

Untersuchungen zur Formaldehydabgabeminderung in Gebäuden durch Behandlung mit formaldehydbindenden Anstrichen

T 2758

T 2758

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2000, ISBN 3-8167-4932-1

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.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>

Abschlußbericht

Untersuchungen zur Formaldehydabgabeminderung in Gebäuden durch Behandlung mit formaldehydbindenden Anstrichen

Förderung: DIBt Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
über
DGfH Deutsche Gesellschaft für Holzforschung,
München

Durchführende
Stelle: WKI Wilhelm-Klauditz-Institut
Fraunhofer-Institut für Holzforschung,
Braunschweig

Braunschweig

Januar 1997

Abschlußbericht

Untersuchungen zur Formaldehydabgabeminderung in Gebäuden durch Behandlung mit formaldehydbindenden Anstrichen

Forschungsantrag I-93124

WKI-Projekt: 107 050

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Aufgabenstellung	4
3. Untersuchungsmaterial	5
3.1 Objektauswahl und Messungen vor Ort	5
3.2 Materialproben	5
4. Methodenbeschreibung	6
4.1 Durchführung der Sanierungsmaßnahme	6
4.2 Raumlufthabnahme	6
4.3 Bestimmung der Formaldehydkonzentration	7
4.4 Bestimmung der flüchtigen organischen Komponenten (VOC)	7
4.5 Bestimmung der Materialkennwerte	7
4.5.1 1 m ³ -Kammer-Methode	7
4.5.1.1 Bestimmung der Formaldehydkonzentration	8
4.5.1.2 Bestimmung der VOC	8
4.5.2 Bestimmung der Formaldehydabgabe nach der Gasanalyse-Methode	8
4.5.3 Bestimmung des Formaldehydgehaltes nach der Perforator-Methode	9
5. Ergebnisse	9
5.1 Ergebnisse der Praxisuntersuchungen	9
5.1.1 Formaldehyd	9
5.1.2 VOC	10
5.2 Laboruntersuchungen	12
5.2.1 Einfluß des Anstriches auf die Formaldehydkennwerte	12
5.2.2 Einfluß des Anstriches auf die VOC-Abgabe	13
6. Zusammenfassung	14

Dieser Abschlußbericht umfaßt 17 Textseiten, 10 Tabellen und 29 Bilder.

Untersuchungen zur Formaldehydabgabeminderung in Gebäuden durch Behandlung mit formaldehydbindenden Anstrichen

1. Einleitung

In der Raumluft der bis 1980 in Holzfertigbauweise erstellten Gebäude können auch heute noch Formaldehydkonzentrationen gemessen werden, die mit 0,2 bis 0,3 ppm (Marutzky 1986) deutlich über dem vom früheren Bundesgesundheitsamt für Aufenthaltsräume empfohlenen wohngygienischen Richtwert von 0,1 ppm liegen (Bundesgesundheitsamt 1977, 1992). Eine entsprechende Richtlinie wurde vom DIBt im April 1980 eingeführt. Ursächlich hierfür sind die für die Konstruktion der Häuser eingesetzten Holzwerkstoffplatten (hier meist Spanplatten), deren Formaldehydabgabe zum Teil noch immer deutlich über dem der heute produzierten Holzwerkstoffe liegt. Eine Methode der nachträglichen Minderung der Formaldehydabgabe ist die Behandlung mit Ammoniak. Die Minderung der Formaldehydabgabe in Fertighäusern durch Ammoniakbehandlung wurde daher bereits 1991 in einem DIBt-Projekt untersucht (DGfH/WKI 1991). Hierbei wird der im Holzwerkstoff vorhandene freie Formaldehyd durch eine chemische Reaktion mit Ammoniak zu "Hexamethylenetetramin" umgesetzt, eine bei Raumtemperatur unflüchtige und schwer hydrolysierbare Verbindung. Als nachteilig bei der Behandlung eines Hauses mit Ammoniakgas wirkt sich die Unnutzbarkeit der Räumlichkeiten über einige Wochen (stechender Ammoniakgeruch) sowie, je nach Lüftungsbedingungen, das Auftreten von Nachgerüchen über mehrere Wochen bis Monate aus. Weiterhin wird diese Art der Sanierung eines Fertighauses von vielen Hauseigentümern nicht angenommen, da hier eine weitere "Chemikalie" zum Einsatz kommt.

Durch Abdichten der Wände mit Folien, Bekleidungen und Anstrichsystemen ist ebenfalls eine Minderung der Formaldehydkonzentrationen in Fertighäusern möglich (Jungwirth 1987).

In dem "Verzeichnis von Beschichtungen und Bekleidungen" der ETB-Richtlinie von 1980 wurden Beschichtungen oder Bekleidungen, deren Wirksamkeit bezüglich Formaldehydminderung oder Formaldehydabdichtung durch Untersuchungen bereits Bestätigung fand, zusammengestellt. Dieses Verzeichnis ist heute im Anhang zu der DIBt-Richtlinie 100 "Richtlinie über die Klassifizierung und Überwachung von Holzwerkstoffplatten bezüglich der Formaldehydabgabe" (Fassung Juni 1994) als "Verzeichnis von Beschichtungen" aufgeführt. Hierbei ist anzumerken, daß nach der ETB-Fassung von 1980 diese Untersuchungen an Spanplatten der Emissionsklasse E3 durchgeführt wurden, während in der Fassung von 1994 (DIBt-Richtlinie 100) hierfür Spanplatten eingesetzt werden, deren Formaldehydwerte nur wenig über dem Schrankenwert der Emissions-

klasse E1 liegen. Diese Holzwerkstoffe sind dann der Emissionsklasse E1b zuzuordnen. Die Minderung der Formaldehydabgabe wird mittels der Gasanalyse-Methode DIN 52 368 (heute: DIN EN 717-2) überprüft und darf den für Holzwerkstoffe der Emissionsklasse E1 geltenden Grenzwert von $3,5 \text{ mg HCHO}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ nicht überschreiten.

2. Aufgabenstellung

Im vorliegenden Forschungsvorhaben sollte die formaldehydmindernde Wirkung von verschiedenen Anstrichsystemen in einem formaldehydbelasteten Gebäude mit überschrittenem Toleranzwert untersucht werden. Hierzu sollten die formaldehydhaltigen Holzwerkstoffplatten raumseitig mit einem formaldehydmindernden Anstrich versehen und die eventuell vorhandenen Fugen abgedichtet werden. Der Erfolg der Sanierungsmaßnahme sollte durch intermittierende Messungen im behandelten Objekt begleitet werden. Hier sollten neben den Messungen zur Belastung der Raumluft durch Formaldehyd auch "Screening-Analysen" zur Bestimmung von weiteren flüchtigen organischen Komponenten VOC (**V**olatile **O**rganic **C**ompounds) durchgeführt werden.

Durch begleitende Untersuchungen im Labor sollten weitere Anstrichsysteme, die im "Verzeichnis von Beschichtungen" aufgeführt sind, hinsichtlich ihrer formaldehydmindernden Wirkung eingehender untersucht werden.

3. Untersuchungsmaterial

3.1 Objektauswahl und Messungen vor Ort

Es wurde mit einem Fertighaushersteller Kontakt aufgenommen, um ein für die Untersuchungen geeignetes Objekt zu finden. Hierbei kam es zu unerwarteten Verzögerungen. Ein vom Hersteller im Sommer 1995 angebotenes Objekt im südlichen Schwarzwald erwies sich wegen der großen räumlichen Entfernung als nicht geeignet für die meßintensiven Untersuchungen. Als erste orientierende Voruntersuchungen wurden daher die Formaldehydkonzentrationen in Räumen eines in Fertigbauweise erstellten Wohnhauses "Objekt 1" gemessen, das zur Sanierung anstand. Die Messungen erfolgten hier in drei unmöblierten und ohne Fußboden- bzw. Wandbekleidungen ausgestatteten Räumen. Die ermittelten Formaldehydkonzentrationen lagen unter Praxisbedingungen über dem vom ehemaligen Bundesgesundheitsamt empfohlenen wohnhygienischen Richtwert von $0,1 \text{ ppm}$.

Im Mai 1995 konnte dann ein weiteres Fertighaus für das Forschungsvorhaben vorgeschlagen werden. Es handelte sich hierbei um ein Wohnhaus in Bungalow-Bauweise vom Haustyp 144 aus dem Baujahr 1973 in Braunschweig. Der Grundriß des Gebäudes "Objekt 2" ist im Bild 1 dargestellt. Da es sich jedoch auch hier um ein von den Eigentümern genutztes Gebäude handelte, konnten die Praxisuntersuchungen lediglich in einem der sanierten Räume im unmöblierten Zustand und ohne Wand- bzw. Fußbodenbekleidung durchgeführt werden (im weiteren bezeichnet als "Schlafzimmer").

3.2 Materialproben

Da in dem für die Praxisuntersuchungen vorgesehenen Fertighaus keine Materialproben entnommen werden konnten, wurden für die Laboruntersuchungen zur formaldehydmindernden Wirkung formaldehydreichere Spanplatten beschafft. Für die Untersuchungen weiterer Anstrichsysteme wurden neben dem ausgewählten Anstrichsystem C fünf andere Dispersionsfarben herangezogen. Die Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung der untersuchten Farbsysteme. Die Farben wurden für die Versuche mit A - F gekennzeichnet. Die Behandlung der Rohspanplatten mit den Farbenstrichen erfolgte nach Herstellerangaben auf allen emittierenden Flächen (für die Kammeruntersuchungen auch die Schmalflächen). Die Materialproben wurden für die Wiederholungsprüfungen offen bei Raumtemperatur gelagert.

Zur Überprüfung, inwieweit eine zusätzliche Minderung erhöhter Formaldehydemissionen aus eingebrachten Holzwerkstoffen durch Aufbringen von Diffusionssperren erzielt werden kann, wurden im Labor weitere Untersuchungen durchgeführt. Hierzu erfolgte zum einen die Beplankung der Rohspanplatte mit einer 10 mm dicken Gipskartonplatte, zum anderen wurde die Rohspanplatte vor der Beplankung mit dem ausgewählten Anstrichsystem C versehen. Beide Versuchsvarianten wurden im weiteren durch das zusätzliche Verpacken der Platten in Polyethylenfolie ergänzt.

4. Methodenbeschreibung

4.1 Durchführung der Sanierungsmaßnahme durch einen formaldehydmindernden Anstrich

Die Sanierung der mit "Objekt 1" und "Objekt 2" bezeichneten in Fertigbauweise erstellten Wohnhäuser erfolgte jeweils durch Behandlung der innenseitig verarbeiteten Spanplatten durch einen zweifachen Anstrich mittels des Anstrichsystems C mit einer Anstrichmenge von insge-

samt 200 g/m². Die aufgetragenen Wand- und Bodenbekleidungen wurden vor der Behandlung entfernt. Direkt im Anschluß an die Sanierung erfolgte eine verstärkte Belüftung des Objektes über ca. 12 Stunden. Die weitere Belüftung entsprach der üblichen Raumnutzung.

4.2 Raumluftprobenahme

Die Probenahme zur Bestimmung der Formaldehydkonzentration in der Raumluft erfolgte in der Regel im Anschluß an eine Nichtbelüftungszeit von ca. 4,5 Stunden unter Praxisbedingungen in der Raummitte in einer Höhe von 1,2 m. Hierbei wurde mit Hilfe von Gasprobenahmeapparaturen die zu analysierende Luft durch mit destilliertem Wasser gefüllte Gaswaschflaschen geleitet. Die Apparatur bestand aus einem Trockenturm zur Entfeuchtung der Luft, einer Gaspumpe mit einem Nadelventil zur Regulierung der Probenahmegeschwindigkeit und einem Gasbalgzähler zur Volumenmessung (Bild 2).

Die ermittelten Formaldehydkonzentrationen wurden für die Langzeitmessung gemäß der "Richtlinie zur Durchführung von Formaldehydmessungen in Häusern aus Holz und Holzwerkstoffen" (DGfH-Richtlinie, August 1993) auf Bezugsbedingungen umgerechnet.

Zusätzlich wurde in den untersuchten Räumen die Luftwechselzahl bestimmt. Hierzu wurde der Raumluft Distickstoffoxid (Lachgas) in einer Konzentration von ca. 200 ppm beigemischt und die Abnahme der Konzentration mittels eines IR-Detektors gemessen. Aus der Abnahmekurve wurde die Luftwechselzahl rechnerisch ermittelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

4.3 Bestimmung der Formaldehydkonzentration

Die Bestimmung des Formaldehyds nach der sog. Acetylaceton-Methode beruht auf der Hantzschschen Reaktion, einer spezifischen Nachweisreaktion für Formaldehyd. Mittels einer Gasprobenahmeapparatur wurde Formaldehyd aus der Raumluft in destilliertem Wasser absorbiert und nach Umsetzung mit Acetylaceton und Ammoniumacetat zu Diacetyldihydrolutidin photometrisch bzw. fluorimetrisch bestimmt. Mit Hilfe dieser Reaktion kann Formaldehyd spezifisch und bis zu Konzentrationen im ppb-Bereich erfaßt werden (VDI-Richtlinie 3484-Blatt 2, Vorentwurf 1991).

4.4 Bestimmung der weiteren flüchtigen organischen Komponenten (VOC)

Es wurden qualitative Messungen der flüchtigen organischen Komponenten (VOC) in der Raumluft als Screening-Analysen sowie quantitative Bestimmungen der Hauptemissionskomponenten nach einer Nichtbelüftungszeit von ca. 12 Stunden durchgeführt. Die differenzierende Analyse flüchtiger organischer Stoffe in der Raumluft erfolgte durch Adsorption an TENAX mit anschließender Thermodesorption, gaschromatographischer Trennung und massenspektrometrischer Identifizierung. Zur quantitativen Erfassung der VOC wurde Raumluft durch mit Aktivkohle gefüllte Adsorptionsrohre geleitet, die adsorbierten Raumluftbestandteile wurden mit CS_2 desorbiert und gaschromatographisch mittels Flammenionisationsdetektor analysiert.

4.5 Bestimmung der Materialkennwerte

4.5.1 1 m³-Kammer-Methode

Die Bestimmung der Abgabe an Formaldehyd und VOC erfolgte in einer aus Glas gefertigten, geschlossenen Prüfkammer mit einem Volumen von 1 m³. Die Untersuchungen wurden unter den im Bundesgesundheitsblatt Nr. 10 vom Oktober 1991 veröffentlichten Prüfbedingungen zur Erfüllung der Anforderungen der Chemikalien-Verbotsverordnung - ChemVerbotsV - , Anhang zu § 1, Abschnitt 3, vom 14.10.1993 (vormals Gefahrstoffverordnung) ermittelt. Hierzu wurde der Raum auf eine Temperatur von $23^\circ\text{C} \pm 1 \text{ K}$ und eine relative Luftfeuchte von $45 \% \pm 5 \%$ klimatisiert, der Luftwechsel auf 1 h^{-1} eingestellt. Bezogen auf das Prüfraumvolumen ergab sich eine Raumbeladung von $1 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Das Verhältnis Luftwechselzahl/Raumbeladung betrug 1 (Bild 3).

4.5.1.1 Bestimmung der Formaldehydkonzentration

Die Formaldehydkonzentrationen in der Prüfraumluft wurden täglich einmal bis zum Erreichen der Ausgleichskonzentration bestimmt. Hierzu wurde mit Hilfe von Gasprobenahmeapparaturen aus der Prüfraumluft eine Gasmenge von jeweils $0,1 \text{ m}^3$ entnommen und durch mit Absorptionsflüssigkeit gefüllte Gaswaschflaschen geleitet. Der absorbierte Formaldehyd wurde photometrisch bzw. fluorimetrisch nach der Acetylaceton-Methode bestimmt (VDI-Richtlinie 3484-Blatt 2, Vorentwurf 1991). Das Volumen der Analysenluft wurde auf eine Temperatur von 20°C und einem Luftdruck von 1013 hPa umgerechnet und die Formaldehydkonzentration in ppm ($1 \text{ ppm} \triangleq 1,2 \text{ mg HCHO}/\text{m}^3$) angegeben.

4.5.1.2 Bestimmung der VOC

Die qualitative Messung der flüchtigen organischen Komponenten (VOC) in der Prüfraumlufte erfolgte nach einer Prüfdauer von ca. 16 Stunden als Screening-Analyse. Die differenzierende Analyse flüchtiger organischer Stoffe in der Prüfraumlufte sowie die quantitative Bestimmung der Hauptkomponenten erfolgte wie unter Punkt 4.4 beschrieben.

4.5.2 Bestimmung der Formaldehydabgabe nach der Gasanalyse-Methode

Die Bestimmung der Abgabe an Formaldehyd nach einer abgeleiteten Prüfmethode erfolgte nach der Gasanalyse-Methode DIN EN 717-2 (Januar 1995). Die Probekörper hatten die Abmessungen 400 mm x 50 mm x Dicke. Die Schmalflächen waren während der Prüfung mittels selbstklebendem Aluminiumband gasdicht verschlossen. Die Probekörper wurden in einem beheizten Rohr mit einem konstanten Volumenstrom gereinigter und getrockneter Luft umspült (Bild 4). Die Temperatur während der Prüfung betrug $(60 \pm 0,5)^\circ\text{C}$, der Volumenstrom 1 Liter/Minute. Der aus dem Probekörper abgegebene Formaldehyd wurde in zwei mit jeweils 30 ml bi-distilliertem Wasser gefüllte Gaswaschflaschen absorbiert und mittels der Photometrie oder Fluorimetrie unter Anwendung der Acetylaceton-Methode ausgewertet. Die Absorptionsdauer betrug jeweils eine Stunde bei einer Prüfdauer von insgesamt vier Stunden, die Abgabewerte der 2. bis 4. Stunde wurden gemittelt und auf die emissionsfähige Oberfläche des Probekörpers bezogen ($\text{mg HCHO}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$).

4.5.3 Bestimmung des Formaldehydgehaltes nach der Perforator-Methode

Die Bestimmung des Formaldehydgehaltes der für die Laboruntersuchungen eingesetzten unbeschichteten Spanplatten erfolgte gemäß der Perforator-Methode DIN EN 120 (August 1992). Hierzu wurden ca. 110 g zu Würfeln zerschnittene Probekörper (25 mm x 25 mm x Dicke) in einer Perforatorapparatur mittels siedendem Toluol unter Rückfluß über 2 Stunden extrahiert (Bild 5). Der abgegebene Formaldehyd wurde in einer Wasservorlage gesammelt, photometrisch unter Einsatz der Acetylaceton-Methode bestimmt und auf das Trockengewicht des Materials bezogen ($\text{mg HCHO}/100 \text{ g trockene Platte}$).

5. Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Praxisuntersuchungen

5.1.1 Formaldehyd

Die Ergebnisse der Formaldehydmessungen in Räumen des mit "Objekt 1" bezeichneten Fertighauses sind in den Tabellen 3 und 4 dargestellt. Die Tabelle 3 zeigt hier den Zustand vor der Sanierung durch zweimaligen Anstrich mittels Farbe C: der vom ehemaligen Bundesgesundheitsamt empfohlene Richtwert von 0,1 ppm wird um 10 - 20 % überschritten. Tabelle 4 zeigt eine erhebliche Konzentrationsverminderung eine Woche nach Abschluß der Sanierungsmaßnahme (Bild 6). Wegen der Veränderung der Vermietungsbedingungen waren hier jedoch weitere Messungen zum Langzeitverhalten sowie Messungen zur Bestimmung der VOC in der Raumluft nicht möglich.

Der Verlauf der Formaldehydkonzentrationen vor und bis zu 8 Wochen nach der Sanierung im "Objekt 2" wird in der Tabelle 5 gezeigt. Zur besseren Vergleichbarkeit der unter Praxisbedingungen ermittelten Formaldehydkonzentrationen wurden die Werte gemäß der DGfH-Richtlinie auf Bezugsbedingungen (23°C / 45 % RH / Luftwechsel 1 h⁻¹/Beladung 1) unter Anwendung der Andersen-Gleichung umgerechnet. Die mittlere Konzentration in den untersuchten Räumen lag hier vor der Sanierung bei 0,13 ppm, nach der Sanierung in dem unmöblierten und ohne Wand- bzw. Fußbodenbekleidung ausgestatteten "Schlafzimmer" bei 0,04 ppm; die renovierten und möblierten Räume lagen im Mittel bei 0,08 ppm. Deutlich wird hier der Einfluß der Renovierungsmaßnahmen durch Aufbringen von Tapete und Bodenbelägen sowie das Einbringen des Mobiliars. Insgesamt wird jedoch die Wirksamkeit der durchgeführten Sanierung bei der direkten Gegenüberstellung der ermittelten Formaldehydkonzentrationen des "Schlafzimmers" sichtbar (Bild 7). Die in der Raumluft nachzuweisende Konzentration an Formaldehyd wird durch das Anstrichsystem um ca. 70% reduziert.

5.1.2 VOC

Die Abbildungen der Totalionenchromatogramme ("TIC ") in den Bildern 8 bis 13 zeigen die flüchtigen organischen Bestandteile in der Luft des "Schlafzimmers". Signale, die keiner bestimmten Verbindung zugeordnet werden konnten, sind mit einem Fragezeichen, systembedingte Blindwerte mit einem "BW" versehen. Die identifizierten Substanzen sind anhand der zugeordneten Nummern aus der beigefügten Tabelle 6 ersichtlich.

Das Vorkommen von organischen Substanzen in der Luft von Innenräumen ist heute als normal anzusehen (Schriever und Marutzky, 1991; Salthammer, 1994). Entscheidend für die Beurteilung ist die Zusammensetzung der identifizierten Komponenten und deren Konzentration in der Raumluft.

Als Hauptkomponenten in der Raumluft des "Schlafzimmers" konnten vor der Sanierung Ethanol, Pentan, n-Butanol, Toluol und Limonen identifiziert werden (Bild 8). Quantifiziert wurden Toluol mit $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und Limonen mit $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hierbei handelt es sich um häufig in der Raumluft vorkommende Substanzen. Die ermittelten Konzentrationen liegen im Bereich von Größenordnungen, die nach einer Studie des ehemaligen Bundesgesundheitsamtes (1993) unter heutigen Wohnbedingungen als durchschnittlich gelten und keine signifikante Belastung der Raumluft aufzeigen.

Eine Woche nach Abschluß der Sanierungsmaßnahmen durch Anstrich konnte in der Raumluft eine Vielzahl weiterer flüchtiger organischer Komponenten nachgewiesen werden (Tabelle 6, Bild 9). Neben den bereits identifizierten Verbindungen wurden iso-Propanol, n-Butanol, Toluol, diverse Alkane und Limonen sowie größere Anteile an Butylglykol (Butoxyethanol) gefunden.

Weitere, lediglich in Spuren in der Raumluft des "Schlafzimmers" nach der Sanierung identifizierte Verbindungen waren 1-Methoxy-2-propylacetat (MPA), iso-Propanol und n-Butanol.

Zu der Herkunft der identifizierten flüchtigen organischen Komponenten lassen sich folgende Angaben machen:

- Zu den natürlichen Holzinhaltstoffen, vorkommend insbesondere in Nadelhölzern, gehören die Monoterpene α -Pinen, β -Pinen, Δ^3 -Caren und Limonen. α -Pinen und Limonen sind heutzutage übliche organische Komponenten in der Innenluft. Limonen wurde in der Raumluft des "Schlafzimmers" identifiziert. Nicht gefunden wurden in der Raumluft α -Pinen, β -Pinen und das sensibilisierend wirkende Δ^3 -Caren (Klaschka und Voßmann, 1994).

- Die sog. BTEX-Aromaten Toluol, Ethylbenzol und o-, m-, p-Xylol sind typische und häufig eingesetzte Lösemittel in Lacken und Farben. Toluol ist heute in jeder "normalen" Raumluft nachweisbar und stellt eine der am häufigsten identifizierten Verbindungen dar.

- Eine besondere Gruppe stellen die aliphatischen Aldehyde wie Hexanal dar. Hierbei handelt es sich um sehr geruchsintensive Verbindungen, wobei der subjektive Geruchseindruck generell als "unangenehm" angegeben wird (Ruth, 1986; Brauer, 1995). Aliphatische Aldehyde sind keine normalen Inhaltsstoffe von Oberflächenbeschichtungen, sondern entstehen häufig durch Oxidation aus höheren ungesättigten Fettsäuren.

- Butylglykol (Butoxyethanol) wurde ebenfalls in der Raumluft des "Schlafzimmers" nachgewiesen. Diese Verbindung gehört zu der Gruppe der Glykolether, die häufig in wasserbasierenden Beschichtungssystemen eingesetzt werden.

- Auch verschiedene Alkanderivate, verbreitete Bestandteile der Innenraumluft, wurden gefunden. Die Identifizierung der Einzelverbindungen war aber aufgrund der vielen vorkommenden Isomere nur sehr schwierig durchzuführen.

Das Spektrum der identifizierten flüchtigen organischen Verbindungen in der Raumluft ist bei allen folgenden Messungen bis 8 Wochen nach der Sanierung identisch (Bild 9 bis 13). Die Konzentrationen der einzelnen Hauptkomponenten nahmen jedoch im Verlauf des Messzeitraumes deutlich ab (Tabelle 7, Bild 14 und 15). Eine Woche nach der Sanierung wurden mit einer Gesamtkonzentration von ca. 10 mg/m^3 sehr hohe Mengen an Toluol, Butylglykol und einem Gemisch an Alkanen und C3/C4-Benzolen gemessen. Bereits 14 Tage später wurden Gesamtkonzentrationen der genannten Komponenten im Bereich von $1\text{-}2 \text{ mg/m}^3$ bestimmt. Die Raumluftkonzentrationen vier Wochen nach Abschluß der Sanierung lagen dann in einem für heutige Wohnbedingungen üblichen Bereich. Die Ausnahme bildet hier jedoch Butylglykol. Diese Verbindung zählt nicht zu den üblicherweise in der Innenraumluft vorkommenden Komponenten. Die Konzentration nimmt auch hier weiter ab und liegt erst 8 Wochen nach Sanierung mit $14 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ bei einem Wert, der als gering einzustufen ist.

5.2 Laboruntersuchungen

5.2.1 Einfluß des Anstriches auf die Formaldehydkennwerte

Die Formaldehydabgabe der für die Laboruntersuchungen eingesetzten 16 mm dicken Rohspanplatten wurde durch den Auftrag der jeweiligen Anstrichsysteme deutlich vermindert.

Die Untersuchungen in der 1 m³-Gaskammer ergaben hier für die mit A, D und F bezeichneten Anstrichsysteme Minderungen des Emissionspotentials der eingesetzten Trägerspanplatte von bis zu 90%. Die Farben C und E zeigten einen Minderungseffekt von bis zu 60%. Die ermittelten Formaldehydabgabewerte der behandelten Spanplatten lagen jedoch bei Einsatz der genannten Anstrichmittel unterhalb des für Holzwerkstoffe geltenden maximalen Wert von 0,1 ppm Formaldehyd. Für das mit C bezeichnete Anstrichsystem konnte eine Formaldehydminderung von nur etwa 40% erreicht werden. Damit entsprach die Formaldehydabgabe der behandelten Spanplattenprobe dem zulässigen Grenzwert von 0,1 ppm. Die ermittelten Formaldehydkonzentrationen in der 1 m³-Kammer konnten durch die Materialkennwert-Bestimmungen nach der Gasanalyse-Methode bestätigt werden.

Der erzielte Minderungseffekt nach Behandlung der Rohspanplatte blieb über den im Rahmen dieses Forschungsprojektes vorliegenden Untersuchungszeitraum von 8 Monaten erhalten (Tabelle 8, Bild 16).

Im Gegensatz hierzu steht die Wirksamkeit hinsichtlich Formaldehydminderung der als Diffusionssperre aufgetragenen Gipskartonplatte. Der Konzentrationsverlauf zu Beginn der Prüfung in der 1 m³-Kammer zeigt in den ersten 48 bzw. 72 Stunden Prüfdauer eine verminderte Formaldehydemission. Die Werte steigen jedoch für die vor der Ummantelung unbehandelte Variante bis auf eine Ausgleichskonzentration von 0,2 ppm bei einer Prüfdauer von 408 Stunden an (Bild 17). Dieser Wert entspricht dem Emissionsmaximum, das zu Beginn (48 Stundenwert) der Untersuchungen der unbedeckten Spanplattenprobe in der 1 m³-Kammer ermittelt wurde. Die Formaldehydabgabewerte der beplankten Spanplatte während der Wiederholungsprüfung nach vier Monaten ergaben dann Konzentrationen, die im Bereich der Formaldehydabgabewerte des unbedeckten Versuchsmaterials lagen.

Die Funktion der aufgetragenen Gipskartonplatte als Diffusionssperre wurde somit nicht erfüllt, es fand lediglich eine Diffusionshemmung statt: geringfügige Reduzierung der Formaldehydabgabe der Trägerspanplatte durch die Ummantelung, die durch Alterung bedingte Minderung der Emission wurde jedoch verzögert. Für die durch Anstrich vorbehandelte Variante wurde keine weitere Reduzierung der Emission durch das Aufbringen der Gipskartonplatten erzielt (Bild 18). Erst der zusätzliche Einsatz der Polyethylenfolie brachte eine weitere deutliche Reduzierung des Emissionspotentials (Tabelle 9). Dies war aufgrund des Diffusionswiderstandes der beiden Materialien zu erwarten. So wird für Gipskartonplatten in der DIN 4108 Teil 4 (1981) ein Rechenwert für den Wasserdampfdiffusionswiderstand von 8, für Folie mit einer Dicke $\geq 0,1$ mm von 20000/50000 angegeben.

5.2.2 Einfluß des Anstriches auf die VOC-Abgabe

Die Untersuchungsergebnisse der einzelnen Anstrichsysteme in der 1 m³-Glaskammer sind in der Tabelle 10 und den Bildern 19-24 dargestellt. Tabelle 10 zeigt die identifizierten Hauptkomponenten, die Bilder 19-24 die Totalionenchromatogramme der in der Kammerluft insgesamt gefundenen flüchtigen organischen Verbindungen.

Als Hauptkomponenten des mit A bezeichneten Anstrichsystems wurden eine Vielzahl aromatischer Verbindungen wie C3- bis C6-Benzole sowie diverse Alkanderivate identifiziert (Bild 19). Die Summenkonzentrationen dieser Verbindungen zu Beginn der Untersuchungen kann mit ca. 10 mg/m³ als hoch bewertet werden (Bild 25). Die Konzentrationen nahmen im Verlauf der Kammeruntersuchung ab, lagen jedoch erst nach einem Zeitraum von ca. 3 Wochen im Bereich von 1 mg/m³.

Als Hauptkomponenten des Anstrichmittels B waren Essigsäure, Hexanal und Hexansäure zu nennen (Bild 20). Hierbei handelt es sich sehr geruchsintensive organische Verbindungen, die auch in geringen Konzentrationen zu Geruchsbelästigungen führen können. Eine Quantifizierung der identifizierten Verbindungen konnte aufgrund der angewandten Meßtechnik nicht durchgeführt werden. Unter ungünstigen Raumklimatischen Bedingungen (z.B. hohe Temperatur, geringer Luftwechsel) sind Geruchsbelästigungen hier nicht auszuschließen.

Für Farbe C wurden als Hauptkomponenten in der Prüfkammerluft Hexanal, Butylglykol, Butyldiglykol sowie die Terpene α -Pinen und Δ^3 -Caren gefunden (Bild 21). Die ermittelten Terpene wurden hier vermutlich aus dem als Trägermaterial eingesetzten Holzwerkstoff emittiert. Die Konzentrationen der identifizierten Verbindungen lagen zu Beginn der Untersuchungen bei ca. 1 mg/m³, nahmen jedoch nach 24 Stunden Prüfdauer stark ab und lagen nach 2 Wochen im Bereich von 100 μ g/m³ (Bild 26). Das Spektrum der in der Prüfkammerluft gefundenen organischen Verbindungen ähnelte bis auf die Komponente Butyldiglykol dem des in der Raumluft des "Schlafzimmers" gefundenen.

Neben den vermutlich aus dem Holzwerkstoff emittierenden Terpenen konnten bei Prüfung des Anstrichsystems D als Hauptkomponenten Hexanal, Butyldiglykol sowie eine Verbindung nachgewiesen werden, die vorerst als ein Glykolether identifiziert wurde (Bild 22). Anhand des Massenspektrums konnte dann jedoch die Verbindung als Formaldehyddiethylacetal identifiziert werden. Bei dieser Verbindung handelt es sich vermutlich um ein Reaktionsprodukt aus Formaldehyd und einer alkoholischen Komponente. Da diese Substanz nicht als Standardverbindung

vorlag, konnte eine Quantifizierung nicht erfolgen. Es wurde jedoch aufgrund der Peakfläche des Totalionenchromatogramms abgeschätzt, daß die Konzentration im Bereich $> 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lagen. Butyldiglykol, das der Gruppe der Glykoether zuzuordnen ist, lag im Vergleich zu dem bisher gefundenen Butylglykol in geringeren Mengen vor (Bild 27).

Das Totalionenchromatogramm des Anstrichs E zeigte als Hauptkomponenten Butylglykol, Butyldiglykolacetat und ebenfalls Formaldehyddiethylacetal (Bild 23). Insgesamt ist die Konzentration der quantifizierbaren Komponenten Butylglykol, Butyldiglykolacetat und Formaldehyddiethylacetal als merklich erhöht zu bewerten (hierzu siehe Farbe D). Nach ca. 1 Woche Prüfdauer lagen auch hier die Gehalte in der Prüfraumlufte im Bereich von ca. $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bild 28).

Für die Farbe F wurden als Hauptkomponenten in der Luft der 1 m^3 -Glaskammer die Verbindungen Propylenglykol und Butyldiglykol gefunden (Bild 24). Die Quantifizierung ergab zu Prüfbeginn relativ hohe Konzentrationen im Bereich von ca. $4 \text{ mg}/\text{m}^3$, die jedoch bereits nach 4 Tagen auf ca. $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ absanken (Bild 29).

6. Zusammenfassung

Die Wirksamkeit der Formaldehydminderung konnte für alle untersuchten Systeme nachgewiesen werden, wobei zwischen den verschiedenen Systemen z.T. deutliche Unterschiede bestanden. Die Ergebnisse der Laborprüfungen konnten mit einem ausgewählten System auch in der Praxis bestätigt werden. Durch die Wiederholungsprüfungen konnte eine anhaltende Minderung des Formaldehydemissionspotentials für die Untersuchungen vor Ort bis ca. 8 Wochen nach Durchführung der Sanierung und für die im Labormaßstab durchgeführten Prüfungen bis ca. 8 Monate nach Anstrich nachgewiesen werden. Messungen über eine noch längere Dauer konnten im Rahmen des Vorhabens nicht mehr durchgeführt werden.

Die Laboruntersuchungen zu den flüchtigen organischen Komponenten ergaben, daß in den untersuchten Anstrichsystemen - bis auf Farbe A, bei der eine große Anzahl an Aromaten emittierte - ähnliche Komponenten wie Glykoether bzw. - acetate als Lösemittel eingesetzt und damit in die Luft abgegeben werden. Eine Zusammenfassung der Stoffe gibt Tabelle 10.

Die Anstriche A, E und F wiesen zu Beginn der Prüfungen Kammerkonzentration deutlich über 1 mg/m^3 bis zu ca. 10 mg/m^3 auf, die jedoch im Verlauf der Versuche - trotz der relativen Schwerflüchtigkeit der Verbindungen - innerhalb von ca. 10 Tagen bis auf Konzentrationswerte von durchschnittlich ca. $200 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ stark abnahmen.

Anstrich C zeigte im Praxisversuch und während der Prüfung in der Kammer unter Standardbedingungen ein ähnliches Emissionsverhalten bezüglich VOC. Sowohl das Spektrum der identifizierten Verbindungen als auch das Abklingverhalten waren übereinstimmend.

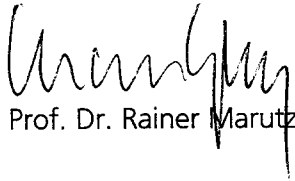
Da Geruchsbelästigungen und Gesundheitsbeeinträchtigungen durch die in dem formaldehydmindernden Anstrichsystem vorhandenen organischen Verbindungen auftreten können, sollte ein Gebäude erst etwa zwei bis drei Wochen nach Durchführung der Sanierungsmaßnahme wieder bezogen werden.

Sachbearbeiterin



Bettina Meyer

Institutsleitung



Prof. Dr. Rainer Marutzky

Literatur

- Bundesgesundheitsamt (1977): Neuer Aufgabenbereich beim Bundesgesundheitsamt - Bewertungsmaßstab für Formaldehyd in der Raumluft. bga-Pressedienst 19/77 vom 12.10.1977
- Bundesgesundheitsamt (1992): Zur Gültigkeit des 0,1 ppm-Wertes für Formaldehyd. Bundesgesundheitsblatt 34: 482-483
- Bundesgesundheitsamt (1993): Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. Bundesgesundheitsblatt Nr. 3, 117-118.
- Brauer L. (1995): Gefahrstoffsensorik. Ecomed-Verlag, Landsberg.
- Chemikalien-Verbotsverordnung (1993): Verordnung über die Verwendung und Beschränkung des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (Chemikalien-Verbotsverordnung - ChemVerbotsV) vom 14.10.1993
- DGfH/WKI (1991): Untersuchungen zur Formaldehydminderung in Gebäuden durch Ammoniakbehandlung. Abschlußbericht WKI, November 1991
- DIBt-Richtlinie 100 (1994): Richtlinie über die Klassifizierung und Überwachung von Holzwerkstoffplatten bezüglich der Formaldehydabgabe, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- DGfH-Richtlinie (1993): Richtlinie zur Durchführung von Formaldehydmessungen in Häusern aus Holz und Holzwerkstoffen, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, München.
- 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, Anhang: Verzeichnis von Beschichtungen und Bekleidungen. Berlin, Köln: Beuth Verlag.
- Jungwirth H. (1987): Formaldehyd im Wohnbereich - Ursache und Abhilfemaßnahmen. Schriftreihe "Gesundes Wohnen" des Instituts für Baubiologie + Ökologie, Neubeuern
- Klaschka F. und Voßmann D. (1994): Kontaktallergene. Reine Schadstoffe und Umwelt, Band 11, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Marutzky R. (1986): Formaldehyd in Innenräumen: Zur Problematik von Beschwerdefällen. Gesundheits-Ingenieur 107: 327-334
- Ruth, J.H. (1986): Odor thresholds and irritation levels of several chemical substances: A review. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 47, A/142-A-A/151.

Schriever E. und Marutzky R. (1991): Geruchs- und Schadstoffbelastungen durch Baustoffe in Innenräumen - Eine Literaturstudie. Wilhelm-Klauditz-Institut, WKI-Bericht Nr. 24, Eigenverlag, Braunschweig.

Salthammer T. (1994): Luftverunreinigende organische Substanzen in Innenräumen. Chemie in unserer Zeit, 28, 280-290.

VDI-Richtlinie 3484-Blatt 2 (Entwurf 1991): Messen gasförmiger Immissionen - Messen von Innenraumlufte - Bestimmung der Formaldehydkonzentration nach der Acetylaceton-Methode

Tabelle 1: Zusammenstellung der für die Laboruntersuchungen aus dem "Verzeichnis von Beschichtungen" (Fassung April 1994) ausgewählten Anstrichsysteme

Versuch Nr.	Produktbezeichnung	Auftrag gemäß Hersteller	Produktbeschreibung
A	Sigmatourno Housepaint (vorher: Bravacolor)	mind. 400 g/m ² Fläche durch Streich-, Spritz- oder Walzauftrag	weiße, wässrige Dispersionslösung mit einem Festkörpergehalt von etwa 59 %
B	Falima-271	mind. 200 g/m ² Fläche durch Streich-, Spritz- oder Walzauftrag	farblose, wässrige Dispersionslösung mit einem Festkörpergehalt von 1 %
C	Falima-F	mind. 200 g/m ² Fläche durch Streich-, Spritz- oder Walzauftrag	weißpigmentierte Dispersionsbeschichtung mit einem Festkörpergehalt von 79 %
D	Capacryl Holzgrund (Voranstreich)	250 g/m ² Fläche durch Streich-, Spritz- oder Walzauftrag	pigmentierte, wässrige Dispersionslösung mit einem Festkörpergehalt von 54 %
E	Amphibolin-Europa-Qualität	500 g/m ² Fläche durch Streich-, Spritz- oder Walzauftrag	wässrige Reinacrylat-Dispersionsfarbe mit einem Festkörpergehalt von etwa 59 %
F	Caparol-gelb (vorher: Alpinacolor-gelb)	500 g/m ² Fläche durch Streich-, Spritz- oder Walzauftrag	wässrige Kunststoff-Dispersionsfarbe mit einem Festkörpergehalt von etwa 48 %

Tabelle 2: Bestimmung der Luftwechselraten in Räumen der in Fertigbauweise erstellten Wohnhäusern

Meßort	Luftwechselzahl h^{-1}
"Objekt 1"	0,6
"Objekt 2"	
Schlafzimmer	0,2
Kinderzimmer	0,3
Gästezimmer	0,2

Tabelle 3: Formaldehydkonzentrationen in Räumen eines in Fertigbauweise erstellten Wohnhauses "Objekt 1"
 Räume unmöbliert und ohne Wand- bzw. Fußbodenbekleidung vor der Sanierung

Meßort	Messung	Raumtemperatur °C	rel. Luftfeuchte %	Formaldehydkonzentration ppm
Schlafzimmer	1	25	53	0,10
	2	24	55	0,11
Kind I	1	20	64	0,11
	2	22	59	0,12
Kind II	1	21	66	0,11
	2	24	56	0,12

Tabelle 4: Formaldehydkonzentrationen in Räumen eines in Fertigbauweise erstellten Wohnhauses "Objekt 1"
 Räume unmöbliert und ohne Wand- bzw. Fußbodenbekleidung nach Sanierung durch zweifachen Anstrich mit einem formaldehydmindernden Anstrichsystem C (Auftragsmenge: 200 g/m²)

Meßort	Messung	Raumtemperatur °C	rel. Luftfeuchte %	Formaldehydkonzentration ppm
Schlafzimmer	1	28	32	0,03
	2	29	30	0,03
Kind I	1	22	43	0,03
	2	23	42	0,03
Kind II	1	21	42	0,02
	2	22	41	0,02

Raumzustand: beheizt, Fenster und Türen seit ca. 4,5 Stunden vor Beginn der 1. Meßreihe geschlossen

Tabelle 5: Formaldehydkonzentrationen in Räumen eines in Fertigbauweise erstellten Wohnhauses "Objekt 2" vor und nach Sanierung durch zweifachen Anstrich mit einem formaldehydmindernden Anstrichsystem C (Auftragsmenge: 200 g/m²)

Meßort	Formaldehydkonzentration ppm °					
	Vormessung	1 Woche nach Sanierung	2 Wochen nach Sanierung	3 Wochen nach Sanierung	4 Wochen nach Sanierung	8 Wochen nach Sanierung
Schlafzimmer *	0,12	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
	0,11	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Kinderzimmer **	0,13	0,07	0,09	0,06	0,08	0,06
	0,15	0,07	0,09	0,06	0,08	0,06
Gästezimmer **	0,14	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06
	0,13	0,05	0,05	0,06	0,07	0,06

Raumzustand: Fenster und Türen seit ca. 4,5 Stunden vor Beginn der 1. Meßreihe geschlossen

* Raum unmöbliert und ohne Wand- bzw. Fußbodenbekleidung

** Räume möbliert und mit Wand- bzw. Fußbodenbekleidung

◦ Formaldehydkonzentrationen berechnet nach der Andersen-Formel auf die Bezugsbedingungen (DGfH-Richtlinie August 1993)
Temperatur: 23°C, rel.Luftfeuchte: 45 %, Luftwechselzahl: 1 h⁻¹, angenommene Beladung: 1 m²/m³

Tabelle 6: Auflistung der mit GC/MS identifizierten organischen Hauptkomponenten
 In der Raumluft des "Schlafzimmers" - "Objekt 2"
 Raum unmöbliert und ohne Wand- bzw. Fußbodenbekleidung
 nach Sanierung durch zweifachen Anstrich mit dem formaldehydmindernden Anstrichsystem C

Nr.	Substanz	Vormessung	Zeitraum nach Sanierung							
			1 Woche	2 Wochen	3 Wochen	4 Wochen	8 Wochen			
1	Ethanol	+								
2	Pentan	+								
3	iso-Propanol		+	+	+	+			+	
4	n-Butanol		+	+	+	+			+	
5	C7-Alkan			+	+	+			+	
6	Toluol		+	+	+				+	
7	Hexanal			+	+				+	
8	Ethylbenzol			+						
9	m,p-Xylol			+		+				
10	MPA			+		+				
11	o-Xylol			+		+				
12	Butoxyethanol/Butylglykol		+	+	+	+	+		+	
13	C10-Alkan		+	+						
14	Limonen		+	+					+	
15	Alkane		+	+						
16	C11-Alkan		+	+	+				+	
17	C12-Alkan		+	+	+				+	

Tabelle 7: Quantifizierung der mit GC/MS identifizierten organischen Hauptkomponenten
 In der Raumluft des "Schlafzimmers" - "Objekt 2"
 Raum unmöbliert und ohne Wand- bzw. Fußbodenbekleidung
 nach Sanierung durch zweifachen Anstrich mit dem formaldehydmindernden Anstrichsystem C

Nr.	Substanz	Konzentrationen µg/m ²							
		Vormessung	Zeitraum nach Sanierung					8 Wochen	
			1 Woche	2 Wochen	3 Wochen	4 Wochen	8 Wochen		
6	Toluol	29	1001	134	70	77	62		
12	Butylglykol		7179	252	114	58	14		
14	Limonen	43	53	77	5	10	26		
16	C11		314	94	19	11	18		
17	C12		143	51	8	6	19		
15	∑ Alkane und C3/C4-Benzole*		1497	637	55	60	91		

* berechnet abzüglich der Flächen von C11, C12 und Limonen mit C11-Standard

Tabelle 8: Formaldehydkennwerte von Rohspanplatten nach Aufbringen von unterschiedlichen Anstrichsystemen

Probenbeschreibung	Materialkennwerte*		Formaldehydausgleichskonzentration in der 1 m ³ -Glaskammer ppm			
	Gasanalysewert** mg HCHO/(h·m ²)	Perforatorwert** mg HCHO/100 g atro Platte	Zeitraum nach Anstrich			
			1. Prüfung*	2. Prüfung (4 Monate)	3. Prüfung (6 Monate)	4. Prüfung (8 Monate)
16 mm Rohspanplatte	7,8	9,6	0,14	-	-	-
Spanplatte mit Anstrichsystem						
A	0,9	-	0,02	0,03	0,03	0,03
B	5,5	-	0,11	0,11	0,10	0,10
C	2,6	-	0,08	0,08	0,06	0,07
D	1,0	-	0,02	0,03	0,03	0,03
E	2,8	-	0,07	0,09	0,07	0,07
F	0,6	-	0,01	0,01	0,01	0,02

* Prüfung direkt nach Aufbringen des Anstrichsystems

** Gasanalyse-Methode: Prüfung nach Abdichtung der Schmalflächen mittels Aluminiumklebebandes
Perforator-Methode: Umrechnung des ermittelten Perforatorwertes auf die Bezugsfeuchte von 6,5 %

Tabelle 9: Formaldehydkennwerte von Rohspanplatten bzw. mit Farbanstrich versehene Spanplatten nach Ummantelung mit 10 mm dicken Gipskartonplatten

Probenbeschreibung	Formaldehydausgleichskonzentration in der 1 m ³ -Glaskammer ppm		
	Zeitraum nach Anstrich		
	48 Stunden Prüfdauer	Ausgleichskon- zentration	4 Monate
16 mm Rohspanplatte	0,21	0,14	-
Spanplatte mit			
Gipskarton	0,11	0,20	0,12
PE-Folie und Gipskarton	0,02	0,02	-
Anstrich C und Gipskarton	0,06	0,09	0,08
PE-Folie, Anstrich C und Gipskarton	0,02	0,02	-

Tabelle 10: Auflistung der identifizierten organischen Hauptkomponenten
 Prüfung in der 1 m³-Glaskammer
 Rohspanplatten mit unterschiedlichen Anstrichsystemen

identifizierte organische Hauptkomponenten nach Anstrich der Spanplattenproben mit dem Anstrichsystem						
A	B	C	D	E	F	
Hexanal	1 Essigsäure	12 Hexanal	1 Hexanal	1 Butyldiglykol	17 Propylenglykol	20
C3-Benzole	2 Hexanal	1 Butyldiglykol	15 α -Pinen	18 Formaldehyddiethylacetal	19 Butyldiglykol	19
Trimethylbenzol	3 Hexansäure	13 α -Pinen	16 Δ 3-Caren	19 Butyldiglykolacetat		
C10	4	16 Δ 3-Caren	17 Butyldiglykol			
Butylcyclohexan	5	17 Butyldiglykol	18 Formaldehyddiethylacetal			
C4-Benzole	6					
C11	7					
Pentylcyclohexan	8					
Alkane + C4/C5 Benzole	9					
C12	10					
C13	11					

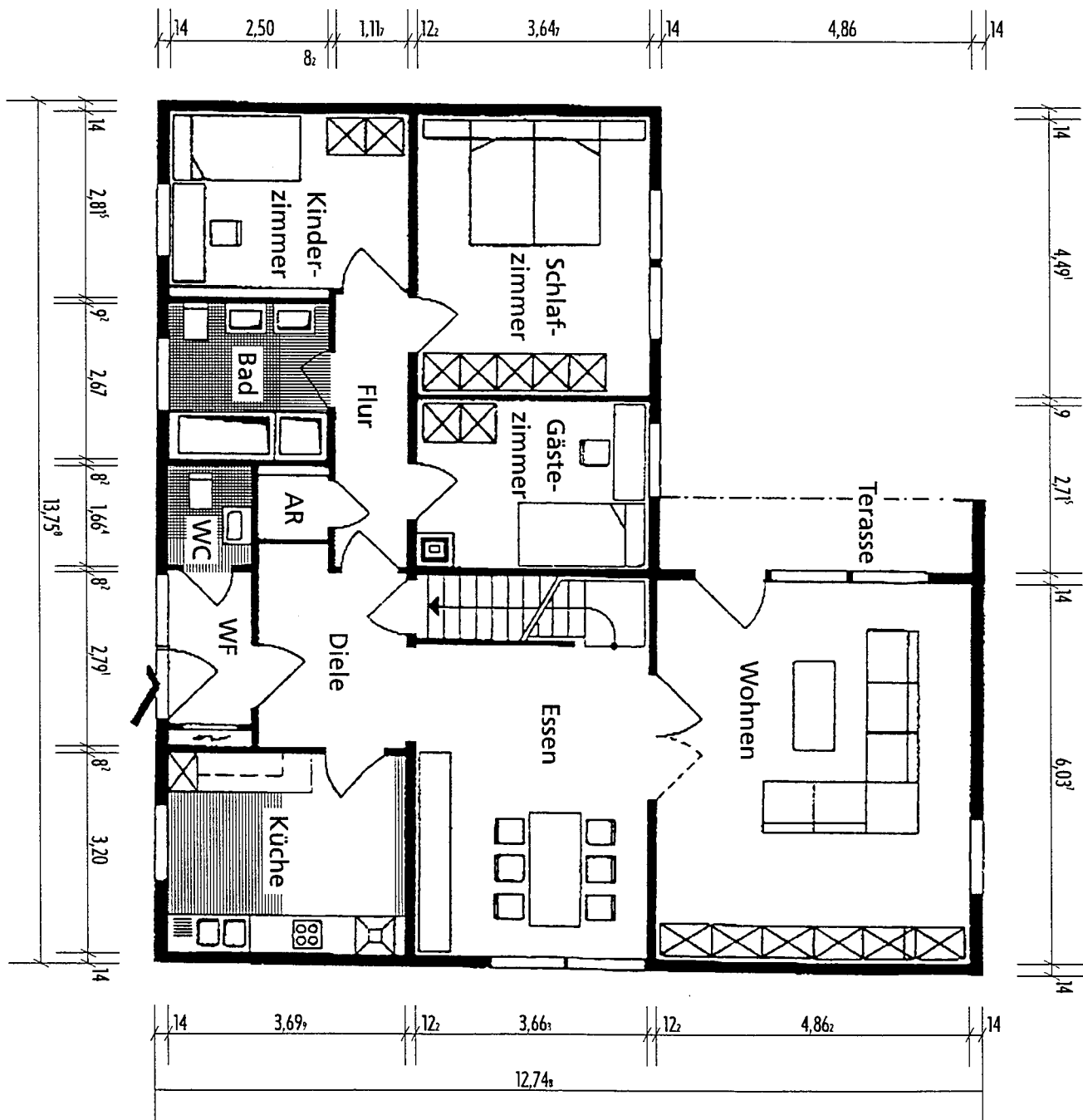
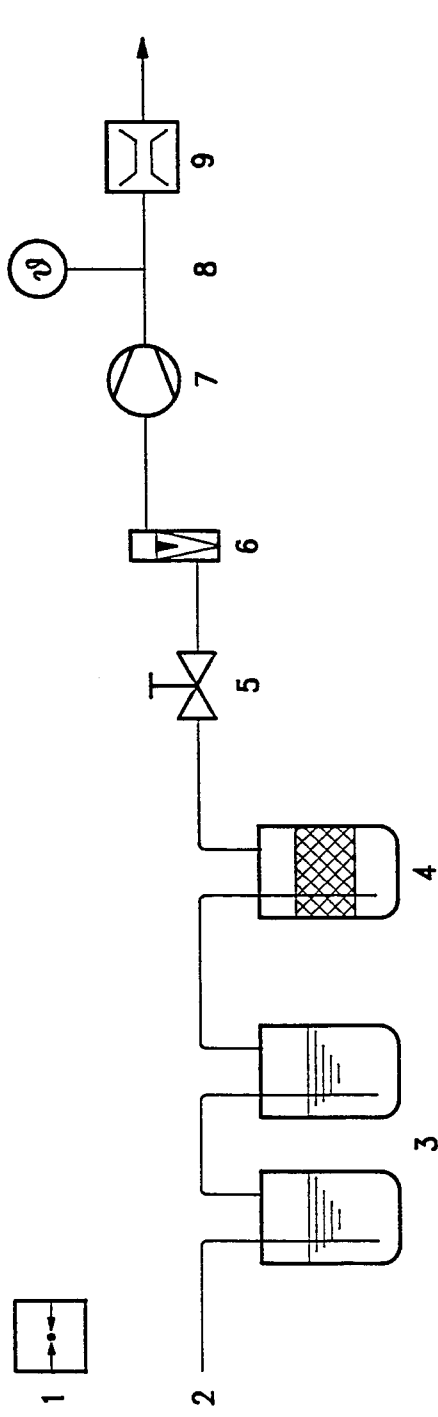
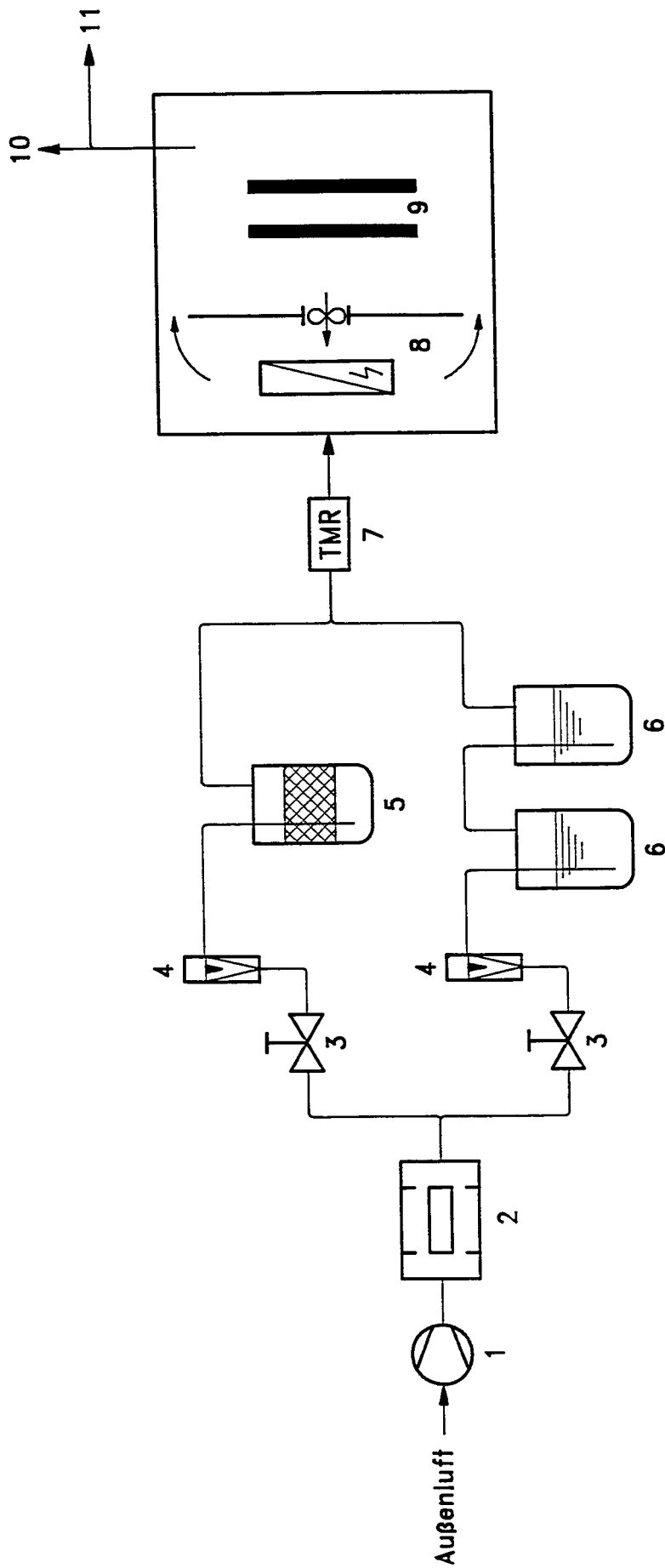


Bild 1: Grundriß des in Fertigbauweise erstellten Wohnhauses "Objekt 2"



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

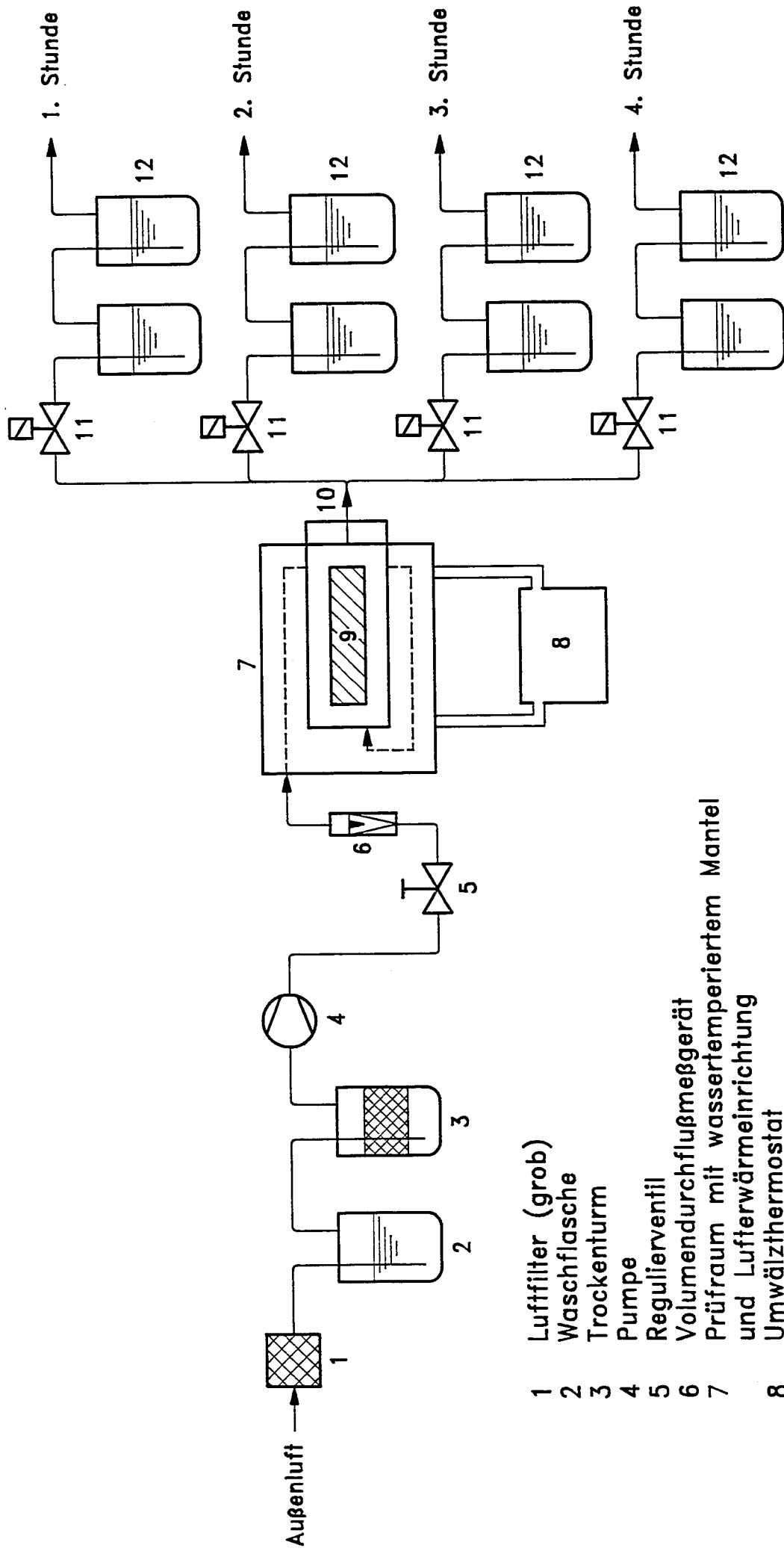
Bild 2 : Schematischer Aufbau der Probenahmeeinrichtung



- 1 Pumpe
- 2 Aktivkohlefilter
- 3 Regulierventil
- 4 Volumendurchflußmeßgerät
- 5 Trockenturm
- 6 Waschflaschen zur Befeuchtung

- 7 Thermischer Massendurchflußregler
- 8 Geregeltete Heizung mit Umluftventilator
- 9 Probenmaterial
- 10 Abluft
- 11 Gasprobenahme

Bild 3: Schematischer Aufbau der 1m³-Kammer



- 1 Luftfilter (grob)
- 2 Waschflasche
- 3 Trockenturm
- 4 Pumpe
- 5 Regulierventil
- 6 Volumendurchflußmeßgerät
- 7 Prüfraum mit wassertemperiertem Mantel und Lufterwärmereinrichtung
- 8 Umwälzthermostat
- 9 Materialprobe
- 10 gasdichte Klappe mit Prüfluftauslaß
- 11 Magnetventile
- 12 Gaswaschflaschengruppen für die 1. bis 4. Stunde der Prüfung

Bild 4 : Schematischer Aufbau der Gasanalyseapparatur

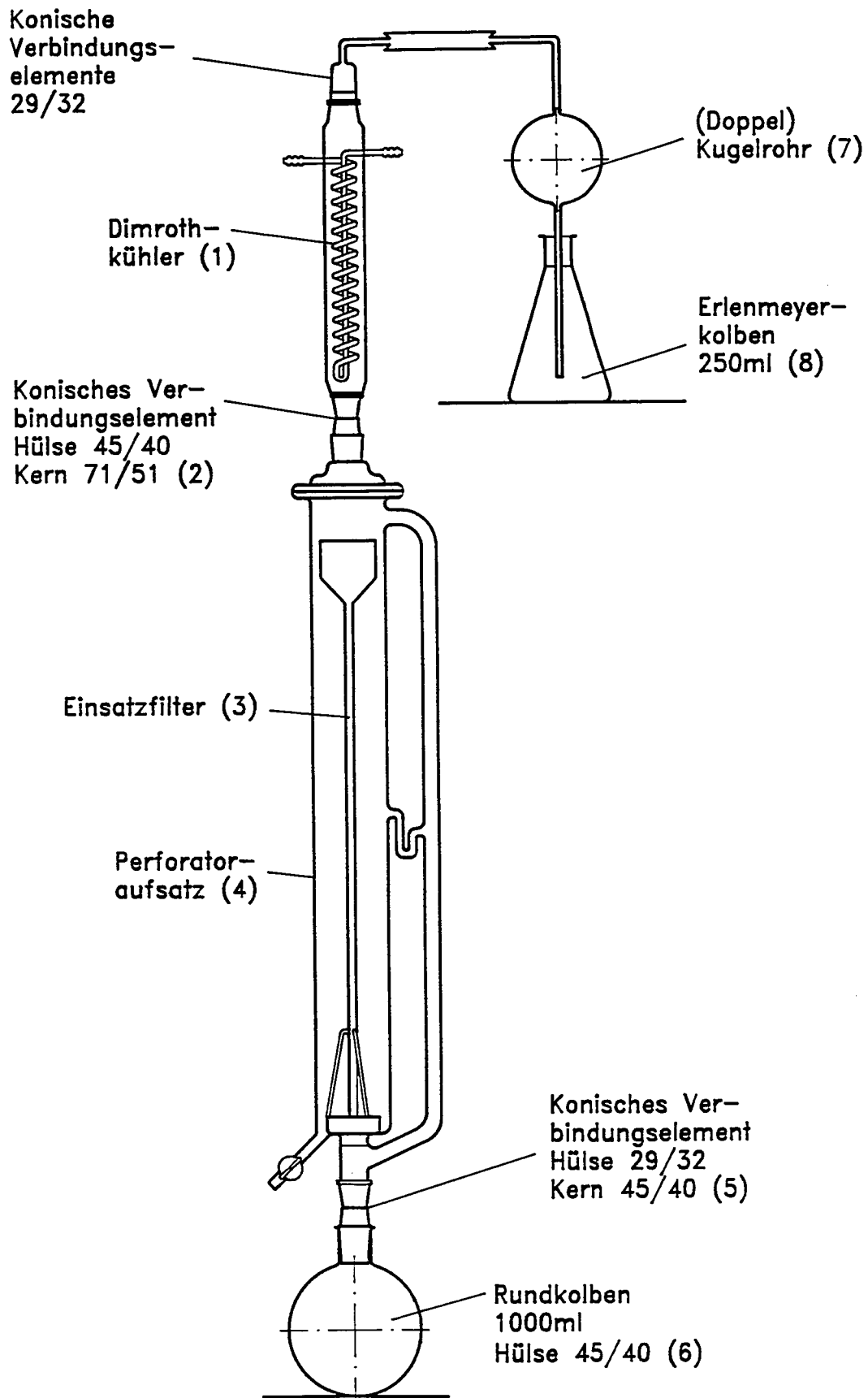


Bild 5: Übersichtsdarstellung des Extraktionsgeräts für die Perforatormethode EN 120

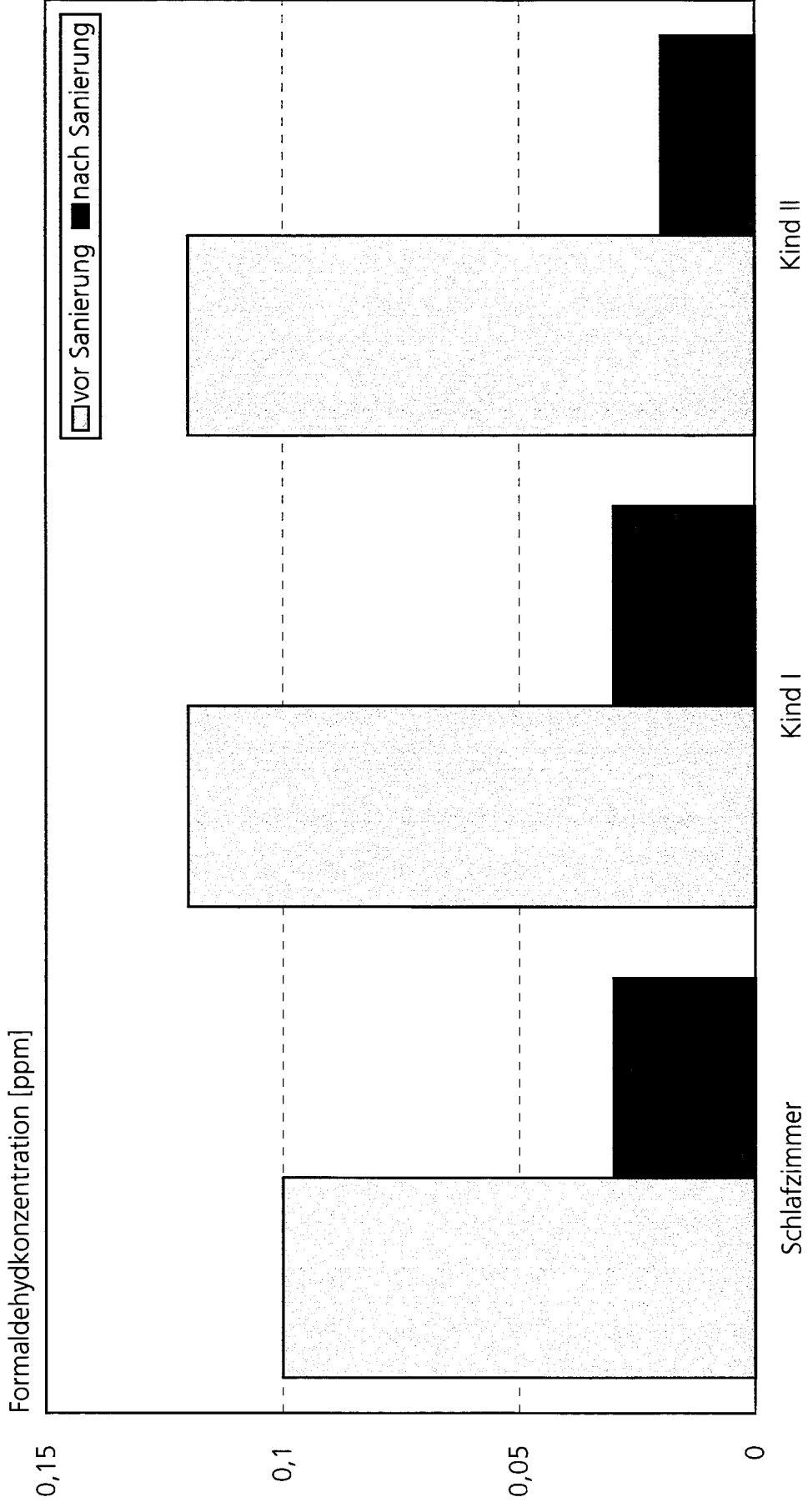


Bild 6: Formaldehydkonzentrationen in Räumen eines in Fertigbauweise erstellten Wohnhauses "Objekt 1" vor und nach der Sanierung durch Anstrich C

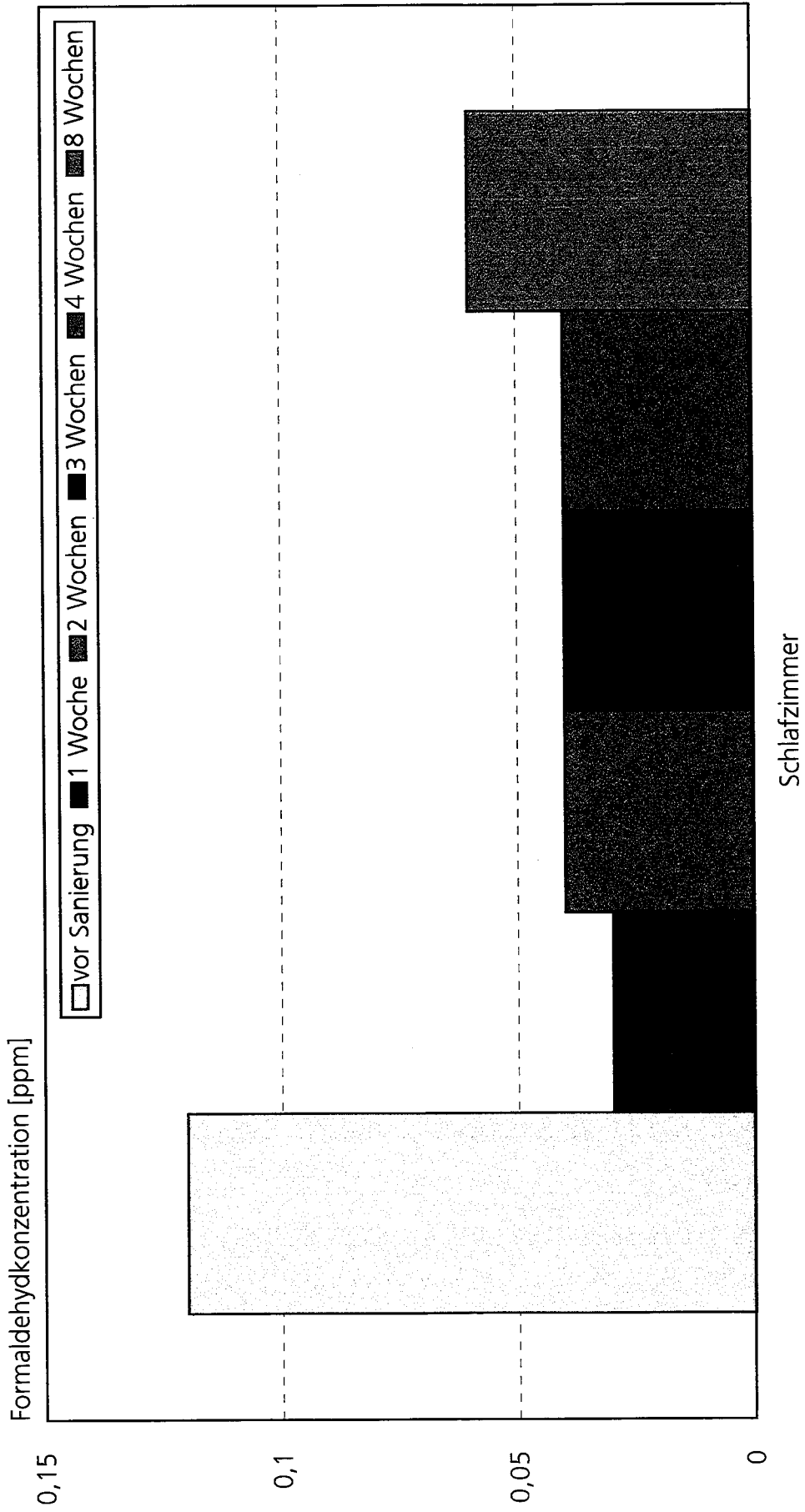


Bild 7: Formaldehydkonzentrationen in einem Raum eines in Fertigbauweise erstellten Wohnhauses "Objekt 2" vor und nach der Sanierung durch Anstrich C

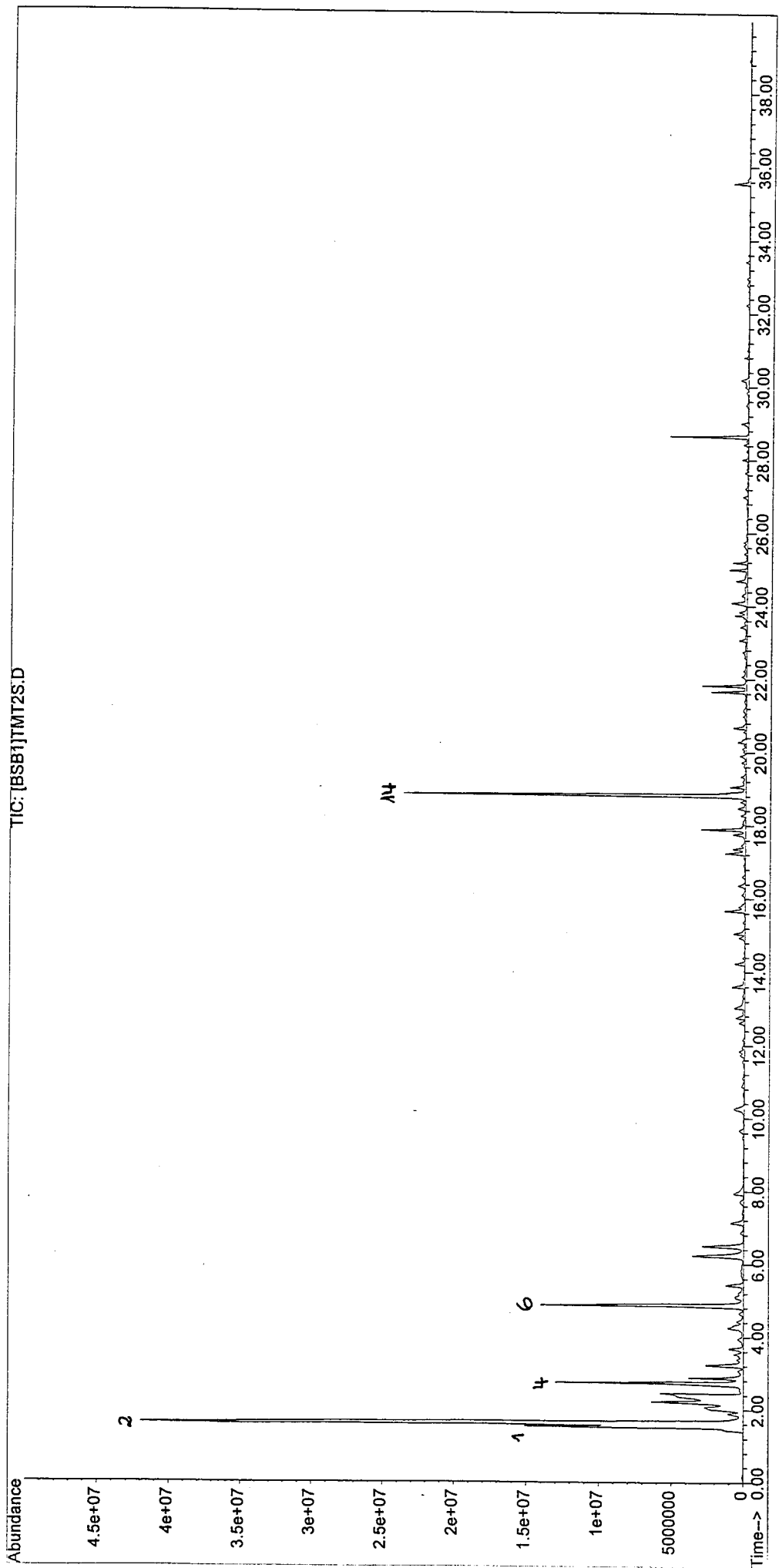


Bild 8: Totalionenchromatogramm der Raumluft des "Schlafzimmers" (Objekt 2) vor der Sanierung

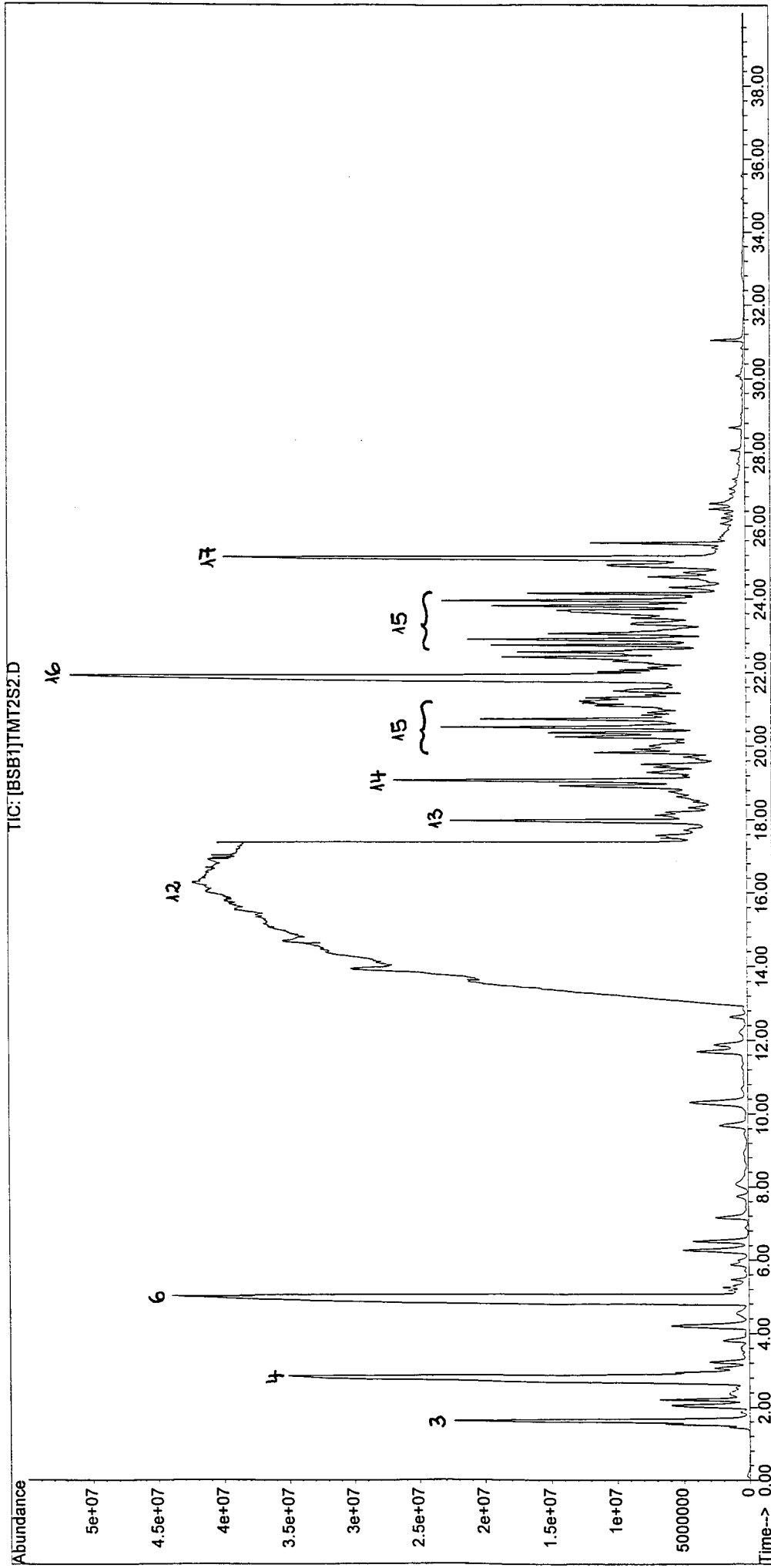


Bild 9: Totalionenchromatogramm der Raumluft des "Schlafzimmers" (Objekt 2) eine Woche nach der Sanierung

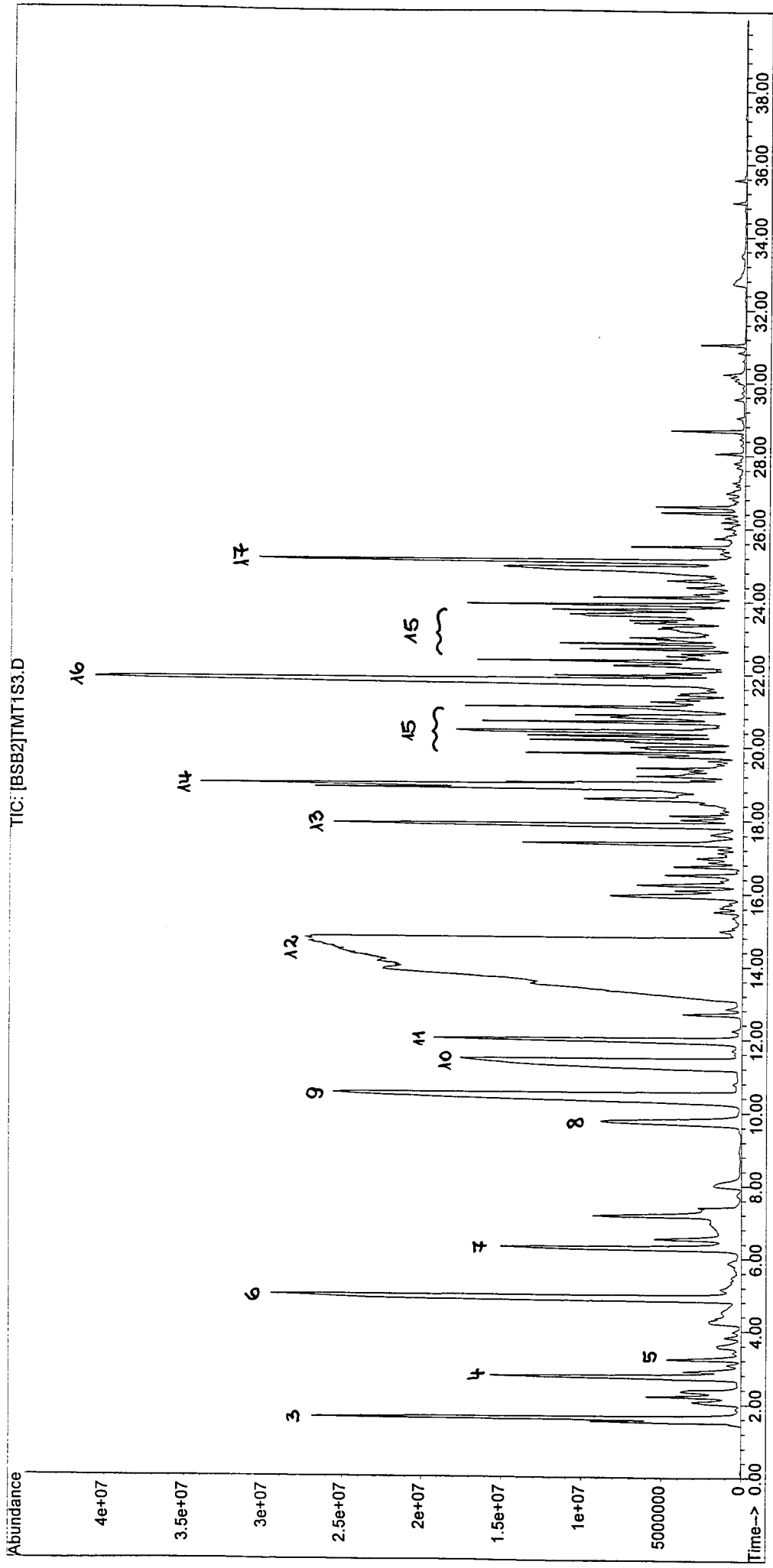


Bild 10: Totalionenchromatogramm der Raumluft des "Schlafzimmers" (Objekt 2) zwei Wochen nach der Sanierung

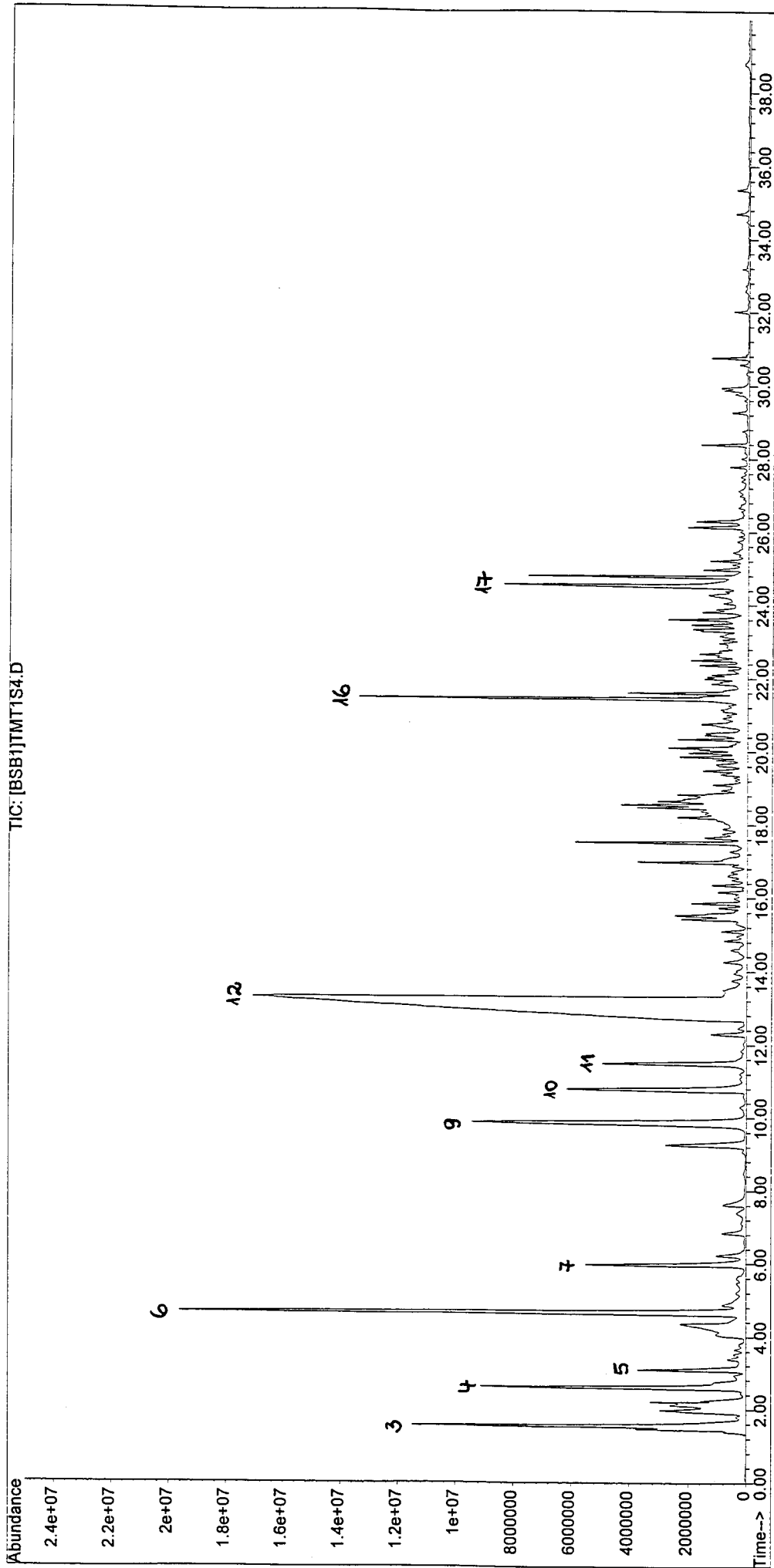


Bild 11: Totalionenchromatogramm der Raumluft des "Schlafzimmers" (Objekt 2) drei Wochen nach der Sanierung

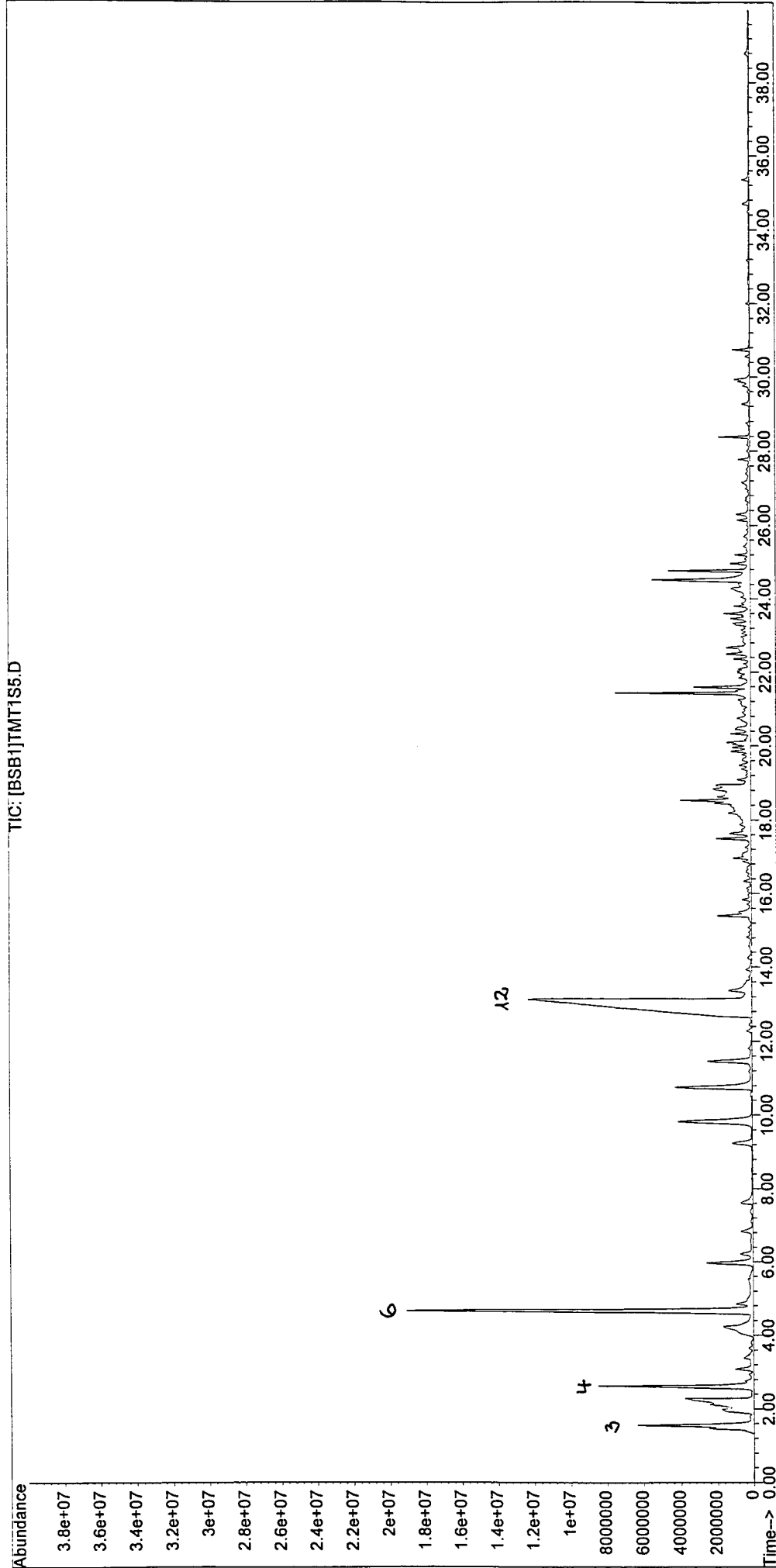


Bild 12: Totalionenchromatogramm der Raumluft des "Schlafzimmers" (Objekt 2) vier Wochen nach der Sanierung

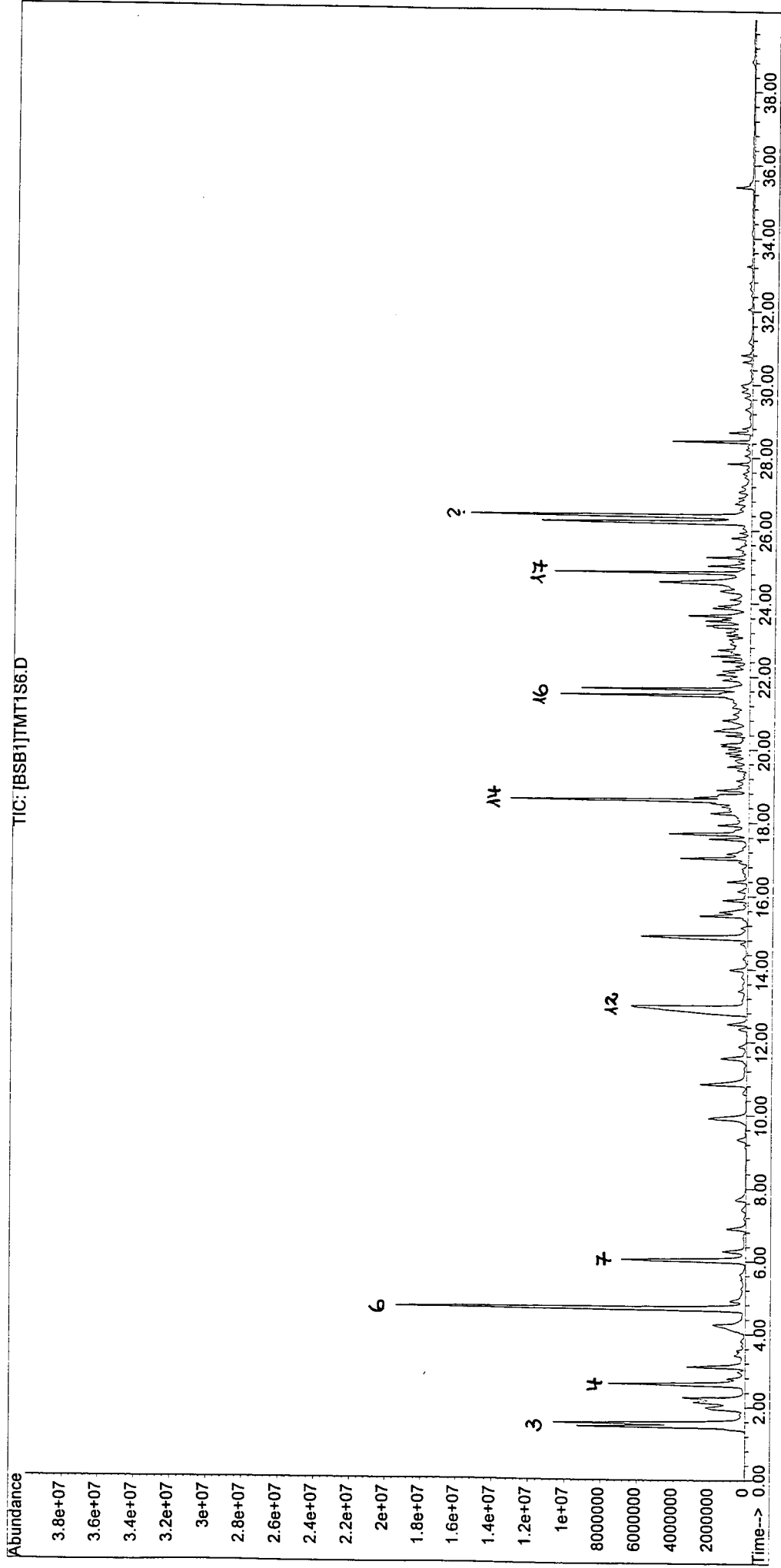


Bild 13: Totalionenchromatogramm der Raumluft des "Schlafzimmers" (Objekt 2) acht Wochen nach der Sanierung

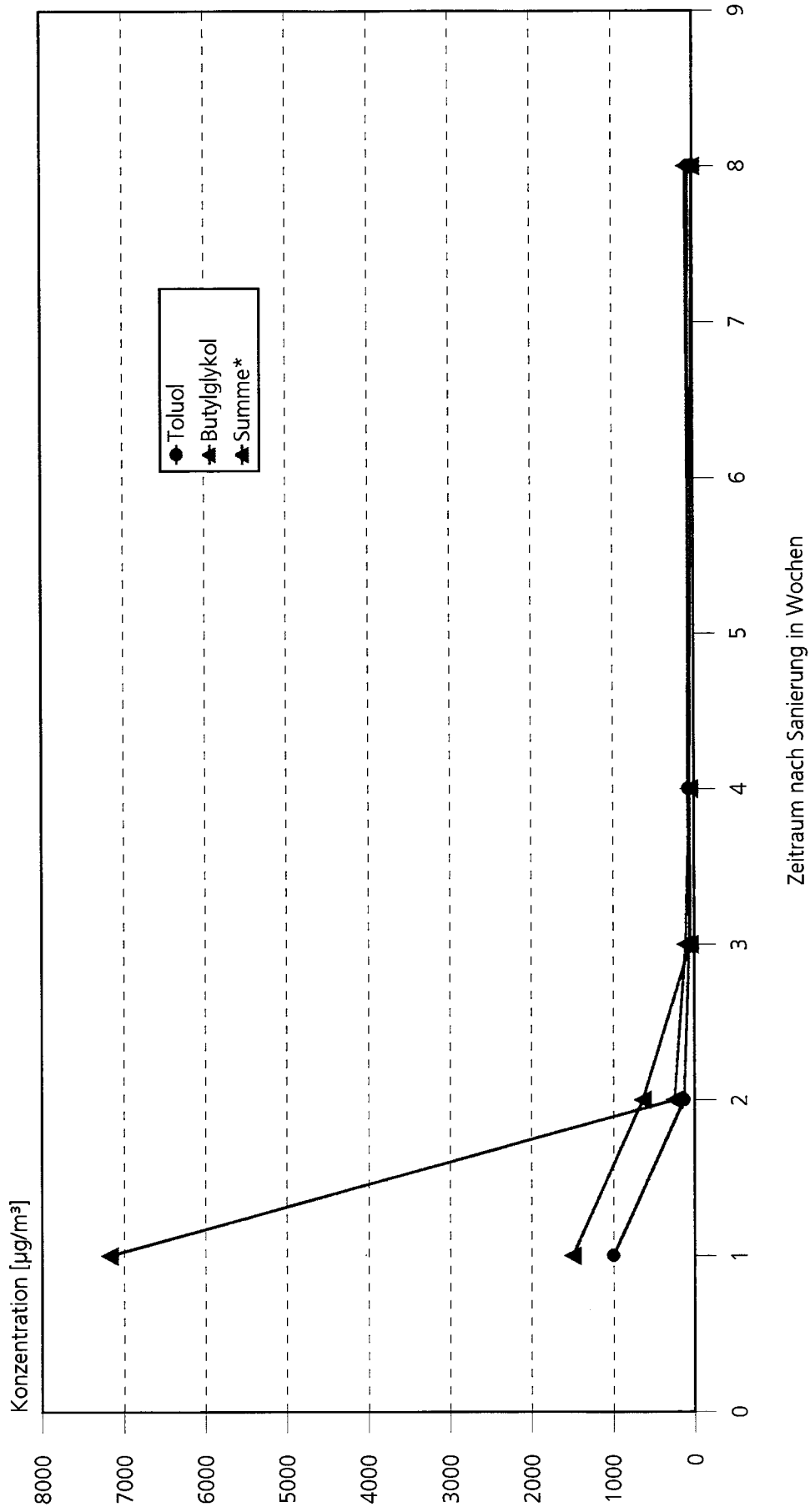


Bild 14: Verlauf der Konzentration an quantifizierten Hauptkomponenten in der Raumluft des "Schlafzimmers" - "Objekt 2" nach der Sanierung durch Anstrich C

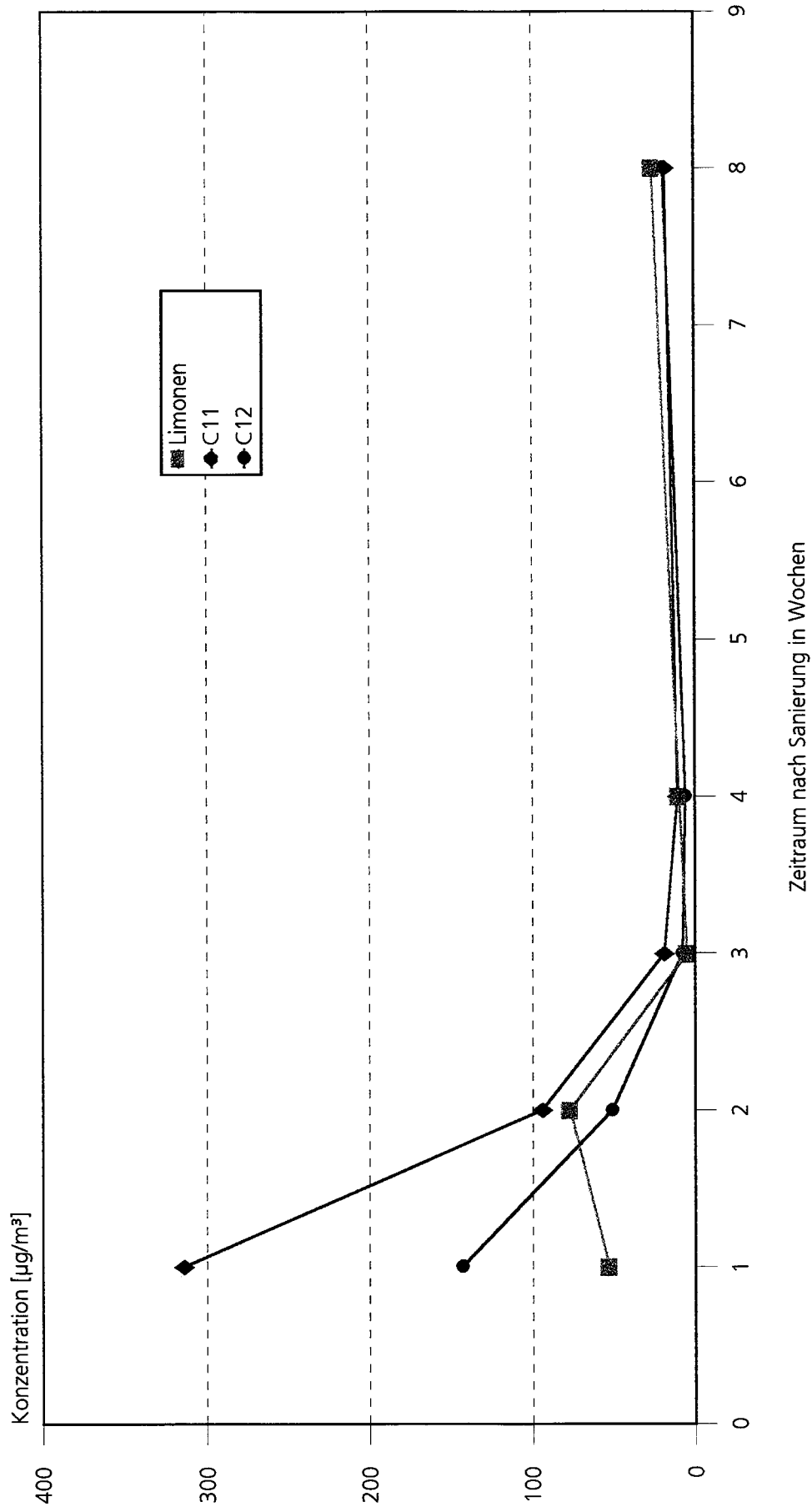


Bild 15: Verlauf der Konzentration an quantifizierten Hauptkomponenten in der Raumluft des "Schlafzimmers" - "Objekt 2" nach der Sanierung durch Anstrich C

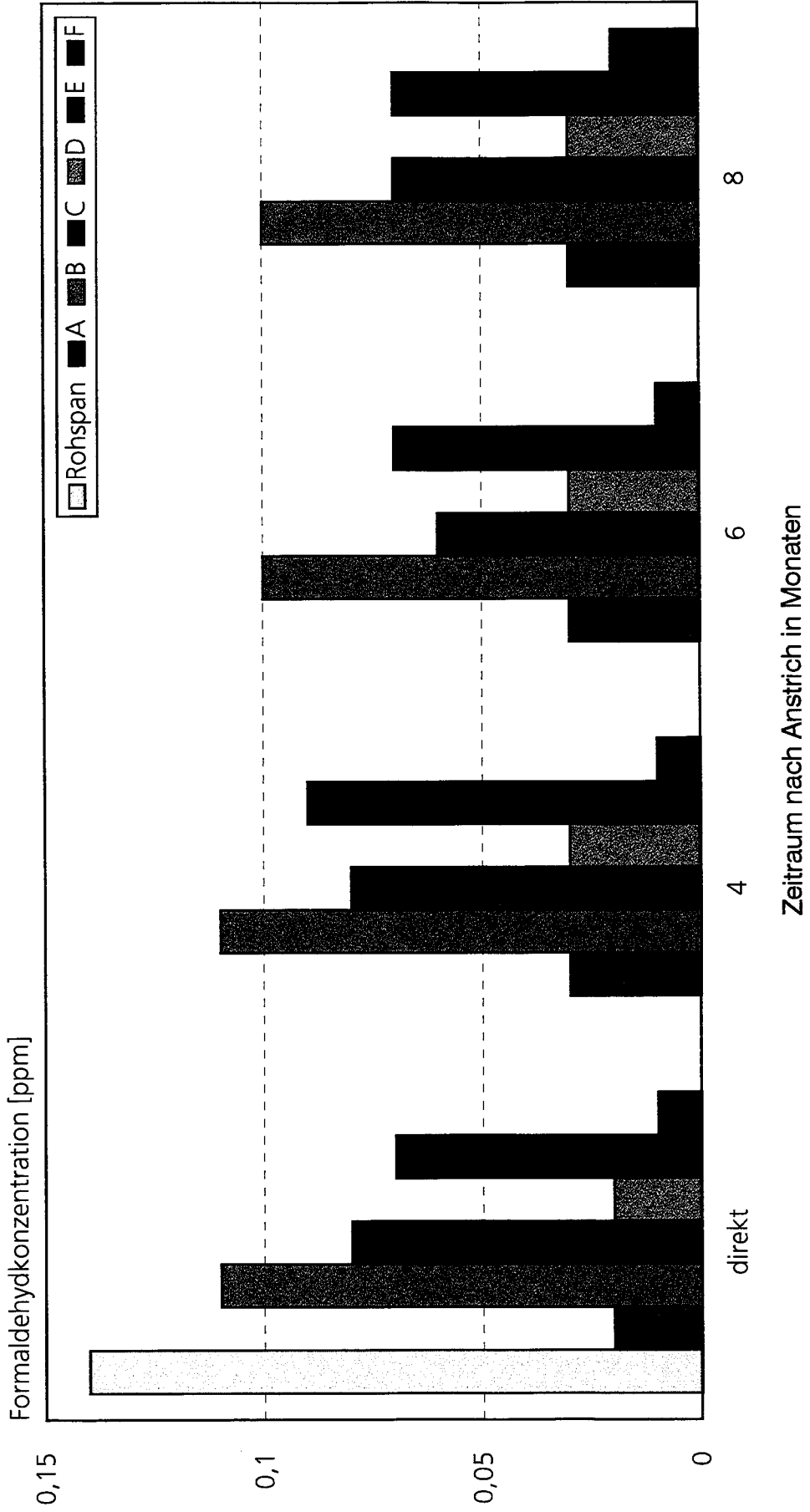


Bild 16: Formaldehydabgabe von Rohspanplatten nach Aufbringen von unterschiedlichen formaldehydmindernden Anstrichen gemessen in einer 1 m³-Glaskammer

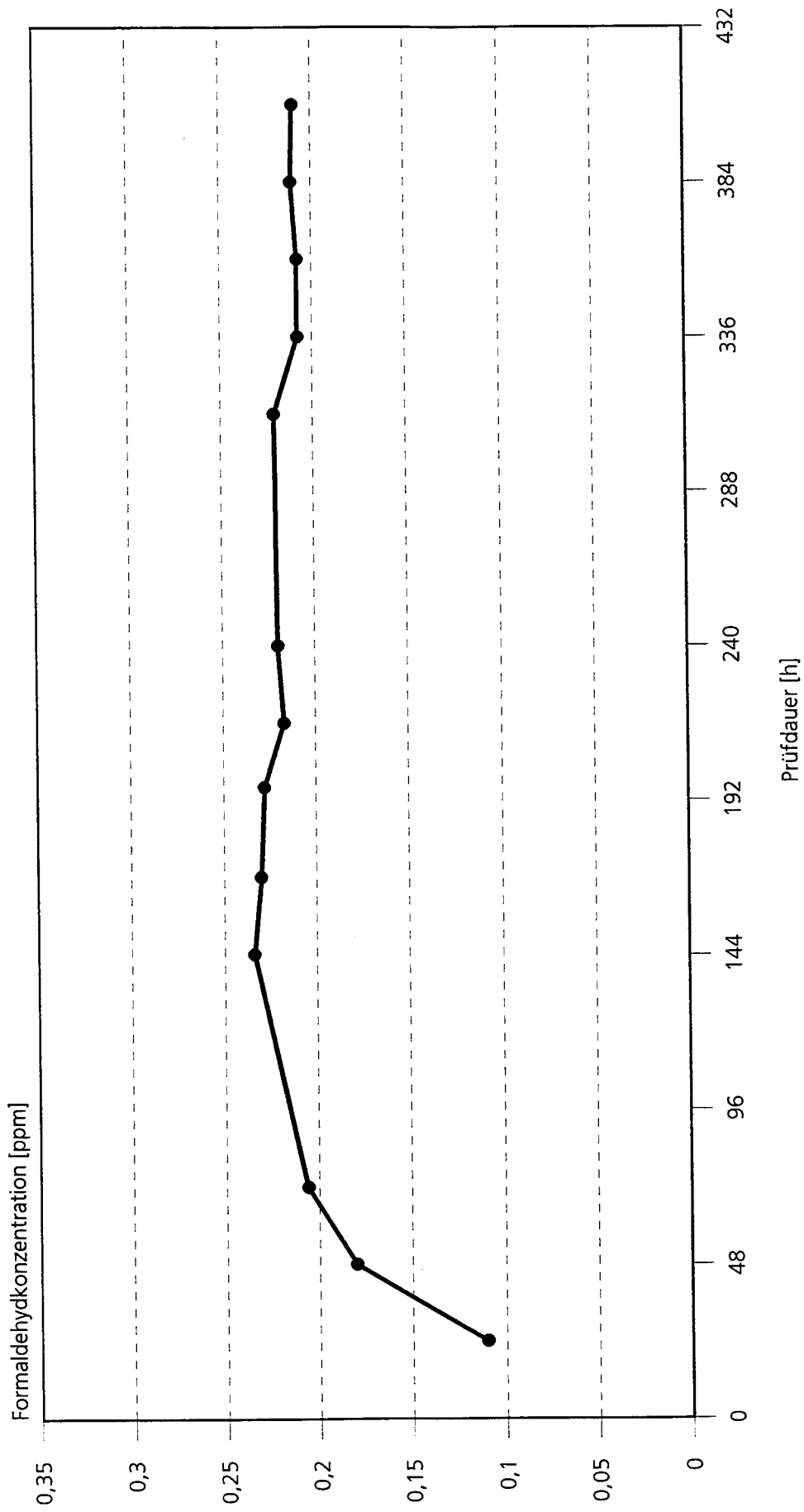


Bild 17: Verlauf der Formaldehydkonzentration von Spanplatten, ummantelt mit Gipskartonplatten
 Prüfung in der 1 m³-Glaskammer

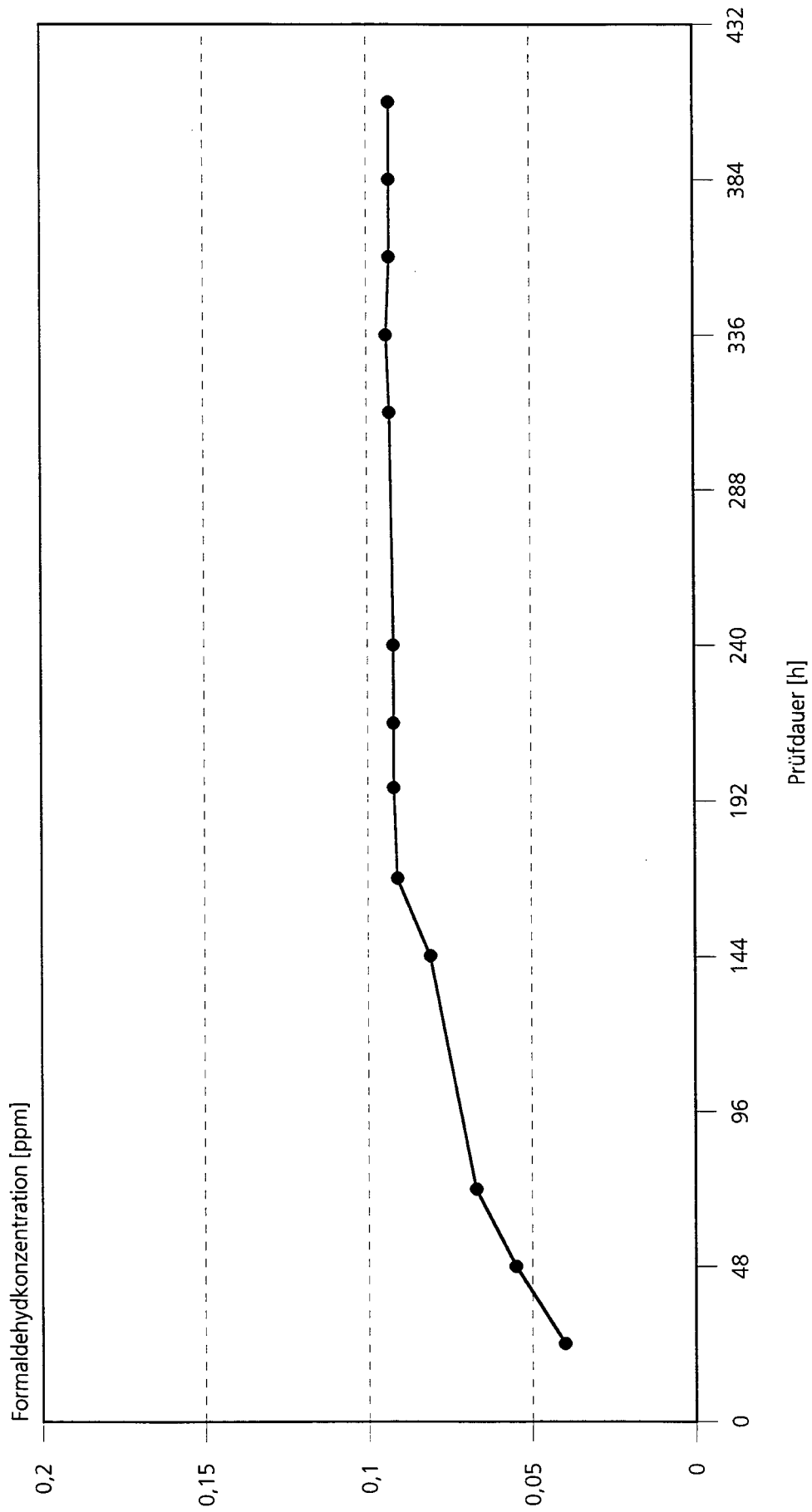


Bild 18: Verlauf der Formaldehydkonzentration von mit Anstrich C behandelten Spanplatten, ummantelt mit Gipskartonplatten
Prüfung in der 1 m³-Glaskammer

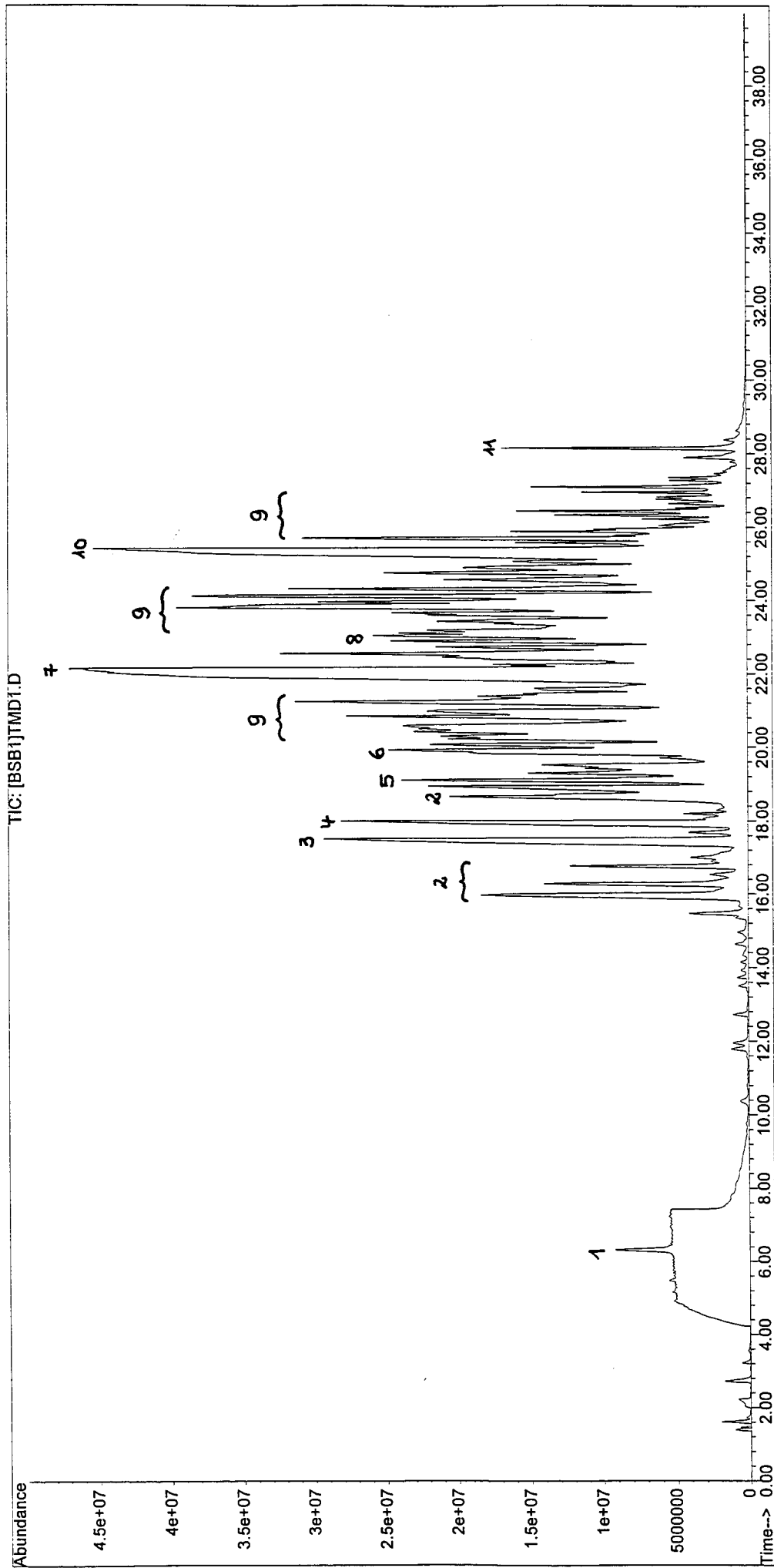


Bild 19: Totalionenchromatogramm der Prüfkammerluft - Untersuchung Anstrichsystem A

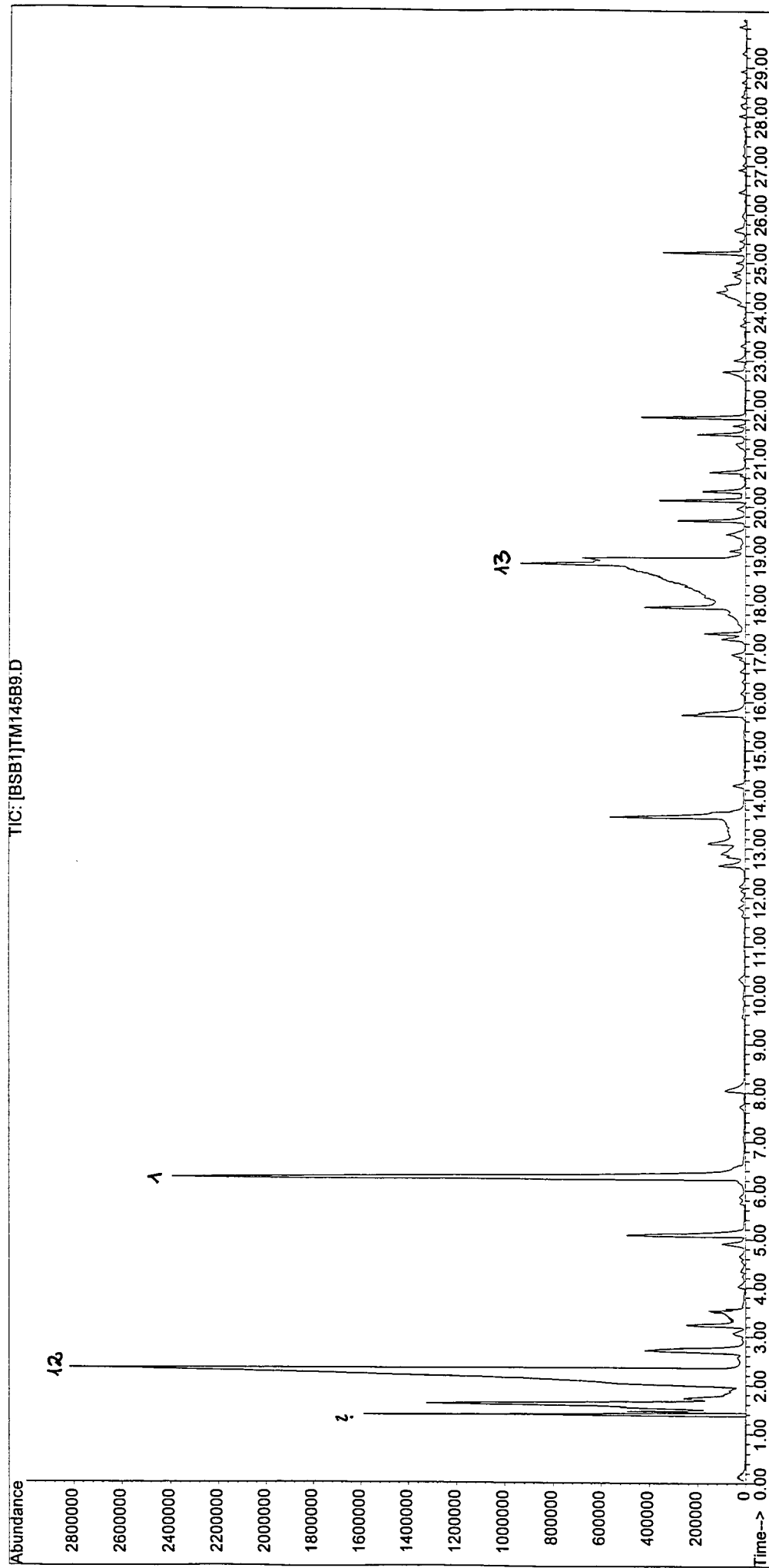


Bild 20: Totalionenchromatogramm der Prüfkammerluft - Untersuchung Anstrichsystem B

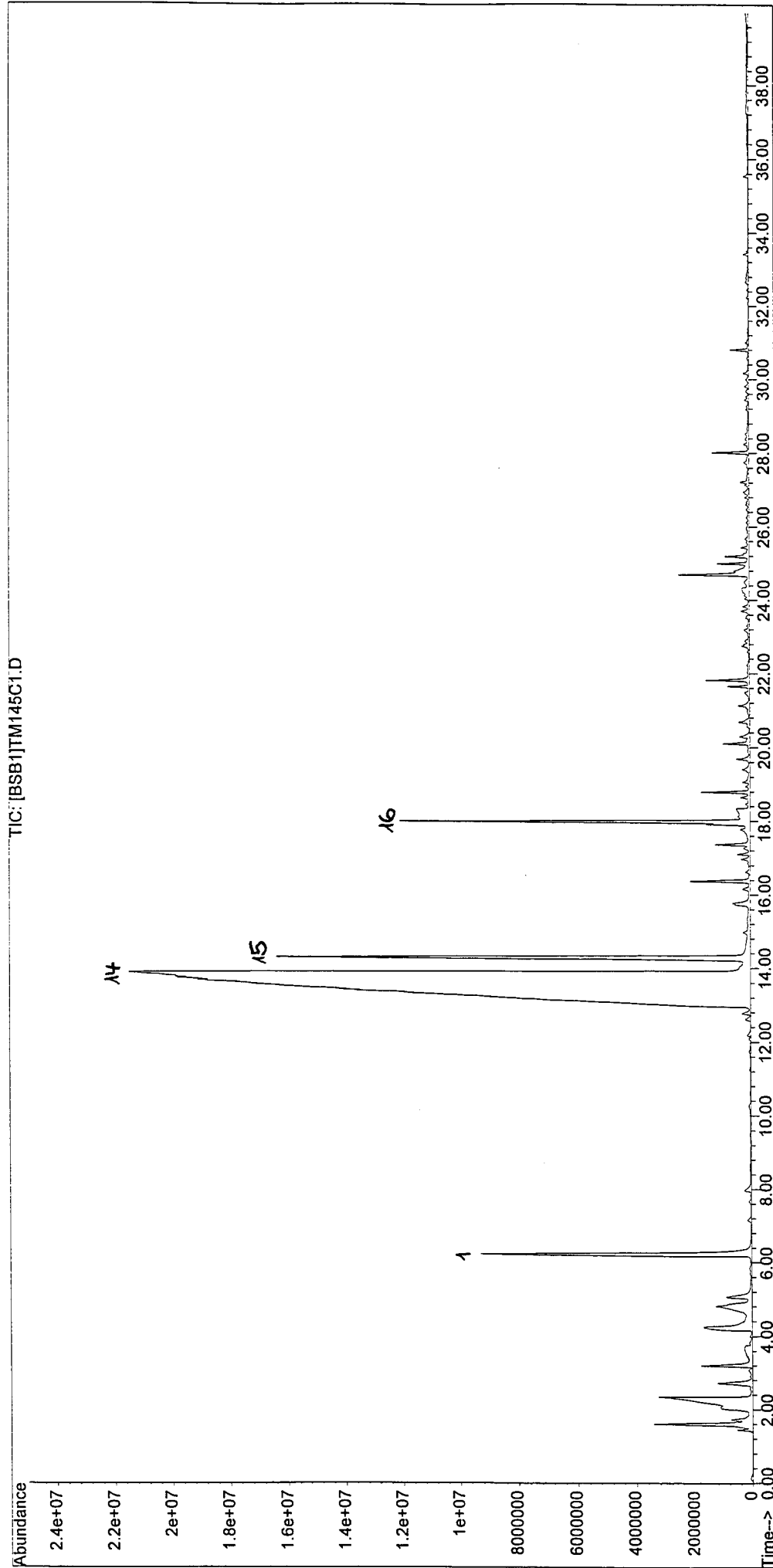


Bild 21: Totalionenchromatogramm der Prüfkammerluft - Untersuchung Anstrichsystem C

TIC: [BSB1]TM145D1.D

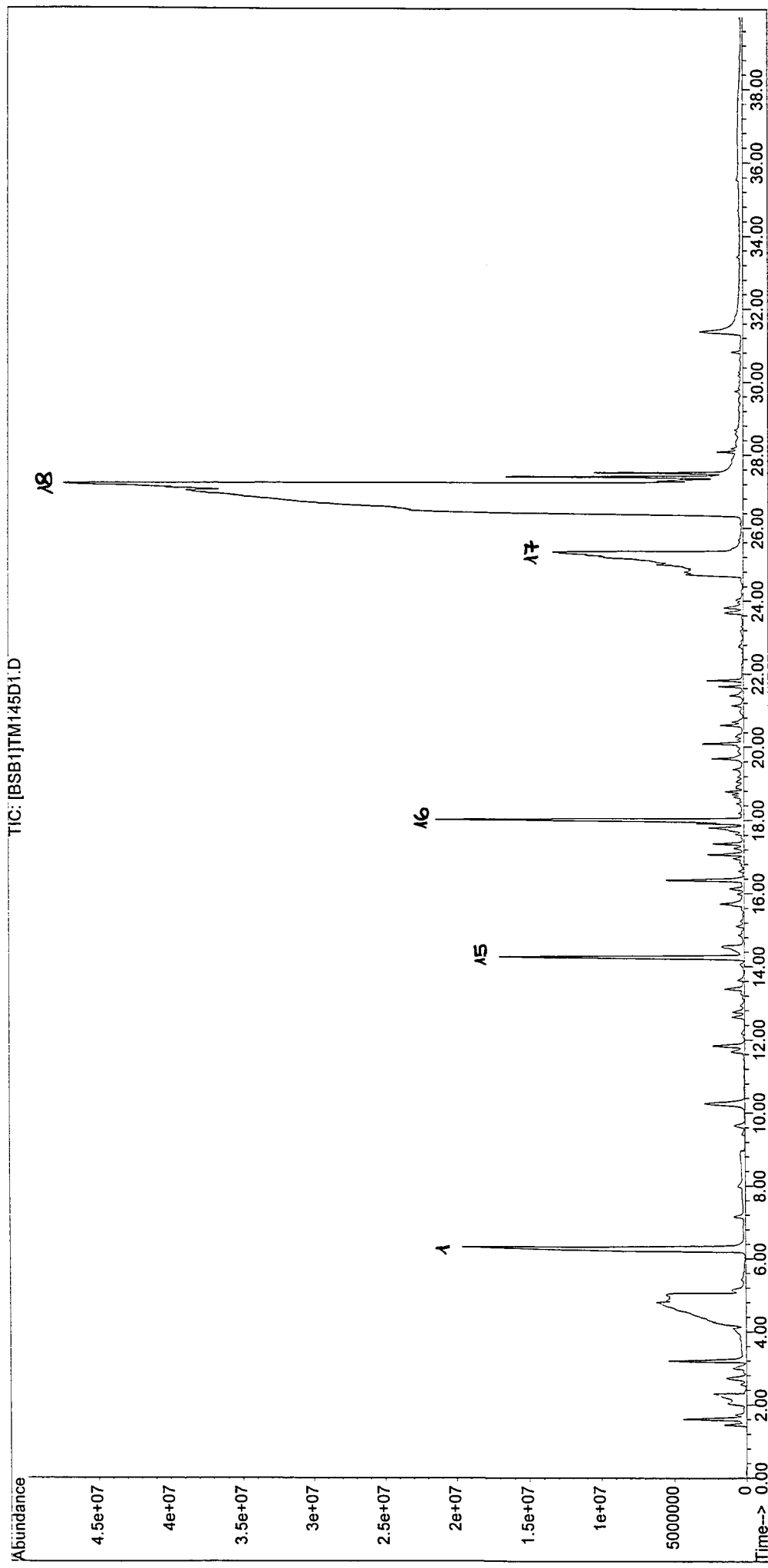


Bild 22: Totalionenchromatogramm der Prüfkammerluft - Untersuchung Anstrichsystem D

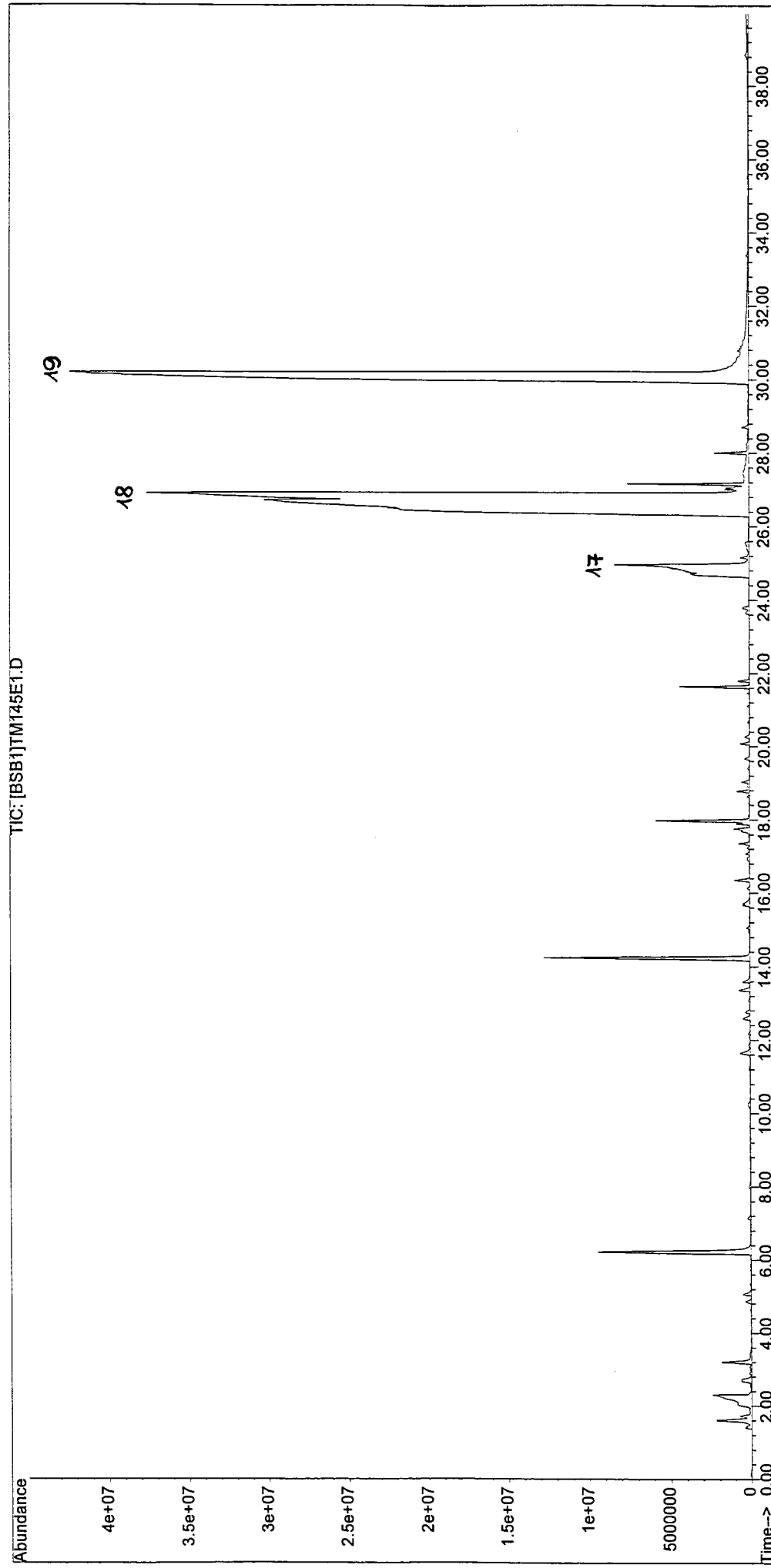


Bild 23: Totalionenchromatogramm der Prüfkammerluft - Untersuchung Anstrichsystem E

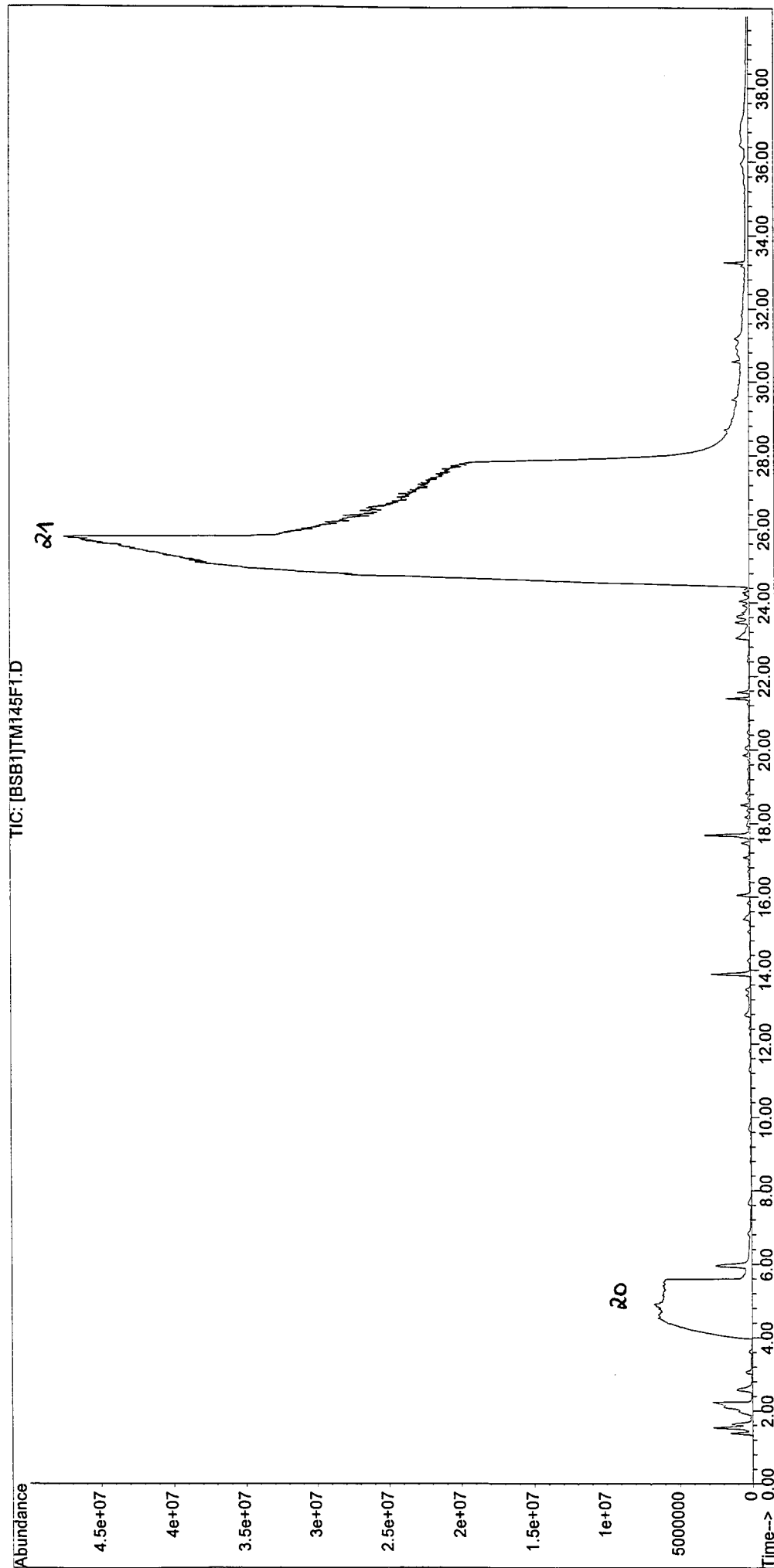


Bild 24: Totalionenchromatogramm der Prüfkammerluft - Untersuchung Anstrichsystem F

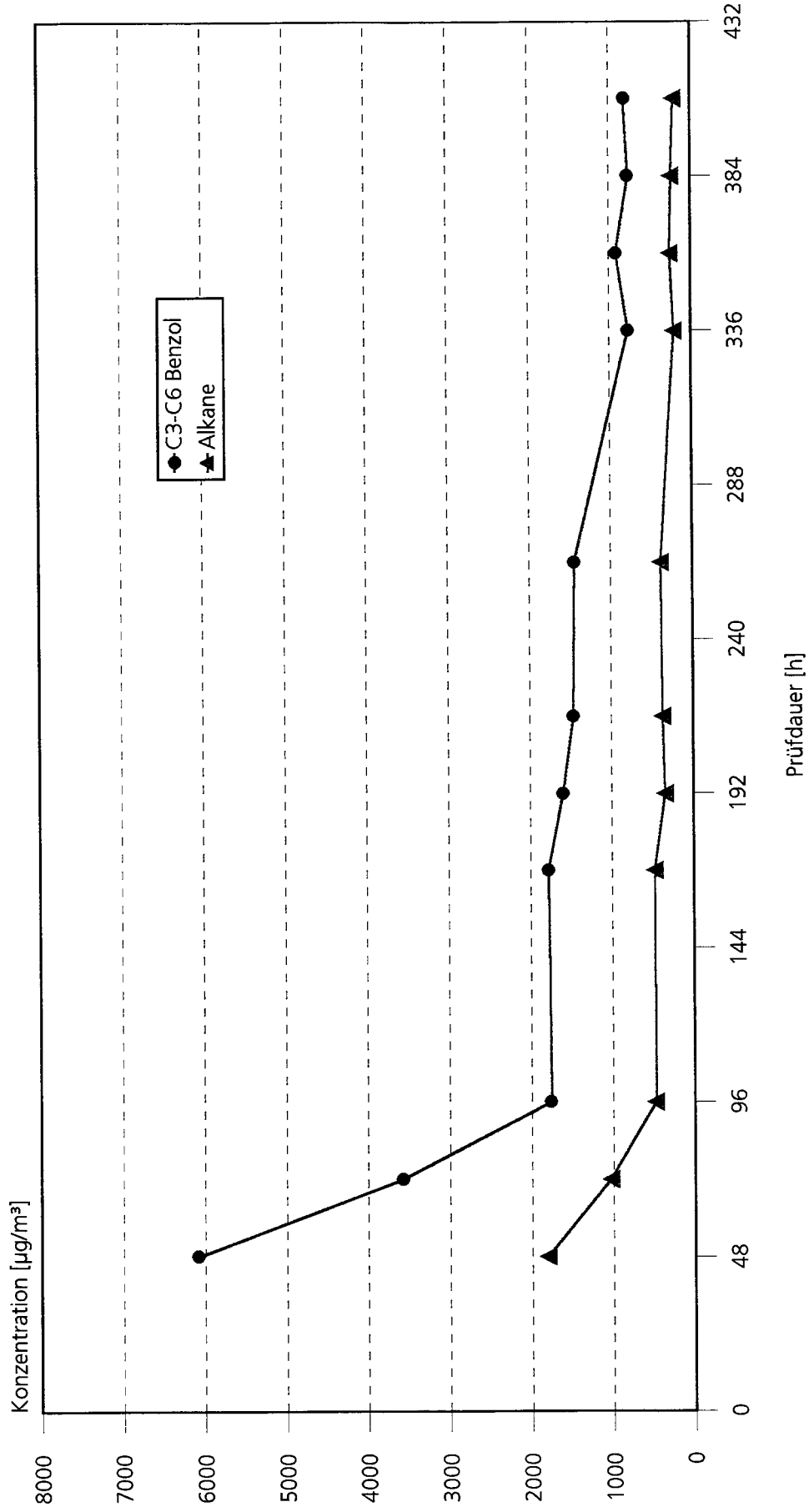


Bild 25: Konzentrationsverlauf der quantifizierten VOC
 Spanplatte mit Farbanstrich A
 Prüfung in der 1 m³ - Glaskammer

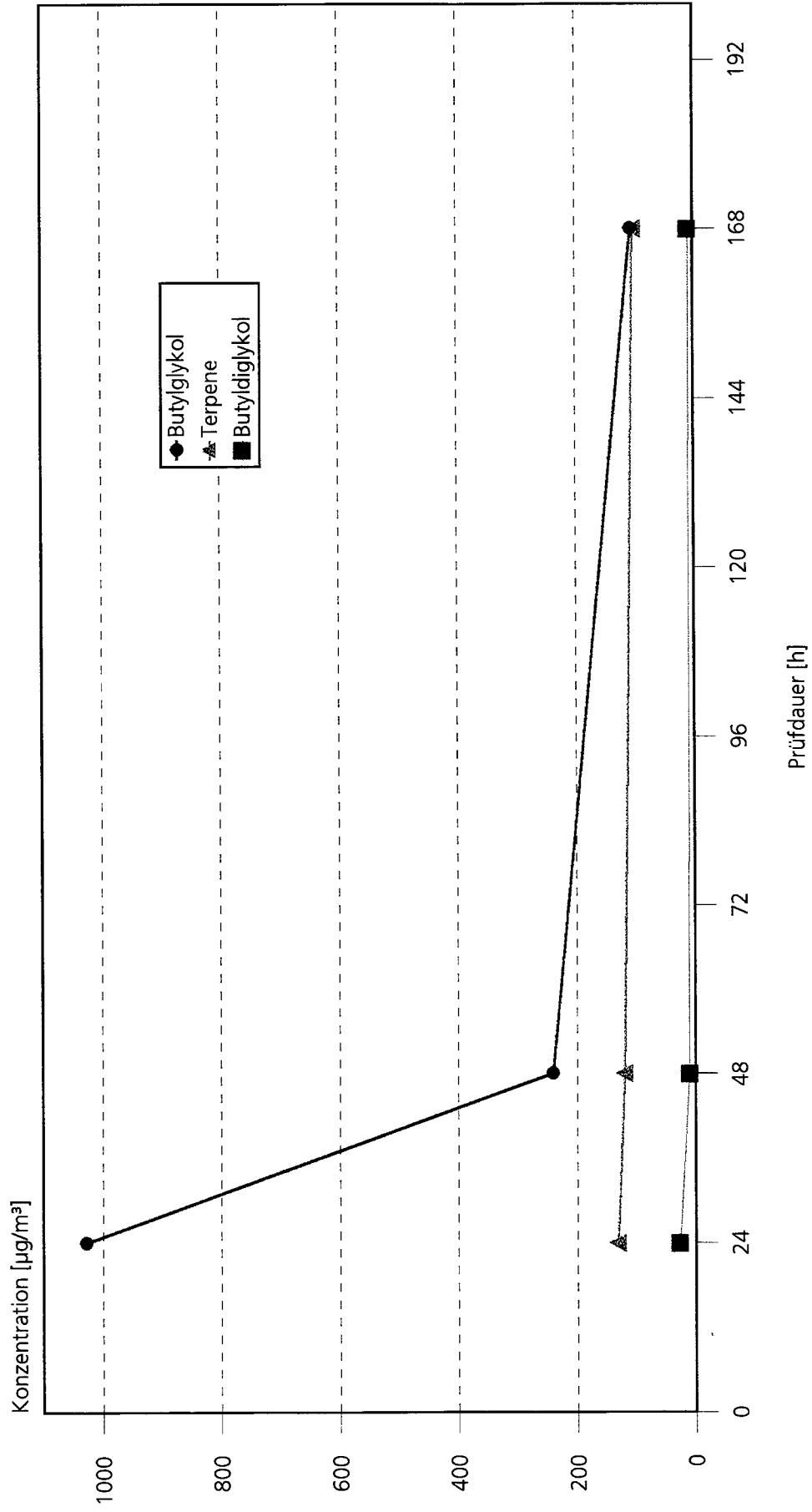


Bild 26: Konzentrationsverlauf der quantifizierten VOC
 Spanplatte mit Farbanstrich C
 Prüfung in der 1 m^3 - Glaskammer

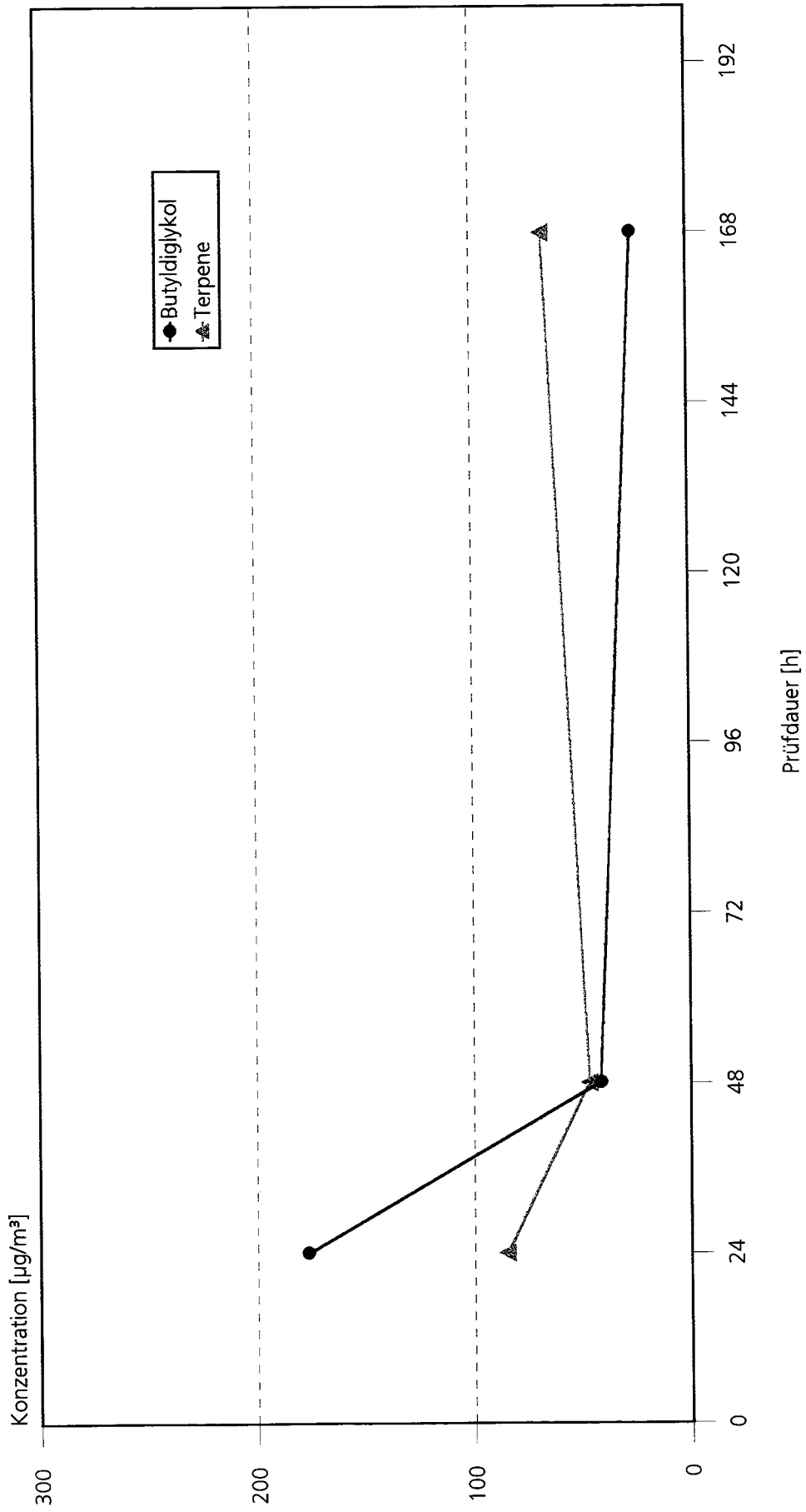


Bild 27: Konzentrationsverlauf der quantifizierten VOC
Spanplatte mit Farbanstrich D
Prüfung in der 1 m^3 - Glaskammer

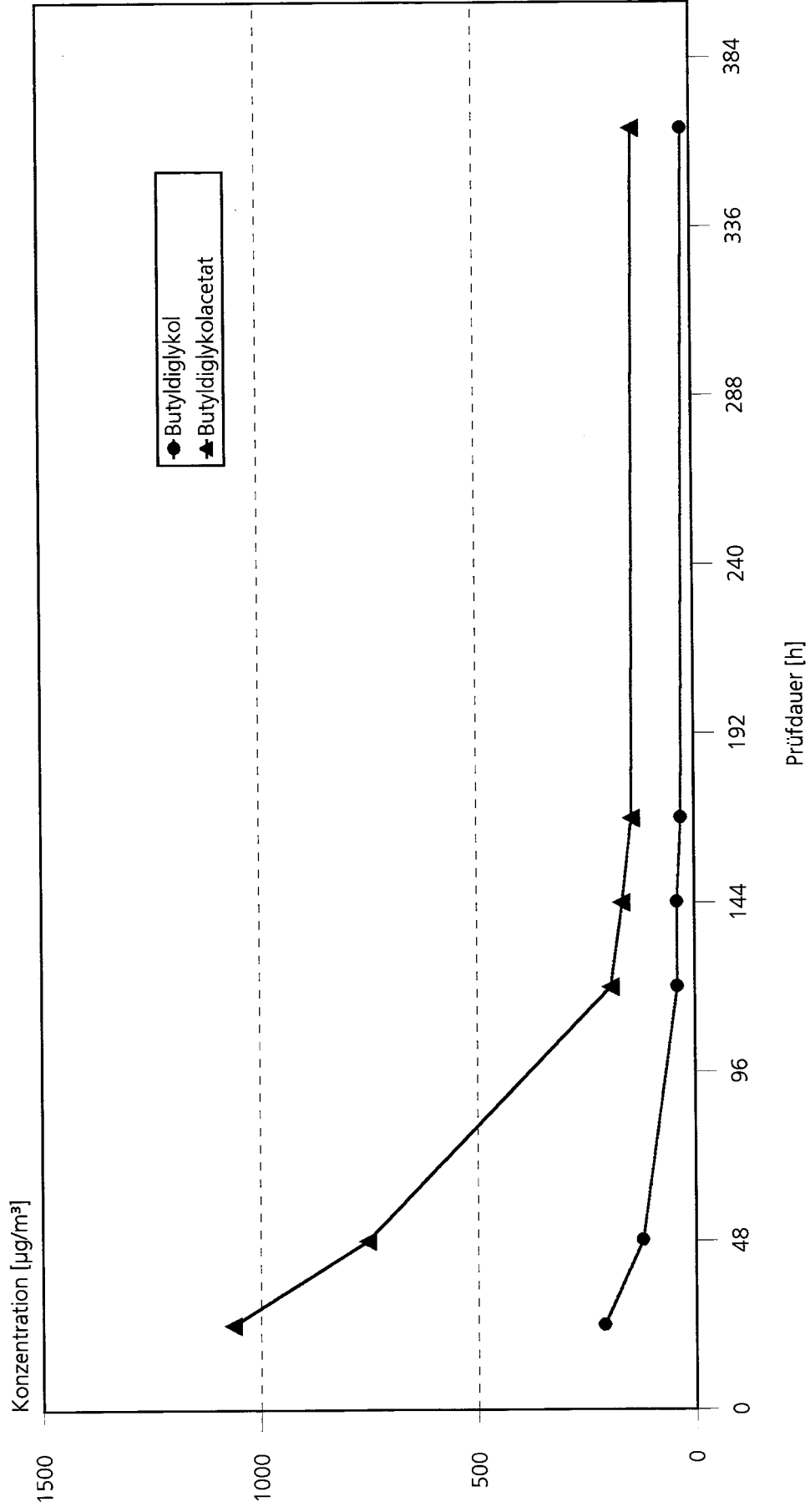


Bild 28: Konzentrationsverlauf der quantifizierten VOC
 Spanplatte mit Farbanstrich E
 Prüfung in der 1 m³ - Glaskammer

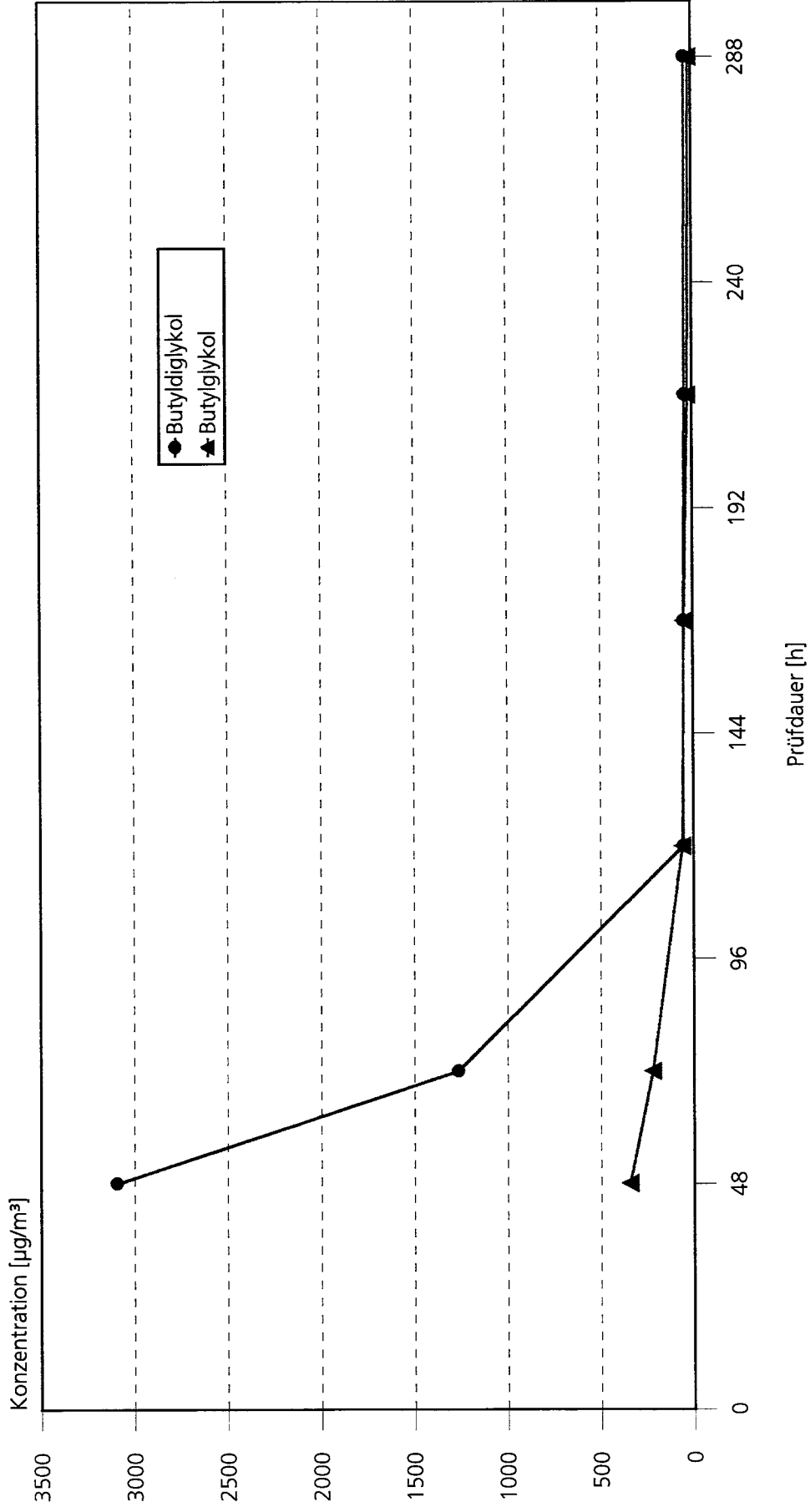


Bild 29: Konzentrationsverlauf der quantifizierten VOC
 Spanplatte mit Farbanstrich F
 Prüfung in der 1 m^3 - Glaskammer