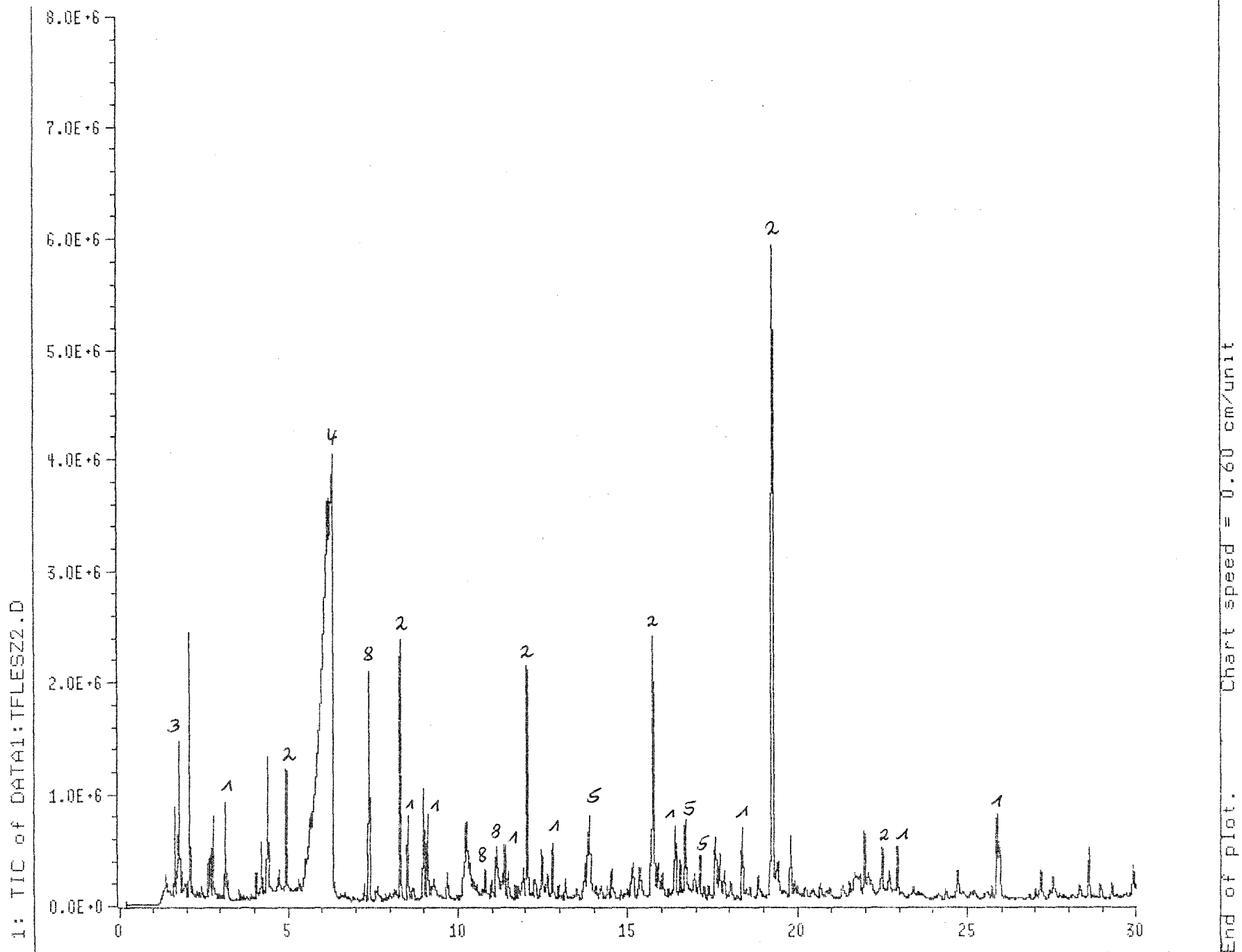


Bild 36: Totalionenchromatogramm der Raumluft nach der Begasung, Raum 2

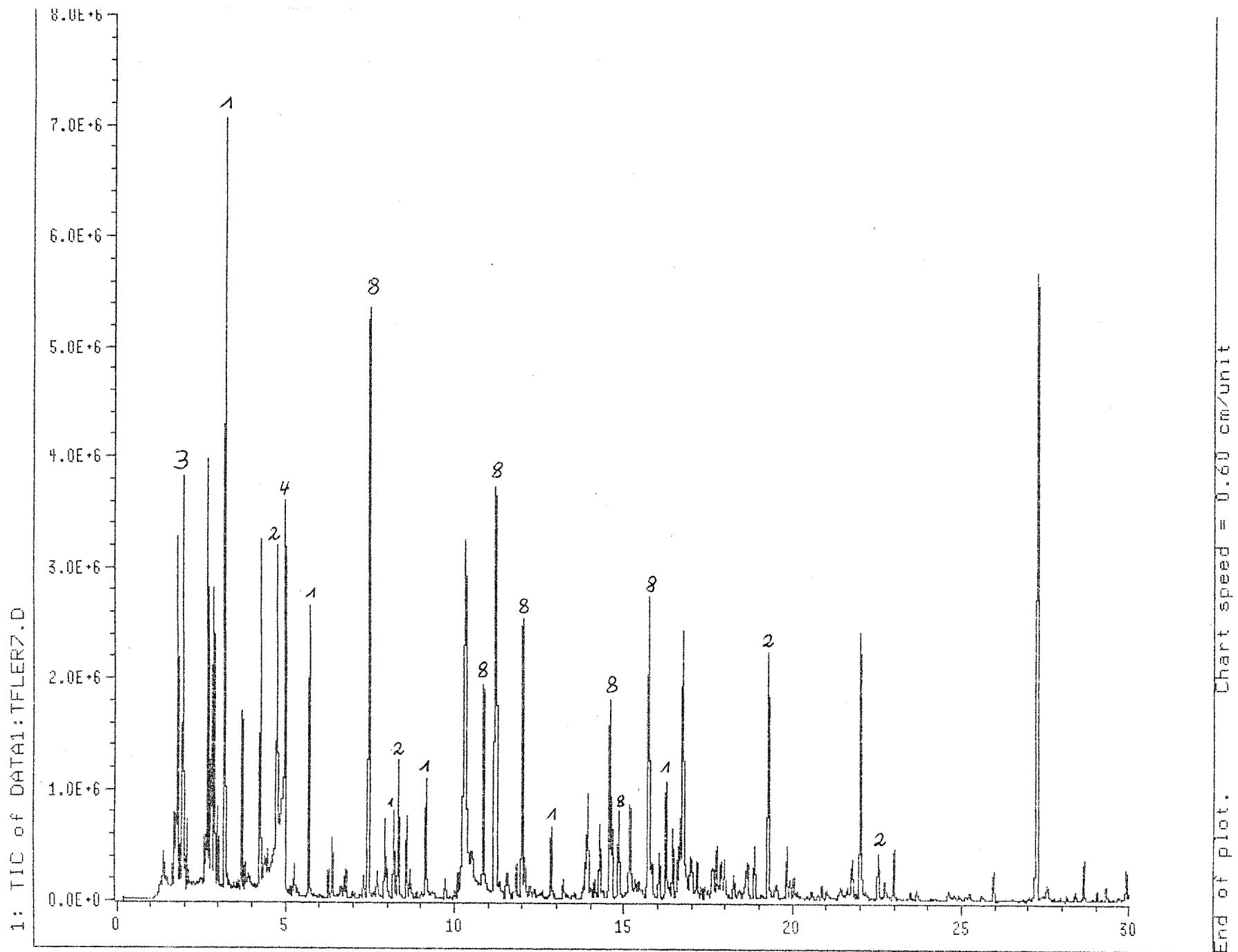


Bild 37: Totalionenchromatogramm der Raumluft vor der Begasung, Raum 5

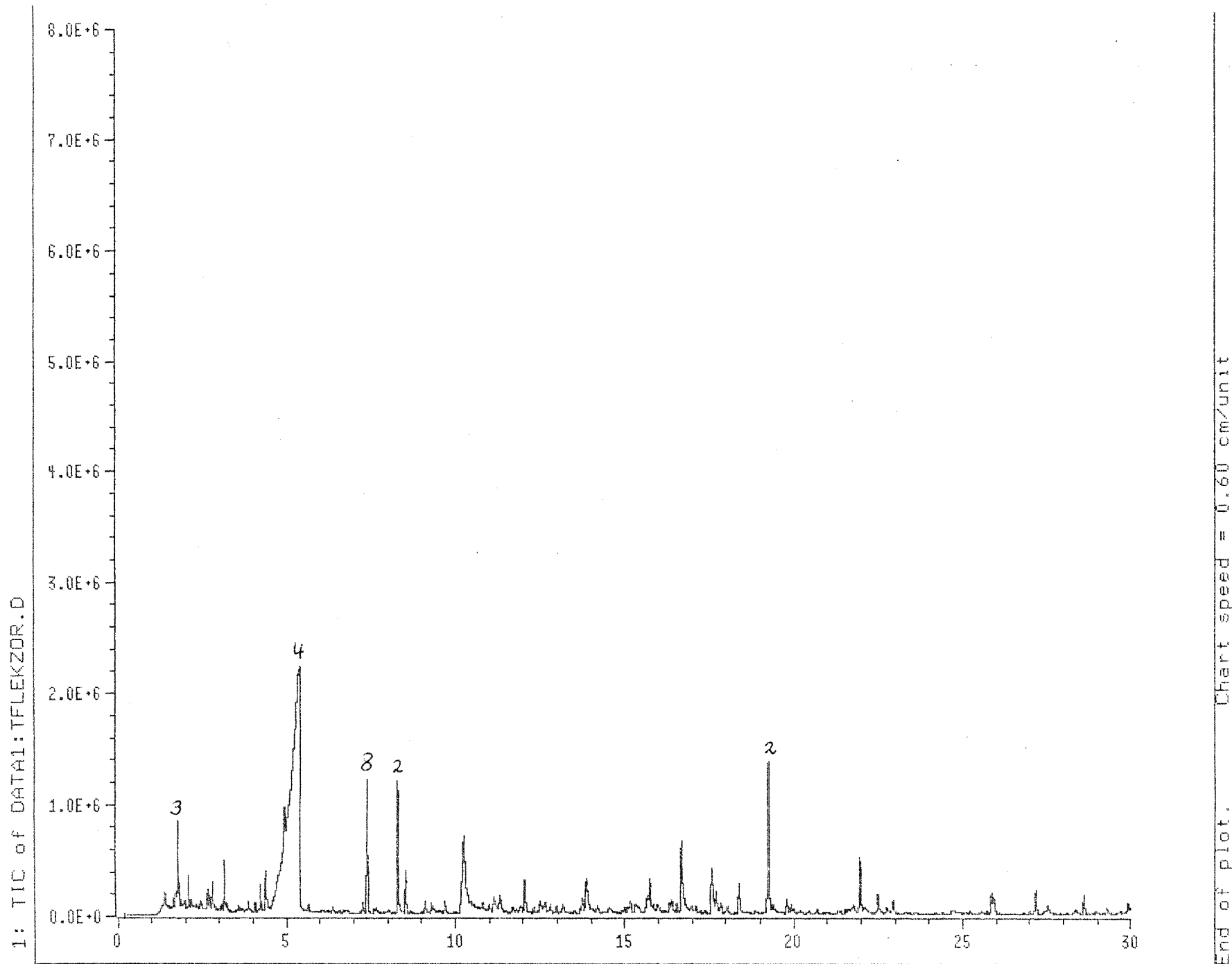


Bild 38: Totalionenchromatogramm der Raumluft nach der Begasung, Raum 5

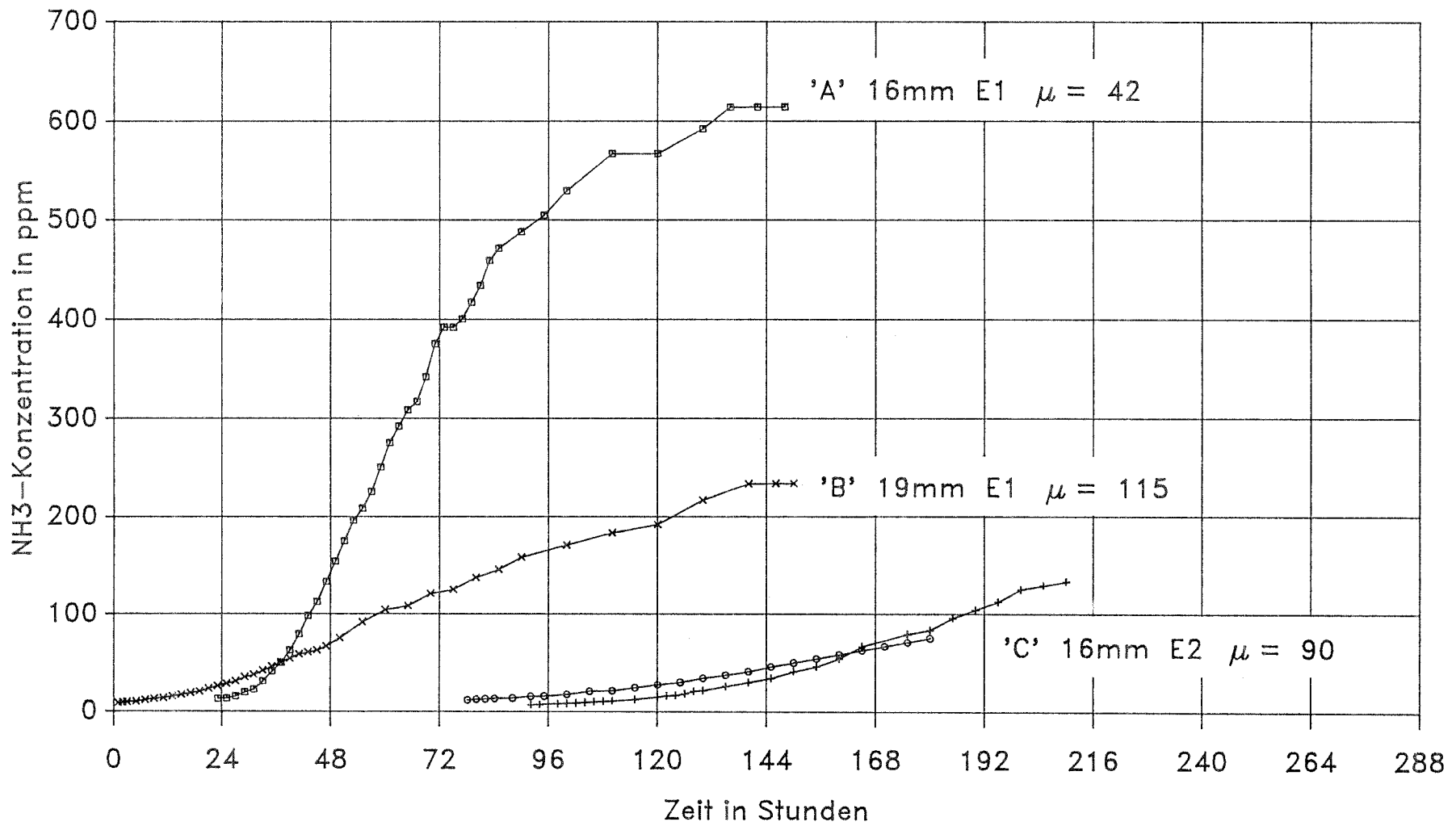


Bild 39: Ermittlung des Eindringverhaltens von Ammoniak an unbeschichteten Spanplatten

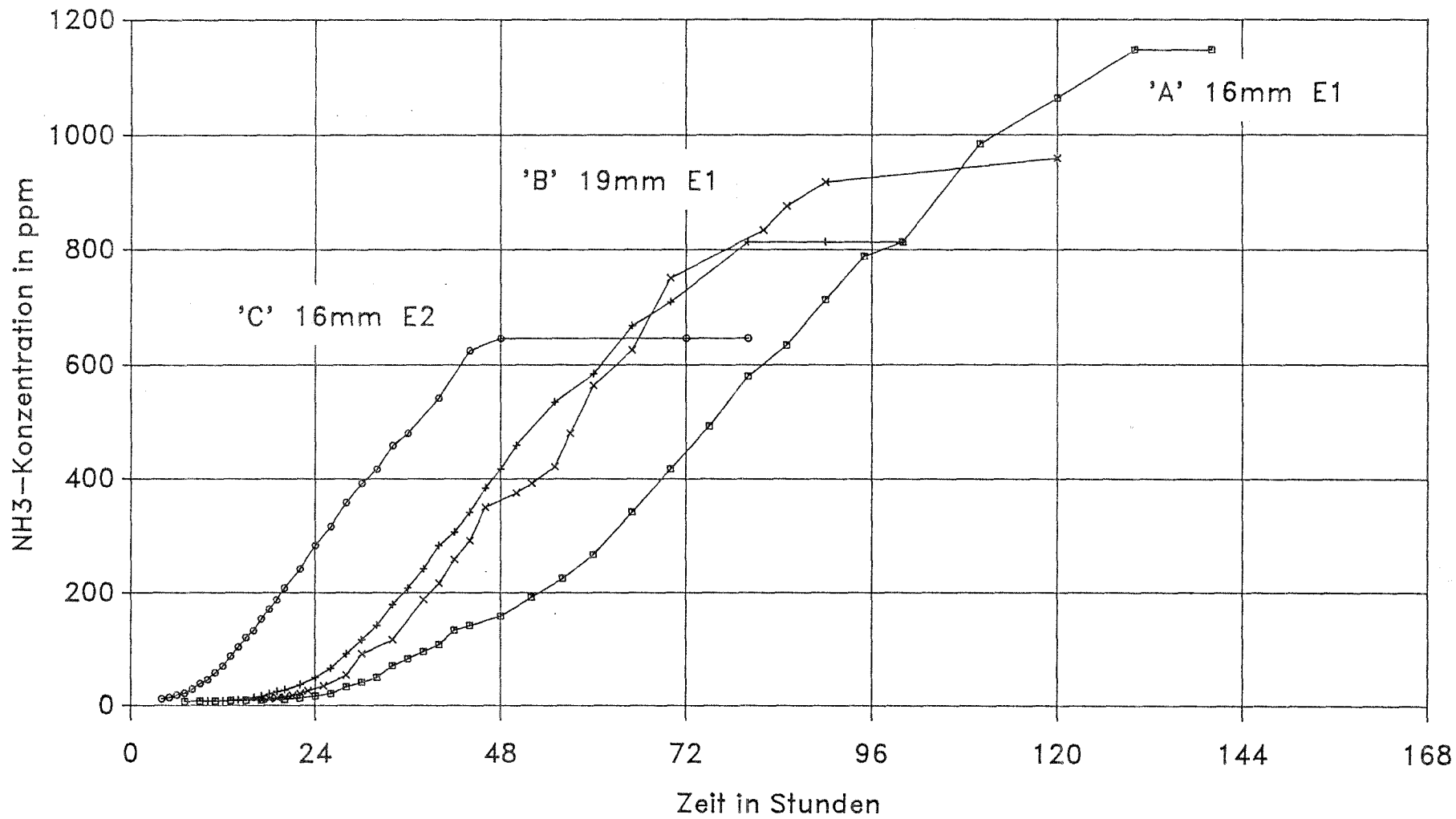


Bild 40: Ermittlung des Eindringverhaltens von Ammoniak an unbeschichteten, halbierten Spanplatten

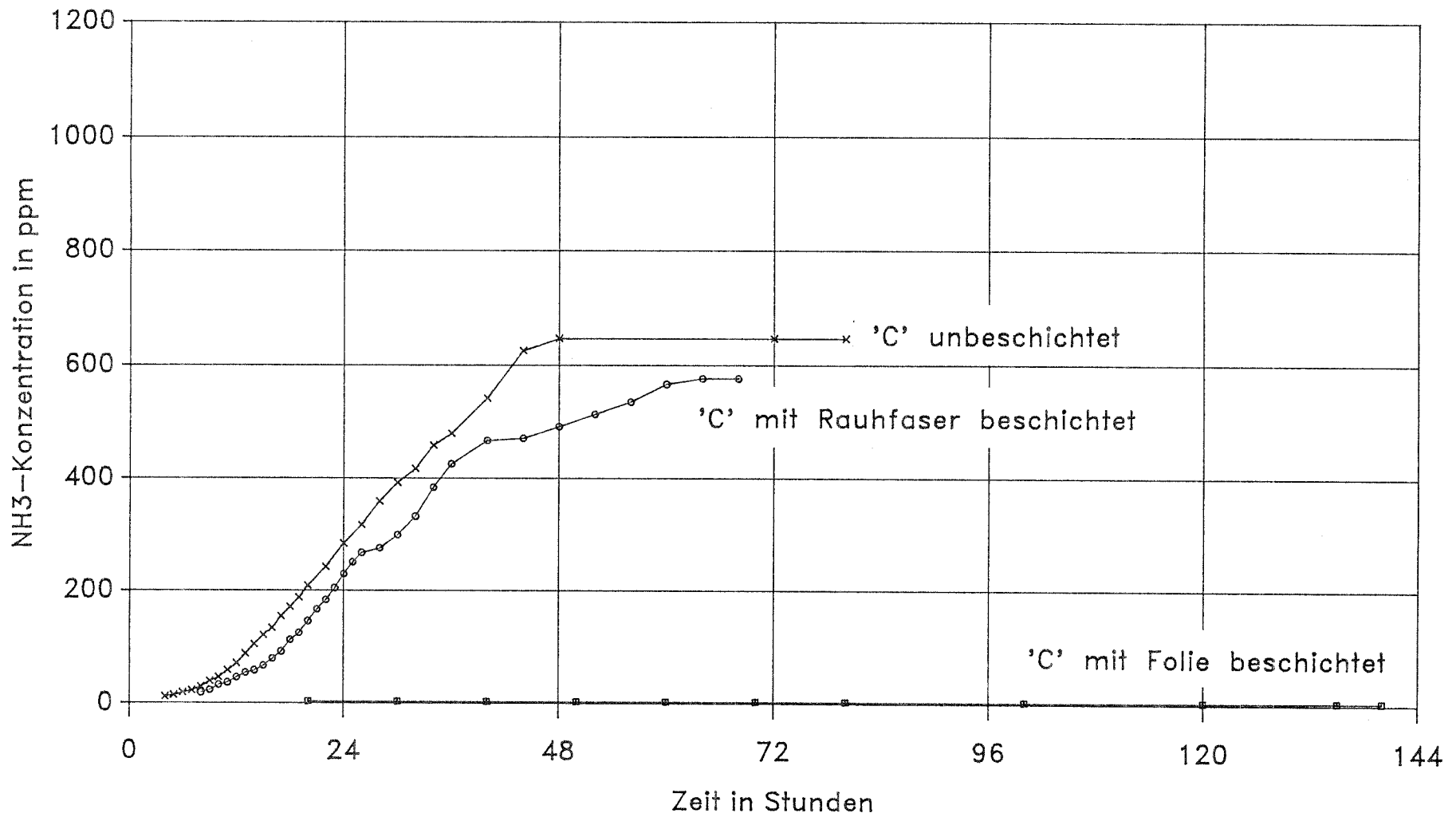


Bild 41: Ermittlung des Eindringverhaltens von Ammoniak an unbeschichteten und beschichteten, halbierten Spanplatten

Etudes sur la réduction en formaldéhyde par traitement avec de l'ammoniac

Résumé

Parmi les bâtiments construits jusqu'en 1980 à l'aide d'unités de montage en bois pour la construction desquels ont été utilisés des panneaux de particules liés par des résines d'aminoplaste beaucoup de ces bâtiments montrent en état non-aérée des concentrations en formaldéhyde jusqu'à 0,3 ppm excédant évidemment la valeur de tolérance proposée par le Service Fédéral d'Hygiène. Une méthode pour la réduction de l'émission en formaldéhyde représente le traitement avec de l'ammoniac utilisée dès le départ des années 80 par le Wilhelm-Klauditz-Institut - Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung. Dans le présent projet, l'efficacité de cette méthode développée empiriquement devrait être mise en évidence en pratique (fumage d'une maison préfabriquée) ainsi que par des essais de laboratoire. De plus il devrait être mis au point si le fumage à l'ammoniac influence la qualité de l'air des intérieurs par d'autres substances organiques et dans quelle mesure des décolorations et altérations peuvent être provoquées sur les matériaux d'aménagement et de construction.

Le fumage de la maison préfabriquée et les essais de laboratoire ont montré qu'un traitement réussi impose une concentration minimum en ammoniac d'à peu près de 0,2 pourcent en volume ou plutôt de 0,5 pourcent en volume et un temps de pose de 5 jours au minimum ainsi qu'une répartition proportionnelle du gaz ammoniac. Partant d'un niveau de concentration moyen de 0,2 ppm des concentrations en formaldéhyde de 0,05 ppm et moins ont été atteintes. La réduction se trouvait être permanente. Les études préliminaires sur la pénétration pendant le fumage à l'ammoniac des panneaux dans un réacteur à chambres jumelées révèlent que les panneaux sont largement pénétrés si on se base sur les temps d'application étant fixés empiriquement jusqu'à présent par les essais effectués sur des maisons préfabriquées.

Une aération intensive effectuée à la suite du traitement montrait que la concentration en ammoniac à l'intérieur peut être rapidement réduite à un minimum. Après six à huit semaines il n'y a que des concentrations minimales qui ne sont plus perceptibles par l'olfaction.

Tout les types de placage - sauf chene clair - vérifiés après le fumage à l'ammoniac mettaient en évidence des changements optiques négligeables. Les peintures, métaux, matériaux isolants et revêtements de sol ne montraient aucune décoloration. Quelques panneaux révélaient une réduction de la résistance à la flexion peu importante suscitée par le fumage à l'ammoniac. Les résistances à la traction transversale n'étaient pas considérablement influencées.

L'influence du traitement avec de l'ammoniac sur l'émission d'autres substances organiques se trouvait être différente. Après le traitement les concentrations dans l'air à l'intérieur augmentaient pour quelques substances polaires (méthanol, acide acétique, etc.) résultant probablement des réactions de refoulement et d'hydrolyse. En ce qui concerne l'émission de composants organiques volatiles la tendance du traitement avec de l'ammoniac peut être jugée plutôt dégressive.

Investigations on Formaldehyde Reduction in Buildings by Treatment with Ammonia Gas

Abstract

Most of the wood system-buildings raised up to 1980 for the construction of which aminoplast resin bonded particleboards were used show in an unventilated state formaldehyde concentrations of up to 0,3 ppm exceeding considerably the tolerance value recommended by the Federal Public Health Office.

A method of reducing formaldehyde emission is the treatment with ammonia gas being applied by Wilhelm-Klauditz-Institut - Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Holzforschung - since the beginning of the eighties. Subject of this project was the more detailed investigation of the efficiency of this empirically developed method in practice (fumigation of a prefabricated house) and in laboratory tests. Furthermore, it had to be clarified if ammonia gas treatment influences the indoor air by other organic substances and to which and what extent optical and mechanical changes in the room equipment or building materials may occur.

The fumigation of the prefabricated house as well as the laboratory tests revealed that a successful performance requires a minimum ammonia concentration of approx. 0,2 percent by volume or better of 0,5 percent by volume. A reaction period of at least five days as well as a uniform repartition of the ammonia gas shall be provided. Based on a medium concentration level of 0,2 ppm formaldehyde the concentrations were reduced to 0,05 ppm and less. The reduction proved to be constant. Preliminary investigations on the penetration behaviour of ammonia into board material carried out in a twin-chamber reactor showed that the application periods fixed up to now allow a sufficient penetration of the board material.

An intensive ventilation directly after treatment leads to a quick reduction of the ammonia concentration in the indoor air. Six to eight weeks later there are only negligible concentrations of ammonia which are no more perceptible by the sense of smell.

After ammonia treatment all investigated veneers - except light oak - showed only minor optical changes. Painting systems, metals, insulating materials and floor coverings showed no decoloration. Some particleboards revealed minor reductions of the bending strength under the effect of ammonia but the internal bond was not significantly influenced. The influence of the ammonia treatment on the emission of other organic substances was different. After the treatment, the indoor concentrations of some polar substances (methanol, acetic acid, etc.) increased as a probable result of displacement and hydrolysis reactions. As far as VOC emissions are concerned the tendency of ammonia treatment is rather degressive.