



**E. Spiegel, K. Deering, C. Quaisser, S. Böhm,  
D. Nowak, S. Rakete, S. Böse-O'Reilly**

## **Handreichung zum Umgang mit kontaminiertem Sammlungsgut**



# Inhaltsverzeichnis

<b>7</b>	<b>Danksagung</b>
<b>8</b>	<b>1. Vorwort</b>
<b>10</b>	<b>2. Einleitung</b>
<b>12</b>	<b>3. Herausforderung aus Sicht der Museen</b>
<b>14</b>	<b>4. Systematisches Vorgehen – »Prozessplan«</b>
<b>18</b>	<b>5. Gefahrstoffe im Museum</b>
<b>20</b>	5.1 Chemische Gefahrstoffe
<b>28</b>	5.2 Biologische Arbeitsstoffe
<b>30</b>	5.3 Asbest und künstliche Mineralfasern
<b>31</b>	5.4 Radioaktive Materialien
<b>32</b>	<b>6. Expositionswege (Belastungspfade)</b>
<b>32</b>	6.1 Orale Aufnahme
<b>33</b>	6.2 Dermale Aufnahme
<b>34</b>	6.3 Inhalative Aufnahme
<b>36</b>	6.4 Staub, Raumluft, Objekt als Quellen der Gefahrstoffe
<b>38</b>	<b>7. Systematik der Gefährdungsbeurteilung</b>
<b>41</b>	7.1 Informationsermittlung
<b>42</b>	7.2 Arbeitsbereiche/Tätigkeiten
<b>45</b>	7.3 Ermittlung von Gefahrstoffen
<b>47</b>	7.4 Messmethoden von Gefahrstoffen
<b>54</b>	<b>8. Gefährdungsbeurteilung im musealen Bereich – konkret</b>

<b>62</b>	<b>9. Ergebnis Gefährdungsbeurteilung/Maßnahmen</b>
<b>65</b>	9.1 Technische Schutzmaßnahmen
<b>67</b>	9.2 Organisatorische Schutzmaßnahmen
<b>69</b>	9.3 Persönliche Schutzmaßnahmen
<b>72</b>	<b>10. Unterrichtung und Unterweisung</b>
<b>76</b>	<b>11. Gesetze/Rechte/Pflichten</b>
<b>84</b>	<b>12. Arbeitsmedizinische Vorsorge</b>
<b>86</b>	<b>13. Anlage</b>
<b>86</b>	Rechtsverweise
<b>89</b>	Technische Regeln für Gefahrstoffe
<b>90</b>	<b>Glossar</b>
<b>93</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>
<b>95</b>	<b>Gefahrstofftabelle</b>
<b>100</b>	<b>Autorenverzeichnis</b>

Die vorliegende Publikation wurde in Teilen bereits an anderer Stelle veröffentlicht:

Spiegel, Elise, et al. (2018): Handreichung zum Umgang mit kontaminiertem Sammlungsgut. Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)/CARE FOR ART. Osnabrück/Grünwald.

Spiegel, Elise, et al. (2019): Handreichung zum Umgang mit kontaminiertem Sammlungsgut. In: Broding, Horst Christoph (Hrsg.): Handbuch der betriebsärztlichen Praxis, 74. Erg. Lfg. 2/2019, ecomed, Landsberg.

Das Werk inklusive aller Inhalte wurde unter größter Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Druckfehler und Falschinformationen nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Der Verlag und auch die Autorinnen und Autoren übernehmen keine Haftung für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte des Buches, ebenso nicht für Druckfehler.

Aus Gründen der leichten Lesbarkeit wird auf die geschlechtsspezifische Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

# 1. Vorwort

Der Umgang mit biozidbelastetem Kunst- und Kulturgut beschäftigt die Deutsche Bundesstiftung Umwelt seit nunmehr 15 Jahren. In dieser Zeit wurden vor allem Vorhaben im Zusammenhang mit dem möglichen Abbau von Schadstoffbelastungen gefördert. Obwohl dabei vielversprechende Teilerfolge erzielt werden konnten, ist ein Verfahren zur kostengünstigen und flächendeckenden Reduktion von Bioziden in musealen Sammlungen aktuell nicht in Sicht. Umso wichtiger ist daher ein verantwortungsvoller und professioneller Umgang mit den biozidbelasteten Objekten zum Schutz der Umwelt, der Sammlungen und vor allem auch der mit den Objekten in Kontakt tretenden Menschen.

Die intensiven und fachübergreifenden Diskussionen bei der Entwicklung der Handreichung zeigen: Der Umgang mit kontaminiertem Sammlungsgut und Gefahrstoffen in den Museen ist bis heute noch immer ein nur sehr vorsichtig thematisiertes, fast schon tabuisiertes Thema. Aus diesem Grund nähert sich die vorliegende Handreichung dem Thema mit rationaler Nüchternheit. Es wurden wissenschaftlich ermittelte Fakten zusammengetragen, um ein professionelles, konsequentes und nicht zuletzt auch innerhalb des vom Gesetzgeber vorgegebenen Rahmens agierendes Handeln zu ermöglichen. Damit wird einer etwaigen unverhältnismäßigen »Panikmache« die Substanz entzogen.

Nur durch die interdisziplinäre und sehr vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen einem Museum, einem Fachbüro für ganzheitliche Schadstoffbelastung sowie einem medizinischen Institut war es möglich, die Gefahren kontaminierten Sammlungsgutes aus unterschiedlichen Perspektiven zu beleuchten.

Die vorliegende Handreichung gibt erstmalig gezielte Unterstützung für den musealen Bereich, für den es in dem Umfang und der fachlichen Tiefe bislang keine spezifische Hilfestellung zum Umgang mit kontaminiertem Sammlungsgut gab. Sie ermöglicht einen Einblick in die unterschiedlichen Gefahrstoffe im musealen Kontext und zeigt darauf aufbauend auf, wie durch ein systematisches Vorgehen die Belastung für Mensch, Umwelt und Kulturgut minimiert werden kann. Der interessierte Leser kann sich so umfassend informieren und eigenes Wissen aufbauen, um als kompetenter Ansprechpartner notwendige Maßnahmen in die Wege zu leiten und deren Umsetzung überwachen zu können.

Als fördernde Stiftung hoffen wir, dass die Handreichung zur Aufklärung beiträgt und Entscheidungsträger in Museen ermutigt, sich adäquat mit der Problematik kontaminierten Sammlungsgutes auseinanderzusetzen.

Die DBU begrüßt, dass sich unter der Leitung von Frau Dr. Elise Spiegel ein interdisziplinäres sowie kompetentes Projekt- und Autorenteam gefunden hat, das sich der spannungsreichen wie komplexen Problematik angenommen hat. Darüber hinaus danken wir dem Generaldirektor Herrn Prof. Johannes Vogel und dem Geschäftsführer Herrn Stephan Junker des Museums für Naturkunde in Berlin, welche sich im Hinblick auf die Thematik als offene Vorreiter in der Museumslandschaft präsentiert haben. Nicht zuletzt danken wir Prof. Dr. Dennis Nowak, dem Direktor des Instituts und der Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin des Klinikums der Universität München, und seinem Team, die mit ihrer jeweiligen Fachkompetenz im Bereich der Arbeits- und Umweltmedizin eine interdisziplinäre Aufarbeitung des Themas erst möglich gemacht haben.

**Dr. Paul Bellendorf**

Leiter Referat »Umwelt und Kulturgüter«  
Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
Osnabrück im August 2018

### 3. Herausforderung aus Sicht der Museen

Es liegt im ureigenen Interesse einer Sammlungsverantwortung, für den dauerhaften Schutz und Erhalt der Objekte Sorge zu tragen. Ohne den präventiven und kurativen Einsatz von Bioziden wären viele wertvolle historische Sammlungsstücke aus biologischen Materialien Schädlingsfraß oder Schimmelbefall zum Opfer gefallen und heute nicht mehr vorhanden. Dabei ähnelte der selbstverständliche Umgang mit Bioziden in Museen und Sammlungen lange Zeit dem allgemeinen Verständnis und Umgang mit diesen Gefahrstoffen, sowohl im alltäglichen Wunsch nach dem Erhalt geliebter und wertvoller Objekte (Einsatz von Quecksilber gegen Schimmel, Lindan gegen Moten) als auch aus hygienischen Gründen (Organchlor-Verbindungen gegen Schaben). Bei naturkundlichen Sammlungen besteht zudem eine besondere, meist sehr innige Verbindung der Wissenschaftler und Sammlungsmitarbeiter zu ihren Objekten. Die präparierten Insekten, Vogelbälge, Säugetierhäute oder getrockneten Pflanzen sind die zentrale Forschungsgrundlage, der häufige bis ständige Umgang mit ihnen die Regel. Arbeitsplätze und Sammlungen sind räumlich eng miteinander verbunden, waren früher oft eine Einheit. Die Nutzung von Bioziden bei Präparation, regelmäßigen Präventionsmaßnahmen (Begasungen) und der akuten Schädlingsbekämpfung waren Teil des Arbeitsalltages. Umfangreiche Schutzmaßnahmen widerstrebten noch bis vor Kurzem dem Verständnis von Umgang und Nutzung behandelter Präparate. Erst die allgemeine Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber Umweltgiften und die Anpassungen im Gesundheitsschutz führten schrittweise auch zu einem Umdenken in den Museen und Sammlungen. Neue Mitarbeiter, oft junge Frauen im gebärfähigen Alter, katalysieren den Wandel zum einen durch eine unbelastete, oft sensiblere Sichtweise auf das Thema Umgang mit Gefahrstoffen, zum anderen durch ihren besonderen Schutzstatus gegenüber erbgutverändernden oder Fehlbildungen hervorruhenden Gefahrstoffen. Das Ignorieren bzw. Unterdrücken der Gesundheitsschutzproblematik im Umgang mit den biozidbelasteten Objekten ist schlichtweg keine Option mehr.

Ein sachliches, systematisches und datenbasiertes Herangehen sollte das Mittel der Wahl sein (*siehe Abb. 1*). Dies ist vor allem wichtig in Bezug auf die Datenerhebung und Bewertung der Ergebnisse auch im Hinblick auf die Exposition. Erfahrungen zeigen, dass ein wissenschaftlicher Anspruch bei Planung und Umsetzung eine gute Basis legen, die zusammen mit einer sachlichen, offenen Kommunikation sowohl zum Verständnis, zur Akzeptanz und zur Unterstützung der Maßnahmen beitragen als auch zu einem vernünftigen, sachlichen Umgang mit der Problematik.

Eine besondere Verantwortung haben Sammlungen und Museen beim Austausch von Objekten im wissenschaftlichen und ausstellungsbezogenen Leihverkehr, bei externen Sammlungsgästen und der Präsentation von belasteten Objekten in Ausstellungen (*siehe Kap. 8*). Ziel muss es sein, eine Balance zu finden, die die Nutzung der Objekte bei Beachtung aller notwendigen Schutzmaßnahmen erlaubt. Dazu gehört auch eine entsprechend dem bestehenden Risiko angepasste Information an die Nutzer.

# 4. Systematisches Vorgehen – »Prozessplan«

Das systematische Vorgehen innerhalb einer gewissenhaften Arbeitsschutzorganisation ist grundlegend für einen guten Arbeitsschutz. Der Prozess der Gefährdungsbeurteilung sollte systematisch organisiert sein und die einzelnen Prozessschritte sorgfältig, fachlich fundiert, aber auch pragmatisch umgesetzt werden. Das folgende Flussdiagramm gibt einen Überblick zu den wichtigsten Eckpunkten und »Gabelungen« sowie den notwendigen Hintergrundinformationen der Gefährdungsbeurteilung. Die einzelnen Eckpunkte sind mit den Kapiteln dieser Handreichung verbunden und liefern eine Hilfestellung bei der Erkundung der Gefahrstoffbelastung.

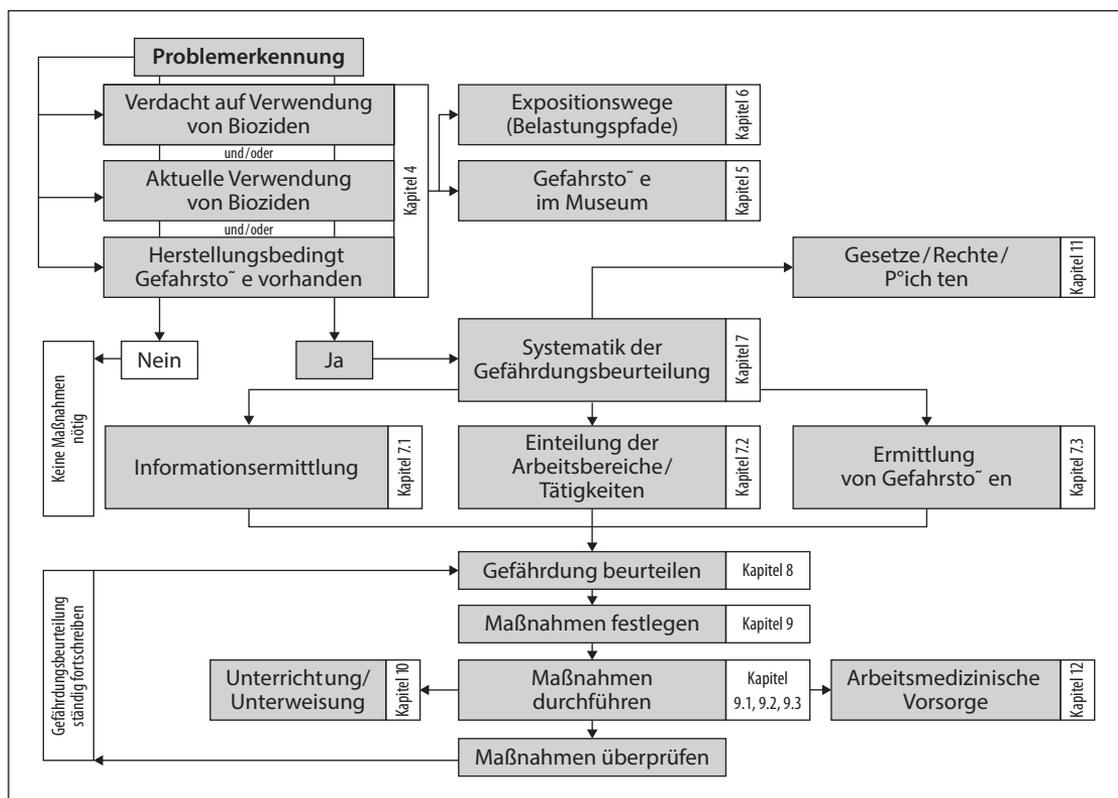


Abbildung 1: Übersicht für ein systematisches Vorgehen bei einem Verdachtsfall zu kontaminierten Objekten mit Verlinkung der Kapitel dieser Handreichung

## **Problemerkennung: Gefahrstoffe in Objekten, Lagerungs- und Ausstellungsräumen erkennen**

Ob eine Belastung mit Gefahrstoffen in Objekten oder Lager- und Ausstellungsräumen vorliegt und inwieweit eine Gesundheitsgefahr ausgeht, kann allein mit laboranalytischen Verfahren geklärt werden (*siehe hierzu Kap. 7.3, Ermittlung von Gefahrstoffen*).

Analysen wird man jedoch nicht ohne Anfangsverdacht durchführen. Nur in Extremfällen ergibt dieser sich durch außergewöhnliche Erkrankungen bei Mitarbeitern. Im Allgemeinfall sind dies Wahrnehmungen durch Gerüche, Auffälligkeiten an Objekten, Erfahrungen langjähriger Mitarbeiter oder schlicht die Dokumentation zum Einsatz von Bioziden und anderen Gefahrstoffen an Objekten, in Lagersystemen und Räumen.

Eine Einschätzung der Gefahrenlage durch Sinnesorgane und Recherchen in Archiven und bei Mitarbeitern ist wichtig, um die weiteren Schritte fokussieren zu können. Je breiter und unkonkreter der Verdachtsfall, desto schwieriger die Analyse der Gefahrenlage und Einschätzung der Gesundheitsbelastung. Ein Fragenkatalog kann helfen, Hinweise auf Vorhandensein und/oder die Art der möglichen Belastung zu sammeln und zusammenzustellen, um damit den Verdachtsfall einer Schadstoffbelastung in musealen Räumlichkeiten zu erkennen oder zu festigen.

Da Gefahrstoffe mit den menschlichen Sinnesorganen nicht hinreichend ermittelt und beurteilt werden können, ist die Beantwortung der Fragen als Grundlage zu verstehen. Mit deren Hilfe können kontextabhängige und weiterführende Überlegungen angestellt werden. Der Fragenkatalog ersetzt in keinem Fall die laboranalytische Bewertung und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Er versteht sich als Anregung und sollte an die konkreten Bedingungen angepasst und ergänzt werden.



Abbildung 2:  
Sammlung von Tüten  
mit Biozidwirkstoffen



Abbildung 3:  
Reststoffdose  
mit Globol



Abbildung 4:  
Weißliche Ablagerung  
auf einer Holztafel



Abbildung 5:  
Ölige Rückstände auf  
einer Skulptur

## ❶ Fragenkatalog: Anregung zur Problemerkennung

### Woher können Gefahrstoffe kommen?

#### *Schlagworte: Material, Herstellung, Behandlung*

Gefahrstoffe können bewusst, mit einer Schutzintention, oder unbewusst, über den Herstellungsprozess bzw. materialimmanent, eingebracht worden sein. Quecksilber findet sich nicht nur in Herbarien, sondern auch in historischen Spiegeln, Filzhüten und Thermometern. Dieses und weitere toxische Metalle wie Arsen, Blei, Cadmium, Chrom etc. sind Bestandteile zahlreicher Farbpigmente wie beispielsweise Schweinfurter Grün, Bleiweiß, Cadmiumgelb, Chromgelb und Chromgrün. In Anstrichfarben (Antifouling) oder modernen HSM sind Zinnverbindungen (TBT) enthalten. In Leder finden sich Chrom (VI)-Verbindungen. Nickel (Kontaktallergen) findet sich in Schmuck, Brillen und als Korrosionsschutzüberzug auf Metallgegenständen. In technischen Sammlungsgegenständen finden sich Asbest oder künstliche Mineralfasern u. a. in Wandputzen, Wärmedämmungen und Dichtungen. Radioaktive Materialien finden sich vor allem in mineralogischen Sammlungen, aber auch Urangläser, technische Geräte, hygienische Artikel etc. können eine radioaktive Strahlung aufweisen (*siehe hierzu Kap. 5*).

### Was wird gesammelt?

#### *Schlagworte: Sammlungsschwerpunkt – Materialarten in der Sammlung*

**1. Generell:** Mit Bioziden ist in allen Sammlungen zu rechnen, die natürliche bzw. biologische Materialien und Objekte beinhalten, vor allem in Sammlungen der Naturkunde, Ethnologie, Medizin.

**2. Materialspezifisch:** Abhängig vom Sammlungsschwerpunkt bzw. den vorhandenen Materialien in der Sammlung (z. B. Papier, Holz, Leder, Wolle, tierische Häute oder Pflanzen), sind unterschiedliche Biozide verwendet worden.

**3. Beispiele:** In Sammlungen mit tierischen Häuten finden sich häufig toxische Metalle wie Arsen. In Herbarien wurde zum Schutz der getrockneten Pflanzen vor Schimmel regelmäßig Quecksilbersublimat verwendet. Sammlungen mit Holztafelgemälden, Skulpturen, Mobilien und sonstigen Objekten aus Holz sind häufig mehrfach, auch präventiv, mit Organochlor-Bioziden behandelt worden. Neben den toxischen Metallen und den Organochlor-Bioziden wurden in musealen Sammlungen auch Organophosphate, polyaromatische Kohlenwasserstoffe und Pyrethroide eingesetzt (*siehe hierzu Kap. 5*).

## Wurde in der Vergangenheit die Verwendung von Gefahrstoffen dokumentiert?

### *Schlagworte: Dokumentation/Überlieferung*

Anhand einer Recherche in alten Dokumentationen, Rechnungen, Reststoffen (Gebinde, Verpackungen, Dosen etc.), Applikationsmaterialien (»Giftspritzen«, Tauchbehälter etc.) oder durch mündliche Überlieferungen früherer Mitarbeiter kann ein Verdacht der Verwendung von Gefahrstoffen wie Bioziden, Flammschutzmitteln etc. verfestigt oder bestätigt werden.

## Können Gefahrstoffe durch die Sinne erkannt werden?

### *Schlagworte: Erkennung durch Geruch, Aussehen*

#### **Wahrnehmung olfaktorisch**

Einige Biozide und Gefahrstoffe können vom Menschen durch einen charakteristischen Geruch wahrgenommen werden, z. B. die Organochlor-Biozide Naphthalin (Geruch nach Mottenkugeln) und 1,4-Dichlorbenzol (kampferartiger Geruch). Darüber hinaus sind auch andere Gefahrstoffe wie Formaldehyd durch einen besonders stechenden Geruch erkennbar. Gerüche werden allerdings sehr unterschiedlich wahrgenommen und empfunden. Eine eindeutige sensorische Bestimmung und Bewertung kann daher nur durch geübte Geruchsprüfer erfolgen.

#### **Wahrnehmung optisch**

Weißliche Ablagerungen oder glitzernde Kristalle an Holzobjekten können Ausblühungen von schwerflüchtigen Bioziden wie beispielsweise DDT sein (vgl. Abb. 4). Es ist jedoch auch möglich, dass die Ausblühungen durch bestimmte Pigmente, Wachsbestandteile, Salze oder andere Substanzen verursacht worden sind. Weißliche Stäube an naturkundlichen Objekten oder kleine Behälter mit weißen Pulvern in Sammlungskästen können ein Hinweis auf Organochlor-Biozide wie Lindan oder auch Arsensalze sein, die häufig verwendet wurden.

Ölige Rückstände auf Holzoberflächen, die häufig als ringförmige Verdunklung um Ausflugslöcher von Holzschädlingen erscheinen, können ein Hinweis auf die Verwendung von Bioziden mit öligen Lösemitteln sein (vgl. Abb. 5).

Besteht als Ergebnis der Beantwortung des Fragenkatalogs ein Verdacht auf das Vorliegen einer Belastung mit Gefahrstoffen, muss der Rechtsträger bzw. Arbeitgeber (TRGS 524, Punkt 3.2.1 Absatz 2) im Vorfeld der zu tätigenen Arbeiten das mögliche Gefährdungspotenzial beurteilen und ggf. nötige Schutzmaßnahmen einleiten. Die Beurteilung schließt i. d. R. auch die analytische Ermittlung der Gefahrstoffe durch ein zertifiziertes Labor ein.

## 5. Gefahrstoffe im Museum

Die umfangreiche Verwendung von gefährlichen Substanzen zur präventiven und kurativen Schädlingsbekämpfung von Sammlungsobjekten hatte ihren Anfang in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Allerdings waren erste Behandlungen zur Schädlingsbekämpfung schon sehr viel früher unternommen worden. Seit etwa 1830 war Arsen, insbesondere Arsenseife, zum Standardkonservierungsmittel für ethnologische oder naturkundliche Sammlungen geworden, ebenso wie das Quecksilbersublimat, welches gerne als keimtötendes Konservierungsmittel bei der Herstellung von Tierpräparaten verwendet wurde, da es zusätzlich eine fixierende Wirkung besitzt. Circa 100 Jahre später wurden die – auch schon damals als hochgradig gesundheitsgefährdend bekannten – metallhaltigen Biozide von den neuartigen chlororganischen Substanzen abgelöst. Diese in ihrer Herstellung schnellen und preisgünstigen Biozide galten offiziell bis weit in die 1980er-Jahre hinein als ungiftig für den Menschen und wurden dementsprechend flächendeckend genutzt. Später kamen zusätzlich auch die Organo-Phosphor-Biozide, Pyrethroide, Phenole und Kresole zum Einsatz. Jedoch bilden nicht nur die eingebrachten Biozide ein Gesundheitsrisiko, auch schon herstellungsbedingt können toxische Substanzen in den Sammlungsobjekten vorliegen. Besonders hervorzuheben wären hier die Quecksilberspiegel oder arsenhaltige Pigmente (Schweinfurter Grün, Auripigment).

Offenkundig sind große Teile musealer Sammlungen, insbesondere die mit einem Sammlungsschwerpunkt auf organischen Materialien (Leder, Federn, Holz, Textil etc.), mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Bioziden behandelt worden. Nur selten liegen Dokumentationen der durchgeführten Maßnahmen vor, sodass in der Regel keine eindeutigen Informationen zu der Menge und Art der verwendeten Biozide vorliegen. Die damals verwendeten und heute verbotenen Biozide sind rechtlich als Gefahrstoffe einzuordnen und unterliegen der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) und weiteren Gefahrstoffrechtlichen Regelungen.

## ① Beständigkeit von Bioziden

Viele der Gefahrstoffe gelten als persistent (beständig). Zusätzlich nimmt die biologische Abbaufähigkeit bei sinkender Temperatur, Feuchtigkeit und UV-Lichtabschluss tendenziell ab. Daher werden die Gefahrstoffe in den stabilen klimatischen Bedingungen der Depots bzw. Sammlungsräume regelrecht »konserviert« und lassen sich selbst Jahrzehnte nach der Verwendung noch in hohen Mengen nachweisen.

Folgende Auflistung gibt Einblick in die Art, das Vorkommen und die Toxikologie der im musealen Bereich häufig vorkommenden Gefahrstoffgruppen. Eine weiterführende tabellarische Listung der Gefahrstoffe ist dem Anhang zu entnehmen. Die folgend dargestellte Gruppierung der Gefahrstoffe erfolgte nach den chemischen Ordnungen.

## ① CMR-Stoffe

Grundsätzlich werden kanzerogene, mutagene und reproduktionstoxische Arbeitsstoffe (CMR-Stoffe) in Deutschland nach dem Bewertungskonzept der Europäischen Union (CLP-Verordnung) eingestuft. In der nachfolgenden Tabelle sind die Einstufungskriterien für krebserzeugende Stoffe erläutert:

<i>Kategorie 1A</i>	<i>Kategorie 1B</i>	<i>Kategorie 2</i>
Stoffe, die bekanntermaßen beim Menschen karzinogen sind. Die Einstufung erfolgt überwiegend aufgrund von Nachweisen beim Menschen.	Stoffe, die wahrscheinlich beim Menschen karzinogen sind. Die Einstufung erfolgt überwiegend aufgrund von Nachweisen bei Tieren.	Verdacht auf karzinogene Wirkung beim Menschen. Die Einstufung erfolgt aufgrund von Nachweisen aus Studien an Mensch und/oder Tier, die jedoch nicht hinreichend genug für eine Einstufung in die Kategorie 1A oder 1B sind.

Quelle: Tabelle 3.6.1 Verordnung (EG) Nr. 122/2008

## 5.1 Chemische Gefahrstoffe

### Toxische Metalle

Viele Metalle sind ubiquitär in der Umwelt vorhanden. Einige von ihnen wie Zink, Nickel oder Eisen sind als sogenannte Spurenelemente essenzielle Bestandteile zur Funktionalität des menschlichen Organismus. Bei zu hohen Konzentrationen können selbst die essenziellen Metalle toxische und/oder kanzerogene Wirkungen erreichen. Als besonders toxisch für den Menschen müssen Cadmium, Blei, Quecksilber und Arsen genannt werden. Diese Metalle wurden nicht selten auch in musealen Bereichen in teils hohen Mengen nachgewiesen. Vor allem in naturkundlichen sowie in ethnologischen Sammlungen wurden toxische Metalle in Form von Quecksilbersublimat oder Arsenseife zur Konservierung der organischen Sammlungsobjekte verwendet. Jahrhundertlang war die Verwendung dieser Verbindungen die einzige Möglichkeit, vergängliche organische Objekte für die Nachwelt zu erhalten.

Gesundheitlich bedenkliche Metalle sind jedoch nicht nur als konservatorische Maßnahmen eingebracht worden, sondern auch herstellungsbedingt. Sie können beispielsweise in Farbpigmenten oder in technischen Sammlungsgegenständen bereits in toxischen Mengen vorhanden sein oder sich im Staub anreichern.

### Toxisches Potenzial

Im menschlichen Körper können freie Metallionen zu immunologischen und auch zu toxischen Reaktionen führen. Das kann nicht nur bei den nicht essenziellen Metallen (Blei, Arsen, Cadmium, Quecksilber) beobachtet werden, sondern auch bei den essenziellen. Während die Intoxikationen von hohen aufgenommenen Mengen toxischer Metalle durch Umweltvergiftungen (z. B. Itai-Itai-Krankheit, bedingt durch Cadmium in Japan) mittlerweile bekannt sind, sind chronische Gesundheitsschäden durch geringere Konzentrationen, wie sie beispielsweise bei Arbeiten mit arsenbelasteten Tierpräparaten auftreten können, in den Vordergrund der Forschung gerückt. So wird diskutiert, dass Blei und Quecksilber durch eine niedrig dosierte chronische Aufnahme das zentrale Nervensystem und das Immunsystem schädigen können. Einige Metalle, wie zum Beispiel Quecksilber, können auch in erhöhten Mengen in der Luft vorhanden sein und somit inhalativ aufgenommen werden. Besonders betont werden sollte jedoch die Kanzerogenität einiger Metalle bzw. einiger Metallverbindungen bei chronischen Expositionen durch Chromate, Nickel-, Cadmium- und Arsenverbindungen.

Stoffname	Verwendung
<b>Antimon</b>	Legierungen, Halbleiter, medizinische Präparate (Brechweinstein), Bremsbeläge, Farbpigmente, Bleiglas, Flammschutzmittel, Antimonsalze in Pestiziden
<b>Arsen</b>	Arsenseife als Konservierungsmittel, Farbpigmente (Auripigment, Schweinfurter Grün)
<b>Blei</b>	Strahlenabschirmung bei historischen Röntgengeräten, Akkumulatoren, Rohre in historischen Bauwerken, Fensterfassungen, Dachdeckungen, Legierungen, Pigmente (Bleiweiß, Mennige, Bleizinn gelb, Chromgelb, Neapelgelb)
<b>Cadmium</b>	Korrosionsschutz, Legierungen, Farbpigmente in Lacken, Pigmente (Cadmiumgrün, -gelb, Akkumulatoren, Schmierstoffe, Stabilisator in Kunststoffen, Pestizide)
<b>Chrom</b>	Legierungen, Gerbung (Chromgerbung), Pigmente (Chromgelb, Chromgrün)
<b>Kobalt</b>	Pigmente, Kobaltglas (Smalte)
<b>Kupfer</b>	Legierungen, Baubereich (Leitungen, Bleche), Pestizide, Pigmente (Ägyptisch Blau, Bremer Blau, Grünspan)
<b>Nickel</b>	Legierungen, Korrosionsschutz, Pigmente
<b>Quecksilber</b>	Wissenschaftliche Geräte, elektrische Schalter, Zahnamalgam, heilkundliche Mittel, Pharmazeutika, Kosmetika, Pestizide, Herstellung von Präparaten, Daguerreotypen
<b>Organisches Zinn<sup>5</sup></b>	Antifouling-Anstriche, Holzschutzmittel, Silikondichtstoffe, Textilien (als Biozid)

<sup>5</sup> Es existieren verschiedene Zinnspezies, dabei ist das metallische Zinn auch in höheren Mengen ungiftig. Es existieren jedoch einige organische Zinnspezies, wie die Tributyl-Zinnverbindungen, die als hochtoxisch angesehen werden müssen. Organische Zinnverbindungen wurden in Farbabstrichen, Holzschutzmitteln und Dichtstoffen als Biozide verwendet. Sie gelten als hormonell wirksame Substanzen und stehen im Verdacht, immunsuppressiv zu wirken.

## Organochlor-Biozide

Zu den am häufigsten verwendeten Wirkstoffen der Organochlor-Biozide gehören DDT, PCP sowie  $\gamma$ -HCH. Weitere sind Methoxychlor, Toxaphen, Hexachlorbenzol, Dieldrin, Aldrin oder Endrin. Diese insektiziden Wirkstoffe bildeten die größte Gruppe der verfügbaren Holzschutzmittel (HSM) der Nachkriegszeit bis circa 1990. In den einzelnen HSM sind damals in der Regel Kombinationen aus fungiziden und insektiziden Wirkstoffen eingesetzt worden, die vorwiegend im Baubereich gezielt Verwendung fanden.

Wegen der einfachen Verfügbarkeit und der billigen Herstellung wurden diese Mittel umfangreich in allen Bereichen verwendet, in denen organische Materialien vor Insektenfraß geschützt werden mussten. Durch die technische Produktion enthalten die Biozidformulierungen neben den reinen Wirkstoffen häufig Verunreinigungen (z. B. Dioxine in PCP), die ebenfalls toxisch sein können.

Durch chemischen Abbau können neue Substanzen wie gamma-Pentachlorcyclohexen aus Lindan mit in der Regel bisher unbekanntem toxikologischen Potenzial entstehen.

Stoffname	Chemischer Name und Verwendung
PCP	Pentachlorphenol, Bestandteil von Holzschutzmitteln (z. B.: Xylamon BV, Hylotox IP), Imprägniermittel von Leder. Vorsicht: PCP kann herstellungsbedingt mit den hochtoxischen Dioxinen und Furanen verunreinigt sein
Lindan	$\gamma$ -Hexachlorcyclohexan, Insektizid in Holzschutzmitteln (Bsp.: Xylamon BV, Xyladecor). Enthält Anteile an den Isomeren $\alpha$ -HCH und $\beta$ -HCH
HCB	Hexachlorbenzol, Fungizid in Holzschutzmitteln, Flammschutzmittel, Stabilisator in Farben und Kunststoffen
Cyclodiene	Aldrin, Dieldrin, Endrin, Heptachlor; Insektizide in Holzschutzmitteln, Textilien
DDTs	Dichlordiphenyltrichlorethan und Metaboliten, Insektizid in öligen Holzschutzmitteln, Holz, Textilien, organische Materialien allgemein
Polychlorierte Naphthaline	Insektizide und fungizide Wirkung in Holzschutzmitteln

### **Toxisches Potenzial**

Bei den persistenten chlorierten Kohlenwasserstoffinsektizide (CKWs) und -fungiziden handelt es sich um Stimulanzen des Nervensystems, welche bei höheren Expositionsmengen zu Koordinationsstörungen, Krampfanfällen und Tremor führen können. Vor allem bei einer chronischen Exposition bei Tierversuchen ist die Leber ein weiteres Zielorgan, hier wurden Enzymkonzentrationserhöhungen, Lebervergrößerungen und bei höheren Expositionsmengen Nekrosen beobachtet. Speziell in den letzten Jahren ist die hormonell wirksame Aktivität einiger CKWs bekannt geworden. Sie stehen dadurch im Verdacht, zu einem erhöhten Brustkrebsvorkommen beizutragen. Dieser Umstand wurde jedoch noch nicht hinreichend bewertet. Besonders bei PCP muss ein keimzellmutagenes und entwicklungsschädigendes Risiko vermutet werden. Einige Insektizide aus der Gruppe der Organochlor-Pestizide sind als kanzerogen in der Kategorie 1A oder 1B (gesichert kanzerogen oder Kanzerogenität anhand von Tierversuchen vermutet) eingestuft.

## Organophosphate

Die Organophosphate werden aus zwei Gruppen gebildet, welche sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften deutlich unterscheiden. Die erste Gruppe (Ester der Phosphorsäure) wirken als Insektizide, die andere Gruppe (Phosphorsäuretriester) wird als Weichmacher, Flammschutzmittel und Schmiermittelzusatz verwendet. Beide Gruppen können im musealen Bereich angetroffen werden. Organophosphate als Insektizide galten als eine weniger umweltschädliche Alternative zu den Organochlor-Pestiziden und werden seit dem Verbot ebendieser als Ersatz verwendet. Teilweise werden sie auch heute noch eingesetzt (z. B. Dichlorvos). Die Substanzen sind in der Regel lipophil und besitzen einen hohen Dampfdruck, weswegen sie hauptsächlich inhalativ, jedoch auch dermal über den Staub aufgenommen werden können.

### Toxisches Potenzial

Eine gesundheitlich bedenkliche Aufnahme dieser Insektizide/Flammschutzmittel beschränkt sich hauptsächlich auf die industrielle Herstellung der Substanzen und einen unsachgemäßen Gebrauch während der Schädlingsbekämpfung. Erwähnenswert ist, dass auch bei chronisch niedrigen Belastungen dauererregende und zentralnervöse Wirkungen beobachtet wurden. Auch zeitlich verzögerte Neuropathien (1–3 Wochen, Organophosphate-induced delayed neuropathy – OPIDN) bei einigen Wirkstoffen sind möglich. Diese können jedoch nur nach einer akuten Vergiftung auftreten. Zeitlich verzögerte Neuropathien durch Organophosphat-Flammschutzmittel wurden bisher nicht beobachtet und sind vergleichsweise gering gegenüber den Bioziden dieser Gruppe.

Stoffname	Verwendung und Eigenschaften
<b>Chlorpyrifos</b>	Fraß- und Kontaktgift (auch Atemgiftwirkung). Wird immer noch eingesetzt als Spray und in Köderdosen
<b>Diazinon</b>	Kontakt-, Fraß- und Atemgift. Niedriger Dampfdruck
<b>Dichlorvos</b>	Besitzt einen hohen Dampfdruck und wirkt deswegen hauptsächlich als Inhalationsgift. Deswegen Einstufung als hochgefährliches Pestizid mit möglicherweise mutagenem und allergenem Potenzial
<b>Dimethoat</b>	Kontaktgift (nur für den Gebrauch auf Pflanzen)
<b>Fenitrothion</b>	Kontakt- und Fraßgift. Zersetzt sich schnell in UV-Licht. Gilt als weniger gesundheitsschädliche Substanz als Parathion und wird als Ersatz verwendet (Pflanzen)
<b>Omethoat</b>	Kontakt- und Fraßgift
<b>Malathion</b>	Reines Kontaktgift, nur geringe Fraß- und Atemgiftwirkung (Pflanzen)
<b>Parathion</b>	Starkes Insektizid, auch für Warmblüter (Menschen) sehr giftig

## Polyaromatische Kohlenwasserstoffe

Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material. Dabei können einige Hundert verschiedene PAK-Verbindungen auftauchen. Auch die festen und flüssigen Produkte, die bei einer sauerstoffarmen Verbrennung von organischem Material (Teer, Erdöldestillate, Motorenöle, Ruß) entstehen, enthalten PAKs. Sie bestehen aus zwei bis sieben Ringverbindungen und sind schwer löslich in Wasser, aber leicht fettlöslich. Je nach Siedepunkt können die PAKs in der Luft gasförmig vorliegen oder adsorbieren an Partikeln (Dieselruß). In Museen bzw. Baudenkmalern kommen die PAKs vor allem als sogenannte Teerkleber vor, aber auch in Dachbelägen, Farben, Beschichtungen oder in Holzschutzmitteln. Ältere Parkette oder anderweitige Bodenbeläge wurden häufig mit den schwarzen Parkettklebern direkt auf den Untergrund aufgeklebt. Durch Ritzen im Boden und/oder bei mechanischer Beanspruchung können die PAKs in die Raumluft oder in den Hausstaub diffundieren.

### Toxisches Potenzial

Da durch den Entstehungsprozess viele verschiedene Arten von PAKs gebildet werden, kommen sie in unterschiedlicher Zusammensetzung als Gemisch vor. Bei dem analytischen Messvorgang werden in der Regel etwa 6 – 16 PAKs routinemäßig gemessen. Als Marker (Leitsubstanz) in einem PAK-Gemisch wird das Benzo[a]pyren (BaP) verstanden, welches auch am besten auf seine biologische Wirkung untersucht worden ist. Im Vordergrund, anlässlich ihres Toxizitätspotenzials, stehen die höhermolekularen PAKs mit 4 – 6 Benzolringen. BaP-haltige Gemische gelten als eindeutig krebserzeugend und stehen im Verdacht, frucht- und fortpflanzungsschädigend zu sein.

Stoffname	Verwendung und Eigenschaften
<b>Benzo[a]pyren (BaP)</b>	Leitsubstanz. PAKs treten in variablen Gemischen auf. BaP wird vereinfachend als Maß der toxikologischen Wirkungsstärke der Gemische verwendet
<b>Kreosot</b>	Wird aus Holzkohleteer gewonnen. Insektizid und Fungizid. Früher weitverbreitete Anwendung als Holzschutzmittel (HSM), heutzutage in der Benutzung eingeschränkt. Noch erlaubt an Bahnschwellen, Telefon- oder Strommasten, Zäunen und für landwirtschaftliche Zwecke
<b>Polychlorierte Naphthaline</b>	Insektizide und fungizide Wirkung in Holzschutzmitteln
<b>Carbolineen</b>	Auch Karbolineum. Niedrigviskose Teeröl-Destillate. Ähnlich wie Kreosot

## Pyrethroide

Pyrethrum gilt als eines der ältesten natürlichen Insektizide. Vermutlich wurde es schon von den alten Römern als Insektizid erkannt und verwendet. Hergestellt wird das natürliche Insektizid aus einem Extrakt aus verschiedenen Chrysanthemenarten. Weltweit nahmen die Pyrethroide ab circa 1970 an Bedeutung zu, nachdem die problematische Anreicherung der chlorierten Insektizide und eine hohe Toxizität organischer Phosphorsäureester erkannt wurden. Da das natürliche Pyrethrum zu kurzen Halbwertszeiten aufgrund vollständiger Fotooxidationen neigt, begann die Industrie schon früh mit der synthetischen Herstellung dieser Verbindungen. Dabei konnte ab 1973 die stärker wirksame und stabilere Verbindung Permethrin synthetisiert werden. Die Pyrethroide sind heutzutage noch vertreten bei Anwendungen im Pflanz- und Vorratsschutz, als Arzneimittel, zum Holzschutz und vor allem als Textilschutz.

### Toxisches Potenzial

Die Pyrethroide wirken als Kontakt- und Fraßgift. Es sind lipophile Substanzen mit einem niedrigen Dampfdruck, die eine hohe Neurotoxizität gegenüber den Zielorganismen (Schadinsekten) und zusätzlich eine sehr hohe Fischtoxizität besitzen. Sie müssen wegen einer schnellen Metabolisierung mit anderen Substanzen, sogenannten Wirkverstärkern (Piperonylbutoxid), kombiniert werden. Bei Menschen wirken Pyrethroide ebenfalls als Nervengifte. Wie bei den Organochlor-Pestiziden verzögern sie die Schließung des Natriumkanals, somit stehen die Nervenzellen unter ständiger Spannung. Dies kann zu einem Tremor in der gesamten Motorik führen. Akute Vergiftungen sind wegen der eher geringen Toxizität sehr selten. Nur nach einer oralen Aufnahme oder bei ungeschützten Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen werden Vergiftungserscheinungen wie Missempfindungen und Juckreiz wahrgenommen.

Stoffname	Verwendung und Eigenschaften
<b>Pyrethrum</b>	Naturprodukt. Extrakt oder Pulver aus Crysanthemum-Arten. Enthält die natürlichen insektiziden Wirkstoffe der Pyrethrine. Schon sehr frühe Anwendung als »Insektenpulver« oder in löslichen Formulierungen
<b>Pyrethrine</b>	Sammelbegriff für die synthetisch hergestellten insektiziden Wirkstoffe Pyrethrin I und II, Cinerin I und II und Jasmolin I und II. Sie sind gegen Sauerstoff, Wärme und UV-Licht sehr empfindlich deswegen werden sie als Kurzzeitinsektizide verwendet. Synthetische Derivate sind deutlich stabiler
<b>Permethrin</b>	Insektizid, Akarizid. Breites Wirkspektrum. Als Pflanzenschutz nicht mehr zugelassen. Wird aber noch in Holzschutzmitteln, zur Bekämpfung von Läusen und Krätze sowie zur Rüstung von Teppichen und anderen Wohntextilien verwendet
<b>Cypermethrin</b>	Kontaktinsektizid, wird immer noch in Holzschutzmitteln verwendet
<b>Cyfluthrin</b>	Keine Zulassungen mehr in EU-Staaten. Früher jedoch als Zusatz in Repellents und in der Rüstung von Textilien
<b>Deltamethrin</b>	Insektizid in Pflanzenschutzmitteln und zur Rüstung von Textilien; EU-weit zugelassen
<b>Fenvalerat</b>	Insektizid, Akarizid. Nicht mehr zugelassen. Früher jedoch als Rüstung in Textilien und im Pflanzenschutz
<b>Allethrin</b>	Seit 1952 als Pestizid genutzt und immer noch im Handel als medizinisches Produkt gegen Läuse, Zecken, Krätze etc.
<b>Fluvalinat</b>	Insektizid und Akarizid. Derzeit als Pflanzenschutzmittel in der EU zugelassen

Objekte in musealen Sammlungen wurden in der Vergangenheit zu ihrem Schutz und Erhalt oft mit Bioziden behandelt, die – wie wir heute wissen – oft gesundheitsschädlich sind. Die Folge sind zum Teil stark kontaminierte Objekte und Arbeitsplätze in Museen, Depots und Archiven. Welche Auswirkungen hat das für die Beschäftigten und Besucher? Welche Möglichkeiten gibt es, Sammlungen sicher zu gestalten? Eine frühzeitige und fundierte Aufklärung ist wichtig, um einen professionellen Umgang mit kontaminierten Objekten zu ermöglichen und Beschäftigte bei der Arbeit bestmöglich zu schützen. Hier setzt das interdisziplinäre Autorenteam für einen Bereich an, für den es bislang keine spezifische Hilfestellung zum Umgang mit kontaminiertem Kulturgut gab. Zielgruppe sind gleichermaßen Arbeitgeber und Beschäftigte in musealen Einrichtungen, restauratorisch-konservatorischen Bereichen und Werkstätten. Die Publikation bietet umfassende Einblicke und unterstützt dabei, eigenes Wissen aufzubauen, um kompetent die notwendigen Maßnahmen in die Wege zu leiten sowie deren Umsetzung kontrollieren zu können.

*»Die vorliegende Handreichung ermöglicht es, das Thema Gefährdungsbeurteilung beim Umgang mit kontaminiertem Sammlungsgut systematisch und strukturiert anzugehen und schafft damit erstmals eine Grundlage für sinnvolle und wichtige Präventionsmaßnahmen.«*

Dr. Andrea Funck, Direktorin des Doerner Instituts der Bayerische Staatsgemäldesammlungen

*»Die vorliegende Publikation bietet eine ausgesprochen kompetente Anleitung für das systematische Vorgehen im musealen Umfeld. Aus der Sicht eines Toxikologen kann das Fachgebiet ›Kontaminiertes Sammlungsgut‹ nicht besser abgehandelt werden.«*

Dr. Dr. Axel Hahn, Bundesinstitut für Risikobewertung Berlin