
**Entwicklung eines Verfahrens zur Entgiftung und Reinigung
der anthropogen geschädigten osmanischen Teppiche aus der
Sammlung der Evangelischen Kirche A.B. Rumänien mittels
Extraktion von biozidhaltigen Substanzen aus flüssigem
Kohlendioxid**

Abschlussbericht

**zum Projekt gefördert von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt
unter dem AZ 30 311 – 45**

Laufzeit: 30.09.2013 – 31.12.2015

Projektteam unter der Leitung der Paz-Laboratorien für Archäometrie
in Kooperation mit der Evangelischen Kirche A.B. Kronstadt (Rumänien)

Bad Kreuznach, 2016

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	30311	Referat	45	Fördersumme	124.806 €
----	--------------	---------	-----------	-------------	------------------

Antragstitel **Entwicklung eines Verfahrens zur Entgiftung und Reinigung der anthropogen geschädigten osmanischen Teppiche aus der Sammlung der Evangelischen Kirche A.B. Rumänien mittels Extraktion von biozidhaltigen Substanzen in flüssigem Kohlendioxid**

Stichworte Teppiche, Dekontamination

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
2 Jahre und 3 Monate	30.09.2013	31.12.2015	

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger	Paz Laboratorien für Archäometrie	Tel	0671-48348364
	Dr. Boaz Paz	Fax	0671-79615045
	Planiger Straße 34, Haus18/19	Projektleitung	
	55543 Bad Kreuznach	Dr. Boaz Paz	
		Bearbeiter	

Kooperationspartner Evangelische Kirche A.B. Kronstadt
Johannes Honterus Hof Nr. 2
500025 Kronstadt / Brasov

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines innovativen technischen Verfahrens zur materialschonenden Dekontaminierung und Reinigung der Osmanischen Teppichen aus der Sammlung der Evangelischen Kirche A.B. in Rumänien. Angestrebt wird eine möglichst vollständige Extraktion von gesundheits- und materialgefährdenden Schadstoffen mittels flüssigen Kohlendioxids. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Entwicklung eines nach konservatorischen Maßstäben geeigneten Verfahrens, das die Abreicherung der persistenten und schwerflüchtigen Schadstoffe ermöglicht, ohne dass die durch Alterung und Schadstoffeintrag degenerierte Wollmatrix zusätzlich belastet wird.

Zu diesem Zweck werden Dekontaminierungsversuche sowohl an präpariertem Testgewebe (Dummies) als auch an Fasermaterialien und Originalfragmenten aus belasteten Wollteppichen durchgeführt. Die Versuche werden von einer Vor- und Nachanalyse begleitet, um die erreichten Abreicherungsraten bestimmen zu können. Parallel zu der Schadstoffanalyse erfolgt eine Prüfung der Materialeigenschaften der Fasern, womit prozesstechnisch bedingte Degenerationserscheinungen und Strukturveränderungen in den Wollfasern frühzeitig erkannt und charakterisiert werden können

Schaffung der notwendigen Museums-Infrastruktur durch Einrichtung einer zentralen Teppichwerkstatt und eines Spezialdepots mit geeigneten Lagerungsbedingungen. Errichtung eines Teppichkompetenzzentrums zu Koordinierung restauratorischer Maßnahmen sowie der Planung und Umsetzung konservatorischer Konzepte unter Berücksichtigung der Schadstoffproblematik.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

- Untersuchung und qualitative Analyse der kontaminierten Teppiche mittels p-RFA und Keyence-Mikroskopie, zusätzlich erfolgten GC-MS-Analysen durch die ARGUK-Umweltlabor GmbH zur Quantifizierung der vorliegenden Schadstoffe.
- Kontaminierung von Testgeweben mit Biozid-Wirkstoffen unter genau definierten Bedingungen (Datenblätter der Firma Bayer; Werkstattbuch von Fr. Nussbächer aus Rumänien).
- Entwicklung eines Verfahrens zur Dekontamination mit flüssigen Kohlendioxid an der eICO₂-Anlage im Fraunhofer IPK in Berlin.
- Durchführung von Vor- und Nachanalysen der Analog-Objekte, zusätzlich erfolgten spezifische Untersuchungen zum Zustand des Fasermaterials durch das Hohenstein Institut für Textilinnovation gGmbH.
- Verfahrensoptimierung in Fraunhofer IPK in Berlin.
- Durchführung der Dekontamination an kontaminierten Teppichfragmenten aus Siebenbürgen
- Aufbau der Infrastruktur für den Umgang mit kontaminierten Objekten in Siebenbürgen.

Ergebnisse und Diskussion

Mit Hilfe der Ergebnisse aus dem Schadstoffscreening konnte eine umfassende Methodenentwicklung am Röntgenfluoreszenz-Analysator zur zerstörungsfreien Detektion von Schadstoffen auf textilen Oberflächen vorgenommen werden. Die vielzähligen Vergleichsmessungen ermöglichten eine tiefgreifende Evaluierung der bisherigen Messparameter.

Der Einsatz der p-RFA in Kombination mit einer hochauflösenden mikroskopischen Methode hat sich als adäquates analytisches Verfahren herausgestellt, um eine große Menge an kontaminierten Teppichen schnell und zuverlässig auf ihren Kontaminationsgrad zu analysieren. Über Vergleichsmessungen mit Staub- und Materialproben wurden die qualitativen Ergebnisse des Screenings bestätigt. Aufgrund der vorliegenden mikroskopischen Dokumentation konnte erstmals eine direkte Schädigung des Fasermaterials durch kristallisierte Wirkstoffe aus ehemals aufgetragenen lösemittelhaltigen Biozidprodukten nachgewiesen werden.

Leider war es im Rahmen des Projektes nicht möglich die umfassenden restauratorischen und konservatorischen Kompetenzen synergetisch in die Auswertung der erhaltenen Ergebnisse einzubinden. Dort wo sich Defizite in der interdisziplinären Zusammenarbeit ergaben, mussten weitere analytisch-naturwissenschaftliche Methoden eingebunden werden, um die notwendige Voraussetzung für eine objektive Beurteilung des Erhaltungszustandes der Teppiche zu schaffen.

Im Rahmen der eCO₂-Prozessführung erfolgt die Reinigung unter einem hohen Maß an Fluidmechanik. Die Reinigung mit Kohlendioxid ist rückstandsfrei, trocken, nahezu temperaturneutral (15 bis 20 °C) und sehr materialschonend. Die Abreicherung von verschiedenen Biozid-Wirkstoffen an unterschiedlichen textilen Probekörpern wie auch anderen Materialien wie z. B. Leder und Holz, konnte im Rahmen vorangegangener Forschungsprojekte und bilateraler Fallstudien nachgewiesen werden.

Aufgrund der analytischen Daten und der Ergebnisse der restauratorischen Begutachtung wurde der Nachweis zur Einsatzfähigkeit der eCO₂-Reinigungsanlage für die Dekontamination und Reinigung von Textilproben bei gleichzeitigem Erhalt der Originalität der Objekte bestätigt.

Die Originalität wird dabei insbesondere optisch durch die beeinträchtigungsfreie Reinigung der Textilfasern und den Erhalt der Farb- bzw. Fasereigenschaften beschrieben. Durch Beauftragung eines externen Textillabors, das sich auf die Zustandsbeschreibung von textilem Kulturgut spezialisiert hat, wurde nunmehr zweifelsfrei festgestellt, dass die Dekontamination und Reinigung der Teppiche mit flüssigem Kohlendioxid äußerst materialschonend ist und sogar materialerhaltende Eigenschaften aufweist.

Es konnte keine Veränderung in der Beschaffenheit des Materials nach dem Dekontaminationsprozess festgestellt werden. Elektronenmikroskopische Aufnahmen der gereinigten Fasern belegen die hohe Tiefenwirkung der CO₂-Reinigung und die Entfernung von Mikropartikeln von der Oberfläche der Fasern.

Aufgrund der im Projekt durchgeführten Dekontaminations- und Reinigungsversuche stehen nunmehr geeignete Prozessgrößen zur Verfügung, die es erlauben, relativ schnelle und effiziente „Konservierungsmaßnahmen“ mit flüssigem Kohlendioxid auszuführen.

Vorrangig konnte die mechanische Belastung des Reinigungsgutes auf ein Minimum gesenkt werden. Der erforderliche Druck von ca. 55 bar beeinträchtigt das Fasermaterial nachweislich nicht. Die Prozesstemperatur liegt zwischen 15 und 20 °C. Um die mechanische Belastung des Fasermaterials so gering wie möglich zu halten, wurde das Dekontaminations- und Reinigungsverfahren weder durch Rotation des Metallkorbes noch durch Ultraschall verstärkt.

Im Vergleich zu alternativen Reinigungs- und Dekontaminationsverfahren mit unpolaren Lösemitteln konnte festgestellt werden, dass eine höhere Abreicherung von chlororganischen Verbindungen erzielt wird und aufgrund der gut kontrollierbaren Prozesstechnik Materialschädigungen vermieden werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die erzielten Ergebnisse des Projektes wurden zum 5. Workshop Inn-O-Kultur am 27. Mai 2015 in Jena als Referat vorgestellt. Im Juli 2015 informierte die Evangelische Kirche A.B. Kronstadt mit einer Pressekampagne in Rumänien zur Einrichtung des Spezialdepots und des Kompetenzzentrums für Teppichkonservierung.

Fazit

Mit Hilfe dieses Projektes konnte ein wesentlicher Beitrag zur Anschaffung von Einrichtungsgegenständen für das Teppichdepot und zur Errichtung des Teppichkompetenzzentrums in Siebenbürgen geleistet werden. Im Rahmen des Projektes wurde die Eignung der CO₂-Extraktion für die Anwendung auf Jahrhunderte alte Osmanische Teppiche aus Schafswolle eindrücklich dokumentiert. Insbesondere erwies sich die Methode als wenig kompliziert und praxisnah.

In Anbetracht der Vorteile, die das CO₂-Verfahren für den Erhalt der Teppiche leisten kann, wäre eine umfassende Dekontamination und Reinigung am Standort Siebenbürgen äußerst wünschenswert und aufgrund der Signalwirkung für den sensiblen Umgang beim Einsatz von toxischen Substanzen in musealen Sammlungen von großer Bedeutung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Herkunft und Bedeutung der osmanischen Teppiche in Siebenbürgen	1
1.2	Einsatz von Biozid-Produkten zum Schutz und Erhalt der Teppiche	2
2	Zielsetzungen des Projekts.....	4
3	Durchführung eines Schadstoffscreenings mittels zerstörungsfreier, portabler Röntgenfluoreszenzanalyse (p-RFA) und digitaler 3D- Keyence-Mikroskopie vor Ort.....	5
3.1	Durchführung des Schadstoffscreenings.....	6
3.2	Ergebnisse des Schadstoffscreenings	8
4	Dekontaminationsversuche	9
4.1	Vorversuch zur Dekontamination mit flüssigem Kohlendioxid.....	10
4.2	Durchführung der Dekontaminationsversuche.....	11
5	Durchführung alternativer Reinigungs- und Dekontaminationsverfahren an textilem Fasermaterial	16
6	Bewertung der Material- und Farbeigenschaften nach der CO ₂ -Extraktion	23
6.1	Untersuchungsgegenstand	23
6.2	Untersuchungen.....	23
6.2.1	Muster 15.1.14.0075-2 (unbehandeltes Teppichfragment)	32
6.2.2	Muster 15.1.14.0075-1 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-2) ..	34
6.2.3	Muster 15.1.14.0075-4 (unbehandeltes Teppichfragment)	38
6.2.4	Muster 15.1.14.0075-3 (gereinigt, Ursprungsmaterial 15.1.14.0075-4).....	41
6.2.5	Muster 15.1.14.0075-6 (unbehandeltes Teppichfragment)	44
6.2.6	Muster 15.1.14.0075-5 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-6) ..	46
6.2.7	Muster 15.1.14.0075-8 (unbehandeltes Teppichfragment)	49
6.2.8	Muster 15.1.14.0075-7 (gereinigt, Ursprungsmaterial 15.1.14.0075-8).....	52
6.2.9	Muster 15.1.14.0075-10 (unbehandeltes Teppichfragment)	55
6.2.10	Muster 15.1.14.0075-9 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-10)	58
6.2.11	Muster 15.1.14.0075-12 (unbehandeltes Teppichfragment)	60
6.2.12	Muster 15.1.14.0075-11 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-12).....	63
7	Auswertung und Zusammenfassung.....	66
8	Konservatorischer Bericht über das Schadstoffscreening an den osmanischen Teppichen in Siebenbürgen.....	
9	Ausstattung des Spezialdepots und des Teppichkompetenzzentrums.....	

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ghirlando-Teppich; Westanatolien; Zweite Hälfte 15. Jh.;	1
Abb. 2: Teppich mit 3 Medaillons Anatolien; 16. Jh. ;	1
Abb. 3: Kleingemusterter Holbein-Teppich Westanatolien Mitte 16. Jh.;	1
Abb. 4: Margarethenkirche in Mediasch	2
Abb. 5: Dokumentation grober Verschmutzungen und Ausbildung kristalliner Strukturen	3
Abb. 6: Dokumentation kristalliner Anhaftungen und starker Verschmutzungen durch Spinnennetze	3
Abb. 7: Beispiel für ein chloresubstituiertes organisches Molekül (DDT) R = organischer Rest (Kohlenwasserstoffgerüst)	5
Abb. 8: mikroskopische Aufnahmen vom Keyence	6
Abb. 9: Untersuchung mittels Keyence	7
Abb. 10: Kartierung der Messpunkte	7
Abb. 11: Messung mittels p-RFA (links) und Keyence (rechts)	7
Abb. 12: eICO ₂ -Anlage der Schweizer Firma Amsonic Precision	9
Abb. 13: Prototyp der Anlage economic liquid CO ₂	10
Abb. 14: Probenfragmente im „Waschkorb“ der eICO ₂ -Anlage	10
Abb. 15: Druck- und Temperatureaufnahme V5	13
Abb. 16: Druck- und Temperatureaufnahme V3	13
Abb. 17: Dokumentation der Teppichfragmente und der Analogprobe aus wfk-Testgewebe	17
Abb. 18: Darstellung der Probenpräparation in einem Glasbecher unter ständigem Rühren (Magnetrührer) und anschließender Trocknung auf einem Gitter unter dem Laborabzug	18
Abb. 19: Abreicherungsrate Rückseite der Originalfragmente	21
Abb. 20: Abreicherungsrate Vorderseite der Originalfragmente	21
Abb. 21: Abreicherungsrate der Testgewebsfragmente	21
Abb. 22: Dokumentation der Teppichfragmente.nach Behandlung mit Solvon (a und b)	22
Abb. 23: L*a*b*-Farbraum	26
Abb. 24: Helligkeit L* so wie Bunttöne a* und b* des Teppichfragments 15.1.10.0075-4	27
Abb. 25: Helligkeit L* so wie Bunttöne a* und b* verschiedener Stellen mit gelbem Farbton der Teppichfragmente 15.1.14.0075-4 (Ursprung) und 15.1.14.0075-3 (gereinigt)	28
Abb. 26: Helligkeit L* so wie Bunttöne a* und b* verschiedener Teppichfragmente 15.1.14.0075-7, 15.1.14.0075-8, 15.1.14.0075-9 und 15.1.14.0075-10	28
Abb. 27: Restfettgehalt der Teppichfragmente nach Extraktion mit Methanol/Toluol	31
Abb. 28: Muster 15.1.14.0075-2 (unbehandeltes Teppichfragment)	33
Abb. 29: Muster 15.1.14.0075-1 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-2)	37

Abb. 30: Muster 15.1.14.0075-4 (unbehandeltes Fragment).....	40
Abb. 31: Muster 15.1.14.0075-3 (gereinigt, Ursprungsmaterial 15.1.14.0075-4).....	43
Abb. 32: 15.1.14.0075-6 (unbehandeltes Teppichfragment)	45
Abb. 33: 15.1.14.0075-5 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-6)	48
Abb. 34: Muster 15.1.14.0075-8 (unbehandeltes Teppichfragment)	51
Abb. 35: Muster 15.1.14.0075-7 (gereinigt, Ursprungsmaterial 15.1.14.0075-8).....	54
Abb. 36: Muster 15.1.14.0075-10 (unbehandeltes Teppichfragment)	57
Abb. 37: Muster 15.1.14.0075-9 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-10)	59
Abb. 38: Muster 15.1.14.0075-12 (unbehandeltes Teppichfragment)	63
Abb. 39: Muster 15.1.14.0075-11 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-12) ..	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abreicherungsdaten für Permethrin	11
Tabelle 2: Prozessparameter für die Dekontaminations- und Reinigungsversuche.....	12
Tabelle 3: Ergebnisse der Schadstoffanalyse	14
Tabelle 4: Ergebnisse der Nachanalyse	15
Tabelle 5: Darstellung der Abreicherungsdaten.....	15
Tabelle 6: Abreicherungsdaten bei Originalfragmenten	16
Tabelle 7: Ergebnisse der Vor- und Nachanalyse	18
Tabelle 8: Vor- und Nachanalyse des präparierten Testgewebes	19
Tabelle 9: Abreicherungsdaten (alle Angaben in Masseprozent).....	20
Tabelle 10: Größe und Aussehen der 12 untersuchten Teppichfragmente	24
Tabelle 11: Restfettgehalt der Teppichfragmente nach Extraktion mit Methanol / Toluol	30

1 Einleitung

1.1 Herkunft und Bedeutung der osmanischen Teppiche in Siebenbürgen

367 Teppiche aus Westanatolien umfasst die Sammlung der Evangelischen Kirche A.B. Rumänien, darunter auch islamische Gebetsteppiche. Sie gelangten ab dem ausgehenden 15. Jh. über verschiedene Handelswege nach Siebenbürgen. Den Teppichen kommt heutzutage eine entscheidende kulturhistorische Bedeutung zu, insbesondere im Kontext der Geschichte der Siebenbürger Sachsen und deren kultureller Identität als Mittler zwischen Ost und West auf einer Drehscheibe zwischen christlichem Abendland und islamischem Orient. Die anatolischen Teppiche stehen beispielhaft für die osmanische Kunst und bestechen durch ihre Vielfalt, ihre künstlerische Ausgestaltung und dem bemerkenswert guten Erhaltungszustand.

Das Patriziat und die Zünfte nutzten sie als Mittel städtischer Repräsentation. Durch Schenkungen im Rahmen festlicher Ereignisse (Taufe, Trauung, Bestattung), gelangten sie zunehmend in Kirchenbesitz, schmückten den Kircheninnenraum aber lange Zeit nur zu bestimmten Anlässen. Die dauerhafte Präsentation an Balustraden, im Chor, am Zunftgestühl u. ä., wie wir sie heute kennen, ist erst für das beginnende 20. Jh. nachgewiesen (s. Abb. 4).

Dass man sich in Siebenbürgen selbst in der Zeit der politischen Abhängigkeit vom Osmanischen Reich (1541-1688) für die Teppiche begeistern konnte, belegt das hohe Integrationsvermögen dieser außerordentlichen Kunstwerke. Sie geben bis heute Zeugnis von der religiösen Toleranz und der Brückenfunktion Siebenbürgens als multikonfessionellem Angelpunkt in einem sich über viele hundert Jahre erstreckenden Zeitraum multiethnischen Zusammenlebens.



Abb. 1: Ghirlando-Teppich;
Westanatolien;
Zweite Hälfte 15. Jh.;
130 x 187 cm



Abb. 2: Teppich mit 3 Medaillons
Anatolien;
16. Jh. ;
148 x 202 cm



Abb. 3: Kleingemusterter Holbein-Teppich
Westanatolien
Mitte 16. Jh.;
114 x 177 cm

1.2 Einsatz von Biozid-Produkten zum Schutz und Erhalt der Teppiche

Von den 367 Teppichen wird ein Großteil auch heute noch offen in den Kirchenräumen von zehn evangelischen Gemeinden präsentiert (s. Abb. 4). Zum Schutz vor Schimmel, Motten- und Käferbefall wurden die Teppiche mit biozidhaltigen Substanzen ausgerüstet. Exakt nachvollziehbar ist das aber erst für die Zeit, als Frau Era Nussbächer die Landeskirchliche Textilrestaurierungswerkstatt in Kronstadt leitete (1973 – 1998). Sie hielt alle Behandlungen detailliert im Werkstatttagebuch fest. So ist ihren Aufzeichnungen auch zu entnehmen, dass zwischen 1993 und 1995 aus der Sammlung osmanischer Teppiche in Siebenbürgen 50 Objekte mit EULAN SPA versetzt wurden. Bayer hatte aber bereits 1988 offiziell die EULAN-Produktion eingestellt. Da dem Gebinde, importiert vom Teppichsachverständigen Richard Suhany, weder Sicherheitsdatenblatt noch genaue Anwendungshinweise beigelegt waren, wurde die Substanz in zu hoher Dosierung und ohne entsprechende Schutzmaßnahmen für die Mitarbeiter aufgetragen, was unmittelbar zu allergischen Reaktionen und Vergiftungserscheinungen führte.



Abb. 4: Margarethenkirche in Mediasch

Der Briefwechsel zwischen Era Nussbächer und dem Arbeitsmediziner und Forschungsleiters des damaligen Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit in München, Herrn Prof. Dr. med. Helmuth Müller-Mohnssen, gibt umfassende Auskunft über die diversen Symptome, die die unsachgemäße Verwendung dieses Produktgemisches auslöste. Das im EULAN SPA wirksame Insektizid Permethrin ist ein synthetisch erzeugtes Pyrethroid, dessen Grundstruktur von den natürlicherweise im Chrysanthemum vorkommenden Pyrethrinen abgeleitet wurde. Im Gegensatz zu den natürlichen Pyrethrinen ist Permethrin jedoch eine chemisch stabilisierte Verbindung. Durch die gleichzeitige Verabreichung von Zusatzstoffen (sogenannten Synergisten) wie Piperonylbutoxid wird der enzymatische Abbau im Wirkorganismus gehemmt. Pyrethroide sind hormonähnliche Substanzen und besitzen eine stärkere Wirkung als Lindan oder DDT.

Im Jahr 2003 unternahm die Textilrestauratorin Rodica Dinulescu den Versuch, den von Frau Nussbächer erwähnten Teppichbestand in einem Waschzyklus zu reinigen und von den Schadstoffen zu befreien. Dieses jedoch ohne Erfolg, wie eine Analyse des Labors der S.N.P. PETROM S.A. ICPT Compartimentul Analize Instrumentale Câmpina aufzeigt. Die Ergebnisse lassen klare Rückschlüsse auf eine umfassende Kontamination der Teppiche mit toxischen und gesundheitsgefährdenden Substanzen zu. Des Weiteren konnten bei der

restauratorischen Begutachtung lose Kristalle in den Wollfäden festgestellt werden, die ebenso wie der süßliche, muffige Geruch in den Depotschränken auf das Vorhandensein von toxischen Biozid-Wirkstoffen schließen lassen.

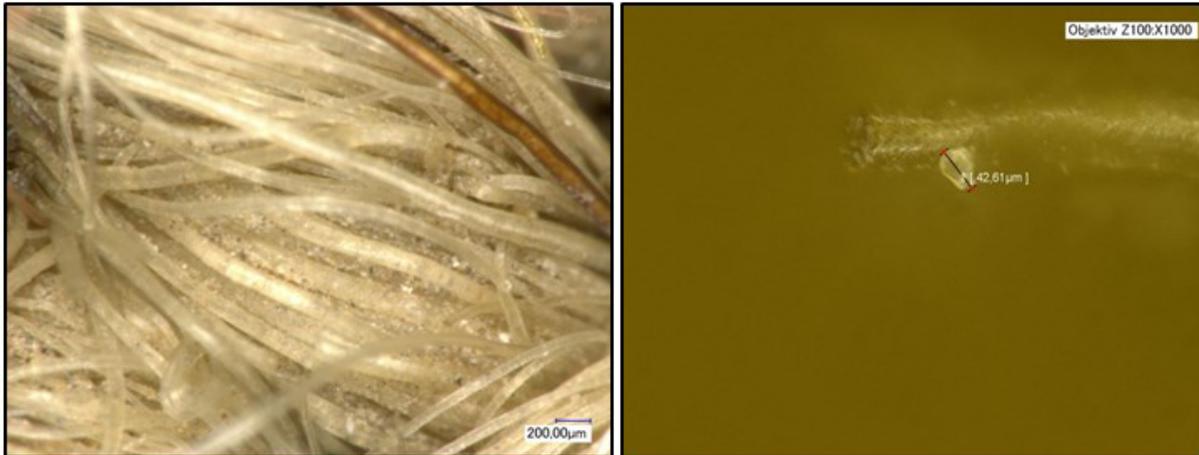


Abb. 5: Dokumentation grober Verschmutzungen und Ausbildung kristalliner Strukturen

Diese Annahme wurde durch die im Vorfeld des Schadstoffscreening durchgeführten mikroskopischen Untersuchungen mittels Keyence-Mikroskopie bestätigt. Hierbei konnten neben groben Verschmutzungen auch an den Teppichfasern anhaftende kristalline Strukturen beobachtet werden, die in der folgenden Abb. 6 dokumentiert werden:



Abb. 6: Dokumentation kristalliner Anhaftungen und starker Verschmutzungen durch Spinnennetze

Inwieweit die eingesetzten Schadstoffe zu einer Schädigung der Teppichfasern beitragen, soll im Rahmen des Projektes durch spezielle textilanalytische Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskopie geklärt werden.

2 Zielsetzungen des Projekts

Zum Schutz und langfristigen Erhalt dieser einzigartigen Sammlung osmanischer Teppiche sind restauratorische und konservatorische Maßnahmen dringend notwendig. Aufgrund der möglichen Gesundheitsgefährdung durch Biozid-Wirkstoffe beim direkten Umgang mit den Objekten werden diese jedoch verhindert. Sowohl die Art der Lagerung im derzeitigen Teppichdepot in Kronstadt als auch die offene Präsentation in den Kirchen, fügen den Teppichen absehbar größeren Schaden zu. Zusätzlich führt die unsachgemäße Handhabung der Teppiche durch fachfremdes Personal zu massiven Schädigungen.

Neben der technischen Entwicklung eines Entgiftungs- und Reinigungsverfahrens lag ein weiterer Schwerpunkt des Projektes in der Umsetzung restauratorisch-konservatorischer Maßnahmen und der Beurteilung des angewendeten Verfahrens in Hinblick auf material- und farbverändernde Eigenschaften, bzw. Veränderungen des ästhetischen Ausdrucks der Teppiche. Im Folgenden werden die einzelnen Ziele und Arbeitsschritte aufgelistet:

- a) Durchführung eines Schadstoffscreenings mittels zerstörungsfreier portabler Röntgenfluoreszenzanalyse und digitaler 3D-Keyence Mikroskopie vor Ort.
(s. Kap. 3).
- b) Entwicklung einer materialschonenden Methode zur Dekontamination und Reinigung der Teppiche mit flüssigem Kohlendioxid
(s. Kap. 4).
- c) Durchführung alternativer Reinigungs- und Dekontaminationsverfahren an textilem Fasermaterial
(s. Kap. 5).
- d) Durchführung einer spezifischen Schadensanalyse zur Beurteilung der durch die Reinigungs- und Dekontaminationsverfahren verursachten Materialschäden
(s. Kap. 6).
- e) Entwicklung eines innovativen konservatorischen Konzeptes für eine sachgerechte Lagerung und Präsentation der Teppiche.
(s. Kap. 8)
- f) Schaffung der notwendigen Museums-Infrastruktur durch Einrichtung einer zentralen Teppichwerkstatt und eines Spezialdepots mit geeigneten Lagerungsbedingungen.
(s. Kap. 9)
- g) Errichtung eines Teppichkompetenzzentrums zu Koordinierung restauratorischer Maßnahmen sowie der Planung und Umsetzung konservatorischer Konzepte unter Berücksichtigung der Schadstoffproblematik.
(s. Kap. 9)

3 Durchführung eines Schadstoffscreenings mittels zerstörungsfreier, portabler Röntgenfluoreszenzanalyse (p-RFA) und digitaler 3D- Keyence-Mikroskopie vor Ort.

Für die Analyse vor Ort wurde ein portabler Röntgenfluoreszenz-Analysator (Niton™XL3t GOLDD+) eingesetzt. Hiermit können charakteristische Elementmerkmale festgestellt werden, die signifikante Hinweise zu vorangegangenen Schadstoffbehandlungen mit biozidhaltigen Produkten zum Schutz gegen Motten- und Käferbefall liefern. Erhöhte Chlorkonzentrationen lassen auf das Vorliegen von organischen, chlosubstituierten Verbindungen, wie z. B. Dichlordiphenyl-trichlorethan (DDT), γ -Hexachlorcyclohexan (Lindan), Pentachlorphenol (PCP) etc. schließen (s. Abb. 7). Metall- und schwermetallhaltige Salze (Arsen-, Quecksilber-, Chrom-, Kupfer- und Bleiverbindungen) werden semi-quantitativ bestimmt. Hinweise auf zinnorganische Verbindungen (TBTO), Sulfonamide sowie Phosphorsäureester ergeben sich über auffällige Elementkonzentrationen von Zinn, Schwefel und Phosphor.

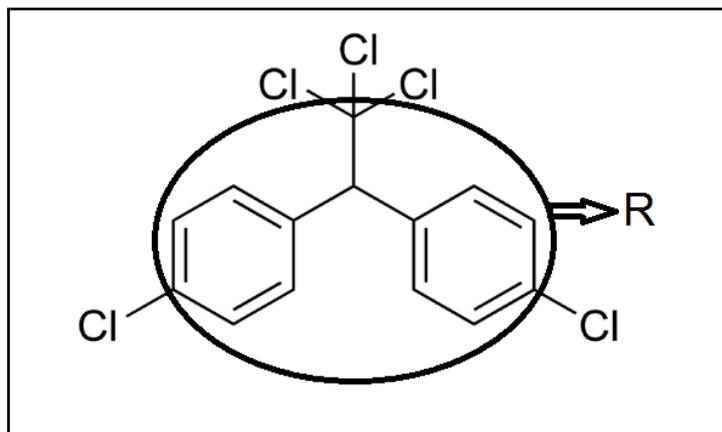


Abb. 7: Beispiel für ein chlosubstituiertes organisches Molekül (DDT)
R = organischer Rest (Kohlenwasserstoffgerüst)

Mit dieser Methode können keine Aussagen zu den konkret vorliegenden organischen Substanzen bzw. Substanzgemischen getroffen werden. Die jeweilige Chlorzählrate ist ein Summenparameter über die Gesamtheit aller am jeweiligen Kohlenstoffgerüst gebundenen Chloratome. Anorganische salzartige Chlor-Verbindungen führen ebenfalls zu erhöhten Zählraten. Eine Unterscheidung zwischen anorganischen und organischen Verbindungen ist mit dieser Methode nicht möglich. Aus diesem Grund sollte der qualitative Nachweis durch Probenahme von Staub- oder Materialproben und anschließender quantitativer Analyse verifiziert werden.

Die mikroskopische Untersuchung mittels digitaler 3D-Mikroskopie (Keyence VHX-1000) wurde von der zuständigen Textilrestauratorin, Hanna Grabner, durchgeführt. Mit Hilfe des digitalen Mikroskops konnten auffällig veränderte bzw. kontaminierte Bereiche bei bis zu 200-facher Vergrößerung dokumentiert werden.

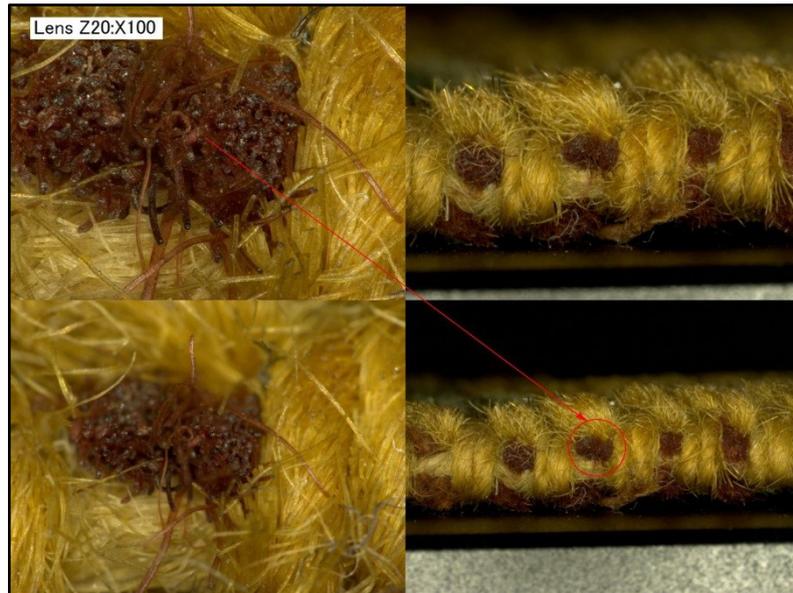


Abb. 8: mikroskopische Aufnahmen mit dem Keyence

Die Untersuchungen an dem kontaminierten Fasermaterial dienen zum einen der Feststellung, ob sich aufgrund der Behandlung mit bestimmten Wirkstoffen spezifische Schadensbilder in der Faserstruktur der Teppiche ergeben. Zum anderen sollte geklärt werden, ob sich bei den Messstellen mit erhöhten Schadstoffgehalten mikrokristalline Strukturen, Ablagerungen oder anderweitige qualitative Hinweise feststellen lassen, die sich bereits durch optische (Vor-) Begutachtung als signifikante Indikatoren für Kontaminationen durch toxische Biozid-Wirkstoffe klassifizieren lassen.

3.1 Durchführung des Schadstoffscreenings

Zur qualitativen Analyse des Teppichbestandes auf eine Belastung mit anorganischen und organischen Schadstoffen, wurden 3 Messkampagnen in verschiedenen Kirchengemeinden in Siebenbürgen durchgeführt.

Das erste Schadstoffscreening fand im November 2013 im Teppichdepot in Kronstadt statt. Mit Hilfe der gewonnenen Ergebnisse konnte eine geeignete Messroutine für die darauf folgenden Messkampagnen im Juni und August 2014 erstellt werden.

Im Rahmen der drei Messkampagnen konnte der größte Teil der Teppichsammlung der Evangelischen Kirche A.B in Rumänien untersucht werden.

Die Messungen erfolgten vorerst in der Schwarzen Kirche und der Bartholomäus-Kirche in Kronstadt und wurden anschließend in den Gemeinden Birthälm, Heltau, Hermannstadt, Honigberg, Mediasch, Mühlbach, Neppendorf und Schässburg fortgesetzt.

In Vorbereitung zu der Elementanalyse mittels p-RFA wurde eine SQL-basierte Datenbank erstellt, die eine differenzierte statistische Auswertung der erhaltenen Messergebnisse ermöglicht. Neben den Messergebnissen wurden alle bekannten Informationen zur Historie, Nutzung, Aufbewahrung und zu vorangegangenen Konservierungsmaßnahmen der Teppiche in die Datenbank eingespeist.

Hiermit sollten u.a. Fragen nach der Schadstoffart, der Schadstoffverteilung, der lokalen Anwendung spezifischer Biozidprodukte, der Art der Aufbringung (homogene oder heterogene Verteilung der Schadstoffe) und des Gefährdungspotentials beim direkten

Umgang mit den Teppichen beantwortet werden. Im Rahmen der Schadstoffbeurteilung müssen auch herstellungsbedingte Kontaminationen und materialimmanente toxische Substanzen berücksichtigt werden, die beispielsweise mit den zur Färbung verwendeten Pflanzenfarbstoffen eingebracht wurden.

Zur Kartierung der Messpunkte auf den Teppichen dienten verschiedenfarbige, ringförmige Markierungen. Die weiß markierten Messpunkte wurden nach einem festgelegten Muster angeordnet, um die Ergebnisse der einzelnen Messungen besser vergleichen können. Mit den gelben Ringen wurden Verschmutzungen markiert. Rot markierte Messstellen wurden zusätzlich zur RF-Analyse auch mikroskopisch untersucht. (s. Abb. 10)



Abb. 10: Kartierung der Messpunkte



Abb. 9: Untersuchung mittels Keyence

Die Dokumentation der „beprobten“ Fläche erfolgte parallel zur Messung mittels der im RF-Analysator eingebauten CCD-Kamera.



Abb. 11: Messung mittels p-RFA (links) und Keyence (rechts)

Die genaue Dokumentation ermöglicht die Durchführung von Wiederholungsmessungen an den gleichen Stellen, z. B. zur Bewertung der Abreicherungsrate nach Durchführung eines Dekontaminationsprozesses.

3.2 Ergebnisse des Schadstoffscreenings

Zur Evaluierung der Ergebnisse des Schadstoffscreenings mittels p-RFA wurden Vergleichsmessungen an Probenmaterial aus unterschiedlichen Teppichen mit dem molekülspektrometrischen Analyseverfahren der gekoppelten Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS) durchgeführt. Die Entnahme der Faser- und Staubproben aus den Originalteppichen wurde durch die Textilrestauratorin, Frau Hanna Grabner, vorgenommen. Die Extraktion der Schadstoffe aus den Probenmaterialien erfolgte in einer Soxhlet-Apparatur.

Aus dem Vergleich der mittels p-RFA und GC-MS erhaltenen Ergebnisse konnte ein empirischer Grenzwert für die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens einer Kontamination mit chlororganischen Substanzen ermittelt werden. Dieser entspricht einem Chlorgehalt von 200 ppm. Daraus lässt sich folgern, dass chlororganische Schadstoffe auf textilen Oberflächen wesentlich empfindlicher gemessen werden können als in Holzmaterialien, bei denen der empirische Grenzwert bei 1000 ppm liegt.

Im Rahmen der statistischen Auswertung der Analyseergebnisse über alle gemessenen Teppiche, wurde ein Medianwert von 300 ppm ermittelt. Daraus lässt sich folgern, dass ein großer Teil der Teppichsammlung mit chlororganischen Biozid-Wirkstoffen behandelt wurde. Besonders hohe Chlorgehalte wurden in den Teppichen aus den Gemeinden Honigberg und Schässburg nachgewiesen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Ausrüstung der Teppiche mit Wollschutzmitteln von Gemeinde zu Gemeinde recht unterschiedlich gehandhabt wurde. So kamen in der Bartholomäus Kirche in Kronstadt zusätzlich zu den organischen Substanzen auch Arsen bzw. arsenhaltige Verbindungen zum Einsatz. Die höchste Belastung mit Arsen lag bei 200 ppm. Weitere Arsenkontaminationen ließen sich bei den in der Schwarzen Kirche ausgestellten Teppichen feststellen. Da sich bei der Analyse des Holzgestühls ebenfalls hohe Arsenkonzentrationen ergaben, die auf die Verwendung von Arsen als Holzschutzmittel hinweisen, kann nicht ausgeschlossen werden, dass es sich um eine Querkontamination handelt.

Die p-RFA-Messungen liefern keine Hinweise auf die Verwendung von Quecksilbersalzen. Bei den sehr niedrigen Konzentrationen an Quecksilber, die sich in manchen Teppichen nachweisen ließen, handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um Querkontaminationen.

Bemerkenswert sind die hohen Elementgehalte an Calcium und Schwefel in allen Teppichen, die wohl auf den Abrieb von Gips von den Wänden zurückzuführen sind. Aufgrund der hohen Schwefelgehalte, ist ein qualitativer Nachweis von Sulfonamid-Derivaten nicht möglich.

Recht große Unterschiede zeigen sich in den gemessenen Phosphorgehalten der Teppiche aus verschiedenen Gemeinden. Besonders hohe Werte finden sich in den Beständen der Gemeinden Mühlbach, Honigberg und Schässburg. Zum Schutz von Wollprodukten vor dem Raupenfraß der Kleidermotte und dem Larvenfraß der Teppichkäfer wurden bereits seit den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts quartäre Phosphoniumsalze eingesetzt.

Aus den erhaltenen Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass die einzelnen Gemeinden ihre Teppiche mit unterschiedlichen Wirkstoffrezepturen ausgerüstet haben. In Ergänzung des von Era Nussbächer dokumentierten Einsatzes von EULAN zum Schutz vor Motten und Ungeziefer, konnte die Verwendung von Arsen- und Phosphoniumsalzen qualitativ nachgewiesen werden.

Die Elementkonzentrationen von Blei, Eisen, Kupfer und Zinn ergeben keinen Hinweis auf die Verwendung von insektiziden oder fungiziden Metallsalzen bzw. Metallorganen wie Tributylzinnoxid.

Des Weiteren sollte ausgeschlossen werden, dass bestimmte Schadstoffindikatoren, wie z. B. Chlor, Quecksilber, Arsen und Blei eventuell aus dem Herstellungsprozess stammen, da bekannt ist, dass diese Elemente auch in manchen der verwendeten Beizen, Farbstoffe und Färberezepturen vorkommen können.

4 Dekontaminationsversuche

Die Dekontamination bzw. Beseitigung von Bioziden aus historischen Textilien gehört nach wie vor zu einer großen Herausforderung in der Textilrestaurierung. Herkömmliche mechanische sowie nasschemische Reinigungsverfahren bzw. Dekontaminationsmethoden schließen sich oftmals aus technologischen Gründen oder aufgrund bestehender Materialempfindlichkeiten aus.

Es gibt bislang meist nur unzureichende Möglichkeiten zur Dekontamination und Reinigung historischer Textilien bei gleichzeitigem Erhalt der Originalität. Als besonders problematisch hat sich die Behandlung von aus Wolle gefertigten historischen Textilien erwiesen.

Für diese Materialgruppe gilt es noch eine geeignete Methode zu entwickeln, die zweifelsfrei nicht materialschädigend ist.

Dabei darf sich die Bewertung nicht alleine auf eine Zustandsbeschreibung der mechanischen und physikochemischen Eigenschaften des Fasermaterials beschränken sondern es sind auch die der Alterung zugrunde liegenden Parameter zu berücksichtigen, um eine weitere Schwächung der Proteinstruktur und den Abbau natürlicher Bestandteile, wie Lanolin zu vermeiden.



Abb. 12: eICO₂-Anlage der Schweizer Firma Amsonic Precision

4.1 Vorversuch zur Dekontamination mit flüssigem Kohlendioxid

Zur Entgiftung und Reinigung von ausgewählten Teppichfragmenten, die in der Vergangenheit nachweislich mit Permethrin, DDT und Lindan behandelt wurden, erfolgte ein Dekontaminationsversuch mit flüssigem Kohlendioxid als inertes und unpolares Extraktionsmittel. Die Extraktion wurde in einem Prototyp der economic liquid CO₂-Anlage (elCO₂-Anlage) der Schweizer Firma Amsonic Precision Cleaning SA im Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) in Berlin durchgeführt (s. Abb. 13).



Abb. 13: Prototyp der Anlage economic liquid CO₂

Zur Erzeugung von flüssigem Kohlendioxid sind Temperaturen zwischen 15 und 20 °C und Drücke von 40 – 60 bar erforderlich. Das zu reinigende Gut wird in einem Metallkorb (42 cm x 23 cm x 18 cm) fixiert, der in den horizontal installierten Reinigungsautoklaven (ca. 95 L) eingeschoben wird (s. Abb. 14).



Abb. 14: Probenfragmente im „Waschkorb“ der elCO₂-Anlage

Das Kohlendioxid wird im Kreislauf geführt (Mehrfachnutzung) und der extrahierte Schmutz in einem Ölauskocher zur späteren Entsorgung aufgefangen.

Die einzelnen Verfahrensschritte wurden sowohl manuell als auch automatisiert ausgeführt. Im Vorfeld der Extraktion wurden die kontaminierten Objekte vorerst für 12 Stunden in

flüssigem CO₂ „eingeweicht“. Empfindliche und faseriger Probenmaterialien wurden in handelsübliche Gaze-Säckchen eingenäht

Zur Vor- und Nachanalyse wurden Materialproben entnommen und im ALAB Umweltlabor in Berlin mittels gekoppelter Gaschromatographie-Massenspektrometrie quantifiziert.

Im Rahmen des Vorversuches, wurden die folgenden Abreicherungsraten erzielt (s. Tabelle 1):

Tabelle 1: Abreicherungsraten für Permethrin

Teppich	Probenart	Permethringehalt vor Testlauf [mg]	Permethringehalt nach Testlauf [mg]	Abreicherung von Permethrin [%]
Großschenk 54	Teppichfragment (Schafswolle)	152	2,5	98,4
244	Gurtband	96,3	27,8	71,3
260	Fransen	52,2	2,3	95,6
260	Gurtband	197	27,7	85,9
289	Baumwollkörperband	82,5	34	58,8

Die relative Abreicherung für Permethrin liegt bei verschiedenen Materialarten bei 60 bis 98 Prozent. Die geringen chlororganischen Kontaminationen (DDT, Lindan etc.) lagen nach dem Dekontaminationsprozess unter der Bestimmungsgrenze.

Aufgrund der guten Extrahierbarkeit von Permethrin aus den Fasern der Schafswolle sollten die Prozessparameter des Dekontaminations- und Reinigungsverfahrens optimiert werden. Da die Druck- und Temperaturparameter bei der eICO₂-Anlage nicht beeinflussbar sind, wurden Versuche mit unterschiedlichen Badzeiten durchgeführt. Die Prozessoptimierung erfolgte nicht nur in Hinblick auf die Schadstoffabreicherung und Reinigung der Teppiche sondern auch in Hinblick auf den Erhalt der in den Fasern enthaltenen natürlichen lipophilen Bestandteile.

In Hinblick auf die Entwicklung eines standardisierten Verfahrens zur Entgiftung der Teppiche, wurde streng auf die Einhaltung der restauratorisch-konservatorischen Vorgaben zum Erhalt und Schutz des wertvollen textilen Kulturgutes geachtet.

4.2 Durchführung der Dekontaminationsversuche

Aufgrund der im Schadstoffscreening erhaltenen Ergebnisse wurden textile Analogobjekte (wfk-Testgewebe A 60) mit verschiedenen Eulanen und Biozid-Wirkstoffen kontaminiert und mit Faserproben aus Originalfragmenten in der eICO₂-Reinigungsanlage gereinigt und dekontaminiert. Zur Beurteilung der erzielten Abreicherungsraten wurden sowohl die Testgewebsfragmente als auch die Originalfragmente vor und nach dem Dekontaminationsprozess mittels p-RFA und GC-MS analysiert.

Neben der Bestimmung der Abreicherungsraten mit qualitativen und quantitativen Analysemethoden wurde eine eingehende Faseruntersuchung an den Dummies und unterschiedlichen Referenzproben in einem spezialisiertem Textilinstitut vorgenommen.

Zur Optimierung des Prozessablaufes wurden zehn Teilversuche mit unterschiedlichen Prozessparametern zusammengestellt. Zur Schonung des Reinigungsgutes sollte die Badzeit so gering wie möglich gehalten werden. Über die Rotation des Korbes wird die Badmechanik verändert, während durch zusätzliches Einblasen von CO₂-Gas(Bubbles) und der Erzeugung von Schallwellen (US) die Fluidmechanik verstärkt wird. In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Verfahrensschritte aufgelistet (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Prozessparameter für die Dekontaminations- und Reinigungsversuche

Versuch	Badzeit [h]	Mechanik	Korbrotation
1	8	Nein	Nein
2	4	Nein	Nein
3	2	Nein	Nein
4	1	Nein	Nein
5	0,5	Nein	Nein
6	0,5	Nein	Rotation
7	0,5	Bubbles	Nein
8	0,5	US	Nein
9	0,5	Bubbles/US	Nein
10	0,5	Bubbles/US	Nein
11	Optimierter Reinigungsvorgang I		Nein
12	Optimierter Reinigungsvorgang II		Rotation

Um eine erste Einschätzung vornehmen zu können inwieweit die Schadstoffe bereits ohne jegliche mechanische Beanspruchung abgereichert werden können, wurden die Versuche 3 (V3) und 5 (V5), die sich nur in der Badzeit unterscheiden, sowohl an präpariertem Testgewebe als auch an originalen Teppichfragmenten durchgeführt. Die Testreihen für das Testgewebe und die Originalproben fanden jeweils getrennt voneinander statt, um Querkontaminationen zu vermeiden.

Im Folgenden finden sich die Druck-Temperaturkurven von zwei Reinigungsläufen. Mit Hilfe der Aufzeichnungen des Prozessablaufs können die Bedingungen im Autoklaven denen die Kulturobjekte ausgesetzt sind zu jedem Zeitpunkt kontrolliert und nachvollzogen werden (s. Abb. 15 und Abb. 16):

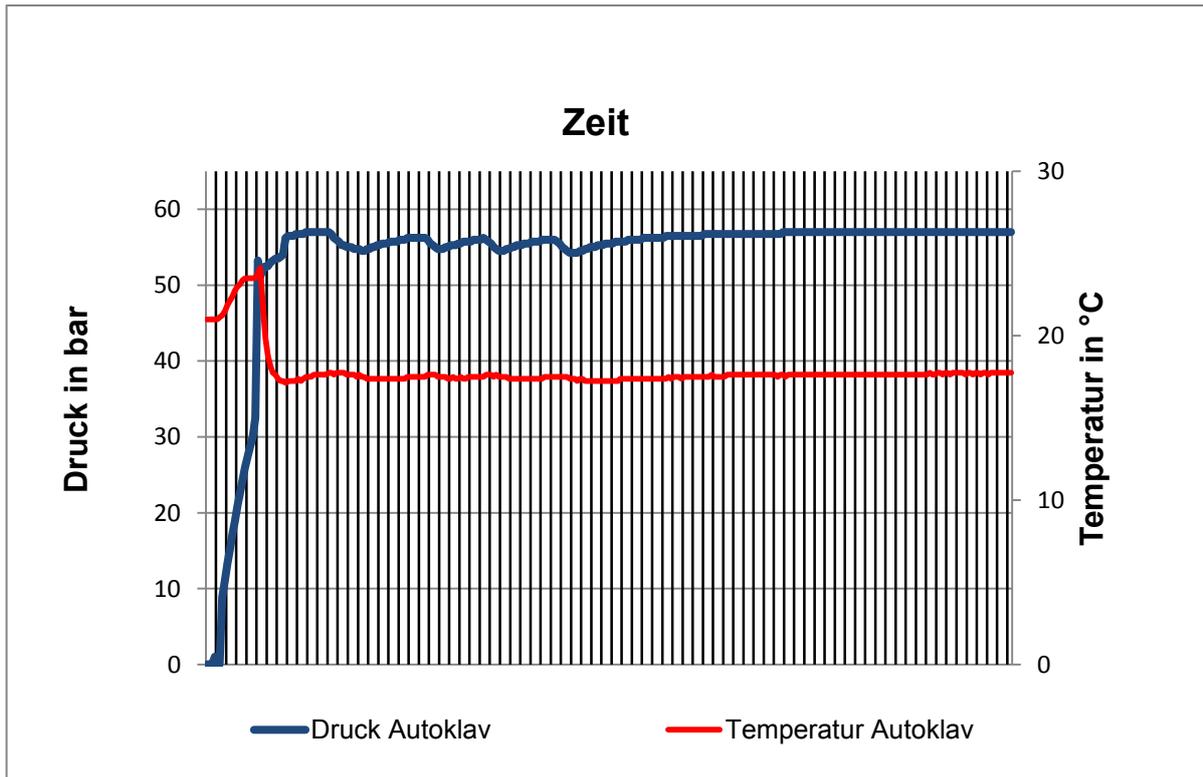


Abb. 15: Druck- und Temperaturoaufnahme V5

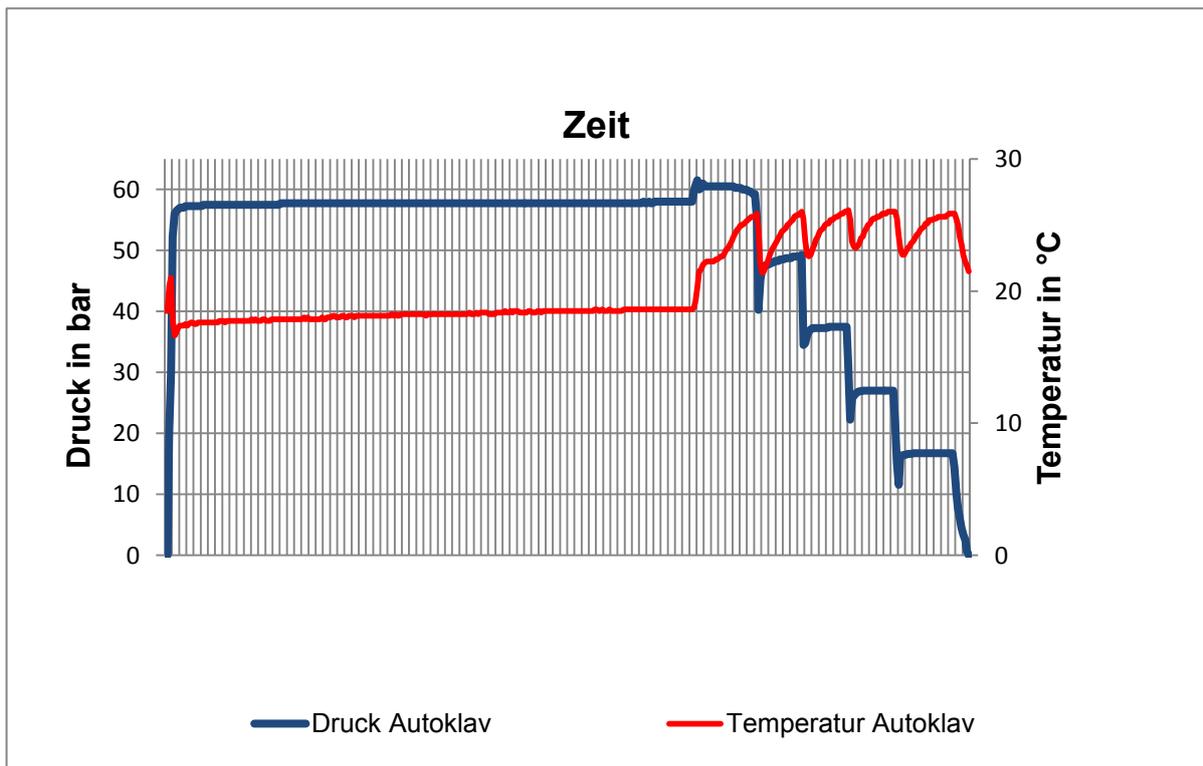


Abb. 16: Druck- und Temperaturoaufnahme V3

Die ersten Dekontaminations- und Reinigungsversuche wurden an präpariertem Testgewebe und kontaminiertem Fasermaterial vorgenommen. Die Fasern wurden aus Teppichen in Siebenbürgen genommen, die beim Schadstoffscreening hohe Chlorgehalte aufwiesen. Neben der qualitativen Messung mit der p-RFA wurden auch GC-MS-Analysen durchgeführt.

In Tabelle 3 werden die Ergebnisse der Schadstoffanalyse aufgeführt. Das Testgewebe war vorher in vier Teile geteilt worden, um die Reproduzierbarkeit überprüfen zu können und Rückstellproben zu erhalten:

Tabelle 3: Ergebnisse der Schadstoffanalyse

Teppich	Probenart	EULAN SPA (Permethrin)	Eulan U33 (PCSD/PCAD)	V3	V5	p-RFA
		[mg/kg]	[mg/kg]			[mg/kg]
257	Faserprobe	125	-			1400
257	Faserprobe	100	-			1400
III 54	Faserprobe	150	-			1600
59	Testgewebe	-	21700	61	60/62	13000
47	Testgewebe	660	-	45	46/50	4000
56	Testgewebe	360	-	55	57/58	1800
53	Testgewebe	600	-	51	50/52/54	2000
P260	Gurtband	620	-			5000

Die qualitativen Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse korrelieren sehr gut mit den GC-MS-Analysen. Das Testgewebe wurde mit Eulan SPA versetzt, wobei die Ausrüstung der Fragmente 51 bis 54 nach dem von Frau Era Nussbacher beschriebenen Muster verlief, nämlich ohne Erwärmung oder Einstellung des pH-Wertes. Bei den Proben 55 bis 58 wurde der pH-Wert eingestellt ohne Erwärmung auf ca. 60°C. Die Fragmente 45 bis 50 wurden gemäß der in den Datenblättern beschriebenen Anleitung behandelt. Die Testgewebsfragmente 59 bis 62 wurden mit EULAN U33 versetzt.

Nach Dekontamination der Faser- und Gewebsproben, wurde eine Nachanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt (s. Tabelle 4)

Tabelle 4: Ergebnisse der Nachanalyse

Teppich	Probenart	EULAN SPA (Permethrin)	Eulan U33 (PCSD/PCAD)	V3	V5	p-RFA
		[mg/kg]	[mg/kg]			[mg/kg]
257	Faserprobe	25	-			20
257	Faserprobe	3,5	-			< LOD
III 54	Faserprobe	< BG	-			20
59	Testgewebe	-	1300	61	60/62	1500
47	Testgewebe	20	-	45	46/50	10
56	Testgewebe	7	-	55	57/58	30
53	Testgewebe	15	-	51	50/52/54	20
P260	Gurtband	25	-			15

Im Rahmen der durchgeführten Versuche ließ sich feststellen das die Abreicherungsraten vollkommen unabhängig von der Badzeit sind, da beide Versuche annähernd zu den gleichen Ergebnissen führen (s. Tabelle 5):

Tabelle 5: Darstellung der Abreicherungsraten

Teppich	Probenart	Rel. Abreicherung Permethrin	Rel. Abreicherung Eulan U33
257	Faserprobe	80	-
257	Faserprobe	96,5	-
III 54	Faserprobe	100	-
59	Testgewebe	-	94
47	Testgewebe	96,96	-
56	Testgewebe	98,1	-
53	Testgewebe	97,5	-
P260	Gurtband	95,96	-

Im Folgenden wurde entschieden, weitere kontaminierte Proben aber auch ein größeres Originalfragment ohne zusätzliche mechanische Beanspruchung und mit einer Badzeit von 0,5 h, also bei gleichbleibenden Prozessparametern zu dekontaminieren. Der Reinigungseffekt soll von einem spezialisierten Textilinstitut bewertet werden wobei der Stoffabtrag von natürlichen Bestandteilen zu berücksichtigen ist, was langfristig zu Schädigungen der Teppiche führen kann.

Das folgende Probenkonvolut wurde nach den in Versuch 5 beschriebenen Prozessparametern mit flüssigem Kohlendioxid behandelt. Die Kontaminations- und Abreicherungsrate wurde mit p-RFA bestimmt (s. Tabelle 6):

Tabelle 6: Abreicherungsraten bei Originalfragmenten

Probe	Probenart	RFA vorher	RFA nachher	Rel. Abreicherung
		[mg/kg]	[mg/kg]	
4	Fragment	500	14	97
246	Staubprobe	200	10	95
35	Faserprobe	200	12	94
22	Faserprobe	4000	27	99
24	Faserprobe	7000	30	99
18	Faserprobe	5000	40	99,
11	Faserprobe	1500	10	99
7	Faserprobe	3000	23	99
100	Fragment	400	30	92
101	Fragment	400	36	91

5 Durchführung alternativer Reinigungs- und Dekontaminationsverfahren an textilem Fasermaterial

Aufgrund des hohen technischen Aufwands und der ungünstigen Druckverhältnisse bei der Dekontamination und Reinigung von textilem Kulturgut mit Kohlendioxid, wurden zwei alternative Lösungsmittel getestet, die unter Normalbedingungen (293,15 K/ 1013 mbar) in der Textilindustrie zur Reinigung eingesetzt werden und das Material nicht schädigen.

Das Textilpflegemittel SOLVON (S) ist ein halogenfreies Kohlenwasserstofflösemittel, das aus einem naphthen- und aromatenfreien Gemisch synthetisch hergestellter Isoparaffine besteht. SOLVON K4 (SK4) ist ein hochreines Lösemittel, das keine organisch gebundenen Halogenverbindungen (AOX), Nitrate, Schwermetallverbindungen und Formaldehyd enthält. Die dem Produkt zugrunde liegende chemische Substanz ist das Dibutoxymethan, das zur Klasse der Acetalölösemittel gehört. Aufgrund der chemischen Eigenschaften der beiden Reinigungsprodukte kann davon ausgegangen werden, dass sie eine hohe Affinität zu lipophilen chlororganischen Verbindungen besitzen.

Für die Versuchsreihe wurden 16 Originalfragmente und 4 Proben aus WFK-Testgewebe künstlich kontaminiert, jeweils acht Original- und zwei Testgewebsfragmente wurden mit Hylotox und mit EULAN SPA behandelt. Diese Produktgemische enthalten Lindan und DDT (Hylotox) sowie Permethrin (EULAN SPA). Hylotox ist zwar ein Holzschutzmittel, jedoch

wurden Textilien häufig auch mit Substanzen ausgerüstet, die unmittelbar greifbar waren und sowohl eine insektizide als auch fungizide Wirkung Komponente beinhalten. In der folgenden Abb. 17 werden die mit Hylotox behandelten Teppichfragmente exemplarisch dargestellt:

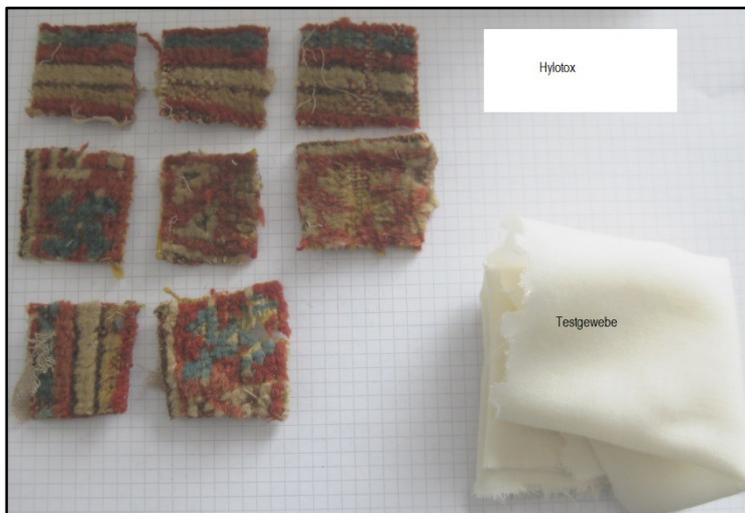


Abb. 17: Dokumentation der Teppichfragmente und der Analogprobe aus wfk-Testgewebe

Die kontaminierten Teppichfragmente wurden gewogen und mit der Methode der portablen Röntgenfluoreszenzanalyse untersucht. Nach Bestimmung der Chlorzählraten wurden die Probenfragmente 30, 60, 90 und 120 min unter Rühren in einem Becherglas mit SOLVON und Solvon K4 behandelt.



Abb. 18: Darstellung der Probenpräparation in einem Glasbecher unter ständigem Rühren (Magnetrührer) und anschließender Trocknung auf einem Gitter unter dem Laborabzug

Nach Trocknung der Proben wurden erneut die Chlorkonzentrationen gemessen. Die Bestimmung der Abreicherungsraten erfolgte über den Vergleich mit den Ergebnissen der vorangegangenen Messungen an den kontaminierten Proben. Dabei wurde sowohl die Vorderseite als auch die Rückseite berücksichtigt. In der folgenden Tabelle werden die Ergebnisse der Chlormessungen vor und nach der Behandlung mit S bzw. SK4 dargestellt (s. Tabelle 7).

Tabelle 7: Ergebnisse der Vor- und Nachanalyse

	Biozid- produkt	Vorderseite [mg/kg]	Rückseite [mg/kg]	Lösemittel	Vorderseite [mg/kg]	Rückseite [mg/kg]	Einwirk zeit [min]
1	Hylotox	848	569	SK4	572	346	120
2	Hylotox		3312	SK4	475	1083	90
3	Hylotox	759	850	SK4	497	599	60
4	Hylotox	1026	1369	SK4	514	442	30

	Biozid- produkt	Vorderseite [mg/kg]	Rückseite [mg/kg]	Lösemittel	Vorderseite [mg/kg]	Rückseite [mg/kg]	Einwirk zeit [min]
5	Hylotox	499	619	S	313	346	120
6	Hylotox	714	675	S	301	215	90
7	Hylotox	431	1010	S	162	164	60
8	Hylotox	329	737	S	163	254	30
9	SPA	1946	932	SK4	594	234	120
10	SPA	1135	958	SK4	350	312	90
11	SPA	1576	1347	SK4	542	573	60
12	SPA	14045	794	SK4	434	546	30
13	SPA	1176	1130	S	303	309	120
14	SPA	849	938	S	320	274	90
15	SPA	941	1888	S	217	237	60
16	SPA	1284	1308	S	213	428	30

Die Testgewebsfragmente wurden ebenfalls mit Solvon und Solvon SK4 gereinigt, wobei die Lösemittel jeweils 120 min einwirken konnten (s. Tabelle 8).

Tabelle 8: Vor- und Nachanalyse des präparierten Testgewebes

Biozid- produkt	Chlor [mg/kg]	Lösemittel	Chlor [mg/kg]	Einwirkzeit [min]
Hylotox	659	SK4	552	120
Hylotox	638	S	850	120
SPA	1011	SK4	821	120
SPA	1210	S	949	120

In der folgenden Tabelle finden sich die berechneten Abreicherungsraten wieder (s. Tabelle 9)

Tabelle 9: Abreicherungsraten (alle Angaben in Masseprozent)

Originalfragmente						
	Biozid- produkt	Wirkstoffe (Chlororganika)	Textil- reinigung	Abreicherung Vorderseite	Abreicherung Rückseite	Einwirkzeit [min]
1	Hylotox	DDT, Lindan	SK4	33	39	120
2	Hylotox	DDT, Lindan	SK4		67	90
3	Hylotox	DDT, Lindan	SK4	35	30	60
4	Hylotox	DDT, Lindan	SK4	50	68	30
5	Hylotox	DDT, Lindan	S	37	44	120
6	Hylotox	DDT, Lindan	S	58	68	90
7	Hylotox	DDT, Lindan	S	62	84	60
8	Hylotox	DDT, Lindan	S	50	66	30
9	SPA	Permethrin	SK4	69	75	120
10	SPA	Permethrin	SK4	69	67	90
11	SPA	Permethrin	SK4	66	57	60
12	SPA	Permethrin	SK4	97	31	30
13	SPA	Permethrin	S	74	73	120
14	SPA	Permethrin	S	62	71	90
15	SPA	Permethrin	S	77	87	60
16	SPA	Permethrin	S	83	67	30

Der im EULAN enthaltene, chlororganische Wirkstoff Permethrin, wurde am besten abgereichert, wobei kürzere Einwirkzeiten zu höheren Abreicherungsraten geführt haben. Die unterschiedlichen Chlorkonzentrationen auf den Vorder- und Rückseiten der Fragmente liegen im Bereich der Messunsicherheiten des Analyseverfahrens. Aufgrund der erhaltenen Daten lässt sich folgern, dass die behandelten Fragmente homogen kontaminiert wurden. Das ist bei den untersuchten Teppichen in Siebenbürgen nicht der Fall und birgt das Risiko der Fehlinterpretation in Hinblick auf die Auswertung der Nachmessungen, unmittelbar nach dem Kontaminationsprozess. Die Ergebnisse werden auch durch anhaftende Verschmutzungen stark beeinflusst, wie der Vergleich der relativen Abreicherungsraten von Original- und Testgewebefragmenten zeigt.

In den folgenden Diagrammen werden die Ergebnisse sowohl für die Testgewebsproben als auch für die Originalfragmente graphisch dargestellt (s. Abb. 19, Abb. 20 und Abb. 21)

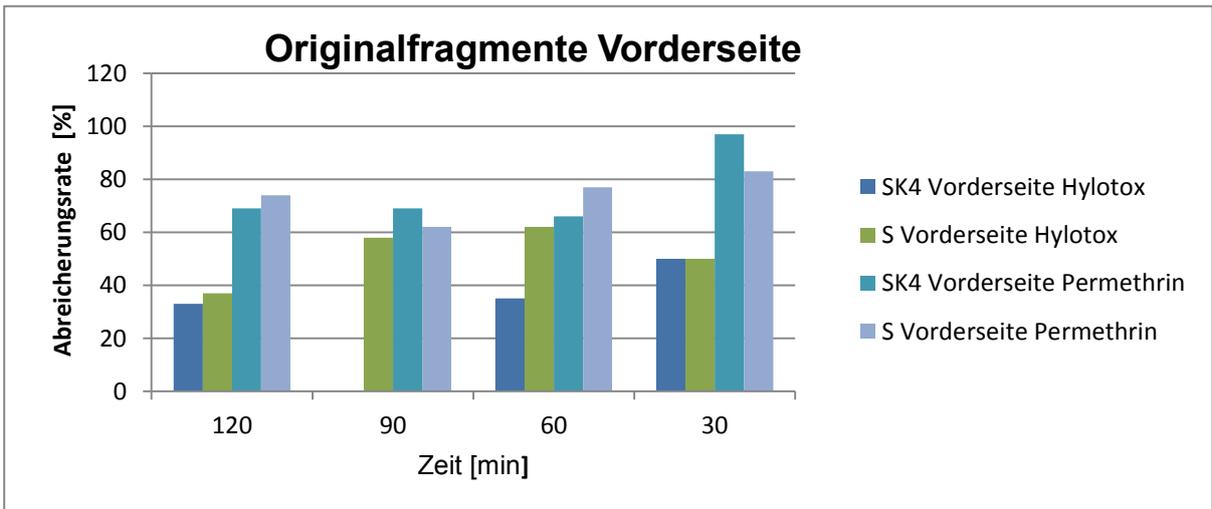


Abb. 19: Abreicherungsrate Rückseite der Originalfragmente

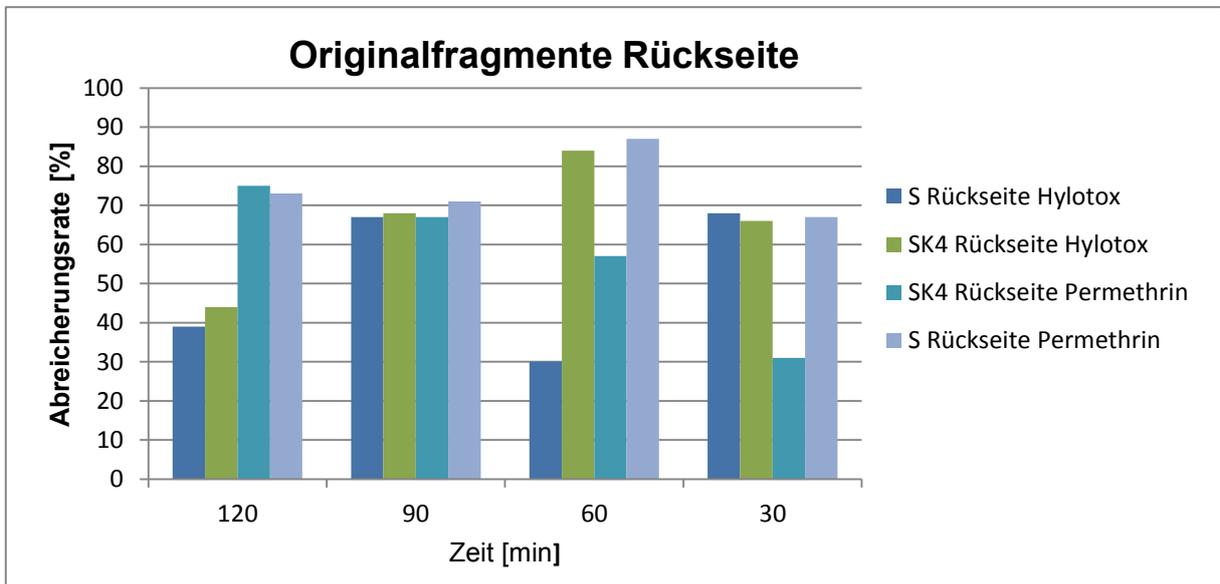


Abb. 20: Abreicherungsrate Vorderseite der Originalfragmente

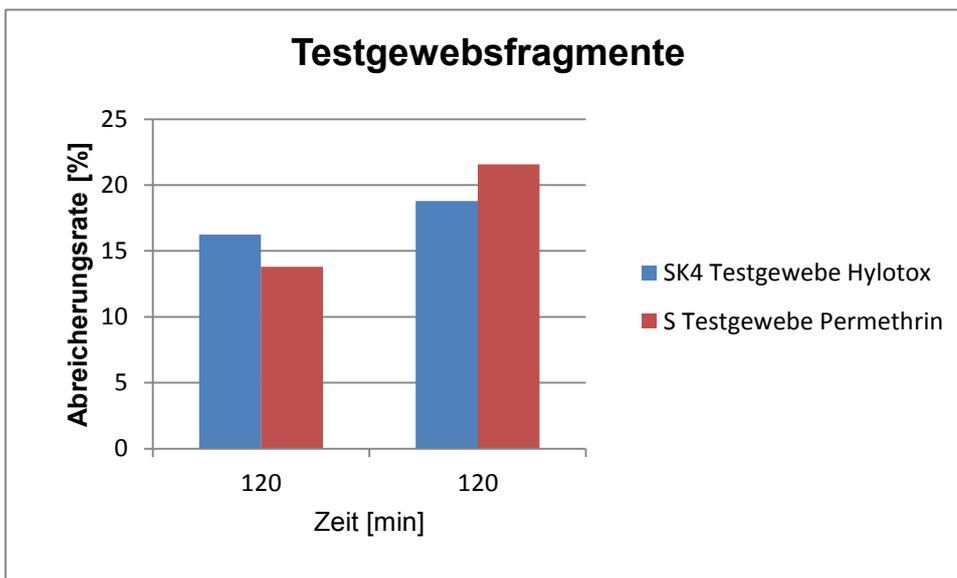


Abb. 21: Abreicherungsrate der Testgewebsfragmente

Die erzielten Abreicherungsraten von DDT, Lindan und Permethrin mit Solvon und Solvon K4 liegen im Durchschnitt bei ca. 60 Prozent. Es ergaben sich keine Unterschiede hinsichtlich der besseren Lösemittleigenschaften von eins der beiden Lösemittel. Das Ergebnis der Abreicherung für die Testgewebsfragmente lag bei ca. 18 Prozent.

Die Teppichfragmente, die mit Solvon K4 behandelt worden waren, zeigten einen deutlichen Gewichts- und Farbverlust. Das Fasermaterial wurde ganz offensichtlich verändert. Die mit Solvon K4 behandelten Fragmente verkürzten und verkrümmten sich in der Trocknungsphase wie in der folgenden Abb. 22 dargestellt wird:



Abb. 22: Dokumentation der Teppichfragmente.nach Behandlung mit Solvon (a und b)

6 Bewertung der Material- und Farbeigenschaften nach der CO₂-Extraktion

- Analytik an verschiedenen großen Teppichfragmenten aus Wolle
- Bestimmung der Farbveränderung der Teppichfragmente vor und nach der Reinigung
- Bestimmung der Fadenfestigkeit und Elastizität
- Bestimmung des Restfettgehaltes der Teppichfragmente
- Charakterisierung der Oberflächenbeschaffenheit,- rauhigkeit und Morphologie

6.1 Untersuchungsgegenstand

Probennr.	Kundenspezifische Angaben	
15.1.14.0075-1	P7 Fraunhofer gereinigt	Fragment
15.1.14.0075-2	P7 Referenz	Fragment
15.1.14.0075-3	P11 Fraunhofer gereinigt	Fragment
15.1.14.0075-4	P11 Referenz	Fragment
15.1.14.0075-5	P18 Fraunhofer gereinigt	Fragment
15.1.14.0075-6	P18 Referenz	Fragment
15.1.14.0075-7	P22 Fraunhofer gereinigt	Fragment
15.1.14.0075-8	P22 Referenz	Fragment
15.1.14.0075-9	P24 Fraunhofer gereinigt	Fragment
15.1.14.0075-10	P24 Referenz	Fragment
15.1.14.0075-11	P35 Fraunhofer gereinigt	Fragment
15.1.14.0075-12	P35 Referenz	Fragment

6.2 Untersuchungen

Im ersten Schritt wurden alle Muster photographisch erfasst. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Mustergröße sowie die Qualität der verschiedenen Teppichfragmente.

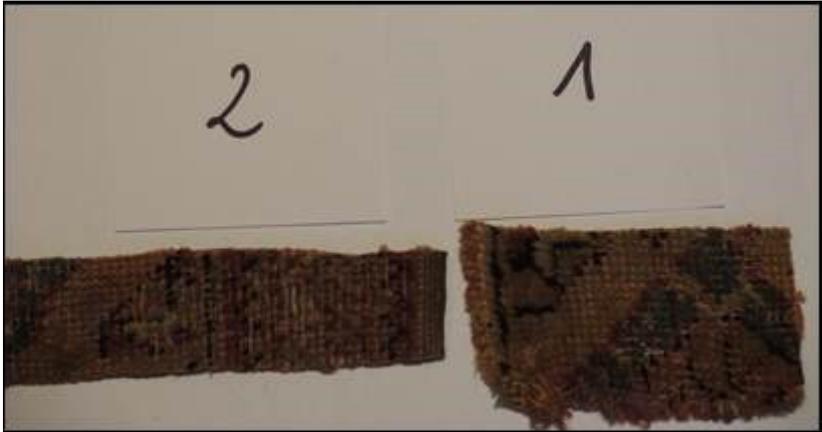
Die untersuchten Muster zeigen ein heterogenes Aussehen. Bei manchen Proben fehlt große oder kleine Bereiche des Teppichflors (z.B. 15.1.14.0075-2 und 15.1.14.0075-1; 15.1.14.0075-6 und 15.1.14.0075-5).

Bei den Mustern 15.1.14.0075-8, 15.1.14.0075-7 sowie Muster 15.1.14.0075-10 sowie 15.1.14.0075-9 handelt es Fragmente, die nur aus dem Teppichrücken bestehen.

Die Muster 15.1.14.0075-4 und 15.1.14.0075-3 sowie Muster 15.1.14.0075-12 und 15.1.14.0075-11 zeigen die geringsten Beeinträchtigungen und zeigen einen dichten Teppichflor.

Auch wenn die untersuchten Teppichfragmente eine unterschiedliche Probengröße sowie aufgrund der unterschiedlichen Muster und dadurch bedingten Farben direkt vergleichbar sind, sehen sich die Musterpaare Ursprungsteppichfragment und gereinigtes Fragment sehr ähnlich und weisen eine sehr ähnliche Beschaffenheit auf. Insbesondere zeigt die visuelle Abmusterung keine schwerwiegenden Farbveränderungen durch die verwendeten Reinigungsverfahren der Teppichfragmente. Es ist jedoch festzuhalten, dass die Farbgestaltung der Teppiche sehr nuanciert, kleinteilig und die Beurteilung an den kleinen Fragmenten eine Herausforderung darstellen.

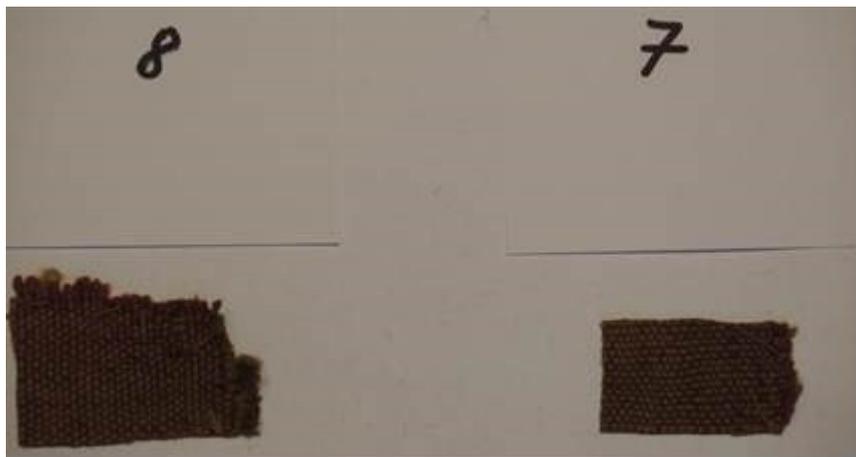
Tabelle 10: Größe und Aussehen der 12 untersuchten Teppichfragmente

Muster 15.1.14.0075-2 (unbehandelt) und Muster 15.1.14.0075-1 (gereinigt)

Muster 15.1.14.0075-4 (unbehandelt) und Muster 15.1.14.0075-3 (gereinigt)


Muster 15.1.14.0075-6 (unbehandelt) und Muster 15.1.14.0075-5 (gereinigt)



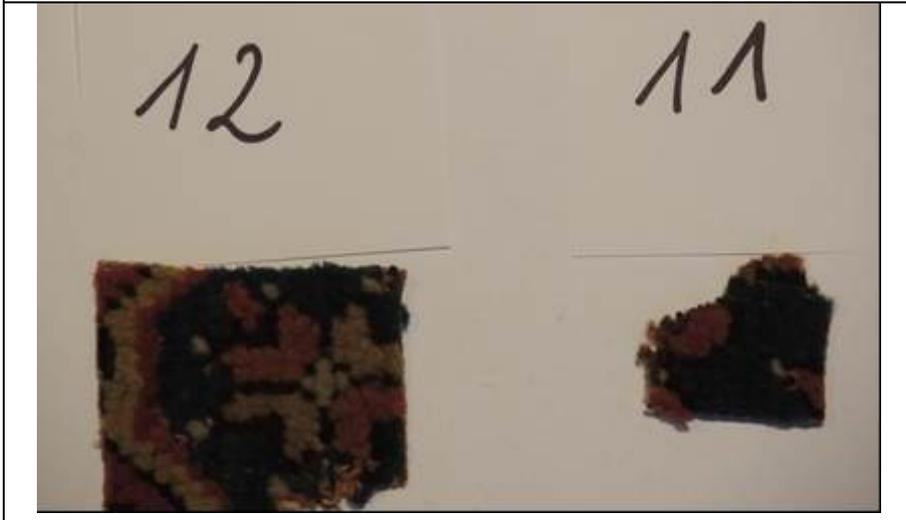
Muster 15.1.14.0075-8 (unbehandelt) und Muster 15.1.14.0075-7 (gereinigt)



Muster 15.1.14.0075-10 (unbehandelt) und Muster 15.1.14.0075-9 (gereinigt)



Muster 15.1.14.0075-12 (unbehandelt) und Muster 15.1.14.0075-11 (gereinigt)



Um die Farben objektiv bewerten zu können, wurden Farbmessungen durchgeführt. Veränderungen in der Farbe können im CIE- $L^*a^*b^*$ -Farbraum dargestellt werden. Der $L^*a^*b^*$ -Farbraum wurde 1976 von der internationalen Beleuchtungskommission CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) entwickelt. Im $L^*a^*b^*$ -Farbraum (siehe Abb.1) wird eine Farbe durch die Helligkeit L^* und die beiden Farbkoordinaten a^* und b^* gekennzeichnet. Der Aufbau des $L^*a^*b^*$ -Farbraums gliedert sich in einen Farbkreis mit verschiedenen Farbtönen. Die Helligkeit L^* ist auf der durch die Kreismitte senkrecht verlaufenden Achse angeordnet. Die Helligkeit reicht von 0 = Schwarz bis 100 = reines Weiß. Horizontal im Farbkreis verläuft die Sättigung, so dass die Buntheit zunimmt, je weiter außen der Farbtort einer Probe liegt. Die Mitte des Farbraumes ist ohne Buntheit, dies entspricht einem neutralen Grau.

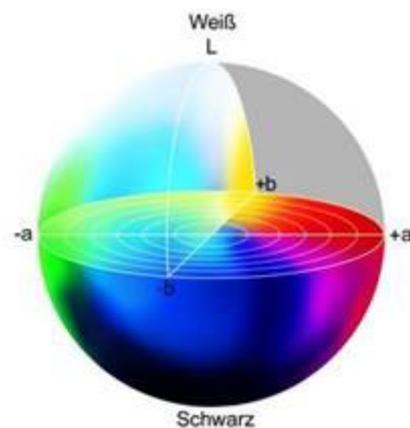


Abb. 23: $L^*a^*b^*$ -Farbraum

Die beiden Farbkoordinaten a^* und b^* geben den Buntton und gleichzeitig die Buntheit einer Farbe wieder. Dabei kennzeichnet a^* die Rot-Grün-Achse und b^* die Gelb-Blau-Achse. Die Vorzeichen bestimmen die Farbrichtung (+ a = Rotton; - a = Grünton; + b = Gelbton; - b = Blauton)

Die Untersuchungen wurde mit dem Farbmessgerät Spectralflash 600 (Datacolor International) durchgeführt und mit der Farbmess-Software Datacolor Tool Version 1.3

ausgewertet. Es wurde die Messgeometrie $d/8^\circ$ mit geschlossener Glanzkomponente verwendet. Es wurde die Lichtart D65, mittleres Tageslicht, verwendet. Als Kalibrierstandard wurde die DCI-Kachel 10848 (Sekundärstandard), rückführbar auf NRC verwendet. Es wurde eine Messöffnung von 3 mm \varnothing genutzt.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Farbmessung der gelben und roten Stellen im Teppichfragment 4. Es zeigen sich Unterschiede im Gelbton an drei exemplarisch dargestellten Stellen. Ebenso zeigen sich Unterschiede bei den roten Stellen des untersuchten Teppichfragments 15.1.10.0075-4. Dies ist typisch für alle untersuchten Proben. Die Farben in den Teppichfragmenten zeigen Nuancierungen.

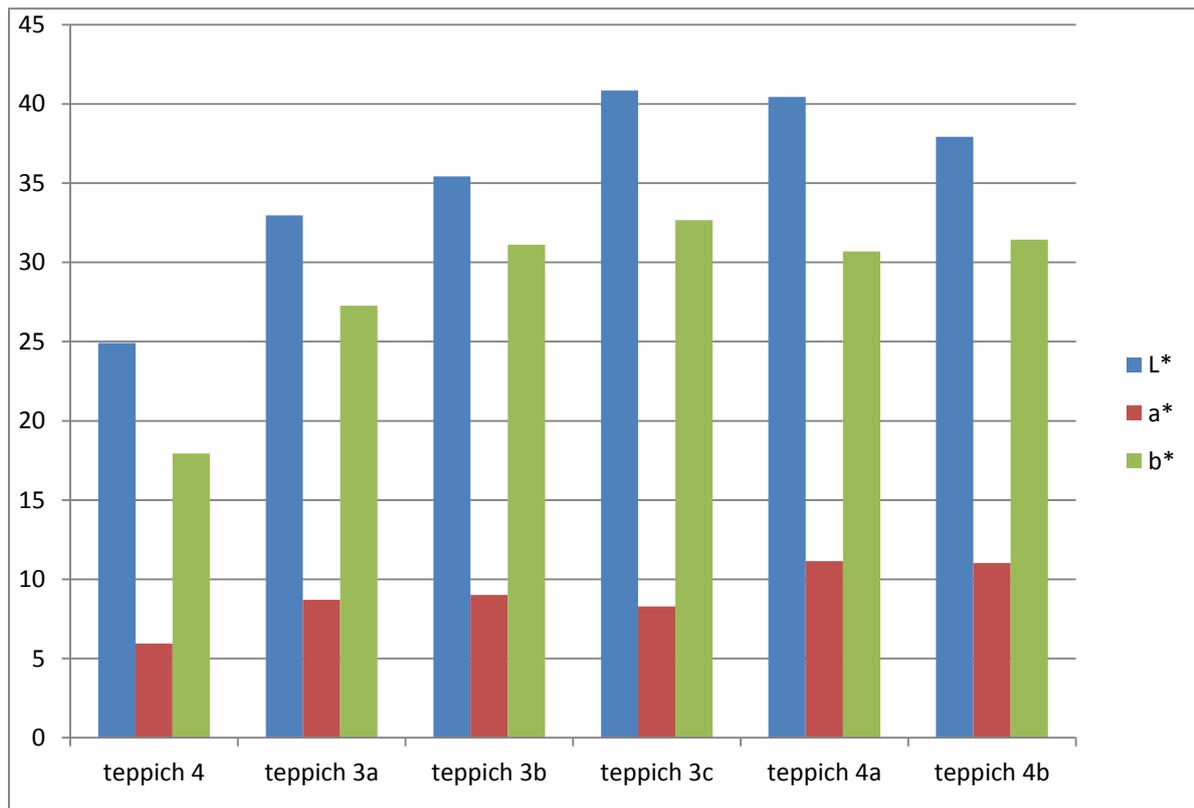


Abb. 24: Helligkeit L* so wie Bunttöne a* und b* des Teppichfragments 15.1.10.0075-4

Wird das gereinigte Teppichfragment 15.1.10.0075-3 mit dem Ursprungsteppichfragment 15.1.10.0075-4 verglichen, so zeigt das Beispiel der gelben Farbe der beiden Fragmente, dass sich die Farben innerhalb eines Musters wie auch zwischen gereinigt und ursprünglichem Teppichfragmentmuster unterscheiden und nicht den gleichen Farbton aufweisen.

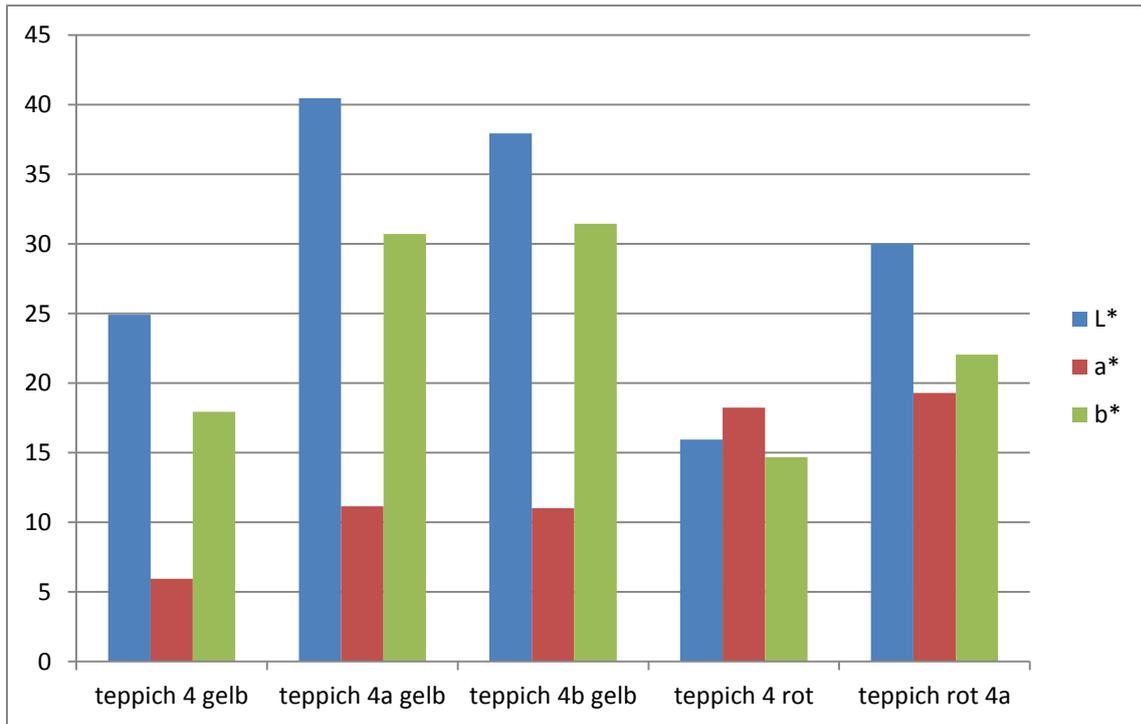


Abb. 25: Helligkeit L* so wie Bunttöne a* und b* verschiedener Stellen mit gelbem Farbton der Teppichfragmente 15.1.14.0075-4 (Ursprung) und 15.1.14.0075-3 (gereinigt)

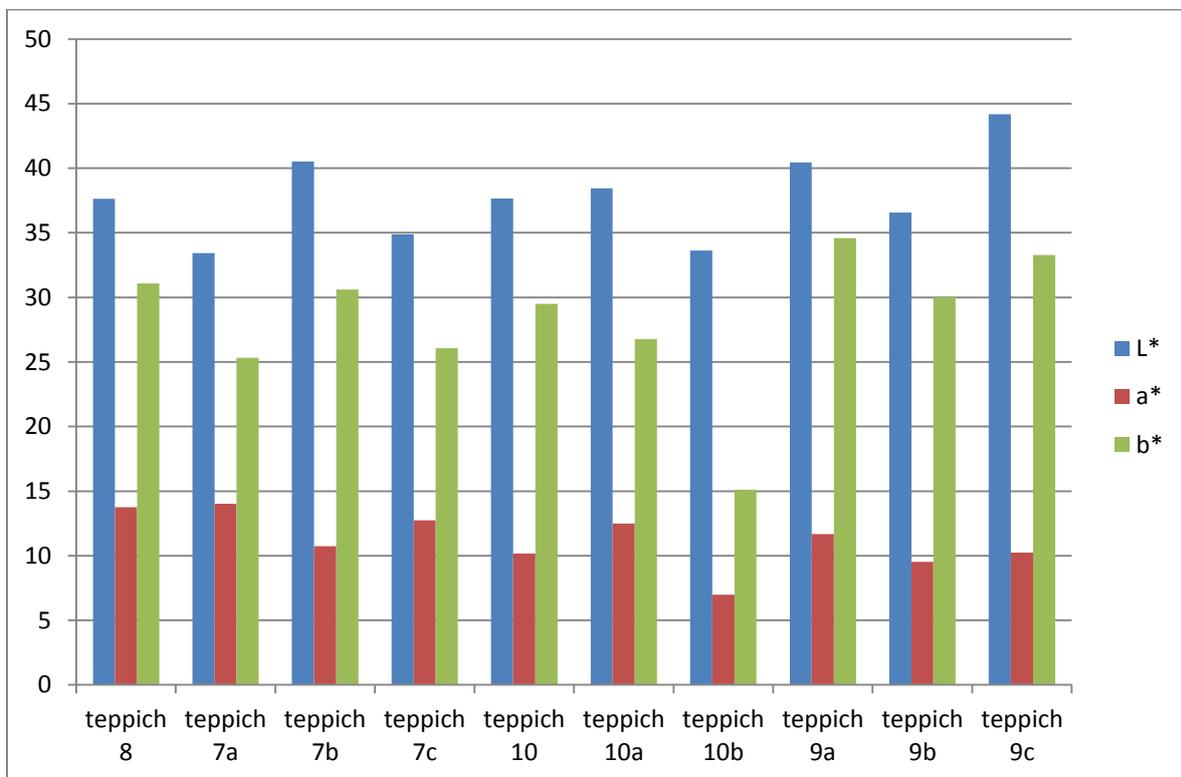


Abb. 26: Helligkeit L* so wie Bunttöne a* und b* verschiedener Teppichfragmente 15.1.14.0075-7, 15.1.14.0075-8, 15.1.14.0075-9 und 15.1.14.0075-10

Bei diesen Teppichfragmenten 15.1.14.0075-7, 15.1.14.0075-8, 15.1.14.0075-9 und 15.1.14.0075-10 in der Abbildung 4 handelt es sich um Teppichrücken ohne Flor, der aus roten und gelben Wollfäden gewebt ist. Das Webmuster ist jedoch so fein, dass auch mit der kleinsten Blende des Farbmessgerätes nicht nur rote oder gelbe Farbstellen erfasst werden können, sondern es werden jeweils auch noch Bereiche der anderen Farbe detektiert. Weiterhin verursacht die Struktur des Gewebes, und damit das Vorhandensein von Berg- und Talstellen auf der Fläche, Schwierigkeiten bei der Farbmessung. Insgesamt zeigen jedoch alle Muster eine hohe Helligkeit, sowie einen hohen Gelbton und einen geringen Rotton. Es sind keine großen Unterschiede zwischen den nicht gereinigten und gereinigten Teppichfragmenten zu erkennen.

Ursache für die feinen Farbvarianten in der Wolle liegt zum einen in dem Färbeverfahren, welches aufgrund des Alters der Teppiche wahrscheinlich auf pflanzlichen Farbstoffen beruht. Es ist bekannt, dass solche Färbungen zu leichten Farbnuancen führen können. Weiterhin kann aufgrund von Licht- und Sonneneinstrahlung die Farbe der Wollfasern verändert worden sein. Diese Veränderungen können dabei sehr partiell auftreten und können nicht ausgeschlossen werden.

Die Ergebnisse der Farbmessungen insgesamt betrachtet zeigen jedoch, dass sich die Unterschiede zwischen gereinigten und ursprünglichen Teppichfragmenten nicht signifikant unterscheiden und dies zeigt, dass durch die Reinigung keine signifikanten Farbveränderungen auftreten. Um dies jedoch einwandfrei überprüfen zu können, ist es notwendig, die Teppichfragmente vor der Reinigung farbmetrisch zu untersuchen und dieselbe Probe nach der Reinigung wiederholt farbmetrisch zu untersuchen. Nur so lässt sich feststellen, ob durch die Reinigung eine eindeutige, wenn auch nur geringe, Farbverschiebung stattfindet.

Die Bestimmung der Fadenfestigkeit und Elastizität konnte an dem vorhandenen Material nicht wie vorgesehen durchgeführt werden, da nicht genügend Fadenmaterial aus den Teppichfragmenten in genügender Qualität herausgelöst werden konnte. Die Reißfestigkeit von Fadenmaterial sollte nach DIN 5079-1996 mit dem Zwick bestimmt werden. Das Herauslösen von Fäden verursachte die Entstehung von Wollstaubpartikeln unterschiedlicher Größe. Dies konnte auch durch Variation der Probenpräparation nicht vermieden werden. Diese Wollpartikel stammen aus den einzelnen herausgelösten Fasern sowie auch aus dem verbleibenden Teppichfragment. Wurden die herausgelösten Wollfasern, die sich zusätzlich noch kräuselten, in die Zugprüfmaschine eingespannt, schwankte die Zugfestigkeit bei allen Teppichfragmenten insgesamt um 70%. Die ermittelten Zugfestigkeiten lagen im Bereich von 1 kg/mm² bis 8 kg/mm² und aufgrund der geringen Probenanzahl und der großen Schwankungen ist eine Mittelwertbildung nicht möglich. Da die Präparation der Messproben einen erheblichen Einfluss auf die Werte der Zugfestigkeit hat, kann keine eindeutige Aussage zur Reißfestigkeit gemacht werden. Insgesamt lässt sich jedoch sagen, dass es keinen Unterschied in den Messschwankungen zwischen den ursprünglichen Teppichfragmenten und den entsprechenden gereinigten Teppichfragmenten gab. Die Reinigungsprozesse zeigen keinen eindeutigen Einfluss auf die Reißfestigkeit der Teppichfragmente.

Die Bestimmung des Restfettgehaltes der Teppichfragmente erfolgte gravimetrisch nach Soxhlet-Extraktion in einem Toluol-Methanol-Gemisch (Volumenverhältnis 9:1). Dazu wurden die Proben vor der Untersuchung im Klimaschrank vorkonditioniert (21°C, 65% r.F.). Für die

Extraktion wurde der Extraktionskolben im Trockenschrank über Nacht bei 105°C getrocknet und anschließend gewogen. Nach der Extraktion wird das Lösemittelgemisch abdestilliert und der Rundkolben erneut über Nacht im Trockenschrank bei 105°C getrocknet. Der Restfettgehalt wird als Menge der organischen Rückstände bestimmt. Tabelle und Diagramm zeigen die Ergebnisse des Restfettgehaltes der Teppichfragmente.

Tabelle 11: Restfettgehalt der Teppichfragmente nach Extraktion mit Methanol / Toluol

Muster	Restfettgehalt in %
15.1.14.0075-1	1,4
15.1.14.0075-2	2,1
15.1.14.0075-3	0,7
15.1.14.0075-4	0,8
15.1.14.0075-5	1,0
15.1.14.0075-6	1,3
15.1.14.0075-7	0,8
15.1.14.0075-8	0,9
15.1.14.0075-9	0,7
15.1.14.0075-10	0,8
15.1.14.0075-11	1,2
15.1.14.0075-12	1,5

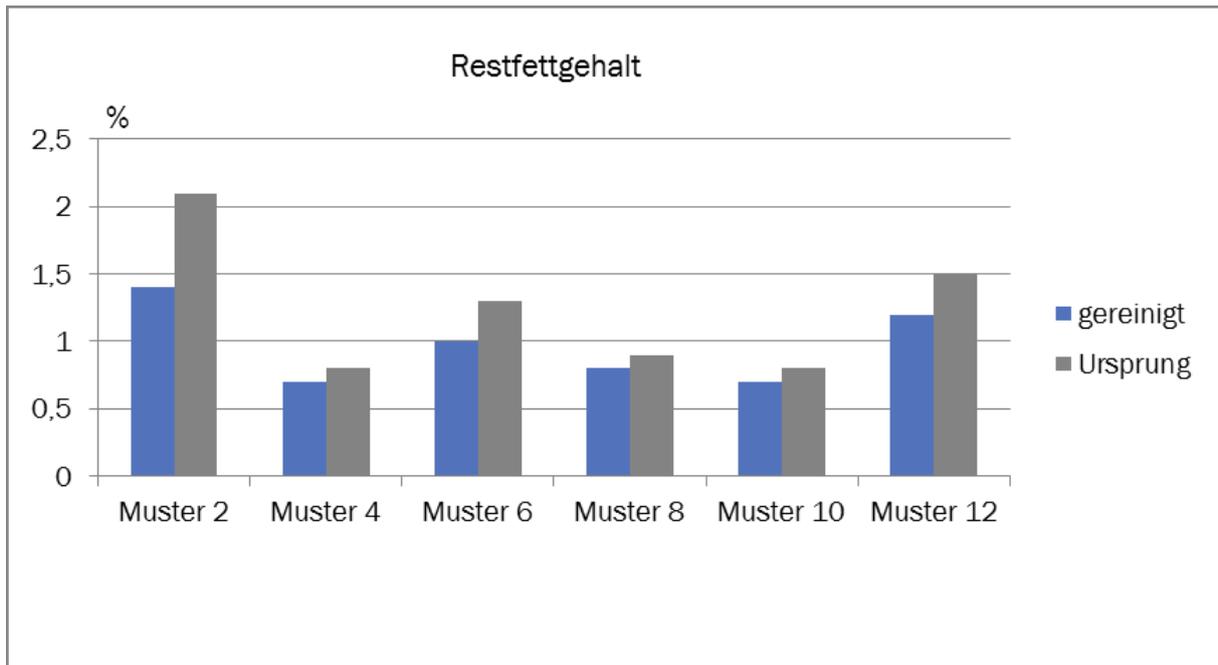


Abb. 27: Restfettgehalt der Teppichfragmente nach Extraktion mit Methanol/Toluol

Die Ergebnisse zeigen, dass bei allen Extraktionen der Restfettgehalt der ursprünglichen Teppichfragmente höher liegt als bei den gereinigten Mustern. Der Restfettgehalt der Ursprungsproben liegt zwischen 0,8 und 2,1% und der gereinigten Muster zwischen 0,7 und 1,8%. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass mit dieser Methode auch Substanzen und Verunreinigungen erfasst werden, die sich auf den Teppichen während der Gebrauchs- und Lebenszeit gesammelt haben. Diese können zu einer Erhöhung des Restfettgehaltes der Ursprungsproben führen. Durch die Reinigungsprozesse können diese oberflächlich auf der Wollfaser liegenden Verunreinigungen entfernt werden. Der Restfettgehalt von Wolle ist abhängig von der Wolle sowie den Verarbeitungsverfahren. Im Allgemeinen liegt für Wollen der Restfettgehalt bei 0,8%. Über alle untersuchten Teppichfragmente im Ursprungszustand liegt der Restfettgehalt höher (ca. 1,2%); dies kann durch die Ursprungswolle verursacht sein und an den oben schon erwähnten äußeren Verunreinigungen liegen. Bei den gereinigten Teppichfragmenten liegt der Durchschnittswert bei 0,9%. Der Unterschied zwischen Ursprungsteppichfragmenten und gereinigten Fragmenten liegt bei 0,3%. Aufgrund des geringen Unterschiedes und der Möglichkeit von Fremdkontamination zeigen die verwendeten Reinigungsmethoden keinen signifikanten Einfluss auf den Restfettgehalt der Wolle.

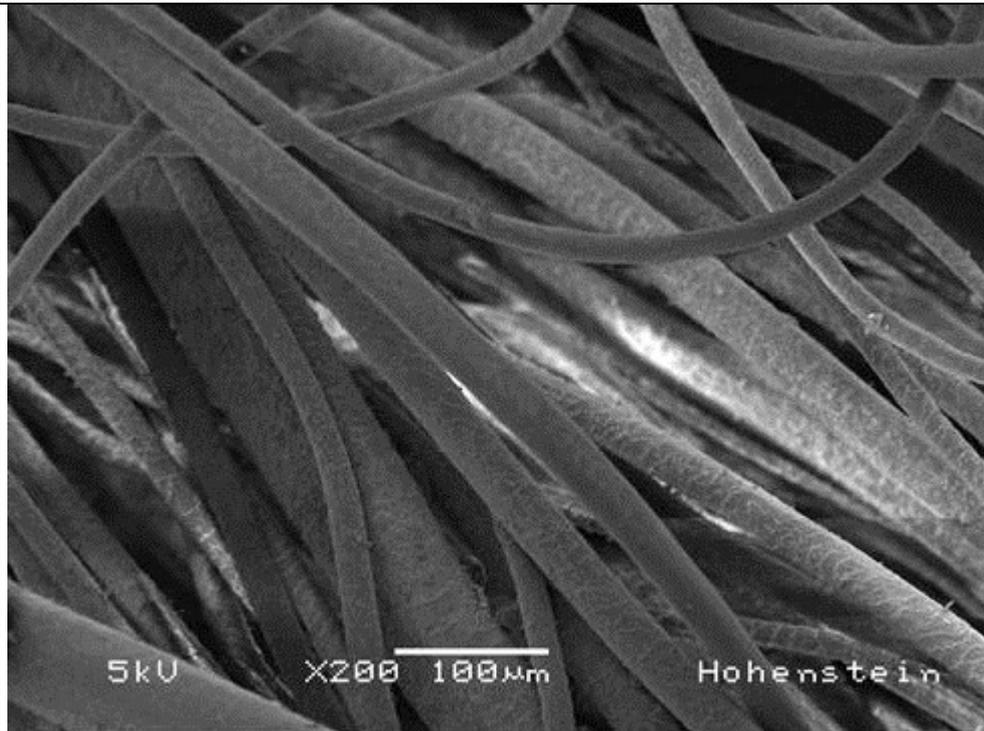
Die Muster wurden weiterhin mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht. Die zu untersuchenden Proben aus den betreffenden Mustern wurden dazu auf REM-Probenträger mit Leit-Klebetabs aufgebracht und anschließend in einem Sputter Coater (Typ: BALZERS SCD 004) mit Gold beschichtet.

Die Aufnahmen erfolgten mit einem REM (Typ: JEOL JSM-5610-LV) in verschiedenen Vergrößerungen (200-fache, 500-fache, 1000-fache und 2000-fache Vergrößerung).

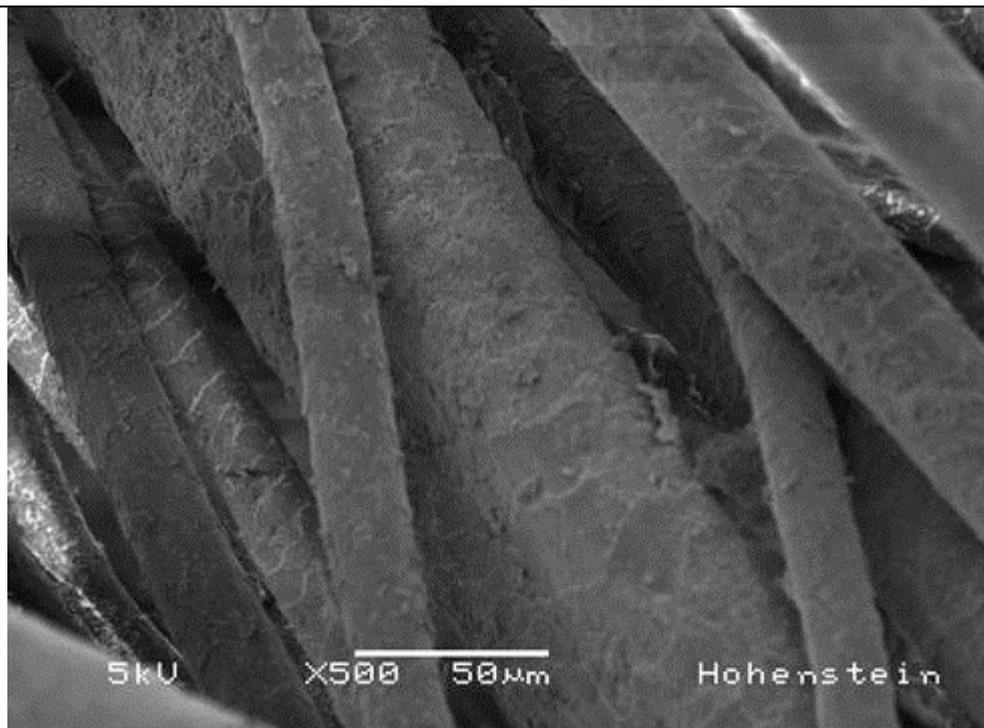
Bei der Analyse der Bilder wird zuerst das Referenzmuster beschrieben und im Anschluss das mit CO₂-Technik gereinigte Muster. Es werden typische Bilder der verschiedenen Muster wiedergegeben.

6.2.1 Muster 15.1.14.0075-2 (unbehandeltes Teppichfragment)

2.1: 200-fache Vergrößerung



2.2: 500-fache Vergrößerung



2.3: 1000-fache Vergrößerung



2.4: 2000-fache Vergrößerung

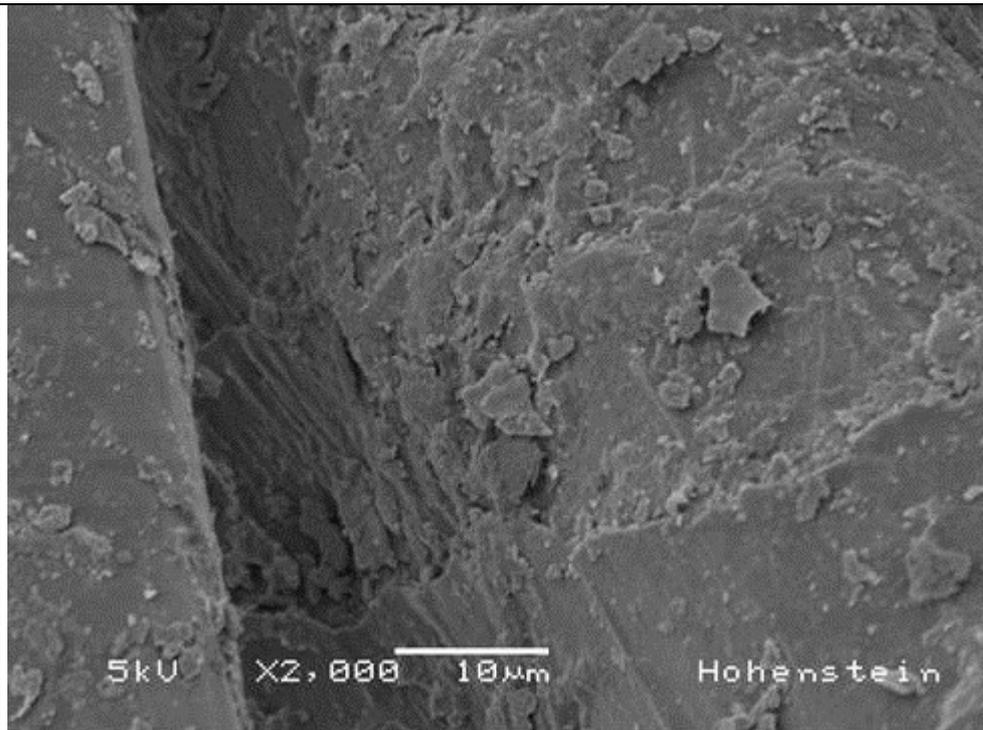


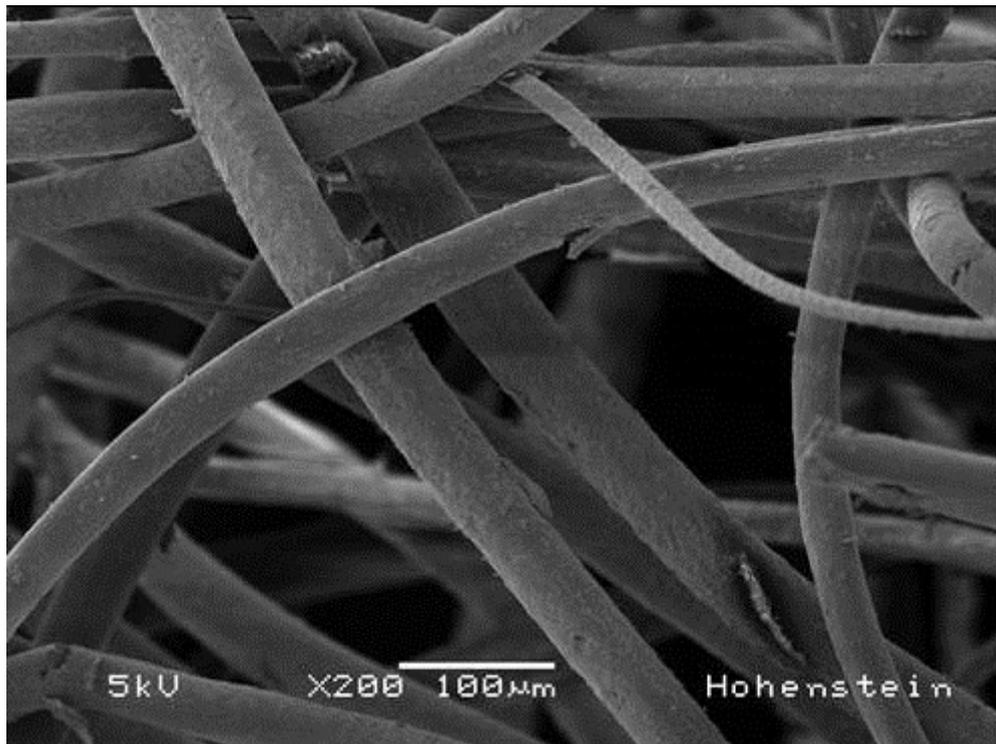
Abb. 28: Muster 15.1.14.0075-2 (unbehandeltes Teppichfragment)

Die REM-Bilder zeigen typische Bilder dieses Teppichfragmentes. Die verwendete Wolle des Teppichfragments besteht aus verschiedene, dünnen und dicken Wollfasern (s. Bilder 2.1 und 2.2). Dabei werden Wollfasern mit Schuppenstruktur (s. Bild 2.3, dicke Faser) an der Faseroberfläche wie auch Fasern, die eine eher glatte Oberfläche ohne typische

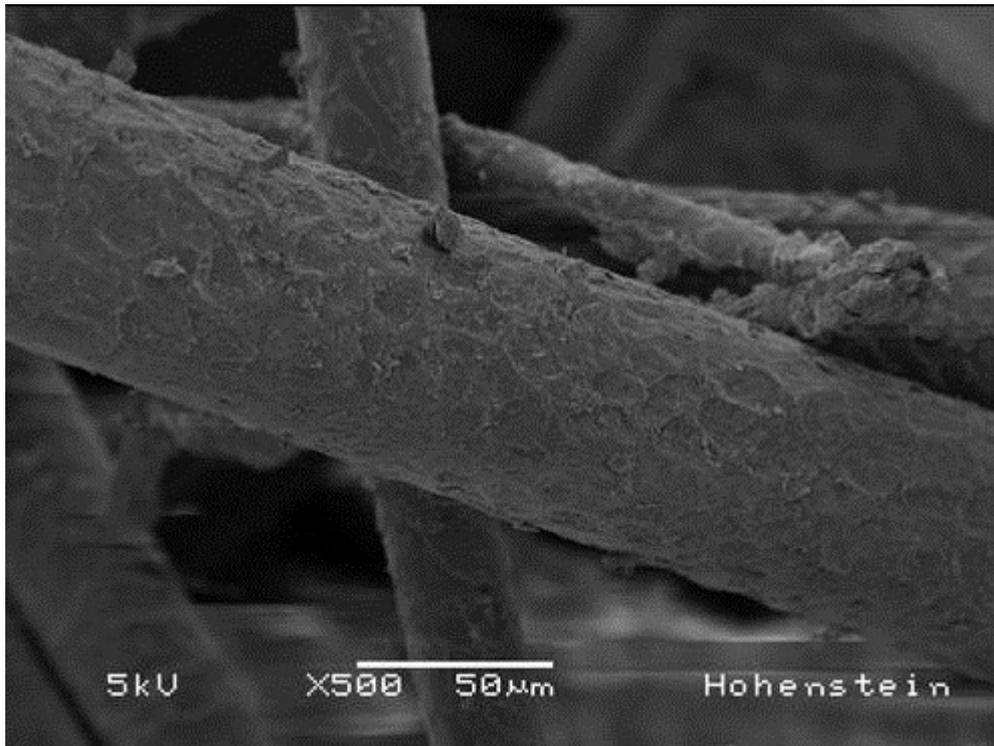
Wollfaser-schuppenstruktur (s. Bild 2.3 dünne Faser) zeigen, gefunden. Auf der Faseroberfläche befinden sich zahlreiche Partikel und Bruchstücke, die z.T. eindeutig aus der Oberfläche der Wolle stammen. Dabei handelt es sich aber nur selten um eine ganze Wollschuppe, sondern weitestgehend um kleinere Bruchstücke. Die Bruchstücke können von der Faser selber oder von anderen Wollfasern stammen. Die Bruchstücke sind auf den Fasern recht homogen verteilt. Bei den Fasern, bei denen die Schuppenstruktur noch sehr gut zu erkennen ist, wird in der Regel eine größere Menge an Bruchstücken auf den Fasern beobachtet. Fasern ohne ausgeprägte Schuppenstruktur wirken sauberer, da an ihnen weniger Bruchstücke vorgefunden werden.

6.2.2 Muster 15.1.14.0075-1 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-2)

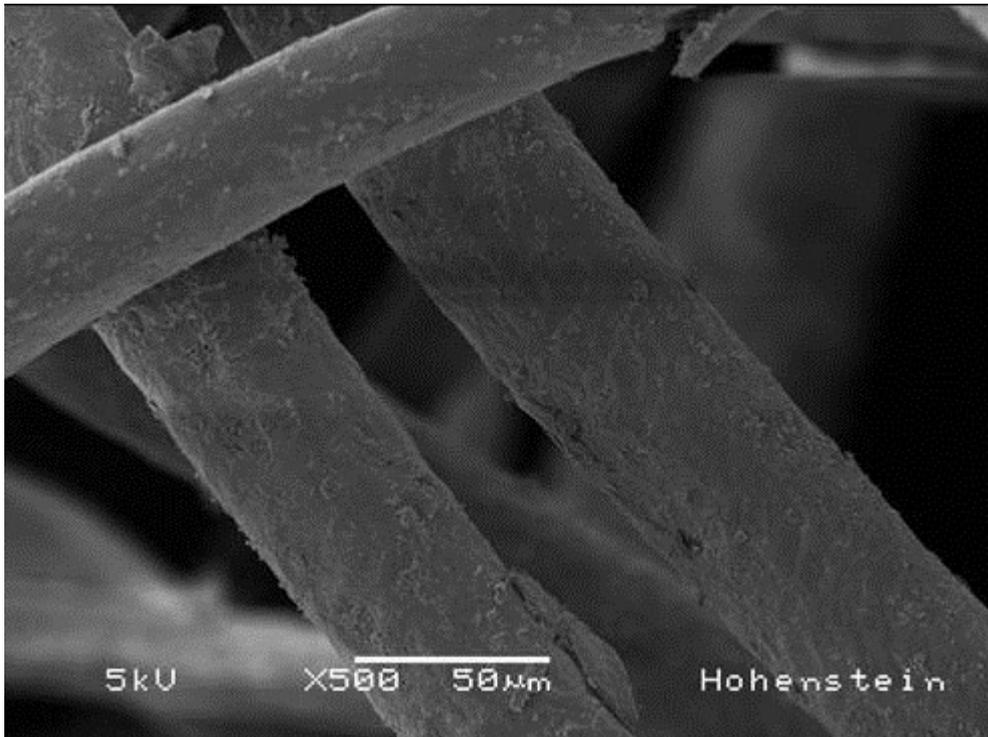
1.1: 200-fache Vergrößerung



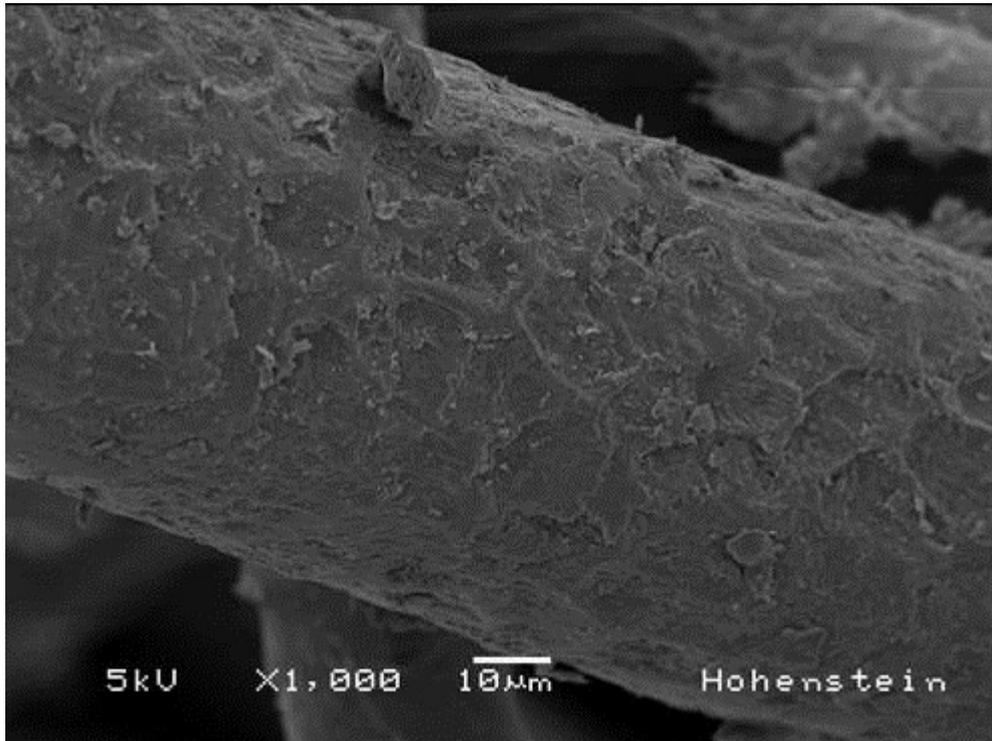
1.2: 500-fache Vergrößerung



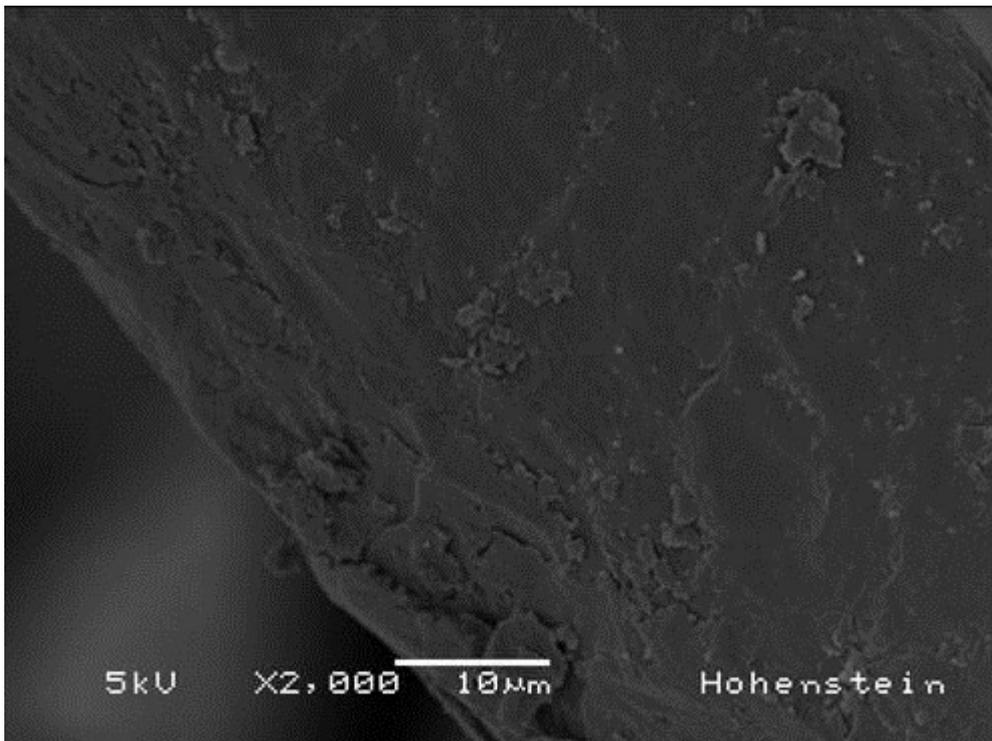
1.3: 500-fache Vergrößerung



1.4 1000-fache Vergrößerung



1.5 2000-fache Vergrößerung



1.6 2000-fache Vergrößerung

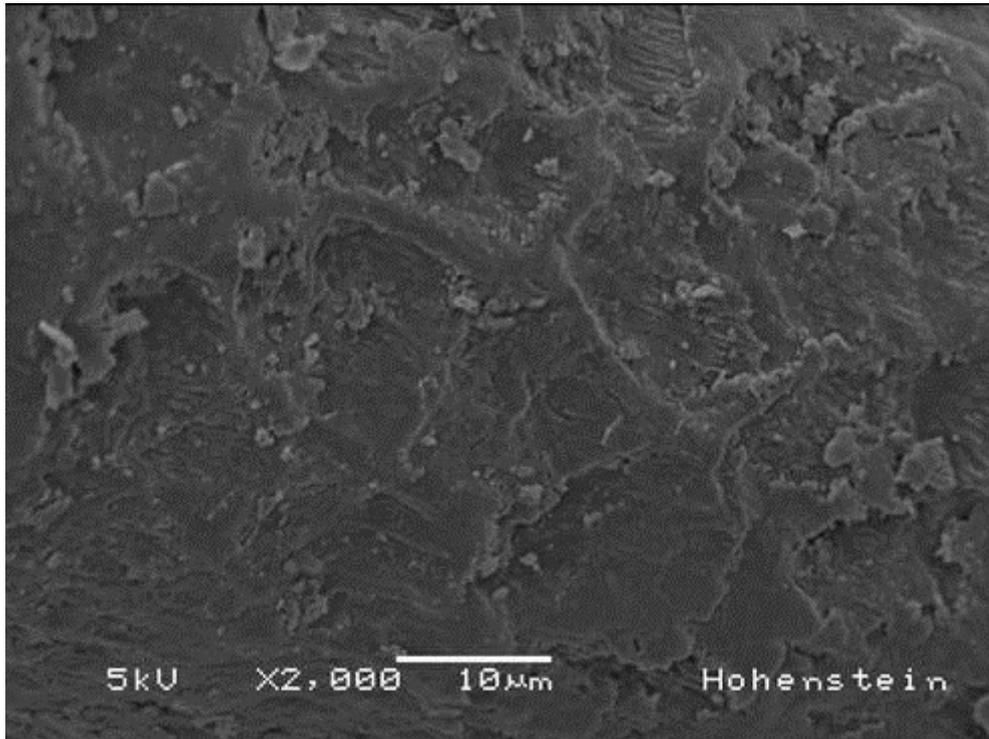
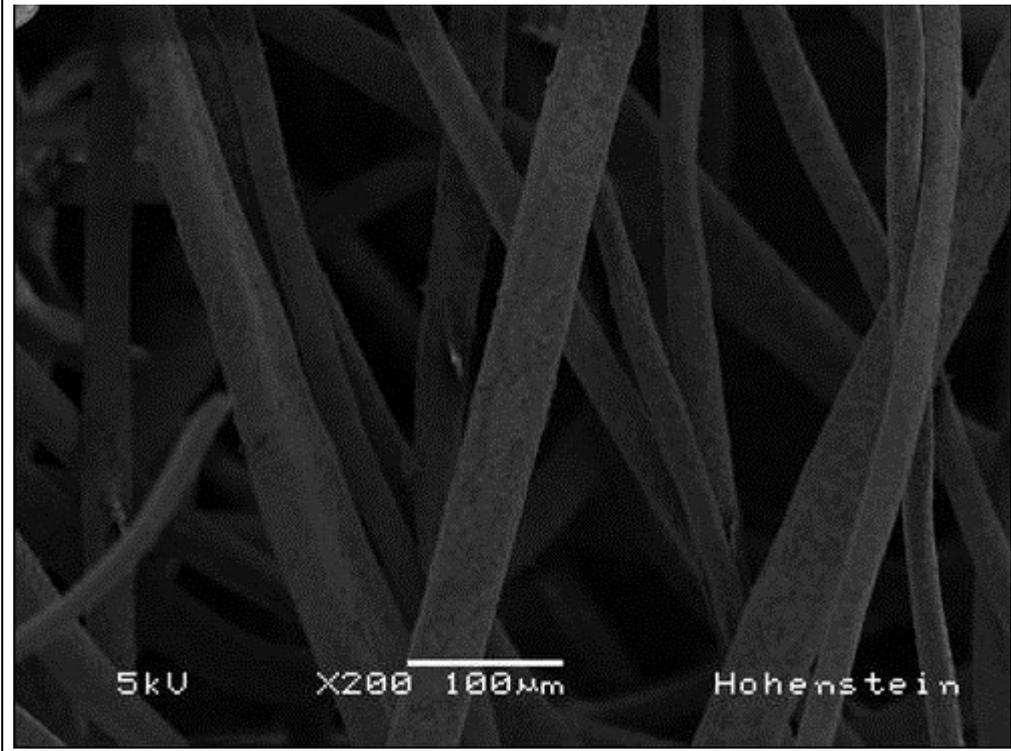
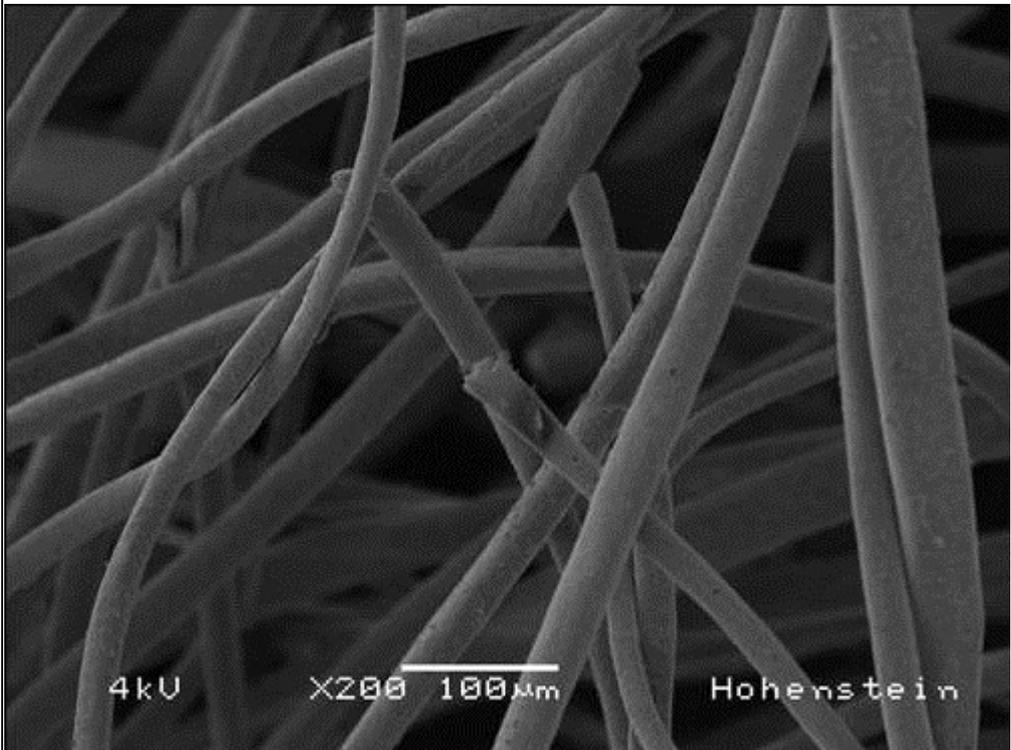


Abb. 29: Muster 15.1.14.0075-1 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-2)

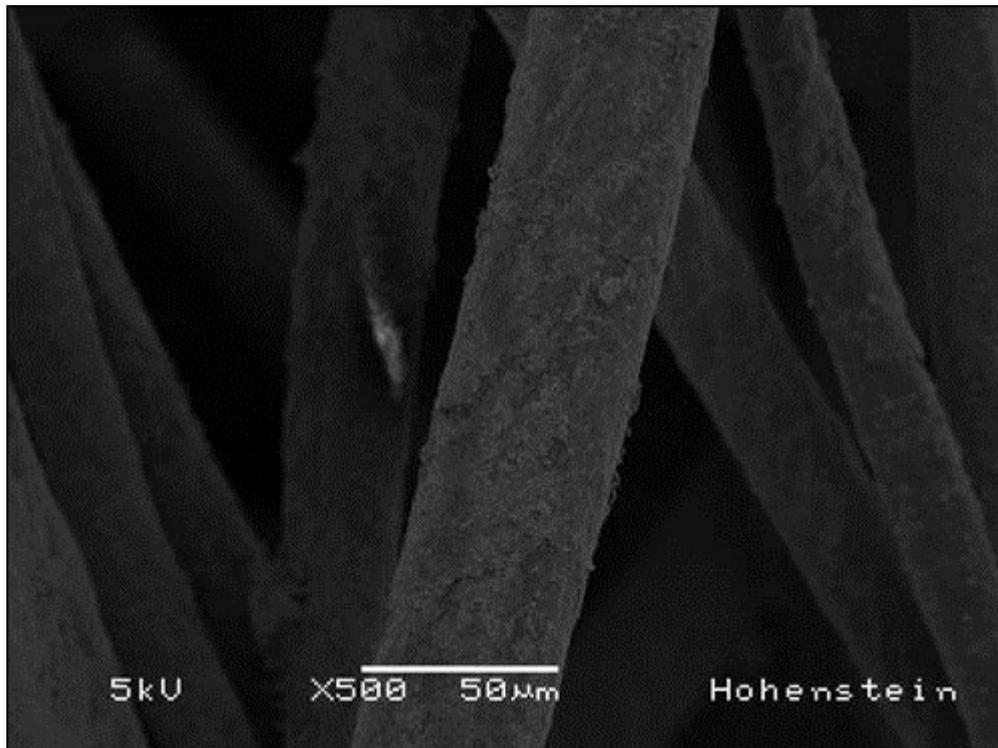
Bei diesem Muster 15.1.14.0075-1 handelt es sich um eine gereinigte Probe. Wie bei Muster 15.1.14.0075-2, des ursprünglichen nicht gereinigten Teppichfaserfragments, werden dicke und dünne Wollfasern gefunden, die zum Teil in typische Schuppenstruktur der Wolle an der Oberfläche zeigen. In der Übersicht (s. Bild 1.1.) fällt auf, dass die Wollfasern im Gegensatz zu Muster 15.1.14.0075-2 sehr sauber aussehen und nur wenige Bruchstücke auf der Faseroberfläche zu finden sind. Zum Teil zeigen die Wollfasern Risse, deren Herkunft aber nicht eindeutig geklärt werden kann. Diese können bei der Präparation der Proben entstanden oder aber schon vorher vorhanden gewesen sein. Bei diesem Muster wirken auch die dickeren Fasern sauber, d.h. ohne Ablagerung von Bruchstücken. Wie schon bei Muster 15.1.14.0075-2 beobachtet, zeigt die Mehrzahl der Wollfasern eine Schuppenstruktur an der Faseroberfläche, teilweise ist diese Schuppenschicht dünn und weitestgehend entfernt. Auf den Fasern werden bei näherer Betrachtung noch Partikel gefunden (s. Bild 1.5 und 1.6), die sich aus der Oberfläche gelöst haben können. Im Bild 1.6 zeigen sich an der Oberfläche Riffelstrukturen und hier ist zu vermuten, dass die Schuppenoberfläche ganz entfernt wurde und der Kern der Wolle freigelegt worden ist. Bei den Bruchstücken handelt es sich nicht um eine anorganische Verschmutzung, da anorganische Partikel scharfe Kanten und Abgrenzungen vorweisen würden.

6.2.3 Muster 15.1.14.0075-4 (unbehandeltes Teppichfragment)

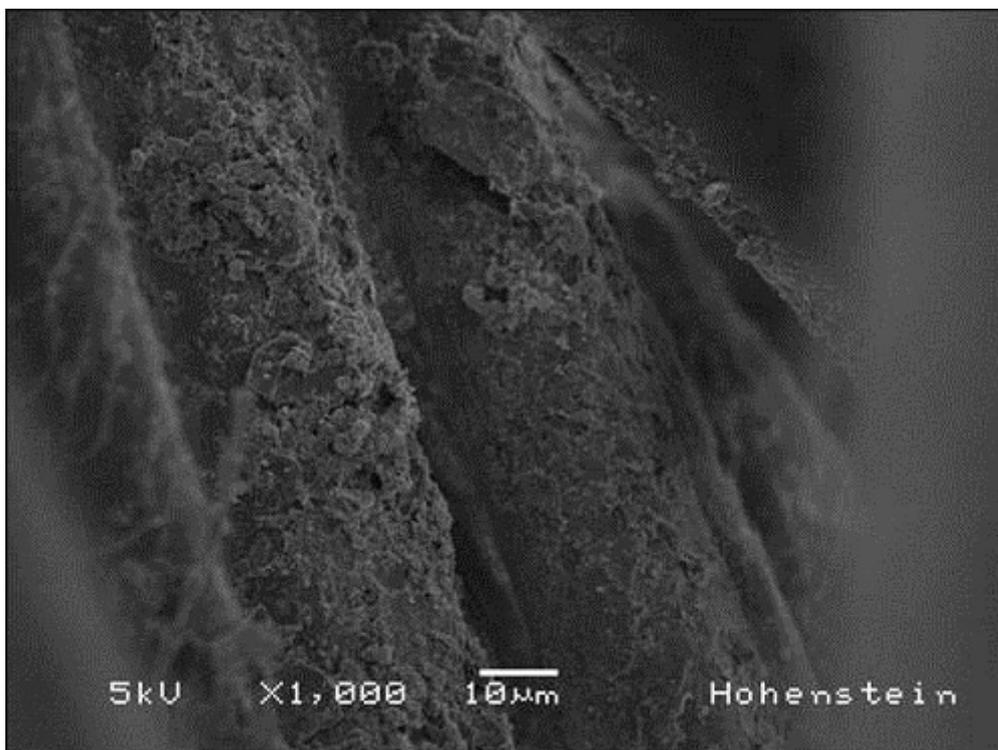
4.1: 200-fache Vergrößerung



4.2: 500-fache Vergrößerung



4.3: 1000-fache Vergrößerung



4.4: 2000-fache Vergrößerung

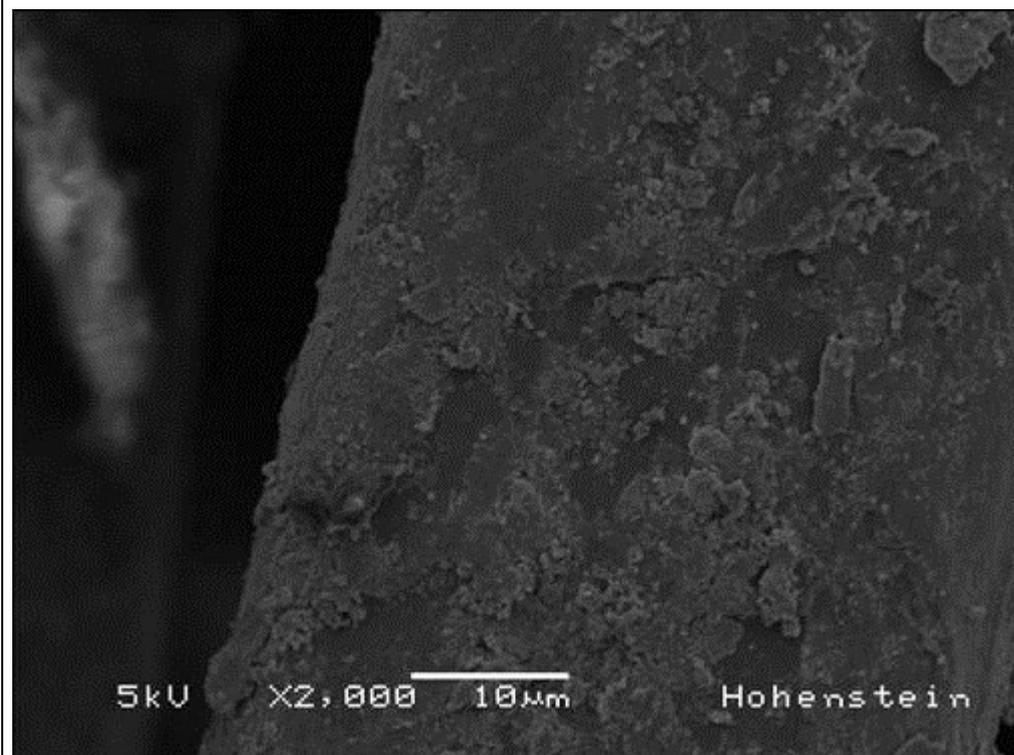
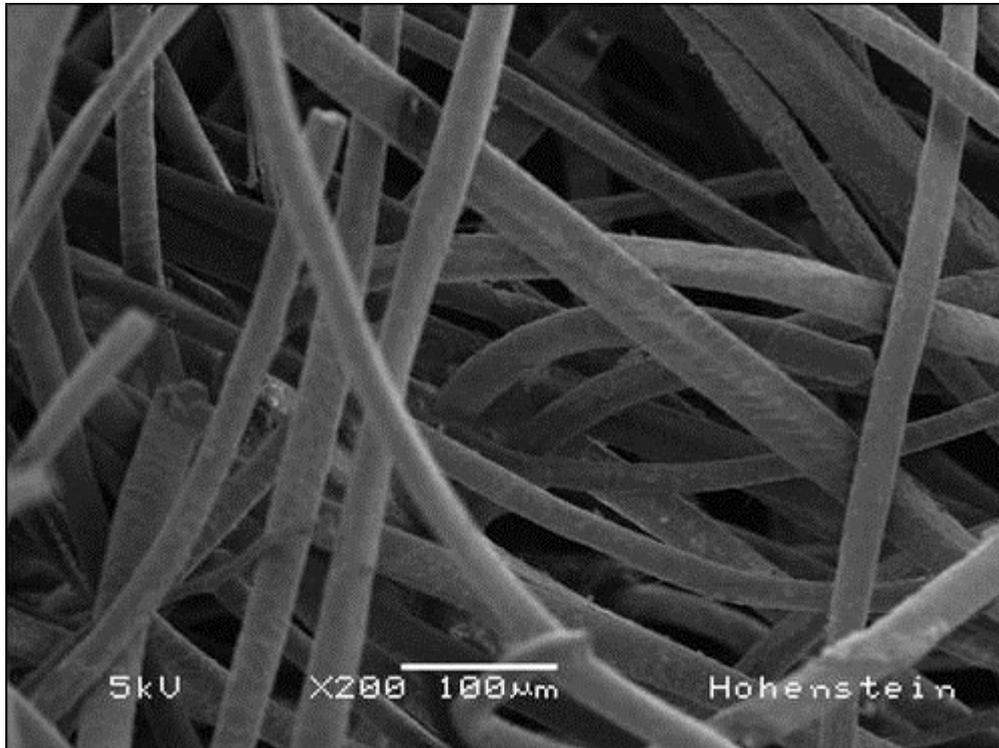


Abb. 30: Muster 15.1.14.0075-4 (unbehandeltes Fragment)

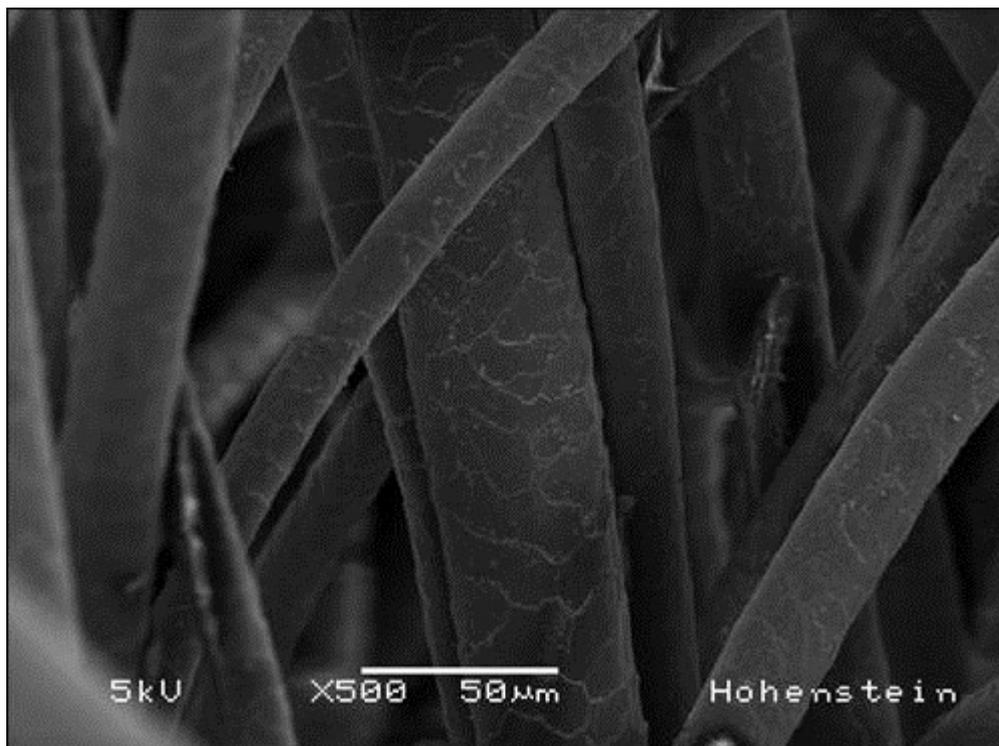
Wie schon bei Muster 15.1.14.0075-2 beobachtet, zeigt das Muster 15.1.14.0075-4 eine hohe Beladung der Oberfläche mit Partikeln und Bruchstücken, die insgesamt recht homogen über die gesamte Probe verteilt sind. Es werden dicke und dünne Wollfasern gesichtet. Auch hier handelt es sich bei den Bruchstücken und Partikeln überwiegend um Bestandteile der Wolle selber und zwar von der Wolloberfläche, d.h. der äußeren Schuppenschicht. Die Entstehung der Bruchstücke aus der Wolle ist vermutlich auf das Alter der Wolle zurückzuführen; Sonneneinstrahlung, Wärme und damit einhergehende Veränderung in der Luftfeuchtigkeit können zu einer Versprödung der Wolle und damit zu einem Abplatzen von Bruchstücken kommen. Die Bruchstücke sind wahrscheinlich nicht durch mechanische Einflüsse entstanden, da keine harten Bruchkanten an der Schuppenoberfläche gefunden werden und auch keine Faserenden, die eine harte Kante aufweisen, gefunden werden. Bei den Faserenden, die gefunden werden, handelt es sich um bei Wollfasern typische Faserenden, die ohne mechanische Belastung auftreten. Die Wollfasern zeigen keine Beschädigungen wie Verengungen oder eine zusammengedrückte Faser, die bei mechanischen Belastungen typisch sind.

6.2.4 Muster 15.1.14.0075-3 (gereinigt, Ursprungsmaterial 15.1.14.0075-4)

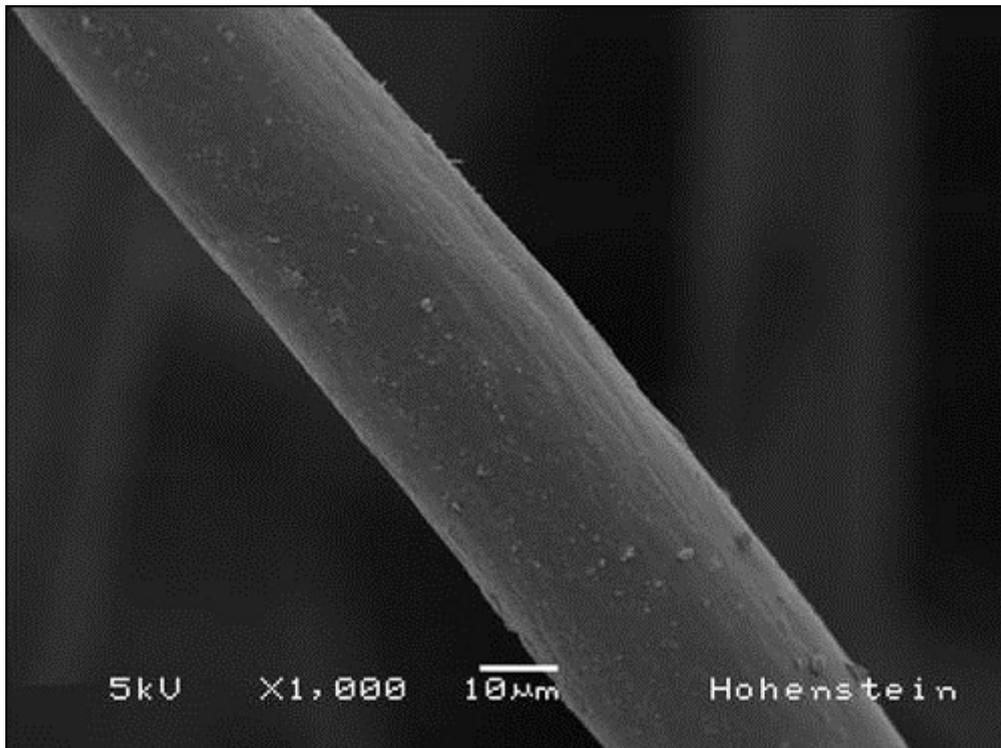
3.1: 200-fache Vergrößerung



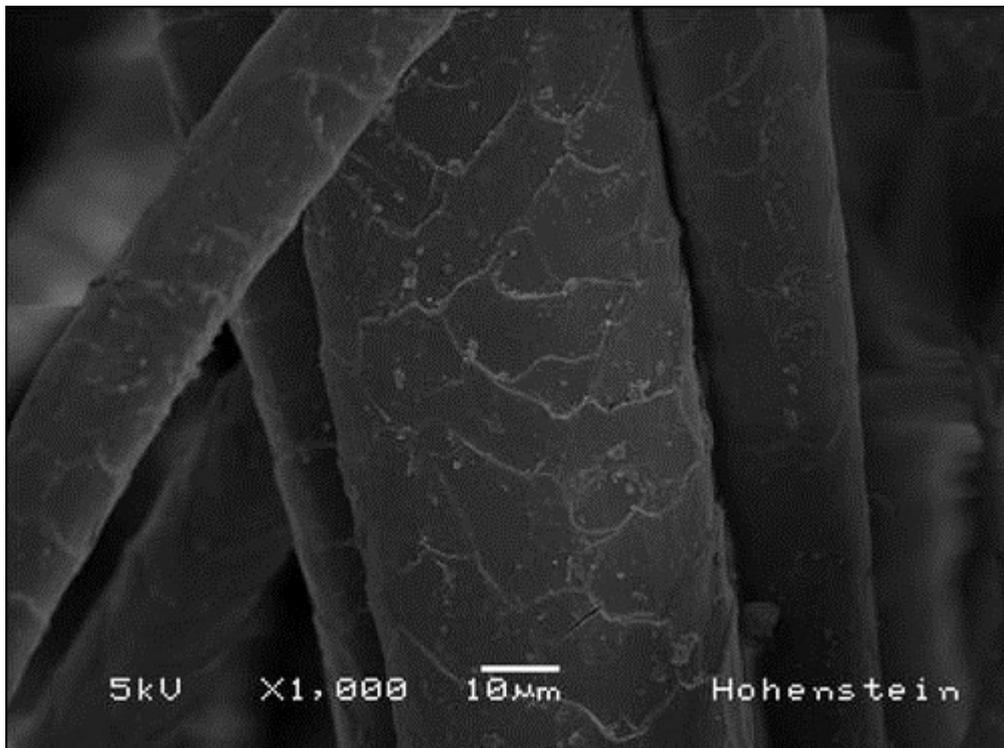
3.2: 500-fache Vergrößerung



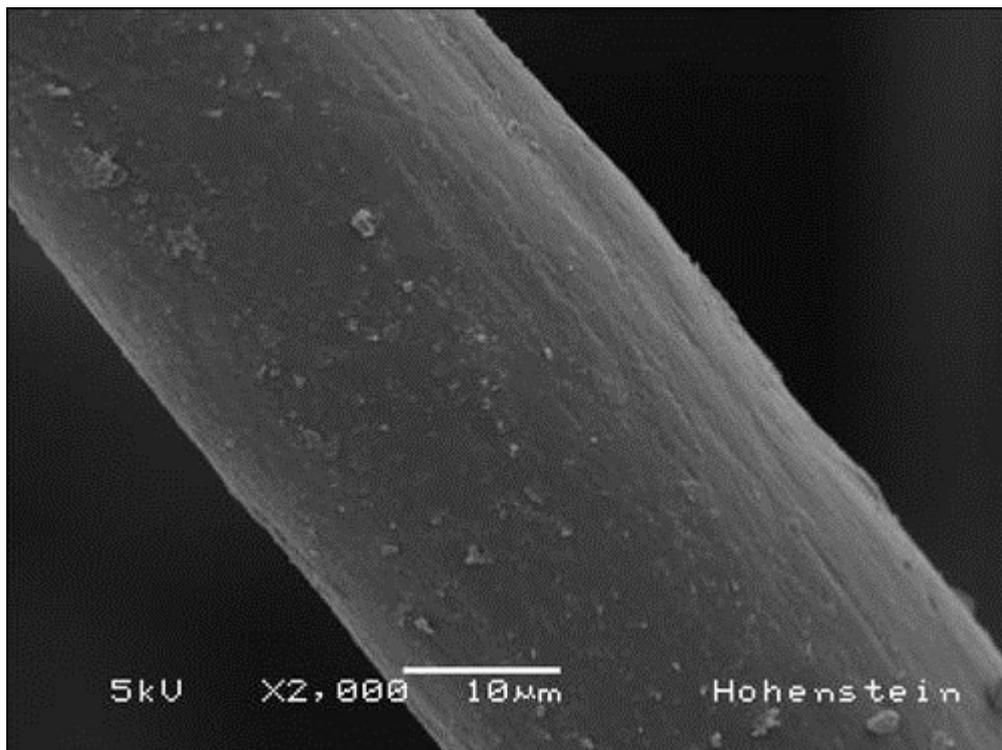
3.3: 1000-fache Vergrößerung



3.4: 1000-fache Vergrößerung



3.5 2000-fache Vergrößerung



3.6 2000-fache Vergrößerung

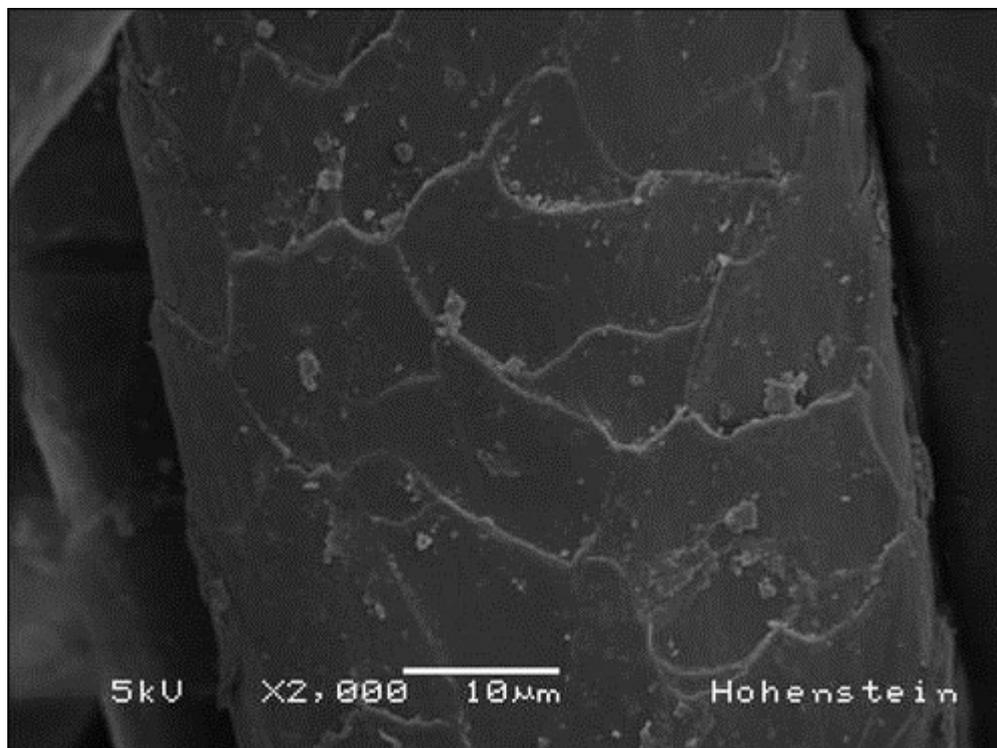
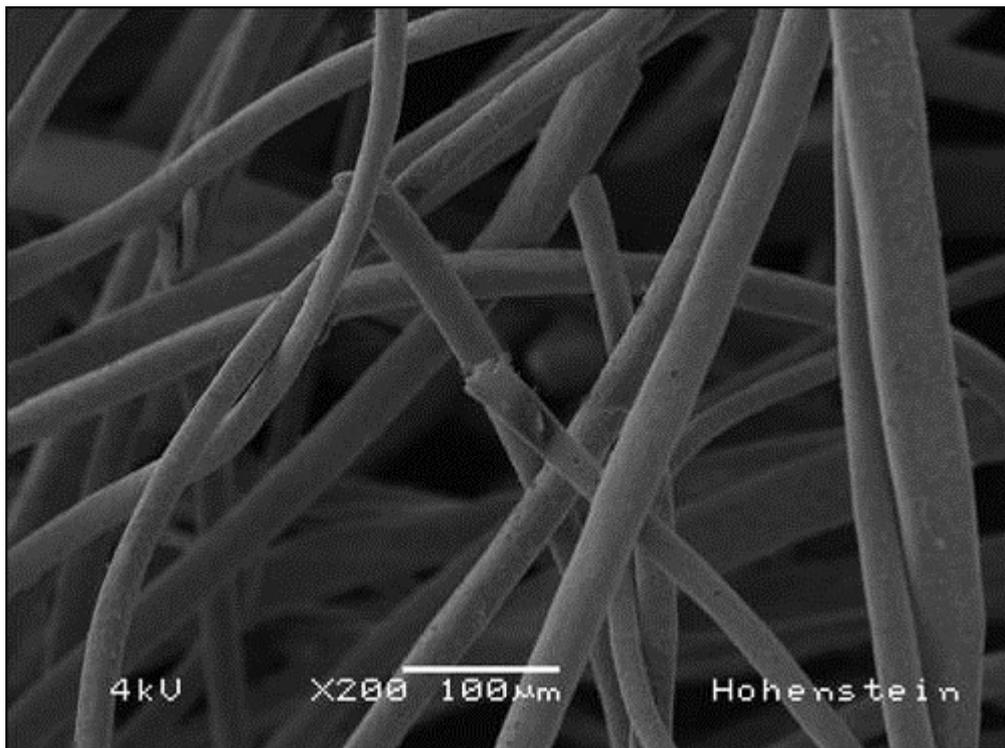


Abb. 31: Muster 15.1.14.0075-3 (gereinigt, Ursprungsmaterial 15.1.14.0075-4)

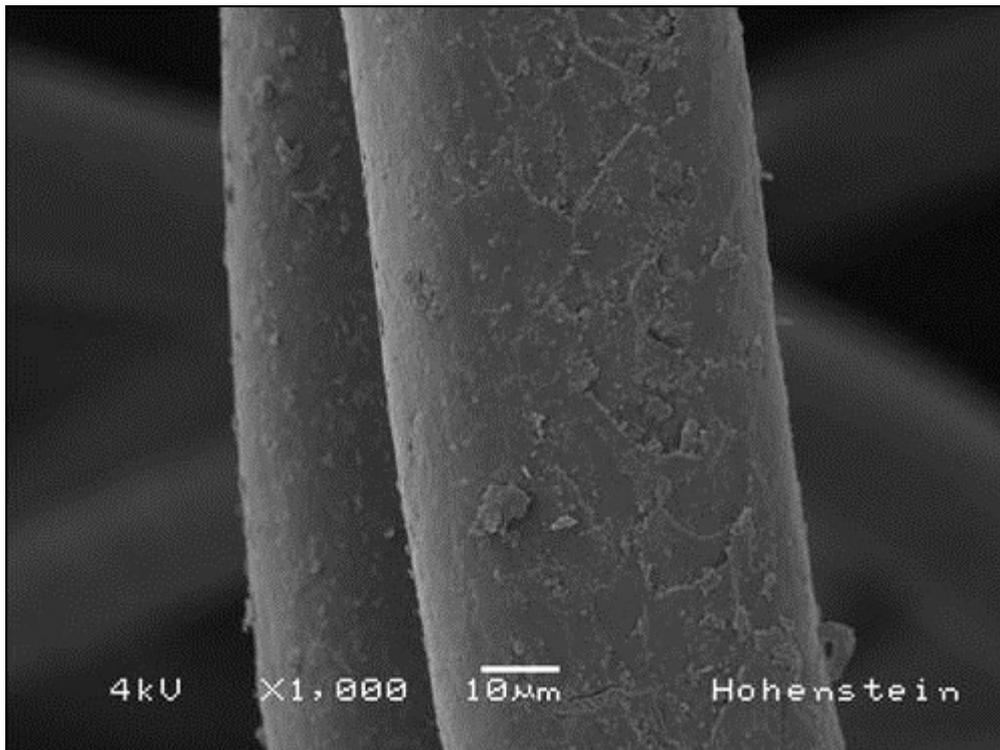
Die REM-Aufnahmen des Musters 15.1.14.0075-3 zeigen, wie schon die des Musters 15.1.14.0075-1, eine recht saubere Oberfläche der Wollfasern gegenüber den beiden Ursprungsmaterialien Muster 15.1.14.0075-2 und Muster 15.1.14.0075-4. Jedoch werden auf Muster 15.1.14.0075-3 nur sehr geringe Mengen an Bruchstücken gefunden. Alle Fasern wirken sehr sauber. Dies zeigt, dass hier die CO₂-Reinigung mehr Partikel von der Faseroberfläche entfernt hat. Unterschiede im Reinigungsverfahren wie längere Reinigungsphase oder andere Veränderungen der Prozessparameter könnten dafür Ursache sein.

6.2.5 Muster 15.1.14.0075-6 (unbehandeltes Teppichfragment)

6.1: 200-fache Vergrößerung



6.2: 1000-fache Vergrößerung



6.3: 2000-fache Vergrößerung

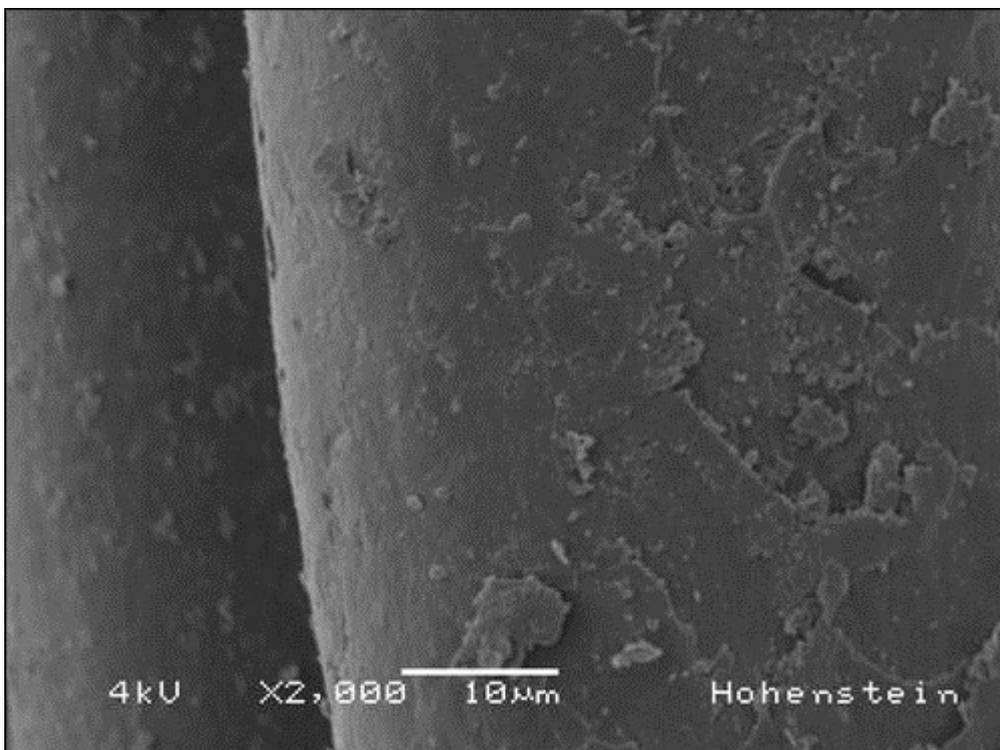


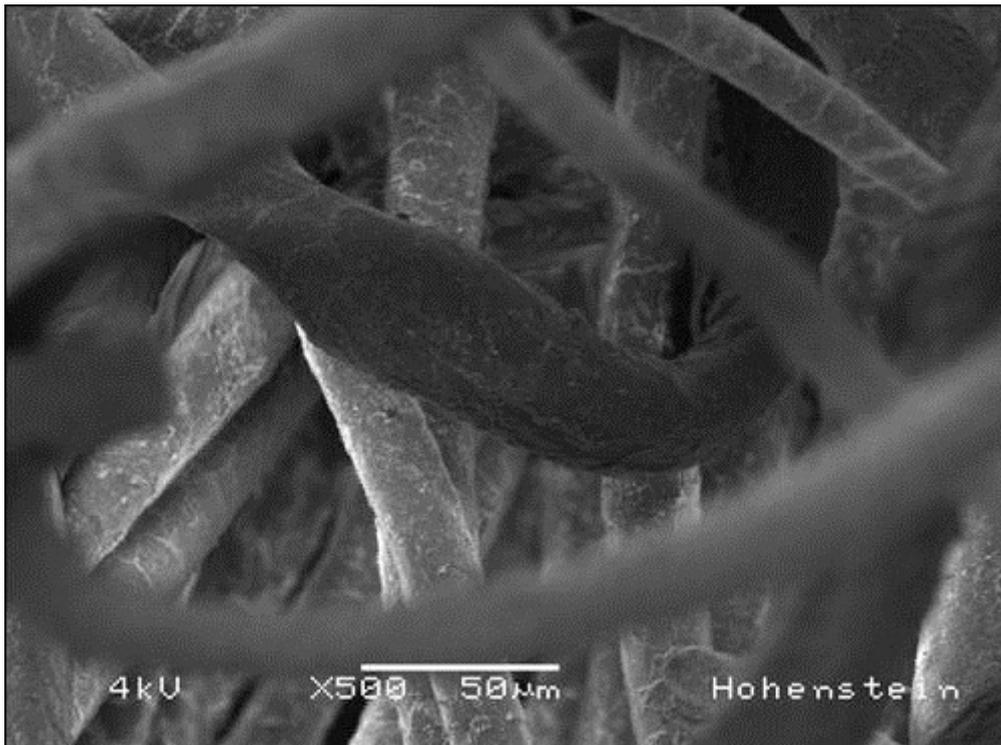
Abb. 32: 15.1.14.0075-6 (unbehandeltes Teppichfragment)

Die Wollfasern in diesem Teppichfragment 15.1.14.0075-6 zeigen noch eine Schuppenstruktur, jedoch sehr unregelmäßig und die Schuppen erscheinen sehr dünn. Es werden nur wenige Ablagerungen auf den verschiedenen Fasern gefunden.

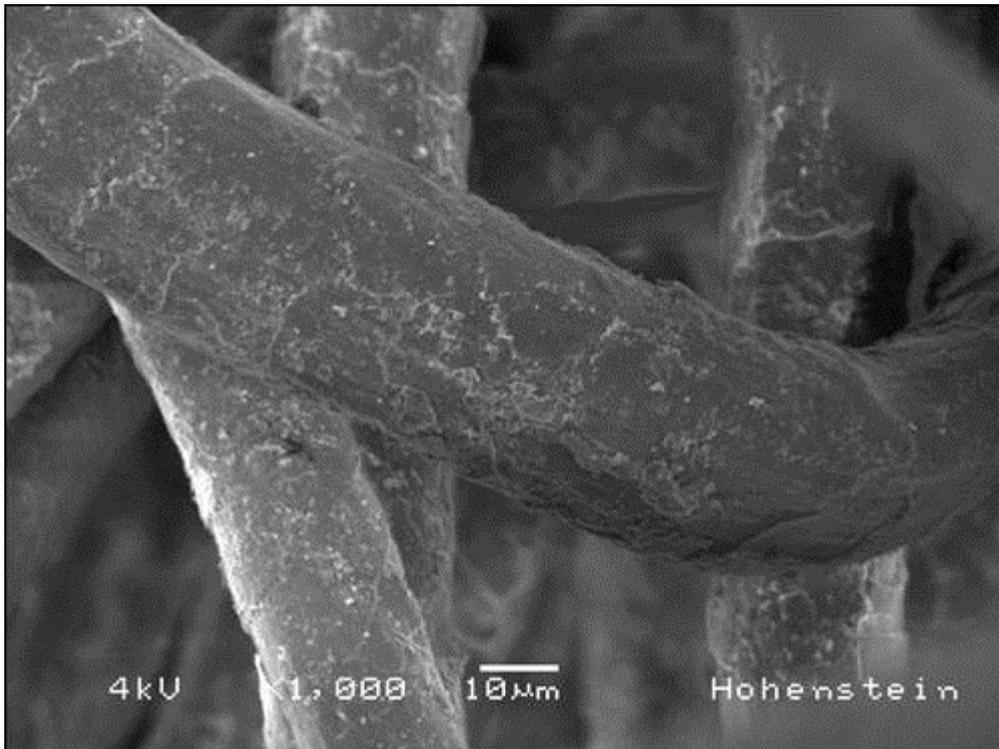
Auch die gereinigten Fasern des Musters 15.1.14.0075-5 zeigen nur andeutungsweise eine äußere Schuppenstruktur, die typisch für Wollfasern ist. Es werden, wie schon auf den ursprünglichen Wollfasern, Ablagerungen auf der Faseroberfläche gefunden, die etwas stärker auftreten. Dies kann an dem vorhandenen Musterstück liegen oder aber auch durch die Reinigung verursacht worden sein.

6.2.6 Muster 15.1.14.0075-5 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-6)

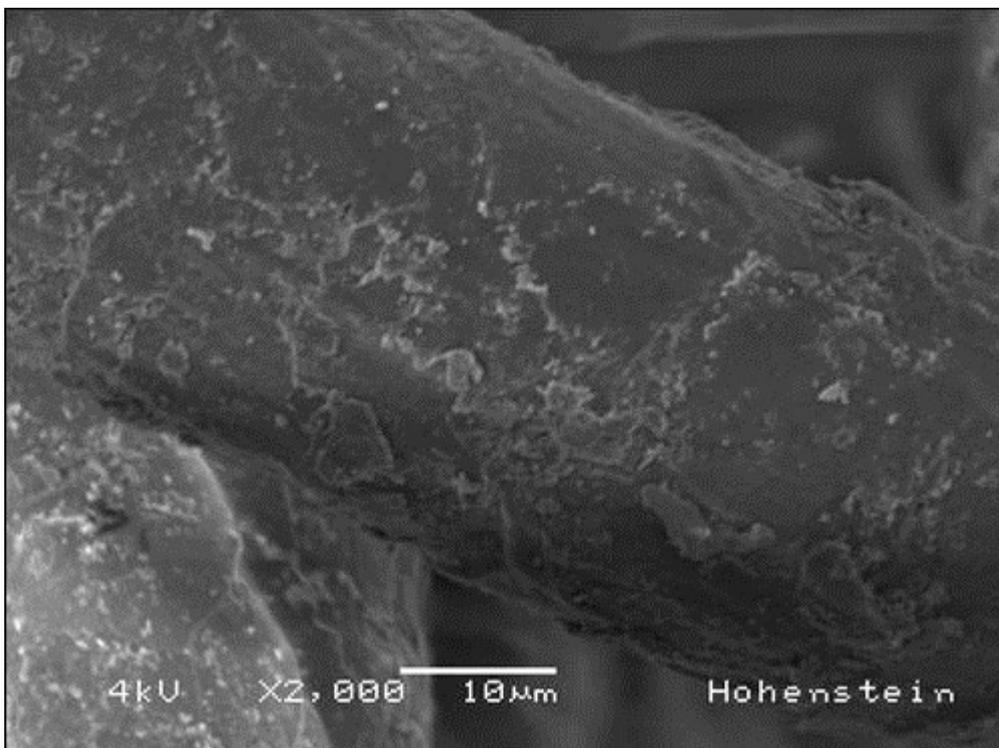
5.1: 500-fache Vergrößerung



5.2: 1000-fache Vergrößerung



5.3: 1000-fache Vergrößerung



5.4: 2000-fache Vergrößerung

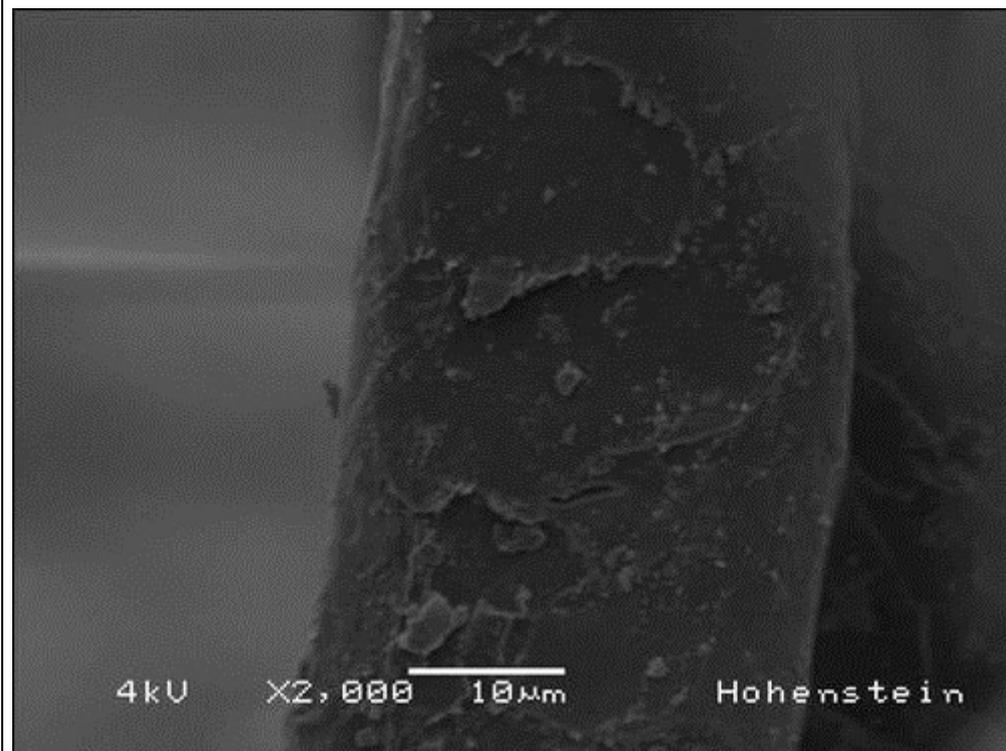
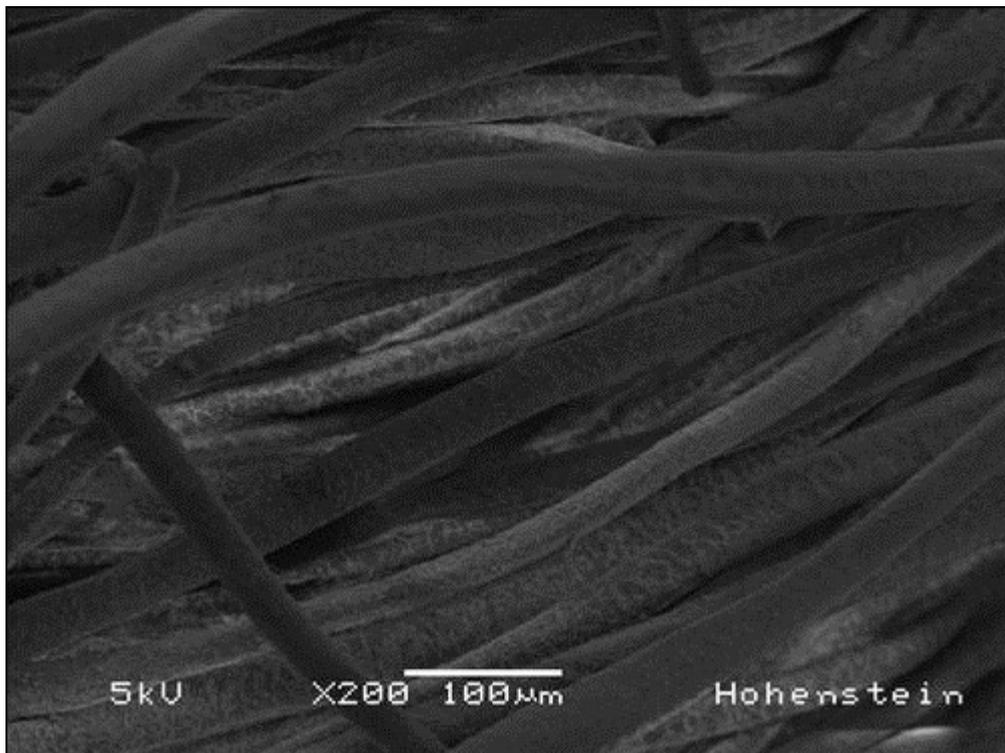


Abb. 33: 15.1.14.0075-5 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-6)

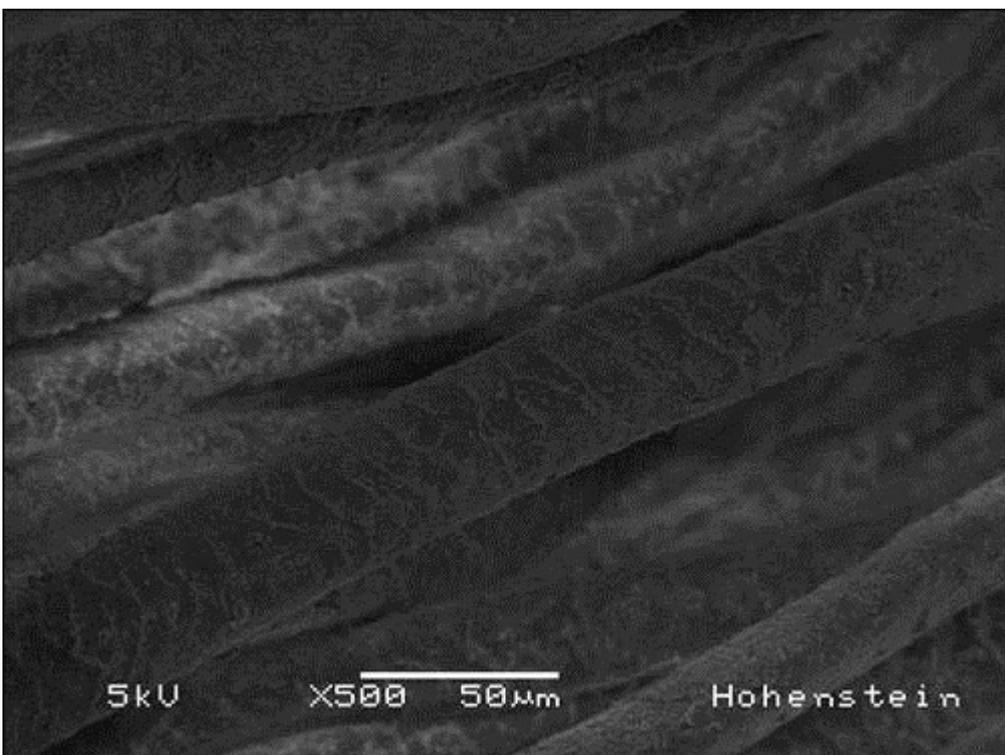
Die REM-Bilder des Musters 15.1.14.0075-8 zeigen die typische Schuppenstruktur der Wollfaser, sowie die auch schon bei den bisherigen Proben beobachteten Ablagerungen auf der Faseroberfläche. In diesem Fall zeigen die untersuchten Muster 15.1.14.0075-7 der gereinigten Teppichfragmente eine Veränderung der Wolloberfläche. Es sind die typischen Schuppen der Wollfaser zu erkennen, jedoch zeigen sich Riffelungen in der Oberfläche der Wollfaser, die durch Veränderungen der Wollfaser verursacht sein können. Solche Rillenbildung entlang der Fasern sind auch von stark gealterten Wollfasern bekannt.

6.2.7 Muster 15.1.14.0075-8 (unbehandeltes Teppichfragment)

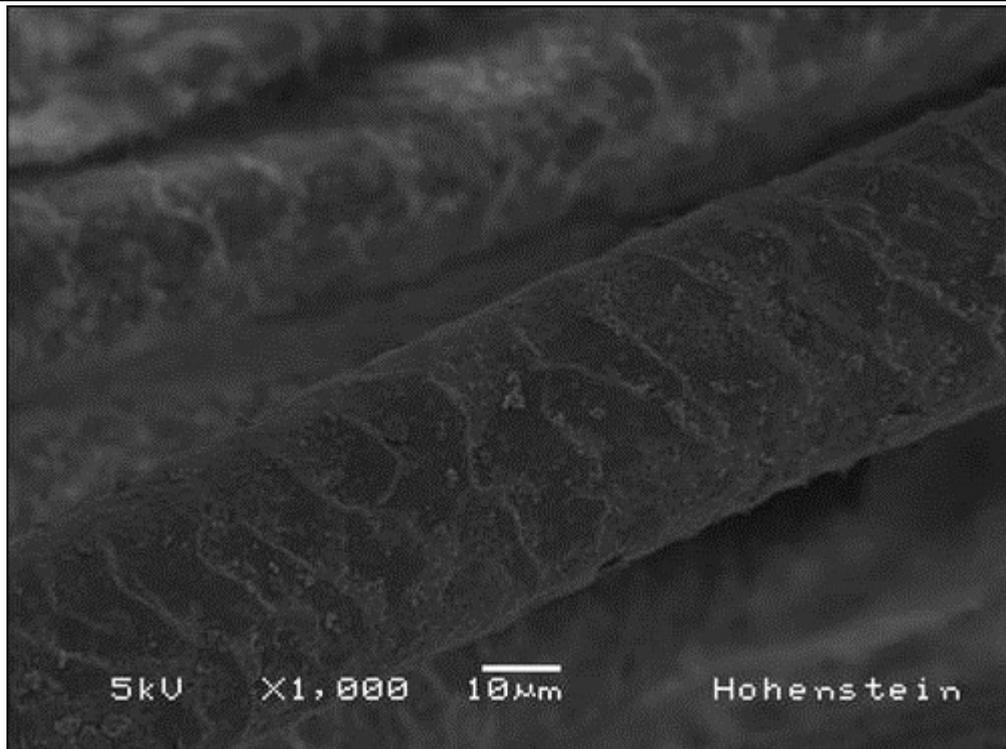
8.1: 200-fache Vergrößerung



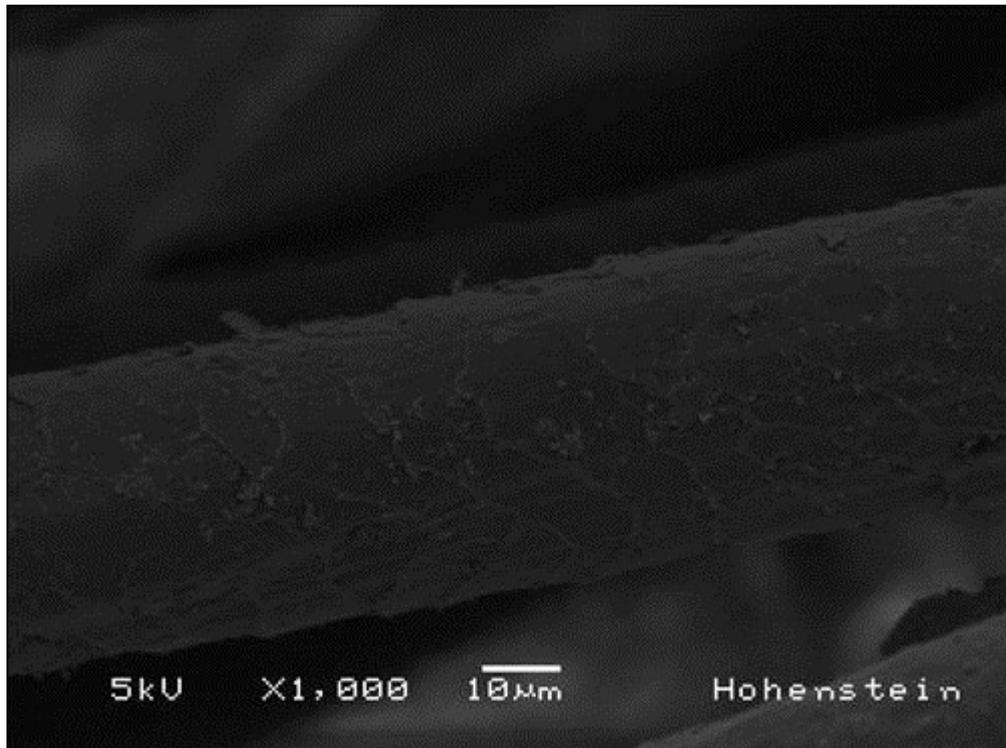
8.2: 500-fache Vergrößerung



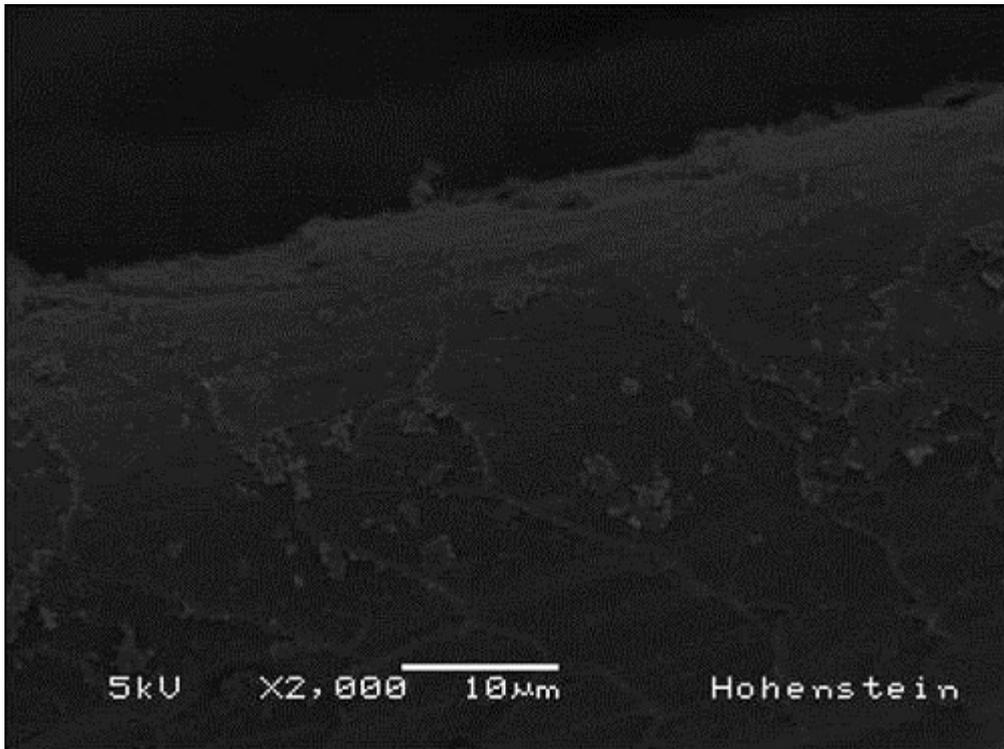
8.3: 1000-fache Vergrößerung



8.4: 1000-fache Vergrößerung



8.5: 1000-fache Vergrößerung



8.6: 2000-fache Vergrößerung

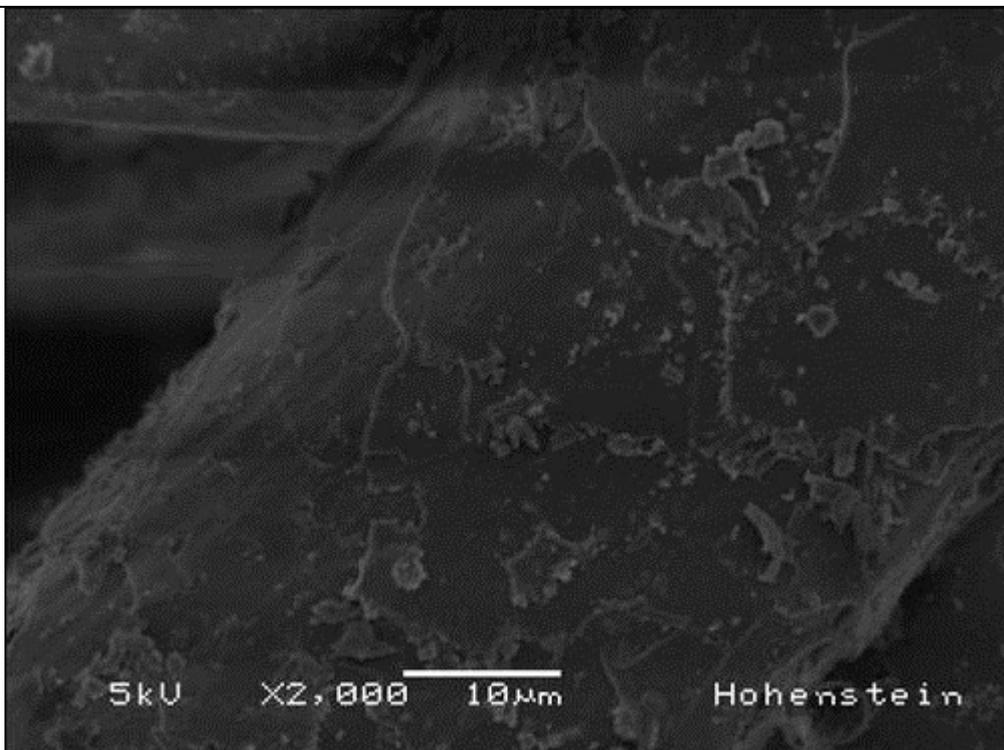
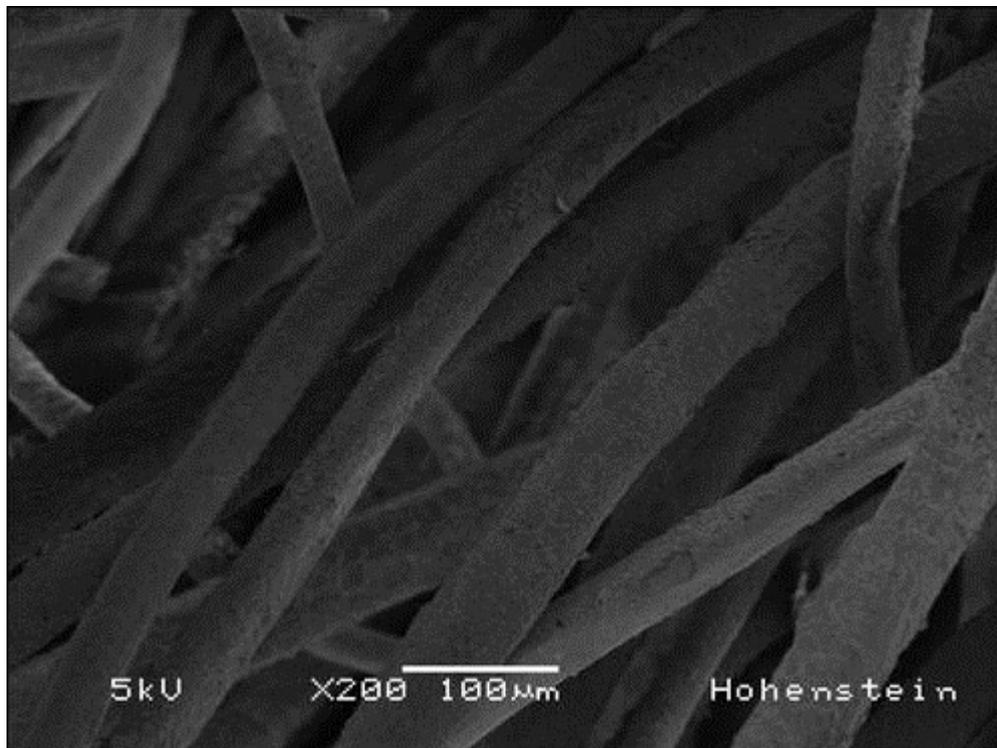


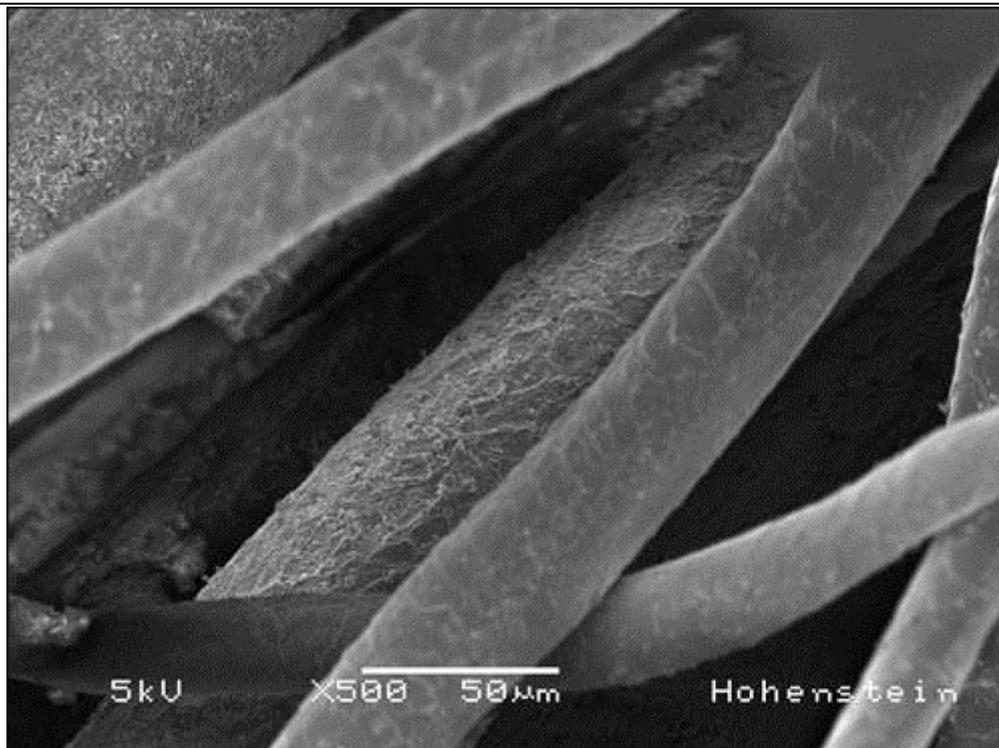
Abb. 34: Muster 15.1.14.0075-8 (unbehandeltes Teppichfragment)

6.2.8 Muster 15.1.14.0075-7 (gereinigt, Ursprungsmaterial 15.1.14.0075-8)

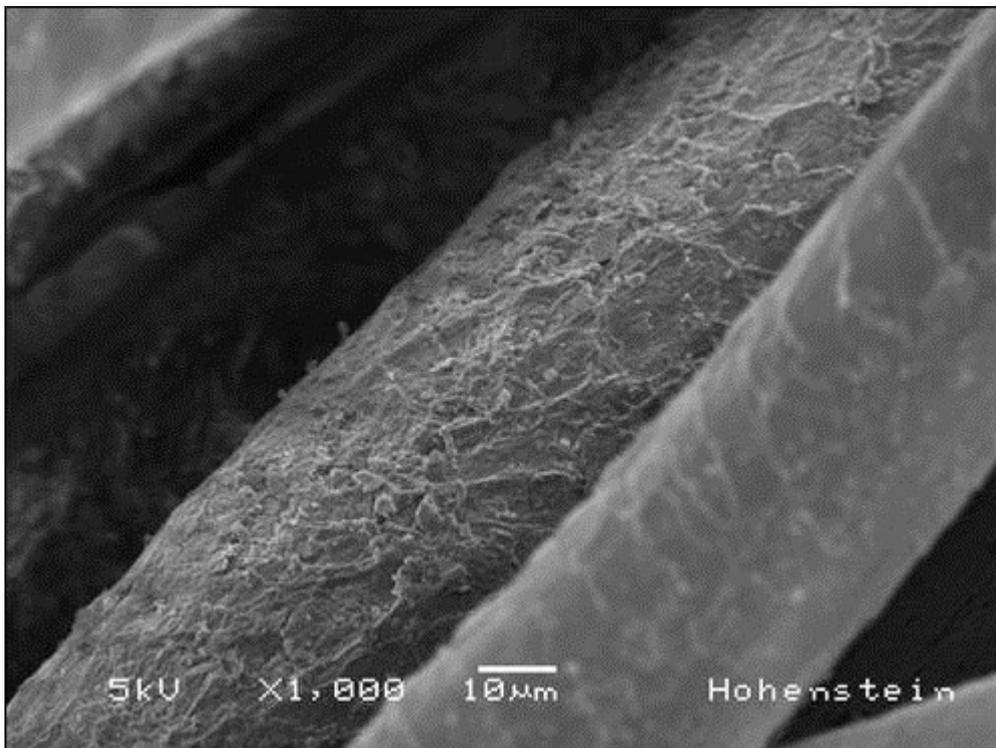
7.1: 200-fache Vergrößerung



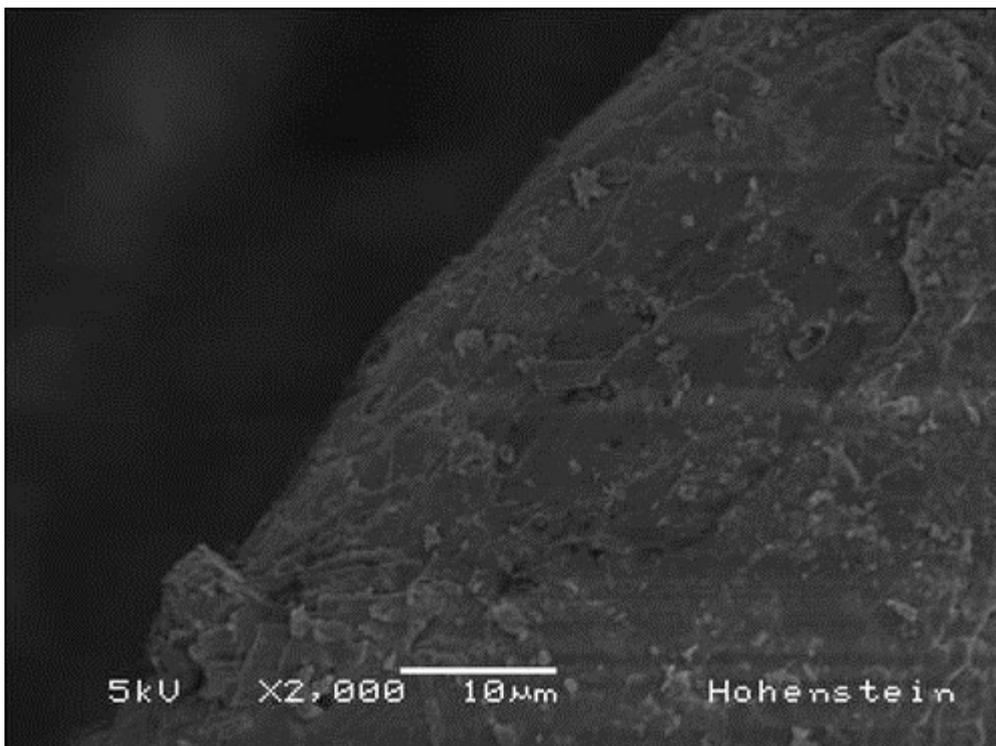
7.2: 500-fache Vergrößerung



7.3: 1000-fache Vergrößerung



7.4: 2000-fache Vergrößerung



7.5: 2000-fache Vergrößerung

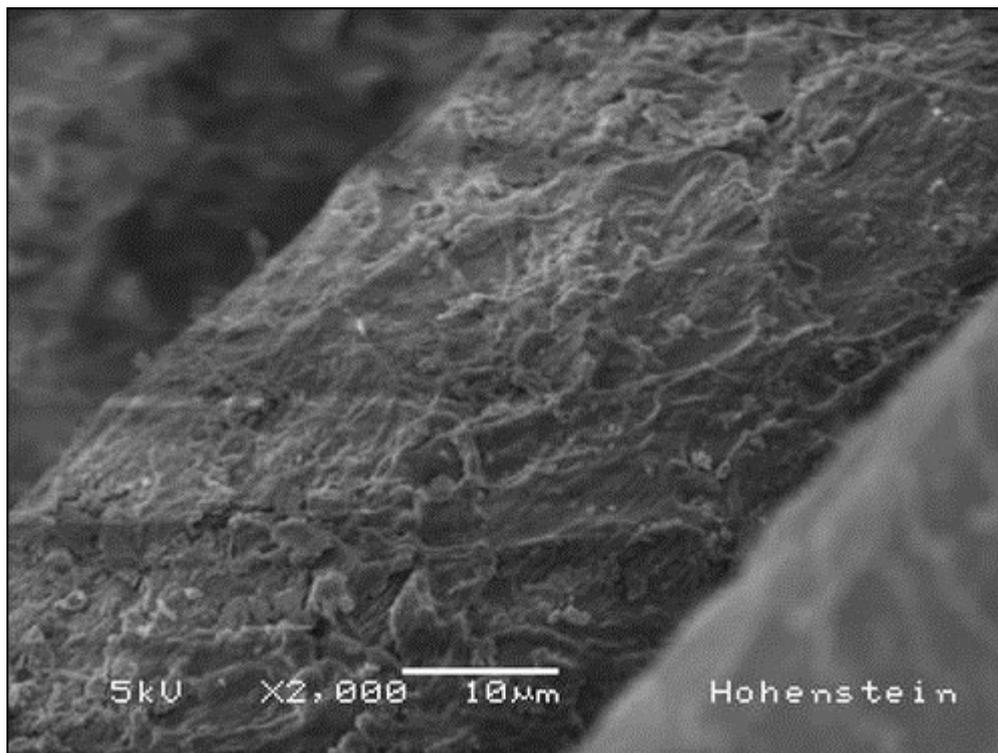
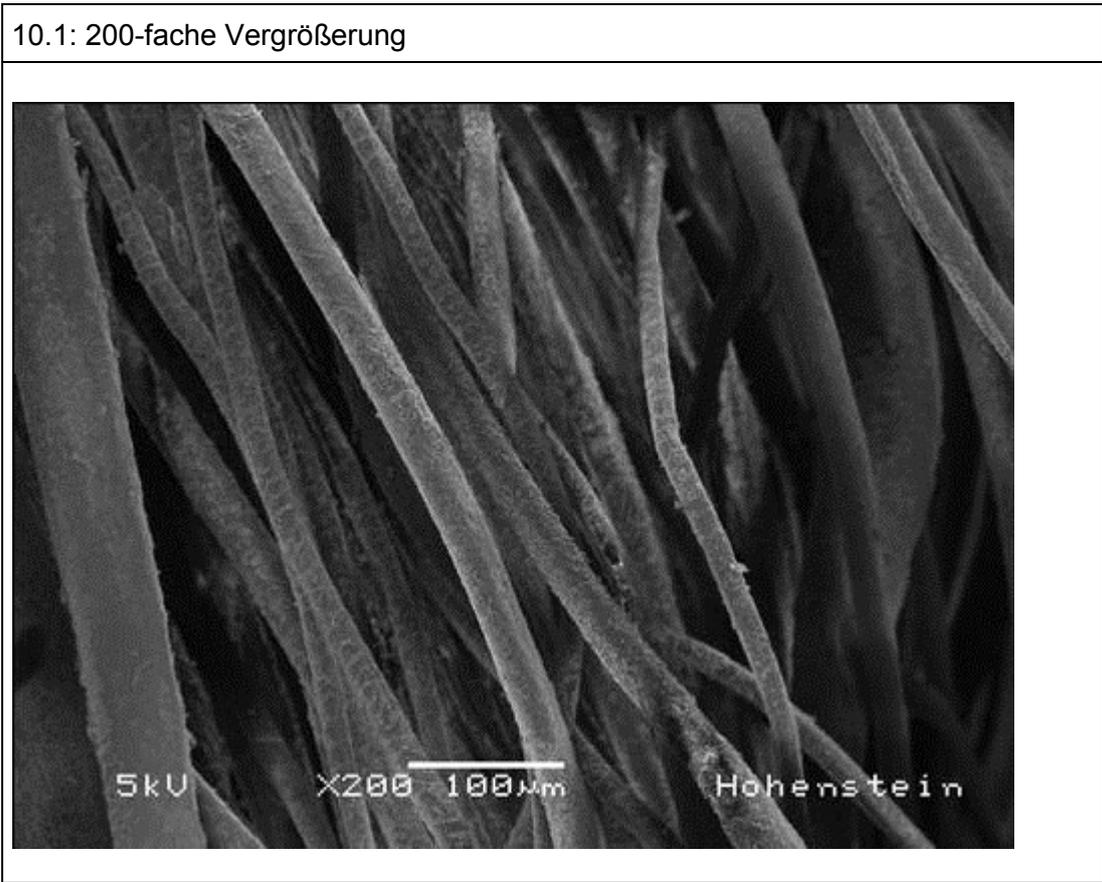


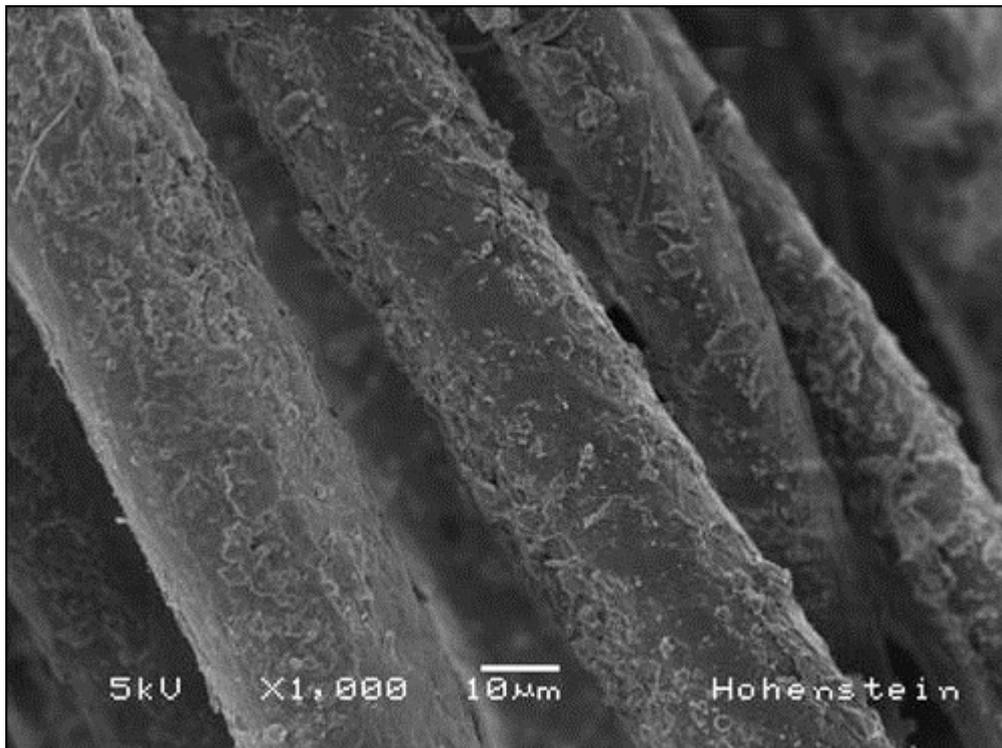
Abb. 35: Muster 15.1.14.0075-7 (gereinigt, Ursprungsmaterial 15.1.14.0075-8)

Bei Muster 154.1.14.0075-10, dem unbehandelten Teppichfragment, wird, wie schon vorher beobachtet, eine weitgehend intakte Schuppenoberfläche detektiert. Es sind ebenfalls zahlreiche Partikel auf der Faseroberfläche zu finden. Im Gegensatz zu diesem unbehandelten Teppichfragment werden auf den gereinigten Fasern wesentlich geringere Mengen an Partikeln gefunden. Die Faseroberfläche wirkt eindeutig sauberer. Die Schuppenstruktur ist weiterhin erhalten und intakt.

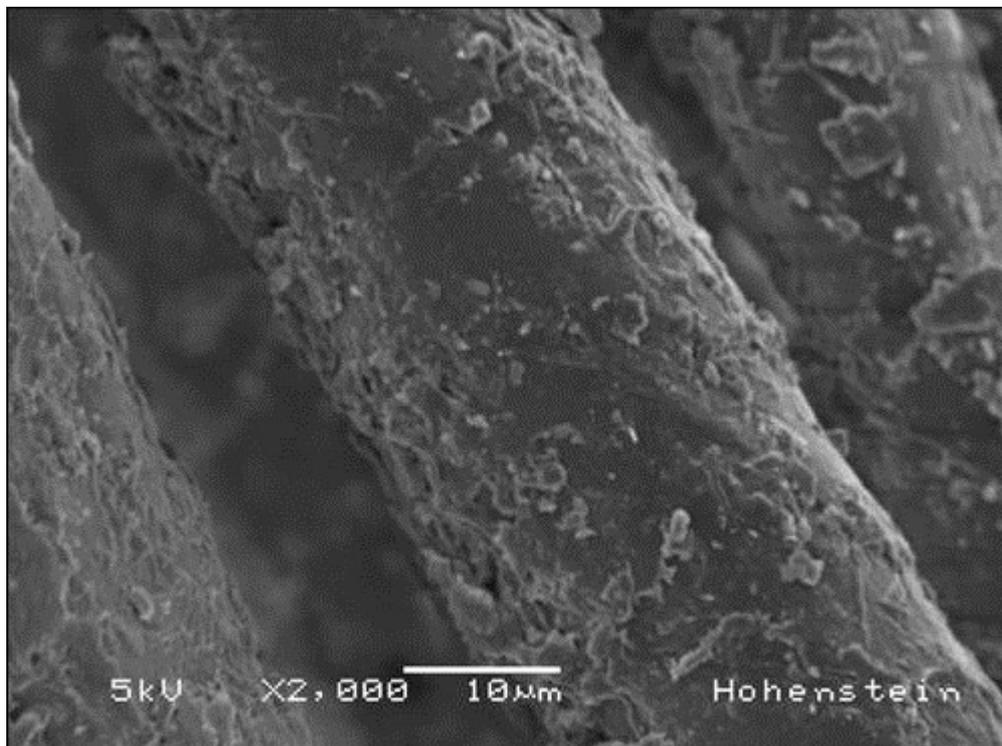
6.2.9 Muster 15.1.14.0075-10 (unbehandeltes Teppichfragment)



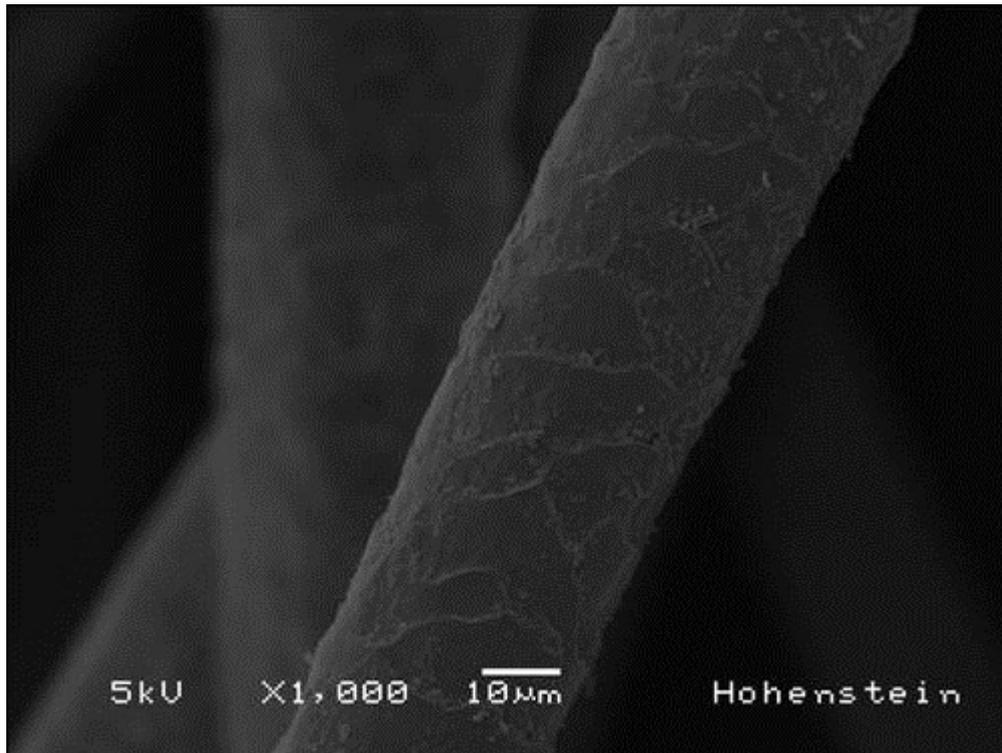
10.3: 1000-fache Vergrößerung



10.4: 2000-fache Vergrößerung



1000-fache Vergrößerung



2000-fache Vergrößerung

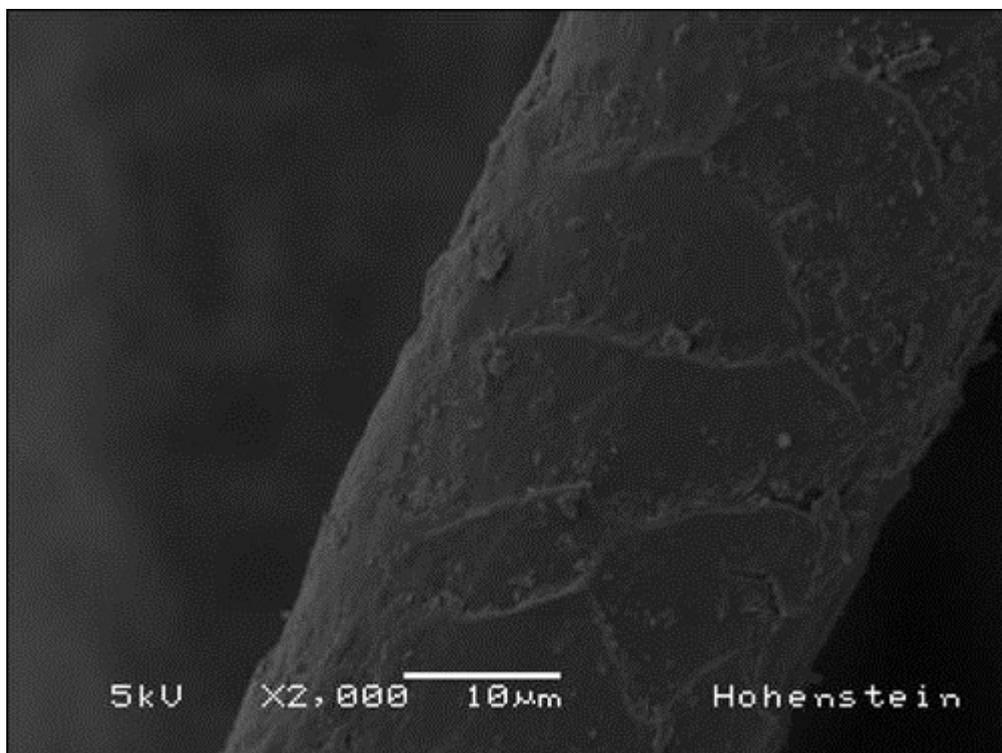
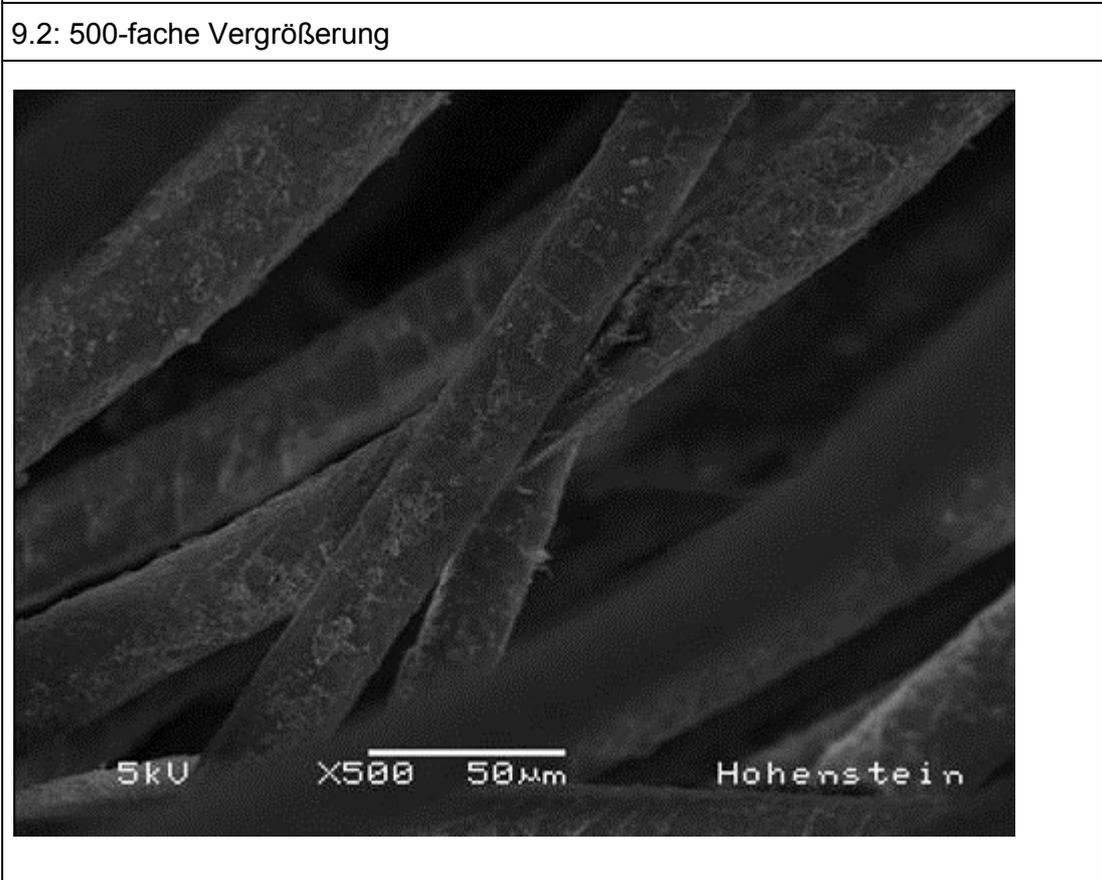
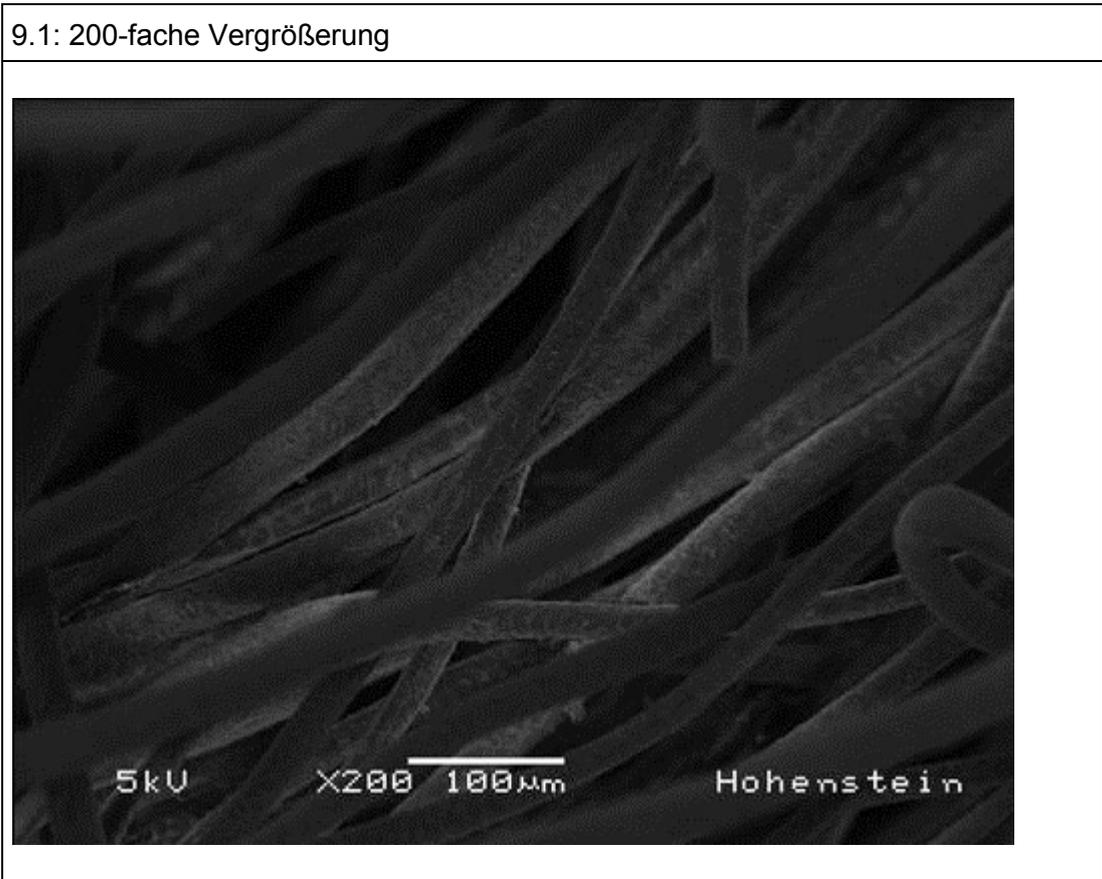
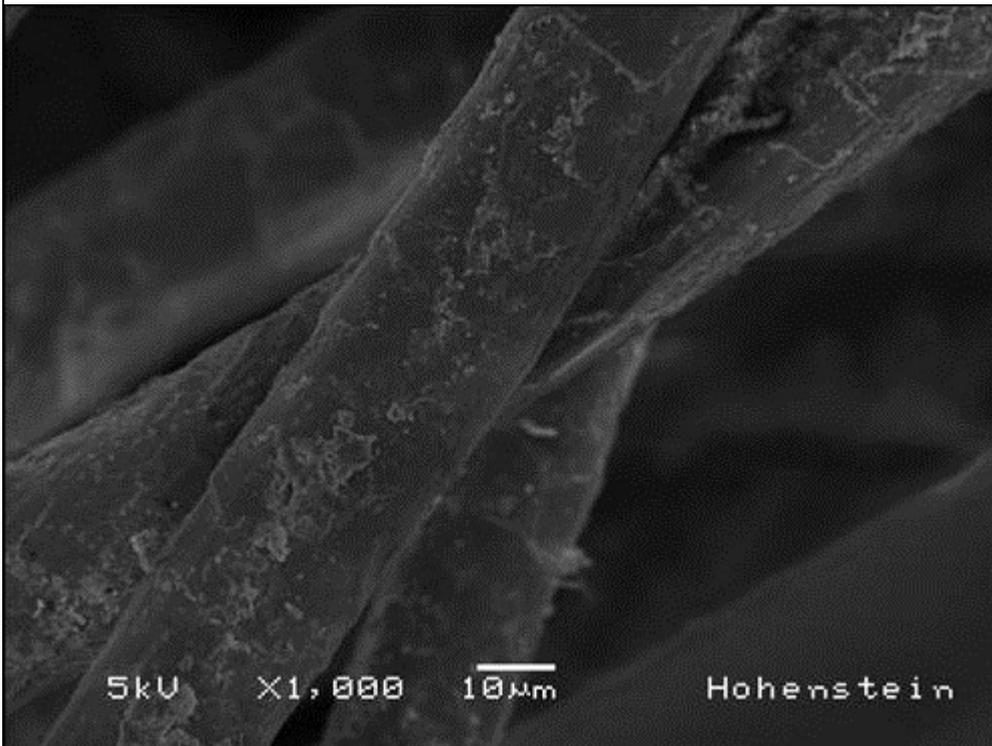


Abb. 36: Muster 15.1.14.0075-10 (unbehandeltes Teppichfragment)

6.2.10 Muster 15.1.14.0075-9 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-10)



9.3: 1000-fache Vergrößerung



9.4: 2000-fache Vergrößerung

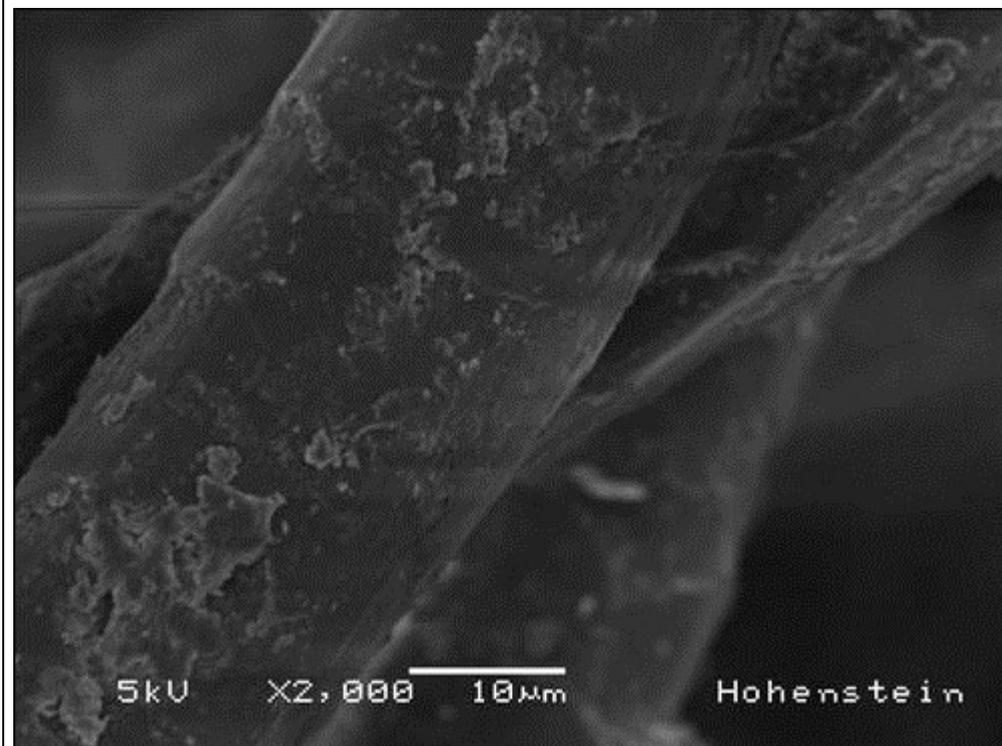
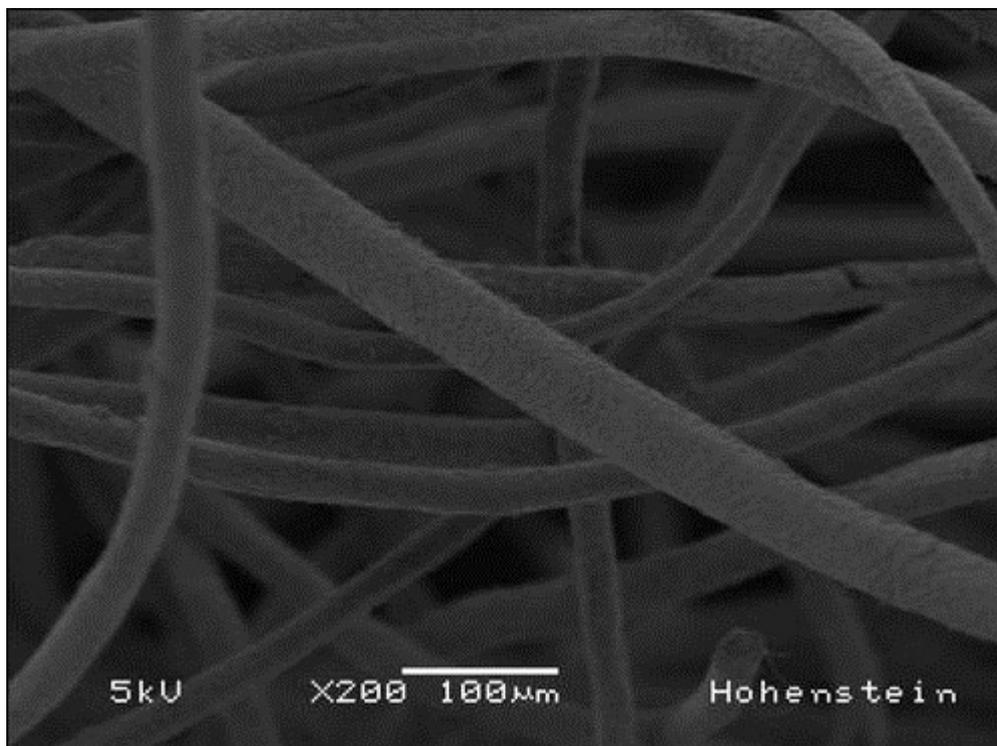


Abb. 37: Muster 15.1.14.0075-9 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-10)

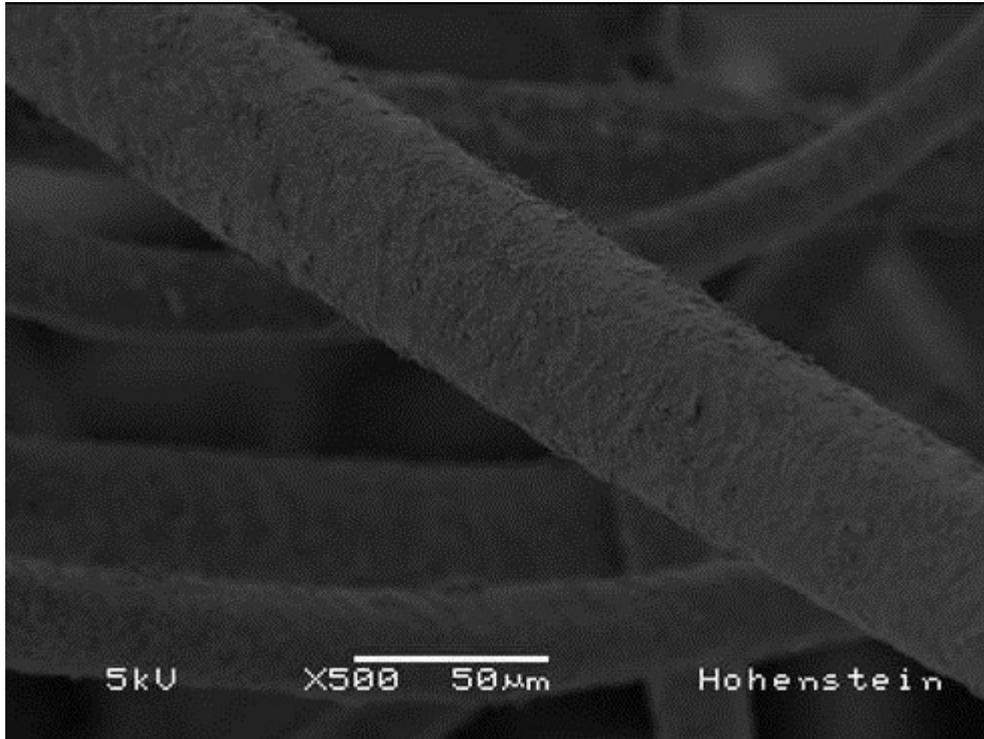
Auch bei Muster 15.1.14.0075-12 (unbehandeltes Teppichfragment) ist die Schuppenstruktur der Wollfasern deutlich zu erkennen und hier fällt die gleichmäßige Verteilung von Anlagerungen auf der Faseroberfläche auf. Bei diesem Muster stehen Teile der Randbereiche der Schuppen ab. Die entsprechenden gereinigten Muster 15.1.14.0075-11 zeigen ebenfalls immer noch eine Partikelbeladung auf der Faseroberfläche, aber in geringerem Ausmaß als die unbehandelte Probe des Teppichfragmentes 15.1.14.0075-12. Im Gegensatz zu den bisherigen untersuchten Mustern sieht es hier so aus, als ob Bruchstücke der Schuppen gelöst wurden. Es werden in dem gereinigten Muster nicht mehr so viele abstehende Schuppen gefunden wie in dem nicht behandelten Muster 15.1.14.0012. Trotz der zahlreichen Ablagerungen wirken die Fasern in dem gereinigten Muster etwas sauberer als in dem unbehandelten Teppichfragmentmuster.

6.2.11 Muster 15.1.14.0075-12 (unbehandeltes Teppichfragment)

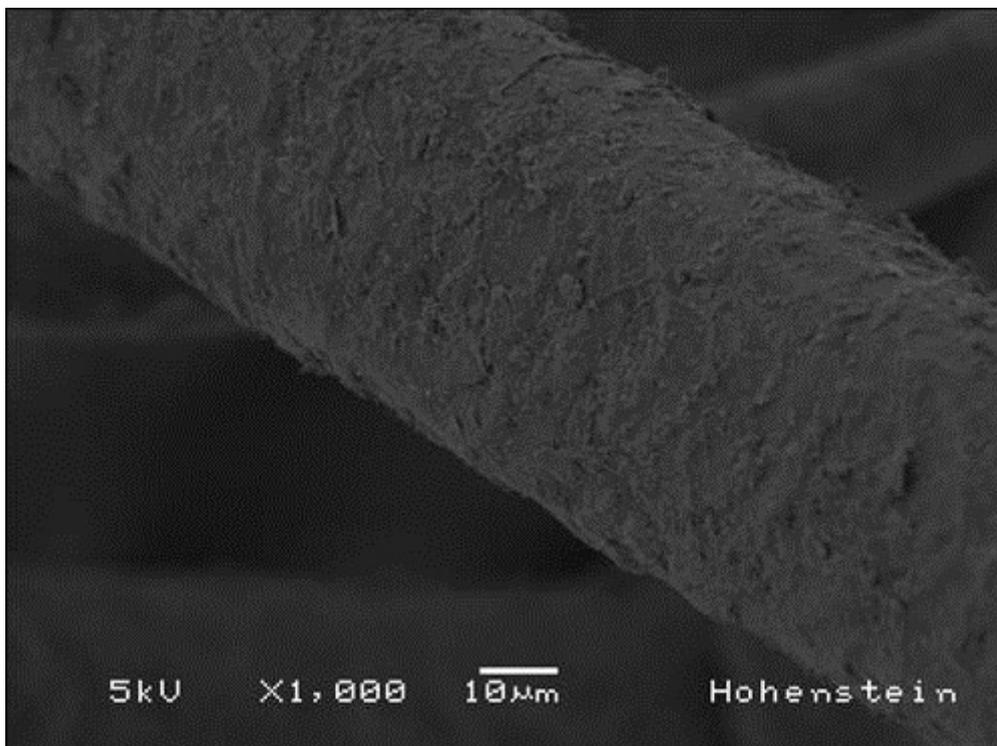
12.1: 200-fache Vergrößerung



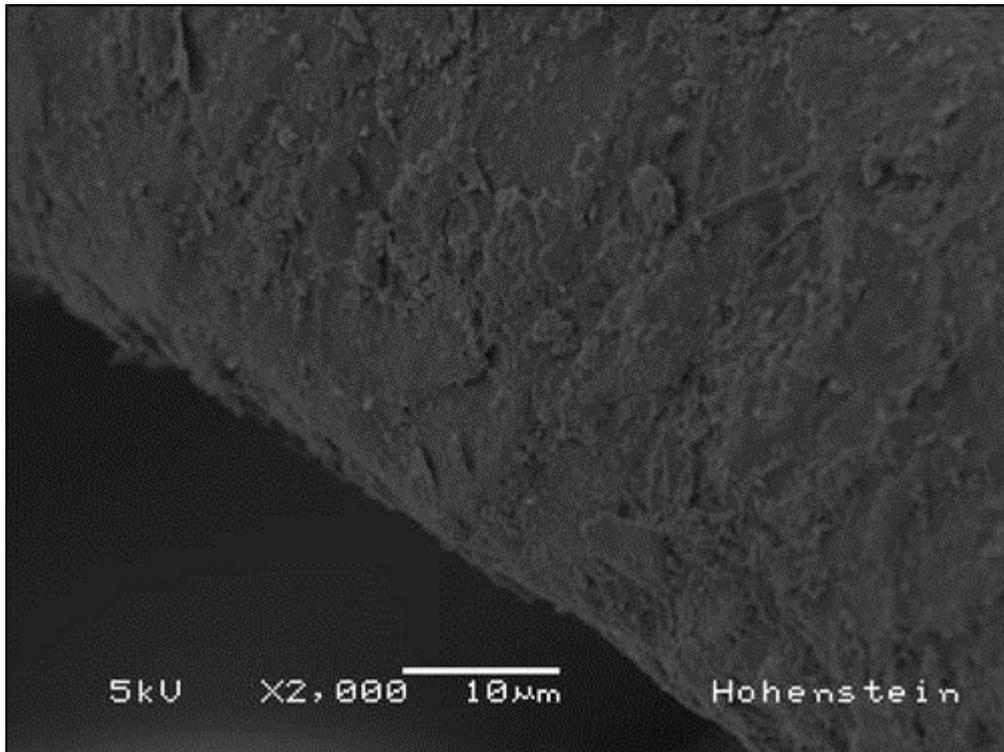
12.1: 500-fache Vergrößerung



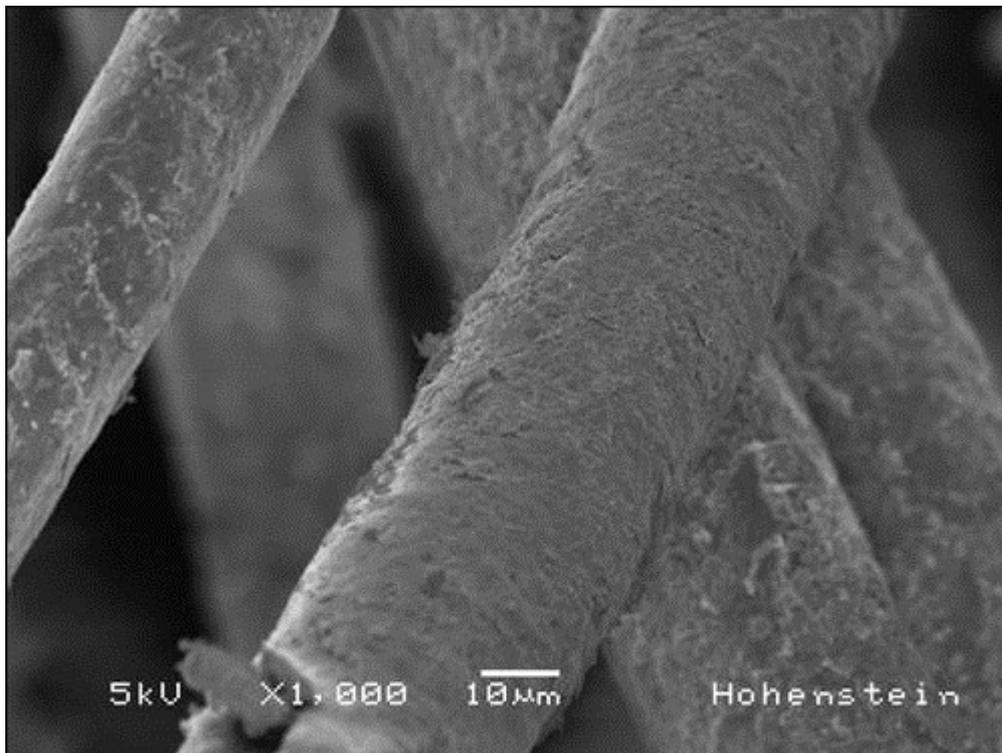
12.3: 1000-fache Vergrößerung



12.4: 2000-fache Vergrößerung



1000-fache Vergrößerung



2000-fache Vergrößerung

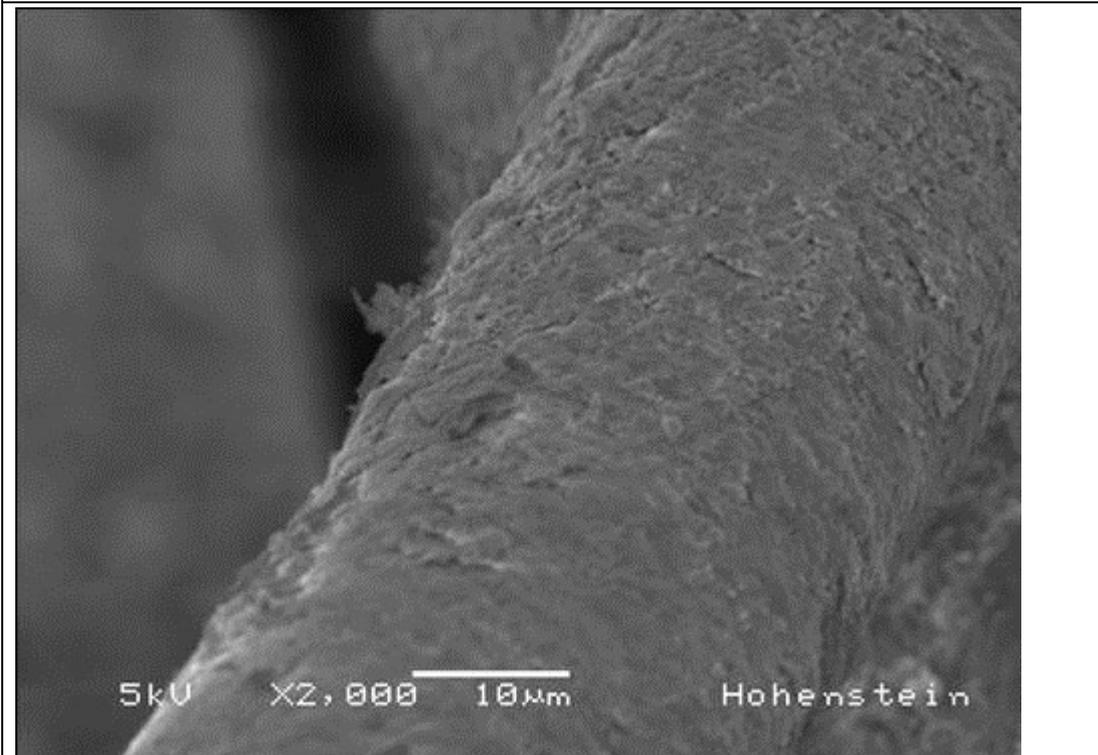
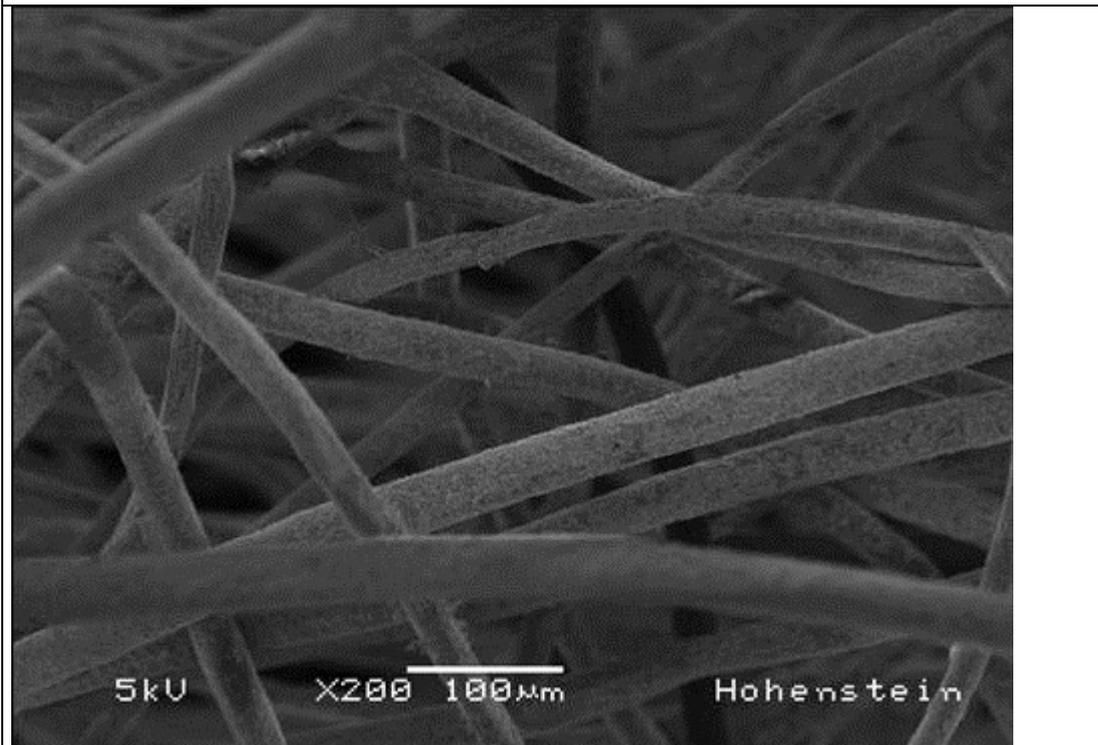


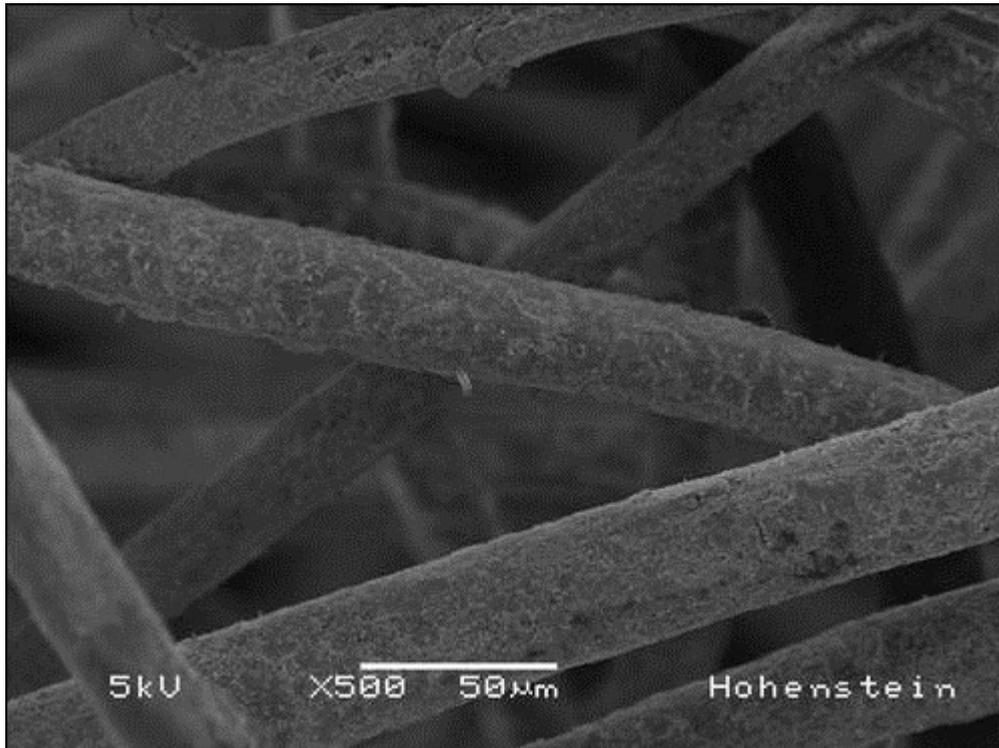
Abb. 38: Muster 15.1.14.0075-12 (unbehandeltes Teppichfragment)

6.2.12 Muster 15.1.14.0075-11 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-12)

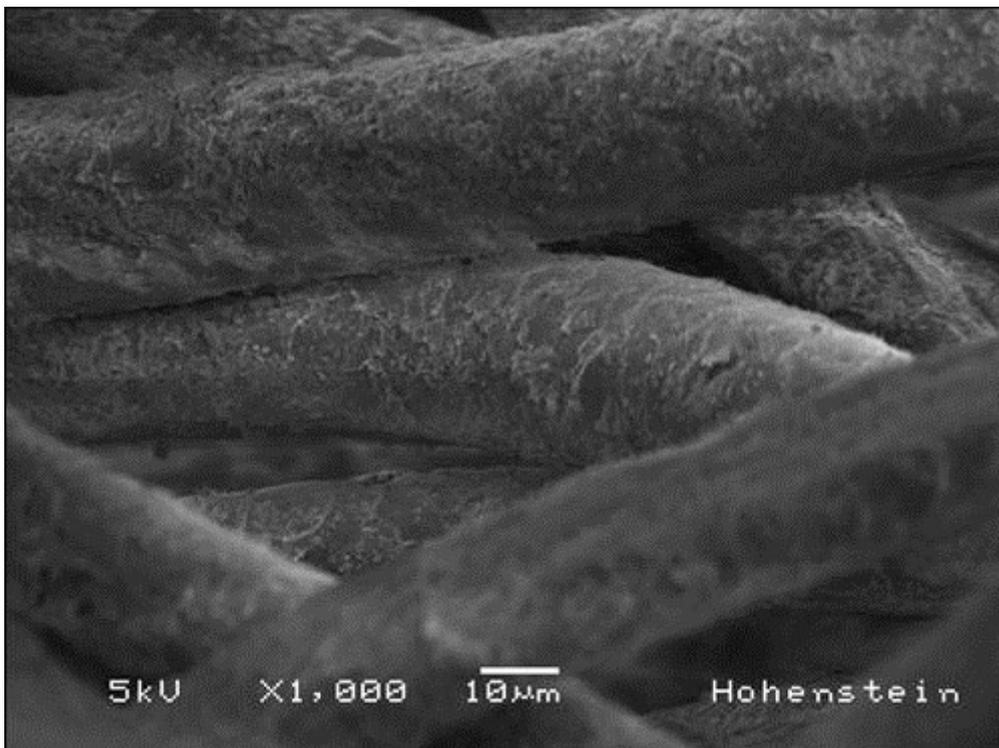
11.1: 200-fache Vergrößerung



11.2: 500-fache Vergrößerung



11.3: 1000-fache Vergrößerung



11.4: 2000-fache Vergrößerung

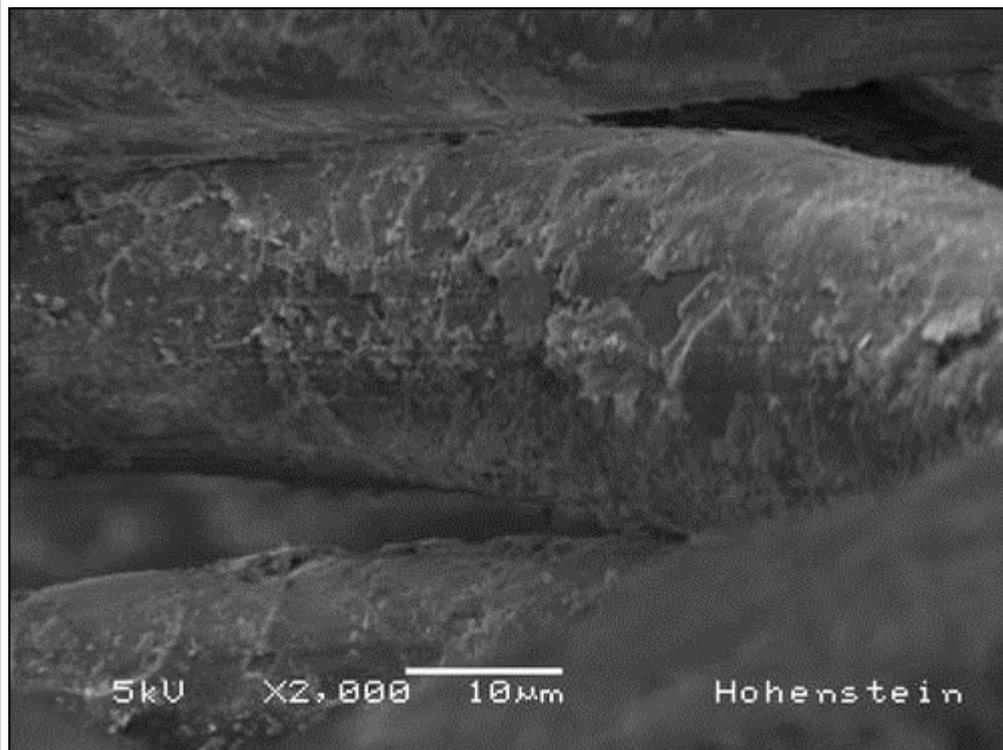


Abb. 39: Muster 15.1.14.0075-11 (gereinigt, Ursprungsteppichfragment 15.1.14.0075-12)

In keinem der untersuchten Teppichfragmente sind Spuren von Mottenfraß oder Käfern zu finden.

Die Untersuchungen der Teppichfragmente haben gezeigt, dass durch die Reinigungsprozesse wahrscheinlich keine signifikanten Farbveränderungen auftreten. Die Farbschwankungen sind schon in den ungereinigten Mustern zu beobachten. Um dies eindeutig festzustellen, müssten die Muster vor der Reinigung farbmetrisch untersucht werden. Die Reißfestigkeit der Wolle ist kein Parameter, der eine verwertbare Aussage liefert. In gereinigtem und ursprünglichem Zustand sind die Unterschiede in den Mustern sehr hoch, auch verursacht durch die Präparation. Der Restfettgehalt der gereinigten Proben liegt niedriger als die der ursprünglichen Teppichfragmente und liegt im Bereich üblicher Wollen. Durch das Alter können die Teppichfragmente verunreinigt sein. Dieses kann zu höheren Werten bei den Ursprungsteppichfragmenten führen. Auch kann dies schon an der Ursprungswolle liegen. Die REM-Bilder zeigen, dass die gereinigten Fasern in der Regel sauberer wirken und weniger Ablagerungen auf der Faser zeigen. Es sind geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen gereinigten Proben zu beobachten. Insgesamt zeigen die gereinigten Muster jedoch weiterhin intakte Wollfasern und keine signifikanten Veränderungen der Wollfaser.

7 Auswertung und Zusammenfassung

Die Reinigung mit flüssigem Kohlendioxid erscheint aufgrund seiner technologischen wie chemischen Eigenschaften für die Problematik der Dekontamination und Reinigung von historischen Textilien eine aussichtsreiche Alternative darzustellen. Das verflüssigte Kohlendioxid verfügt über einen unpolaren Lösemittelcharakter und kann daher lipophile (fettfreundliche) Verschmutzungen und unpolare organische Verbindungen lösen und Festkörpern extrahieren.

Im Rahmen der eCO₂-Prozessführung erfolgt die Reinigung unter einem hohen Maß an Fluidmechanik. Die Reinigung mit CO₂ ist rückstandsfrei, trocken, nahezu temperaturneutral (15 bis 20 °C) und sehr materialschonend. Die Reduktion von verschiedenen Bioziden an unterschiedlichen textilen Probekörpern wie auch anderen Materialien wie z. B. Leder und Holz, konnte im Rahmen verschiedener Vorversuche und bilateraler Fallstudien bereits nachgewiesen werden. Im Rahmen des Projektes wurde die Eignung der CO₂-Extraktion für die Anwendung auf Jahrhunderte alte Osmanische Teppiche aus Schafswolle eindrücklich dokumentiert. Insbesondere erwies sich die Methode als wenig kompliziert und praxisnah.

Aufgrund der analytischen Daten und der Ergebnisse der restauratorischen Begutachtung konnte der Nachweis zur Einsatzfähigkeit der eCO₂-Reinigungsanlage für die Dekontamination und Reinigung von Textilproben bei gleichzeitigem Erhalt der Originalität der Objekte nachgewiesen werden.

Die Originalität wird dabei insbesondere optisch durch die beeinträchtigungsfreie Reinigung der Textilfasern und den Erhalt der Farb- bzw. Fasereigenschaften beschrieben. Durch Beauftragung eines externen Textillabors, das sich auf die Zustandsbeschreibung von textilem Fasermaterial spezialisiert hat, wurde nunmehr zweifelsfrei festgestellt, dass die Dekontamination und Reinigung der Teppiche mit flüssigem Kohlendioxid äußerst materialschonend ist und sogar materialerhaltende Eigenschaften aufweist.

Aufgrund der im Projekt durchgeführten Dekontaminations- und Reinigungsversuche stehen nunmehr geeignete Prozessgrößen zur Verfügung, die es erlauben, relativ schnelle und effiziente „Konservierungsmaßnahmen“ mit flüssigem Kohlendioxid auszuführen.

Vorrangig konnte die mechanische Belastung des Reinigungsgutes auf ein Minimum gesenkt werden. Der erforderliche Druck von ca. 55 bar beeinträchtigt das Fasermaterial nachweislich nicht. Die Prozesstemperatur liegt zwischen 15 und 20 °C. Um die mechanische Belastung des Fasermaterials so gering wie möglich zu halten, wurde das Dekontaminations- und Reinigungsverfahren weder durch Rotation des Metallkorbes noch durch Ultraschall verstärkt.

Es konnte keine Veränderung in der Beschaffenheit des Materials nach dem Dekontaminationsprozess festgestellt werden. Elektronenmikroskopische Aufnahmen der gereinigten Fasern belegen die hohe Tiefenwirkung der CO₂-Reinigung und die Entfernung von Mikropartikeln von der Oberfläche der Fasern.

Im Vergleich zu alternativen Reinigungs- und Dekontaminationsverfahren mit unpolaren Lösemitteln konnte festgestellt werden, dass eine höhere Abreicherung von chlororganischen Verbindungen erzielt wird und aufgrund der gut kontrollierbaren Prozesstechnik Materialschädigungen vermieden werden.

Mit Hilfe der Ergebnisse aus dem Schadstoffscreening konnte eine umfassende Methodenentwicklung am Röntgenfluoreszenz-Analysator zur zerstörungsfreien Detektion von Schadstoffen auf textilen Oberflächen vorgenommen werden. Die vielzähligen Vergleichsmessungen ermöglichten eine tiefgreifende Validierung der bisherigen Kalibrierung.

Der Einsatz der p-RFA in Kombination mit einer hochauflösenden mikroskopischen Methode hat sich als adäquates analytisches Verfahren herausgestellt, um eine große Menge an kontaminierten Teppichen schnell und zuverlässig auf ihren Kontaminationsgrad zu analysieren. Über Vergleichsmessungen mit Staub- und Materialproben wurden die qualitativen Ergebnisse des Screenings bestätigt. Aufgrund der vorliegenden Dokumentation konnte erstmals eine direkte Schädigung des Fasermaterials durch kristallisierte Wirkstoffe aus ehemals aufgebrauchte lösemittelhaltigen Biozidprodukten festgestellt werden.

Mit Hilfe dieses Projektes konnte ein wesentlicher Beitrag zur Anschaffung von Einrichtungsgegenständen für das Teppichdepot und zur Errichtung des Teppichkompetenzzentrums geleistet werden. Die konservatorische Beurteilung der vielfältigen Schadensbilder, die mittels Keyence-Mikroskopie dokumentiert werden konnten, sollen auf Wunsch der Leiterin des Denkmalressorts der Evangelische Kirche A. B. Kronstadt, Ágnes Ziegler, diesem Bericht als separater Anhang hinzugefügt werden. Leider war es im Rahmen des Projektes nicht möglich die umfassenden restauratorischen und konservatorischen Kompetenzen synergetisch in die Auswertung der erhaltenen Ergebnisse einzubinden.

Über die Beteiligung an öffentlichen Symposien, der Einberufung eines Fachbeirates, der Organisation von Weiterbildungskursen zum Thema der Schadstoffanalyse, sowie der Veröffentlichung in musealen Zeitschriften, werden die Ergebnisse des Projektes einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

In Anbetracht der Vorteile, die das CO₂-Verfahren für den Erhalt der Teppiche leisten könnte wäre eine umfassende Dekontamination und Reinigung am Standort Siebenbürgen äußerst wünschenswert und aufgrund der Signalwirkung für den sensiblen Umgang beim Einsatz von toxischen Substanzen in musealen Sammlungen von großer Bedeutung.

Danksagung

Besonderer Dank gilt Frau Dr. Wild, Koordinierung Ostmittel- und Südeuropa am Museum Europäischer Kulturen Berlin, für die Initiierung des Projektes und ihrer steten fachlichen und persönlichen Unterstützung.

Herrn Prof. Dr. Unger gilt der besondere Dank als Spiritus Rector der modernen zerstörungsfreien Dekontamination und Reinigung von Kunst- und Kulturgut sowie seinem immerwährenden Engagement.

Ich danke außerdem Herrn Moser, Geschäftsführer Amsonic AG, für die zur Verfügung Stellung der eICO2-Anlage und seiner Unterstützung zur Realisierung des Projektes.

Mein Dank gilt auch den Mitgliedern des Fachbeirates, Herrn Prof. Dr. Petermann, Herrn Prof. Dr. Unger, Frau Dr. Wild, Herrn Moser und Herrn Mankiewicz.

Schließlich sei der DBU für die Förderung des Projektes gedankt.

Konservatorischer Bericht über das Schadstoffscreening an den osmanischen Teppichen in Siebenbürgen

25. 04. 2015

Dr. Ágnes Ziegler / Hanna Grabner

Ein wichtiger Ansatz für das DBU-geförderte Projekt „Entwicklung eines Verfahrens zur Entgiftung und Reinigung der anthropogen geschädigten osmanischen Teppiche aus der Sammlung der Evangelischen Kirche A. B. Rumänien mittels Extraktion von biozidhaltigen Substanzen in flüssigem Kohlendioxid“ ist die Erstellung eines weitestgehend vollständigen Nachweises über die Kontaminierungssituation der betroffenen Teppiche. Stichprobenartige Staubuntersuchungen im Vorfeld des Projekts und die Auswertung der archivarischen Quellen verhalfen nur zu Teilerkenntnissen über die Situation. Als Vorbereitung einer möglichen späteren Dekontaminierung, aber auch um die Konservierung der Teppiche bis zu ihrer Dekontaminierung unter sicheren Bedingungen umsetzen zu können, war die Kenntnis des Ist-Zustandes unerlässlich.

ERMITTLUNG DES IST-ZUSTANDS DER KONTAMINIERUNG

Als Hauptmethode für die Ermittlung dieses Ist-Zustands diente die Untersuchung der einzelnen Teppiche mit der zerstörungsfreien Methode der portablen Röntgenfluoreszenzanalyse (fortan: RFA), wie bereits im zweiten Zwischenbericht (vom 1. Februar 2015) beschrieben. Im Rahmen des Projekts, innerhalb einer Screeningkampagne von insgesamt 36 Arbeitstagen (16. Juni – 6. Juli und 4. – 27. August 2014), konnte ein Kontingent von 245 von insgesamt 365 überlieferten Teppichen mit dieser Methode untersucht werden.

Die Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Elementanalysen mittels RFA müssen erläutert bzw. interpretiert werden. Dafür ist es wichtig, zusätzliche Informationen zur Objekthistorie (Nutzung, Verortung, Eingriffe) einzubeziehen. Insbesondere sind zu berücksichtigen:

- Restaurierungs- und Konservierungsgeschichte der einzelnen Teppiche
- Behandlung mit Bioziden/Verwendete Farbstoffe
- Staubbelastungsgrad des Teppichs
- Ort der Hängung / der Aufbewahrung

Diese Komponenten wurden als Kurzinformation in der tabellarischen Auflistung jener Teppiche aufgeführt, welche in den einzelnen Sammlungen die höchsten Werte bei der RFA gezeigt haben. Diese im Anhang 1. eingefügte Tabelle gilt als Grundlage der Ergebnisse in diesem Bericht.

Eine Reihe von konservatorischen und restauratorischen Maßnahmen, die an der Gruppe der osmanischen Teppiche der Evangelischen Kirche in Rumänien in der Vergangenheit vorgenommen worden sind, konnten im Rahmen eines seit dem Jahr 2009 laufenden Forschungsprojekts eruiert werden. Angesichts der Tatsache, dass die meisten dieser Eingriffe nicht dokumentiert wurden, ließen sich Schlussfolgerungen häufig nur aus geschriebenen und mündlichen Hinweisen, Fotografien und am Objekt zu verzeichnenden Spuren ziehen.

Im Laufe ihres Gebrauchs, ihrer Aufbewahrung sowie ihrer späteren Ausstellung waren die Teppiche einer Reihe von schädigenden Einflüssen ausgesetzt, die teilweise sehr charakteristische Spuren an den wertvollen Textilien hinterlassen haben. So weisen beispielsweise Tintenflecke, die an einigen der Teppiche zu finden sind, auf deren Verwendung als Tischaufgabe hin, ein Brauch, der durch zahlreiche Gemälde belegt ist. Abriebspuren, die sich in Form von Linien oder Flächen mit stark reduziertem Flor manifestieren, sind oft darauf zurückzuführen, dass die Teppiche genutzt wurden, um Kirchengestühle zu schmücken und zu bedecken. Schadinsekten wie Motten und Teppichkäfer sowie Nagetiere setzten den ausschließlich aus Wolle bestehenden Teppichen von ihrer Fertigung an zu und sind wohl für einen beträchtlichen Teil der entstandenen Löcher und Fehlstellen verantwortlich zu machen. So ist es nicht verwunderlich, dass schon früh Maßnahmen zur Erhaltung und Instandsetzung der Teppiche notwendig wurden. An einigen Exemplaren finden sich Reparaturen, die vermutlich auf das 18. und 19. Jahrhundert zurückgehen. Dabei handelt es sich meist um grobe Stopfstellen sowie um Unterlegungen mit Stücken von anderen Teppichen. Es ist davon auszugehen, dass die Teppiche während ihres Gebrauchs in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen durch Ausklopfen von Staub befreit und durch Waschen mit Seifenlauge gereinigt wurden.

Auch in späteren Jahrhunderten, als die Teppiche ihren ursprünglichen Verwendungszweck verloren hatten und nunmehr als Forschungs- und Ausstellungsobjekte weiterlebten, kam es zu Reparaturen und Behandlungen. In vielen Fällen sind diese Eingriffe nur noch anhand der Spuren, die sie an den Teppichen hinterlassen haben, zu greifen und oft nicht zu datieren oder einer bestimmten ausführenden Person zuzuweisen. Restaurierungsberichte zu den vorgenommenen Arbeiten liegen erst ab den 1970er Jahren vor, als von der Honterusgemeinde eine spezialisierte Teppichrestaurierungswerkstatt gegründet und mit Frau Era Nussbächer eine Textilfachfrau hauptamtlich mit der Betreuung der Teppiche beauftragt wurde. Die Reparaturen, die davor und außerhalb des von ihr geleiteten Ateliers durchgeführt wurden, weisen jedoch mitunter charakteristische Merkmale auf, die in Verbindung mit mündlichen Überlieferungen und Photographien aus den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts Schlüsse über verschiedene größere Restaurierungsphasen zulassen. Teilweise können diese mit bestimmten Personen oder mit einzelnen Sammlungen in Verbindung gebracht werden. Im Folgenden sollen zunächst all jene Erwähnung finden, die bekanntermaßen Eingriffe an den Teppichen vorgenommen haben, bevor Auffälligkeiten der

Restaurierungen und des Zustandes der Teppiche der einzelnen Kirchengemeinden besprochen werden.

Ernst Kühlbrandt (1857-1933) war ein Schriftsteller und Kunsthistoriker aus Kronstadt, wo er von 1883 bis 1927 auch als Professor für Zeichnen und Geometrie tätig war. Er beschäftigte sich wissenschaftlich mit der Bau- und Kunstgeschichte der siebenbürgisch-sächsischen Kirchen sowie mit den dort aufbewahrten osmanischen Teppichen. 1897 erstellte er ein Inventar der Teppiche aus dem Besitz der Schwarzen Kirche und organisierte dort Anfang des 20. Jahrhunderts die erste Ausstellung im Chor. Unter seiner Anleitung und Aufsicht wurden die Teppiche in der Textilfabrik der Familie Scherg in Kronstadt gewaschen und von Frauen der Kronstädter Kirchengemeinde gestopft, geflickt und genäht. Die bei dieser Gelegenheit getätigten Reparaturen bestehen im Hinterlegen von Fehlstellen mit farbig gemusterten Woll-Florgeweben. Diese Eingriffe sind auf den in seinem Inventar enthaltenen Photographien aus dem Jahr 1927 bereits erkennbar.

Albert Eichhorn (1906-1969) war ein Kronstädter Apotheker und Kunstsammler, der Beiträge zu Themen des historischen siebenbürgisch-sächsischen Gewerbes und Kunstgewerbes publizierte. Er forschte im Kronstädter Stadtarchiv und in den Archiven der evangelischen Kirchen zu den Teppichen und reparierte diese auch als Autodidakt. 1963 wurde er von Richard Suhany mit Wollgarnen und Farbstoffen versorgt und in den Methoden der Teppichrestaurierung unterwiesen.

Frühe Restaurierungen von seiner Hand wirken eher laienhaft: Er hat mit Nadel und Faden in Sticktechnik Schadstellen repariert oder diese mit farblich zum Teppich passenden Stoffteilen unterlegt. Später rekonstruierte er das Teppichmuster in Fehlstellen durch flächig angelegte und mit braunem Garn auf einem Unterlaggewebe festgenähte Woll- und Leinenfäden, in manchen Fällen kamen auch dünne Filzstreifen oder Stücke eines anderen Stoffes zum Einsatz. In Bereichen ohne Musterung verwendete er für die Unterlegungen ein relativ grobes Gewebe mit unregelmäßiger Oberfläche.

Era Nussbächer (1913-2003) war zunächst als Werklehrerin an der evangelischen Mädchenschule in Kronstadt tätig und arbeitete bis zu ihrer Pensionierung in verschiedenen Handwerksgenossenschaften. Ab 1973 wirkte sie als Restauratorin in der von der Honterusgemeinde gegründeten Teppichrestaurierungswerkstatt, die im alten Obervorstädter Pfarrhaus untergebracht war. Von 1977 bis 1998 war die Werkstatt dem Landeskonsistorium der Evangelischen Kirche A.B. in Rumänien unterstellt. Sie vertiefte ihre Kenntnisse im Bereich der Teppichrestaurierung durch Aufenthalte am Kunstgewerbemuseum in Wien sowie an anderen Einrichtungen in Österreich, Deutschland und der Schweiz. 1977 gab sie ihre Erfahrungen in einem Lehrgang für Museumsfachleute weiter. Gemeinsam mit ihren Mitarbeiterinnen Brigitte Morscher, Erika Klein, Edith Schromm, Ursula Brandsch und Gabriella Gyenge restaurierte sie einen Großteil der Teppiche aus dem Besitz der Schwarzen Kirche, aber auch aus dem anderer Kirchengemeinden.

Die von ihr und ihrer Werkstatt durchgeführten Restaurierungen lassen sich in zwei Phasen einteilen, wobei das Jahr 1977 einen Wendepunkt darzustellen scheint. Davor wurden Fehlstellen rekonstruierend behandelt, in dem neue Kettfäden eingezo- gen und die fehlenden

Knoten und Schüsse ergänzt wurden. Nach 1977 ging sie dazu über, Löcher mit einem passend eingefärbten Gewebe zu unterlegen und die Fehlstellenränder mit Spannstichen nähtechnisch zu sichern.

Richard Suhany war Meister der Teppichknüpfkunst und vereidigter Sachverständiger für Teppiche. Er lernte Albert Eichhorn 1963 kennen, schulte – nach eigenen Angaben – sowohl ihn als auch später Era Nussbächer in der Teppichrestaurierung und ließ beiden Materialien und Gerätschaften zum Färben zukommen. 1992 erfasste er gemeinsam mit den Sachverständigenkollegen Peter Mauch und Alfred Ruppenstein sowie Era Nussbächer insgesamt 179 Teppiche aus dem Besitz der Schwarzen Kirche sowie der Gemeinden Blumenau, obere Vorstadt, Weidenbach, Bartolomä und Mediasch photographisch und auf einem gutachterlichen Untersuchungsbogen. Dabei wurde an einigen Teppichen aktiver Mottenbefall festgestellt, der sofort durch Einsatz eines „Kontaktgiftes“ bekämpft wurde. Eine Eulanbehandlung der Teppiche wurde geplant. Im Jahr 1993 wurden von der Firma Bayer-Leverkusen 20 Liter Eulan gespendet und Era Nussbächer in der Anwendung des Produktes unterwiesen. Im Juli 1994 erfolgte die Erfassung von weiteren 197 Teppichen teilweise vor Ort – etwa im Brukenthalmuseum in Hermannstadt sowie in der Kirche in Schässburg – teilweise wurden die Teppiche zu diesem Zweck aus den Kirchengemeinden nach Kronstadt gebracht.

Rodica Dinulescu, Textilrestauratorin in Rente, war früher am Brukenthalmuseum und als Lehrbeauftragte im Bereich Textilrestaurierung an der Lucian Blaga Universität in Hermannstadt tätig. In den Jahren 2002 und 2003 wurde ein Großteil der Teppiche unter ihrer Leitung in Vorbereitung für Ștefan Ionescus Publikation „Die osmanischen Teppiche in Siebenbürgen“ gewaschen. Als Tensid kam dabei Seifenwurzel (*radix saponaria*) zum Einsatz.

Charakteristika der Restaurierungseingriffe und des Zustands der Teppiche in den einzelnen Kirchengemeinden

Birthälm

Alle Teppiche wurden von Era Nussbächer und ihrer Werkstatt gewaschen und restauriert. In einigen Fällen finden sich Rekonstruktionen von Grundgewebe und Knoten, meistens wurden Fehlstellen jedoch mit passend eingefärbten Baumwollgeweben unterlegt und nähtechnisch gesichert. Teilweise sind die Umrisslinien des Musters durch angelegte Wollfäden angedeutet.

Die Teppiche befinden sich in einem verhältnismäßig guten Zustand, fast alle sind jedoch an der Vorderseite ausgebleichen, viele fühlen sich relativ trocken und spröde an.

Heltau

Die Restaurierung des Teppichs wurde vermutlich von Era Nussbächers Werkstatt durchgeführt.

Honigberg

Die Teppiche waren zwischen den Jahren 1914 und 1971 vergraben, um ihre Zerstörung während des Krieges zu verhindern. Zu diesem Zweck wurden sie vermutlich gefaltet, was die schmalen, länglichen Fehlstellen in Horizontal- und Vertikalrichtung erklären würde. Der Teppich mit der Inventarnummer 7 wurde von Albert Eichhorn restauriert und der fehlende Bereich entlang der Längsachse in der für ihn charakteristischen Weise ergänzt. Alle anderen Teppiche wurden 1971 in der Honigberger Teppichmanufaktur „mit Chlor“ gewaschen und anschließend von „dem Armenier“ mit ziemlich großen Stichen auf ein grobes Leinengewebe aufgenäht. In manchen Fällen sind die Fehlstellen mit ehemals rotem bzw. rosafarbenem Baumwoll- und Leinengewebe unterlegt.

Die Teppiche sind extrem staubig und fühlen sich spröde an. An vielen Stellen haben sich die Fehlstellenränder vom Unterlagstoff gelöst, ganze Fragmente drohen abzufallen.

Kronstadt Bartholomä

Alle Teppiche wurden von Era Nussbächer und ihrer Werkstatt gewaschen. Neben einigen groben Stopfstellen finden sich professionell durchgeführte Rekonstruktionen des Grundgewebes bzw. von Grundgewebe und Knoten. Ob diese Eingriffe ebenfalls durch Era Nussbächer erfolgten, ist nicht bekannt.

Der Flor aller Teppiche ist relativ stark abgenutzt und ausgebleichen.

Kronstadt LK Depot

Die im Landeskirchlichen Depot in Kronstadt aufbewahrten Teppiche wurden im Zuge der Inventarisierungskampagne Richard Suhany's in den Jahren 1994–1995 hier zusammengeführt. Angesichts der schwierigen demographischen Situation, in der sich die Besitzergemeinden Anfang der neunziger Jahre des 20. Jahrhunderts befanden, wurden diese wertvollen Objekte nicht mehr in die Herkunftsortschaften zurückgeführt, sondern dem Landeskonsistorium zur Aufbewahrung anvertraut.

Die Geschichte ihrer Konservierung ist entsprechend heterogen. Die Konservierungseingriffe lassen sich überwiegend auf Era Nussbächer zurückführen, in seltenen Fällen ist die Arbeit von Albert Eichhorn nachzuweisen, bzw. sind historische Konservierungseingriffe zu verzeichnen.

Kronstadt Schwarze Kirche

Als stolze Besitzerin der größten Teppichsammlung Siebenbürgens ist die evangelische Kirchengemeinde in Kronstadt ihrer Vorreiterrolle in der Konservierung dieser Objektgruppe von der frühen Zeit ihrer Musealisierung bis zum heutigen Tag mit Verantwortungsbewusstsein entgegengetreten. Die Kronstädter Teppiche wurden an der Wende zum 20. Jahrhundert unter Anleitung von Ernst Kühlbrandt konserviert. Es folgten Restaurierungskampagnen in den hier ansässigen Werkstätten von Albert Eichhorn und Era Nussbächer. Fast alle Kronstädter Teppiche wurden 2002, im Vorfeld ihrer Publikation im Sammelband Ștefan Ionescu, unter Anleitung der Restauratorin Rodica Dinulescu gewaschen. Seit 2009 bildet der Kronstädter Bestand den Kern des umfangreichen Projektes für die Erhaltung und Pflege osmanischer Teppiche in Siebenbürgen.

LKM Hermannstadt

Die beiden ausgestellten Teppiche wurden 1976 bzw. 1977 von Era Nussbächers Werkstatt gewaschen – im Fall von Agnetheln III.12 auch mit Eulan behandelt – und restauriert. Größere Löcher wurden durch das Einziehen neuer Kettfäden und die Rekonstruktion von Grundgewebe und Knoten ergänzt. Zusätzlich wurden Fehlstellen in den Kelims im Fall von Agnetheln III.12 durch separat angefertigte Ergänzungen und im Fall von Agnetheln III.13 durch ein Stück des üblicherweise als Unterlagstoff verwendeten Baumwollgewebes abgedeckt. Diese Art der stark retuschierenden Restaurierung könnte der Tatsache geschuldet sein, dass die beiden Teppiche museal präsentiert werden.

Mediasch

Die Teppiche aus dem Besitz der Margarethenkirche wurden von Era Nussbächer und ihrer Werkstatt gewaschen und restauriert. Bei den Eingriffen handelt es sich hauptsächlich um nähtechnische Sicherungen auf ein Unterlaggewebe, es finden sich aber auch Rekonstruktionen von Grundgewebe und Knoten.

Die heute in Mediasch ausgestellten Teppiche aus Arbergen, Bogeschdorf, Langenthal, Reichsdorf und Wurmloch wurden ebenfalls von Era Nussbächer gewaschen und restauriert, die Teppiche aus Reichsdorf wurden darüber hinaus mit Eulan behandelt.

Mühlbach

Alle Teppiche wurden von Era Nussbächer und ihrer Werkstatt eulanisiert. Die relativ minimalen Restaurierungseingriffe, die meist im groben Einweben bzw. Stopfen von Fehlstellen mit Wolle und der laienhaften Sicherung auf unterschiedliche Gewebe (brauner Wollkörper sowie Stickgrund aus Pflanzenfasern) bestehen, stammen jedoch von unbekannter Hand.

An einigen Teppichen wurden eingewebte Fehlstellen von der Rückseite her mit einem Stück grauen Baumwoll(?)gewebes abgedeckt.

Neppendorf

Der Teppich wurde den Unterlagen nach von Era Nussbächer gewaschen, eulanisiert und restauriert. Die Musterrekonstruktion durch flächig angelegte Woll- bzw. Leinenfäden weist jedoch eher auf eine Restaurierung durch Albert Eichhorn hin.

Schässburg

An den meisten Teppichen finden sich großflächige Rekonstruktionen von Grundgewebe und Knoten, wobei als Kettmaterial meist ein weißes Baumwollgarn verwendet wurde. Die Übergänge zwischen Original und Ergänzung wurden zum Teil an der Rückseite mit einer klebstoffartigen Substanz verstärkt. In vielen Bereichen wurden neue Knoten in das noch intakte originale Grundgewebe eingetragen, besonders um die degradierte schwarze Wolle zu ersetzen oder in Bereichen, wo der Flor durch Mottenfraß beschädigt worden war. Für die neuen Knoten kamen ein relativ voluminöser weißer Wollfaden bzw. gezwirnte Wollfäden in verschiedenen Farben zum Einsatz, der Flor der Ergänzungen ist in der Regel länger als jener des Originals. Durch Lichteinwirkung hat sich der Farbton der blauen aber teilweise auch der schwarzen rekonstruierten Knoten im Laufe der Zeit verändert, was durch einen Vergleich der Vorder- und Rückseiten der Teppiche deutlich wird.

An einigen wenigen Teppichen finden sich auch andere Restaurierungsmethoden. Dazu gehören etwa die Ergänzung des Musters durch Kreuzstiche bzw. halbe Kreuzstiche auf einem Stickgrund oder auf dem originalen Grundgewebe sowie historische Reparaturen.

All diese Eingriffe scheinen erfolgt zu sein, bevor die Teppiche Anfang der 1980er Jahre von Era Nussbächer gewaschen wurden und gehen vermutlich auf eine durch mündliche Überlieferung belegte Restaurierungskampagne in den 1940er Jahren zurück. In einigen Fällen hat Era Nussbächer auch hier nähtechnische Sicherungen vorgenommen, wobei es sich meist nur um kleine Eingriffe handelte. Gegenwärtig werden die Teppiche hin und wieder unter der Zuhilfenahme weicher Bürsten abgesaugt. Nur zwei der Teppiche wurden 2003 von Rodica Dinulescu gewaschen.

BEHANDLUNG MIT BIOZIDEN

Noch mangelhafter sind die Informationen betreffend eventueller Behandlungen, die als Prävention oder Bekämpfung des Insektenbefalls im Laufe des letzten Jahrhunderts durchgeführt worden sind. Abgesehen von den verfügbaren Informationen über die Eulanisierungskampagne, die Mitte der 1990er Jahre in Kronstadt unter der Leitung der Textilrestauratorin Era Nussbächer durchgeführt worden ist, existieren keinerlei schriftliche Hinweise auf eine Behandlung der Teppiche mit Chemikalien. Es liegt nahe, anzunehmen, dass während der bekannten Waschvorgänge damals in der Textilindustrie gängige Mittel angewandt worden sind. Nicht auszuschließend sind auch unkontrollierte und verborgen gebliebene Anwendungen von im Haushalt gebräuchlichen Mitteln (Mottensprays, Naphthalinkugeln, sowie die von Richard Suhany erwähnten „Kontaktgifte“ usw.).

Ein nachträglicher Identifizierungsversuch all dieser Substanzen wird vielleicht anhand der in den Teppichen nachweisbaren Elemente möglich sein.

VERWENDETE FARBSTOFFE

Die Vermutung liegt nahe, dass die bei der Herstellung der Teppiche verwendeten Farb- und Beizstoffe Komponenten beinhalten, die Messwerte ggf. beeinflussen könnten. Im Falle der osmanischen Teppiche der Evangelischen Kirche A. B. in Rumänien wurden bis jetzt keine farbstoffbestimmenden Untersuchungen durchgeführt, so dass wir bei unseren Überlegungen auf Analogien und Literaturhinweise angewiesen sind.

Vor 1994 hat Dr. Ágnes Balázsy Farbstoffuntersuchungen mittels Schichtchromatographie an den Teppichen aus der Sammlung des Museums für Angewandte Kunst in Budapest durchgeführt. Da jene demselben Teppichtyp angehören wie die Beispiele aus Siebenbürgen, können diese Analyseergebnisse mit hoher Wahrscheinlichkeit übertragen werden. Die Ergebnisse von Dr. Balázsy können folgendermaßen zusammengefasst werden:

FARBE	BEZEICHNUNG	VOLKSTÜMLICHER NAME	BEIZE
Weiß	Naturbelassene Wolle		
Kräftiges Gelb	Reseda luteola L. oder Salvia triloba	Wau oder dreiblättriger Salbei	Al
Grünliches Gelb	Reseda luteola L. oder Salvia triloba	Wau oder dreiblättriger Salbei	Al
Grün	Reseda luteola L. oder Salvia triloba	Wau oder dreiblättriger Salbei	Al
Grün	Reseda luteola L. oder Salvia triloba mit Isatis tinctoria L.	Wau oder dreiblättriger Salbei mit Waid	Al
Mattes gelbliches Orange	Rubia Tinctorum L.	Krapp	ohne
Rötliches Orange	Rubia Tinctorum L.	Krapp	Urin
Rot	Kerria lacca	Lac-Dye	Al
Kräftiges Rot	Rubia Tinctorum L.	Krapp	Al
Scharlach	Kermes vermilio	Kermes	Al
Mauve	Rubia Tinctorum L.	Krapp	Fe
Braun	Naturbelassene Wolle		
Braun	Rubia Tinctorum L.	Krapp	Fe
Braun	Reseda luteola L. oder Salvia triloba	Wau oder dreiblättriger Salbei	Al
Braun	Isatis tinctoria L.	Waid	Al
Blau	Isatis tinctoria L.	Waid	
Schwarz	Alnus glutinosa	Schwarzerle	Fe
Schwarz	Rhus coriaria	Gerbersumach	Fe

Diese Ergebnisse können aus der Fachliteratur zum Thema ergänzt und bestätigt werden, wie etwa aus dem Referenzwerk H. Schweppe: „Handbuch der Naturfarbstoffe: Vorkommen, Verwendung, Nachweis“, Hamburg 1993, das die Verwendung der Farbstoffe folgendermaßen zusammenfasst:

II - 6 Die Zeit ab 1700 bis zur Vorherrschaft der synthetischen Farbstoffe

Färberei mit türkischen Färbepflanzen^{366, 367}

Tab. 21 Türkische Färbepflanzen und ihre Färbungen

Botanischer Name	Volkstümlicher Name	Farbton auf Wolle	Beize	Pflanzenteile zum Färben
<i>Euphorbia rigida</i> M.B. (<i>E. biglandulosa</i> DESF.)	Wolfsmilch-Art	gelb	Al	Ganze Pflanze
<i>Allium cepa</i>	Küchenzwiebel	gelb	Al	Farbige Fruchtschalen
<i>Hypericum empetrifolium</i>	Johanniskraut-Art	gelb	Al	Ganze Pflanze
<i>Mentha longifolia</i>	Roßminze	gelb	Al	Ganze Pflanze
<i>Alnus glutinosa</i>	Schwarzerle	gelb schwarz	Al Fe	Rinde Rinde
<i>Agrimonia eupatoria</i>	Odermennig	gelb	Al	Ganze Pflanze
<i>Tanacetum vulgare</i>	Rainfarn	gelb	Al	Ganze Pflanze
<i>Filipendula ulmaria</i>	Echtes Mädesüß	gelb	Al	Ganze Pflanze
<i>Rhus coriaria</i>	Gerbersumach	schwarz	Fe	Blätter
<i>Rhamnus petiolaris</i>	Kreuzbeeren	gelb	Al	Unreife Beeren
<i>Rhamnus lycioides</i> <i>sp. oleoides</i>	Kreuzbeeren	gelb	Al	Unreife Beeren
<i>Reseda luteola</i>	Wau	gelb	Al	Ganze Pflanze
<i>Anthemisis chia</i>	Hundskamille	gelb	Al	Blüten
<i>Genista tinctoria</i>	Färberginster	gelb	Al	Blätter und Blüten
<i>Salvia triloba</i>	Dreiblättriger Salbei	gelb	Al	Ganze Pflanze
<i>Anthemisis tinctoria</i>	Färberkamille	gelb	Al	Blüten
<i>Vitex agnus-castus</i>	Mönchspfeffer	gelb	Al	Blätter
<i>Hieracum pilosella</i>	Kleines Habichtskraut	gelb	Al	Ganze Pflanze
<i>Digitalis purpurea</i>	Roter Fingerhut	gelb	Al	Blätter

Botanischer Name	Volkstümlicher Name	Farbton auf Wolle	Beize	Pflanzenteile zum Färben
<i>Verbascum densiflorum</i> BERTOL. (<i>V. thapsiforme</i> SCHRAD.)	Großblumige Königskerze	gelb	Al	Blüten
<i>Crocus sativus</i>	Safran	gelb	Al	Stigmata
<i>Berberis vulgaris</i> , <i>B. crataegina</i>	Berberitzen- Spezies	gelb		Rinde, Wurzelrinde
<i>Curcuma domestica</i>	Kurkuma	gelb	Al	Rhizome
<i>Cotinus coggygria</i>	Fisetholz	orange	Al	Kernholz
<i>Frangula alnus</i>	Faulbaum	gelbbraun	Al	Rinde
<i>Lawsonia inermis</i>	Henna	ocker	Al	Blätter
<i>Rubia tinctorum</i>	Krapp	rot violett	Al Fe	Wurzeln
<i>Rubia peregrina</i>	Wilder Krapp	rot	Al	Wurzeln
<i>Dactylopius coccus</i>	Cochenille	rot	Al	Farbstoffinsekt
<i>Kermes vermilio</i>	Kermes	scharlach	Al	Farbstoffinsekt
<i>Kerria lacca</i>	Lac -Dye	rot	Al	Farbstoffinsekt
<i>Carthamus tinctorius</i>	Saflorkarmin	rosa auf Seide	-	Blüten
<i>Alkanna tinctoria</i>	Alkannawurzel	violett	Al	Wurzel
<i>Isatis tinctoria</i>	Waid	blau	-	Blätter
<i>Juglans regia</i>	Walnußbaum	braun	-	Grüne Nußschalen, Blätter
<i>Quercus macrolepis</i>	Knopperrn	schwarz	Fe	Fruchtbecher
Gallen von <i>Quercus</i> <i>infectoria</i>	Aleppogallen	schwarz	Fe	
<i>Punica granatum</i>	Granatapfel	schwarz	Fe	Fruchtschale

STAUBBELASTUNGSGRAD DES TEPPICHS, ORT DER HÄNGUNG / DER AUFBEWAHRUNG, KONTAMINIERTER NACHBAROBJEKTE ALS HINWEISE AUF EINE EVENTUELLE QUERKONTAMINIERUNG

Diese externen Kriterien wurden berücksichtigt und ausgewertet angesichts der Tatsache, dass sie die Messergebnisse beeinflussen können. Staub kann Elemente beinhalten (z. B. Blei), welche sich in den Messergebnissen der Teppiche niederschlagen können. Durch die Nähe zu anderen kontaminierten Objekten, seien das andere Textilien, Teppiche oder Holzobjekte, wie oft Gestühle oder Emporenbrüstungen, kann es durch kontaminierten Raumstaub zu Querkontaminierungen kommen, was bei der Auswertung der Messergebnisse ebenfalls berücksichtigt werden muss. Nicht zuletzt üben Partikel oder Ausdünstungen des Mauerwerks, auf dem die ausgestellten Teppiche in manchen Fällen direkt aufliegen, einen Einfluss auf die Messwerte aus, weshalb diese auch in Betracht gezogen werden müssen.

AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE DER ELEMENTANALYSEN

Messergebnisse, die einen erhöhten Anteil von **Chlor** (Cl) aufweisen, gelten als Hinweis auf eine Behandlung der Objekte mit permethrinhaltigen Substanzen. Wie oben erwähnt, ist uns eine einzige Kampagne für die Behandlung einer Gruppe der Teppiche mit dem Mittel Eulan SPA überliefert, wobei uns sowohl durch Aufzeichnungen im Werkstatttagebuch als auch durch Markierungen am Objekt selbst die betroffenen Teppiche mit ziemlicher Genauigkeit überliefert sind. Nichtsdestotrotz können weitere nachträgliche, nicht verzeichnete Behandlungen nicht ausgeschlossen werden. So können z. B. anhand mündlicher Mitteilungen Anwendungen von handelsüblichen, teilweise permethrinhaltigen Mottensprays u. a. an den Teppichen in den Ortschaften Kronstadt, Mediasch und Schässburg vermutet werden.

Betrachtet man die Höchstwerte für Chlor am Standort Kronstadt, fällt auf, dass alle Teppiche aus dieser Gruppe entweder nachweislich von Era Nussbächer in den 1990er Jahren eulanisiert (wie etwa Kronstadt III/260, III/269, III/272, III/244, III/276, III/250, III/249, Repts III/48, III/45) oder einer frühen Konservierung unterzogen worden sind. So wurden manche noch durch Albert Eichhorn konserviert (etwa Kronstadt III/164, III/213, III/255, III/186) oder von Era Nussbächer am Anfang ihrer Tätigkeit, in den Jahren 1973-75 gewaschen und restauriert (z.B. Kronstadt III/223, III/267, III/165, III/260, III/269 usw.). Dadurch lässt sich vermuten, dass permethrinhaltige Substanzen, vielleicht sogar durch die Vermittlung von dem gleichen Richard Suhany, der das Eulan SPA auch in den neunziger Jahren nach Kronstadt gebracht hat, angewandt wurden.

Gleichzeitig gelten allgemein die nachweislich durch Era Nussbächer in den neunziger Jahren eulanisierten Teppiche nicht als absolute Spitzenreiter; auffällig höhere Chlorwerte sind bei Teppichen zu verzeichnen, über deren Konservierung wir sehr wenig wissen, wie z. B. Weidenbach III/13 mit einem Messwert von 4500 ppm Chlor (Median 196 ppm bei 729 gültigen Werten), oder Marpod III/12 mit einem Messwert von über 5500 ppm Chlor (Median 257 bei 1162 gültigen Werten). Die Tatsache, dass alle aus Weidenbach

stammenden Teppiche (neben dem erwähnten III/13, auch Nummer III/12 und III/14) außerordentlich hohe Messwerte aufweisen, lässt vermuten, dass eine Behandlung vor der Ankunft dieser Objekte im Sammeldepot in Kronstadt geschehen sein muss.

Auffällig hoch sind die Messwerte für Chlor für die gesamten Sammlungen in Schässburg und Honigberg, obwohl eine Behandlung nicht nachweisbar ist. In Schässburg kann das mit der speziell hier durchgeführten Konservierungskampagne in den vierziger Jahren des 20. Jahrhunderts zusammenhängen, wobei die Teppiche auch eine Mottenbehandlung erfahren haben könnten. In Honigberg wurden die Teppiche auch nach ihrer Wiederentdeckung im Jahr 1971 konserviert und laut mündlicher Mitteilung von Zeitzeugen „mit Chlor behandelt“ (Erika Popescu, 9. August 2014). Die genauen Maßnahmen lassen sich zur Zeit nicht ermitteln.

Eisen (Fe) ist ein verbreitetes Beizmittel, das bei der Färbung der Wollfaser vor dem Knüpfen der Teppiche angewendet wurde. So nahm man es als Beize zum Färben mit den Pflanzen Schwarzerle oder Gerbersumach, um die Farbe Schwarz zu erzielen, mit Krapp, um unterschiedliche Nuancen von Violett oder die Farbe Braun zu gewinnen. Die eisenhaltigen Farbstoffe haben die Faser oft angegriffen und führten zu ihrer Degradation, so dass bei manchen Teppichen durch Abrieb die schwarzen, braunen oder mauven Florbereiche fast gänzlich verschwunden sind.

Mit großer Sicherheit können Messwerte, die eine Präsenz von Eisen in den Teppichen zeigen, auf herstellungsbedingte Faktoren zurückgeführt werden. Höhere oder niedrigere Werte ergeben sich dadurch, ob die Messpunkte vollständig in Bereichen liegen, die durch Einbringung von Eisen gefärbt wurden (wie etwa Bartholomä III/15, III/18, BIRTHÄLM III/64, Honigberg III/10, Keisd 2) oder nicht, bzw. ob die Wollfasern auf den genannten Flächen gut oder schlecht erhalten sind.

In zahlreichen Fällen (wie etwa Bogeschdorf III/15, Kronstadt III/160 oder III/165) können hohe Eisenwerte auf spezifische Flecken wie z. B. Tinte zurückgeführt werden.

Die gleichzeitig auftretende Präsenz von **Quecksilber** (Hg) und **Schwefel** (S) wie etwa bei den Teppichen Bartholomä III/18, BIRTHÄLM III/59 oder III/61 könnte unter Umständen auf der Einsatz von Cinnabarit als Farbstoff deuten, jedoch ist dessen Verwendung in der Textilfärberei nicht belegt und konnte bei den an osmanischen Teppichen durchgeführten Farbanalysen des Budapester Museums für Angewandte Kunst auch nicht nachgewiesen werden, weshalb man hier eher von einem Zufall ausgehen muss.

Tatsächlich könnten Sulfonamidderivate als Insektenschutzmittel eingesetzt worden sein; aus den uns zur Verfügung stehenden Daten zur Konservierung des Bestands kann der Zeitpunkt einer möglichen Einbringung aber nicht identifiziert werden. Die auffällig hohen Werte der Teppiche aus der Mediascher Region, inklusive BIRTHÄLM, können auf die Umweltverschmutzung der Buntmetallhütte in Kleinkopisch (Copșa Mică) zurückgeführt werden.

Die gemessenen **Bleiwerte** (Pb) könnten mit der Staubbelastung der frei in den Kirchenräumen ausgestellten Teppiche zusammenhängen, allerdings lässt sich kein

konsequenter Zusammenhang zwischen dem Grad der Staubbelastung und den gemessenen Bleiwerten feststellen.

Die gemessenen erhöhten **Phosphorwerte** (P) können mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine Behandlung der Teppiche mit Phosphoniumsalzen zurückgeführt werden, was allerdings im Falle dieser Gruppe nicht belegt ist. Analysiert man die tabellarische Aufstellung, fällt auf, dass die gemessenen höheren Phosphorwerte typisch für die in den früheren Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts konservierten Teppiche zu sein scheinen, so z. B. für die Schässburger Sammlung, die in den 1940er Jahren konserviert wurde, sowie für einzelne früh konservierte Teppiche, wie etwa Kronstadt III/160.

Überraschend sind die teilweise extrem hohen Messwerte für **Kalzium** (Ca). Eine naheliegende Erklärung aus dem Kontext der Aufbewahrung der Teppiche wäre der Kontakt der Textilien mit der Kirchenwand, auf der sie oft direkt aufliegend ausgestellt sind. Gleichfalls sind Kalk- oder Wandfarbenspritzer oft als typische Flecken auf den Teppichen in Siebenbürgen verzeichnet, die als Folge der Nichtabdeckung der Teppiche während Sanierungsarbeiten zu verbuchen sind. Die tabellarische Auswertung kann diese Schlussfolgerung allerdings nicht unterstützen: die höchsten Kalziumwerte fallen nicht mit an der Wand ausgestellten oder durch Kalk verschmutzten Teppichen zusammen.

Die Anwesenheit der Elemente **Kupfer** (Cu), **Zinn** (Sn) und **Arsen** (As) kann aus der bekannten Historie der Teppiche nicht erklärt werden.

Die Beantwortung der Frage, worauf die Anwesenheit der einzelnen Elemente in den Teppichen letztendlich zurückzuführen sei, bzw. inwiefern höhere, teilweise alarmierend hohe Werte ebenfalls durch Umwelteinflüsse oder Verwendung von Putz- oder Waschmitteln zu erklären sind, sowie die Bestimmung der Behandlungsmittel, woraus – je nach Verwendungszeitraum der einzelnen Substanzen – ggf. eine Kontaminierungsgeschichte abzulesen ist, bleibt Aufgabe der Naturwissenschaft.

AUSWERTUNG DER KEYENCE-BILDER

Während des im Sommer 2014 stattfindenden Schadstoffscreenings bestand die Möglichkeit, mittels eines digitalen 3D Keyence-Mikroskops Nahaufnahmen von den Fasern zu machen, um festzustellen, ob und inwiefern die Schadstoffbelastung der Teppiche eine sichtbare Zerstörung der Faser bewirkt. Auf dem liegenden Teppich wurden zwölf Messpunkte markiert, die nach einem bestimmten Muster verteilt wurden und an denen RFA-Messungen durchgeführt wurden. Parallel dazu lief die Untersuchung des gesamten Teppichs mit dem Keyence-Mikroskop. Um möglichst aussagekräftige Daten zu erlangen, wurden Messpunkte, die bei der RFA auffällig hohe Biozidwerte aufwiesen, auch unter dem Keyence-Mikroskop betrachtet. Umgekehrt wurden an Stellen, an denen mit dem Mikroskop Auflagen oder Veränderungen zu erkennen waren, RFA-Messungen vorgenommen.

Vergleicht man die Mikroskopaufnahmen der Teppiche, die die höchste Belastung aufweisen, kann man einige typische Schadensbilder beobachten.

Die Aufnahmen decken die mikroskopische Welt der Objekte auf und machen zahlreiche schädliche, jedoch nicht auf Biozidbehandlung zurückzuführende Phänomene sichtbar: Überreste von Insekten, Larvenhüllen, Exkrementen (wie etwa auf Bartholomä III/19, Brenndorf III/19, Grossschenk III/56, Mediasch 509, Mühlbach III/43, Mühlbach III/44, Reps III/42, III/46, Weidenbach III/12), Spinnweben (Kronstadt III/165), Wachs- und sonstige Flecken und Verkrustungen (wie etwa auf Kronstadt III/202, III/208, III/211, III/220, Alzen, BIRTHÄLM III/61, Honigberg 10, Mediasch 508, Weidenbach III/12), Schimmelbefall (Bogeschdorf III/15, Mediasch 512, 514, 528), Staub oder Staub von der Wand (Honigberg 3, Mühlbach III/41, Schässburg 533, 534, 1017) sind zu beobachten. Zwar lassen sich diese nicht auf eine Biozidbehandlung zurückführen, jedoch binden die verunreinigten Stellen offensichtlich die Biozide in besonderem Maße, weshalb die Verschmutzungen indirekt die Kontamination unterstützen und aufrechterhalten.

Es sind partikelförmige und krustenartige Auflagen auf den Fasern zu identifizieren, die sich von Staub- oder sonstigen Verschmutzungen wie Wachs, Spinnweben oder Insektenresten unterscheiden lassen. Die weißen, mikroskopischen Partikel haften gleichmäßig verteilt an den aufstehenden Fasern. Dabei sind teilweise auch kristalline Teilchen oder schuppenartige Partikel entdeckt worden, wie etwa bei den Teppichen Kronstadt III/194, Mediasch 508, Mediasch 514, Mühlbach III/44, Reps III/41, die als Biozidkristalle zu deuten sind und die durch ihre spezifische Struktur besonders schädlich für die Faser sein können.

Gleichfalls können manche am Grundgewebe anhaftende Verkrustungen (wie etwa am Teppich Langenthal III/35, Mediasch 506, 516, Mühlbach III/50, Reps III/37) als Ablagerungen unterschiedlicher angewandter Substanzen gedeutet werden, mit denen die Teppiche während der letzten Jahrhunderte behandelt wurden.

Auf ein Eindringen der Biozide tief ins Faserinnere deuten Aufnahmen hin, auf denen Fasern mit sichtbaren weißen Einschlüssen zu beobachten sind (etwa BIRTHÄLM III/63, III/64, Mediasch 513, Kronstadt III/160, III/206, III/229, III/172, Schässburg 1020).

Ein weiteres Phänomen, das an manchen höchstkontaminierten Teppichen wahrgenommen werden konnte, waren Florhaare, deren Enden einen gedunkelten, teilweise angesengten Eindruck machten (siehe z.B. Kronstadt III/160, III/174, III/194, III/291, BIRTHÄLM III/64, Mediasch 510, Wurmloch III/21, Weidenbach III/12). Dieses Schadensbild korrespondiert oft mit einer flächigen, gelblich braunen Verfärbung des Teppichs sowie einem spröden und trockenen Griff, die eindeutig als Spuren einer ehemaligen Oberflächenbehandlung gedeutet werden können, welche die Faser angegriffen hat.

Keine dieser Auffälligkeiten lässt sich mit letzter Sicherheit auf den Einfluss von Bioziden zurückführen. Zwar sind in der Regel unter den Messpunkten eines Teppichs jene, die besonders viele punktuelle oder krustenförmige Auflagen aufweisen, stärker mit Bioziden kontaminiert als solche, an denen die Fasern sauber wirken, ein Zusammenhang zwischen

dem absoluten Grad der Biozidkontamination und dem Ausmaß der Auflagen lässt sich jedoch nicht feststellen. Dies bedeutet, dass zwei Messpunkte an zwei unterschiedlichen Teppichen, die den Keyence-Mikroskopbildern zufolge die gleiche Menge an Auflagen zeigen, bei der RFA-Untersuchung sehr unterschiedliche Werte aufweisen können.

Die Möglichkeit, dass es sich bei den Auflagen nicht um Biozidkristalle, sondern um Verschmutzungen des Teppichs handelt, die teilweise in Form von Staubpartikeln an den Fasern haften (punktuelle Auflagen) bzw. sich in komprimierter Form am Grundgewebe festgesetzt haben (krustenförmige Auflagen), konnte nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Die in Relation zu den Messpunkten mit weniger Auflagen erhöhten Biozidwerte würden sich somit daraus ergeben, dass an besonders verunreinigten Stellen eine Konzentration von Staubpartikeln vorliegt, an die sich bereits im Teppich vorhandenes Biozid gebunden hat. Eine Erklärung für die angesengten Faserenden und das ausgetrocknete Erscheinungsbild mancher Teppiche könnte darin zu finden sein, dass diese neben einem der Öfen hingen, mit denen die Kirchen im Winter beheizt wurden und sie somit über längere Zeit hohen Temperaturen ausgesetzt waren. Weitere Anhaltspunkte für die Zuordnung dieser Schadensbilder werden die am Originalobjekt durchgeführten Dekontaminierungsversuche und getätigten Beobachtungen liefern können.

Unabhängig von der tatsächlichen Herkunft dieser Auflagen ist die gravierende Belastung, die diese Verunreinigungen für die Fasern der Teppiche darstellen und der schädigende Einfluss, den sie auf deren Erhalt ausüben offensichtlich, weshalb die Reinigung der Teppiche und die Aufrechterhaltung eines möglichst sauberen Zustands unbedingt als mittel- oder langfristiges Ziel angesehen werden muss.

ANHANG 3.: AUSWERTUNGSTABELLE DER TEPPICHE MIT DEN HÖCHSTEN MESSWERTEN

Entwicklung eines Verfahrens zur Entgiftung und Reinigung der anthropogen geschädigten osmanischen Teppiche aus der Sammlung der Evangelischen Kirche A. B. Rumänien mittels Extraktion von biozidhaltigen Substanzen in flüssigem Kohlendioxid

AZ: 30311-45

Bericht

über die

Ausstattung des Spezialdepots und des Teppichkompetenzzentrums

Dr. Ágnes Ziegler

Die Tatsache der Biozidbelastung der osmanischen Teppiche erfordert neben der wichtigen Aufgabe der Ermittlung möglicher Dekontaminierungsmethoden und der mittelfristig erzielten Extraktion der Substanzen auch ganz dringende und unumgängliche konservatorische Aufgaben. Nachweislich kontaminierte Teppiche müssen aus den offenen Ausstellungen zurückgezogen und getrennt gelagert werden, erfordern Spezialverpackung und einen besonders umsichtigen Umgang, der besonderes Augenmerk auf den Arbeitsschutz und den Schutz des Umfeldes legt. Das ist der Grund dafür, warum die Maßnahmen für den Ausbau einer Infrastruktur für die Arbeit mit den Teppichen den wichtigen konservatorischen Teil dieses Projektes darstellen.

Stützpfeiler dieser Infrastruktur stellen das mustergültige Spezialdepot und das sogenannte Teppichkompetenzzentrum dar, die im Folgenden in Kürze umrissen werden.

Das Teppichkompetenzzentrum, das institutionell dem Denkmalressort der Evangelischen Kirche A.B. in Kronstadt zugehört, stellt sich die Koordination der Maßnahmen für den Erhalt und die Pflege der osmanischen Teppiche innerhalb der Evangelischen Kirche A.B. Rumänien als Aufgabe. Innerhalb der evangelischen Landeskirche besitzen zwölf Kirchengemeinden osmanische Teppiche, insgesamt sind 365 Objekte zu verwalten. Abgesehen von den Ortschaften Kronstadt und Hermannstadt können die Besitzer dieser Teppichsammlungen keine Konservierungsfachkraft beschäftigen und mangels einer entsprechenden Vernetzung können Fachkräfte auch nicht episodisch herangezogen werden. Deshalb ist eine kompetente Koordination seitens der Ortschaft mit der größten

Teppichsammlung des Landes wünschenswert, angesichts der Situation des kontaminierten Bestandes auch unbedingt notwendig.

Das Teppichkompetenzzentrum sollte in erster Linie „Hilfe zur Selbsthilfe“ leisten und ein Netzwerk von vor Ort in den Gemeinden wirkenden sog. Teppichpaten ausbauen und ausbilden, die grundlegende Aufgaben übernehmen und ein grundsätzliches Monitoring leisten können. Es sollte als Anlaufpunkt für alle Fragen, Herausforderungen und Probleme betreffend osmanischer Teppiche gelten, Assistenz bieten und aktiv unterstützen z.B. bei Leih- und Reoproanfragen, bei der Erarbeitung eines *Integrated Pest Management* Systems usw. Gleichfalls sollte es Restauratoren vermitteln, die kleine konservatorische Aufgaben (z. B. Entstauben, Reparaturen an der Montage, Objektschutz im Falle von Putz- oder Sanierungsarbeiten) an dem Ausstellungsort der Teppiche durchführen können. Das Kompetenzzentrum sollte aber auch die Möglichkeit bieten, mittelgroße Eingriffe an den Teppichen zu tätigen, z. B. Absaugen, Gefrierbehandlungen durchführen, kleine Reparaturen vornehmen, bzw. Bestandteile der Montage (Gurtbänder, Unterlagstoffe, Inventarnummer) anzubringen und abzunehmen. Diese letzte Aufgabe ist besonders wichtig, da in Folge unseres genauen Wissens über die Kontaminierung die gesamte Ausstellung der osmanischen Teppiche in Siebenbürgen geändert werden muss, indem man kontaminierte Objekte ins Depot zurückführt und nur nicht oder wenig kontaminierte in der Ausstellung belässt, jedoch unter deutlicher Verbesserung der Ausstellungsbedingungen und der Montage.

Das Musterdepot soll eine zentrale Lagerungsstätte für Teppiche werden, die aus konservatorischen und kunsthistorischen Gründen sowie aufgrund ihres Kontaminierungsgrades nicht ausgestellt werden sollen oder können. Dazu gehören auch die Teppiche, deren Besitzergemeinden sich die Aufbewahrung vor Ort nicht mehr zumuten können. So soll es sich für die dauerhafte Aufbewahrung der Teppiche eignen und gleichzeitig als vorübergehende Lagerungsstätte für Objekte gelten, die gerade behandelt worden sind oder auf Eingriffe warten.

Die Tatsache der Kontaminierung der Teppiche erhöht die Stufe der Sicherheitsmaßnahmen, die dieses Depot erlauben soll und die nun Aspekte wie Quarantäne, Querkontaminationsgefahr oder erhöhten Arbeitsschutz berücksichtigen muss.

Derzeit befinden sich diese beiden Einrichtungen (Kompetenzzentrum und Depot) in Räumlichkeiten der evangelischen Kirche A.B. in Kronstadt, in vier Zimmern des alten

Pfarrhauses, auf einer Gesamtfläche von 70 m². Der Umzug des Kompetenzzentrums und des Depots in ein anderes Gebäude (das aktuelle A-Gebäude der Honterusschule im Hof der Schwarzen Kirche), wo es eine Gesamtfläche von 200 m² einnehmen würde, konnte innerhalb des laufenden Projektes nicht geleistet werden, wird aber mittelfristig unbedingt vorgenommen werden.

Wie oben bereits angedeutet, haben das Zentraldepot und das Teppichkompetenzzentrum ihre Arbeit innerhalb der Evangelischen Kirche A.B. Kronstadt schon im Jahr 2011 aufgenommen. Dabei wurden grundlegende konservatorische Maßnahmen durchgeführt, es konnte jedoch nicht jenseits von einfacher Schadensbegrenzung und von Noteingriffen interveniert werden.

Die Kirchengemeinde konnte die erwähnten Räumlichkeiten, das Fachpersonal, rudimentäres Einrichtungsmobiliar und eine Anlage für die Gefrierbehandlung zur Verfügung stellen. Damit konnte eine Grundlage für den Ausbau eines landesweiten Teppichnetzwerkes geschaffen werden, innerhalb dessen Objekte durch z. B. Gefrierbehandlung von Insektenbefall befreit werden konnten.

Die notwendige Basisausstattung des Kompetenzzentrums und des Depots mit Mobiliar, Apparatur, Werkzeug und Materialien konnte nun im Rahmen des Teppichprojekts weitestgehend realisiert werden. Erst diese Ausstattung ermöglicht das aktive Funktionieren beider Einrichtungen. Im Folgenden werden die getätigten Erwerbungen, nach Aufgabenbereichen gegliedert, dargestellt:

Teppichkompetenzzentrum:

- Koordination, Assistenz und Beratung in Fragen betreffend Teppiche: Laptop, Drucker, externe Festplatten, Fotoapparat und Zubehör für Objektfotographie
- Konservatorisches Monitoring und Eingriffe vor Ort: Leiter, transportabler Tisch, Kabeltrommel, Scheinwerfer, Werkzeugkiste, Schutzkleidung, Transportkisten für Teppiche, Temperatur-, Luftfeuchtigkeits-, Lux- und UV-Messgeräte, Klimadatenlogger.
- Konservierungseingriffe im Kompetenzzentrum: Materialrollenspender, Scheinwerfer, Lupenlampe, Arbeitsstühle, Waschmaschine, Nähmaschine, Bügeleisen, Absauganlage, Museumsstaubsauger.

Depot:

- Spezialmobiliar (Teppichstellagen), Befeuchtungsgeräte, Entfeuchtungsgeräte, Klimadatenlogger, Verpackungsmaterial, Brandmeldeanlage, Löschesystem, Filterstaubsauger.

Konkrete Ergebnisse der erweiterten Tätigkeit des Teppichkompetenzzentrums sind bereits vor Projektende zu verzeichnen.

- Dank der elektrotechnischen Ausstattung konnte das wertvolle und umfangreiche Inventar der Teppiche gesichert werden. Im Sommer 2015 steht das Einpflegen des Inventars in eine Datenbank und die Erweiterung der Inventarinformationen an, die dank der angeworbenen Apparatur ermöglicht wird.
- Neue Klimadatenlogger konnten bereits in den Kirchen in Kronstadt, Mediasch, Petersberg und Neppendorf aufgestellt werden. Während der Herbst- und Wintermonate 2015/2016 werden die jahreszeittypischen Umweltbedingungen der Kirchenräume zusätzlich dazu mit den neuen Messgeräten überprüft. Die Informationen werden dann zu Komponenten, die der umfangreichen Neukonzeption der Ausstellungen dienen. Diese Neuhängung, die den erhöhten Schutz der Objekte und des Publikums vor kontaminierten Teppichen zum Ziel hat bis die Dekontaminierung erfolgen kann, wird durch die erworbenen Werkzeuge und Apparate ermöglicht.
- Mit Hilfe der textiliengerechten Verpackungsmaterialien und des auf Maß hergestellten Spezialmobiliars konnten 120 Teppiche im Kronstädter Depot sicher untergebracht werden, darunter auch stark kontaminierte Objekte wie z. B. die Teppiche aus Weidenbach oder Mühlbach. Das spezielle Verpackungsmaterial verhindert Querkontaminierung und ermöglicht die Schaffung von Quarantänebereichen. Dank der Ent- und Befeuchtungsanlagen können stabile klimatische Bedingungen aufrechterhalten werden, die durch Datenlogger permanent überwacht werden. Die Sicherheit wurde durch den Einbau einer Brandmeldeanlage und eines Löschesystemes deutlich erhöht.
- Durch den Erwerb von Schutzkleidung konnte das Schadstoffscreening im Sommer 2014 unter für die Mitarbeiter sicheren Bedingungen durchgeführt werden und es wurde ermöglicht, dass die Kirchengemeinden mit Spezialmasken, Handschuhen und Schutzanzügen ausgestattet werden, damit der Schutz des Putzpersonals vor Ort gewährleistet werden kann.

Durch diese Infrastruktur wird der sichere Umgang mit den Teppichen und die Schadensbegrenzung, bis eine Dekontaminierung der Objekte erfolgen kann, gewährleistet. Nicht zuletzt werden dadurch auch die Dekontaminierungsmaßnahmen wesentlich unterstützt, ja sogar erst ermöglicht.