Museumsvitrinen: VOC-Probenahme aktiv oder passiv bei extrem niedrigen Luftwechselraten!

Wolfgang Horn, Thomas Niemeyer und Oliver Hahn, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Kunst- und Kulturgutanalyse

Vitrinen gehören zu den wichtigsten Elementen der musealen Präsentation und erfüllen weit mehr als eine reine Ausstellungsfunktion. Sie dienen dem Schutz, der Konservierung und der ansprechenden Präsentation von Kulturgütern. Unter modernen konservatorischen Gesichtspunkten wird dabei zunehmend auf die Schadstoffarmut der Vitrinen geachtet, da ungeeignete Materialien langfristig erhebliche Schäden an den ausgestellten Objekten verursachen können. (Chiantore, 2021; Schieweck, 2014)

Moderne Museumsvitrinen sollen ein möglichst stabiles und kontrolliertes Mikroklima schaffen. Sie schützen die Sammlungsobjekte vor Staub, Berührung, Diebstahl, Vandalismus sowie vor schädlichen Umwelteinflüssen wie Temperaturschwankungen oder Luftfeuchtigkeit. Gleichzeitig ermöglichen sie den Besucherinnen und Besuchern eine optimale Betrachtung der Exponate. Die Vitrine bildet somit die Schnittstelle zwischen den konservatorischen Anforderungen der Objekterhaltung und den gestalterischen Anforderungen einer Ausstellung.

Moderne Vitrinenkonzepte versuchen durch die Verwendung entsprechender Materialien Schadstoffemissionen zu vermeiden. Viele herkömmliche Werkstoffe, insbesondere Holzwerkstoffe, Klebstoffe, Lacke, Dichtungsmaterialien oder Beschichtungen, können flüchtige organische Verbindungen (VOC), Formaldehyd, organische Säuren oder andere korrosive Stoffe freisetzen. Diese Emissionen können zu Verfärbungen, Korrosionen, Materialabbau oder Oberflächenschäden an empfindlichen Exponaten führen.

Im aktuellen Vitrinenbau wird zumeist eine hohe Schadstoffarmut gefordert, weshalb heute bevorzugt emissionsgeprüfte Materialien eingesetzt werden. Materialien wie pulverbeschichtete Metalle oder Glas sind eher unkritisch, was Emissionen betrifft. Für die weiteren Materialien ist dann eine Prüfung nach anerkannten konservatorischen Testverfahren nötig, beispielsweise dem Oddy-Test oder der Prüfung nach BEMMA, mit denen viele potenziell schädliche Ausgasungen identifiziert werden können. (Thickett, 1996; Schieweck, 2014; Horn, 2019; Teterault, 2021; Krautheimer, 2024)

Neben der Materialauswahl spielt auch die Konstruktion der Vitrine eine wichtige Rolle. Moderne Vitrinen verfügen über eine hohe Luftdichtigkeit, wodurch der Eintrag von Schadstoffen aus der Umgebungsluft reduziert, und eine gute Klimakonstanz erreicht wird.

Horn, Wolfgang; Niemeyer, Thomas; Hahn, Oliver (2026): Museumsvitrinen: VOC-Probenahme aktiv oder passiv bei extrem niedrigen Luftwechselraten!. Beitrag zum 14. Fachkongress 2026, Bremen, 25.09.2026. Hrsg. AGÖF. https://www.agoef.de/veranstaltungen/fachkongresse/14-fachkongress-2026/museumsvitrinen-voc-probenahme-aktiv-oder-passiv-bei-extrem-niedrigen-luftwechselraten
Beitrag zum 14. AGÖF-Fachkongress am 24. und 25. September 2026 in Bremen
„Umwelt, Gebäude & Gesundheit: Gerüche, Asbest, PCB und weitere SVOC“

Dies wird zumeist durch spezielle Silikagelpakete unterstützt, die für unterschiedliche relative Luftfeuchtigkeiten angeboten werden. Gleichzeitig können Sorptionsmaterialien, wie Aktivkohle oder spezielle Schadstoffabsorber, unerwünschte Emissionen innerhalb der Vitrine binden. Dadurch wird ein stabiles Innenraumklima geschaffen, das den langfristigen Erhalt der Objekte unterstützt. (Schieweck, 2020; Eggert, 2022) Das Einbringen solcher Materialien erhöht aber nicht unwesentlich den Aufwand beim Betrieb der Vitrinen.

Diese hohe Dichtigkeit, gefordert ist häufig eine Luftwechselrate von 0,1 pro Tag (entspricht ca. 0,005 pro Stunde), stellt hohe Anforderungen an die Bau- und Dekorationsmaterialien. Unter diesen Bedingungen können sich Fremd- und Schadstoffe in den Vitrinen aufkonzentrieren. Diese sind aber meist unerwünscht und können ein erhebliches Risiko für empfindliche Kulturgüter darstellen. Bekannt sind nicht zuletzt organische Säuren wie Essigsäure, die zu Korrosionsprozessen und salzhaltigen Ausblühungen an Metallen, Gläsern und kalkhaltigen Materialien führen können. Sehr zu empfehlen ist vor dem Verschließen einer Vitrine, diese möglichst lange geöffnet stehen zu lassen. So können die verwendeten Baumaterialien gut auslüften und somit ihr Emissionspotential verringern. Allerdings erschweren knappe Zeitpläne bis zu einer Ausstellungseröffnung, das frühzeitige Einbringen des Ausstellungsgutes in die Vitrinen sowie komplexe logistische Gegebenheiten bei der Einrichtung eines Museums das vorzeitige Ablüften.

Diese Dichtigkeitsanforderungen sind vor allem für die Probenahme aus Vitrinen von hoher Bedeutung. Probenahmen finden z. B. für „Freimessungen“ nach der Neubeschaffung von Vitrinen oder bei der Analyse von Schädigungen von Ausstellungsgut in solchen Vitrinen statt. Durch die hohe Dichtigkeit der Vitrinen dauert es länger als einen Monat, bis sich eine Art Gleichgewichtskonzentration ausbildet. Dieser Zusammenhang ist in der Abbildung 1 zu sehen, weitere Einflüsse wie Senkeneffekte, Polaritäten etc. wurden nicht berücksichtigt, um den grundsätzlichen Verlauf zu dokumentieren.

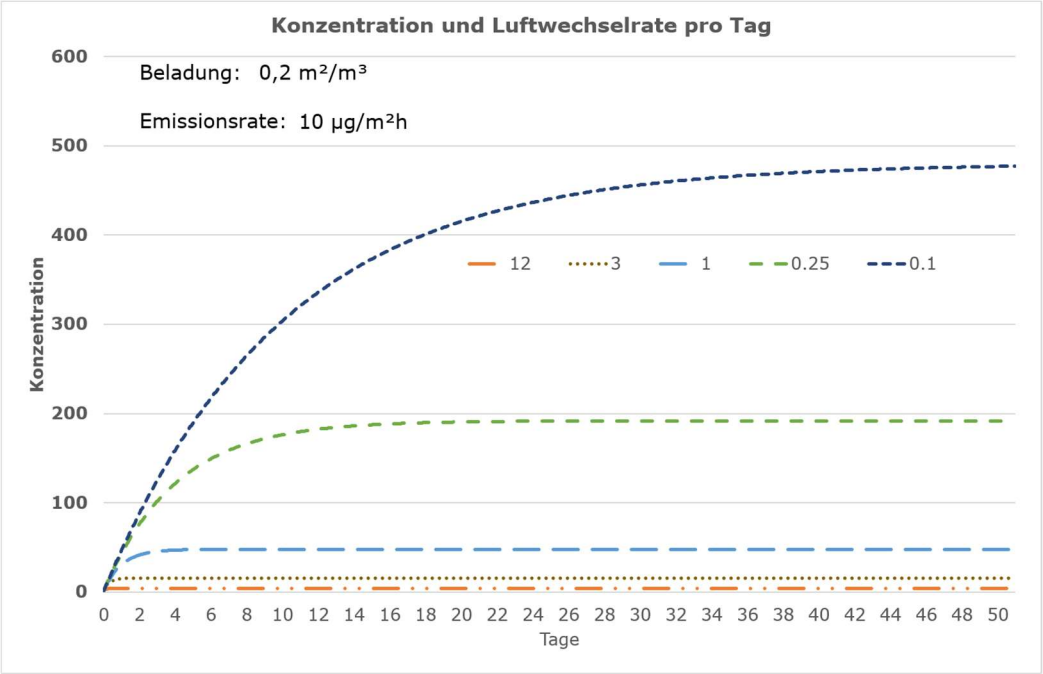


Abbildung 1:Simulierte Konzentrationen in der Vitrine in Abhängigkeit vom Luftwechsel und der Zeit.

Die dargestellten Kurven basieren auf folgender Gleichung:

$$C_t = \frac{SER_A \times L}{n} \times (1 - e^{-nt})$$

C t Konzentration zur Zeit t in µg/m³
SERa Flächenspezifische Emissionrate in µg/(m²*h)
n Luftwechsel pro Stunde
t Zeit in Stunden
L Beladung in m²/m³

Zu erkennen ist, dass bei den geforderten, geringen Luftwechselraten von 0,1 pro Tag erst nach mehreren Wochen die Gleichgewichtskonzentration erreicht wird. Bei einer geringen flächenspezifischen Emissionsrate von z. B. 10 µg/(m²*h) und einer Beladung von 0,2 m²/m³ kann sich nach ca. 4 Wochen eine Konzentration in der Vitrine von über 400 µg/m³ aufbauen. Wie schon beschrieben, blieben weitere Einflussparameter unberücksichtigt. Die grundsätzliche Tendenz der eher theoretischen Berechnung wurde von Thickett bereits messtechnisch belegt (Thickett, 2007). Weiterhin gilt bei Freimessungen zu bedenken, dass die Konzentrationen in der Umgebung neben dem Ausstellungsgut auch mit eingeschlossen und relativ gut konserviert wird. Wünschenswert wäre es, wenn auch dieser Verschluss unter möglichst emissionsarmen Bedingungen stattfindet. Nach der Freimessung kommt es sonst immer zu Diskussionen über den Ursprung gefundener Verunreinigungen.

Eine korrekte Probenahme soll den Innenraum möglichst wenig beeinflussen. Dafür sollte ein Probenahmeport für die Entnahme von Luft-Proben an der Vitrine existieren. Die Abbildung 2 zeigt den grundsätzlichen Aufbau einer Vitrine mit Vitrinensockel, in dem meist die Technik und ein Klimafach untergebracht ist.

Darüber befindet sich der Präsentationsraum. Wenn bei der Planung eine mögliche Probenahme gleich berücksichtigt wurde, befindet sich hier auch ein Probenahmeport, wie in der Abbildung 3 zu sehen ist. Die Vereinheitlichung auf 1/4 Zoll durchbohrte Anschlüsse ermöglichte eine universelle Verwendung der meisten Probenahmesysteme, die heute auf dem Markt sind.

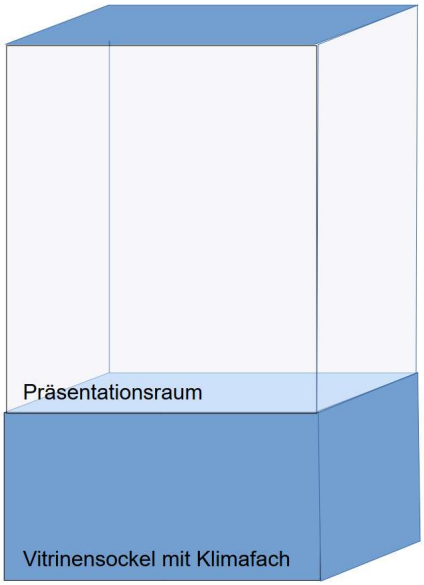


Abb. 2: Vitrine mit Technikfach unterhalb des Präsentationsraumes



Abb. 3: Probenahmeports im Technik- oder Klimafach

Bei der Probenahme muss außerdem das Volumen der Vitrine und vor allem die Luftwechselrate berücksichtigt werden. Je geringer dieses ist, desto stärker beeinflusst die Probenahme die Verhältnisse in der Vitrine. Üblicherweise soll das Probenahmevolumen nur ca. 1/10 der Luftmenge aufweisen, die nachströmt. Bei so geringen Luftwechseln von 0,1 pro Tag und einem Vitrinenvolumen von z. B. 10 m³ sollte somit maximal ein Probenahmevolumen von ca. 40 Liter pro Stunde genommen werden. Aber so groß sind Vitrinen selten und bei Volumina von 1 m³ wären nur noch 4 L pro Stunde möglich. Somit können aktive Probenahmen einen erheblichen Eingriff in die Strömungs- und Konzentrationsverhältniss der Vitrinen verursachen und stellen somit nur einen Kompromiss dar, um qualitative und quantitative Informationen über mögliche Emittenden zu erhalten.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Positionierung der Probenahmestelle. Die verlässlichsten Ergebnisse werden erzielt, wenn die Proben direkt aus dem Präsentationsraum gewonnen werden. Normalerweise sind die Probenahmeports aber in den Sockelbereichen der Vitrinen verbaut, wo schon wieder andere Bedingungen herrschen können (Röhrs, 2026). Erst eine Öffnungsrate von ca. 10 % der Abtrennung zwischen Klimafach und Präsentationsraum erlaubt einen ausreichend schnellen Austausch der Luft. So wäre es auf jeden Fall wünschenswert, wenn für eine aktive Probenahme wie in Abbildung 4 eine Verbindung zwischen Probnahmeport und Präsentationsraum bestünde; beispielsweise könnte ein entsprechend verlegter Teflonschlauch hier helfen. (Schieweck, 2009; Dix, 2013; Dix, 2016; Thickett, 2020).

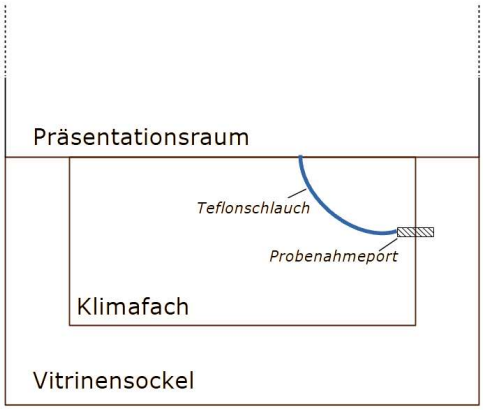


Abbildung 4: Mögliche Variante für die Probenahme aus einer Vitrine.

Eine alternative Probenahme stellt die passive Probenahme dar. Dabei wird ein Sammelsystem über einen definierten Zeitraum im Messbereich exponiert. Aus der jeweiligen Aufnahmerate des VOCs und der Expositionszeit wird daraus eine Konzentration errechnet. Für die Umgebungsluft der Vitrinen eignet sich diese Art der Probenahme durchaus. Dort können die Sammler gut aufgehängt werden und das Aufhängen selbst stört die Probenahme nicht. Für Vitrinen bietet sich diese Probenahme unter einem Aspekt besonders an, da dabei kein Volumen aus der Vitrine herausgesaugt werden muss. Allerdings lassen sich üblicherweise die Passivsammler nicht ohne Störung in den Vitrineninnenraum einbringen. Wenn dafür die Tür der Vitrine geöffnet werden muss, ist die Zusammensetzung der Luft stark verändert. Es müsste jetzt wieder gewartet werden, bis sich ein Gleichgewicht eingestellt hat (s. Abbildung 1). In der Expositionsphase wäre dann mit veränderlichen VOC-Konzentrationen zu rechnen, die möglicherweise noch ansteigen und nicht die wirklichen Werte zeigen. Zu reinen Testzwecken könnte eine Vitrine konstruiert werden, die über spezielle Sammelöffnungen für Passivsammler auch im Präsentationsraum verfügt. Aus optischen und gestalterischen aber auch konservatorischen Gründen ist eine solche Öffnung in musealen Vitrinen aber nicht erwünscht.

In einem gerade begonnenen Vorhaben wird die Eignung von Passivsammlern im Vergleich zur aktiven Probenahme untersucht. So wird der Frage nachgegangen, ob sich mit den passiven Verfahren auch innerhalb von wenigen Stunden ausreichend verlässliche Aussagen zur Konzentration von Schadstoffen wie Carbonsäuren, Formaldehyd oder einigen anderen VOCs in den Vitrinen erhalten lassen.

Die Frage nach Grenzwerten, die im Zusammenhang mit der Bestimmung von VOC in Vitrinen immer wieder auftaucht ist nicht trivial. Bei Teterault (Teterault, 2018) werden einige dezidierte Komponenten und entsprechende Grenzwerte für typische Sammlungen aufgeführt, z. B. für Essigsäure eine max. Konzentration von 100 µg/m³. Weiterhin sind Werte für Formaldehyd (12 µg/m³), Ameisensäure (10 bzw. 80 µg/m³), Stickstoffdioxid (4 µg/m³), Ozon (1 µg/m³) oder Schwefeldioxid (1,1 µg/m³) aufgeführt. Diese „Grenzwerte“ sind mit Grenzwerten, wie wir sie aus dem Arbeitsschutz kennen, jedoch nicht vergleichbar. Ihnen liegt kein Experiment, keine Messreihe zugrunde, die eine etwaige Maximalkonzentration ermittelt hätte, bei der ein Ausstellungsstück gerade nicht geschädigt wird. Die Vielfalt der einflussnehmenden Parameter ist so groß, dass hier eher ein statistischer Ansatz gewählt wurde. Zudem sind die Konzentrationen der drei letztgenannten Gase Stickstoffdioxid, Ozon und Schwefeldioxid stark von der Umgebungs- bzw. Außenluft beeinflusst. Es gibt noch eine umfangreiche VOC-Liste von Thickett, die zahlreichen Komponenten ohne Konzentrationsangaben auflistet.

Auch aus dem Oddytest lassen sich offenbar keine Grenzwerte ableiten. Bei Untersuchungen zu Korrosionsreaktionen von Metallen wurden von Stephens, basierend auf dem Oddy-Test (Stephens, 2021) die folgenden Komponenten aus Klebebändern für die Reaktionen der Metalle identifiziert: Ethylacrylat, n-Butylacrylat, 2-Ethylhexylacrylat, Acrylsäure, Abietinsäure und Essigsäure. Die Untersuchung listet potentielle Schadstoffe nur qualitativ auf, eine Einschätzung über den Zusammenhang zwischen Konzentration und Schädigungspotential oder gar die Ableitung eines Grenzwertes erfolgt aus bereits genannten Gründen nicht. Aus dem Gesagten folgt jedoch zwingend, dass das alleinige Vorliegen dieser Komponenten nicht ausreichend sein muss, um ein Vitrinenbaumaterial zu disqualifizieren oder später in der Vitrine unerwünschte Reaktionen hervorzurufen.

Harte Grenzwerte lassen sich aus diesen Angaben eben nicht ableiten. Bei Vitrinenmessungen werden Konzentrationen von wenigen 100 bis zu 10.000 µg/m³ als Summe der VOC gefunden. Es hängt aber stark davon ab, aus welchen Komponenten sich diese Summe zusammensetzt. Wenn es sich in hohem Maße um cyclische Siloxane handelt, für die bislang noch keine schädigenden Wirkungen nachgewiesen wurden, täuscht der VOC-Summenwert ein Schädigungspotential vor, welches nicht existiert. VOC-Summenwerte unter 1000 µg/m³ können zwar schon als niedrig bezeichnet werden. Trägt jedoch Essigsäure zu dem VOC-Summenwert bei, verbirgt sich hinter einem geringen VOC-Summenwert ein hohes Schädigungspotential.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass moderne Museumsvitrinen weit über die Funktion eines einfachen Präsentationsmöbels hinausgehen. Sie sind hochentwickelte Schutzsysteme, die den Erhalt von Kulturgut gewährleisten sollen. Die Dichtigkeit zur Gewährleistung eines konstanten Vitrineninnenraumklimas und die Schadstoffarmut der verwendeten Materialien und Konstruktionen stellt dabei ein zentrales Qualitätsmerkmal dar. Nur durch die konsequente Vermeidung schädlicher Emissionen können wertvolle Sammlungsobjekte dauerhaft und sicher für zukünftige Generationen bewahrt werden.

Literatur

- Alvarez-Martin, J. George, E. Kaplan et al.: Identifiying VOCs in exhibition cases and efflorescence on museum objects exhibited at Smithonian's National Museum of the American Indian-New York. 2020, Heritage Science, **8**, 115 https://doi.org/10.1186/s40494-020-00454-4
- G. Carro, O. Schalm, P. Storme, G. Blanckaert and S. Demeyer: Indoor air quality for heritage objects and human health: just a different interpretation of the same measurements? 2024 Air Quality, Atmosphere & Health, **17**, 19-34, https://doi.org/10.1007/s11869-023-01427-9
- O. Chiantore und T Poli: Indoor air quality in museum display cases: volatile emissions, materials contributions, impacts. 2021, Atmosphere https://doi.org/10.3390/atmos12030364
- Dix, M. Raquet, J. Wolff und M. Schmidt: Schadstoffmessungen in Museen – begleitende Untersuchungen einer neuen Ausstellungshalle im Germanischen Nationalmuseum. 2013, 10. Fachkongress der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V., S. 130-142
- Dix und M. Raquet: Schadstoffvermeidung in Vitrinen im Germanischen Nationalmuseum – Erfolge und Kompromisse. Nr. 2 (2016): Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut, 78-87 https://doi.org/10.57908/cons.2016.2.106539
- G. Eggert: Saturated salt solutions in showcases: humidity control and pollutant adsorption. 2022, Heritage Science, 10:54, https://doi.org/10.1186/s40494-022-00689-3
- W. Horn, O. Hahn und O. Jann: Kunstgüter in Vitrinen: was helfen Materialuntersuchungen gemäß BEMMA-Schema? 2019, 12. Fachkongress der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V., 245-249
- A.L. Krautheimer und C Krekel: Das Oddy-torium - Test von Restaurierungsmaterialien auf atmosphärische Korrosivität zum Schutz wertvoller Kulturgüter vor anthropogenen Luftschadstoffen, 2024, Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Az. 35813/01
- S. Röhrs, A. Stahlbuhk, C. Hinterleitner, M. Schulze, M. Steiger und S. Simon: Dosis und Auswirkung anthropogener Schadstoffe in Vitrinen – Untersuchung des Stofftransports in der Gasphase für die Optimierung passiver Ausstellungsvitrinen zur Erhaltung von Kulturgut. 2026, DBU-Projekt AZ 37734/01 Abschlussbericht
- Schieweck: Airborne pollutants in museum showcases – material emissions, influences, impact on artworks. 2009, Dissertation, Hochschule für Bildende Künste Dresden, Dresden
- Schieweck und T. Salthammer: Schadstoffe in Museen, Bibliotheken und Archiven. 2014, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart
- Schieweck: Adsorbent media for the sustainable removal of organic air pollutants from museum display cases, 2020, Heritage Science, 8:12, https://doi.org/10.1186/s40494-020-0357-8
- Schieweck: Schadstoffe in Museen - Warum die Luftqualität in musealen Sammlungen wichtig ist. 2021, Chemie in unserer Zeit, 55, 340-348, DOI: 10.1002/ciuz.202000056
- E. Spiegel: Emissionen im Museum – Ein Gütezeichen für emissionsarme Ausstellungsmaterialien und Vitrinen als mögliches Instrument zur Schadstoffbegrenzung. 2012, Joseph EUL Verlag, Köln
- C. Stephens und E. Breitung: Impact of volatile organic compounds (VOCs) from acrylic double-sided pressure-sensitive adhesives (PSAa) on metals found in cultural heritage

environments. 2021, Polymer degradation and Stability, 193 (2021), https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2021.109738

- J. Teterault: The Evolution of Specifications for Limiting Pollutants in Museums and Archives. 2018, Journal of the Canadian Association for Conservation, **43**, 21-37
- J. Teterault: Control of Pollutants in Museums and Archives – Technical Bulletin 37, 2021, Government of Canada – Canadian Conservation Institute
- D. Thickett und L. R. Lee: Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects. 1996, The British Museum Occasional Paper Number 111, London
- D. Thickett; P. Fletcher; A. Calver und S. Lambarth: The effect of air thightness on RH buffering and control. 2007; Museum Microclimates – T. Padfield & K. Borchersen National Museum of Denmark
- D. Thickett: Review of Analysis for cultural heritage conservation. 2020, Curr. Top. Anal. Chem. Vol. 12, S 74-87