

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	17159	Referat	45	Fördersumme	40.729,51 €
----	-------	---------	----	-------------	-------------

Antragstitel Entfernung von Pestizidrückständen aus Textilien mit besonderer Berücksichtigung ausgewählter Beispiele aus dem wertvollen Bestand des Germanischen Nationalmuseums/Nürnberg durch überkritisches CO₂

Stichworte Denkmal
Museum , Textil , Studie

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
1	19.04.2000	19.12.2001	

Zwischenberichte 1. Arbeitsbericht?
30.08.2001

Bewilligungsempfänger	Germanisches Nationalmuseum Nürnberg Institut für Kunsttechnik und Konservierung Kartäusergasse 1 90402 Nürnberg	Tel	0911/1331-279
		Fax	0911/1331-200
		Projektleitung	Dr. Arnulf v. Ulmann
		Bearbeiter	Prof. Dr. Rainer Drewello

Kooperationspartner Labor im Germanischen Nationalmuseum GmbH
Kartäusergasse 1
90402 Nürnberg

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Überkritisches CO₂ sollte analog der **Dekontamination** pestizidverseuchter Hölzer auch für derart belastete Textilien angewendet werden. Eine experimentelle Dekontamination in verflüssigtem CO₂ hat einen Erfolg sehr wahrscheinlich gemacht. Bisher ungeklärt war der Einfluss verflüssigten Kohlendioxids auf Textilien und Färbemittel.

Laut einer Umfrage gibt es in deutschen Museen ca. 282.000 verseuchte Textilien. Eine mechanische Reinigung bedeutet eine unzumutbare konservatorische Belastung und scheidet auch wegen unkontrollierbarer Ergebnisse und des nicht kalkulierbaren **Arbeitsaufwandes** aus.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Für die vergleichenden Untersuchungen zum Verhalten der Stoffe mussten Prüflinge in zwei Gruppen zur Verfügung stehen. Die Prüflinge werden zerschnitten und stellen somit **Forschungsverlust** dar. Zur realitätsnahen Untersuchung gealterter Stoffe dienten 100 Jahre alte Stoffe, die einem Zusammenhang nicht mehr zugeordnet werden konnten. Von der Untersuchung ausgeschlossen blieb der Einfluss der Pestizide auf Gewebeeigenschaften. Die Abreicherungsrate wurde an neuen künstlich kontaminierten (**Hylotox**) Prüflingen festgestellt. Die **Pestizidfracht** der kontaminierten historischen Gewebe wurde mit gaschromatische Verfahren, Spektroskopie (analytische FT-IR-Spektroskopie, Raman-Spektroskopie) und Röntgendiffraktometrie ermittelt. Die faserphysikalischen Eigenschaften wurden nach Normen der Textilindustrie erfasst. Haptische Prüfungen von Stoffen dienen der Qualitätsbeurteilung, wie sie bei herkömmlichen Reinigungsmethoden üblich sind. Den Naturwissenschaften verborgene Veränderungen können hier erfüllt werden.

Die Parameter der **Dekontamination** waren: 250 bar und 40°C bei einer Dauer von 30 und 60 Minuten. **Farbveränderungen** sind mit Reflektometer und Spektralphotometer gemessen worden.

Ergebnisse und Diskussion

Bei einer Abreicherungsrate von 90% - 95% ist eine nahezu vollständige Trennung der Giftstoffe von den Textilien erreicht. Dabei haben sich weder die Physik noch das haptische Verhalten der Fasern signifikant verändert. Diese Feststellung wird grundsätzlich nicht durch unsichere Aussagen verändert, die sich bei alten Geweben ergeben haben. Die unsicheren Aussagen werden auf individuelle Alterungen oder Schädigung durch langeinwirkende Pestizide zurückgeführt. Die haptische Prüfung stuft Veränderungen nicht schwerwiegender ein als solche, die auch durch konventionelle wässrige Reinigungen verursacht werden können. Damit kann unter gewissen Voraussetzungen eine wirtschaftliche, umweltfreundliche und arbeitshygienische Lösung im Bereich der Textilkonservierung angeboten werden. Für die breite Anwendung einer Dekontamination mit CO₂ stehen zur Zeit noch keine geeigneten Anlagen zur Verfügung. Die in der Reinigungsindustrie gebräuchlichen Trommelmaschinen, die die Textilien schleudern, sind für historische Textilien ungeeignet. Mit einer mobilen Anlage wären Transportrisiken ausgeschaltet. Gleichzeitig ergibt sich auch eine Geldersparnis. Die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage ergibt sich aus der ungeheuren Menge pestizidverseuchter historischer Stoffe.

Eine sichere Aussage zur Dekontamination kann für reine Gewebe aus Baumwolle, Leinen und Seide gemacht werden. Bei Wolle besteht wegen der unsicheren Werte bei der Durchschnittspolymerisation noch Klärungsbedarf. Applikationsmaterialien wie Glas, Metall, Leder, Federn etc. wurden mit unterschiedlichen Ergebnissen getestet. Einige Werkstoffe haben sich irreversibel verändert. Vor allem bei Bekleidung gibt es nahezu immer Applikationen, es sei nur auf die festliche ländliche Kleidung verwiesen. Für diese Gattung ist eine Fortsetzung der Versuche mit unterschiedlichen Reinigungsparametern dringend geboten.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die **Homepage** des Germanischen Nationalmuseums (www.gnm.de) berichtet seit Projektbeginn unter Hinweis auf die Unterstützung durch die **DBU** in einer Kurzinformation. Diese Information wird durch ein **Download** erweitert, in dem das Projektkennblatt heruntergeladen werden kann.

Die Zeitschrift **Restauero** publizierte in der Ausgabe 7/2000 unter der Rubrik: **Restauero aktuell** mit dem Titel: **Pestizide in Textilien** eine kurze Reportage.

Auf den **Fachtagen zu Konservierung und Restaurierung** der Erfurter Messe **Rescon**, 29.11. – 01.12.01, deren Schwerpunkt die Textilrestaurierung war, konnte das Projektergebnis detailliert vorgestellt werden. Ein zweiter Vortrag war den Ergebnissen einer Umfrage gewidmet, die im Rahmen des Projektes an deutsche Museen versendet, Auskunft über Pestizidbehandlungen geben sollte.

Am 05.12.01 trafen sich im Germanischen Nationalmuseum die Bayerischen Textilrestauratoren, die als Fachgruppe im **Verband der Restauratoren** zusammengeschlossen sind. In einem Referat wurde hier ebenfalls über das Projekt mit den Umfrageergebnissen berichtet.

Fazit

Die Dekontamination von Geweben mit überkritischen CO₂ hat sich als ein äußerst wirkungsvolles und rationelles Verfahren erwiesen. Zur Zeit kann dieses Verfahren wegen fehlender Anlagen nur in Einzelfällen angewendet werden. Zudem besteht weiterhin Forschungsbedarf zur Behandlung von Applikationen, die mit Textilien fest verbunden sind und sich entsprechend durchgeführter Tests in einem CO₂ – Bad irreversibel verändern.

Entfernung von Pestizidrückständen aus Textilien mit besonderer Berücksichtigung ausgewählter Beispiele aus dem wertvollen Bestand des Germanischen Nationalmuseums, Nürnberg, durch überkritisches CO₂

Ein Projekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt und des Germanischen Nationalmuseums Nürnberg (1999-2001). AZ: 17159: ‚Pedekon‘

Inhaltsangabe

Band 1		Seite
1.	Zusammenfassung Ergebnis des Projektes Ausblick	4
2.	Die Schadstoffanalysen im Germanischen Nationalmuseum Eine Fallstudie Labor im Germanischen Nationalmuseum, GmbH	14
3.	Die faserphysikalischen Untersuchungen Fachhochschule Köln, Fachbereich Restaurierung	35
4.	Die haptische und optische Prüfung Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg	62
5.	Umfrage: Entsorgen von Pestiziden auf historischen Textilien Zusammenfassung Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg	66
Band 2		Seite
6.	Anhang	
6.1	Gutachten über die Bestimmung der Farbveränderungen von Textilien nach einer CO₂ - Behandlung. Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik, Prof. Dr. Heinrich Kaase	4
6.2	Katalog der haptischen und optischen Prüfung (Christine Walser-Ziegler)	12
6.3	Umfrage: Entsorgen von Pestiziden auf historischen Textilien Statistische Auswertung Yngve Magnuson	48
6.4	Abbildungen	74
6.5	Umfrage: Entsorgen von Pestiziden auf historischen Textilien Fragebogen	86

- 1. Zusammenfassung**
Ergebnis des Projektes
Ausblick

Inhaltsangabe

- 1.1 Einleitung**
1.1.1 Anlass: Funde von Pestizidcocktails im Germanischen Nationalmuseum
1.1.2 Einsatz von Pestiziden in den textilen Sammlungen des GNM
1.1.3 Konservatorische Gefahren für Textilien
1.1.4 Versuche der mechanischen Reinigung
1.1.5 Die Situation an anderen Deutschen Museen
Umfrage: Entsorgen von Pestiziden auf historischen Textilien
- 1.2 Definition des DBU - Projektes**
1.2.1 Theoretische Vorarbeiten
1.2.2 Forschungsziel
- 1.3 Die Methoden**
1.3.1 Vorbemerkung
1.3.2 Die Einteilung der Prüflinge
1.3.3 Die Untersuchungen an allen Prüflingen
- 1.4 Der Untersuchungsablauf**
1.4.1 Die künstliche Kontamination
1.4.2 Die Dekontamination in verflüssigtem CO₂
1.4.3 Analyse der Pestizide und Abreicherung
1.4.4 Restfettgehalt der Wolle
1.4.5 Farbverfärbungen und Oberflächenrauigkeit
1.4.6 Die faserphysikalischen Untersuchungen
1.4.7 Die haptischen und optischen Prüfungen
- t.5 Gesamtergebnis**
1.6 Forschungsfragen
1.6.1 Applikationsmaterial und Materialkombination
1.6.2 Figurinen
- 1.7 Ausblick**
Die apparative Umsetzung
- 1.8 Teilnehmer des Projektes**

1,1 Einleitung

1.1.1 Anlass: Funde von Pestizidcocktails im Germanischen Nationalmuseum

Anlass zu diesem Projekt gab die Neukonzeption der textilen Sammlung des Germanischen Nationalmuseums. Mit dieser Neukonzeption verbunden war die Auflösung der Sammlung festlicher ländlicher Kleidung, die von Oskar Kling 1926 dem Germanischen Nationalmuseum übergeben wurde.

Während der konservatorischen und technischen Dokumentation aller Textilien beobachtete man tief in den Fasern liegenden weißen Belag, der sich nach Untersuchungen als ein gefährliches Gemisch aus Pestiziden herausstellte.

1.1.2. Einsatz von Pestiziden in den textilen Sammlungen des GNM

Frau Petra Kress hat in ihrer Diplomarbeit zur Pestizidentsorgung aus historischen Textilien an der Fachhochschule Köln (1999)¹ die lange Geschichte der Anwendung von Pestiziden am GNM aufgedeckt.

Zur Rekonstruktion der Geschichte der Pestizidanwendung standen verschiedene Quellenarten zur Verfügung:

- die mündliche Überlieferung durch frühere Mitarbeiter des Germanischen Nationalmuseums,
- die Sichtung von Archivmaterial in Form von Arbeitsbüchern,
- das Auffinden erhaltenen Verpackungsmaterials.
- Erhaltene Gerätschaften zur Applikation der Wirkstoffe.

Erste Maßnahmen gegen Insektenfraß sind für die Jahre 1905 bis 1926 nachgewiesen.

Während des 2. Weltkrieges war die Museumsleitung um die „pflégliche Betreuung " bemüht und stellte eigens eine Mitarbeiterin ein, die die „bäuerlichen Trachten - einmal aus den schützenden Vitrinen heraus", vor Staub und Motten schützen sollte. Protokolle zu den Maßnahmen existieren nicht. Mitte der 40iger Jahre kamen die Wirkstoffe Hexachloraethan und Paradichlorbenzol auf den Markt.

Für die Jahre 1946 bis 1967 existieren Werkstattbücher über den regelmäßigen Gebrauch von Kopal, Formalin und Globol. Der Grund für die Nutzung von Formalin ist durch die Aufzeichnungen nicht nachvollziehbar. Es könnte als Desinfektionsmittel, z.B. gegen Schimmelbefall, eingesetzt worden sein.

In einer Kiste wurden ein Staubsauger Marke Electrolux, Modell 55, Werk Wilhelmshaven, (ca. 1952) und das ältere Modell einer Spritze, Modell „Flitspritze" sowie verschiedene „Pulver" und Arbeitswerkzeuge gefunden. Entsprechend der erhaltenen Betriebsanleitung konnte der Staubsauger als Zerstäuber und als Vergaser genutzt werden.

Für die Zeit von 1946 bis 1982 ist der regelmäßige Gebrauch von Globol durch Aufzeichnungen belegt. Das Mottenschutzmittel {Wirkstoff Paradichlorbenzol) wurde zusammen mit Kopal „ausgelegt" oder „eingemottet". Diese Behandlung wurde ausnahmslos in allen textilen Beständen, auch bei Neuzugängen, durchgeführt.

Mitte der 80er Jahre wechselte man zu Motte n streife n der Marke „Nexalotte" (Firma Celflor) mit dem Wirkstoff Chlorpyrifos.

¹ Petra Kress: Entfernen von Pestizidrückständen aus historischen Textilien mit überkritischem CO₂. Erarbeitung einer Projektskizze anhand der textilen Sammlungsbestände des Germanischen Nationalmuseums, Nürnberg. Diplomarbeit, Fachhochschule Köln, Fachbereich Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut, 2000.

In den 70iger und 80iger Jahren kam es wegen akuten Motten- und Kakerlakenbefalls zu Begasungsaktionen in Depots und Schauräumen, über die z.T. sehr detaillierte Informationen bestehen. Durchgeführt wurde die Bekämpfung von einem Kammerjäger der Städtischen Desinfektionsanstalt, der die Produkte Detmol-tex, Detmol -Rauch, Detmol -Spray, Detmol -fum, Detmol -Lack und Detmolin-F, -M, -W sowie SchwabEx fluid einsetzte. Aus dieser Rekonstruktion ergibt sich eine lange Liste gesundheitsgefährdender Stoffe:

- Globol', mit dem Wirkstoff Paradichlorbenzol;
- Nexalotte' u.a. mit dem Insektizid Lindan
- Formalin sowie
- verschiedene Produkte der Fa. „Detmol“, die ein unsägliches Pestizidpaket darstellen.

Durch analytische Untersuchungen sind die o.g. Stoffe nicht nur bestätigt, sondern folgende Pestizide zusätzlich gefunden worden:

- DDT Nervengift (Trichlorethan')
- DDD wenig (.Dichlorethan¹)
- DDE
- Naphtalin

1.1.3 Konservatorische Gefahren für Textilien

Die Naturwissenschaft kann nur bei genauer Kenntnis der Applikationsart und Expositionsbedingungen eine Aussage über negative Einflüsse der Schadstoffe auf Textilien machen. Doch scheinen sich Schäden der sauren Abbauprodukte des DDT, z.B. Salzsäure, durch die Ausprägung der Schadensbilder, an denen sich Entfärbungen und Verluste an Textiloberflächen unorganisch abzeichnen, zu bestätigen.

1.1.4 Versuche der mechanischen Reinigung

Zur Reduzierung der Schadstoffmenge wurden 1999 einzelne Trachten ausgebürstet und abgesaugt. Die Arbeitshygiene versuchte man durch Mundschutz, Schutzkleidung und Latexhandschuhe sicherzustellen. Es wurde der Schadstoff - Staubsauger Type GMF 80 der Fa. Nilfisk eingesetzt. Die mechanische Reinigung hat sich aus mehreren Gründen als undurchführbar erwiesen.

Neben dem extremen Arbeitsaufwand sprechen gegen eine mechanische Reinigung:

- Hygienische Risiken für Mitarbeiter,
- Entsorgung des Reinigungsabraumes, der Arbeitskleidung und des Arbeitsgerätes,
- mechanische Belastung der Textilfaser,
- der enorme Arbeitsaufwand bei vollkommen unkontrollierbarem Arbeitsergebnis.

1.1.5 Die Situation an Deutschen Museen

Allein im Germanischen Nationalmuseum sind ca. 13.000 Kleidungsstücke und Gewebe verseucht. Leider befinden sich die behandelten Objekte nicht nur in Depots sondern auch in der Schausammlung. Daraus ergeben sich nicht nur für Mitarbeiter sondern auch für Besucher, wenn auch in eingeschränktem Ausmaß, Gefahrenquellen.

Die extreme Pestizidbelastung, die besser als Belastung mit Pestizidpaketen oder Pestizidcocktails beschrieben werden muss, gilt jedoch für eine ganze Reihe deutscher Museen, wie eine breit angelegte Umfrage an 122 deutsche Museen mit einer Rücklaufquote von 86 Antworten (71%) ergab.

Insgesamt muss man mit 282.000 Objekten rechnen, die in unterschiedlichstem Ausmaß verunreinigt sind.

Für einige Museen liegen Schadstoffanalysen mit bemerkenswerten Ergebnissen vor:

- Lindan: 200 mg/kg
- DDT: 1000 mg/kg
- PCP: 4000 mg/kg

Die hohe Belastung konnte in der Fallstudie des Projektes nicht nachgewiesen werden.

Da die Pestizidbehandlung schon ca. 25 Jahre zurückliegt, darf mit einem Abbau der Wirkstoffe gerechnet werden.

In Zusammenhang mit dem Projektantrag wurde jedoch ein Zylinder (KL 13044) aus der Mitte des 19. Jh. mit einer Kontamination 20.000 mg/kg gefunden. Auch hier war ein dichter weißer Belag Grund der Probenahme.

Die Sammlungen, die die drei oben genannten Giftstoffe nachgewiesen haben, repräsentieren einen Bestand von ca. 282.000 Objekten.

In bezug auf das Projekt muss festgehalten werden:

- Ungefähr 40 Museen wissen von einer Pestizidbelastung. In 23 Fällen sind Rückstände festgestellt worden. Immerhin haben 15 Museen diese Belastung analysiert.
- Der Erfolg einer mechanischen Reinigung ist nicht nachweisbar.

1.2 Definition des DBU - Projektes

Damit besteht ein Problem, das grundsätzlich mit neuen Verfahren gelöst muss.

Ein neues Verfahren muss in erster Linie die Stoffe schonen, umweltfreundlich und wirtschaftlich durchführbar sein.

1.2.1 Theoretische Vorarbeiten

In der bereits erwähnten Diplomarbeit hat Frau Kress die Möglichkeit einer Dekontamination mittels CO₂ theoretisch erörtert und die Überlegungen an Hand einer Fallstudie erfolgreich untermauern können.

Zwei Faktoren bildeten den entscheidenden Ideengeber, verflüssigtes CO₂ als Lösemittel für Pestizide in die Textilkonservierung zu übernehmen:

- Die industrielle Anwendung bei der Reinigung von Getreide.
- Das abgeschlossene DBU - Projekt Herrn Dr. Ungers, Rathgen-Forschungslabor Berlin, zur Dekontamination Pestizid verseuchter Hölzer.

1.2.2 Forschungsziel

Das Forschungsziel geht aus der Beschreibung des Problems hervor. Das Projektprogramm hatte folgende Ergebnisse festzuhalten:

- Die Abreicherungsrate der Pestizide,
- das physikalische Verhalten der Gewebe und
- die Beständigkeit der Einfärbemittel nach einer Waschung mit überkritischen, d. h. mit verflüssigtem Kohlendioxid.

Aus den Untersuchungen ausdrücklich ausgeschlossen blieb der Einfluss des Pestizidcocktails auf die Eigenschaften der Faser und Einfärbemittel. Die möglichen konservatorischen Gefahren für die materielle Sicherheit des Bestandes erschien unter der Aufgabenstellung des Projektes zweitrangig. Es galt die Gefahrenpotentiale aus dem Gewebe zu entfernen.

1.3. Die Methoden

1.3.1 Vorbemerkung

Es sei deutlich hervorgehoben, dass bei realitätsnaher Untersuchung Stoffe geopfert werden müssen, d.h. die Prüflinge sind nach der Untersuchung zerstört und stellen 100% Forschungsverlust dar:

- Zu den physikalischen und analytischen Untersuchungen der Fasern und zu den Remissionsuntersuchungen der Einfärbemittel müssen die Prüflinge jeweils auf geeignete Formate zerschnitten werden. (Faser ca. 50 x 50 cm, Remission ca. 5 x 5 cm).
- Die Reinigungskammern der CO₂ - Anlagen erlauben ebenfalls nur eingeschränkte Volumen von 4 l Schüttraum.

1.3.2 Die Einteilung der Prüflinge

Die Forschung war in zwei Reihen anzulegen:

- Die Untersuchung von formatierten Dummys.
- Die Untersuchung von alten aber historisch unbedeutenden Stoffen, die auf Format zerschnitten werden konnten. Diese historisch unbedeutenden Gewebe stellten die Realitätsnähe der Untersuchung sicher. Es handelt sich ausnahmslos um nicht inventarisierte Bestände verschiedener Museen aus nicht rekonstruierbarem Zusammenhang.

Die Auswahl von Stoffen als Dummys orientierte sich an den in Sammlungen am meisten vorkommenden Stoffarten:

Entsprechend wurden folgende Stoffe als Dummys mit Indigo und Krapp eingefärbt:

- Baumwolle,
- Wolle,
- Leinen und
- Seide

1.3.3 Die Untersuchungen

Alle Prüflinge standen in zwei Ausführungen bereit. Damit konnte jeweils eine vollständige Reihe unbehandelter Stoffe einer Reihe behandelter in den vergleichenden Untersuchungen gegenüber gestellt werden:

- Künstliche Kontamination der Dummys mit der Analyse ihrer Pestizidmenge,
- Dekontamination der entsprechenden Prüflinge in CO₂,
- Analyse der Dekontamination (Abreicherungsgrad) durch zwei unabhängige Labors
- Analyse des Restfettgehaltes bei Wolle,
- Ausmessen möglicher Veränderungen der Einfärbemittel und der Rauigkeit der Oberflächen,
- Faserphysikalische Prüfung auf Veränderungen der Faserqualität,
- haptische Prüfung der Stoffe nach restauratorischen Gesichtspunkten.

1.4. Der Untersuchungsablauf

1.4.1 Die künstliche Kontamination

Als Kontaminationsmittel wurde das in der DDR gebräuchliche Pestizid - Gemisch Hylotox gewählt. Hylotox enthält ein Pestizidcocktail aus folgenden Stoffen:

- Lindan
- DDE
- DDD
- DDT

Die künstliche Kontamination hat damit eine wirkungsvolle Realitätsnähe erreicht. In Anlehnung an festgestellte Pestizidgehalte wurde eine Endkontamination von 10.000 mg/kg DDT aufgebracht. Von dieser Menge hat Seide mit 6.350 mg/kg die höchste Verunreinigung angenommen, während Wolle, von gleich höherem Gewicht, nur 2.800 mg/kg aufwies.

Die Analyse der künstlichen Kontamination ist im Hinblick auf die in der Umfrage enthaltenen Werte interessant. Der hier angegebene höchste Wert für DDT lag bei 1.000 mg/kg. Selbst wenn man den Abbau von Pestiziden unterstellt, errechnet sich aus der o.g. Analyse eine ca. 3x höhere Menge an Pestiziden, mit denen die jeweiligen Personen umgegangen sind. Der sorglose Umgang mit Pestiziden am Germanischen Nationalmuseum ergibt sich aus der Fallstudie mit einer analytischen Belastung von 20.000 mg/kg.

1.4.2 Die Dekontamination in verflüssigtem CO₂

Der Dekontamination lagen folgende Parameter zugrunde:

Druck:	250 bar
Temperatur:	40°C
Zeit:	30 Min. für nicht kontaminierte Stoffe
Zeit:	60 Min. für kontaminierte Stoffe
Behältergröße:	4 l Schüttvolumen, also ungefähr die Größe eines kleinen Putzeimers.

1.4.3 Analyse der Pestizide und Abreicherung

Mit der Feststellung des Reinigungsgrades der künstlichen und ererbten Kontamination wurden zwei Labors beauftragt. Hierbei kam es z. T. zu erheblichen Differenzen in der Bestimmung absoluter Werte. Die Gründe hierfür sind darin zu suchen, dass:

- die Verteilung der Giftstoffe in den Geweben ungleich ist.

Jedes Labor war dadurch sehr wahrscheinlich mit unterschiedlichen Mengen an Pestiziden konfrontiert.

Entscheidend bleibt aber die gemeinsam festgestellte der Abreicherungsrate. Diese Rate betrug zwischen 90% - 95%. Damit steht der Erfolg des Verfahrens außer Frage!

1.4.4. Der Restfettgehalt der Wolle

Weniger günstig liegen die Werte für das Verbleiben des Fettes in der Wolle nach der CO₂-Waschung. Da die Bestimmung des Gehaltes an Fett in der Wolle sehr spät als notwendig angesehen wurde, konnten nur 3 Proben untersucht werden. Der Verlust des Fettes liegt zwischen 10% - 50%. Wegen der geringen Probemenge lässt sich hieraus keine sichere Aussage ableiten. Weiter Versuche sind geboten.

1.4.5. Farbverfärbungen und Oberflächenrauigkeit

Die Farbveränderungen der Einfärbemittel wurden mit einem Spektralphotometer durchgeführt. Die Oberflächenrauigkeit (Glanzbeurteilung) wurde über einen Reflektometer bestimmt. Sowohl die Einfärbemittel als auch Oberflächenrauigkeit hat sich für den ‚Normalbetrachter‘ nicht wahrnehmbar verändert. Die ausgemessenen Kurven sind nahezu deckungsgleich. Geringfügige Veränderungen werden auf unterschiedliche Oberflächen innerhalb der alten Gewebe zurückgeführt.

1.4.6 Die faserphysikalischen Untersuchungen

Mögliche Veränderungen der physikalischen Fasereigenschaften nach der CO₂-Waschung wurde nach einem feststehenden Katalog der Textilindustrie ermittelt:

Zugfestigkeit und das Dehnungsverhalten

Zugfestigkeit und Dehnungsverhalten von Fasern sind wichtige mechanische Eigenschaften der Form Stabilität. Die Veränderung dieser Eigenschaften wird durch normierte Zugversuche bestimmt. Diese unterscheiden sich je nach den Proben. Die Dummies wurden nach DIN 53 857, Teil 1 und die historischen Gewebe mit ihrer gealterten Faser nach DIN 53 834 bestimmt. Als Einspannvorrichtung für die Fasern diente die Universalzugmaschine Zwick Z 2,5n~N 1S.

Biegeeigenschaften (Biegesteifigkeit, Biegeelastizität)

Biegeeigenschaften beeinflussen die Möglichkeiten der Verarbeitung einer Faser und die mechanischen Eigenschaften eines Gewebes. Die Biegeeigenschaften wurden durch die Krafteinwirkung auf einen definiert gebogenen Prüfling in einem sogenannten Kawabata Biegeprüfgerät festgestellt.

Feuchteaufnahmevermögen

Hydrophile, kristalline und nicht kristalline Bestandteile der Faser bestimmen das Feuchteaufnahmevermögen. Diese lässt sich nach der Trocknung einer feuchten Probe aus der Gewichtsänderung ermitteln, die sich durch das Abgeben von Gasen (Desorption) ergibt. Die tatsächlich vorhandene Feuchte einer Faser ergibt sich aus der Gewichtsänderung und der Masse der trockenen Probe. Die Versuchsreihe wurde an DIN 53 800 angelehnt.

Dimensionsveränderung (Relaxionsschrumpf, hygrale Expansion)

Die natürliche Aufnahme von Wasser bewirkt Dimensionsveränderungen, die in Form von Quellung sichtbar ist. Prüfmethode für die Quellung ist das Ausmessen von Prüflingen bei unterschiedlichem Feuchtgehalt. Die Tests wurden nach Vorschrift 50-94 der International Wool Textile Organisation durchgeführt.

Durchschnittspolymerisation

Durchschnittspolymerisation beschreibt, welche durchschnittliche Kettenlängen Cellulosemoleküle in einer Faser haben. Die Zahl einzelner Glucosebausteine, aus denen eine Kette besteht, wird als Polymerisationsgrad bezeichnet. Chemische Veränderungen von Cellulose bewirken den Abbau von Molekülketten. Dieser Abbau wurde nach DIN 54 270 Teil4 bestimmt.

Die faserphysikalischen Vergleiche lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Zugfestigkeit und Dehnungsgrad haben sich unbedeutend verändert.
- Bei der Prüfung auf Biegesteifigkeit unterschieden sich die alten Gewebe aus Leinen und Baumwolle von den Dummies.
- Leinen und Baumwolle werden weicher, signifikante Veränderungen konnten nicht bestimmt werden.
- Die Biegeelastizität von Leinen und Baumwolle weicht relativ ab.
Auch bei CO₂ behandeltem Holz wurden solche Veränderungen festgestellt.
- Bei der Feuchteaufnahme von Leinen und Wolle gibt es eine unbedeutende Veränderung.
- Der durchschnittliche Polymerisationsgrad bei Baumwolle und Leinen ist für eine Aussage zu klein. Zwar sind keine Verkürzungen der Molekülketten zu erwarten, doch gilt diese Aussage nur für die in dem Projekt untersuchten Gewebe.

1.4.7 Die haptische und optische Prüfung

Der Prüfung der Faserqualitäten nach haptischen Verfahren, also nach Kriterien des Tastsinnes, haftet selbstverständlich eine große Individualität an, die zugunsten zuverlässiger Aussagen auf großer Erfahrung beruht. Haptische Prüfungen von Stoffen dienen der Qualitätsbeurteilung, wie sie bei herkömmlichen Reinigungsmethoden üblich sind. Den Naturwissenschaften verborgene Veränderungen können hier erfüllt werden.

Folgender Katalog lag der Prüfung zugrunde:

- Dimensionsveränderungen: Schrumpfen, Ausbeulen, Faltenbildung
- neue Schäden
- Verhalten bereits vorhandener Fehlstellen oder beschädigter Bereiche und vorhandener Flecken und
- Farbveränderungen

Für die Oberflächenprüfung wurden folgende Kriterien ausgewählt Oberflächenstruktur,

- Glanzveränderungen
- Griffigkeit
- Oberflächenrauhigkeit und
- Flexibilität

Es ist festzustellen, dass keine schwerwiegende mit einfachen Mitteln erkennbare Veränderung der Gewebequalität eingetreten ist:

- Bereits vorhandene Schäden, auch Fehlstellen, haben sich nicht vergrößert. Färb- und Formveränderungen blieben aus.
- Die Stoffe wirken insgesamt härter, die Oberflächen sind spröder und rauer. Diese Veränderung war bei dicken Wollgeweben deutlicher wahrnehmbar als bei feinen Seiden- und Baumwollgeweben.
- Veränderungen der Faserqualität waren offensichtlicher aber nicht schwerwiegender als bei den meisten Nass- oder Lösungsmittelreinigungen, die ebenfalls Einfluss auf die Faserqualität haben und diese verändern.

So krass die Veränderungen auch in dem Bericht formuliert wurden, im Gesamturteil werden die Veränderungen nicht als schwerwiegend und kaum erkennbar bezeichnet.

Insgesamt darf die Aussage gewagt werden, dass die festgestellten Veränderungen nicht anders zu bewerten sind, als bei anderen Reinigungsverfahren auch!

1.5. Gesamtergebnis

Die CO₂ - Waschung muss als erfolgreich angesehen werden:

- Veränderung der Farbe und Rauigkeit der Stoff Oberflächen werden als nicht sichtbar bezeichnet.
- Die Faserstruktur hat sich nach physikalischen, haptischen und restauratorischen Kriterien dem derzeitigen Kenntnisstand entsprechend nicht verändert. In allen Teilen scheint eine CO₂ - Behandlung nicht riskanter als eine herkömmliche chemische oder wässrige Reinigung zu sein. Allerdings bestehen hinsichtlich möglicher Verkürzungen der Celluloseketten Einschränkungen.
- Wegen des Verlustes an Fettgehalt muss für Wolle eine Einschränkung gemacht werden.

Ein Großteil historischer Textilien kann damit in einem Verfahren dekontaminiert werden, bei dem der Schaden nicht größer als durch eine konventionelle Waschung ist. Diese Aussage gilt jedoch nur für die einfachen Gewebe aus Baumwolle, Leinen und Seide. Für Wolle müssen weitere Tests Aufschluss über den Restfettgehalt geben.

Es konnte ein Konzept zur wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Entsorgung von Pestiziden aus Textilien entwickelt werden, das eine sehr hohe Wirkung und Zuverlässigkeit bei physikalischer Stabilität besitzt.

Konventionelle wässrige oder chemische Reinigung (außerhalb kontaminierter Stoffe) verursachen offensichtlich vergleichbare Veränderungen.

1.6 Forschungsfragen

1.6.1 Applikationsmaterial

Bei allem Erfolg bleiben Fragen ungelöst. Vor allem Kleidung ist zu einem großen Teil mit Applikationen besetzt. Auch wenn Gewebe Ausgangspunkt des Projektes waren, so konnte doch die Problematik der Applikationen nicht vollständig ausgeklammert werden, da selbstverständlich auch Textilie mit aufgesetztem Schmuck gereinigt werden müssen. Aus diesem Grund wurden verschiedene Materialien auf Stoff geheftet und einer Probebehandlung mit CO₂ unterzogen:

- Holzknöpfe mit Lacküberzügen
- Kielfedern
- Glasperlen
- Perlmutter
- Metalle sowie
- bemaltes und unbemaltes Leder

Erstaunlicherweise platzten die Glasperlen nicht. Lack und Farbüberzüge blätterten, bzw. waren rissig. Das Leder war deutlich verhärtet. Die Kielfeder zeigten deutlichen Volumenverlust. Das Holz war formstabil, Metall hat sich nicht verfärbt.

Damit stellen sich Probleme bei Werkstoffen für Applikationen. Durchaus ließen sich bei einigen Kleidungen Applikationen abtrennen. Sehr widerwillig wird aber ein Restaurator Knöpfe abnehmen wollen, selbst wenn er dadurch eine optimale Dekontamination erhielte. Somit bleibt die Notwendigkeit, sich Gewissheit über das Verhalten von Applikationsmaterialien unter Kohlendioxid zu verschaffen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

1.6.2 Figurinen

Es gibt eine weitere Objektart, für die eine CO₂ Behandlung noch nicht angewendet werden kann.

Die museale Realität hat uns Kleidungen überliefert, die auf ihren Figurinen 'festgewachsen' sind. Die Stoffe haben sich so sehr an ihre Form auf den Figurinen gewöhnt, dass ihre Abnahme und Vorbereitung auf eine CO₂ Waschung Zerstörungen bewirken würde. Man wird auch hier über Lösungsmöglichkeiten der Dekontamination nachdenken müssen.

1.7 Ausblick

Die apparative Umsetzung

Die apparative Umsetzung der Projektergebnisse bleibt ebenso zu lösen:

Zur Zeit ist es nicht möglich, eine CO₂-Dekontamination rationell und damit wirtschaftlich befriedigend durchzuführen. Die Reinigungsanlage der IGV in Rehbrücke ist stationär. Es gibt einige weitere stationäre industrielle Anlagen in Nordrhein-Westfalen. Unter der Voraussetzung, dass die Industrie bereit wäre, konservatorische Entsorgungen in Auftrag zu nehmen, muss das Kulturgut transportiert werden. Dies wäre mit hohem Zeitaufwand und Kosten verbunden. Zudem sind Transporte konservatorisch bedenklich. Man wird also z. Z. geeignete Anlagen nur in besonders problematischen Fällen aufsuchen können. Einige Firmen haben ihre Reinigungsverfahren für Bekleidung auf die umweltfreundliche CO₂ - Methode umgestellt. Diese Geräte sind mit Trommeln ausgestattet, die für historische Gewebe ungeeignet sind.

Ausgangspunkt des Projektes war die Entwicklung eines rationellen Verfahrens zur Beseitigung von Umweltgiften aus historischen Textilien. Eine wirtschaftliche Ausbeute ließe sich optimal aber nur durch eine mobile CO₂ - Anlage erreichen. Die wirtschaftliche Komponente ergibt aus der ungeheureren verunreinigten Gewebemenge in deutschen Museen.

1.8 Teilnehmer des Projektes

- Fachhochschule Köln: Frau Prof. Dr. Annemarie Stauffer und Frau Dipl. Ing. Felicitas Weiße (Projektpartner)
- Labor im Germanischen Nationalmuseum, GmbH, Prof. Dr. Rainer Drewello und Frau Dr. Ulrike Lacher (Projektpartner)
- Institut für Getreideverarbeitung, Rehbrücke, Dr. Horst Franke
- Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik, Prof. Dr. Heinrich Kaase und Dr. Sirri Aydinli.
- Fachgutachter Dr. Achim Unger, Rathgen Forschungslabor, SMPK, Berlin
- Germanisches Nationalmuseum, Institut für Kunsttechnik und Konservierung, Dr. Arnulf v. Ulmann

2. Die Schadstoffanalysen im Germanischen Nationalmuseum

Eine Fallstudie

Labor im Germanischen Nationalmuseum, GmbH

Prof. Dr. Rainer Drewello

Laborbericht: PEDEKON
Auftragsnummer: 18/12/01-1/1-00

Abteilung/Werkstatt: **IKK**
Bearbeiter GNM: Dr. Arnulf von Ulmann
Bearbeiter GNM-Lab: Dr. Ulrike Lacher
Aufgabe: Abschlußbericht – Teil GNM – Lab

Inhalt:

- 2.1 Die Schadstoffanalysen im GNM – eine Fallstudie**
 - 2.1.1 Untersuchung auf Pestizide in Staubproben von Textilien
 - 2.1.2 Vergleichende Untersuchung des Pestizidgehaltes in der Raumluft
 - 2.1.2.1 Analysenergebnisse schwerflüchtiger Fremdstoffe in der Raumluft
 - 2.1.2.2 Analysenergebnisse leichtflüchtiger Fremdstoffe in der Raumluft
 - 2.1.2.3 Analysenergebnisse leichtflüchtiger Fremdstoffe in Depotkisten
- 2.2 Effektivität der CO₂-Dekontamination – Überprüfung anhand präparierter Nullproben**
 - 2.2.1 Präparation der Nullproben
 - 2.2.2 Bestimmung des Abreicherungsgrades
- 2.3 Laborvergleich**
- 2.4 Vergleichende Wollfettbestimmung**

GNM-Lab 29.12.2001 Prof. Dr. Rainer Drewello

2.1 Die Schadstoffanalysen im GNM - eine Fallstudie

2.1.1 Untersuchung auf Pestizide in Staubproben von Textilien

Untersuchungsort:	GNM, Oscar-Kling-Sammlung; Wollrock einer Figurine (Trachtensaal).
Proben-Nr.:	Ex 215;304/III/1 und 304/III/2.
Zeitraum:	Mai / Juni 2000.
Beobachtung:	Am Rock einer Figurine aus der Oskar-Kling-Sammlung waren Verfärbungen schwarzbrauner und grüner Stoffe und die Absonderung opaken Feststoffe unbekannter Herkunft festzustellen.
Fragestellung:	Es sollte geklärt werden, ob die Verfärbungen und Fremdsubstanzen auf die Behandlung mit Pestiziden zurückgehen und eine frühere Behandlung mit Pestiziden noch heute nachgewiesen werden kann.
Probennahme:	Mechanisches Abkehren der Oberfläche, Sammlung der Staubfraktion.
Analysenmethode:	Der chemisch- analytische Analysengang bestand in einer spektroskopischen Untersuchung von Mikropartikeln der Staubfraktion durch Infrarot-Spektroskopie (FT-IR) und einer gaschromatographischen Übersichtsanalyse des Substanzgemischs hinsichtlich des Gehaltes an schwerflüchtigen Inhaltsstoffen (GC, Screening). Nach gaschromatographischer Trennung mit Hilfe eines Massenspektrometers (GC-MS) erfolgte eine quantitative Analyse, in der die identifizierten Substanzen mit einem Elektroneneinfangdetektor (GC-ECD) bestimmt wurden. Bei der Analyse wurde besonderes Augenmerk auf das Vorhandensein von Pestiziden gelegt.
Analyse (FT-IR):	Partikelpräparation auf einer Diamantzelle ohne chemisch-analytische Veränderung, Messung der Proben in Transmission.
Analyse (GC):	Auswertung der Einzelkomponenten nach hochauflösender Kapillar gaschromatographie mit gekoppelter Massenspektrometrie (GC/ MS) bzw. Elektroneneinfangdetektor (GC/ ECD); Fa. LinoDiagnostic. Extraktion: Heißextraktion im Soxhlet, Lösemittelgemisch Toluol / Cyclohexan, Dauer Gh. Analysendatum: 25.05.2000. Dimension: mg/kg.
Analysenergebnis:	Die Partikel- und Staubproben enthalten neben Proteinen und Stäuben nachweisbare Mengen an chlorierten Kohlenwasserstoffen. Gaschromatographisch eindeutig als Pestizide wurden DDT (p,p'-DDT) und dessen Abbauprodukte identifiziert (p,p'-DDE p,p'-DDD).

Tab. 1 Pestizidkonzentrationen in Staubproben.

Parameter [mg/kg]	Ex 215, 304/III/1, Staubprobe (Wollrock, braun)	Ex 215, 304/III/2 Staubprobe (Wollrock, grün)
p, p'-DDT (1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4-chlorphenyl)ethan)	0,2	<0,2
p, p'-DDE (1,1-Dichlor-2,2-bis(4-chlorphenyl)ethen)	0,7	0,3
p, p'-DDD (1,1-Dichlor-2,2-bis(4-chlorphenyl)ethan)	0,3	<0,2

Bewertung: Die Konzentration von DDT und seinen Abbauprodukten in den untersuchten Stäuben ist gering, Rückstände der Verbindungen sind aber ohne Zweifel nachweisbar. Demnach hat eine Behandlung des Rocks bzw. die Figurine mit Pestiziden auf der Basis von DDT und anderen Substanzen stattgefunden, wobei die Ablagerungen auf den Textilien heute nicht aus reinen Pestiziden bestehen, da letztere in den vergangenen 20 Jahren zum großen Teil abgebaut worden sind, sich verflüchtigt haben oder nur noch in Form sekundärer Korrosionsprodukte vorliegen. Die Festsubstanz auf dem Rock enthält demnach DDT und seine Abbauprodukte - das Gros des Staubes besteht jedoch aus nicht exakt zu klassifizierenden organischen Verbindungen (Gemenge aus Korrosions- und Abbauprodukten), Alumosilicaten (anorganischen Stäuben) und einer erheblichen Menge an Proteinen. Als Proteinquelle kommt das Textil - die Wolle - in Frage, das durch Abbaureaktionen und Säureabspaltung der chlorierten Verbindungen angegriffen werden kann. Allerdings ist auf der Grundlage der bisherigen Analysen keine direkte Korrelation der Pestizidbehandlung und der Verfärbungen zu belegen. Der Nachweis kann nur bei Kenntnis der Applikationsart und der Expositionsbedingungen geführt werden.

Schutzmaßnahmen: Bereits bei Verdacht auf Pestizidbehandlungen sollten bei Arbeiten an den Objekten Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Organochlorpestzide wie DDT, Lindan oder Pentachlorphenol können über das Atem- und das Verdauungssystem aufgenommen werden; sie sind zudem hautresorptiv. Die Substanzen haben einen hohen Siedepunkt und liegen damit nur teilweise als Gase vor. Der größere Anteil ist an Staubpartikel, insbesondere an sogenannte Schwebstäube gebunden. Als Präventivmaßnahmen sind das Tragen von Einmalhandschuhen (Nitrilkautschuk, PVC oder Latex), einer Schutzbrille, eines langen Arbeitsmantels, von Einmalüberschuhen und eines Mundschutzes erforderlich. Anstelle des Mundschutzes kann auch ein Atemfilter oder eine Atemschutzmaske mit A2/ PS-Filter verwendet werden. Die Staubentwicklung während der Arbeiten muss gering gehalten werden. Ist sie nicht zu vermeiden, ist der Staub lokal abzusaugen oder ein Abzug, bzw. ein Digestorium zu benutzen.

2.1.2.1

Vergleichende Untersuchung des Pestizidgehaltes in der Raumluft

- Untersuchungsort:** GNM, Raumluft im Volkskundearchiv, in dem davor befindlichen Flur sowie im Trachtensaal (Vitrine 12).
- Proben-Nr.:** MP1 (Archiv Volkskunde, „Kunstgewerbe“; geschlossene Schränke)
MP2 (Archiv Volkskunde, „Textil“, geschlossene Schränke)
MP3 (Archiv Volkskunde, Flur)
MP4 (Archiv Volkskunde, „Kunstgewerbe“; geöffnete Schränke)
MP5 (Archiv Volkskunde, „Textil“, geöffnete Schränke)
MP6 (Trachtensaal, Vitrine 12)
- Zeitraum:** Juni/Juli 2000
- Beobachtung:** In den Depoträumen des Volkskundearchivs ist die Luftqualität schlecht. Es überwiegen süßlich- aromatische Geruchsnoten. Die Beeinträchtigung der Luftqualität kann auf die Behandlung der eingelagerten Textilien zurückgehen, die sich u.a. durch weiße Rückstände oder Absonderungen auf den Oberflächen auszeichnen.
- Fragestellung:** Die Luftqualität sollte vergleichend beurteilt und mit der Situation in einer kontaminierten Vitrine des Trachtensaals korreliert werden. Ziel der Untersuchung war es, den Pestizidgehalt in der Raumluft zu quantifizieren. Bekannt ist der Einsatz von leichtflüchtigen und schwerflüchtigen. Zu den ersteren zählen Naphthalin und 1,4-Dichlorbenzol („Global“), zu den zweiten Lindan, PCP, DDT und andere Organochlorverbindungen. Als Pestizidquelle kommen die in den Schränken gelagerten Textilien in Betracht. Zur Bestimmung der Organika wurden
- Messungen in unterschiedlichen Raubereichen.
 - Messungen bei veränderten Raubedingungen (geschlossene bzw. geöffnete Archivschränke),
und
 - Messungen in Referenzbereichen vorgenommen (Flur).
- Während der Beprobung bei geöffneten Schränken war ein aromatischer Geruch zu bemerken, der auf das Vorhandensein signifikanter Mengen leichtflüchtiger Pestizide hinweist.
- Probenahme:** Aktive Probenahme mit Sammlung der Raumluft auf Kunstharzträger (schwerflüchtige Substanzen).
Aktive Probenahme mit Sammlung der Raumluft auf Aktivkohle (leichtflüchtige Substanzen).
Passive Probenahme mit Aktivkohle- Pasivsammelern (leichtflüchtige Substanzen).

2.1.2.1 Analysenergebnisse schwerflüchtiger Fremdstoffe in der Raumluft

Untersuchungsort: GNM, Raumluft im Volkskundearchiv, dem davor gelagerten Flur, im Trachtensaal (Vitrine 12).

Analysenmethode: Gaschromatographische Analyse (GC) der auf Polyurethanschaum aktiv gesammelten Gase, anschließend Trennung (GC-MS) und Quantifizierung der identifizierten Substanzen (GC-ECD).

Analyse (GC): Auswertung der Einzelkomponenten nach hochauflösender Kapillargaschromatographie mit gekoppelter Massenspektrometrie (GC/MS) bzw. Elektroneneinfangdetektor (GC/ECD); Fa. LinoDiagnostic.

Extraktion: Heißextraktion im Soxhlet, Lösemittelgemisch Aceton / Hexan, Dauer 14h.

Probenahme: 07.06.2000.

Dimension: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tab. 2: Analysenergebnisse schwerflüchtiger Fremdstoffe in der Raumluft

Parameter [Mg/ m ³]	MP1 Volkskunde „Kunst- gewerbe“ (Schränke zu)	MP2 Volkskunde „Textil“ (Schränke zu)	MP3 Referenz Flur	MP4 Volkskunde „Kunst- gewerbe“ (Schränke auf)	MP5 Volkskunde „Textil“ (Schränke auf)	MP6 Trachtensaal Vitrine 12
Lindan γ - Hexachlorcyclohe x an	<0,05	<0,05	0,18	0,07	0,11	0,12
PCP Pentachlorphenol	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
p, p'-DDE 1,1-Dichlor-2,2- bis(4- chlorphenyl)ethen	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
p, p'-DDD 1,1-Dichlor-2,2- bis(4- chlorphenyl)ethan	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
p, p'-DDT 1,1,1-Trichlor- 2,2-bis-(4- chlorphenyl)ethan	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Bewertung: Im Rahmen der Messgenauigkeit sind bei geschlossenen Schränken keine Pestizide nachzuweisen. Nach dem Öffnen steigt die Lindan- Konzentration erheblich an, erreicht aber nicht den Interventionswert von $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PCP- Richtlinie). Pestizidquelle sind die in den Schränken aufbewahrten Textilien. Im Flur sind die höchsten Konzentrationen an Lindan festzustellen. Diese beunruhigende Tatsache ist nur durch das stationäre Raumklima zu erklären, das offensichtlich eine Akkumulation des Pestizidgehaltes gestattet.

Der Lindangehalt in Vitrine 12 des Trachtensaals entspricht dem der Textilabteilung im Volkskundearchiv. Diese Beobachtung und die nachweislich vorhandene korrosive Gesamtbelastung (Glassensorstudie des GNM; $\Delta E = 0,28$, hygroskopische Kristallite) verweisen auf eine überdurchschnittlich hohe Pestizidbelastung in den Vitrinen.

1.1.2.2 **Analysenergebnisse leichtflüchtiger Fremdstoffe in der Raumluft**

Untersuchungsort:	GNM, Volkskundearchiv, „Kunstgewerbe“.
Anmerkung:	Zeitgleich mit der Probenahme für schwerflüchtige Schadstoffe wurde bei geöffneten Schränken im Volkskundearchiv, Abt. „Kunstgewerbe“, noch die Probenahme für ein Raumluft- Screening auf leichtflüchtige Stoffe (VOC) durchgeführt (aktive Probenahme auf Aktivkohle).
Analysenmethode:	Gaschromatographische Analyse der auf Aktivkohle gesammelten leichtflüchtigen Gase (volatile organic compounds, VOC), Trennung (GC-MS) und Quantifizierung der identifizierten Substanzen (GC-ECD).
Analyse (GC):	Auswertung der Einzelkomponenten nach hochauflösender Kapillar gaschromatographie mit gekoppelter Massenspektrometrie (GC/ MS) bzw. Elektroneneinfangdetektor (GC/ ECD); Fa. LinoDiagnostic. Extraktion: Desorption der Substanzen mit Schwefelkohlenstoff. Probenahme: 07.06.2000. Dimension: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tab. 3 Leichtflüchtige Fremdstoffe in der Raumluft (siehe Seite 7).

Bewertung: Die Ergebnisliste zeigt, dass trotz des intensiven aromatischen Geruchs nur geringe Mengen an VOC bestimmbar sind. Die Summe liegt bei $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Das Organochlorpestizid „Global“ ist trotz der vor langen Jahren erfolgten Behandlung in der Raumluft nachweisbar (Stoffnummer 4, halogenierte Kohlenwasserstoffe). Die Terpene (+)-3-Caren (Stoffnummer 5) und α -Pinen (Stoffnummer 7) stammen aus den Holzeinbauten. Nachweislich enthaltene höhere Alkane (Stoffnummern 14 bis 20) und aromatische Kohlenwasserstoffe (Stoffnummern 29, 31, 32, 34, 35, 37, 39) stammen vermutlich aus Benzin- und Dieselölfraktionen und können aus der Umgebungsluft in das Rauminnere gelangt sein. Aromatische Kohlenwasserstoffe werden ebenso wie das Aldehyd Nonanal (Stoffnummer 58) u.a. als Lösemittel in Lacken und Farben verwendet und können auf Anstricharbeiten zurückgehen. Allerdings sind keine derartigen Arbeiten für die letzten Jahre dokumentiert, so dass die Herkunft dieser Verbindungen nicht abschließend geklärt ist.

Tab. 3 Leichtflüchtige organische Verbindungen in der Raumluft

Analysenergebnisse VOC:

Beschreibung:

Archiv Volkskunde "Kunstgewerbe", Schränke geöffnet.

Dimension: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Stoff-Nr.: Archiv Volkskunde "Kunstgewerbe",
Schränke geöffnet

Halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)

1.	1,1,1-Trichlorethan	n.n.
2.	Trichlorethen	n.n.
3.	Tetrachlorethen	n.n.
4.	1,4-Dichlorbenzol	0,71

Terpene

5.	(+)-3-Caren	0,13
6.	Limonen	n.n.
7.	α -Pinen	3,60
8.	β -Pinen	n.n.
9.	Longifolen	n.n.

n-Alkane(C₆ – C₁₆)

10. n-Hexan	n.n
11. n-Heptan	n.n
12. n-Octan	n.n
13. n-Nonan	n.n
14. n-Decan	0,06
15. n-Undecan	0,06
16. n-Dodecan	0,53
17. n-Tridecan	0,11
18. n-Tetradecan	0,41
19. n-Pentadecan	0,35
20. n-Hexadecan	0,71

Sonstige Kohlenwasserstoffe

21. Cyclohexan	n.n.
22. Methylcyclopentan	n.n
23. Methylcyclohexan	n.n.
24. 2-Methylpentan	n.n.
25. 3-Methylpentan	n.n.
26. 1-Octen	n.n.
27. 1-Decen	n.n.

Aromatische Kohlenwasserstoffe

28. Benzol	n.n.
29. Toluol	0,85
30. Ethylbenzol	n.n.
31. m/p-Xylol	0,37
32. o-Xylol	0,24
33. 2-Ethyltoluol	n.n.
34. 3-Ethyltoluol	0,20
35. 4-Ethyltoluol	0,09
36. 1,2,3-Trimethylbenzol	n.n.
37. 1,3,5-Trimethylbenzol	0,06
38. n-Propylbenzol	n.n.
39. 1,2,4-Trimethylbenzol	0,24
40. Styrol	n.n.
41. 4-Phenylcyclohexen	n.n.
42. Naphthalin	n.n.

Alkohole

43. 2-Propanol	n.n.
44. 1-Butanol	n.n.
45. 2-Butanol	n.n.
46. 2-Ethyl-1hexanol	n.n.

Glykoether/-ester

47. 2-Ethoxyethylacetat	n.n.
48. 2-Methoxyethanol	n.n.
49. 2-Ethoxyethanol	n.n.
50. 1-Methoxy-2-propanol	n.n.
51. 2-Butoxyethanol	n.n.
52. 2-Butoxyethoxyethanol	n.n.

Aldehyde

53. Butanal	n.n.
54. Pentanal	n.n.
55. Hexanal	n.n.
56. Heptanal	n.n.
57. Octanal	n.n.
58. Nonanal	0,28
59. Decanal	n.n.
60. Benzaldehyd	n.n.

Ketone

61. Methylethylketon	n.n.
62. Methylisobutylketon	n.n.
63. Cyclohexanon	n.n.
64. Acetophenon	n.n.

Ester

65. Ethylacetat	n.n.
66. Isopropylacetat	n.n.
67. Butylacetat	n.n.

Sonstige

68. TXIB (Texanolisobutytrat)	n.n.
69. Tetrahydrofuran	n.n.
70. Summe VOC	9,00

2.1.2.3

Analysenergebnisse leichtflüchtiger Fremdstoffe in Depotkisten

Untersuchungsort:	GNM, Raumluft in Depotkisten des Volkskundearchivs mit Textilien.
Anmerkung:	Textilien werden nicht nur in den Schränken sondern auch in Holzkisten aufbewahrt. Beim Öffnen einiger Kisten fällt ein intensiver Geruch auf, dessen Ursache ermittelt werden sollte. Eine Probenahme nach der aktiven Methode, bei der insgesamt 1-2 m ³ der Raumluft von einer Pumpe mit einer Saugleistung von einigen Litern pro Minute über ein Absorptionsmedium gesaugt werden müssen, kam wegen des geringen Leervolumen der Kisten (0,5 m ³) nicht in Frage. Aus diesem Grunde wurde auf Aktivkohle-Passivsammler zurückgegriffen, die über einen definierten Zeitraum in der Kiste exponiert waren.
Analysenmethode:	Gaschromatographische Analyse (GC) der passiv auf Aktivkohle gesammelten Gase, anschließend Trennung (GC-MS) und Quantifizierung der identifizierten Substanzen (GC-ECD).
Analyse (GC):	Auswertung der Einzelkomponenten nach hochauflösender Kapillargaschromatographie mit gekoppelter Massenspektrometrie (GC/ MS) bzw. Elektroneneinfangdetektor (GC/ ECD); Fa. LinoDiagnostic. Extraktion: Desorption mit Schwefelkohlenstoff. Expositionszeitraum: 07.06. - 14.06.2000. Dimension: µg/Probe <u>Das exakte Luftvolumen der Kisten kann wegen der Befüllung mit Kleidungsstücken nicht ermittelt werden. Aus diesem Grund wurde für diese Untersuchung die Dimension µg/ Probe gewählt.</u>

Tab. 4 a: Leichtflüchtige Fremdstoffe in geruchsintensiven Holzkisten; Holzkiste 1 (siehe Seite 29).

Tab. 4 b: Leichtflüchtige Fremdstoffe in geruchsneutralen Holzkisten; Holzkiste 2 (siehe Seite 32).

Bewertung: Die Gesamtsumme an leichtflüchtigen Stoffen in der Luft *geruchsintensiver Holzkisten* (Kiste 1) liegt bei $\Sigma \text{VOC} = 274 \mu\text{g}$ (siehe Seite 10). Das Leervolumen der Holzkiste beträgt ca. 0,5 m³. Die Kiste war mit Kleidungsstücken bestückt, so dass sich das zur Verfügung stehende Restvolumen nur mit ca. 0,1 m³ berechnet. Kalkuliert man den Gesamtschadstoffgehalt in µg/ m³, so ergeben sich höhere Messwerte, die sich im ungünstigsten Fall auf ca. $2740 \mu\text{g}/\text{m}^3$ belaufen, was einem hohen Schadstoffgehalt entspricht. Die Analyse der Raumluft im Kisteninneren belegt den hohen Anteil von 1,4-Dichlorbenzol („Global“), das ca. 50% der leichtflüchtigen Schadstoffe ausmacht. Der intensiv wahrnehmbare, süßlich-aromatische Geruch wird von Naphthalin verursacht (Stoffnummer 42, Anteil ca. 25%), das als Grundstoff zur Insektenbekämpfung in Mottenkugeln verwendet wurde und selbst in geringsten Konzentrationen vom Menschen wahrgenommen werden kann. Schwer zu interpretieren ist das Auftreten von n-Hexan als dritter Hauptkomponente (Stoffnummer 10, Anteil ca. 10%). Es wird als Verdünnungsmittel für schnelltrocknende Lacke, Druckfarben und Klebstoffe gebraucht. Verwendung findet es auch im Brennstoff-, Kraftstoff- und Schmierstoffsektor, nicht aber im Textilbereich. Von einer Behandlung der Holzkiste mit Lacken, Klebstoffen oder ähnlichem war jedoch nichts bekannt. In geringen Konzentrationen finden sich noch Aldehyde, Terpene, weitere Alkane und aromatische Kohlenwasserstoffe sowie der Alkohol 1-Butanol (Stoffnummer 44). Terpene wie (+)-3-Caren, Limonen, α - und β -Pinen sind natürliche Inhaltsstoffe von Hölzern und stammen vermutlich aus dem Kistenmaterial.

Tab. 4a: leichtflüchtige Fremdstoffe in geruchsintensiven Holzkisten; **Holzkiste 1**

Analysenergebnisse VOC:

Beschreibung:

Archiv Volkskunde „Kunstgewerbe“.

Dimension: µg/ Probe

Stoff-Nr. Probe. Holz-kiste 1

Halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)

1.	1,1,1-Trichlorethan	n.n.
2.	Trichlorethen	n.n
3.	Tetrachlorethen	n.n
4.	1,4-Dichlorbenzol	150

Terpene

5.	(+)-3-Caren	6,20
6.	Limonen	0,80
7.	α-Pinen	3,90
8.	β-Pinen	0,10
9.	Longifolen	n.n

n-Alkane(C₆ – C₁₆)

10.	n-Hexan	29,0
11.	n-Heptan	0,30
12.	n-Octan	0,10
13.	n-Nonan	n.n
14.	n-Decan	0,10
15.	n-Undecan	0,30
16.	n-Dodecan	n.n.
17.	n-Tridecan	n.n.
18.	n-Tetradecan	n.n.
19.	n-Pentadecan	n.n.
20.	n-Hexadecan	0,40

Sonstige Kohlenwasserstoffe

21.	Cyclohexan	0,50
22.	Methylcyclopentan	n.n
23.	Methylcyclohexan	n.n.
24.	2-Methylpentan	n.n.
25.	3-Methylpentan	n.n.
26.	1-Octen	n.n.
27.	1-Decen	n.n.

Aromatische Kohlenwasserstoffe

28. Benzol	n.n.
29. Toluol	1,60
30. Ethylbenzol	0,10
31. m/p-Xylol	0,10
32. o-Xylol	n.n.
33. 2-Ethyltoluol	0,10
34. 3-Ethyltoluol	n.n.
35. 4-Ethyltoluol	n.n.
36. 1,2,3-Trimethylbenzol	n.n.
37. 1,3,5-Trimethylbenzol	n.n.
38. n-Propylbenzol	0,20
39. 1,2,4-Trimethylbenzol	0,30
40. Styrol	n.n.
41. 4-Phenylcyclohexen	n.n.
42. Naphthalin	73,0

Alkohole

43. 2-Propanol	n.n.
44. 1-Butanol	5,90
45. 2-Butanol	n.n.
46. 2-Ethyl-1-hexanol	n.n.

Glykoether/-ester

47. 2-Ethoxyethylacetat	n.n.
48. 2-Methoxyethanol	n.n.
49. 2-Ethoxyethanol	n.n.
50. 1-Methoxy-2-propanol	n.n.
51. 2-Butoxyethanol	n.n.
52. 2-Butoxyethoxyethanol	n.n.

Aldehyde

53. Butanal	n.n.
54. Pentanal	n.n.
55. Hexanal	0,40
56. Heptanal	n.n.
57. Octanal	0,20
58. Nonanal	0,20
59. Decanal	n.n.
60. Benzaldehyd	0,50

Ketone

61. Methylethylketon	n.n.
62. Methylisobutylketon	n.n.
63. Cyclohexanon	n.n.
64. Acetophenon	n.n.

Ester

65. Ethylacetat	n.n.
66. Isopropylacetat	n.n.
67. Butylacetat	n.n.

Sonstige

68. TXIB (Texanolisobutytrat)	n.n.
69. Tetrahydrofuran	n.n.
70. Summe VOC	274

Tab. 4 b: Leichtflüchtige Fremdstoffe in geruchsneutralen Holzkisten: **Holzkiste 2**

Analysenergebnisse VOC:

Beschreibung:

Archiv Volkskunde „Kunstgewerbe“.

Dimension: µg/ Probe.

Stoff-Nr. Probe. Holzkiye 2

Halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)

1.	1,1,1-Trichlorethan	n.n.
2.	Trichlorethen	n.n.
3.	Tetrachlorethen	n.n.
4.	1,4-Dichlorbenzol	72,0

Terpene

5.	(+)-3-Caren	0,10
6.	Limonen	0,30
7.	a-Pinen	0,30
8.	b-Pinen	n.n.
9.	Longifolen	n.n.

n-Alkane(C₆ – C₁₆)

10.	n-Hexan	174
11.	n-Heptan	n.n.
12.	n-Octan	n.n.
13.	n-Nonan	n.n.
14.	n-Decan	n.n.
15.	n-Undecan	0,10
16.	n-Dodecan	0,10
17.	n-Tridecan	n.n.
18.	n-Tetradecan	n.n.
19.	n-Pentadecan	0,20
20.	n-Hexadecan	n.n.

Sonstige Kohlenwasserstoffe

21.	Cyclohexan	2,10
22.	Methylcyclopentan	1,30
23.	Methylcyclohexan	n.n.
24.	2-Methylpentan	n.n.
25.	3-Methylpentan	n.n.
26.	1-Octen	n.n.
27.	1-Decen	n.n.

Aromatische Kohlenwasserstoffe

28. Benzol	n.n.
29. Toluol	4,80
30. Ethylbenzol	0,10
31. m/p-Xylol	n.n.
32. o-Xylol	n.n.
33. 2-Ethyltoluol	n.n.
34. 3-Ethyltoluol	n.n.
35. 4-Ethyltoluol	n.n.
36. 1,2,3-Trimethylbenzol	n.n.
37. 1,3,5-Trimethylbenzol	n.n.
38. n-Propylbenzol	n.n.
39. 1,2,4-Trimethylbenzol	n.n.
40. Styrol	n.n.
41. 4-Phenylcyclohexen	n.n.
42. Naphthalin	1,80

Alkohole

43. 2-Propanol	n.n.
44. 1-Butanol	2,90
45. 2-Butanol	n.n.
46. 2-Ethyl-1-hexanol	n.n.

Glykoether/-ester

47. 2-Ethoxyethylacetat	n.n.
48. 2-Methoxyethanol	n.n.
49. 2-Ethoxyethanol	n.n.
50. 1-Methoxy-2-propanol	n.n.
51. 2-Butoxyethanol	n.n.
52. 2-Butoxyethoxyethanol	n.n.

Aldehyde

53. Butanal	n.n.
54. Pentanal	0,40
55. Hexanal	0,40
56. Heptanal	0,10
57. Octanal	n.n.
58. Nonanal	n.n.
59. Decanal	0,10
60. Benzaldehyd	0,70

Ketone

61. Methylethylketon	n.n.
62. Methylisobutylketon	n.n.
63. Cyclohexanon	n.n.
64. Acetophenon	n.n.

Ester

65. Ethylacetat	n.n.
66. Isopropylacetat	n.n.
67. Butylacetat	0,10

Sonstige

68. TXIB (Texanolisobutytrat)	n.n.
69. Tetrahydrofuran	n.n.
70. Summe VOC	262

2.2 Effektivität der CO₂-Dekontamination - Überprüfung anhand von Nullproben

2.2.1 Präparation der Nullproben

Durchführung: GNM- Lab.

Pestizidauswahl: Um die Praxisnähe des Dekontaminationsversuch zu gewährleisten, wurde auf ein noch in Restbeständen vorhandenes, handelsübliches Produkt zurückgegriffen („Hylotox 59“. ein Gemisch aus Lindan, DDT und seinen Abbauprodukten). Das Präparat wurde uns freundlicherweise von Herrn Dr. Torge von der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin (BAM) zur Verfügung gestellt.

Präparation: Vier Textilien wurden unter Beachtung der entsprechenden Schutzmaßnahmen mit Hylotox 59 im Sprühverfahren kontaminiert. An Materialien standen zur Verfügung:
a) mit Indigo gefärbte Textilstücke aus Leinen und Baumwolle,
b) mit Krapp gefärbte Textilstücke aus Wolle und Seide. Die unterschiedlich schweren Stoffe sollten in Anlehnung an die bisher in den Textildépôts des GNM festgestellten Pestizidgehalte auf eine Endkonzentration von etwa 10.000 mg/kg an p, p'-DDT kontaminiert werden. Da das Besprühen mit dem Pestizid aus Sicherheitsgründen vor einer Spritzwand mit Absauganlage stattzufinden hatte und die Textilien unterschiedliche Mengen der konfektionierten Lösung aufnahmen, war das Einbringen einer definierten Lösungsmittel- und Pestizidmenge nur mit Einschränkungen möglich.
Zur Ermittlung der nach der Applikation tatsächlich enthaltenen Pestizidgehalte wurden Referenzen der Nullproben hinsichtlich ihres Gehaltes an Organochlorverbindungen analysiert (siehe Tab. 5).

Analysenmethode: Gaschromatographische Analyse (GC), Trennung (GC-MS) und Quantifizierung der identifizierten Substanzen (GC-ECD).

Analyse (GC): Auswertung der Einzelkomponenten nach hochauflösender Kapillargaschromatographie mit gekoppelter Massenspektrometrie (GC/ MS) bzw. Elektroneneinfangdetektor (GC/ ECD); GNM- Lab/Gefta- Umweltlabor.
Extraktion: Heißextraktion im Soxhlet, Lösemittel Toluol / Cyclohexan, Dauer 6h.
Probenahme: 07.06.2000.
Dimension: mg/kg

Tab. 5: Pestizidgehalte der Nullproben nach Sprühkontamination mit „Hylotox 59“ (Angabe in mg/kg)

Pestizidcocktail „Hylotox 59“	Leinen (Indigo)	Baumwolle (Indigo)	Wolle (Krapp)	Seide (Krapp)
Lindan γ-Hexachlor-cyclohexan	204	195	215	470
p, p'-DDT 1,1,1-Trichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethan	3740	3370	2800	6350
p, p'-DDE 1,1-Dichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethen	5,49	2,64	2,10	2,99
p, p'-DDD 1,1-Dichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethan	44,2	33,6	194	92,3

2.2.2 Bestimmung des Abreicherungsgrades

Nach Dekontamination mit überkritischem CO₂ hatten die Pestizidkonzentrationen in den vier Stoffmaterialien erheblich abgenommen. Wie Tab. 6 zeigt, wurden Abreicherungsgrade von 95% bis nahezu 100% erreicht.

Tab. 6: Pestizidgehalte nach Dekontamination der Nullproben (Angabe in mg/kg); Abreicherungsgrad in Ma.-%

Pestizidcocktail „Hylotox 59“	Leinen (Indigo)		Baumwolle (Indigo)		Wolle (Krapp)		Seide (Krapp)	
	mg/kg	Ma.-%	mg/kg	Ma.-%	mg/kg	Ma.-%	mg/kg	Ma.-%
Lindan γ-Hexachlor-cyclohexan	2,1	98,97	2,4	98,77	1,96	99,09	0,41	99,91
p, p'-DDT 1,1,1-Trichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethan	19,6	99,48	15,0	97,56	16,2	99,42	42,1	99,34
p, p'-DDE 1,1-Dichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethen	0,05	99,09	0,06	99,73	<0,01	99,9	<0,01	99,9
p, p'-DDD 1,1-Dichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethan	1,33	96,99	1,62	95,18	0,78	99,60	<0,01	99,9

2.3 Laborvergleich

Um die Qualität der Analysenergebnisse abzusichern, wurden Vergleichsanalysen durchgeführt. Als Referenzlabor diente das Analytiklabor der IG. Die Vergleiche wurden anhand des p,p'-DDT-Gehaltes einer kontaminierten und dekontaminierten Nullprobe (interner Ringversuch). In einem Vorversuch wurde eine grüne Kordel (Inv.-Nr. K1 14175 II) mit überkritischem CO₂ dekontaminiert und vorher wie nachher vom Labor der IG auf den Gehalt an Pestiziden überprüft. Das GNM-Lab lieferte Vergleichswerte der DDT-Konzentrationen des dekontaminierten Materials. Die Ergebnisse sind in Tab. 7 zusammengestellt.

Tab. 7: Pestizidgehalte einer grünen Kordel vor und nach der Dekontamination (mg/kg)

Pestizid	IGV: grüne Kordel kontaminiert	IGV: grüne Kordel dekontaminiert	GNM- Lab: grüne Kordel dekontaminiert
o, p'-DDT 1,1,1-Trichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethan	90,8	1,62	3,96
p, p'-DDE 1,1-Dichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethen	8,69	0,12	0,24
p, p'-DDD 1,1-Dichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethan	45,4	0,81	0,54
p, p'-DDT 1,1,1-Trichlor-2,2-bis-(4-chlorphenyl)ethan	659	5,53	11,1

Bewertung: Die Analysenergebnisse beider Labors liegen in vergleichbaren Größenordnungen. Die geringfügig erhöhten Konzentrationen in den Proben des GNM-Lab können von geringen Konzentrationsunterschieden im Untersuchungsmaterial herrühren.

Um bei der Serie der Nullproben Abweichungen durch Inhomogenitäten im Material auszugleichen, wurde nach den einzelnen Arbeitsgängen jeweils an drei Stellen des Stoffes ein kleines Stück entnommen und aus diesen insgesamt ca. 10 cm² Stoff eine Mischprobe hergestellt. Zudem erfolgte

die Probenahme nach der Dekontamination an einer nahezu identischen Stelle wie nach der Kontamination.

Bei dem kontaminierten Wollstoff stand genügend Material zur Verfügung, so dass von beiden Labors vergleichbare Proben untersucht werden konnten. Die Analysenergebnisse sind in Tab. 8 festgehalten.

Tab. 8: Vergleichsanalysen der Nullprobenserie vor und nach Dekontamination (mg/kg)
Hinweis: * Material von einer anderen Probenahmestelle, das nach der fasertechnischen Untersuchung noch zur Verfügung stand.

Pestizid	Wolle (Krapp)	Leinen (Indigo)	Baumwolle (Indigo)	Wolle (Krapp)	Seide (Krapp)
	kontaminiert	dekontaminiert			
IGV: p, p'-DDT	2560	1,08*	1,20*	0,67*	0,11*
GNM-Lab: p, p'-DDT	2800	19,6	15,0	16,2	42,1

Bewertung: Die Ergebnisse liegen wiederum in vergleichbaren Größenordnungen, wobei sich die Tendenz zu niedrigeren Analysedaten bei dem Labor der IGV fortsetzt (Tab. 4).

Mischproben der dekontaminierten Stoffe standen für die IGV nicht mehr zur Verfügung. Es musste auf Randmaterial zurückgegriffen werden, das nach der fasertechnischen Untersuchung verblieben war. Möglicherweise erklären sich die erheblichen Unterschiede in den p,p'-DDT-Gehalten (Tab. 4: IGV 0,67 bis 1,2 mg/kg versus 15,0 bis 42 mg/kg GNM-Lab) aus tatsächlich nicht vergleichbaren Proben.

Über die Relevanz der Ergebnisse gibt die Parallelanalyse Aufschluss, die das GNM-Lab von den Randmaterialien durchführte. Die Resultate sind in Tab. 9 zusammengestellt.

Tab. 9: Parallelanalyse der Randmaterialien nach Dekontamination (mg/kg).

Hinweis: Material von einer anderen Probeannahmestelle, das nach der fasertechnischen Untersuchung noch zur Verfügung stand.

Pestizid	Leinen (Indigo)	Baumwolle (Indigo)	Wolle (Krapp)	Seide (Krapp)
	Dekontaminiert			
IGV: p, p'-DDT	1,08*	1,20*	0,67*	0,11*
GNM-Lab: p, p'-DDT	3,4*	4,5*	6,7*	11,2*

Bewertung: Die Resultate zeigen eine deutlich bessere Übereinstimmung als im vorherigen Vergleich. Die Tendenz zu höheren Wiederfindungsraten des GNM-Lab setzt sich auch in diesem Falle fort. Aus Gründen der Qualitätssicherung wurde vom GNM-Lab zeitgleich unbekanntes, nicht kontaminiertes Material untersucht (Blindproben), das erwartungsgemäß keine Pestizidbelastung zeigte.

Die Vergleichbarkeit der Analysenergebnisse der beiden Labors in dem internen Ringversuch kann als zufriedenstellend bewertet werden. Eine umfangreiche statistische Auswertung ist bei den zur Verfügung stehenden geringen Datenmengen nicht möglich.

2.4 Vergleichende Wollfettbestimmung

Die Wollfettbestimmung ausgewählter Textilien vor und nach der Behandlung mit überkritischem CO₂ wurde für notwendig erachtet, da haptische Unterschiede zu registrieren waren. Der Grund für eine Änderung der Materialeigenschaften kann in der Abnahme des natürlichen Fettgehaltes der Wolle liegen, welche bei Reinigungsprozessen oft zu beobachten ist.

Zur Überprüfung wurden drei Proben untersucht: zwei rote und ein brauner Wollstoff.

Die Bestimmung erfolgte gemäß der IWTO-Norm 10-62 (E) von 1992. Nach 4- stündiger Extraktion im Soxhiet mit Methylenchlorid, nachfolgendem gründlichem Trocknen und Wiegen des Rückstands wird der Wollfettanteil bezogen auf die Einwaage in Ma.-% angegeben.

Tab. 10: Wollfettanteile vor und nach Behandlung mit überkritischem CO₂.

Probe	4.1. roter Wollstoff	4.2. roter Wollstoff	4.3. brauner Wollstoff
vor CO ₂ - Behandlung	0,55 %	1,24 %	0,51 %
nach CO ₂ - Behandlung	0,54 %	1,14 %	0,25 %

Bewertung: Die Ergebnisse zeigen, dass bei Probe 4.2 und 4.3 der Wollfettanteil durch die CO₂-Behandlung spürbar verringert wird, wobei der braune Wollstoff eine Minderung von ca. 50 % (!) aufweist. Dieser Befund ist bedenklich und sollte durch Kontrollmessungen überprüft werden. Im Gegensatz hierzu ist die Reduzierung des Fettanteils bei dem roten Stoff mit 0 - 10 % als relativ gering einzustufen.

3. Die faserphysikalischen Untersuchungen

Fachhochschule Köln, Fachbereich Restaurierung
Restaurierung und Konservierung von Textilien und Objekten aus Leder

Wissenschaftliche Bearbeitung: Prof. Dr. Annemarie Stauffer
Dipl.-Ing. Felicitas Weiße

Inhaltsverzeichnis

3.1 Einleitung

3.2 Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

3.2.1 Untersuchungsgegenstand

3.2.2 Untersuchungsmethoden

3.2.2.1 Bestimmung des Festigkeits- und Dehnungsverhaltens

3.2.2.2 Bestimmung der Biegeeigenschaften

3.2.2.3 Bestimmung des Feuchtaufnahmevermögens

3.2.2.4 Bestimmung der Dimensionsänderung

3.2.2.5 Bestimmung des Durchschnitts-Polymerisationsgrades von Cellulose

3.3 Ergebnisse und Diskussion

3.3.1 Ergebnisse der Untersuchungen an neuen Materialien

3.3.2 Ergebnisse der Untersuchungen an historischen Materialien

3.4 Zusammenfassung

3.5 Literaturverzeichnis

Anhang

Anhang 1 - Tabellen und Abbildungen

Anhang 2 - Statistische Grundbegriffe

3.1 Einleitung

Die Entfernung von Pestizidrückständen aus Textilien musealer Sammlungsbestände stellt eine wichtige konservatorische Maßnahme dar, mit der wesentlich zum Erhalt der Objekte beigetragen wird. Darüber hinaus ist die Durchführung einer solchen Maßnahme auch aus Gründen der Arbeitssicherheit für den Restaurator, der bei der Bearbeitung der Textilien mit diesen in engen Kontakt kommt, und letztendlich auch für den Ausstellungsbesucher als wichtig zu erachten. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde als rationelle und effektive Methode hierfür die Behandlung der Textilien mittels überkritischem CO₂ untersucht (s. hierzu auch Berichtsteil des Germanischen Nationalmuseums - GNM). Um diese Behandlungsmethode im Restaurierungsalltag etablieren zu können, ist es zum einen notwendig, ihre Effektivität hinsichtlich des Grades der Dekontaminierung zu untersuchen. Zum anderen muss jedoch auch untersucht werden, ob und in welchem Ausmaß faserspezifische Eigenschaften der zu behandelnden Objekte beeinflusst werden, um auf der Basis dieser Ergebnisse über den Einsatz der Behandlungsmethode entscheiden zu können.

Ein Ziel des Projektes war es daher, die Methode zur Entfernung von Pestizidrückständen aus Textilien mittels überkritischem CO₂ hinsichtlich ihrer generellen Durchführbarkeit sowie ihrer Effektivität zu untersuchen (s. hierzu Berichtsteil GNM/Labor im GNM). Ein weiteres Ziel des Vorhabens lag in der Bewertung der materialbezogenen Durchführbarkeit der Methode. Hierzu war die Untersuchung charakteristischer faser- bzw. textiltechnischer Eigenschaften wie beispielsweise des Zug-Dehnungs-Verhaltens, der Flexibilität und des Feuchteverhaltens an ausgewählten Proben vor und nach der Behandlung mit überkritischem CO₂ erforderlich, die an der Fachhochschule Köln durchgeführt wurden und deren Ergebnisse nachfolgend vorgestellt werden.

3.2 Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Im nachfolgenden Kapitel werden zunächst die im Rahmen des Projektes verwendeten Materialien kurz vorgestellt. Des Weiteren werden die zur Charakterisierung der faser- bzw. textiltechnischen Eigenschaften angewandten Methoden beschrieben und erläutert.

3.2.1 Untersuchungsgegenstand

Die Untersuchungen erfolgten in einer ersten Versuchsserie zunächst an neuen Flächengebilden, von denen ein Teil im Labor im GNM mit Pestiziden kontaminiert, ein Teil nicht kontaminiert belassen und beide Teile anschließend im Institut für Getreideverarbeitung (IGV) in überkritischem CO₂ behandelt wurden. In einer zweiten Versuchsreihe wurden in überkritischem CO₂ behandelte historische Textilien aus nicht inventarisierten Sammlungsbeständen verschiedener Museen ohne vorherige Kontamination mit Pestiziden berücksichtigt. Die genauen Parameter der Pestizidkontamination und der Behandlung in überkritischem CO₂ sind dem Berichtsteil des GNM zu entnehmen.

Von den Materialien beider Versuchsserien wurden jeweils unbehandelte Proben als Vergleichsmaterial zurückbehalten und ebenfalls untersucht.

In Tabelle 1 (Anhang 1, S. 25) sind die untersuchten Materialien und die im weiteren Bericht verwendeten Probenbezeichnungen zusammengestellt (zur Auswahl der untersuchten Materialien vgl. Berichtsteil GNM).

3.2.2 Untersuchungsmethoden

Nachfolgend werden die zur Charakterisierung der faser- und textilspezifischen Eigenschaften ausgewählten Untersuchungsmethoden vorgestellt, nach ihren jeweiligen Messprinzipien beschrieben, die zu ermittelnden Prüfparameter erläutert und die Vorgehensweise bei der jeweiligen Messung dargestellt.

3.2.2.1 Bestimmung des Festigkeits- und Dehnungsverhaltens

Die Zugfestigkeit und die Dehnung sind wichtige mechanisch-technologische Eigenschaften von Fasern bzw. Garnen und Geweben, mit denen der Zustand des zu untersuchenden Materials sehr genau charakterisiert werden kann *11/*, eine mögliche Veränderung der Eigenschaften infolge einer CO₂-Behandlung also erfasst würde.

Faserstoffe erfahren wie alle Körper durch Einwirkung einer äußeren Kraft eine Formänderung. Unter diesem Begriff wird die Änderung der ursprünglichen Gestalt des Körpers verstanden. Die äußeren Kräfte erzeugen im Gefüge des Körpers Widerstandskräfte, die der Entstehung der Formänderung entgegenwirken. Im Gleichgewichtsfall sind die äußeren Kräfte gleich den Widerstandskräften des Körpers, so dass diese durch die Größe der ihnen gleichwertigen äußeren Kräfte zahlenmäßig angegeben werden können. Zur Bestimmung der Formänderungseigenschaften dienen die Zugversuche, bei denen man in statische und dynamische Kurz- und Langzeit- bzw. Dauerversuche unterscheidet. Zur Untersuchung des Festigkeits- und Dehnungsverhaltens textiler Faserstoffe werden die statischen und dynamischen Kurzzeitversuche angewendet, die der Ermittlung der Beziehung zwischen Zugkraft und Längenänderung dienen. Die in der textilen Prüftechnik genormten Verfahren folgen dabei dem Prinzip der konstanten Verformungsgeschwindigkeit, bei dem sich eine bewegliche Klemme mit konstanter Geschwindigkeit von einer feststehenden Klemme fortbewegt. Dabei wird an einer Kraftmesszelle die Kraft aufgenommen, die bei zeitlich konstanter Dehnungszunahme zur Verformung einer zwischen den Klemmen eingespannten Probe notwendig ist /2/. Je nach Fragestellung und zur Verfügung stehender Materialmenge kann die Prüfung an unterschiedlichen Aufmachungszuständen des Prüfgutes erfolgen, wobei der generelle Ablauf der Prüfungen vergleichbar ist.

Im Rahmen der hier dargestellten Untersuchungen wurden die Prüfungen bei den ungealterten Proben an Gewebestreifen in Anlehnung an DIN 53 857 Teil 1 /3/ und bei den gealterten Proben aus Gründen der Materialersparnis an Garnen in Anlehnung an DIN 53 834 /4/ mit einer Universalprüfmaschine Zwick Z 2,5/TN 1S vorgenommen.

Zur Durchführung der Prüfung an Gewebestreifen wurde das zu untersuchende Material zunächst dem Normklima ($20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, $65\% \text{ r.L.} \pm 2\% \text{ r.L.}$) von der trockenen Seite angeglichen. Aus dem klimatisierten Material wurden dann in Kettrichtung je fünf Streifen der Größe $60\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ herausgeschnitten und an den Längskanten die Fäden bis zu einer verbleibenden tragenden Breite von 50 mm ausgeriffelt. Die so vorbereiteten Prüflinge wurden mit einer in der Norm vorgegebenen flächengewichtsabhängigen Vorspannkraft sowie einer freien Einspannlänge von 200 mm einzeln in die obere und die untere Klemme des Zugprüfgerätes eingespannt und mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit von 100 mm/min bis zum Bruch belastet. Die Messwerte wurden in einem Kraft-Dehnungs-Diagramm aufgenommen, aus dem als charakteristische Parameter die Höchstzugkraft und die Höchstzugkraftdehnung sowie die Bruchkraft ermittelt wurden. Unter der Höchstzugkraft versteht man die gemessene maximale Zugkraft, die Höchstzugkraftdehnung ist die dazugehörige Längenänderung. Je geringer der Wert der Höchstzugkraft ist, um so geringer ist die innere Widerstandskraft des Fasermaterials gegenüber einer Belastung in Längsrichtung. Je geringer der Wert der Höchstzugkraftdehnung ist, um so geringer ist die Längenänderung bei dieser Kraft. Die Bruchkraft ist die unmittelbar vor dem völligen Trennen der Probe gemessene Kraft.

Zur Durchführung der Prüfung an Garn- bzw. Zwirnabschnitten wurde das zu untersuchende Material ebenfalls zunächst dem Normklima von der trockenen Seite her angeglichen. Es wurden dann in Kettrichtung jeweils 20 Garn- bzw. Zwirnabschnitte von 200 mm Länge entnommen, einzeln ohne Vorspannkraft mit einer freien Einspannlänge von 100 mm in die obere und die untere Klemme des Zugprüfgerätes eingespannt und mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit von 50 mm/min bis zum Bruch belastet. Die Messwerte wurden in einem Kraft-Dehnungs-Diagramm aufgenommen, aus dem als charakteristische Parameter ebenfalls die Höchstzugkraft und die Höchstzugkraftdehnung ermittelt wurden. Darüber hinaus wurden hier auch verschiedene Bezugswerte aus der Kraft-Dehnungs-Kurve ermittelt. Diese Werte geben an, welche Kraft erforderlich ist, um den Prüfling um einen bestimmten Betrag zu dehnen und spiegeln sehr anschaulich den Verlauf der Zugkraft-Dehnungs-Kurve wieder.

Um die Festigkeitswerte der verschiedenen Proben gleicher Faserart miteinander vergleichen zu können, wurde die Feinheit der geprüften Garne bzw. Zwirne gravimetrisch an je 20 Garnabschnitten von 200 mm Länge ermittelt, so dass die Ergebnisse der Höchstzugkraft und der Bezugseigenschaften in feinheitbezogene Werte umgerechnet werden konnten.

Die Ergebnisse der Festigkeitsprüfungen sind in Anhang 1 dieses Teilberichtes dargestellt und in Kapitel 3 diskutiert.

3.2.2.3 Bestimmung der Biegeeigenschaften

Die Biegesteifigkeit gehört zusammen mit der Zugfestigkeit zu den charakteristischen Eigenschaften von textilen Fasern, Garnen/Zwirnen und Geweben. Das Biegeverhalten der Fasern beeinflusst zum einen deren Verarbeitungseigenschaften, zum anderen aber auch die mechanischen Eigenschaften

der aus den Fasern hergestellten Garne und Gewebe. Im Rückschluss können daher aus Veränderungen der Biegeeigenschaften Hinweise auf den Zustand des Materials gezogen werden, so dass auch mit der Untersuchung dieser Eigenschaft mögliche Veränderungen des Materials infolge der CO₂-Behandlung erfasst werden.

Zur Erfassung der Biegeeigenschaften sind in der textilen Prüftechnik verschiedene Verfahren und Geräte bekannt, die im wesentlichen auf drei Grundprinzipien beruhen, nämlich auf dem Prinzip der Erfassung des Biegeverhaltens unter dem Eigengewicht des Prüfgutes, auf dem Prinzip der Ermittlung der Biegesteifigkeit aus dem Schwingungsverhalten des Prüflings bei freien bzw. erzwungenen Schwingungen und auf dem Prinzip der Ermittlung der statischen Krafteinwirkung eines definiert gebogenen Prüflings /2/.

Im Rahmen des vorliegenden Vorhabens wurde das Biegeverhalten der Proben mit Hilfe des sogenannten Kawabata Biegeprüfgerätes ermittelt, einem Messgerät, das nach dem Prinzip der Ermittlung der Krafteinwirkung eines definiert gebogenen Prüflings arbeitet. Bei dieser Biegeprüfung wird die Probe vertikal zwischen einer beweglichen und einer mit einer Drehmomentmesszelle verbundenen feststehenden Klemme eingespannt und exakt kreisförmig linear zunehmend bis zu einem Krümmungsradius von 4 mm gebogen. Mit Hilfe der Drehmomentmesszelle wird kontinuierlich das zur Krümmung erforderliche Biegemoment gemessen, in ein Spannungssignal umgewandelt und an einem externen Schreiber aufgezeichnet /5/.

Zur Durchführung der Prüfung wurden den an das Normklima angeglichenen Proben je zwei Prüflinge der Größe 20 cm x 20 cm fadengerade entnommen und einzeln in die beiden vertikal in einem Abstand von 10 mm stehenden Klemmen des Biegetesters eingespannt. Die vordere der beiden Klemmen, die um eine vertikale Achse drehbar ist, wurde nun durch einen speziellen Getriebemechanismus auf einer Kreisbahn so geführt, dass der Prüfling exakt kreisförmig linear zunehmend bis zu einem Krümmungsradius von 4 mm gebogen wurde. Nach Erreichen des maximalen Krümmungsradius wurde die Umkehrbewegung der beweglichen Klemme eingeleitet und die Probe somit wieder entlastet. Die Prüfung wurde dann über die Nulllage der Krümmung hinaus in die entgegengesetzte Richtung weitergeführt, so dass einmal die rechte und einmal die linke Wareenseite im inneren Teil der Krümmung lag. Der Vollständigkeit halber wurde der Prüfling ein zweites Mal über den Nullpunkt hinaus in die erste Richtung beansprucht, so dass sich insgesamt drei Messzyklen ergaben. Die kontinuierlich aufgenommenen Signale von Biegemoment und Krümmung wurden sowohl bei Be- als auch bei Entlastung des Prüflings an einen angeschlossenen Schreiber weitergeleitet und als Biegehysterese aufgezeichnet, die sich ergibt, da textiles Material immer auch ein gewisses Rücksprungvermögen aufweist, wodurch der zur Entlastung erforderliche Kraftaufwand immer etwas geringer ist als der zur Belastung erforderliche. Durch Auswertung der Hysterese wurden die Biegesteifigkeit und die Biegeelastizität ermittelt.

Die Biegesteifigkeit bezeichnet die mittlere Steigung der Belastungskurve und wird zwischen den Krümmungen $\pm 0,5$ und $\pm 1,5 \text{ cm}^{-1}$ ermittelt. Sie ist um so höher, je steifer eine Probe ist. Die Biegeelastizität wird durch die Differenz der Biegemomente bei Belastung und Entlastung der Probe beschrieben. Sie wird aus der Höhe der Hysterese bei den Krümmungen $+1,0$ und $-1,0 \text{ cm}^{-1}$ ermittelt und ist um so niedriger, je sprungelastischer die Probe ist.

Die Ergebnisse der Biegeprüfungen sind für ausgewählte Beispiele in Anhang 1 dieses Teilberichtes dargestellt und in Kapitel 3 diskutiert.

3.2.2.3 Bestimmung des Feuchteaufnahmevermögens

Textile Faserstoffe besitzen die Fähigkeit, Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft aufzunehmen und zu binden. Die Menge des aufgenommenen Wassers ist zum einen abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft, zum anderen wird sie durch die Zusammensetzung der Faser, insbesondere durch das Vorhandensein hydrophiler Molekülteile, sowie durch ihre morphologische Struktur, die sich durch den Anteil amorpher und kristalliner Bereiche im Faserverbund ausdrückt, bestimmt /1/. Eine Veränderung in der chemischen und morphologischen Struktur des Fasermaterials infolge der Behandlung in überkritischem CO₂ sollte also über die Bestimmung des Feuchteverhaltens nachweisbar sein.

Die Bestimmung des Feuchteaufnahmevermögens erfolgt in der Praxis nach verschiedenen physikalischen Methoden, die auf dem Grundprinzip der Trocknung einer feuchten Probe und der anschließenden Bestimmung der Gewichtsänderung, die sich durch eine Desorption während der Trocknung ergibt, beruhen (Dörr-Wäge-Prinzip). Zur Berechnung des absoluten Feuchtigkeitsgehaltes wird diese Gewichtsänderung zu der Masse der trockenen Probe ins Verhältnis gesetzt /2, 6/. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde die Bestimmung dieses Parameters in Anlehnung an DIN 53 800 /7/ mit einer Laboranalysenwaage mit einer Ablesegenauigkeit von 0,1 mg vorgenommen.

Zur Durchführung der Untersuchungen wurde den normklimatisierten Proben jeweils eine Menge von ca. 1,5 g entnommen und bis zur Einzelfaser aufgelöst. Drei ebenfalls dem Normklima angegliche leere Wägegäser wurden gewogen. Das Gewicht der einzelnen leeren Wägegäser vor der Trocknung wurde als Gewicht 1 in g festgehalten. Nun wurde die zerkleinerte Probe in drei etwa gleichgroßen Teilen in die Wägegäser gefüllt. Es erfolgte die Gewichtsbestimmung der befüllten und verschlossenen Wägegäser. Gewicht 2 war danach das Gewicht der einzelnen Wägegäser inklusive der Probe vor der Trocknung in g. Die Proben wurden in den nun geöffneten Wägegäsern in einem auf 105 °C vorgeheizten Trockenschrank 3 Stunden getrocknet. Anschließend wurden die Wägegäser im Trockenschrank verschlossen und über P₂O₅ in einem Exsikkator eine Stunde lang abgekühlt. Nach dem Abkühlen wurden die verschlossenen Wägegäser mit Inhalt gewogen. Daraus ergab sich Gewicht 3 als Gewicht der einzelnen Wägegäser inklusive der Probe nach der Trocknung in g. Abschließend wurden die Wägegäser geöffnet, geleert und verschlossen erneut gewogen. Diese Wägung ergab Gewicht 4 und ist das Gewicht der leeren Wägegäser nach der Trocknung in g. Die Differenz von Gewicht 2 und Gewicht 1 der jeweiligen Wägegäser ergibt die Masse der Probe im feuchten Zustand, die Differenz von Gewicht 3 und Gewicht 4 ergibt die Masse der Probe im trockenen Zustand. Die Berechnung des absoluten Feuchtigkeitsgehaltes u erfolgt nach folgender Gleichung:

$$u = (m_f - m_{tr}) / m_{tr} \times 100$$

Darin bedeuten:	u:	Feuchtezuschlag (absoluter Feuchtigkeitsgehalt) in Prozent
	m _f :	Masse der Probe im feuchten Zustand in g
	m _{tr} :	Masse der Probe im trockenen Zustand in g

Die Ergebnisse der Bestimmung des absoluten Feuchtigkeitsgehaltes sind für ausgewählte Beispiele in Anhang 1 dieses Teilberichtes dargestellt und in Kapitel 3 diskutiert.

3.2.2.4 Bestimmung der Dimensionsänderung

Fasern sind, wie im vorangegangenen Kapitel bereits erläutert, in der Lage, aus ihrer Umgebungsluft Feuchtigkeit in unterschiedlicher Menge zu absorbieren. Das Vorhandensein dieser Feuchtigkeit im Faserverbund führt zu einer je nach Faserart mehr oder weniger stark ausgeprägten Quellung der Faser. Insbesondere bei bogigen Fasern mit einer starken Radialquellung wie z. B. Wolle kommt es dadurch zu einer Streckung /6/. Diese Streckung kann ebenfalls für einen Faden im Gewebe angenommen werden, bei dem die Bogigkeit durch die Einarbeitung des Fadens entsteht. Auch im Gewebe ist sie unter Berücksichtigung der Gewebefaserbindung und -einstellung sowie der Ausrüstung bis zu einem gewissen Grade nachvollziehbar. Eine mögliche Veränderung des Feuchtigkeitsaufnahmevermögens und dem damit verbundenen Quellungsverhalten der Fasern infolge einer CO₂-Behandlung sollte sich demzufolge also auch im Dimensionsverhalten der Gewebe widerspiegeln.

Zur Bestimmung der Dimensionsänderungen bedingt durch Faserquellung sind in der Prüftechnik nur wenige Methoden bekannt, die alle auf dem Prinzip des Ausmessens einer markierten Messlänge auf einem Gewebe bei unterschiedlichen Feuchtgehalten beruhen. Die Messwerte werden zueinander ins Verhältnis gesetzt und daraus die prozentuale Dimensionsveränderung in Form des sogenannten Relaxationsschrumpfes und der hygralen Expansion berechnet.

Im Rahmen der hier dargestellten Untersuchungen erfolgte die Messung des Dimensionsverhaltens der Proben nach der Vorschrift 50-94 der International Wool Textile Organization /8/. Zur Durchführung der Messungen wurde das zu untersuchende Material zunächst dem Normklima angeglichen. Anschließend wurden jeweils zwei Prüflinge der Größe 300 mm x 300 mm möglichst fadengerade zugeschnitten. Auf den Proben wurden je drei Messmarken in Kettrichtung und in Schussrichtung jeweils im Abstand von 250 mm angebracht. Der Abstand der Messmarken wurde jeweils exakt bestimmt und als Wert l_{0,K} = Länge der Messstrecke in mm im Normklima vor der Behandlung festgehalten. Die Prüflinge wurden dann in 40 °C warmes, mit einem nichtionischen Netzmittel versetztes Wasser eingelegt und dort zur vollständigen Durchnässung für 30 Minuten belassen. Anschließend wurden die Prüflinge einzeln aus dem Wasserbad entnommen, das überschüssige Wasser mit Vliespapier abgenommen und der Abstand der Messmarken erneut bestimmt. Diese Werte wurden jeweils als Wert l_n = Länge der Messstrecke in mm nach Nassbehandlung festgehalten. Nun wurden die Prüflinge vier Stunden bei 105 °C im Trockenschrank

getrocknet, nach Ablauf der Trocknungszeit einzeln entnommen und die Messmarken zügig ausgemessen. Diese Werte wurden jeweils als Wert l_t = Länge der Messstrecke in mm nach Durchnässung und vollständiger Trocknung festgehalten. Schließlich wurden die Prüflinge erneut dem Normklima angeglichen. Nach einer Angleichdauer von mindestens 12 Stunden folgte ein letztes Ausmessen der Messmarken. Die jetzt gemessenen Werte wurden je als Wert $l_{t,K}$ = Länge der Messstrecke in mm im Normklima nach der Behandlung bezeichnet. Aus den gemessenen Werten wurden nach folgenden Gleichungen der Relaxationsschrumpf und die hygrale Expansion als Maß für die Dimensionsstabilität berechnet:

Relaxationsschrumpf RS	=	$(l_{0,K} - l_{t,K}) / l_{0,K} \times 100$	in %
Hygrale Expansion HE (0 - 65)	=	$(l_{t,K} - l_t) / l_t \times 100$	in %
Hygrale Expansion HE (0 -100)	=	$(l_n - l_t) / l_t \times 100$	in %
Hygrale Expansion HE (65 -100)	=	$(l_n - l_{t,K}) / l_{t,K} \times 100$	in %

Als Relaxations- oder Entspannungsschrumpf bezeichnet man die irreversible Längenänderung bei erstmaligem, unter statischen Bedingungen vorgenommenem Benetzen eines textilen Flächengebildes. Bei der Benetzung kommt es zum Freiwerden gewollt oder ungewollt aufgebrachtener kohäsiver Fixierungen, die bereits beim Einlegen in kaltes Wasser instabil sind, und temporärer Fixierungen, die beim Einlegen in warmes Wasser instabil sind. Unter der hygralen Expansion versteht man die reversible, feuchtigkeitsbedingte Maßänderung von hygroskopischen Fasern, Garnen und Flächengebilden, bei denen durch Wasseraufnahme eine starke Quellung hervorgerufen wird /2/.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Kapitel 3 diskutiert.

3.1.1.1 Bestimmung des Durchschnitts-Polymerisationsgrades von Cellulose

Zur Aufklärung der molekularen Struktur und der chemischen Beschaffenheit textiler Fasern stehen in der Analytik je nach Faserart anwendbare verschiedene Methoden zur Verfügung. So sind bei cellulosischen Fasern Aussagen über den Grad der chemischen Veränderungen der Fasergrundsubstanz auf Basis des sogenannten Durchschnitts-Polymerisationsgrades bzw. der Grenzviskositätszahl möglich. Der Polymerisationsgrad gilt neben der mittleren Molekülmasse und dem Molekulargewicht als eine der wichtigsten quantitativen Kenngrößen zur Charakterisierung hochmolekularer Stoffe /9/. In einem Cellulosemolekül gibt der Polymerisationsgrad die Anzahl der Glucosebausteine an, aus denen die Kette besteht. Da ein Polymer immer polydispers ist, d.h. die Ketten nicht alle genau gleich lang sind, sondern eine Verteilung der Kettenlänge und damit des Polymerisationsgrades vorliegt, gibt man den Wert als Durchschnitts-Polymerisationsgrad an. Da es mit seiner Hilfe möglich ist, chemische Schädigungen von Cellulosen, die sich immer in einem Polymerisationsgradabfall äußern, nachzuweisen, können auch eventuelle schädigende Auswirkungen der CO₂-Behandlung nachgewiesen werden. Zur Bestimmung des Durchschnitts-Polymerisationsgrades von Polymeren gibt es verschiedene viskosimetrische Verfahren. Diese in der textilen Praxis häufig angewendeten Methoden beruhen auf dem direkten gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen dem Polymerisationsgrad eines Polymers und der Viskosität seiner Lösung. Längere Moleküle zeigen in Lösung eine größere Viskosität als kürzere Moleküle.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes erfolgte die Bestimmung des Durchschnitts-Polymerisationsgrades an den cellulosischen Proben nach dem sogenannten Nitratverfahren (DIN 54 270 Teil 4) /10/. Bei diesem Verfahren wird die Cellulose mit einem Nitriersäuregemisch zunächst in einen polymerhomologen Ester überführt, der in Aceton löslich ist. Die Viskosität dieser Lösung und des reinen Lösemittels Aceton werden in einem Ubbelohde-Viskosimeter bestimmt und der Durchschnitts-Polymerisationsgrad rechnerisch ermittelt.

Zur Durchführung der Prüfung wurde zunächst die Nitriersäure hergestellt. Hierzu gibt man zu 5 Gewichtsteilen 89 %iger reiner Phosphorsäure unter ständigem Rühren 3 Gewichtsteile Phosphorpentoxid portionsweise zu. Man rührt bis zur klaren Lösung, kühlt auf Raumtemperatur ab und gibt dann unter Rühren 6 Gewichtsteile rauchende Salpetersäure hinzu. Diese Mischung wird in eine braune Glasflasche gefüllt und muss vor dem ersten Gebrauch etwa ein bis zwei Tage ruhen. Zur Nitrierung wurde dem zu untersuchenden Material eine Menge von 100 - 200 mg entnommen, bis in die Einzelfaser zerlegt und in einer braunen Glasstöpselflasche mit etwa 20 ml Nitriersäure übergossen. Nach zweistündiger Einwirkzeit wurde durch eine Glasfilterrutsche filtriert und die überschüssige Säure durch Auspressen mit einem Glasstab entfernt. Die nitrierten Proben wurden

dann unter kräftigem Hin- und Herbewegen 30 Sekunden in Eiswasser, 60 Minuten in kalt fließendem Wasser und schließlich 60 Minuten in Methanol gespült. Getrocknet wurden die Proben an der Luft. Von den getrockneten Proben wurde jeweils soviel in 100 ml Aceton vollständig aufgelöst, dass die spezifische Viskosität der Lösung zwischen 0,5 und 2 lag. Nach Temperieren der Lösung in einem Thermostaten bei $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ und Filtrieren mit Hilfe eines Spritzenfilters für organische Lösungen (Porosität 0,2 μm) wurde die Durchflusszeit der Lösung in einem Ubbelohde-Viskosimeter Nr. OA bestimmt. Die Durchflusszeit des reinen Lösungsmittels (Aceton) wurde auf die gleiche Weise bestimmt. Jede Messung wurde mindestens dreimal wiederholt. Aus den Einzelwerten, die nicht mehr als 0,2 Sekunden voneinander abweichen dürfen, wurde der Mittelwert gebildet. Aus der Konzentration der Lösung in g/ml, der Durchflusszeit t_0 des reinen Lösungsmittels in s und der Durchflusszeit t der Lösung in s wurde der Durchschnitts-Polymerisationsgrad nach folgender Gleichung berechnet:

$$DP = 0,909 \eta_{sp}/c \times [1 / (1 + 0,315 \times \eta_{sp})]$$

Hierin bedeuten:

DP:	Durchschnitts-Polymerisationsgrad	
η_{sp} :	spezifische Viskosität der Lösung =	$(t - t_0) / t_0$
c:	Konzentration in g/ml	

Je niedriger der Wert des Durchschnitts-Polymerisationsgrades ist, um so kürzer sind die am Aufbau des Cellulosemoleküls beteiligten Ketten.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Anhang 1 dieses Teilberichtes dargestellt und in Kapitel 3 diskutiert.

3.3 Ergebnisse und Diskussion

Im nachfolgenden Kapitel sind die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen anhand ausgewählter Beispiele getrennt für die neuen und die natürlich gealterten Materialien diskutiert. Die ausführliche Darstellung der Ergebnisse ist in Anhang 1 dieses Teilberichtes zu finden.

3.3.1 Ergebnisse der Untersuchungen an neuen Materialien

In der ersten Versuchsserie wurden die ausgewählten neuen Gewebe untersucht, die vorab wie bereits beschrieben zum Teil mit Pestiziden kontaminiert und anschließend in überkritischem CO_2 dekontaminiert und zum Teil nur in überkritischem CO_2 behandelt wurden. Das völlig unbehandelte Ausgangsmaterial wurde zur besseren Bewertbarkeit der Ergebnisse ebenfalls untersucht (zur Probenbeschreibung s. auch Tabelle 1, S. 25). Mit diesen Proben sollte zum einen die generelle Wirksamkeit der CO_2 -Behandlung zur Entfernung von Pestiziden überprüft werden (s. hierzu Teilbericht Labor im GNM). Zum anderen sollte untersucht werden, ob und wie stark Textilfasern durch die Behandlung in ihren wesentlichen Eigenschaften verändert werden. Die Proben wurden daher auf ihre Zug-Dehnungseigenschaften, ihr biegeelastisches Verhalten und ihr Dimensionsverhalten hin geprüft. Von den cellulosischen Proben wurden darüber hinaus auch der Durchschnitts-Polymerisationsgrad bestimmt.

Die Bestimmung der Zugfestigkeits- und Dehnungseigenschaften erfolgte nach der in Kapitel 3.2.2.1 dargestellten Vorgehensweise jeweils an fünf Kettstreifen. Aus den resultierenden Zugkraft-Dehnungs-Kurven wurden als charakteristische Parameter die Höchstzugkraft in daN, die Höchstzugkraftdehnung in % sowie die Bruchkraft ebenfalls in daN ermittelt. Aus den Einzelwerten wurde jeweils der arithmetische Mittelwert $\bar{\xi}$, die Standardabweichung s sowie die Weite des Vertrauensbereiches des wahren aber unbekanntes Mittelwertes der Grundgesamtheit q errechnet (zu den statistischen Berechnungen s. auch Anhang 2, S. 43). Aus den in Tabelle 2 (Anhang 1, S. 28) dargestellten Ergebnissen wird deutlich, dass die geprüften Materialien durch die Behandlung mit überkritischem CO_2 keine signifikanten Veränderungen in ihren Festigkeits- und Dehnungseigenschaften erfahren haben. Eine eindeutige Tendenz hin zu einer Verschlechterung der Werte, z. B. einer Abnahme der Höchstzugkraft oder der zugehörigen Dehnung nach CO_2 -Behandlung, kann ebenfalls nicht festgestellt werden. Bei einigen Proben werden nach der Behandlung sogar geringfügig höhere Festigkeits- und Dehnungswerte ermittelt. Auch die vorherige Pestizidbefrachtung der Proben, die einerseits durchgeführt wurde, um die Effektivität der Behandlung zur Entfernung der Pestizide beurteilen zu können, andererseits aber auch um nachzuweisen, inwieweit Eigenschaftsveränderung bereits durch das Pestizid selbst hervorgerufen werden, hat zu

keiner signifikanten Veränderung des Materials geführt. Diese Ergebnisse decken sich nicht mit Beobachtungen, die an pestizidbelasteten historischen Textilien gemacht werden können. Dort wird immer wieder festgestellt, dass die Bereiche, in denen sich Pestizidrückstände angesammelt haben, besonders spröde und brüchig sind. Die Tatsache, dass an den eigens kontaminierten Proben keine solche Veränderung nachgewiesen werden kann, ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Proben nur über einen sehr kurzen Zeitraum mit den Pestiziden in Kontakt waren. Insgesamt machen die Ergebnisse deutlich, dass die durchgeführte CO₂-Behandlung keine nachteilige Wirkung auf die Festigkeits- und Dehnungseigenschaften neuer Textilfaserstoffe hat. Die Bestimmung des biegeelastischen Verhaltens der Proben erfolgte wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben an jeweils zwei Prüflingen in Kettrichtung. An jedem Prüfling wurden zwei Messwerte für die Biegesteifigkeit und zwei Messwerte für die Biegeelastizität bestimmt, so dass aus jeweils vier Einzelwerten der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung und die Weite des Vertrauensbereiches des wahren aber unbekanntes Mittelwertes der Grundgesamtheit errechnet werden konnten. In Tabelle 3, S. 29 sind die Ergebnisse im Überblick dargestellt. Vergleicht man die Resultate aller Proben untereinander, so ist festzuhalten, dass die verschiedenen Materialien kein einheitliches Verhalten aufweisen. So zeigen beispielsweise die Baumwollproben eine leichte Tendenz zur Versteifung und Abnahme der Biegeelastizität infolge der CO₂-Behandlung. Möglicherweise wird bei diesen Proben die Oberfläche der Fasern durch die Behandlung leicht aufgeraut, so dass es zu einer erhöhten Reibung zwischen den Fasern kommt, die wiederum die Zunahme der Biegesteifigkeit und die Abnahme der Biegeelastizität bewirkt. Im Gegensatz dazu ist bei den CO₂-behandelten Leinen- und Seidenproben im Vergleich zum jeweils unbehandelten Ausgangsmaterial eine geringfügige Abnahme der Biegesteifigkeit zu verzeichnen, was darauf schließen lässt, dass hier eventuell Spannungen im Gewebe abgebaut wurden, die z. B. aus der Produktion stammen können. Die Wollproben zeigen keine signifikante Veränderung in ihrem biegeelastischen Verhalten.

Trotz der geringen Veränderungen der Messwerte der behandelten Baumwoll-, Leinen und Seidenproben im Vergleich zum unbehandelten Ausgangsmaterial kann auch für die Biegeeigenschaften festgehalten werden, dass durch die CO₂-Behandlung keine gravierenden Nachteile für das textile Material entstehen.

Die Messung des Relaxationsschrumpfes und der hygralen Expansion als charakteristische Parameter für die Dimensionsstabilität von textilen Flächengebilden wurde wie in Kapitel 3.2.2.4 beschrieben durchgeführt. Dabei ergaben sich jedoch so hohe Streuungen der Messwerte, deren Ursache, wie in einem Vergleichsversuch an anderen Materialien nachgewiesen werden konnte, offensichtlich im Gewebe zu suchen ist, dass auf eine Diskussion verzichtet werden muss. Auf die Darstellung der Messergebnisse wird daher im Rahmen dieses Berichtes ebenfalls verzichtet. Abschließend wurde von den Proben aus Baumwolle und Leinen der Durchschnittspolymerisationsgrad nach dem Nitratverfahren wie in Kapitel 3.2.2.5 beschrieben gemessen. Die in Tabelle 4, S. 30 dargestellten Werte belegen, dass auch die chemische Struktur der Fasern durch die CO₂-Behandlung nicht verändert wird, da bei allen behandelten Proben außer bei Probe NL1 der Polymerisationsgrad im Vergleich zur unbehandelten Ausgangsprobe sogar leicht zunimmt. Fasst man alle Untersuchungsergebnisse dieser ersten Versuchsserie zusammen, so kann festgehalten werden, dass neues ungeschädigtes Material aus Baumwolle, Leinen, Wolle und Seide unter den gewählten Behandlungsbedingungen keine bemerkenswerten Veränderungen in den mechanisch-technologischen Eigenschaften erfährt. Diese Aussage kann auch, soweit untersucht, für die molekulare Struktur der cellulosischen Materialien getroffen werden.

3.3.2 Ergebnisse der Untersuchungen an historischen Materialien

Auf der Basis der positiven Ergebnisse der ersten Versuchsserie wurde eine zweite Reihe mit historischen Materialien durchgeführt, um nachzuweisen, inwieweit die erhaltenen Resultate auf natürlich gealtertes Material übertragbar sind. Hierbei wurden insbesondere die Festigkeits- und Dehnungseigenschaften, die Biegeeigenschaften, das Feuchtigkeitsaufnahmevermögen und bei den cellulosischen Materialien der Durchschnittspolymerisationsgrad berücksichtigt. Auf die Bestimmung des Dimensionsverhaltens wurde bei dieser Versuchsserie verzichtet, da mit der angewendeten Messmethode bereits bei der ersten Versuchsserie keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt werden konnten und auch eine Optimierung der Messmethode die Aussagegenauigkeit der Werte nicht verbessert hat. Die Beschreibung der untersuchten Materialien ist Tabelle 1, S. 25 zu entnehmen.

Die Bestimmung der Zugfestigkeits- und Dehnungseigenschaften erfolgte an allen Proben außer an den Proben 1.04, 1.08, 1.09 und 1.16 an jeweils 20 Garnabschnitten. Bei den vier genannten Proben

wurde die Prüfung materialtechnisch bedingt an Gewebestreifen vorgenommen. Der jeweilige Prüfablauf und die entsprechenden Prüfparameter sind Kapitel 3.2.2.1 zu entnehmen. An den Garnabschnitten wurde zusätzlich gravimetrisch die Feinheit bestimmt, so dass aus den erhaltenen Zugkraft-Dehnungs-Kurven als charakteristische Parameter hier die feinheitsbezogene Höchstzugkraft in cN/tex und die Höchstzugkraftdehnung in % ermittelt werden konnten. Des Weiteren wurden, um den Verlauf der Kurven wiederzuspiegeln, die feinheitsbezogenen Festigkeiten bei 2 % und bei 5 % Dehnung jeweils in cN/tex ausgewertet. Für die streifenförmigen Proben wurden die Höchstzugkraft und die Bezugsfestigkeiten bei 2 % und bei 5 % Dehnung jeweils in N sowie die Höchstzugkraftdehnung in % ermittelt. Die erhaltenen Mittelwerte und die dazugehörige Weite des Vertrauensbereiches des wahren aber unbekanntes Mittelwertes der Grundgesamtheit sind in den Abbildungen 1 - 8 nach den einzelnen Materialgruppen getrennt sowie in Tabelle 5 und 6, Anhang 1 dargestellt.

Aus den Abbildungen 1 (S. 34), 5 (S. **38**) und 7 (S. 40), die die Ergebnisse der feinheitsbezogenen Höchstzugkräfte für die Garnproben der verschiedenen Materialgruppen vor und nach der CO₂-Behandlung zeigen, sowie aus Abbildung 3 (S. 36), in der die gemessenen Höchstzugkräfte der Baumwoll-Streifenproben dargestellt sind, geht hervor, dass auch das natürlich gealterte Material durch die Behandlung im allgemeinen keine signifikante Veränderung der Festigkeitseigenschaften erfährt. Eine Ausnahme bildet hier Baumwollprobe 1.06 (Abb. 1), die nach der CO₂-Behandlung eine deutlich niedrigere feinheitsbezogene Höchstzugkraft hat als vor der Behandlung. Die Ursache hierfür kann in alterungsbedingten Ungleichmäßigkeiten im Material selbst vermutet werden. Eine ebenfalls auffällige Ausnahme bildet die Seidenprobe 1.17 (Abb. 7). Hier kann nach der CO₂-Behandlung eine deutlich höhere feinheitsbezogene Höchstzugkraft ermittelt werden. Dieses Phänomen, das insbesondere bei Seide auch nach einer herkömmlichen wässrigen Reinigung beobachtet werden kann, ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass es durch die CO₂-Behandlung zu einer Neuorientierung der am Aufbau der Faser beteiligten Molekülketten kommt, so dass infolge zunehmender Ordnung im Molekül die Festigkeit ebenfalls zunimmt.

Betrachtet man die Höchstkraftdehnungswerte der gealterten Garne, so kann für die Woll- und Seidenproben (Abb. 6, S. 39 **und** Abb. 8, S. 41) festgehalten werden, dass es durch die CO₂-Behandlung zu keiner signifikanten Verminderung der Dehnbarkeit der Proben kommt. Bei den Baumwollproben (Abb. 2, S. 35 **und** Abb. 4, S. 37) wird dagegen durchweg eine verminderte Dehnbarkeit gemessen, die im Falle der Garmessung bei einigen Proben auch signifikant ist (s. Abb. 2, Probe 1.01, 1.05 und 1.06). Korrelierend zu diesen Messwerten wurde bei der Probenvorbereitung festgestellt, dass die weniger dehnbaren CO₂-behandelten Garne eine geringere Gleitfähigkeit haben, also offensichtlich eine höhere Garnreibung aufweisen. Inwieweit hier Zusammenhänge zwischen einer verminderten Dehnbarkeit und einer erhöhten Garnrauhigkeit bestehen, welche faserstrukturellen Ursachen für diese Eigenschaftsveränderung auszumachen sind und ob diese durch die CO₂-Behandlung hervorgerufen wurden, konnte im Rahmen der bisherigen Untersuchungen nicht geklärt werden.

Berücksichtigt man neben den bereits diskutierten Messwerten auch die Bezugsfestigkeiten der untersuchten Proben (s. Tabelle 5, S. 30 und Tabelle 6, S. 32) und die nicht grafisch dargestellten Messwerte der Seidenprobe 1.16 (Tabelle 5) so kann insgesamt festgehalten werden, dass durch die CO₂-Behandlung auch bei gealterten Textilfaserstoffen, die, wie die Werte ebenfalls belegen, teilweise noch in einem relativ guten Zustand, teilweise bereits in einem eher mäßigen Zustand sind, keine gravierenden nachteiligen Auswirkungen auf die Festigkeits- und Dehnungseigenschaften zu erwarten sind.

Die Bestimmung der Biegeeigenschaften der gealterten Proben vor und nach der CO₂-Behandlung konnte aufgrund der zur Verfügung stehenden Materialmengen und der Probenbeschaffenheit nur an einigen ausgewählten Proben durchgeführt werden. Die Messungen erfolgten wie in Kapitel 3.2.2.2 beschrieben. Auch hier wurden je zwei Prüflinge in Kettrichtung untersucht und hinsichtlich ihrer Biegesteifigkeit sowie ihrer Biegeelastizität ausgewertet. Die resultierenden Werte sind trotz sorgfältiger Probenauswahl, Vorbereitung und Durchführung der Messung mit relativ starken Schwankungen behaftet. Dies ist auf die Unregelmäßigkeit der gealterten Proben zurückzuführen, die bei der hohen Empfindlichkeit des Messgerätes zu Fehlmessungen führt. Die Ergebnisse sind daher nur bedingt aussagekräftig, so dass auf eine Darstellung im Rahmen des Berichtes verzichtet wird. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass die gealterten Proben wie auch die neuen Proben durch die CO₂-Behandlung keine gravierende Beeinflussung der Biegeeigenschaften erfahren, was durch eine subjektive Bewertung der Weichheit der Proben bestätigt wird.

Auch im Feuchtigkeitsaufnahmevermögen, das wie in Kapitel 3.2.2.3 beschrieben bestimmt wurde, und das für ausgewählte Proben in Tabelle 7, S. 33 dargestellt ist, können keine signifikanten Unterschiede vor und nach CO₂-Behandlung festgestellt werden.

Abschließend wurde auch von den gealterten Celluloseproben der Durchschnitts-Polymerisationsgrad nach dem Nitratverfahren bestimmt. Die in Abbildung 9 (S. 42) dargestellten Werte belegen, dass auch bei diesen Proben durch die CO₂-Behandlung kein gravierender Abbau der Molekülketten stattgefunden hat. Darüber hinaus belegen die Werte, dass die Untersuchungen an Materialien unterschiedlichen Zustands, sprich unterschiedlicher Abbaustufe durchgeführt wurden und damit auch Aussagen für eine breitere Menge von Objekten ähnlichen Zustands zulassen.

Fasst man alle Ergebnisse der Untersuchungen an den historischen Materialien zusammen, so kann festgehalten werden, dass nach derzeitigem Kenntnisstand durch die Behandlung gealterter Textilfaserstoffe in überkritischem CO₂ zur Entfernung von Pestizidrückständen unter den gewählten Bedingungen keine nachteiligen Veränderungen der Festigkeits- und Dehnungseigenschaften, des Biegeverhaltens und des zu erwarten sind. Darüber hinaus ist bei Cellulosefasern auch kein Molekülabbau zu erwarten. Die Zahl und die Auswahl der berücksichtigten Gewebe sind jedoch nicht für die gesamte Masse der historischen Textilien repräsentativ, so dass die getroffene Aussage auch nur für die im Rahmen des Projektes untersuchten Materialgruppen bzw. in Art, Alterung und Zustand vergleichbare Objekte gelten kann. Bevor die Methode generell an wertvollen textilen Objekten angewendet wird, sollten die gewonnenen Erkenntnisse in weiteren Untersuchungen bestätigt und vertieft werden. Eine Ausweitung auf materialkombinierte Objekte ist darüber hinaus unerlässlich.

3.4 Zusammenfassung

Für die Restaurierungs- und Konservierungstechnik stellt das Vorhandensein von Pestizidrückständen auf den Objekten umfangreicher textiler Sammlungen eine besondere Herausforderung dar. Zum einen müssen Methoden gefunden werden, mit denen diese Rückstände sowohl aus umwelttechnischer also auch aus humantoxikologischer Sicht einwandfrei entfernt werden können. Zum anderen dürfen die angewendeten Methoden das Objekt nicht schädigen und schließlich sollten sie auch in einem angemessenen ökonomischen Rahmen durchführbar sein. Bisher angewendete Methoden wie beispielsweise das Absaugen der betroffenen Textilien mittels Spezialsaugern führen weder zu ökologisch noch zu ökonomisch zufriedenstellenden Ergebnissen. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde daher als eine Möglichkeit zur Entfernung von Pestizidrückständen aus Textilien die Behandlung mit überkritischem CO₂ untersucht. Neben einer Überprüfung der generellen Durchführbarkeit und der Effektivität der Methode sollte festgestellt werden, ob und wie stark immanente Materialeigenschaften dabei beeinflusst werden. Zu diesem Zweck wurden ausgewählte neue und gealterte Gewebe- bzw. Garnproben aus Baumwolle, Leinen, Wolle und Seide hinsichtlich ihrer Zug-Dehnungseigenschaften, ihrer Biegeeigenschaften und ihres Dimensions- bzw. untersucht. Von den Proben aus Baumwolle und Leinen wurde darüber hinaus auch der Durchschnitts-Polymerisationsgrad viskosimetrisch bestimmt.

Sowohl die Untersuchungen an den neuen als auch an den gealterten Materialien haben gezeigt, dass durch die CO₂-Behandlung unter den gewählten Bedingungen keine der genannten Eigenschaften gravierend verändert wird. Vereinzelt gemessene nachteilige Veränderungen nach der CO₂-Behandlung insbesondere in den Festigkeits- und Dehnungseigenschaften sowie in der Biegesteifigkeit sollten nicht völlig außer Acht gelassen werden, dürfen aber auch keine Überbewertung erfahren. Aus materialtechnischer Sicht können somit gegen die Entfernung von Pestizidrückständen aus Textilfaserstoffen aus Baumwolle, Leinen, Wolle und Seide mittels überkritischem CO₂ unter den geprüften Bedingungen keine grundsätzlichen Einwände erhoben werden. Bevor die Methode jedoch an wertvollen textilen Objekten angewendet wird, sollten die gewonnenen Erkenntnisse in weiteren Untersuchungen bestätigt und vertieft werden. Eine Ausweitung auf materialkombinierte Objekte ist darüber hinaus unerlässlich.

3.5 Literaturverzeichnis

1. Bundesministerium für Bildung und Forschung
Erschließung naturwissenschaftlicher Untersuchungsmethoden zur Charakterisierung
historischer Textilfaserstoffe
Wissenschaftlicher Schlussbericht zum Forschungsprojekt 03-ST9KO2-0 Forschungsstelle:
Fachhochschule Köln, Fachbereich Restaurierung und Konservierung von Kunst- und Kulturgut
2. Reumann, R.-D.
Prüfverfahren in der Textil- und Bekleidungstechnik
Springer 2000
3. DIN 53 857, Teil 1
Einfacher Streifenzugversuch an textilen Flächengebilden Beuth
1979
4. DIN 53 834
Einfacher Zugversuch an Garnen und Zwirnen im klimatisierten Zustand Beuth
1976
5. Greuel, M.; Weiße, F.; Zastrow, U.
Der Griff eines Gewebes - Subjektive Beurteilung und objektive Messung
Bekleidung und Wäsche 4 und 5 (1991) 22 ff
6. Bobeth, W. (Hrsg.)
Textile Faserstoffe - Beschaffenheit und Eigenschaften Springer
1993
7. DIN 53 800
Bestimmung des Trockengewichts Beuth
1989
8. IWTO 50-94
The measurement of dimensional stability and hygral change in woven fabrics IWS 1994
9. Jayme, G.; El Kodsi, G.
Erfahrungen mit der neuen Methode zur Bestimmung der Kettenlängen Verteilung von Cellulosen in
EWNN_{mod(NaCl)} nach Jayme-El-Kodsi
Das Papier 24 (1970) 679 ff
10. DIN 54 270 Teil 4
Bestimmung der Grenzviskosität von Cellulosen - Nitratverfahren Beuth 1989

Anhang

Anhang 1 Tabellen und Abbildungen

Tab. 1: Zusammenstellung der untersuchten Materialien

Material	Zustand	Probenbezeichnung
Baumwolle, Gewebe	ungealtert, gefärbt, unbehandelt	NBO
Baumwolle, Gewebe	ungealtert, gefärbt, CO ₂ -behandelt	NB1
Baumwolle, Gewebe	ungealtert, gefärbt, pestizidkontaminiert, CO ₂ -behandelt	NB2
Leinen, Gewebe	ungealtert, gefärbt, unbehandelt	NLO
Leinen, Gewebe	ungealtert, gefärbt, CO ₂ -behandelt	NL1
Leinen, Gewebe	ungealtert, gefärbt, pestizidkontaminiert, CO ₂ -behandelt	NL2
Wolle, Gewebe	ungealtert, gefärbt, unbehandelt	NWO
Wolle, Gewebe	ungealtert, gefärbt, CO ₂ -behandelt	NW1
Wolle, Gewebe	ungealtert, gefärbt, pestizidkontaminiert, CO ₂ -behandelt	NW2
Seide, Gewebe	ungealtert, gefärbt, unbehandelt	NSO
Seide, Gewebe	ungealtert, gefärbt, CO ₂ -behandelt	NS1
Seide, Gewebe	ungealtert, gefärbt, pestizidkontaminiert, CO ₂ -behandelt	NS2

Material	Zustand	Probenbezeichnung
Baumwolle, Unterkleid	natürlich gealtert, nicht gebleicht, unbehandelt	1.01A
Baumwolle, Unterkleid	natürlich gealtert, nicht gebleicht, CO ₂ -behandelt	1.01 B
Baumwolle, Unterkleid	natürlich gealtert, nicht gebleicht, unbehandelt	1.02A
Baumwolle, Unterkleid	natürlich gealtert, nicht gebleicht, CO ₂ -behandelt	1.02B
Baumwolle, Kleid	natürlich gealtert, nicht gebleicht, unbehandelt	1.03A
Baumwolle, Kleid	natürlich gealtert, nicht gebleicht, CO ₂ -behandelt	1.03B
Baumwolle, Unterrock	natürlich gealtert, gebleicht, unbehandelt	1.04A
Baumwolle, Unterrock	natürlich gealtert, gebleicht, CO ₂ -behandelt	1.04B
Baumwolle, Gewebe	natürlich gealtert, gebleicht, unbehandelt	1.05A

Baumwolle, Gewebe	natürlich gealtert, gebleicht, CO ₂ -behandelt	1.05B
Baumwolle, Decke	natürlich gealtert, gebleicht, unbehandelt	1.06 A
Baumwolle, Decke	natürlich gealtert, gebleicht, CO ₂ -behandelt	1.06 B
Baumwolle, Trägerkleid	natürlich gealtert, gefärbt, unbehandelt	1.08A
Baumwolle, Trägerkleid	natürlich gealtert, gefärbt, CO ₂ -behandelt	1.08B
Baumwolle, Hose	natürlich gealtert, bedruckt, unbehandelt	1.09A
Baumwolle, Hose	natürlich gealtert, bedruckt, CO ₂ -behandelt	1.09B
Wolle, Decke	natürlich gealtert, garngefärbt, unbehandelt	1.11A
Wolle, Decke	natürlich gealtert, garngefärbt, CO ₂ -behandelt	1.11B
Wolle, Tuch	natürlich gealtert, gefärbt und bedruckt, unbehandelt	1.12A
Wolle, Tuch	natürlich gealtert, gefärbt und bedruckt, CO ₂ - behandelt	1.12B
Wolle, Fragment, gestreift	natürlich gealtert, gefärbt und bedruckt, unbehandelt	1.1 3A
Wolle, Fragment, gestreift	natürlich gealtert, gefärbt und bedruckt, CO ₂ - behandelt	1.13B
Wolle, Fragment, schwarz	natürlich gealtert, gefärbt, unbehandelt	1.1 4A
Wolle, Fragment, schwarz	natürlich gealtert, gefärbt, CO ₂ -behandelt	1.14B
Wolle, Fragment	natürlich gealtert, unbehandelt	1.1 5A
Wolle, Fragment	natürlich gealtert, CO ₂ -behandelt	1.15B
Seide, Tuch	natürlich gealtert, gefärbt, unbehandelt	1.16A
Seide, Tuch	natürlich gealtert, gefärbt, CO ₂ -behandelt	1.16B
Seide, Fragment	natürlich gealtert, unbehandelt	1.1 7A
Seide, Fragment	natürlich gealtert, CO ₂ -behandelt	1.17B
Seide, Fragment	natürlich gealtert, unbehandelt	1.18A
Seide, Fragment	natürlich gealtert, CO ₂ -behandelt	1.18B

Tab. 2: Ergebnisse der Festigkeits- und Dehnungsprüfung der Proben NB, NL, NW und NS vor und nach CO₂-Behandlung (Tragende Probenbreite: 50 mm; Einspannlänge: 200 mm; Prüfgeschwindigkeit: 100 mm/min)

Probenbezeichnung	Kurzbeschreibung	Höchstzugkraft in daN	Höchstzugkraftdehnung in %	Bruchkraft in daN $\xi \pm \sigma$
NBO	unbehandelt	44,1 ± 1,8	18,8 ± 0,7	43,2 ± 1,4
NB1	CO ₂ -behandelt	44,2 ± 2,4	18,0 ± 0,6	42,8 ± 3,8
NB2	pestizid- und CO ₂ behandelt	45,7 ± 2,5	18,7 ± 0,3	44,8 ± 4,6
NLO	unbehandelt	58,3 ± 0,8	26,7 ± 0,2	55,4 ± 5,7
NL1	CO ₂ -behandelt	57,6 ± 2,5	26,5 ± 0,5	57,4 ± 3,0
NL2	pestizid- und CO ₂ behandelt	58,1 ± 1,6	25,6 ± 0,6	57,1 ± 2,6
NWO	unbehandelt	37,7 ± 0,6	47,6 ± 1,7	37,0 ± 0,2
NW1	CO ₂ -behandelt	38,3 ± 0,4	47,1 ± 1,8	37,6 ± 0,9
NW2	pestizid- und CO ₂ behandelt	38,7 ± 0,7	48,6 ± 2,4	38,3 ± 0,7
NSO	unbehandelt	30,5 ± 3,0	31,9 ± 2,9	29,9 ± 3,7
NS1	CO ₂ -behandelt	29,6 ± 3,1	31,2 ± 3,2	29,1 ± 4,4
NS2	pestizid- und CO ₂ behandelt	35,0 ± 1,9	34,2 ± 1,9	35,0 ± 1,8

Tab. 3: Ergebnisse der Biegeprüfung der Proben NB, NL, NW und NS vor und nach CO₂-Behandlung

Probenbezeichnung	Kurzbeschreibung	Biegesteifigkeit in μNm $\xi \pm q$	Biegehysteresehöhe in mNm/m
NBO	Unbehandelt	$7,58 \pm 0,55$	$0,831 \pm 0,084$
NB1	CO ₂ -behandelt	$8,85 \pm 0,73$	$0,999 \pm 0,053$
NB2	pestizid- und CO ₂ behandelt	$8,55 \pm 1,31$	$0,950 \pm 0,037$
NLO	Unbehandelt	$16,11 \pm 0,99$	$1,65 \pm 0,146$
NL1	CO ₂ -behandelt	$15,69 \pm 0,59$	$1,666 \pm 0,129$
NL2	pestizid- und CO ₂ behandelt	$13,21 \pm 2,72$	$1,358 \pm 0,164$
NWO	Unbehandelt	$6,28 \pm 0,58$	$0,213 \pm 0,049$
NW1	CO ₂ -behandelt	$6,59 \pm 0,10$	$0,187 \pm 0,011$
NW2	pestizid- und CO ₂ behandelt	$6,34 \pm 0,33$	$0,175 \pm 0,010$
N SO	Unbehandelt	$1,35 \pm 0,26$	$0,044 \pm 0,011$
NS1	CO ₂ -behandelt	$1,26 \pm 0,10$	$0,032 \pm 0,008$
NS2	pestizid- und CO ₂ behandelt	$0,98 \pm 0,22$	$0,044 \pm 0,013$

Tab. 4: Durchschnitts-Polymerisationsgrade der Proben NB und NL

Probenbezeichnung	Kurzbeschreibung	Durchschnitts-Polymerisationsgrad
NBO	Unbehandelt	1687
NB1	CO ₂ -behandelt	1866
NB2	pestizid- und CO ₂ behandelt	1784
NLO	Unbehandelt	2021
NL1	CO ₂ -behandelt	1749
NL2	Pestizid- und CO ₂ behandelt	2018

Tab. 5: Ergebnisse der Festigkeits- u. Dehnungsprüfung der gealterten Proben vor und nach CO₂-Behandlung - Garnprüfung (Einspannlänge: 100 mm; Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min)

Probenbezeichnung	Bemerkungen	Feinheitsbezogene Höchstzugkraft in cN/tex $\xi \pm q$	Feinheitsbezogene Festigkeit bei 2 % Dehnung in cN/tex $\xi \pm q$	Feinheitsbezogene Festigkeit bei 5 % Dehnung in cN/tex $\xi \pm q$	Höchstzugkraftdehnung in % $\xi \pm q$
1.01 A	Bw-Unterkleid, nicht gebleicht	9,5 ± 0,6	0,10 + 0,01	0,92 + 0,10	11,3 ± 0,3
1.01 B		8,7 ± 0,5	0,15 ± 0,01	1,87 ± 0,23	9,6 ± 0,5
1.02A	Bw-Unterkleid, nicht gebleicht	11,6 ± 0,9	0,07 + 0,01	0,48 + 0,18	13,5 ± 0,8
1.02B		12,6 ± 0,6	0,08 + 0,01	0,72 + 0,30	13,0 ± 0,6
1.03A	Bw-Kleid, nicht gebleicht	11,9 ± 0,8	0,28 ± 0,04	5,30 ± 0,36	8,5 ± 0,3
1.03B		12,5 ± 1,0	0,48 ± 0,12	6,01 ± 0,29	8,2 ± 0,4
1.05A	Bw-Gewebe, gebleicht	7,0 ± 0,4	0,06 ± 0,003	0,25 ± 0,02	12,2 ± 0,4
1.05B		6,8 ± 0,4	0,09 ± 0,01	0,78 ± 0,19	9,8 ± 0,4
1.06A	Bw-Decke, gebleicht	3,9 ± 0,3	0,02 ± 0,002	0,12 ± 0,23	13,0 ± 0,8
1.06B		1,9 ± 0,2	0,03 ± 0,002	0,23 ± 0,04	9,5 ± 0,6
1.11A grün	Wolle, Garnfärbung	4,1 ± 0,3	0,02 ± 0,002	0,08 ± 0,01	17,4 ± 1,0
1.11B grün		4,0 ± 0,3	0,02 ± 0,003	0,09 ± 0,01	17,7 ± 1,0
1.11A rot	Wolle, Garnfärbung	2,2 ± 0,1	0,01 ± 0,002	0,06 ± 0,01	17,2 ± 1,1
1.11B rot		2,3 ± 0,1	0,02 ± 0,003	0,09 ± 0,02	17,1 ± 1,1
1.12A	Wolltuch, gefärbt und bedruckt	4,6 ± 0,3	0,21 ± 0,03	2,15 ± 0,17	10,1 ± 0,5
1.12B		4,8 ± 0,3	0,21 ± 0,05	2,21 ± 0,31	11,0 ± 1,2
1.13A	Wollgewebe, gefärbt und bedruckt	2,5 ± 0,3	0,02 ± 0,002	0,10 ± 0,01	20,3 ± 1,7
1.13B		2,8 ± 0,2	0,03 ± 0,002	0,13 ± 0,02	21,7 ± 1,8
1.14A	Wolle, schwarz	3,7 ± 0,3	0,12 ± 0,04	0,91 ± 0,17	11,9 ± 0,7
1.14B		3,7 ± 0,3	0,12 ± 0,02	1,05 ± 0,15	11,0 ± 0,6
1.17A	Seide	19,9 ± 0,5	11,25 ± 0,31	19,36 ± 0,47	5,4 ± 0,2
1.17B		27,0 ± 0,6	13,30 ± 0,22	22,29 ± 0,17	8,2 ± 0,4
1.18A	Seide	24,9 ± 0,8	5,87 ± 0,35	15,79 ± 0,36	10,8 ± 0,7
1.18B		23,8 ± 0,6	6,43 ± 0,30	15,97 ± 0,28	10,7 ± 0,5

Tab. 6: Ergebnisse der Festigkeits- u. Dehnungsprüfung der gealterten Proben vor und nach CO₂-Behandlung - Streifenzugversuch (Probenbreite: 50 mm; Einspannlänge: 100 mm; Prüfgeschwindigkeit: 50 mm/min)

Probenbezeichnung	Bemerkungen	Höchstzugkraft in N $\xi \pm q$	Festigkeit bei 2 % Dehnung in N $\xi \pm q$	Festigkeit bei 5 % Dehnung in N $\xi \pm q$	Höchstzugkraftdehnung in % $\xi \pm q$
1.04A	B w- Unterrock, gebleicht	228,8 ±41, 2	2,1 ±0,1	11,9±1,1	15,5 ±1,0
1.04B		234,1 ±12,6	2,2 + 0,4	11,2 + 2,7	15,4 + 1,0
1.08A	Bw-Kleid, gefärbt	68,7 ± 8,4	1,0 ±0,1	4,3 + 0,8	13,8 + 0,7
1.08B		72, 5 ±7,8	1,7 + 0,2	10,7 + 2,5	11, 3 ±0,4
1.09A	Bw-Hose, bedruckt	152,8 ±31 ,7	4,8 ±1,0	32,2 + 5,6	9,5 + 0,6
1.09B		174,9 ±24, 5	5,8 + 0,3	34,5 + 1,3	10,0 + 0,4
1.16A	Seidentuch, gefärbt	233,6 ± 25,0	38,5 ± 9,9	193,7 ±16,3	7,2 + 1,1
1.16B		204,8 ± 25,8	44,1 ±21,0	189,0 ±10,6	5,8 + 0,5

Tab. 7: Feuchtigkeitsaufnahmevermögen ausgewählter gealterter Proben vor und nach CO₂-Behandlung

Probenbezeichnung	Feuchtigkeitsaufnahmevermögen in %
1.03A	7,7 ± 0,0
1.03B	7,6 ± 0,2
1.1 2A	11,0 + 0,1
1.12B	11, 2 ± 0,4
1.14A	11, 7 ± 0,2
1.14B	12,0 ± 0,3
1.16A	8,0 ± 0,2
1.16B	8,2 + 0,1
1.18A	7,4 ± 0,2
1.18B	7,2 ± 0,0

Anhang 2 Statistische Grundbegriffe

Arithmetischer Mittelwert ξ ,

Der arithmetische Mittelwert ξ , ist definiert als die Summe der Einzelwerte, dividiert durch ihre Anzahl. Er ist ein Maß für die mittlere Lage der Einzelwerte einer Stichprobe. Der arithmetische Mittelwert erlaubt die Hochrechnung auf die Grundgesamtheit.

Standardabweichung s

Die Standardabweichung s ist die positive Wurzel der Varianz s^2 . Diese erhält man aus der Summe der Quadrierung aller Einzelabweichungen um den arithmetischen Mittelwert und Division durch den sogenannten Freiheitsgrad (= n-1). Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert.

Weite des Vertrauensbereiches des wahren aber unbekanntes Mittelwertes der Grundgesamtheit q Die Weite des Vertrauensbereiches legt die Grenzen fest, innerhalb derer sich der wahre aber unbekanntes Mittelwert der Grundgesamtheit mit einer zuvor festgelegten statistischen Sicherheit befindet. Er erstreckt sich über den Bereich $\xi \pm q$ mit

$$q = t \cdot s / \sqrt{n}$$

In dieser Gleichung ist t ein Faktor, der abhängig ist von der gewählten statistischen Sicherheit und von der Anzahl der Einzelwerte

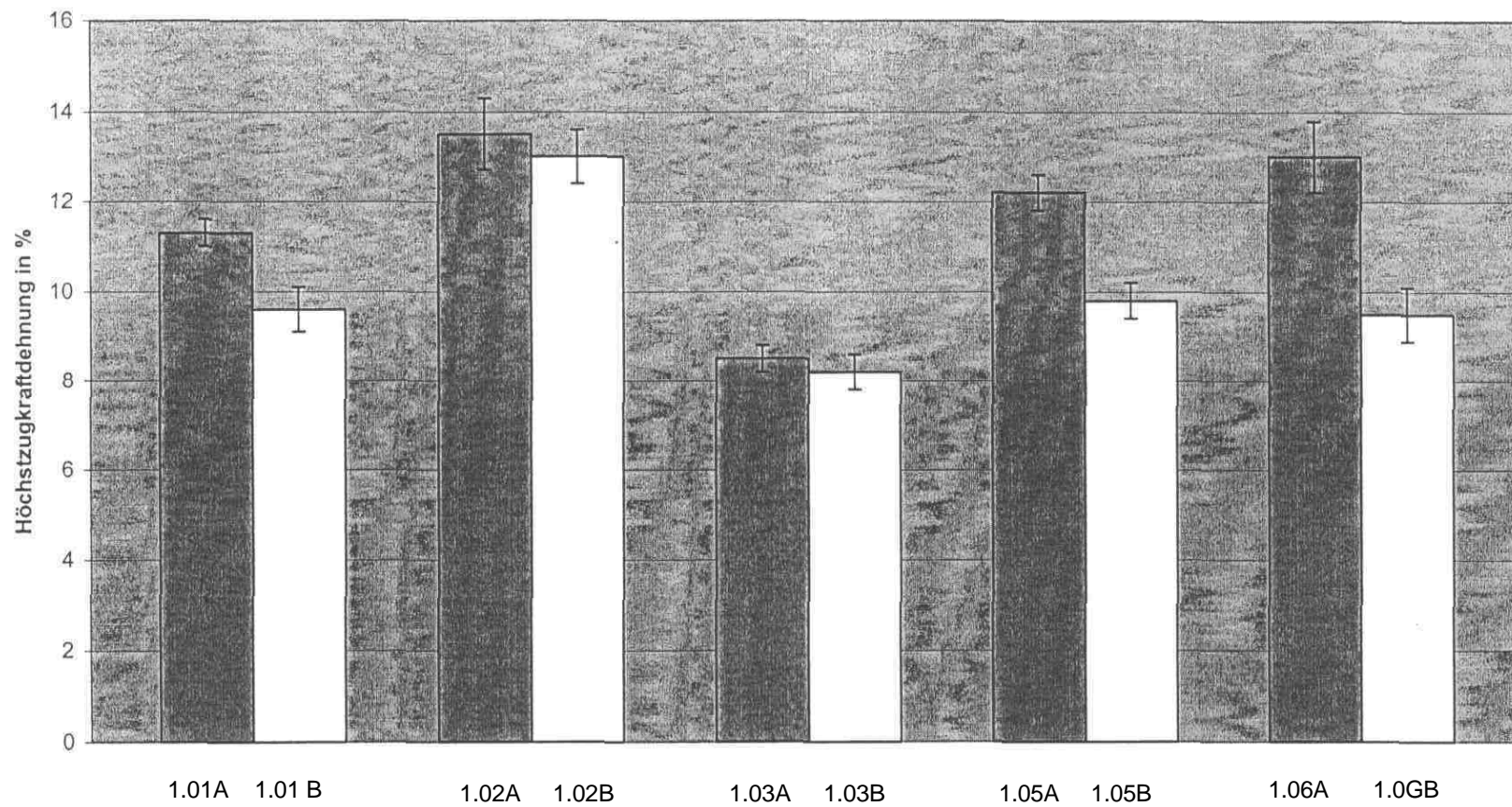


Abb. 1: Feinheitsbezogene Höchstzugkraft (Garn) der gealterten Baumwollproben

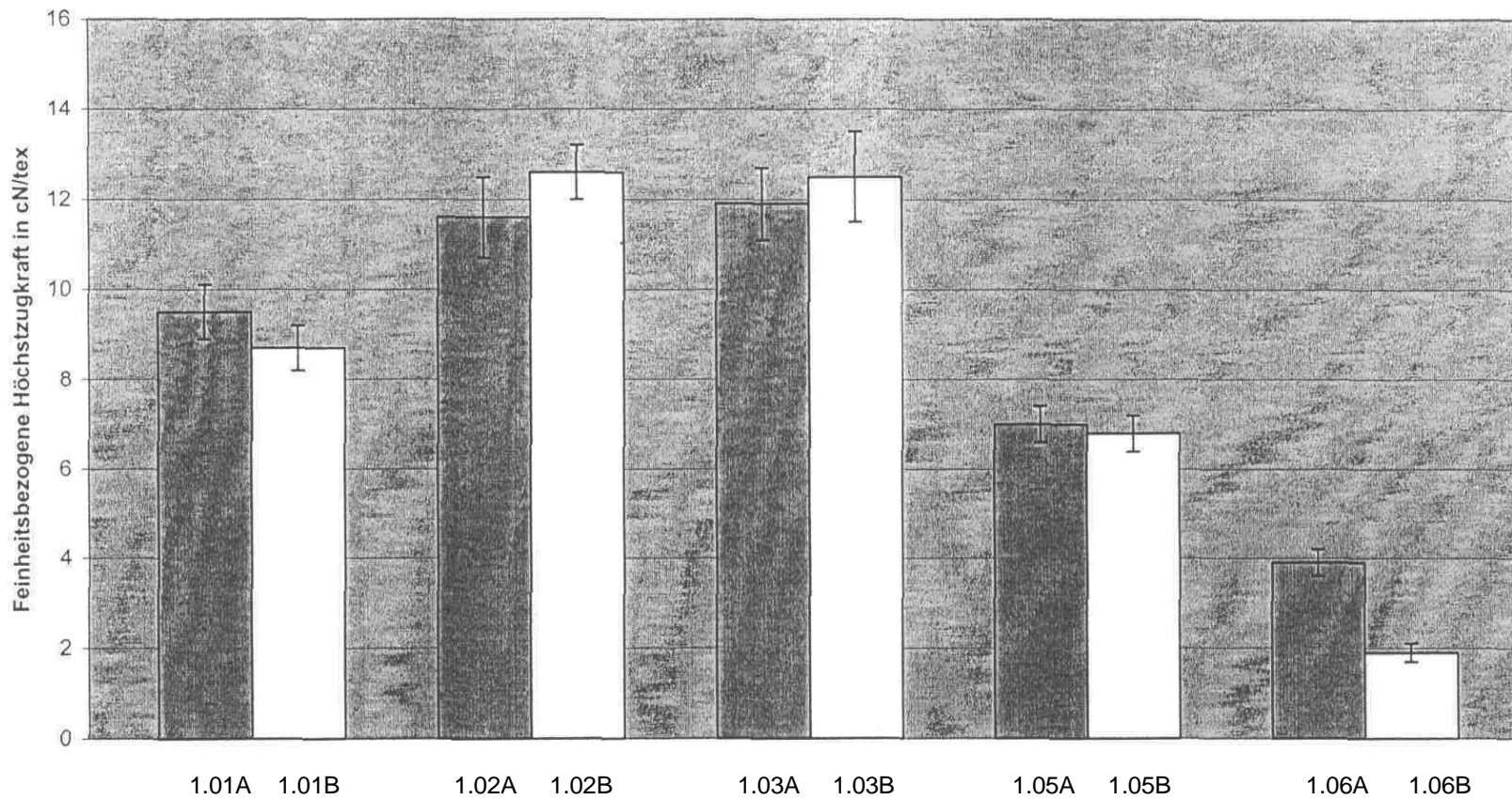


Abb. 2: Höchstzugkraftdehnung (Garn) der gealterten Baumwollproben

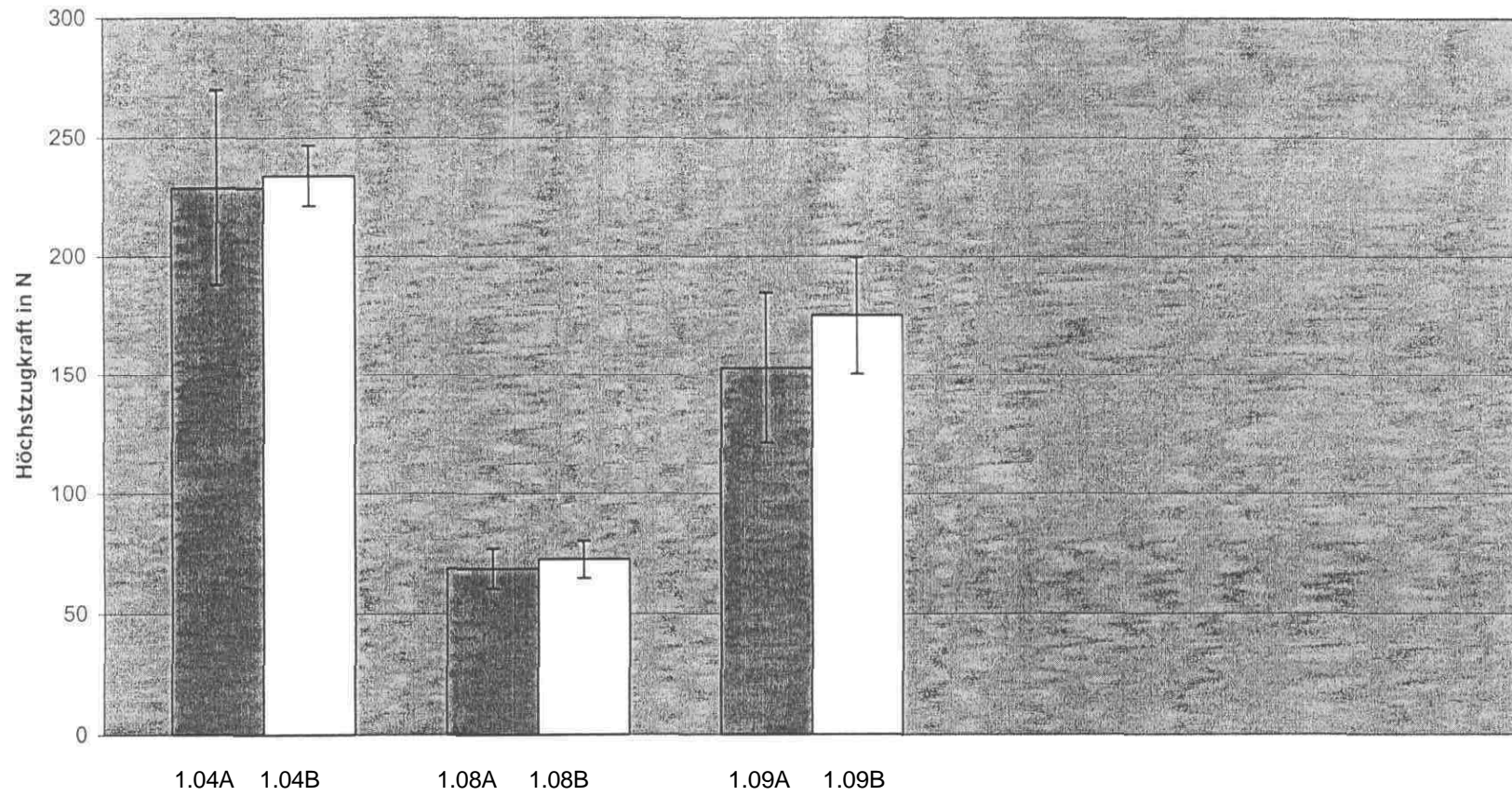


Abb. 3: Höchstzugkraft (Streifen) der gealterten Baumwollproben

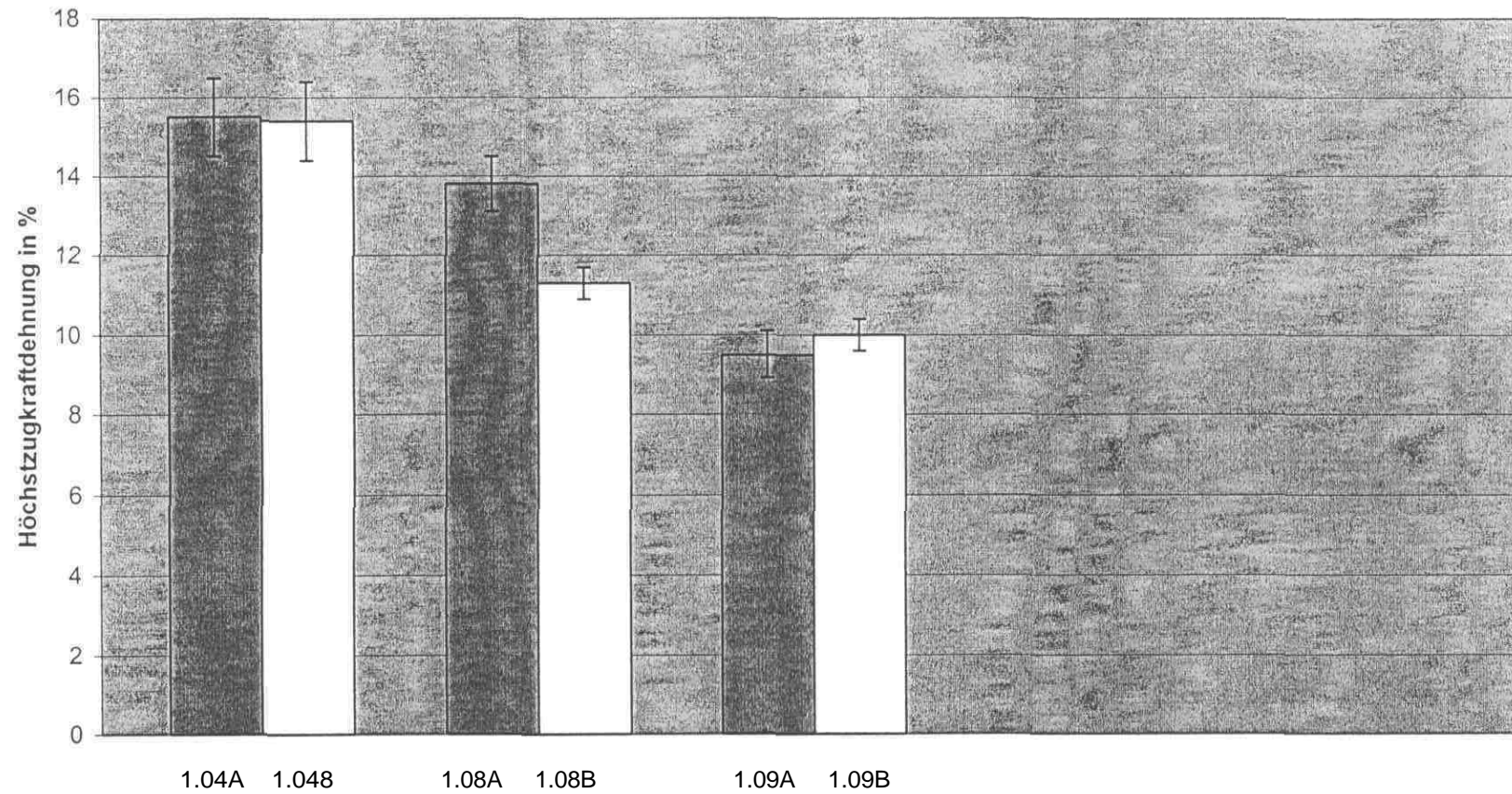


Abb. 4: Höchstzugkraftdehnung (Streifen) der gealterten Baumwollproben

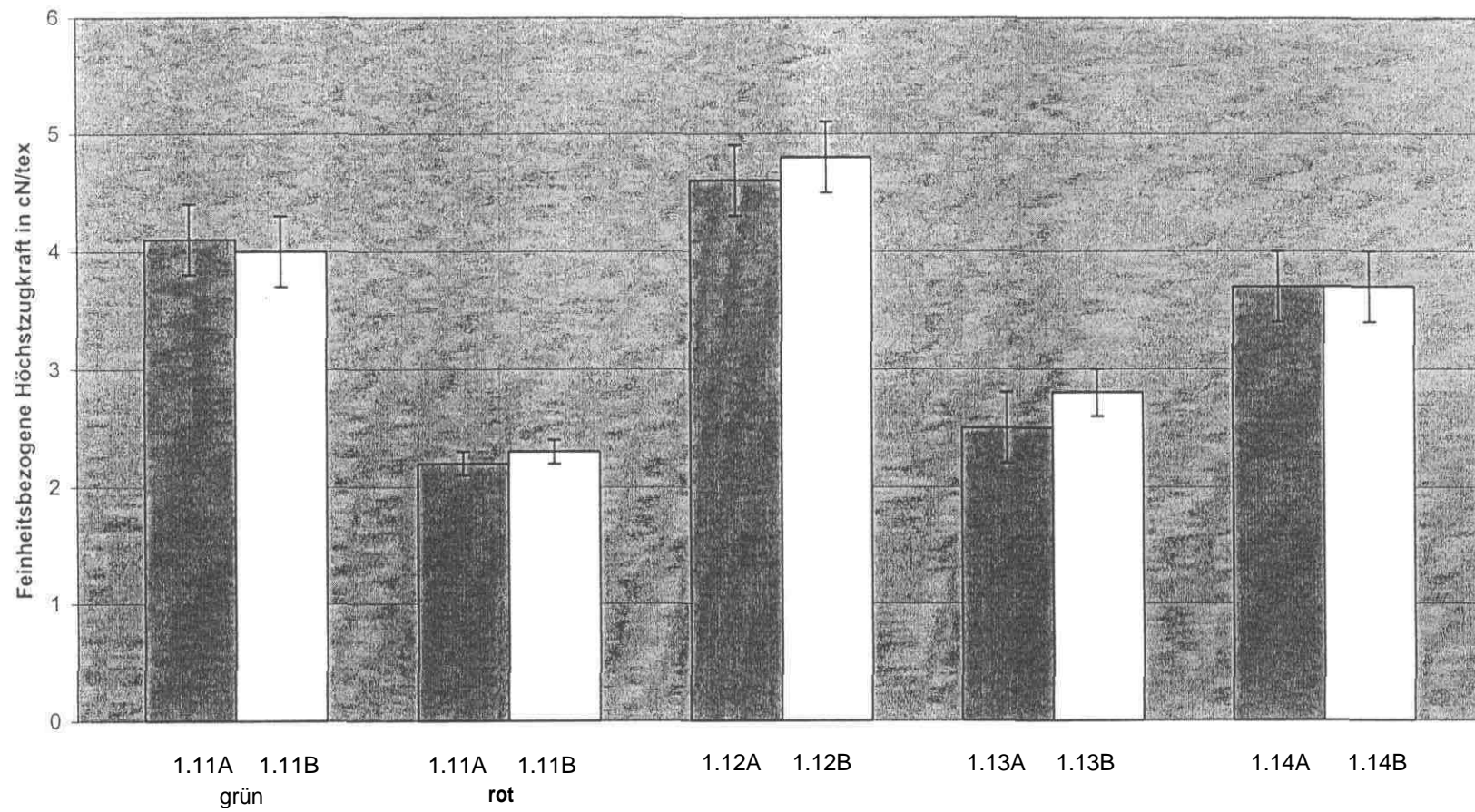


Abb. 5: Feinheitsbezogene Höchstzugkraft (Garn) der gealterten Wollproben

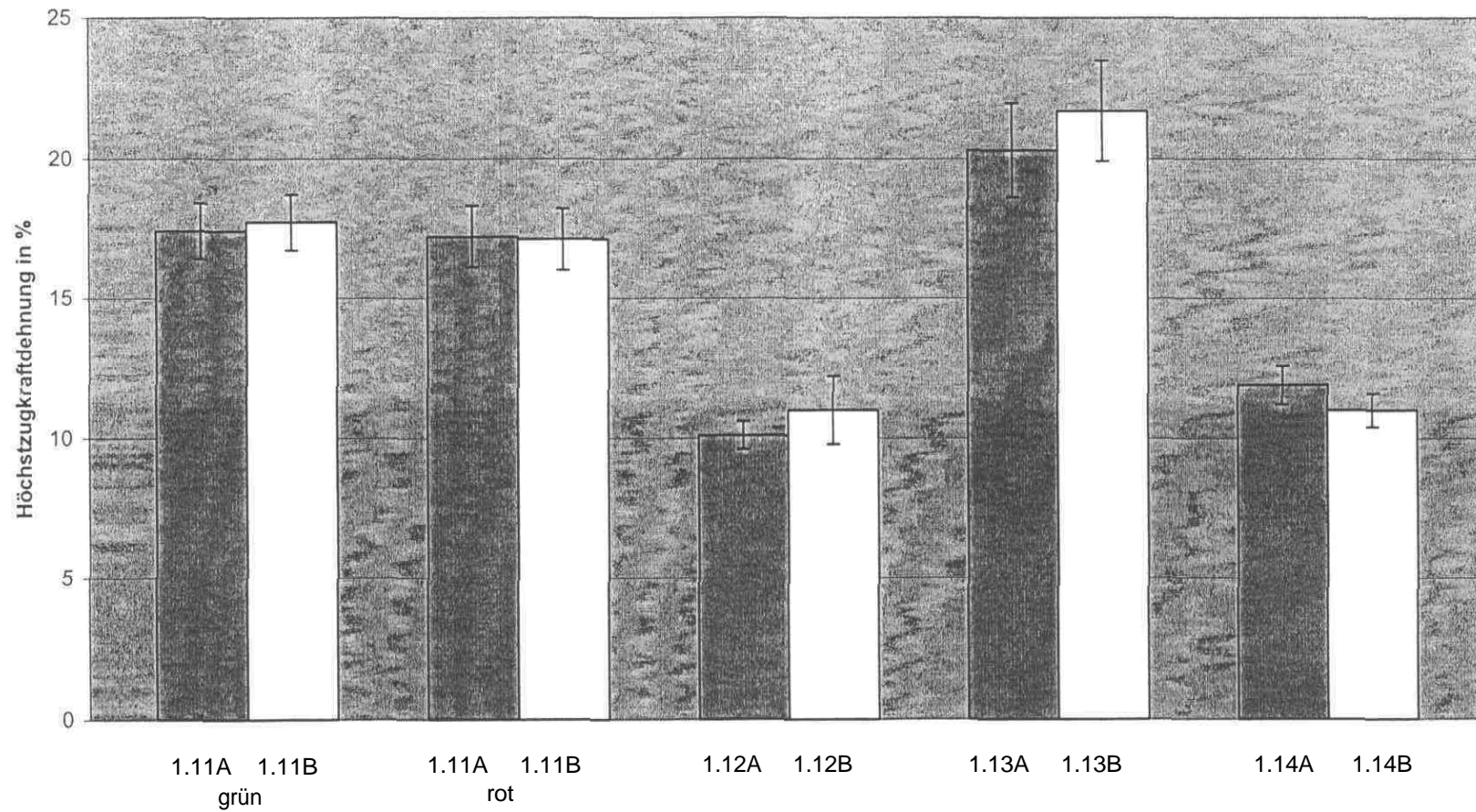


Abb. 6: Höchstzugkraftdehnung (Garn) der gealterten Wollproben

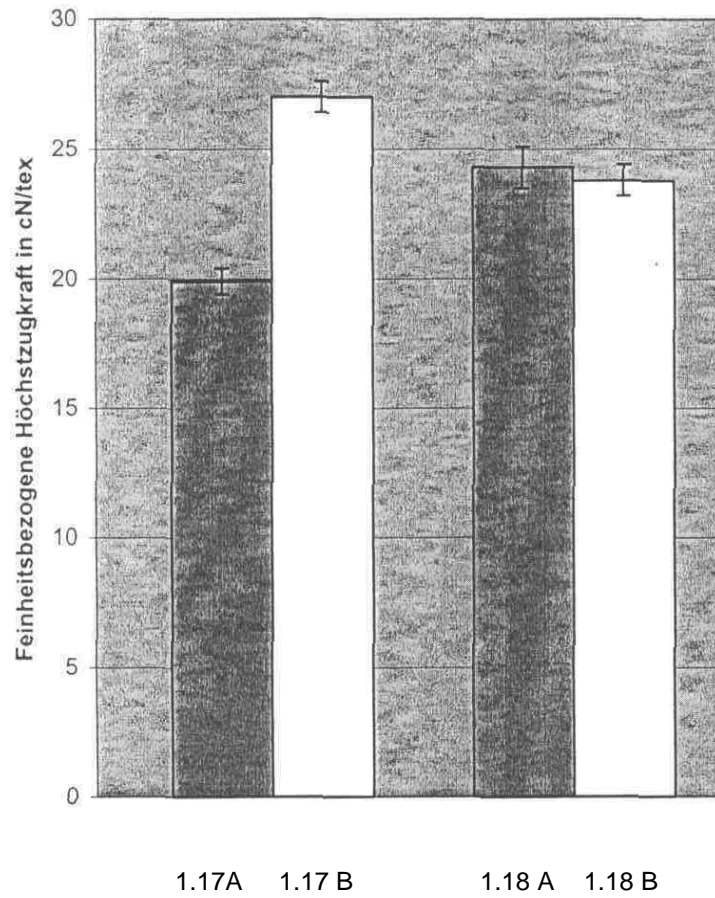


Abb. 7: Feinheitsbezogene Höchstzugkraft (Garn) der gealterten Seidenproben

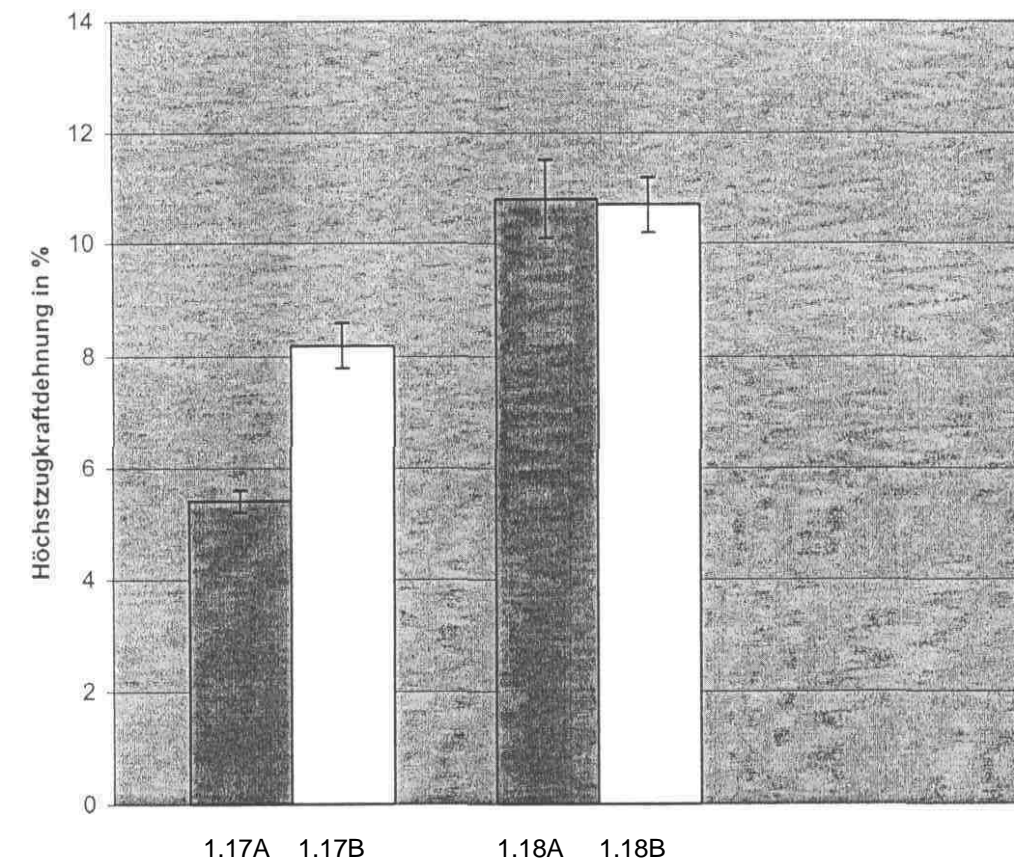


Abb. 8: Höchstzugkraftdehnung (Garn) der gealterten Seidenproben

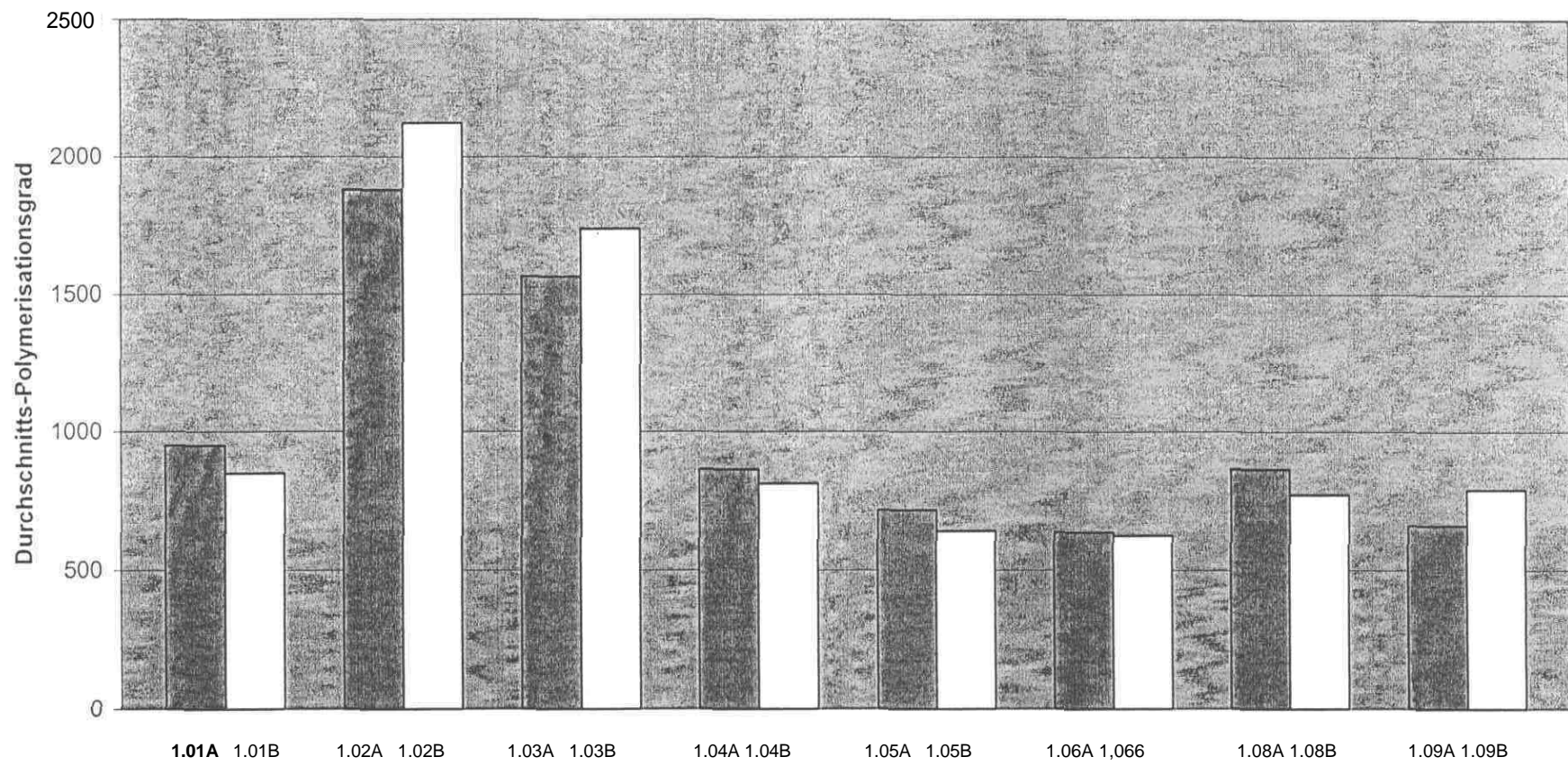


Abb. 9: Durchschnitts-Polymerisationsgrad der gealterten Baumwollproben

4. Die haptische und optische Prüfung
Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg

Inhaltsverzeichnis

4.1	Gewebe
4.1.1	Ziel
4.1.2	Methode
4.1.3	Ergebnis
4.2	Applikationsmaterial
4.2.1	Ziel
4.2.2	Ergebnis
4.3	Zusammenfassung

4. Die haptische und optische Prüfung

4.1 Gewebe

4.1.1 Ziel

Die Prüfung der Faserqualitäten nach haptischen Verfahren, also nach Kriterien des Tastsinnes, beruht auf großer Erfahrung. In der konventionellen Reinigung von Geweben wird sie allgemein und als Routine bei der Beurteilung eines Arbeitserfolges angewendet. Jeder Restaurator bewertet eine Reinigung nicht nur mit dem Auge, er befühlt auch den Stoff, um Veränderungen wahrzunehmen und für seine künftige Arbeit Folgerungen zu ziehen. Damit spielt das Aufspüren von Qualitäten durch den Tastsinn in der Textilrestaurierung eine große Rolle, auch wenn diese Untersuchung nicht immer methodisch angewendet wird und nicht standardisiert ist.

Die Prüfung der Stoffe durch Tastsinn sollte die Aussagen der faserphysikalischen Untersuchung erweitern.

4.1.2 Methode

Diese Beurteilungsmethode war personell von der physikalischen Untersuchung getrennt und wurde von Mitarbeitern des GNM unabhängig voneinander durchgeführt. Zum Vergleich der Gewebeoberflächen wurde ein Technoskop benutzt.

Folgender Katalog lag der Prüfung zugrunde:

- Dimensionsveränderungen
- Schrumpfen, Ausbeulen, Faltenbildung
- neue Schäden
- Verhalten bereits vorhandener Fehlstellen oder beschädigter Bereiche und vorhandener Flecken
- Farbveränderungen

- Oberflächenstruktur
- Glanzveränderungen
- Griffigkeit
- Oberflächenrauhigkeit und
- Flexibilität

4.1.3 Ergebnis

Es entstanden augenscheinlich keine neuen Schäden, bereits vorhandene Schäden haben sich nicht ungewöhnlich verschlechtert, Fehlstellen haben sich nicht vergrößert. Weiterhin konnte an keiner Probe Farbveränderungen erkannt werden. Der Schmutz wurde nicht entfernt. Vorhandene Flecken blieben erhalten.

Form- und Dimensionsveränderungen in Kett- oder Schussrichtung waren nicht feststellbar.

Dagegen hat sich die Faserqualität auffällig verändert.

Von 16 untersuchten Stoffen waren nur zwei ohne jede erkennbare Veränderung. Es handelte sich interessanterweise entgegen den unten beschriebenen regelmäßigen Beobachtungen um leinwandbindige Baumwollgewebe von 1900/20, bzw. aus der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts (Probennummer 1.02 und 1.05).

Alle anderen Proben waren nach der Reinigung härter. Am auffallendsten war die Erscheinung bei Wolle und Seide. Die Baumwollproben erschienen nicht nur härter sondern auch steifer. Ein weißer Loden von 1920 (Probennummer 1.15) wirkte darüber hinaus auch mehr verfilzt. Eine offensichtlich größere Faseroberfläche zeigte sich bei einem feinen dünnen Seidengewebe in Körperbindung aus der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts. Die dekontaminierte Probe bot einen stärkeren Gleitwiderstand zwischen den Fingern. Bei einem Seidengewebe (Satin, 1900 - 1913, Probennummer 1.17) hat sich eine Veränderung des Oberflächenglanzes ergeben. Demgegenüber hat sich bei einem Wollgewebe von 1904 der auffällige Oberflächenglanz erhalten.

4.2 Applikationsmaterial

4.2.1 Ziel

Vor allem Kleidung ist zu einem großen Teil mit Applikationen besetzt. Auch wenn Gewebe Ausgangspunkt des Projektes waren, so konnte doch die Problematik von Applikationsmaterial nicht vollständig ausgeklammert werden, da selbstverständlich auch diese Textilgruppe dekontaminiert werden muss. Man denke hier z.B. an die reich verzierte festliche ländliche Kleidung. Die CO₂-Behandlung dieser Werkstoffgruppen war als Test angelegt und sollte nur grundsätzliche Verhaltensweisen aufzeigen. Vor allem in Anlehnung an die volkskundliche Textilgattung wurden verschiedene Materialien auf Stoff geheftet, einer Probebehandlung mit CO₂ unterzogen und anschließend im Vergleich mit den nicht behandelten Prüflingen haptisch wie optisch geprüft:

1. bemalter Holzknopf (Nr.: 3.17)
2. silberfarbiger Metallknopf (Nr.: 3.18)
3. farbiges Leder (Nr.: 3.22)
4. braunes Leder (Nr.: 3.23) und
5. blau gefärbte Feder (Nr.: 3.24)

4.2.2 Ergebnis

In der Prüfung musste eine signifikante unverkennbare Veränderung bei fünf der 24 Proben festgestellt werden:

1. bemalter Holzknopf (Nr.:3.17):
Die rote Lasur ist beschädigt und teilweise abgesprungen. Reste haften noch am Knopf. Unbeschädigt blieben die Klarlackschicht, die blaue Untermalung und der helle Laubholzknopf selbst.
2. silberfarbiger Metallknopf (Nr.: 3.18):
Vor der Extraktion waren auf dem Knopf Reste blauer Farbe vorhanden, die jetzt verloren sind.
3. farbiges Leder (Nr.: 3.22):
Die Farbschicht ist nach der Behandlung von zahlreichen kleinen Sprüngen durchzogen.
4. braunes Leder (Nr.: 3.23):
Das Leder ist härter geworden und fühlt sich trockener an. Die Oberfläche wirkt heller und grauer als bei der Referenzprobe.
5. blau gefärbte Feder (Nr.:3.24):
Der Federkiel wirkt unverändert, die Federfahne hat jedoch an Volumen verloren und ist kürzer geworden.

Insgesamt haben sich die untersuchten Glasperlen nicht wahrnehmbar verändert. Auch an Perlmutter und Metallen konnte man keine augenscheinlichen Schäden feststellen. Leder zeigt die Tendenz härter und spröder zu werden, die Feder hat ihre Form verloren. Malschichten scheinen gefährdet zu sein.

Aus dieser Übersicht wird deutlich, welche erhebliche Forschung vor einer routinemäßigen Dekontamination von Applikationsmaterial geleistet werden muss.

4.3 Zusammenfassung

Bereits vorhandene Schäden, auch Fehlstellen, haben sich nicht vergrößert. Färb- und Formveränderungen blieben aus.

Die Stoffe wirken insgesamt härter, die Oberflächen sind spröder und rauer. Diese Veränderung war bei dicken Wollgeweben deutlicher wahrnehmbar als bei feinen Seiden- und Baumwollgeweben. Veränderungen der Faserqualität waren offensichtlicher aber nicht schwerwiegender als bei den meisten Nass- oder Lösungsmittelreinigungen, die ebenfalls Einfluss auf die Faserqualität haben und diese merklich verändern.

Es ist festzustellen, dass keine schwerwiegende mit einfachen Mitteln erkennbare Veränderung der Gewebequalität eingetreten ist.

Die Gruppe der Applikationswerkstoffe bleibt von dieser positiven Bewertung grundsätzlich ausgeschlossen.

- 5. Umfrage: Entsorgen von Pestiziden auf historischen Textilien**
Zusammenfassung
Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg

Inhalt

- 5.1 Zur Umfrage**
- 5.2 Die Pestizid - Situation an Deutschen Museen**
- 5.3 Anzahl an Textilien**
- 5.4 Schutzmaßnahmen seit 1871**
- 5.5 Folgen**
 - 5.5.1 Gerüche
 - 5.5.2 Rückstände früherer Insektenbekämpfung und Schadstoffanalysen
 - 5.5.3 Objektschäden und Materialveränderungen
- 5.6 Schadstoffanalysen**
- 5.7 Aktuelle Insektenschutzmaßnahmen**
 - 5.7.1 Aktive Schutzmaßnahmen
 - 5.7.2 Vorbeugende Schutzmaßnahmen
- 5.8 Entfernen von Pestizidrückständen**
 - 5.8.1 Methoden
 - 5.8.2 Arbeitsschutzmaßnahmen
- 5.9 Entsorgung**
- 5.10 Gesundheitliche Folgen im Umgang mit Pestiziden**
- 5.11 Schlussfolgerung**

5. Umfrage: Entsorgen von Pestiziden auf historischen Textilien Auswertung

5.1 Zur Umfrage

Die Umfrage muss als Studie angesehen werden.

Restauratoren haben den Fragebogen entworfen und ausgewertet. Nicht immer kann die Bedeutung nicht beantworteter Fragen interpretiert werden.

Insgesamt konnten aber hilfreiche Erkenntnisse zur Situation kontaminierter Textilien und zum Umgang mit diesem Gefahrenpotential gewonnen werden.

Alle Fragen konnten kommentiert werden. In einigen Fällen wurden Dokumentationen und Gedächtnisprotokolle zu Reinigungsarbeiten und früheren Pestizidbekämpfungen den Fragebogen beigegeben.

Es wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass fehlende Fragen ergänzt werden können. An keiner Stelle wurde auf Lücken der Fragestellung hingewiesen.

Die Fragebögen erhielten Museen mit unterschiedlicher Sammlungsstruktur. Neben Textilsammlungen wurden Kunst- und kulturgeschichtliche, ethnologische und zoologische Sammlungen sowie Heimatmuseen befragt. Die Größe an Beständen schwankt zwischen 80 und 500.000 Objekten, wobei auch Objekte aus unterschiedlichen Werkstoffen gemeldet wurden.

Von 122 versendeten Fragebögen wurden 86 zurückgesendet. Damit erreichte die Umfrage eine Rücklaufquote von 71%, was als sehr hoch eingeschätzt werden kann. Die meisten Fragebögen wurden mit Angaben zum Museum zurückgesandt. Bei 75% ist bekannt, wer die Fragen beantwortete. Lediglich 6% der ausgefüllten Fragebögen kamen anonym zurück.

5.2. Die Pestizid - Situation an Deutschen Museen

Die breit angelegte Umfrage hat eine hohe Pestizidbelastung in deutschen Museen deutlich gemacht, die besser als Belastung mit Pestizidpaketen oder Pestizidcocktails beschrieben werden muss. Damit stellt das Germanische Nationalmuseum keinen Sonderfall dar.

5.3. Anzahl an Textilien

Es wurde um Angaben zur Größe der Sammlung gebeten. In den meisten Fällen wurde ausdrücklich die Zahl der Textilien und Mischobjekte angegeben. In nur 5 Fällen gab es Angaben wie ‚mehrere Tausend‘. Diese Angaben sind nicht in die Addition der absoluten Angaben eingeflossen. Insgesamt sind 1.687.795 relevante Objekte gemeldet.

5.4 Schutzmaßnahmen seit 1871

Mehr als die Hälfte (58%) der Befragten geben frühere Insektenschutzmassnahmen an. Lediglich ein Drittel (31%) kann diese Frage eindeutig mit „nein“ beantworten. Damit könnten 754.000 Objekte in unterschiedlichem Maße belastet sein.

Fast Zweidrittel (64%) stützen sich auf mündliche Informationen. Immerhin können 13% der Ja-Antworten keine Quelle zu früheren Insektenschutzmaßnahmen angeben. Genaue Angaben zu durchgeführten Maßnahmen sind meist nicht älter als 10 Jahre. Mitteilungen vor diesem Zeitraum sind vage. Eine typische Angabe lautet „in den 50er-Jahre, 60er Jahre“. Als vorhandene Dokumente werden in den meisten Fällen noch vorhandene Verpackungen genannt.

Selbst bei den professionellen Schädlingsbekämpfungen (38%) fehlen oft detaillierte Dokumentationen. In den restliche Fällen (62%) wurden die Maßnahmen von Museumspersonal durchgeführt.

Die früheste Maßnahme ist 1871 durchgeführt worden. In den 50er Jahren wird von 6 Pestizidbehandlungen berichtet. Die Zahl nimmt in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts deutlich ab, während sie in den 90er Jahren mit 11 Meldungen wieder deutlich zunimmt. Nach dem Jahr 2000 wurde kein Pestizid mehr eingesetzt. Ganz offensichtlich hat hier ein Überdenken in der Bekämpfung von Ungeziefer stattgefunden.

In der Regel führte Museumspersonal die Arbeiten aus. Zumindest bis in die 70er Jahre darf man ausschließen, dass Museumsmitarbeiter, einschließlich Restauratoren, inhaltliche Informationen zu Insektenschutz und deren Risiken erhielten. Zum Einsatz kamen verschiedene Mittel, unter denen ‚Global‘, Pyrethrum und DDT genannt werden müssen. Die Mehrzahl der Antworten nennt Mottenstreifen, Mottenkugeln.

Mehr als ein Drittel (37%) gibt sonstige Mittel für Insektenschutzmaßnahmen an. Dahinter verbergen sich mehr als 80 Produkte, meist ohne Angabe zu den aktiven Bestandteilen. Diese Lücke zeigt, wie schlecht eine Pestizidbelastung in den Instituten eingeschätzt werden kann.

5.5 Folgen

5.5.1 Gerüche

Ein Zusammenhang zwischen Pestizidrückständen und auftretenden Gerüchen wird allgemein beschrieben. Am auffälligsten und häufigsten sind diese Gerüche in Depoträumen zu beobachten.

Interessant ist die Zahl der nicht beantworteten Frage nach Gerüchen. 63% der Befragten gab keine Antwort, haben also keine Geruchsbelästigung wahrgenommen. Bei der Bestimmung von Geruchseigenschaften steht ‚muffig‘ mit 33% eindeutig im Vordergrund. Es folgen Bezeichnungen wie ‚der typische Geruch nach Mottenkugeln‘ mit 25% sowie ‚stechend‘, ‚süßlich‘ und ‚sonstige‘ mit 42%.

Die Einschätzung eines Gefahrenpotenzials durch Gerüche unterliegt zweifelsfrei individueller Erfahrung. Es gibt auch geruchsfreie Pestizide. Verstaubte Textilien können auch einen Eigengeruch annehmen. Keiner der Befragten hat bestimmte Gerüche bestimmten Insektenmitteln zugeordnet. In der Fallstudie des GNM konnten süßliche Gerüche eindeutig mit Naphtalin in Zusammenhang gebracht werden.

Offensichtlich herrschen schlechte Gerüche vor allem in Depots. In 21 Fällen (27%) werden Gerüche nach dem Öffnen von Schachteln angegeben. Nur 12 Antworten (26%) nennen schlechte Luft in Vitrinen und 20 Befragte (15%) stellen Gerüche direkt am Objekt fest.

Offensichtlich waren Schutzmaßnahmen vor allem in den Depots notwendig geworden. Dies deckt sich mit der Entwicklung des Bewusstseins über notwendige Infrastrukturen in Depots. Während Klimaregulierungen in den 60er Jahren durchaus schon üblich waren, lieb die Pflege und Beobachtung des Bestandes in den Depots bis in die 50er Jahre Ausnahme. Schäden wurden daher sehr spät beobachtet und die Folgen in der bekannten Weise massiv behandelt.

5.5.2 Rückstände früherer Insektenbekämpfung und Schadstoffanalysen

Eine wesentliche Quelle für Insektenbehandlungen ist das Erkennen von Rückständen. Überraschenderweise haben Zweidrittel (66%) keine Rückstände gefunden. Die Frage wurde von 17 Befragten gar nicht beantwortet, mit dem Hinweis, dass die Sammlung nicht über Textilrestauratoren verfüge. Während ca. 45% der Bestände eine Pestizidbehandlung erhalten haben, werden bei 53% keine Rückstände erkannt. 20% der Antworten machen zu Rückständen keine Angaben. Aus der hohen Rate (53%) nicht sichtbarer Rückstände darf man sicher nicht auf ‚saubere‘ Textilien schließen.

7% finden fest mit dem Objekt verbundene sichtbare Rückstände. In 15% der Antworten sind die Rückstände auf der Oberfläche als lose aufliegende weiße Kristalle zu erkennen. Als sonstige Verfärbungen werden gelbliche Verfärbungen und graue Flecken angegeben.

Kleine weiße Kristalle auch in Zusammenhang mit Wasserrändern scheinen die einzig wahrnehmbare Form von Rückständen zu sein (23 Fälle).

5.5.3 Objektschäden - Materialveränderungen

Unter konservatorischem Aspekt sind Materialschäden selbstverständlich von großem Interesse. Fragen nach Färb- und Faserveränderungen wurden von einem Großteil nicht beantwortet. Ungefähr die Hälfte hat keine Veränderungen feststellen können.

Objektschäden werden häufig in Zusammenhang mit Verbundmaterialien (Glas, Metall, Leder, Holz, Federn) angegeben. Typische Schäden sind Auflagerungen (weiße, grüne und braune), Metallkorrosion und Farbveränderungen.

Bei den Fragen nach Schäden auf Applikationen mit ihren Materialkombinationen ergab sich die gleiche Verteilung bei den Antworten. In nur 5 Fällen wurden Veränderungen gefunden.

Die Mehrzahl der Befragten konnte keine Färb- oder Faserveränderungen feststellen, weil sie nicht über Fachkräfte verfügen und somit auch Zusammenhänge zwischen Objektschäden und Rückständen nicht erkennen können.

5.6 Schadstoffanalysen

Die früheste Messung ist für 1989 und die späteste für 2001 angegeben. Feststoffanalysen und Luftmessungen werden fast gleich oft aufgeführt.

Von den 23 erkannten Rückständen sind 15 Fälle analysiert worden. In 11 Beispielen wurde DDT festgestellt, was mit der Beschreibung weißer Kristalle übereinstimmt.

Die in einzelnen Fällen festgestellten Schadstoffmengen erscheinen erwähnenswert:

- Lindan: 200 mg/kg
- DDT: 20.000 mg/kg
- PCP: 4000 mg/kg

5.7 Aktuelle Insektenschutzmaßnahmen

Unter aktuellem Insektenschutz werden die Maßnahmen verstanden, die die Befragten selbst durchführten oder in ihren Instituten selbst erlebt haben.

5.7.1 Aktive Schutzmaßnahmen

In der Bekämpfung lebenden Ungeziefers ist ein sehr interessanter Wechsel festzustellen. Die Anwendung von Chemikalien ist eindeutig zugunsten umweltfreundlicher Methoden aufgegeben worden. 14 Museen verfügen über Begasungskammer für Stickstoff und Kohlendioxid. Daneben wird Illo-Gas und Wärme (Thermolignum) genutzt. Insgesamt errechnet sich daraus, dass 40% der aktiven Schutzmaßnahmen aus Begasung besteht.

Pestizide werden nicht mehr eingesetzt.

5.7.2 Vorbeugende Schutzmaßnahmen

Der oben beschriebene Wechsel wiederholt sich bei dem vorbeugenden Schutz gegen Insektenbefall. Als Begasungsmittel tauchen nur noch Stickstoff und Kohlendioxid auf. Bei der Frage nach anderen aktiven Methoden zeigt sich wieder, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Handelsnamen angegeben wird aber nicht die Insektiziden Bestandteile der Mittel. Nicht näher definiertes Mottenschutzmittel bleibt das bevorzugte Bekämpfungsmittel.

Neben dem Wechsel zu umweltfreundlichen Wirkstoffen kann auch ein Wechsel zu alternativen Techniken nicht übersehen werden. Die Liste der Maßnahmen führt nun auch kontinuierliche Kontrollen der Bestände, Einhalten von Sauberkeit oder separate Lagerung befallener oder gefährdeter Objekte auf.

5.8 Entfernen von Pestizidrückständen

5.8.1 Methoden

Während mehr als die Hälfte der Befragten Pestizidmaßnahmen früherer Zeit bestätigt, werden insgesamt nur zu 28% Reinigungen durchgeführt. Diese niedrigen Zahlen können mit dem bereits erwähnten Mangel an restauratorischen Fachkräften in Zusammenhang stehen. In 15 Fällen (18%) wird diese Reinigung mechanisch durchgeführt. In 5 Fällen (6%) werden wässrige Methoden eingesetzt. Die Einschätzung des Reinigungserfolges entzieht sich fast einer Beurteilung. Immerhin wird in 4 Fällen ein Reinigungserfolg von 75% genannt. 1 Antwort bestätigt keinen Erfolg. Ein Befragter gibt vollständigen Erfolg an. Aus den nachgefragten Hilfsmitteln (Staubsauger und Filter) kann dieser Erfolg nicht rekonstruiert werden. Eine methodische Bewertung des Vor- und Endzustandes fand in keinem Falle statt. Allerdings hat der Fragebogen nicht nach diesem Problem gefragt.

5.8.2 Arbeitsschutzmaßnahmen

11 der Befragten nutzen keinen Arbeitsschutz. Dies entspricht ein Quote von 30%. In der Mehrheit wird der Körper nur teilweise geschützt. Die zahlenmäßige Verteilung der Antworten legt nahe, dass Latexhandschuhe mit Atemmasken gemeinsam gebraucht werden. Nur vereinzelt werden Ganzkörperanzüge genutzt, wobei Einmal-Anzüge bevorzugt werden.

Die Sorge um die Luftreinheit im Arbeitsraum vermittelt ein merkwürdiges Bild. Die Zahl allgemein genutzter Werkstätten und die Nutzung abgetrennter Räume zur Textilreinigung ist nahezu gleich hoch (16:18). Hier stehen allerdings keine eigenen Abzuganlagen zur Verfügung. In nur 2 Fällen stehen spezielle Schadstoffabzüge innerhalb einer Werkstatt zur Verfügung. Es muss verwundern, dass in 8 Museen eigens abgetrennten Räume an keine Absauganlage angeschlossen sind:

Luftabzug: allgemeiner Abzug in der Werkstatt	14
Luftabzug: spezieller Schadstoffabzug	2
Eigener Arbeitsraum ohne Abzug	8
Eigener Arbeitsraum mit Abzug	3
Spezieller Abzug mit eigenem Filter	7

In 10 Fällen wird Arbeitszeitverkürzung als Schutzmaßnahme genutzt.

5.9 Entsorgung

Die Frage verteilt sich auf drei Kategorien: Giftstoffe, Arbeitsmittel und Schutzkleidung. Die Umfrage zeigt ein großes Bewusstsein bei der Entsorgung von Giftstoffen. Die Entsorgung von Arbeitsmitteln und Schutzkleidung erhält nicht die gleiche Sorgfalt.

Nur etwa 31% der Befragten machten zur Beseitigung von Giftstoffen, Arbeitsmitteln (wie z.B. Bürsten) und Schutzkleidung Angaben. Soweit Museumsstrukturen allgemein beurteilt werden können, darf aus diesen Antworten nicht geschlossen werden, die Restauratoren seien in diese Arbeiten nicht eingeschlossen. In der Regel müssen Restauratoren Entsorgungen selbst organisieren.

Zu nur weniger als 50% werden Giftstoffe ordnungsgemäß entsorgt. Bei den Arbeitsmitteln und Giftstoffen muss noch weniger Sorgfalt erkannt werden. 47% geben ihr kontaminiertes Werkzeug und 57% ihre Schutzkleidung in den Hausmüll.

5.10 Gesundheitliche Folgen im Umgang mit Pestiziden

Die Frage nach gesundheitlichen Folgen zeigt eine beunruhigende Tendenz.

Mehr als die Hälfte aller Restauratoren haben zur Frage nach körperlicher Beeinträchtigung keine Angaben gemacht, gleichzeitig hat ca. die Hälfte ebenfalls keine Angaben zum Körperschutz abgegeben. Etwa die Hälfte der Restauratoren klagt über unterschiedliche Beschwerden. Gleichzeitig kennt nur die Hälfte Schutzmaßnahmen in unterschiedlichster Form. In dieser Gegenüberstellung fällt auf, dass Schutzmaßnahmen offensichtlich Einfluss auf körperliches Wohlbefinden haben.

Als typische Beschwerde steht Kopfschmerz. Fast ein Viertel (23%) der Befragten beklagt bei Umgang mit belasteten Objekten Kopfschmerzen. Das ist mehr die doppelte Anzahl derer, die ohne Schutzmaßnahmen arbeiten. Es folgen mit deutlichem Abstand leichte Übelkeit, Jucken der Nase, Augen und Haut sowie Husten. Auch Halsbeschwerden werden angegeben. Diese Beschwerden können durch die erschwerten Arbeitsbedingungen durch den Körperschutz ausgelöst werden. Sicher darf auch nicht übersehen werden, dass der Umgang mit Giftstoffen eine physische Belastung darstellt. Entschieden eindeutige Beschwerden werden vereinzelt mit verändertem Geschmacksinn, Hautverfärbungen, Anschwellen von Schleimhäuten genannt. Nasenbluten und Atembeschwerden werden jeweils nur einmal angeführt.

Mehr als ein Fünftel (21%) geben als Beschwerden „Sonstige“ an. Dahinter verbergen sich zu 83% Beschwerden der Atemwege, gefolgt von Hautreizungen. Atemschutz und Schutzkleidung scheint auf jedem Fall angebracht zu sein.

Medizinische Untersuchungen, etwa des Blutbildes, werden in keinem Fall erwähnt. Allerdings hat der Katalog danach nicht gefragt.

5.11 Schlussfolgerung

Insgesamt muss man mit 795.000 Objekten rechnen, die in unterschiedlichstem Ausmaß verunreinigt sein könnten.

Von dieser gewaltigen Zahl sind in nur 15 Museen Giftstoffe analytisch nachgewiesen worden, wobei Lindan, DDT und PCP in ungewöhnlichen Mengen vorkommen. Statistisch gesehen, handelt es sich um 188.500 Objekte. Die Sammlungen, die die drei genannten Giftstoffe nachgewiesen haben, repräsentieren einen Bestand von ca. 281.500 Gegenständen.

Auswirkung der Giftstoffe auf Textileigenschaften beantwortete nur von der Hälfte der Befragten. Es wurden Faser- und Farbveränderungen beobachtet. Auch Veränderungen von Materialkombinationen wurden genannt.

Es werden in der Mehrzahl mechanische Reinigungsverfahren (Abbürsten, Absaugen) angewendet. Die Aussagen über einen gewissen Erfolg und Erfolglosigkeit halten sich die Waage. Ein Reinigungsgrad wurde an keiner Stelle nachgewiesen.

Der Körperschutz beim Reinigen entspricht den Standards. Keinesfalls kann das Fehlen von Absauganlagen oder die Nutzung der allgemeinen Absaugung für Lösemittel als professionell bezeichnet werden.

Bei der Entsorgung muss man einen offensichtlichen Mangel feststellen. Der kontaminierte Reinigungsabraum, Werkzeuge und Arbeitskleidung werden noch immer in den allgemeinen Hausmüll gegeben. Bedenklich aber erscheint, dass immerhin mehr als 50% keine Angaben zur Entsorgung gemacht hat.

Im Umgang mit den Pestiziden scheint es statistisch keine gravierenden gesundheitlichen Folgen zu geben. In der Regel werden Beeinträchtigungen genannt, die mehrere Ursachen haben können, Kopfschmerz steht eindeutig im Vordergrund. Medizinische Untersuchungen sind an keiner Stelle angegeben.

In Bezug auf das Projekt muss festgehalten werden:

- Ungefähr 40 Museen wissen von einer Pestizidbelastung. In 23 Fällen sind Rückstände festgestellt worden. Immerhin haben 15 Museen diese Belastung analysiert.
- Der Reinigungsgrad ist nicht nachweisbar.
- Schwerwiegende gesundheitliche Folgen sind nicht genannt worden.
- Es kann mit einer Belastung von 282.000 Objekten gerechnet werden.