

Seltene Schriftzeugnisse des Buddhismus aus der Mongolei.
Konservierung von zwei Mandalas auf Papier.
(Bayerische Staatsbibliothek München, Cod.tibet. 982 und
Cod.tibet. 992)

Bachelorarbeit

Studiengang Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft
Technische Universität München

von

Ann-Kathrin Eisenbach

Abgabetermin:

04. August 2014

Prüfer:

Dr. Irmhild Schäfer

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Prof. Erwin Emmerling für die Möglichkeit bedanken, diese Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft durchzuführen sowie für die wertvollen Anregungen und den gewährten wissenschaftlichen Freiraum.

Des Weiteren danke ich Dr. Irmhild Schäfer, Dr. Thorsten Allscher sowie Heidi Fischer und Karin Eckstein M.A. vom Institut für Buch- und Handschriftenrestaurierung der Bayerischen Staatsbibliothek München für die Themenvergabe und die kontinuierliche Betreuung am Institut. Für die Durchführung der REM-EDX-Messungen danke ich weiterhin Dipl.-Rest. Catharina Blänsdorf.

Besonders bedanken möchte ich mich zudem bei Ralf Kramer von der Orient und Asien-Abteilung für die Übersetzung der tibetischen Begriffe sowie die hilfreichen Erläuterungen ihrer Bedeutung in Bezug auf die buddhistische Kosmologie.

Zusammenfassung

Die Mongolei zählt neben Tibet zum größten Verbreitungsgebiet des tibetischen Buddhismus, der dort auf eine 800-jährige Geschichte zurückblicken kann. In den 1930er Jahren litt der Buddhismus in der damaligen Mongolischen Volksrepublik unter gewaltsamer Verfolgung und Zerstörung. Religiöse Bauten, Schriften und Bilder wurden in dieser Zeit zerstört, Anhänger verfolgt und unterdrückt. Die wenigen erhaltenen Bild- und Schriftzeugnisse sind daher für die heutige Forschung umso wichtiger.

Die Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Konservierung eines mongolischen Mandalas auf Papier aus dem frühen 20. Jahrhundert, die am Institut für Buch- und Handschriftenrestaurierung der Bayerischen Staatsbibliothek München durchgeführt wurde. Die Darstellung gibt die buddhistische Kosmologie wieder und wurde mit modernen Farbstoffen auf einem halb-transparenten, flexiblen Papier ausgeführt. Das Mandala wurde in gefaltetem Zustand durch eine verschüttete Flüssigkeit beschädigt, die zu mehreren braun verfärbten, brüchigen und unflexiblen Bereichen geführt hat. Es liegen Verklebungen von Fragmenten anderer Papierbereiche sowie angrenzende große Fehlstellen vor. Der gefaltete und fragile Zustand verhinderte den Zugang zur Darstellung und damit eine zukünftige Nutzung und Präsentation. Ziel der Arbeit war es daher, das Mandala zu entfalten und auf Grundlage kunsttechnologischer Untersuchungen und einer Schadensanalyse ein Konzept für die Restaurierung und die anschließende Lagerung zu entwickeln. Die Farbmittel und Papierfasern wurden auf ihre Eigenschaften untersucht und mit einem Referenzobjekt verglichen. Die Identifikation der schädigenden Substanz konnte mithilfe der analytischen Methoden nur eingegrenzt werden, aber für die restauratorischen Maßnahmen Anhaltspunkte liefern. Die praktische Durchführung der restauratorischen Maßnahmen konnte in Teilen durchgeführt werden, so unter anderem das Auffalten des Mandalas oder das Auslegen von Verwerfungen.

Abstract

Besides Tibet, Mongolia is the largest distribution area of the Tibetan Buddhism and looks back over a period of 800 years of history. In the 1930s, the Buddhism in the former Mongolian People's Republic suffered under violent persecution and destruction. Religious buildings and works of art were destroyed, Buddhists persecuted and suppressed. The few surviving written records are therefore even more important for current studies.

The Bachelor Thesis deals with the preservation of a Mongolian Mandala on paper from the early 20th century, which was conducted in cooperation with the Institute for Book- and Paper Conservation (IBR) of the Bayerische Staatsbibliothek München. The Mandala illustrates the Buddhist cosmology and was executed with modern dyes on a semi-transparent, flexible paper. It was damaged in its folded state by a spilled substance which led to several brown discolored, embrittled and inflexible areas in the paper. Accumulations of dislocated fragments sticking to other parts of the damaged paper and adjacent losses are present. Because of its fragile condition and the folding, access to the image was impeded. Based on technical analysis of the colourant, the fibers and the damaging substance, a concept for conservation and storage was developed. The analysis of the cause of damage could provide guidance for the conservation measures. Finally, it was possible to start the practical implementation of the conservation measures, including the unfolding of the Mandala, the reduction of distortions and the stabilization of the brittle areas.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Geschichtlicher und kunsthistorischer Hintergrund	2
2.1	Tibetischer Buddhismus in der Mongolei	3
2.2	Papierherstellung in der Mongolei	4
3	Beschreibung des Mandalas und der Skizze	7
3.1	Der Begriff „Mandala“	8
3.2	Die buddhistische Kosmologie	9
3.3	Beschreibung des Mandalas (Cod.tibet. 992).....	10
3.3.1	Kunsthistorische Beschreibung	11
3.3.2	Materialbeschaffenheit und Schadenserfassung.....	13
3.4	Beschreibung der Skizze (Cod.tibet. 982).....	16
4	Kunsttechnologische Untersuchungen.....	18
4.1	Spektroskopische Untersuchungen	19
4.1.1	Röntgenfluoreszenz-Analyse	19
4.1.2	UV/VIS-Spektroskopie	22
4.2	Löslichkeit der Farbstoffe in Wasser	24
4.3	Faseranalyse	25
5	Schadensanalyse	32
5.1	Tests auf Löslichkeit, pH-Wert und Säuregehalt	33
5.2	Rasterelektronenmikroskopie mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie.....	34
5.3	Röntgenfluoreszenz-Analyse	37
5.4	Dünnschicht-Chromatographie.....	39
5.5	Schlussfolgerung	40

6	Konzept zur Restaurierung und Aufbewahrung.....	42
6.1	Restaurierung von Dokumenten mit Tintenschaden	43
6.1.1	Schädigungsmechanismen von Eisengallustinten	43
6.1.2	Komplexierung freier Eisen(II)-Ionen	45
6.1.3	Rissverklebungstechniken.....	46
6.2	Konzeptfindung.....	48
6.3	Aufbewahrung.....	52
6.3.1	Schutzverpackung	52
6.3.2	Fragment-Montage.....	54
7	Durchgeführte Maßnahmen	55
7.1	Auffalten	55
7.2	Trennung der verklebten Bereiche	57
7.3	Sicherung des Papierschildes und Drehung des Mandalas	59
7.4	Rückseitige Sicherung der brüchigen Papierbereiche	61
8	Fazit und Ausblick.....	64
9	Literaturverzeichnis	66
10	Glossar	71
11	Abbildungsverzeichnis.....	75
12	Verzeichnis verwendeter Materialien und Geräte.....	77
13	Anhang.....	78

1 Einleitung

Die Mongolei zählt neben Tibet selbst zum größten Verbreitungsgebiet des tibetischen Buddhismus. In den 1930er Jahren litt der Buddhismus in der damaligen Mongolischen Volksrepublik, ähnlich auch in späteren Jahren in der Volksrepublik China, unter Verfolgung und Zerstörung. Religiöse Bauten, Schriften und Bilder wurden in dieser Zeit zerstört, Anhänger verfolgt und unterdrückt. Die wenigen erhaltenen Schriftzeugnisse sind daher für die Forschung umso wichtiger. Von der Galerie für tibetische Kunst, München, erwarb die Orient- und Asienabteilung der Bayerischen Staatsbibliothek München 2008 ein größeres Konvolut buddhistischer Schriftzeugnisse aus der Mongolei, in welchem das hier thematisierte Mandala mit der Signatur Cod.tibet. 992 enthalten war. Dieses wurde vermutlich in der ersten Hälfte des 20. Jahrhundert gefertigt. Die Beschädigung des gefalteten mongolischen Mandalas verhinderte den Zugang zur Darstellung und eine Nutzung und Präsentation.

Ziel der Arbeit am Institut für Buch- und Handschriftenrestaurierung der Bayerischen Staatsbibliothek München war es daher, das Mandala zu entfalten, die verwendeten Materialien sowie die Schadensursache zu untersuchen und ein Konzept zur Restaurierung und Lagerung zu entwickeln. Die praktische Durchführung konnte in Teilen begonnen werden und wird abschließend ebenfalls dargestellt. Um das mongolische Mandala in seinen geschichtlichen und kunsthistorischen Kontext zu setzen, wird zunächst auf die Entwicklung des tibetischen Buddhismus und auf die derzeitigen Kenntnisse zur Papierherstellung in der Mongolei eingegangen. Die anschließenden kunsttechnologischen Untersuchungen geben Aufschluss über die Eigenschaften der verwendeten Farbmittel und charakterisieren das Fasermaterial. Eine Skizze geometrischer Elemente mit der Signatur Cod.tibet. 982 aus dem gleichen Konvolut dient dabei als Vergleichsstück. Die Ergebnisse der kunsttechnologischen Untersuchungen und der anschließenden Schadensanalyse dienen als Grundlage für das anschließende konservatorische und restauratorische Konzept und dessen Durchführung.

2 Geschichtlicher und kunsthistorischer Hintergrund

Zu einer umfassenden Beschäftigung mit einem historischen Schriftzeugnis gehört neben Untersuchungen zur Materialbeschaffenheit und Erhaltungszustand auch die Einbeziehung der historischen, kunsthistorischen und religiösen Zusammenhänge. Der Begriff „Mandala“ (tibet. *dkyil 'khor*) bedeutet wörtlich übersetzt etwa „Mittelpunkt mit Umkreis“. Seine vielschichtige Bedeutung erstreckt sich von rein gedanklichen Visualisierungen bis hin zu zwei- oder dreidimensionale, stofflichen Gebilden, wobei sich Materialität und Herstellungsweise nach dem kultischen Zweck des Mandalas richten. Der tibetische Buddhismus kann in der heutigen Mongolei auf eine fast 800-jährige Geschichte zurückblicken und bleibt mit den politischen Geschehnissen in der Region bis heute verwoben. Deshalb folgt ein Überblick über dessen Entwicklung in der Mongolei. Um die späteren Faseranalysen mit allgemeinen Informationen über die Verwendung und Herstellung von Papier als Beschreibstoff in der Mongolei zu ergänzen, wird eine Einführung in die Papierherstellung in Asien und im speziellen der Mongolei gegeben.

2.1 Tibetischer Buddhismus in der Mongolei

Bereits vor Dschingis Khan war der Buddhismus in den mongolischen Gebieten bekannt, der Einfluss auf das Volk zu dieser Zeit ist jedoch unklar.¹ Unter der Führung Dschingis Khans und seiner Nachfolger eroberten die Mongolen im 13. Jahrhundert weite Teile Innerasiens und Gebiete bis über das Kaspische Meer hinaus und schufen so ein riesiges mongolisches Reich, das jedoch schon ab 1260 in sich bekriegende Teilreiche zerfiel. Das Einflussgebiet beschränkte sich kurz danach, spätestens ab 1368, wieder auf die ursprünglichen Wandergebiete der Mongolen.² Im mongolischen Reich des 13. Jahrhunderts waren neben Buddhismus auch Christentum, Hinduismus, Islam und der einheimische Schamanismus vertreten.³ Den mongolischen Fürsten war jedoch vor allem der lamaistische Buddhismus zur Formung einer politischen Ideologie von Nutzen und wurde daher gefördert.⁴ Mit dem Ende der mongolischen Yuan-Dynastie (1279–1368) verlor er an Bedeutung, bestand jedoch neben anderen Religionsformen bis ins 16. Jahrhundert fort, in dem es zu einer erneuten Verbreitung des tibetischen Buddhismus, *Vajrayana*, der eine Strömung des *Mahayana*-Buddhismus darstellt, kam.

Gesetzliche Maßnahmen, materielle Anreize und Missionsstrategien erreichten in der Folge die Bildung eines tibetisch-mongolischen Buddhismus, der ab dem 16. Jahrhundert zur vorherrschenden Religion in der Mongolei avancierte.⁵ Dabei unterlief der tibetische Buddhismus einer geschickten Anpassung an bestehende religiöse Vorstellungen, beispielsweise wurden einheimische Gottheiten als Schutzgottheiten integriert. Nach dem Sturz der mandschurischen Qing-Dynastie 1911 erklärte sich die *Äußere Mongolei* für unabhängig und bildete zunächst eine Monarchie, ab 1924 nach einer Volksrevolution die *Mongolische Volksrepublik*. Diese wurde 1944 Teil der Sowjetunion. Seit den 1930er Jahren folgte die gewaltsame Unterdrückung des mongolischen Buddhismus: buddhistische Klöster wurden geschlossen und zerstört, Lamas in den Laienstand versetzt oder ermordet.⁶ Mit dem Zerfall der Sowjetunion 1990–1991 wurde die Mongolei zur eigenständigen Republik und erlebt heute ein erneutes Aufblühen der buddhistischen Kultur. Die Innere Mongolei zählt, wie Tibet, zu den fünf Autonomen Regionen der Volksrepublik China. Der Buddhismus erlitt hier ein ähnliches Schicksal der Unterdrückung und Verfolgung, insbesondere unter der Kulturrevolution (1960–1976).

¹ SAGASTER 2005, S. 342.

² WEIERS 2009, S. 7.

³ KOLLMAR-PAULENZ 2005, S. 225.

⁴ WEIERS 2009, S. 38.

⁵ KOLLMAR-PAULENZ 2005, S. 223 ff.

⁶ SAGASTER 2005, S. 347.

2.2 Papierherstellung in der Mongolei

Über den Beginn der Papierherstellung unter den Mongolen ist bisher wenig publiziert. Nach KARA wurde seit dem 13. Jahrhundert neben Birkenrinde oder Seide vor allem Papier für Manuskripte und Drucke verwendet, das jedoch fast ausschließlich importiert worden sei und vor allem aus Leinen, Baumwolle oder Hanf hergestellt war.⁷ Auch CHIODO spricht von aus China importiertem Papier, dessen Kosten den Gebrauch der heimischen Birkenrinde als Beschreibstoff bis ins 17. Jahrhundert förderten.⁸ Im späten 17. Jahrhundert habe sich zudem europäisches, hauptsächlich russisches Papier, unter den Mongolen verbreitet.⁹

Die frühesten überlieferten schriftlichen Schriftzeugnisse stammen aus dem 13. Jahrhundert und sind in Mittelmongolisch verfasst.¹⁰ Als ältestes erhaltenes Schriftzeugnis der klassisch-mongolischen Schrift gilt die *Steinstele des Yisüingge* (1224/25).¹¹ Die Verwendung von Beschreibstoffen hängt zwangsweise eng mit der Entstehung einer Schrift und der Notwendigkeit zu schriftlicher Kommunikation zusammen. Der Verwaltungsapparat des mongolischen Reichs im 13. Jahrhundert benötigte eine eigene Schriftform. Die Umstände zur Entstehung der klassisch-mongolischen Schrift sind aufgrund teilweise widersprüchlicher Informationen nicht ausreichend geklärt, sodass nach CHULUUNBAATAR unterschiedliche Lehrmeinungen vorherrschen und auch die Herkunft nicht eindeutig geklärt werden kann.¹² Nach der bekannteren Lehrmeinung, die u. a. auch KOLLMAR-PAULENZ vertritt, sei die uiguro-mongolische Schrift zwischen 1204 und 1206 aus dem uigurischen Alphabet entwickelt worden.¹³ Sprachgeschichtlich gesehen gehören die frühesten erhaltenen Textbelege bereits der mittelmongolischen Sprachentwicklungsperiode an.¹⁴ Buddhistische Texte wurden in das Mongolische übersetzt, Tibetisch aber für religiöse Texte weiterhin verwendet.

Von China ausgehend verbreitete sich die Kenntnis der Papierherstellung in die benachbarten Länder. Lange galt Tsái Lun, einflussreicher Beamter am chinesischen Kaiserhof in der östlichen Han-Dynastie (25–220 n. Chr.), als der Erfinder des Papiers. In der *Geschichte der späteren Han-Dynastie* berichtet Fan Yeh im 5. Jahrhundert:

„Von alters her wurden zum Schreiben Bambustafeln verwendet, die man zusammenband. Es gab auch ein Papier, das aus Seidenabfällen hergestellt war (Chi). Aber die Seide war

⁷ KARA 2005, S. 233.

⁸ CHIODO 2005, S. 112.

⁹ KARA 2005, S. 234.

¹⁰ WEIERS 2005, S. 106.

¹¹ CHULUUNBAATAR 2008, S. 23 f.

¹² CHULUUNBAATAR 2008, S. 23 f.

¹³ KOLLMAR-PAULENZ 2005, S. 223.

¹⁴ WEIERS 2009, S. 13.

zu teuer und die Bambustafeln waren zu schwer, beide also nicht zur Verwendung geeignet. So fasste Tsái Lun den Plan, aus Baumrinde oder Bastfasern, Hanf und auch aus alten Lumpen und Fischnetzen Papier zu bereiten. Im Jahre 105 n. Chr. berichtete er darüber dem Kaiser, und dieser lobte seine Fähigkeiten.“¹⁵

Papier war jedoch wahrscheinlich schon lange vor Tsái Lun in China bekannt. Ob er eine wichtige Verbesserung beigesteuert, einen neuen Rohstoff vorgeschlagen oder die Technik lediglich durch seine Stellung protegirt und verbreitet hat, ist noch heute Streitthema in der Wissenschaft. Als Beweis, dass Tsái Lun nicht das Papier erfunden haben kann, nennen SANDERMANN und WEBER die in der Nähe von Xi'an 1957 ausgegrabenen Papierfunde, die auf die Zeit zwischen 140–87 v. Chr. datiert werden; SANDERMANN nennt gleich mehreren Quellen, die schon vor Tsái Luns Zeit von Papier berichten.¹⁶

Die Kenntnis der Papierherstellung gelangte von China über Korea zu Beginn des 7. Jh. n. Chr. nach Japan durch buddhistische Mönche.¹⁷ Nach SANDERMANN gelangte die Technik der Papierherstellung zwischen dem 7. und 9. Jahrhundert mit der Wanderung der Thais über Burma, Bhutan und Nepal nach Tibet.¹⁸ Erste Aufzeichnungen über die Papierherstellung in Japan sind aus den Jahren um 610 n. Chr. erhalten.¹⁹

Zur Papierherstellung wurde in China neben dem Bast der Papiermaulbeerrinde (*Broussonetia papyrifera*) auch Hanf, Chinagrass oder Bambus als Zusätze verwendet. In Japan dagegen wurde der Bast der Papiermaulbeerrinde bevorzugt. Durch den Zusatz von Pflanzenschleim zur Fasersuspension wurde die Herstellungstechnik verbessert.²⁰ In den späteren Jahrhunderten kamen Gampi (*Wikstroemia canescens*) und Mitsumata (*Edgeworthia papyrifera*) als Fasermaterial hinzu. In Tibet wurden zur Papierherstellung nach GRÖNBOLD vor allem Seidelbastgewächse (*Thymelaeaceae*), insbesondere der Gattungen *Daphne*, *Edgeworthia* und *Wikstroemia* verwendet.²¹ WEBER nennt für Tibet die lokal angesiedelten Pflanzen *Stellera chamaejasme* (Seidelbastgewächs) und *Wikstroemia canescens*.²² HELMAN-WAŻNY fand in tibetischen Papieren aus der British Library Fasern der *Thymelaeaceae* der Gattungen *Edgeworthia* und *Daphne*.²³

Bei den Methoden zur Papierherstellung kann man zwei Techniken unterscheiden: Die Eingießmethode mit schwimmendem Sieb und die Eintauchmethode. Diese sind eng verbunden mit der Konstruktion der Schöpfrahmen. Bei der Eingießmethode wird die Fasersuspension in ein auf dem Wasser schwimmendes Sieb eingegossen, das Sieb unter

¹⁵ Zitat nach: SANDERMANN 1988, S. 44.

¹⁶ SANDERMANN 1988, S. 45, WEBER 2004, S. 38.

¹⁷ HUNTER 1957, S. 53.

¹⁸ Nach SANDERMANN 1988.

¹⁹ HUNTER 1947, S. 53.

²⁰ SANDERMANN 1988, S. 55.

²¹ GRÖNBOLD 1982, S. 366.

²² WEBER 2004, S. 122f.

²³ HELMAN-WAŻNY 2006, S. 5.

schwenkenden Bewegungen herausgehoben und zum Trocken in die Sonne gestellt. Das Sieb, da mit unbeweglichem Boden aus Baumwollgewebe ausgestattet, kann erst erneut verwendet werden, wenn das Blatt getrocknet ist. SANDERMANN nimmt an, dass die Technik des schwimmenden Siebes durch die Thais nach Thailand gebracht wurde und von Tibet, Burma, Nepal und Bhutan übernommen wurde.²⁴ Die Eingießmethode wird in diesen Ländern noch heute angewandt.²⁵ Zwischen 300 und 600 n. Chr. soll das fortschrittlichere Schöpfsieb aufgekommen sein, bei der ein abnehmbares Sieb in einem Rahmen in die Bütte eingetaucht wird und ein Teil der Fasersuspension herausgeschöpft wird.²⁶ Das feuchte Papierblatt wird unmittelbar zum Trocknen abgenommen. HUNTER argumentiert, dass das Schöpfsieb aufgrund der komplizierteren Konstruktion eine Weiterentwicklung des simplen schwimmenden Siebes darstelle.²⁷ Mit dem Schöpfsieb hergestellte Papiere zeichnen sich durch eine wasserzeichenartige Rippung aus, die durch die parallel gespannten Bambusstreifen oder Drähte entstehen, bei der Eingießmethode entsteht dagegen ein gleichmäßiges bis wolkiges Papier.²⁸

WEBER berichtet von Besuchen bei heutigen Papiermachern in Zentraltibet im Tal von Nyemo und beschreibt den Vorgang der Papierherstellung: Der innere Rindenbast der Wurzel der *Stellera chamaejasme* wurde auseinandergezupft, in Holzaschenlauge gekocht, auf einer Steinplatte geklopft und anschließend in viel Wasser suspendiert.²⁹

Das Papierschöpfen erfolgt dort nach der beschriebenen Eingießmethode. Das Sieb wird dabei ins Wasser gelegt, sodass es das Gewebe bedeckt. Eine bestimmte Menge Fasersuspension wird hinzugegeben, mit den Händen verteilt, das Sieb herausgehoben und zum Trocken abgestellt.

²⁴ SANDERMANN 1988, S. 54.

²⁵ U. a. bei HUNTER 1957; SANDERMANN 1988; GRÖNBOLD 1982.

²⁶ SANDERMANN 1988, S. 47.

²⁷ HUNTER 1957, S. 84.

²⁸ GRÖNBOLD 1982, S. 356.

²⁹ WEBER 2000, S. 124.

3 Beschreibung des Mandalas und der Skizze

Nachfolgend werden das mongolische Mandala (Cod.tibet. 992) und die zu Vergleichen herangezogene Skizze (Cod.tibet. 982) in ihrer Darstellung, Materialbeschaffenheit und vorhandenen Schäden beschrieben. Die Skizze wird in den kunsttechnologischen Untersuchungen als mögliches Vergleichsstück herangezogen, da es im gleichen Konvolut angekauft wurde und eventuell die gleiche Provenienz haben könnte. Der Schwerpunkt der Arbeit und der nachfolgenden Beschreibungen liegt jedoch auf dem mongolischen Mandala. Nähere Erläuterungen zu den kursiv gesetzten buddhistischen Begriffen finden sich im Glossar.

3.1 Der Begriff „Mandala“

Ein Mandala (tibet. *dkyil 'khor*) besteht formal aus konzentrischen Kreisen, die ein Viereck umgeben und mit diesem ein gemeinsames Zentrum bilden – die tibetische Bezeichnung *dkyil 'khor* bedeutet etwa „Mittelpunkt mit Umkreis“. Das diagrammartige Mandala kann in der tantrischen Lehre als Hilfsmittel zur Meditation, Visualisierung oder Initiation³⁰ dienen und dabei sowohl rein gedanklich visualisiert als auch in unterschiedlichster Stofflichkeit hergestellt werden – Materialien und Herstellungsweisen richten sich nach dem kultischen Zweck des Mandalas.³¹ Der Begriff Mandala bezeichnet ebenso den Palast, der den Gottheiten als Wohnsitz dient, die Gottheit selbst, oder den gesamten Kosmos, sowie auch dreidimensionale Gebilde.³²

Die Grundform eines Mandalas wiederholt sich im Grundriss der Stupa oder des indischen Tempels, die damit als Abbild des himmlischen Thronsitzes, des Weltenbergs, gesehen werden können.³³ Mikro- und Makrokosmos sind im buddhistischen Denken untrennbar verbunden. Als Abbild des Universums spiegelt das Mandala einerseits die „*Struktur der physisch-kosmischen Welt, die auch als Weltenberg vorgestellt wird; andererseits [...] die psychisch-geistige Welt des Menschen*“.³⁴ BRAUEN unterscheidet zwischen dem *Äußeren Mandala*, dem Kosmos, und dem *Inneren Mandala*, dem Menschen.

Das Mandala-Ritual – die Darbringung des Kosmos oder der eigenen Persönlichkeit – gilt als eine der besten Methoden, um Verdienste anzusammeln.³⁵ Da innerhalb des Buddhismus unterschiedliche Traditionen mit eigenen, teils divergierenden Lehren und Riten existieren, treten auch in der Symbolik und im Grundaufbau eines Mandalas Abweichungen auf.³⁶

³⁰ BRAUEN 1992, S. 11.

³¹ ESSEN/THINGO 1989 S. 180.

³² BRAUEN 1992, S. 12f.

³³ ESSEN/THINGO 1989, S. 180.

³⁴ ESSEN/THINGO 1989, S. 180.

³⁵ BRAUEN 1992, S. 24.

³⁶ BRAUEN 1992, S. 9.

3.2 Die buddhistische Kosmologie

Es existieren mehrere buddhistische Kosmologien, die sich in Teilen unterscheiden können, ohne dass jede Weltenvorstellung ihre Gültigkeit verliert. Gemäß dem *Abhidharmakosa* besteht das Universum aus einer Vielzahl von Weltensystemen, die zylindrisch über einander gelagert sind und eine gemeinsame, unsichtbare Achse teilen.³⁷ Jedes Weltensystem gliedert sich in die unterirdische, irdische und himmlische Welt. Der Weltenberg *Meru*, eine viereckige Bergsäule, liegt auf dieser Achse und bildet das Zentrum des Universums. Auf seinem quadratischen Gipfel liegt die Stadt *Sudarshana*.³⁸ Vier flacher werdende Terrassen schließen an den Weltenberg *Meru* an. Auf der ersten Terrasse wachen die fünf Buddhas³⁹ über jeweils eine der fünf Himmelsrichtungen (Norden, Süden, Westen, Osten, Zentrum), die übrigen Terrassen enthalten die Nachfolger der fünf Buddhas. Meru wird umgeben von sieben konzentrischen Gebirgszügen, die durch ebenfalls konzentrische Ozeane getrennt sind und nach außen hin immer flacher werden. Im *Großen Äußeren Meer* oder *Salz-Ozean*, der den Berg Meru und die Gebirgszüge umgibt, schwimmen zwölf Kontinente, wobei die vier Hauptkontinente in den vier Himmelsrichtungen von jeweils zwei Inseln umlagert werden: Die Hauptkontinente sind im Osten *Purvavideha*, im Norden *Uttarakuru*, im Westen *Godaniya* und im Süden *Jambudvipa*. Die Welt der Menschen liegt auf *Jambudvipa*. Die Formen der vier Hauptkontinente sind halb-rund, trapezoid, rund und quadratisch; die acht Inseln weisen die Form des Hauptkontinents der jeweiligen Himmelsrichtung auf.⁴⁰ Das gesamte System wird von einer weiteren unüberwindlichen Bergkette begrenzt, der *Cakkavala*-Bergkette (Eisen-Berge).

³⁷ BRAUEN 1992, S. 18ff.

³⁸ BRAUEN 1992, S. 19.

³⁹ Nach HUNTINGTON 2003: Amitabha (Westen), Amoghasiddhi (Norden), Akshobhya (Osten), Ratnasambhava (Süden), Vairochana (Zentrum).

⁴⁰ LODRÓ TAYÉ 2003, S. 110f.

3.3 Beschreibung des Mandalas (Cod.tibet. 992)

Die kunsthistorische Beschreibung des mongolischen Mandalas (Abb. 2) geht auf die vorausgehende Einführung in die buddhistische Kosmologie ein und schlüsselt die Bedeutung der jeweiligen Elemente auf. Anschließend werden die verwendeten Materialien und Farbmittel beschrieben. Abschließend folgt eine Beschreibung des Schadensbildes.

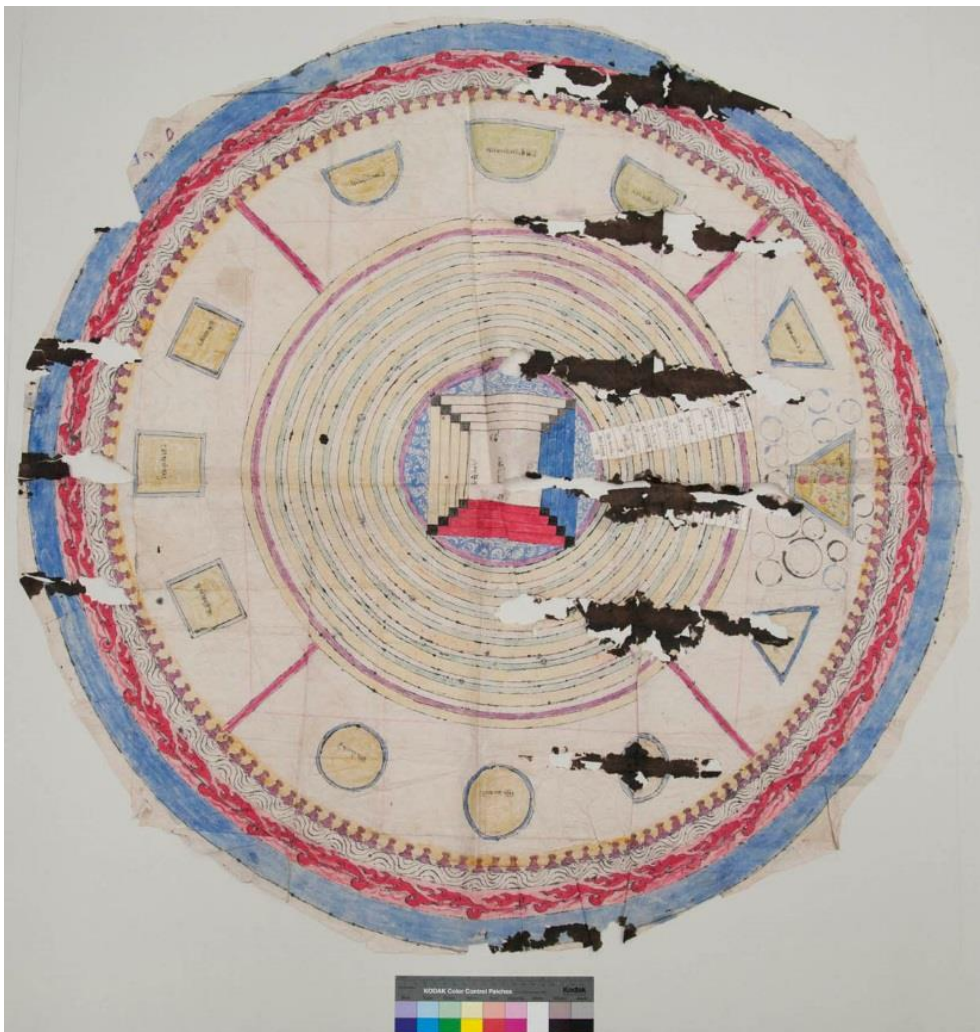


Abb. 1 Das aufgefaltete Mandala vor der Bearbeitung.

3.3.1 Kunsthistorische Beschreibung

Im vorliegenden Mandala ist die buddhistische Kosmologie wieder zu finden. Das zentrale Viereck stellt den Berg Meru dar. Die anschließenden vier Terrassen sind in den Himmelsrichtungen unterschiedlich koloriert: Im Süden blau, im Norden gelb, im Westen rot und im Osten farblos. Diese Zuordnung korrespondiert mit folgender Beschreibung:

“(Viewed from above) Mount Meru is square, with four square slabs (of decreasing size in ascending order). The eastern face of Mount Meru is composed of crystal; the southern, blue beryl; the western, ruby; and the northern, gold. [...] Four (square) slabs form four tiers of terraces around Mount Meru, beginning at sea level and reaching halfway up its height.”⁴¹

Das aufgeklebte Papierschild (Abb. 5) gibt die tibetischen Bezeichnungen der sich anschließenden 21 Ringe wieder, welche in drei Gruppen zu unterteilen sind:

- (I) die „sieben Kontinente“
(1, 4, 7, 10, 13, 16, 19)
- (II) die „sieben goldenen Berge“
(3, 6, 9, 12, 15, 18, 21)
- (III) die „sieben tanzenden Seen“
(2, 5, 8, 11, 14, 17, 20).

Nach dem *Abhidharma* wird der Berg Meru von sieben Gebirgszügen und sieben Meeren umgeben. Die sieben Inseln dagegen könnten der Darstellung des Weltsystems des *Kālacakra* entstammen. Die „sieben Kontinente“ sind vom Künstler jeweils nur als „Kontinent“ (*gling*) bezeichnet, die Bezeichnungen der Berge erfolgte nach der sichtbaren Form ihrer Gipfel. Die Bezeichnungen der „sieben tanzenden Seen“ erscheinen im Mandala dagegen unüblich und unklar.

Die Kontinente und Inseln im Salz-Ozean sind in der jeweiligen Himmelsrichtung halb-rund, trapezoid, rund und quadratisch dargestellt, wobei die tibetische Bezeichnung auf gelbem Grund von einem blauen Band umrahmt wird (Abb. 6). Das Feld für *Jambudvīpa* wurde vom

1	- gling	Kontinent
2	- rol pa'i mtsho	tanzender See
3	- gnya zhing 'dzin	joch[förmig]
4	- gling	
5	- klu'i mtsho	Schlangen-See
6	- gshol mda''dzin	pflugschar[förmig]
7	- gling	
8	- sprin med kyo mtsho	wolkenloser See
9	- seng ldeng can	mit Akazien
10	- gling	
11	- 'o ma'i mtsho	Milch-See
12	- lta na sdug	lieblich zu betrachten
13	- gling	
14	- khrag gi mtsho	Blut-See
15	- rta na	pferdeohr[förmig]
16	- gling	
17	- bkod pa'i mtsho	?
18	- rnam par 'dud	gebogen
19	- gling	
20	- 'ga' pa'i mtsho	?
21	- mu khyud 'dzin	radkranz[förmig]

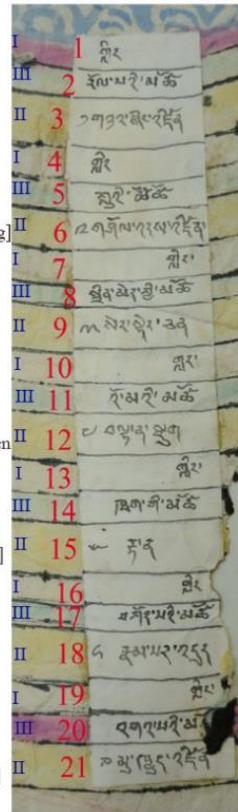


Abb. 2 Übersetzung der tibetischen Begriffe auf dem intakten Papierschild.

Übersetzung: Ralf Kramer, Bayerische Staatsbibliothek.

⁴¹ LODRÖ TAYÉ 2003, S. 110.

Künstler zusätzlich noch mit kleinen blauen Ringen und vier Kreisen in Lila gestaltet. Außerdem wird der Kontinent von 20 blauen und schwarzen Ringen umgeben. Vier lilafarbene Querstreben durch den Salz-Ozean folgen in der gedanklichen Verlängerung den Kanten des Tempels und der Terrassen und unterteilen den Ozean in vier Bereiche oder Himmelsrichtungen. Das Mandala wird abgeschlossen von vier sich nach außen verbreiternden Ringen: ein gelb hinterlegter Ring mit Ochsen- oder Pferdeköpfen, ein mit wellenförmigem, schwarzem Lineament versehener Ring, ein Flammenkreis und ein blau kolorierter Ring. Die abschließenden Ringe könnten als die *Cakkavala*-Bergkette gedeutet werden:

“The outer iron mountain range, (called the Horse-faced) Mountain Range, surrounds the continents and forms the outer border or outer rim (of this world-system). [...] Furthermore, the edge of this ocean touches the Horse-faced Mountain Range; the volcanic fires of this mountain range cause the ocean (to evaporate so that it does) not exceed its limits.”⁴²

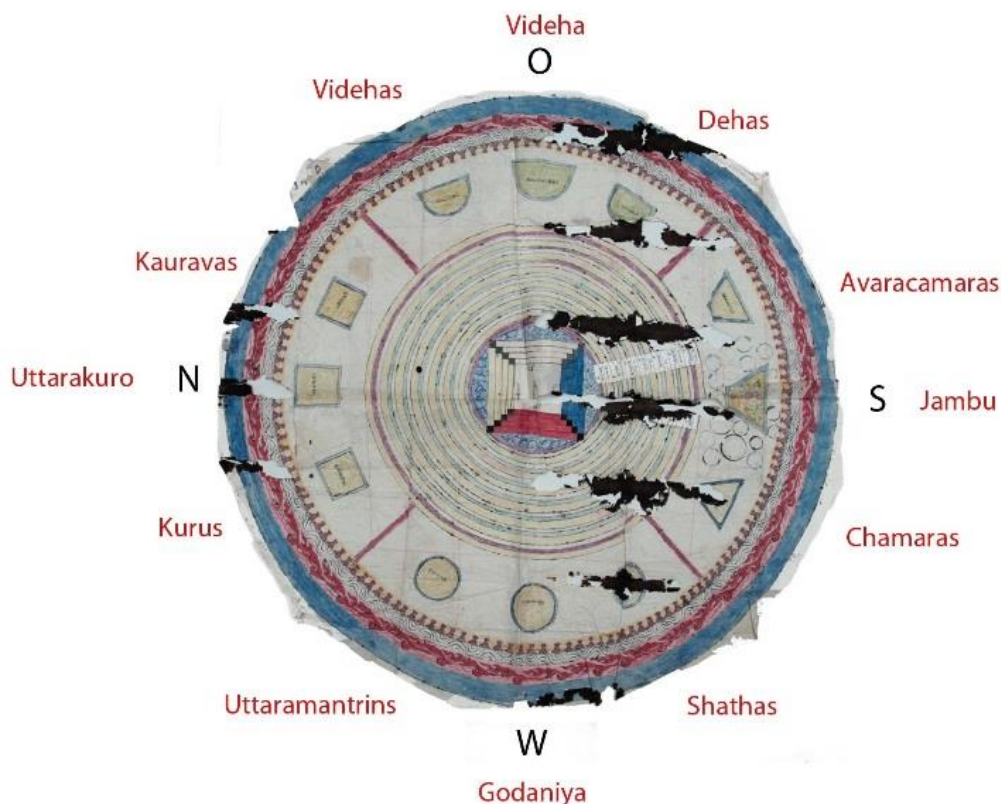


Abb. 3 Die Himmelsrichtungen und Kontinente des Mandalas nach buddhistischer Kosmologie.
Nach Internetquelle 3.

⁴² LODRÓ TAYÉ 2003, S. 111.

3.3.2 Materialbeschaffenheit und Schadenserfassung

Das Papier war ursprünglich mit der Rückseite nach außen zu einem Viertelkreis gefaltet. Die Rückseite ist unbemalt. Die Längskanten des Viertels hatten die Maße 52,5 cm und 56 cm. Das Auffalten des Mandalas wurde ganz zu Beginn dieser Arbeit durchgeführt. Dadurch wurden eine vollständige Übersicht über die beschädigten Bereiche ermöglicht. Nach dem Ausfalten (Abb. 7 oder Kapitel 6) beträgt der Durchmesser an breiter Stelle 101,5 cm.

Das Mandala besteht aus insgesamt 16 unterschiedlich großen, überlappend verklebten Papierstücken, die jeweils unregelmäßige und leicht verschmutzte Kanten aufweisen. Die Überlappung beträgt meist zwischen 5 und 7 mm. In Abb. 7 sind die Überlappungsbereiche der einzelnen Papierstücke markiert. Der Außenrand des Mandalas ist unregelmäßig in eine runde Form zugeschnitten. Die Oberfläche ist offen und weich, das ganze Papier flexibel und biegsam. Das Papier ist gelblich weiß, halb durchscheinend, von variierender Dicke und weist einen unregelmäßigen Faserverbund mit vielen Einschlüssen dickerer Faserbündel oder brauner Partikel auf. Es erscheint kaum oder gar nicht geleimt.

An insgesamt zehn Stellen in unbemalten und bemalten Bereichen, hat ein vermutlich flüssiger Stoff das Papier großflächig getränkt. Die Stellen korrespondieren insofern miteinander, als dass der Stoff vermutlich in gefaltetem Zustand auf das Mandala gelaufen ist und mehrere Schichten durchdrungen hat. In diesen Bereichen ist das Papier braun bis

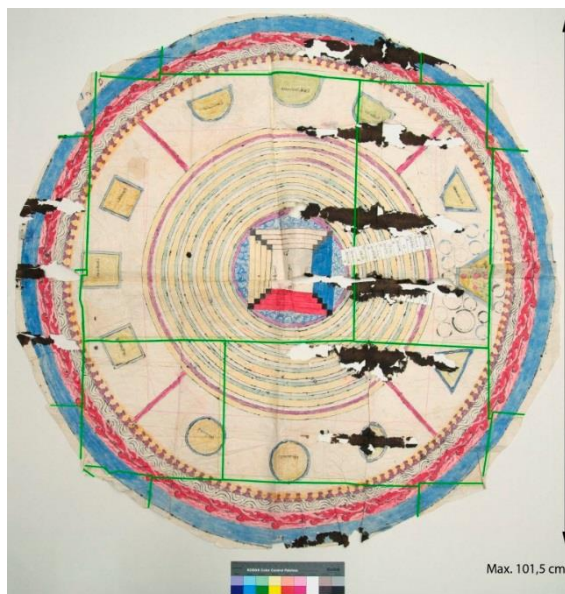


Abb. 4 Überlappungsbereiche der Papierstücke.

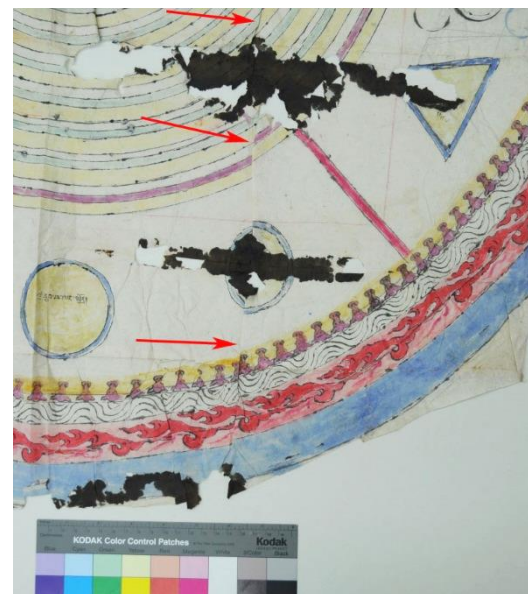


Abb. 5 Beispiel einer in den brüchigen Bereichen verklebten Falte (rote Pfeile).

schwarz verfärbt, unflexibel und brüchig, weist Risse und Umschläge auf und wirkt kompakter. Die Zellulosefasern sind abgebaut. In einigen Bereichen sind mehrere Papierschichten miteinander verklebt. Angrenzende Fehlstellen lassen darauf schließen, dass Teile des beschädigten Papiers schon ausgebrochen sind. Bis auf wenige schwärzlich-glänzende Stellen, meist in Randbereichen der Schäden, ist die Oberfläche auch in diesen Bereichen matt. Das Papier weist zahlreiche Falten, Umschläge und scharf eingepresste Knicke auf, die in den abgebauten Bereichen teilweise miteinander verklebt sind (Abb. 8). Dies ergibt Spannungen im Papier und verhindert eine Planlage. Ohne eine Trennung der verklebten Bereiche ist kein Auslegen möglich (Schadenskartierung im Anhang A). Das Mandala ist oberflächlich leicht verschmutzt und weist einige breitere Flecken auf, die von Schmutz oder Wasserschäden stammen könnten.

Die vermutlich wässrig ausgeführte Malerei ist stark auf die Rückseite durchgeschlagen (Abb. 9). Die Kolorierung wurde skizzenhaft ausgeführt; die Ränder sind teilweise übermalt oder nicht ausgefüllt, der Auftrag selbst ist unregelmäßig. Die Linien wurden mit einer gräulich schwarzen Farbe gezogen, wobei die Intensität variiert und einige Farbspritzer angrenzen. Folgende Farbtöne sind zu unterscheiden: Schwarz, Blau, Rot, Rosa, Purpur, Magenta, Gelb und Grün. Die Farbmittel sind in das Papiervlies eingedrungen und erscheinen oberflächlich matt. Es finden sich einige Papierschilder auf der Vorder- und Rückseite. Zwei längliche Schilder (intaktes Schild: 17,0 x 3,4 cm) aus dichtem, weißen Papier nehmen die Liniatur auf und ergänzen das Original mit Bezeichnungen in tibetischer Schrift. Ein weiteres Papierstück erscheint als eine Art Korrektur eines großen schwarzen Farbspritzers am Rand. Rückseitig findet an einer Längskante des Tempels eine mögliche Verstärkung aus Papier.

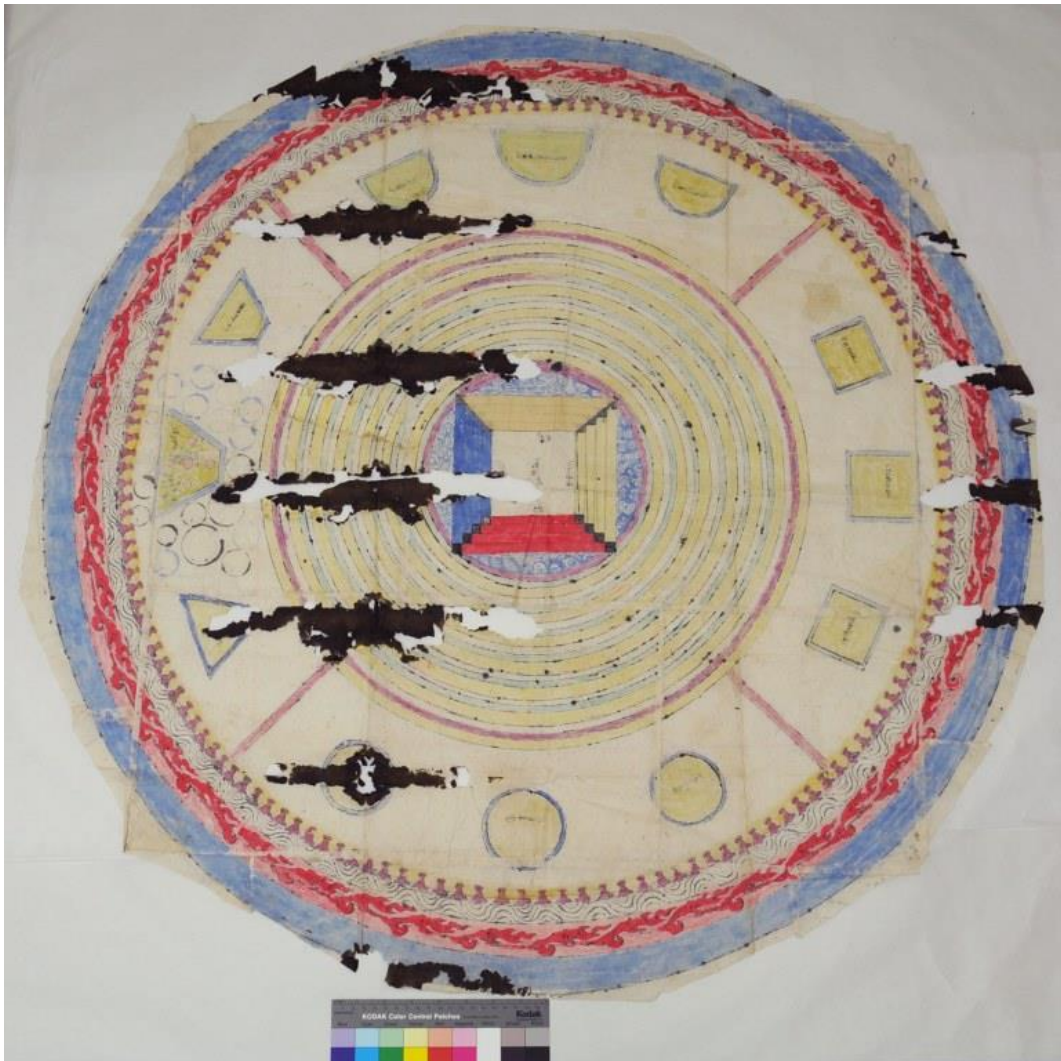


Abb. 6 Rückseite des Mandalas.

3.4 Beschreibung der Skizze (Cod.tibet. 982)

Dargestellt sind mehrere geometrische Formen: ein kreisförmiges Gebilde aus vier unterschiedlich gestalteten Ringen sitzt auf einem quadratischen Rahmen, in welchem ein sechszackiger Stern mit drei Halbmondsicheln ein zweites kreisförmiges, florales Gebilde umschließt (Abb. 10). Die verwendeten Farbmittel beschränken sich auf die Farben Rot, Blau und Gelb sowie das Schwarz der Lineatur. Bei allen Formen kann man zumindest teilweise Bleistiftvorzeichnungen erkennen. Einige Bleistiftlinien umranden die gesamte Darstellung und skizzieren die kolorierten Ornamente. Das Papier misst 51,3 x 48,6 cm und war an vier Ecken mit V-Fälzen auf einen schwarzen Karton montiert. Das Papiervlies ist dünn, durchscheinend und von unregelmäßiger Dichte und Struktur. Der Faserverbund ist unterschiedlich dicht, Einschlüsse von dickeren Faserbündeln oder Faseragglomerationen sowie gelbliche, dickere Faserpartikel bilden eine unebene Oberfläche. Das Papier weist eine deutliche Schöpfsiebstruktur und unregelmäßige Papierkanten auf. Das Papier ist oberflächlich verschmutzt. Einzelne Randbereiche sind umgeschlagen und an den Kanten der Umschläge eingerissen. Zwei relativ große, gelblich-braune Flecken (ca. 4,5 und 2 cm lang) befinden sich mittig auf dem Papier. Hier ist das umliegende Papier verdehnt und wellt sich. Das Papier weist mehrere Falzlinien auf. An den meisten ist das Papier durch das Knicken beschädigt und an wenigen kleineren Stellen bereits gerissen. In der unteren Hälfte des Papiers sind mehrere Fehlstellen zu finden. Die Farbmittel sind aufgrund der Papierbeschaffenheit auf die Rückseite durchgeschlagen (Abb. 11). Das Farbmittel pudert: Abdrücke der Darstellung auf der jeweils gegenüber liegenden Papierhälfte deuten auf eine zeitweise mittig gefaltete Lagerung hin.

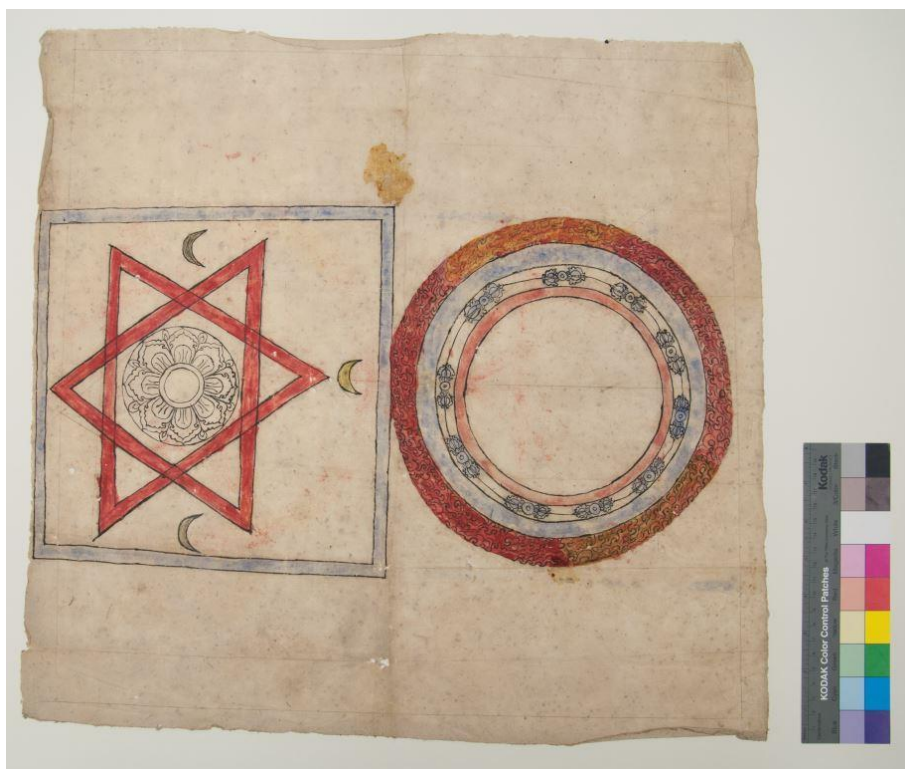


Abb. 7 Vorderseite der Skizze (Cod.tibet. 982).

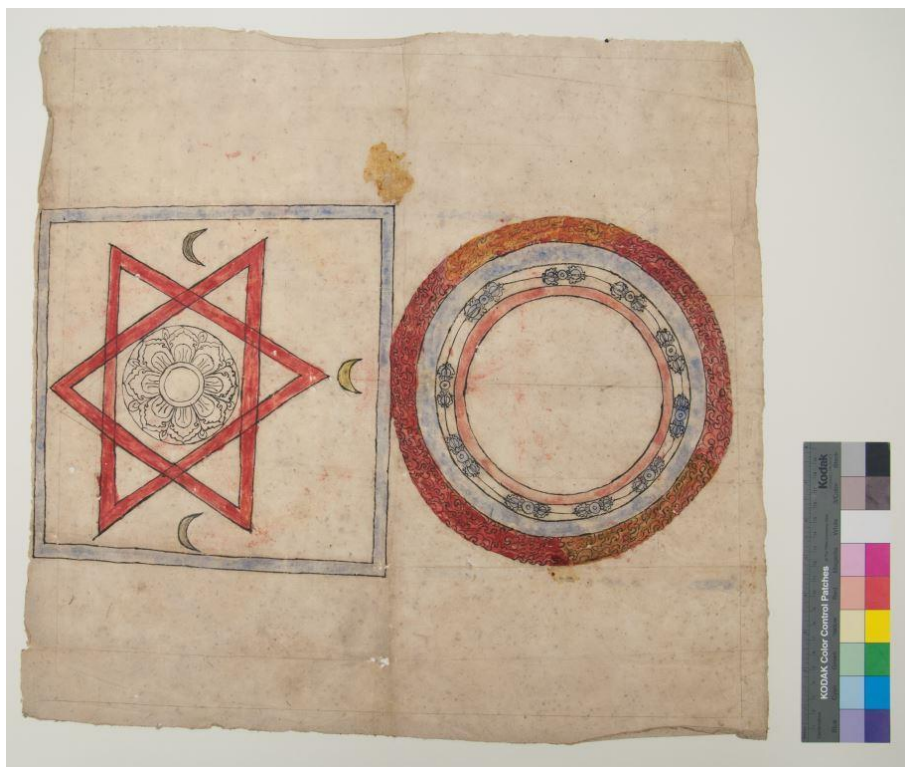


Abb. 8 Rückseite der Skizze (Cod.tibet. 982).

4 Kunsttechnologische Untersuchungen

Die verwendeten Farbmittel sowie Papierfasern des mongolischen Mandalas wurden im Hinblick auf Herstellungsweise und Materialbeschaffenheit untersucht.

Die Farbmittel sind in das Papiervlies eingedrungen und bis auf wenige überlappende Bereiche vollständig auf die Rückseite durchgedrungen. Die Farbmittel wirken wässrig vermalt. Mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) und UV/VIS wurden Informationen zu den Farbmitteln gesammelt und die RFA-Ergebnisse mit denen der Skizze (Cod.tibet. 982) aus dem gleichen Konvolut exemplarisch verglichen. Es konnten keine Gemeinsamkeiten in den verwendeten Farbmittel festgestellt werden. Die Ergebnisse werden beispielhaft in Kapitel 4.1 dargestellt. (Auflistung aller durchgeführten spektroskopischen Messungen in Anhang C und Anhang D.)

Aufgrund der wässrigen Malweise werden in Kapitel 4.2 die Ergebnisse der Löslichkeitstests mit Wasser am Papier und den Farben beschrieben, welche die späteren Möglichkeiten und Grenzen der restauratorischen Maßnahmen beeinflussen. Zur Faseranalyse des mongolischen Mandalas in Kapitel 4.3 dienten Faserproben von bereits abgelösten Klebestreifen sowohl der beschädigten, braun gefärbten Bereiche als auch intakter Fasern, die unter dem Durchlichtmikroskop auf ihre Eigenschaften untersucht wurden. Die Fasern wurden dazu als dauerhaftes Präparat eingebettet.

4.1 Spektroskopische Untersuchungen

Ziel der Untersuchungen war es, Informationen zu den verwendeten Farbmitteln des mongolischen Mandalas zu sammeln. Es könnte sich dabei um organische Farbstoffe handeln. Unter 8-facher Vergrößerung ist die Papierstruktur gut zu erkennen. Die Oberfläche der Farbmittel ist matt. Das Farbmittel erscheint vollständig von der Papierfaser aufgesogen, es sind keine Pigmentpartikel zu erkennen.

Die Farbmittel der Skizze weisen ebenfalls eine matte Oberfläche auf. Sie pudern stark, besonders das rote Farbmittel. Unter Vergrößerung betrachtet sind Pigmente im Fasergefüge zu erkennen. Mittels Röntgenfluoreszenz-Analyse (RFA) kann die elementare Zusammensetzung eines Stoffes berührungsfrei ermittelt werden. Während anorganische Pigmente charakteristische Signale hervorrufen, können organische Farbstoffe nicht mit der RFA unterschieden werden. Da das Trägermaterial Papier für die Röntgenstrahlung durchlässig ist, erfolgt zudem eine Referenzmessung der Unterlage oder des unbemalten Papiers.

Die UV/VIS-Spektroskopie dient der Annäherung an die möglicherweise verwendeten Farbstoffe. Die Verlässlichkeit dieser Untersuchungsmethode hängt jedoch von einer verwertbaren Vergleichsdatenbank ab. Es wurden exemplarisch die Farbkarten des BASF eingemessen.^{43,44}

4.1.1 Röntgenfluoreszenz-Analyse

Für die folgende Analyse wurde das Niton XL3t GOLD D+ Röntgenfluoreszenzanalyse-Gerät der Firma Thermo Scientific im Messmodus „Mining“ verwendet. Für das Mandala (Cod.tibet. 992) ergaben die Messungen wenig verwertbare Informationen. Bei den Farbmitteln muss es sich, wie schon zuvor vermutet, um organische Farbstoffe handeln. Verglichen mit der Referenzmessung der Unterlage (R#1) zeigen sich meist ähnliche Verteilungen. Lediglich im Bereich der braunen, beschädigten Bereiche (Messpunkt #3) ergab sich ein geringer Gehalt Eisen (Kapitel 5.3). Für die Skizze (Cod.tibet. 982) ergaben die Messungen beim roten Farbmittel charakteristische Signale für Schwefel, Eisen und Titan. Sie sind jedoch nicht mit den Farbmitteln von Cod.tibet. 992 vergleichbar. [Alle durchgeführten Messungen sind in Anhang C aufgelistet.]

⁴³ PIENING 2007, S. 68.

⁴⁴ BASF 1967.

Das Mandala (Cod.tibet. 992)

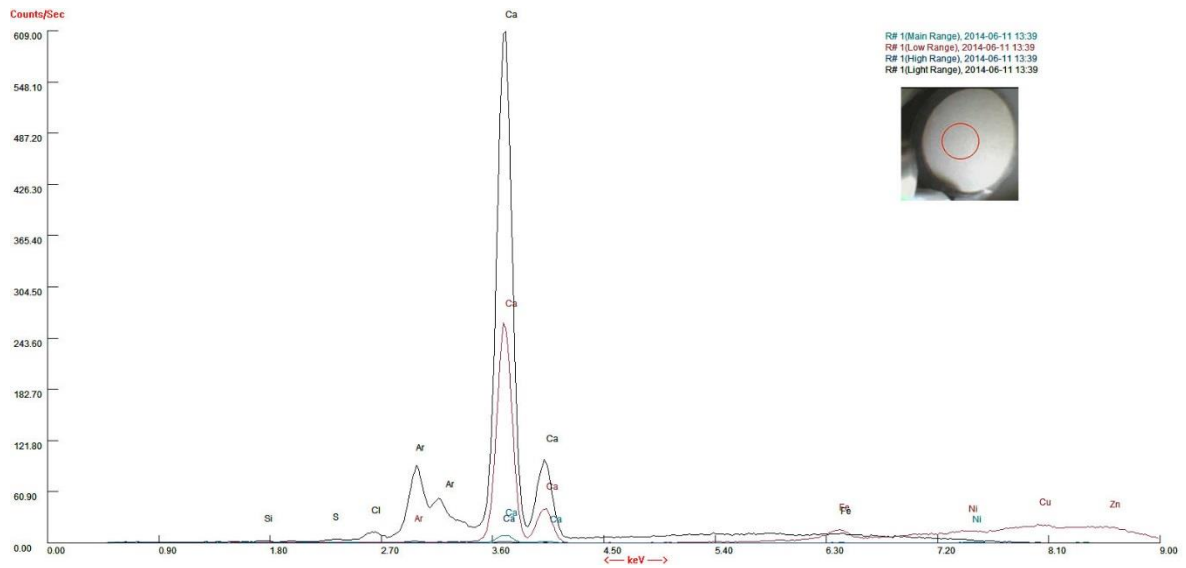


Abb. 9 Referenzmessung R#1 (Unterlage) am Mandala (Cod.tibet. 992).

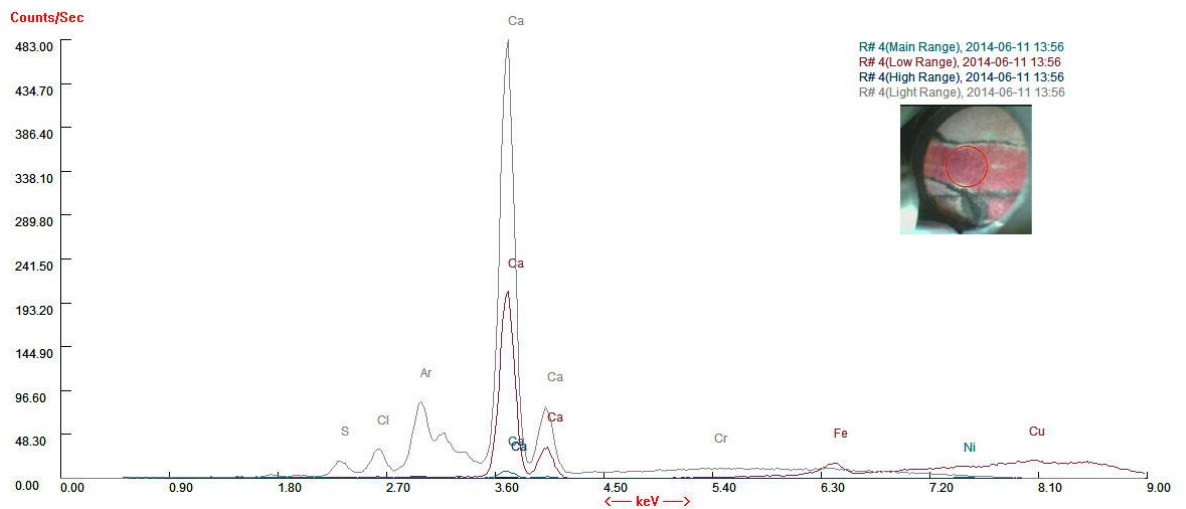


Abb. 10 Messung R#4 (rotes Farbmittel) am Mandala (Cod.tibet. 992).

Die Messung des roten Farbmittels R#4 (Abb. 13) unterscheidet sich kaum von der Referenzmessung R#1 (Abb. 12). Die übrigen Messungen der Farbmittel verliefen analog, sodass davon ausgegangen werden muss, dass das Mandala mit organischen, modernen Farbstoffen ausgeführt wurde, die keine charakteristische Röntgenfluoreszenz emittieren.

Die Skizze (Cod.tibet. 982)

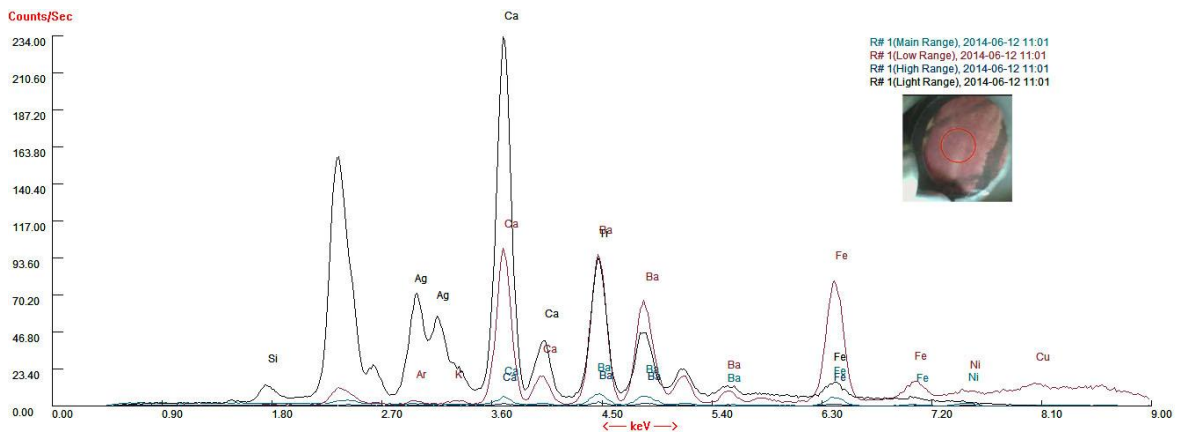


Abb. 11 Messpunkt R# 1 der Skizze (Cod.tibet. 982).

Peaks: S (2.31 keV), Ti (4.51 keV), Fe (6.40 keV).

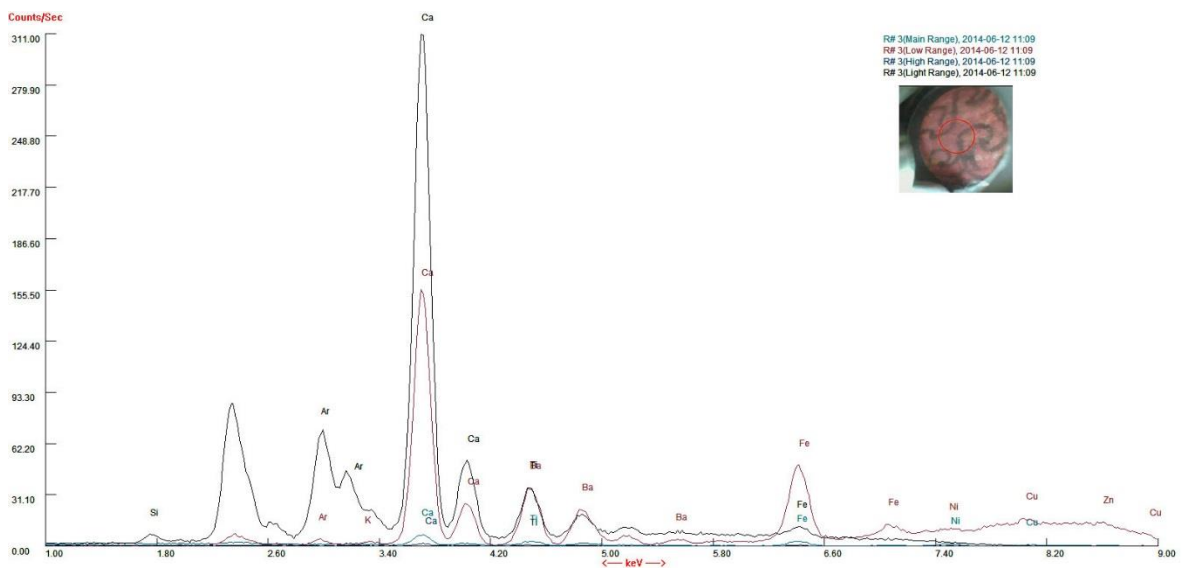


Abb. 12 Messpunkt R# 3 der Skizze (Cod.tibet. 982).

Peaks: S (2.31 keV), Ti (4.51 keV), Fe (6.40 keV).

Messpunkt R#1 (Abb. 14) ergab charakteristische Signale für Schwefel (2.31 keV), Titan (4.51 keV) und Eisen (6.40 keV). Der Eisengehalt kann auf eine rote Erde als Pigment hindeuten, beispielsweise Eisenoxidrot. Titan könnte in Form des Titandioxides TiO_2 als Zusatz im Papier oder zur Modifikation des Farbmittels eingesetzt worden sein. Die Signale des Messpunkts R#3 (Abb. 15) ergaben charakteristische Signale für Schwefel (2.31 keV), Titan (4,51 keV) und Eisen (6.40 keV) und wiederholen damit die Ergebnisse von Messpunkt R#1. Es handelt sich somit bei den verschiedenen Messpunkten um das gleiche Pigment.

4.1.2 UV/VIS-Spektroskopie

Die UV/VIS-Absorptionsspektroskopie nutzt die elektromagnetischen Wellen des ultravioletten und des sichtbaren Lichts. Einen Ansatz zur Verwendung der UV/VIS-Spektroskopie zu Farbmittelanalyse an Kunstobjekten lieferte PIENING 2007 in seiner Dissertation „Mobile UV-VIS-Absorptionsspektroskopie. Einsatzmöglichkeiten zur zerstörungsfreien Materialanalytik in der Konservierung und Restaurierung von Kunst- und Kulturgut“. Die hier durchgeführten Messungen am Mandala wurden in Anlehnung an seinen Ansatz durchgeführt. Es wurde das Messgerät Ocean Optics Maja 200 Pro verwendet. Der Messbereich umfasst die Wellenlängen zwischen 200 und 1100 nm.

Da es bisher kaum verwertbare Datenbanken mit Vergleichsmaterialien gibt, wurden zum Vergleich der vorgenommenen Messungen exemplarisch die Farbkarten der BASF eingemessen. Die Ergebnisse wurden mit den BASF-Spektren verglichen.

Die beispielhaft aufgeführten UV/VIS-Messungen 00001 (Abb. 16) und 0006 (Abb. 17) zeigen größtenteils übereinstimmende Kurven. Es könnte sich in beiden Fällen um Farbstoffe von ähnlicher Zusammensetzung wie der genannten BASF-Farbstoffe handeln. Leider sind die jeweiligen chemischen Strukturen der BASF-Farbstoffe nicht angegeben, sodass lediglich zu *Heliogenblau B Teig*, das Übereinstimmungen mit dem blauen Farbmittel des Mandalas zeigt (Abb. 15), direkte Informationen verfügbar waren.

Die UV-VIS-Spektren aller Farbmittel mit jeweils einer Vergleichskurve eines möglichst ähnlichen BASF-Farbstoffes finden sich in Anhang D.

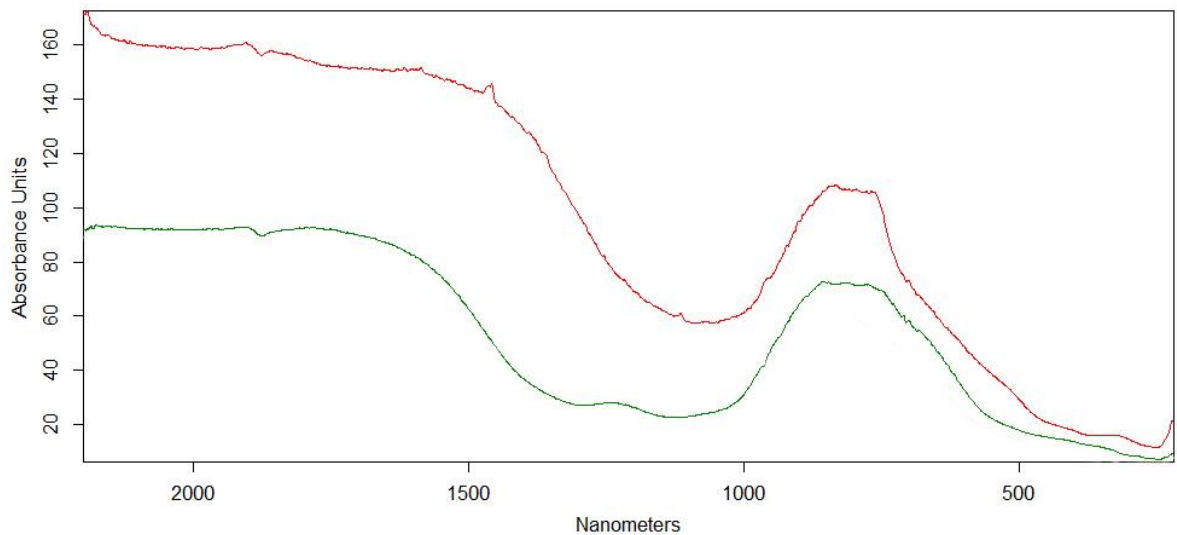


Abb. 13 UV/VIS-Messung 00001 des Mandalas (Cod.tibet.992).

Rote Kurve: Mandala: blaues Farbmittel (Äußerer Ring), grüne Kurve: BASF *Heliogenblau B Teig*.

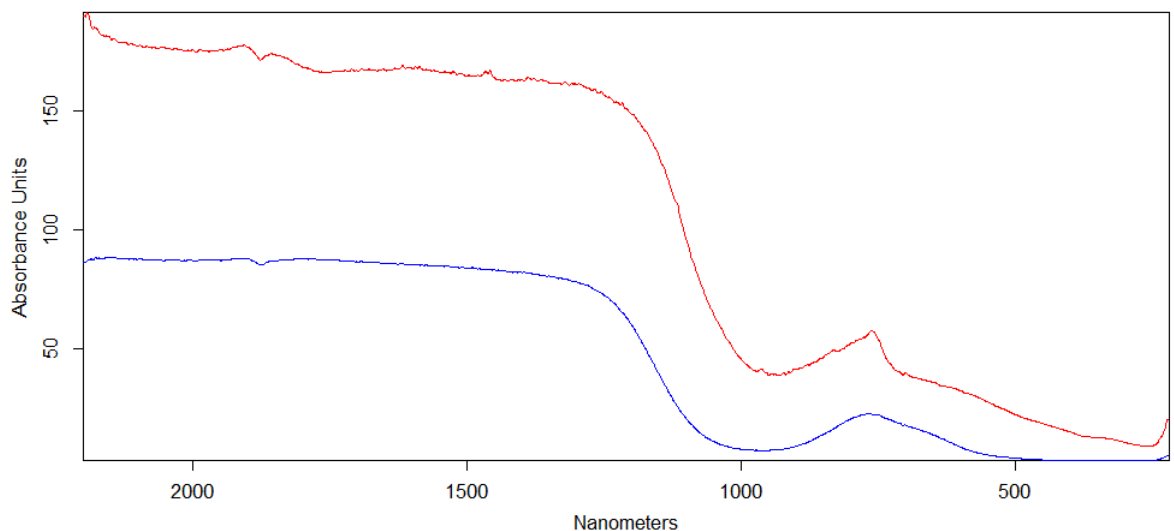


Abb. 14 UV/VIS-Messung 00006 des Mandalas (Cod.tibet.992).

Rote Kurve: Mandala: Lila (Ochsenköpfe), blaue Kurve: BASF *Echtsäureviolett GBG*.

Das blaue Farbmittel (Messpunkt 00001) zeigt unter UV/VIS-Anregung ein ähnliches Verhalten wie der BASF-Farbstoff *Heliogenblau B Teig* (Abb. 16). Der Produktname *Heliogenblau B* wurde von Bayer 1936 für Kupferphthalocyanin eingeführt.⁴⁵ *Heliogen*[®] bezeichnet derzeit zudem eine Produktlinie blauer und grüner Kupferphthalocyanin-Pigmenten von BASF. Phthalocyanin ist im Colour-Index unter *C.I. Pigment Blue 15* mit sechs Modifikationen gelistet.

⁴⁵ Internetquelle 5.

4.2 Löslichkeit der Farbmittel in Wasser

Das Papiervlies nimmt Wasser in Form von aufgesetzten Tropfen unterschiedlich auf. In unbemalten Bereichen bleibt der Tropfen bis zu fünf Minuten auf der Oberfläche stehen, in Bereichen nahe der Malerei oder Fehlstellen saugt es das Wasser innerhalb weniger Sekunden auf. Dabei verbreitet es sich mäßig schnell und in unregelmäßiger Richtung im Faservlies. Es treten keine sichtbaren Ränder auf. Aufgrund der offenen Struktur und der schnellen Wasseraufnahme, kann davon ausgegangen werden, dass das Papier ungeleimt oder nur schwach geleimt ist.

Zur Evaluierung der Wasserempfindlichkeit der Farben wird ein Tropfen Wasser auf die Oberfläche gesetzt und dieser nach wenigen Sekunden mit einem Stück Löschkarton aufgesaugt und die Farbigkeit beurteilt. Dieser Vorgang wird mehrmals durchgeführt, wobei der Tropfen jeweils länger auf der Oberfläche belassen wird. Die Wiederholung ist nicht nötig, wenn die Farbmittel bereits beim ersten Durchlauf abfärben.

Das schwarze Lineament zeigt keine merkliche Veränderung bei Kontakt mit Wasser und färbt nicht auf den Löschkarton ab. Das Blau im Randbereich zeigt ebenfalls keine Veränderungen nach der Trocknung und kein Abfärben. Das Rot des Flammenrings, das Lila der Ochsenköpfe und der gelbe Hintergrund der Ochsenköpfe dagegen sind stark wasserempfindlich und färben auf den Löschkarton ab.

4.3 Faseranalyse

Zur Bestimmung von Fasern können morphologische und optische Eigenschaften zur Identifizierung herangezogen werden. Dabei ist zu beachten, dass Beschädigungen der Faser zu einem gestörten, untypischen Verhalten führen können. Zudem variieren die morphologischen Eigenschaften pflanzlicher Fasern schon innerhalb einer Faserart und können daher nicht allein zur Identifizierung herangezogen werden.

Faserproben des Mandalas wurden mithilfe des Durchlichtmikroskops Leica DMLP untersucht. Die Fasern stammen von Klebestreifen, die bereits abgelöst vorlagen. Die genaue Lokalisation auf dem Mandala war im Nachhinein nicht mehr möglich. Es konnten sowohl intakte Fasern, als auch Fasern der beschädigten brüchigen Stellen untersucht werden (unterscheidbar durch die Farbe und Länge der Fasern). Die Fasern wurden in mehrere Dauerpräparate eingebettet sowie weitere Fasern mit Kaliumiodid angefärbt. [Die Dauerpräparate wurden mit der sogenannten *Einzieh-Methode* mit dem Einschlussmittel Meltmount® 1.662 eingebettet.]

Bei den Fasern des Mandalas handelt es sich um pflanzliche Bastfasern, zu denen u. a. Flachs, Hanf, Ramie und Jute sowie die asiatischen Bastfasern Kozo, Mitsumata und Gampi gehören. Abb. 18 zeigt einzelne Fasern der beschädigten Papierbereiche im Dauerpräparat unter 10-facher Vergrößerung. Die braune Färbung der Fasern ist gut zu erkennen, sie scheint vollständig in die Faser eingedrungen zu sein. Die Fasern wirken zum großen Teil



Abb. 15 Dauerpräparat 1 – braun verfärbte Fasern, Teil-Übersicht.

stark beschädigt und sind relativ kurz, was auf den Herstellungsprozess des Papiers und den Zelluloseabbau durch die schädigende Flüssigkeit zurück zu führen ist.

Die Abbildungen 19 bis 22 zeigen exemplarisch das Verhalten eines weitgehend intakten Faserbereichs der braunen Fasern im Dauerpräparat 1 unter gekreuzten Polarisatoren und mit Lambda-Platte (Abb. 18, Faser links zum Teil erkennbar).

Die Faser weist quer zur Faser verlaufende Porenkanäle und wenige Verschiebungen auf, das Lumen verläuft teilweise wellenförmig. Es sind durchsichtige, anhaftende Faserreste erkennbar, die unter gekreuzten Polarisatoren teilweise auslöschen. Manche Fasern des Präparats zeigen einen welligen Faserwandverlauf. Zudem sind die Fasern an einigen Stellen flach und teilweise sogar baumwollartig eingedreht. Der *Herzog-Test* ist an vielen Fasern nicht eindeutig interpretierbar, da viele Fasern aufgrund der Beschädigungen stark in ihrem optischen Verhalten gestört sind. Abb. 21 und 22 zeigen den exemplarischen Faserbereich unter gekreuzten Polarisatoren mit Lambda-Platte. Sie zeigt in O-W-Richtung das Orange der I. Ordnung, in N-S-Richtung das Indigo der II. Ordnung.



Abb. 16 Intakter Faserbereich mit durchsichtiger Hülle.

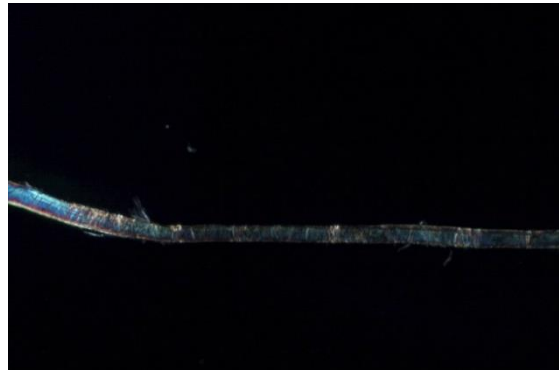


Abb. 17 Faser zwischen gekreuzten Polarisatoren.



Abb. 18 O-W-Richtung → Orange I.



Abb. 19 N-S-Richtung → Indigo II.

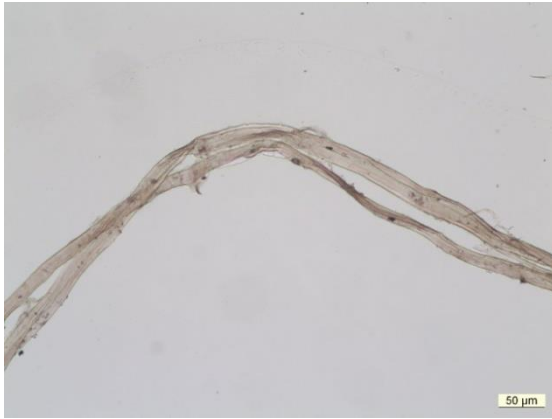


Abb. 20 Beispiel einer flachen, in sich gedrehten Faser.



Abb. 21 Flache, in sich gedrehte Faser unter gekreuzten Polarisatoren.

Einige der Fasern, sowohl der braunen als auch der intakten Fasern, erscheinen baumwollartig flach und gedreht. Dass es sich hierbei meist nicht um Baumwolle handeln kann, beweisen angrenzende, runde und bastfaserartige Faserbereiche. Abb. 23 zeigt zwei Fasern mit flachen und in sich gedrehten Bereiche. Der Faserrand erscheint gewölbt. Mittig sind anhaftende, durchsichtige Faserreste erkennbar, die unter gekreuzten Polarisatoren auslöschen (Abb. 24).

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen Fasern im Dauerpräparat 2 intakter Fasern.

Die intakten Fasern sind teils sehr lang. (Abb. 29 – 34). Dabei sind innerhalb einer Faser sowohl rundliche Faserbereiche mit Porenkanälen und Verdickungen, als auch flache, teilweise in sich gedrehte und glatte Faserbereiche zu finden. Sie ähneln in ihren morphologischen und optischen Eigenschaften den oben beschriebenen Fasern aus den brüchigen Bereichen. Auch hier erscheinen die Fasern teilweise beschädigt. Es finden sich Faserreste und anhaftende, durchsichtige Faserteile, die teilweise unter gekreuzten Polarisatoren auslöschen. In vielen Bereichen zeigen die Fasern kein deutliches Verhalten unter gekreuzten Polarisatoren und mit Lambda-Platte, was auf eine Beschädigung der Faser zurückgeführt werden kann.

Die Abbildungen 25 bis 28 dokumentieren exemplarisch das Verhalten einer Faser zwischen gekreuzten Polarisatoren und mit Lambda-Platte im Dauerpräparat intakter Fasern. Zudem sind die Variationen in der Breite und der morphologischen Erscheinungen erkennbar. Die mittige Faser löscht unregelmäßig aus, wobei die Porenkanäle deutlich zu erkennen sind. Anhaftende Faserteile (mit roten Pfeilen markiert) löschen fast vollständig aus (Abb. 26). Der *Herzog-Test* ergibt tendenziell in O-W-Richtung das Orange der I. Ordnung und in der N-S-Richtung das Indigo der II. Ordnung (Abb. 27 und 28). Dieses Verhalten deckt sich mit dem Verhalten der Faser aus Abb. 19.



Abb. 22 Dauerpräparat 2 – intakte Fasern.



Abb. 23 Faser aus Abb. 25 in Dunkelstellung zwischen gekreuzten Polarisatoren.



Abb. 24 Gekreuzte Polarisatoren mit Lambda-Platte.
O-W-Richtung → Orange I.

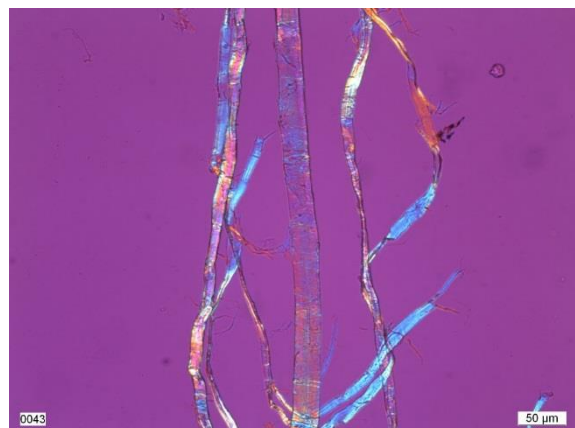


Abb. 25 Gekreuzte Polarisatoren mit Lambda-Platte.
N-S-Richtung → Indigo II.

Die Abbildungen 29 bis 34 zeigen den Verlauf einer langen Faser in Dauerpräparat 2. Die Faserbreite und -dicke variiert allein innerhalb dieser Faser. Verdrehte, flache Faserbereiche wechseln sich mit runden Bereichen ab. An den runden Bereichen sowie größeren Fasern sind quer zur Faser verlaufende Porenkanäle sowie Verschiebungen und selten knotenartige Verdickungen (Abb. 30) zu erkennen. Die Faserwände verlaufen teilweise wellenförmig. Das Lumen ist besonders in den flachen Faserbereichen nur schwach erkennbar und verläuft unregelmäßig (Abb. 29). Anhaftende Faserreste, die an vielen Stellen der Faser zu finden sind, löschen nur teilweise unter gekreuzten Polarisatoren aus (Abb. 34).

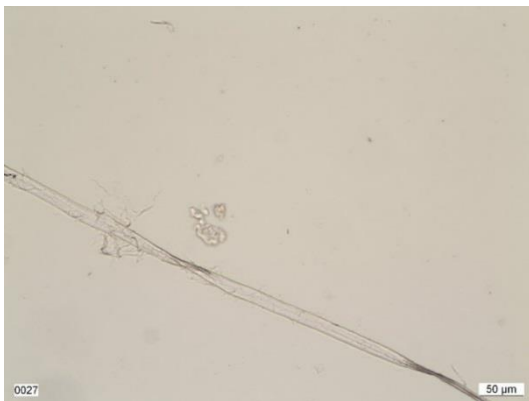


Abb. 26 Flacher Faserbereich mit zwei Drehungen.

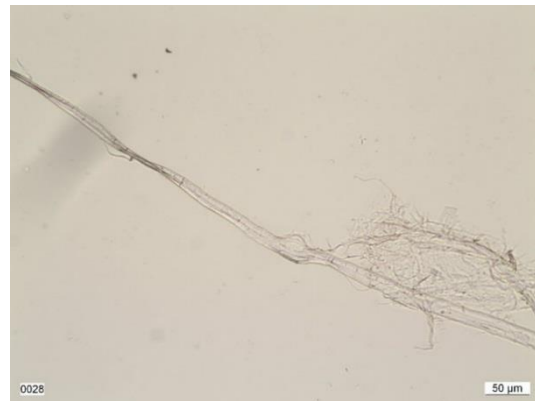


Abb. 27 Übergang von flachem und verdrehtem Faserbereich zu rundem Bereich. Dieser weist eine knotenartige Verdickung und anhaftende Faserreste auf.



Abb. 28 Fortsetzung der Faserreste, Verquetschung und Drehung im weiteren Verlauf.

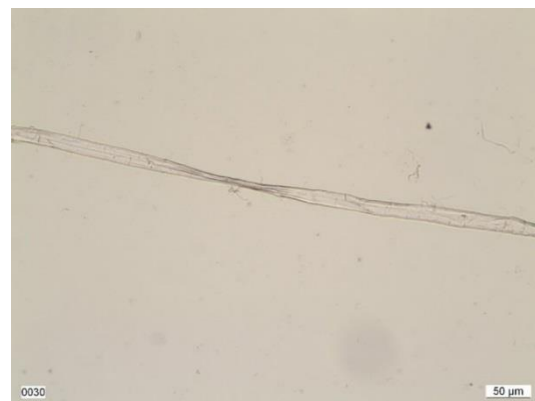


Abb. 29 Flach gedrückter Faserbereich.



Abb. 30 Beschädigtes und aufgespaltenes Faserende.



Abb. 31 Faserreste aus Abb. 30, 31 unter gekreuzten Polarisatoren in Dunkelstellung.

ILVESSALO-PFÄFFLI vermerkt eine transparente Membrane, die die Kozo-Fasern (*Broussonetia papyrifera*) umgibt.⁴⁶ Diese ist auch bei Mitsumata (*Edgeworthia papyrifera*) und Gampi (*Wikstroemia canescens*) nachweisbar und scheint vor allem bei asiatischen Bastfasern aufzutreten. Die erwähnten anhaftenden, durchsichtigen Faserteile könnten als sogenannte „Haut“ oder „Membrane“ bezeichnet werden. Diese ist sehr leicht bei Kozo-, Mitsumata- oder Gampi-Fasern aus Rohbast oder hergestellten Japanpapieren nachweisbar. Die Membrane löscht unter gekreuzten Polarisatoren vollständig aus (Abb. 35 und 36). Inwieweit diese jedoch als eindeutiges Bestimmungsmerkmal für asiatische Bastfasern gelten kann, ist unklar.



Abb. 32 Kozo-Faser aus Rohbast mit umgebender transparenter Membrane.

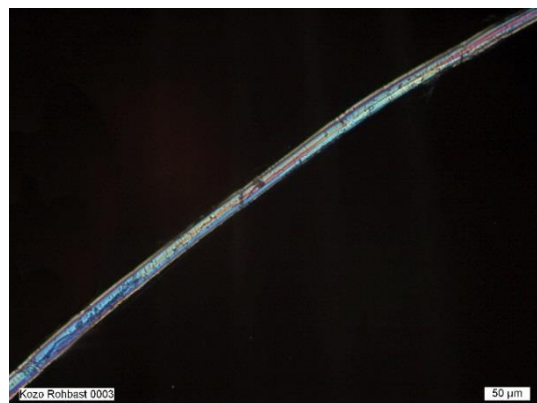


Abb. 33 Kozo-Faser aus Rohbast unter gekreuzten Polarisatoren. Die transparente Membrane löscht vollständig aus.

⁴⁶ ILVESSALO-PFÄFFLI 1995, S. 296.



Abb. 34 Flache, in sich gedrehte Kozo-Faser aus einem Japanpapier.

Abschließend lässt sich zusammenfassen: Die Fasern zeigen die morphologischen Eigenschaften von Bastfasern. Die Fasern zeigen unterschiedlichste Faserlängen und Faserdicken. Ihre genaue Bestimmung erweist sich als schwierig, da die Fasern durch den Herstellungsprozess und die schädigende Substanz beschädigt und ihre morphologischen und optischen Eigenschaften daher nicht mit Sicherheit bestimmbar sind. Der *Herzog-Test* konnte nur in den angegebenen Fällen ausgewertet werden. Es könnte sich im Papiervlies auch um eine Mischung verschiedener Bastfasern handeln. Die Unterscheidung zwischen europäischen und asiatischen Faserarten ist nicht eindeutig und wenig für mikroskopische Bestimmungen erforscht. Die vorgefundenen Merkmale treffen sowohl auf asiatische Fasern wie Kozo, Mitsumata und Gampi als auch auf europäische Bastfasern wie Hanf oder Flachs zu.

5 Schadensanalyse

Das Mandala wurde in gefaltetem Zustand durch eine verschüttete Flüssigkeit beschädigt, sodass insgesamt elf voneinander getrennte Bereiche im Papier betroffen sind. Die Flüssigkeit war möglicherweise schon zu Beginn farbig, kann sich aber auch im Verlauf der Alterung verfärbt haben. Sie hat einen beschleunigten Abbau der Zellulose hervorgerufen, wodurch das Papier in den betroffenen Bereichen brüchig und spröde ist. Mithilfe analytischer Methoden soll die Ursache der braun verfärbten, brüchigen Stellen im Papier gefunden oder eingegrenzt werden.

Um die Schadensursache zu bestimmen, wurden Löslichkeitstests, Messungen des pH-Werts und Säurenachweise durchgeführt (Kapitel 5.1). Nachfolgend wurde eine nicht zu lokalisierende Proben der brüchigen Bereiche, die im gefalteten Mandala vorlag, am Rasterelektronenmikroskop mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie (REM-EDX) untersucht und an den Proben mit einem nicht-blutenden Indikatorpapier auf freie Eisen(II)-Ionen getestet (Kapitel 5.2). Die Untersuchungen wurden ergänzt durch eine Röntgenfluoreszenzanalyse (Kapitel 5.3) und eine Dünnschicht-Chromatographie (Kapitel 5.4). Die Dünnschicht-Chromatographie wurde mit der in Kapitel 5.1 entstandenen *Lösung 1* durchgeführt.

Eine Auflistung der REM-EDX-Messdaten und Röntgenfluoreszenz-Spektren sind in Anhang B und C zu finden.

5.1 Tests auf Löslichkeit, pH-Wert und Säuregehalt

An einer Probe des beschädigten Papiers des Mandalas wurden Lösemitteltests durchgeführt: Die braunen Produkte lösen sich gut in Wasser (spontanes Ausbluten brauner Farbe) und gut in Ethanol (Abklatsch in Kontakt mit Löschkarton), nicht jedoch in Aceton. Für weitere Messungen wurde ein Fragment (ca. 1 cm²) für 30 Minuten in 8 ml destilliertes Wasser eingelegt, wobei sich das Wasser sehr schnell braun färbt (Lösung 1). In der Lösung wurde der pH-Wert gemessen.⁴⁷ Die erste Messung ergab einen pH-Wert von 3.30 nach 4-5 Minuten. Die zweite Messung ergab einen pH-Wert von 3.30 nach 1 Minute. Die Probe wurde ein weiteres Mal für 75 Minuten in 8 ml destilliertes Wasser eingelegt und der pH-Wert gemessen (Lösung 2). Die erste Messung ergab bei Lösung 2 nach 1,5 Minuten einen pH-Wert von 3.97, die zweite Messung nach 1 Minute einen pH-Wert von 4.22. Es wurden weiterhin mikrochemische Tests auf Säuren an Lösung 1 durchgeführt.

Sulfatnachweis

Die zu testende, saure Lösung wird mit einer Bariumchlorid-Lösung versetzt. Bei Anwesenheit von Sulfat fällt ein weißer, kristalliner Niederschlag (BaSO₄) aus. Der Nachweis fiel im vorliegenden Fall negativ aus; es bildeten sich keine typischen Bariumsulfat-Kristalle.

Chloridnachweis

Die angesäuerte Testlösung wird tropfenweise mit Silbernitrat-Lösung versetzt. Bei Anwesenheit von Chlorid bildet sich ein weißer, käsiger Niederschlag (AgCl). Der Test fiel negativ aus.

Nitratnachweis (Ringprobe)

Die Probelösung wird mit verdünnter Schwefelsäure angesäuert und mit konzentrierter Schwefelsäure unterschichtet. Bei Nitratgehalt bildet sich an der Grenze der beiden Flüssigkeiten ein violetter bis brauner Ring. Die Ringprobe fiel negativ aus.

⁴⁷ Dreipunktkalibrierung 7.00, 4.01, 9.21. Temperatur 25,8° bei allen Messungen.

5.2 Rasterelektronenmikroskopie mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie

Zur Charakterisierung der Elementzusammensetzung in einer Probe kann die energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDS, EDX) am Rasterelektronenmikroskop (REM) genutzt werden. Durch die Anregung eines Elektronenstrahls senden die jeweiligen Elemente in der Probe Röntgenstrahlen von charakteristischer Intensität aus, die sogenannte *charakteristische Röntgenstrahlung*. Dadurch kann eine Aussage über die Elementzusammensetzung einer Probe getroffen werden.

Die Röntgenanalyse wurde mit dem Rasterelektronenmikroskop Phenom G2 Pro X durchgeführt.

Die quantitative Elementen-Analyse ergab variierende Gehalte an Eisen sowie geringe Mengen an Kalium, Calcium, Natrium, Aluminium oder Magnesium. Es konnten teils nur sehr geringe Mengen an Schwefel nachgewiesen werden (Abb.39, 40, 42, 44, 45).

Probe 1

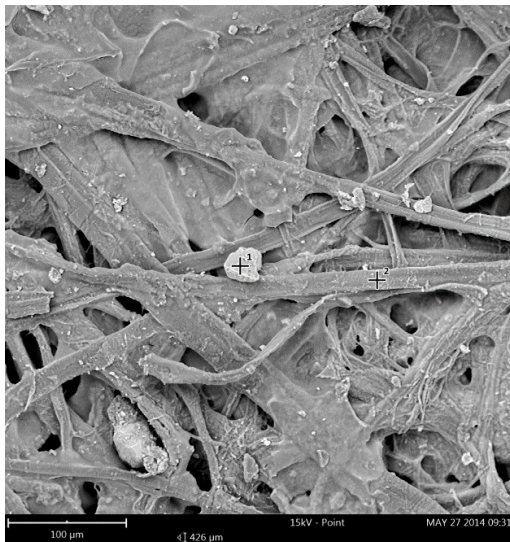


Abb. 35 Probe 1 – REM–EDX-Messung 1 (Spot 1 – 2).

	Weight percentage	Certainty
O	68.6 %	99.4 %
Na	7.1 %	98.9 %
Ag	5.6 %	99.5 %
N	5.3 %	98.1 %
K	3.6 %	99.3 %
Mo	3.2 %	99.4 %
Ca	1.6 %	98.7 %
Nb	1.3 %	98.9 %
Cl	1.0 %	98.3 %
Mg	0.9 %	95.8 %
Si	0.8 %	98.0 %
Al	0.7 %	96.9 %
Zr	0.2 %	95.5 %

Abb. 36 Quantitative Analyse von Spot 2 der REM-EDX-Messung 1.

Probe 2



Abb. 38 Probe 2 – REM-EDX-Messung 3 (Spot 1 – 3).

	Weight percentage	Certainty
O	64.7 %	99.3 %
Fe	18.0 %	99.4 %
N	8.3 %	98.3 %
K	5.9 %	99.2 %
Sn	1.4 %	98.1 %
Ca	1.2 %	97.4 %
Si	0.4 %	94.4 %
Al	0.2 %	83.7 %

Abb. 37 Quantitative Analyse a Spot 2 der Probe 2 – REM-EDX-Messung 3.

	Weight percentage	Certainty
O	53.2 %	99.1 %
Fe	28.7 %	99.4 %
N	7.8 %	97.8 %
K	5.8 %	99.1 %
Ca	2.0 %	98.1 %
Sn	1.8 %	98.2 %
Si	0.4 %	93.8 %
Al	0.3 %	87.8 %

Abb. 39 Quantitative Analyse von Spot 3 der Probe 2 – REM-EDX-Messung 3.

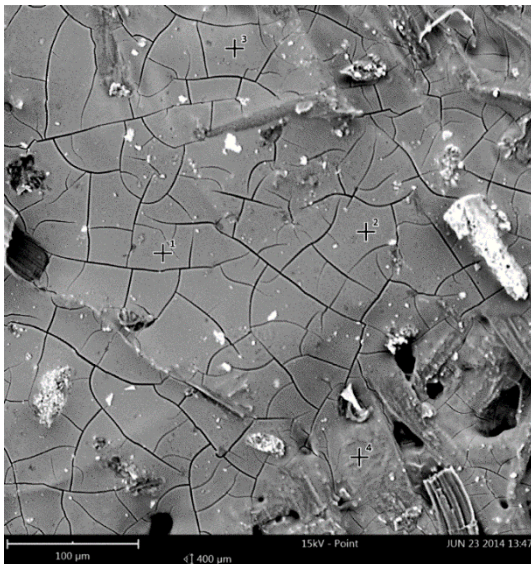


Abb. 40 Probe 2 – REM-EDX-Messung 4 (Spot 1 – 4).

	Weight percentage	Certainty
O	70.8 %	99.6 %
N	9.9 %	98.8 %
Fe	9.2 %	99.4 %
K	3.5 %	99.3 %
Na	1.9 %	95.9 %
Ca	1.6 %	98.7 %
Mg	1.0 %	95.7 %
Al	0.9 %	97.0 %
Sn	0.7 %	98.1 %
Si	0.3 %	95.3 %
P	0.3 %	94.4 %
S	0.1 %	86.8 %

Abb. 41 Quantitative Analyse von Spot 1 der Probe 2 – REM-EDX-Messung 4.

	Weight percentage	Certainty
O	72.4 %	99.6 %
N	10.7 %	98.9 %
Fe	8.4 %	99.4 %
K	3.2 %	99.3 %
Na	1.8 %	95.9 %
Ca	1.0 %	98.3 %
Mg	0.8 %	94.9 %
Al	0.7 %	96.4 %
P	0.3 %	94.9 %
Si	0.3 %	94.4 %
Am	0.3 %	97.4 %

Abb. 42 Quantitative Analyse von Spot 4 der Probe 2 – REM-EDX-Messung 4.

Die Fasern erscheinen unter dem Rasterelektronenmikroskop stark beschädigt, fragmentiert und mit aufliegenden Schmutzpartikeln verunreinigt. In manchen Bereichen wirkt die verschüttete Flüssigkeit wie ein Klebstoff, der auf und zwischen den Fasern liegt (Abb. 38), an anderer Stelle hat sie eine glatte, craquelierte Oberfläche entstehen lassen (Abb. 43).

Die REM-EDX-Analyse an Probe 1 (Abb. 38) ergab zunächst einen geringen Eisengehalt von 2,7 % und keinen Schwefelgehalt (Abb. 39). Auch der Test mit dem Eisen(II)-Ionen-Indikatorpapier fiel nicht eindeutig positiv aus. Die Ergebnisse an Probe 1 wurden dahingehend gedeutet, dass der sehr geringe Eisen-Anteil in der Probe und das negative Ergebnis des Eisen(II)-Ionen Indikatorpapiers nicht auf eine eisenhaltige Tinte hindeute. Für Eisengallustinte aus grünem Vitriol hätte ein deutlicher Anteil Schwefel, analog zum Gehalt des Eisens, gemessen werden müssen. Ein geringer Eisen-Anteil kann zudem als Verunreinigung bei der Papierherstellung oder in den Farbmitteln oder ähnliches vorhanden sein.

Im weiteren Verlauf der Bearbeitung wurde die Messung an einem weiteren nicht zu lokalisierenden Fragment erneut durchgeführt (Probe 2). Sie ergab einen höheren Gehalt Eisen, der zwischen 10% und maximal 30% variiert (Abb. 40, 42, 44, 45). Auch Spurenelemente an K, Al, Mg oder Sn wurden detektiert, die nach KREKEL als Nebenbestandteile in Eisenvitriol auftauchen können.⁴⁸ Der Test auf Eisen(II)-Ionen mit dem nichtblutenden Indikatorpapier fiel bei der Wiederholung erwartungsgemäß positiv aus.

Für Vitriol (FeSO_4), wie es im Westen über Jahrhunderte im Gebrauch war, fehlt jedoch auch in Probe 2 eine ähnlich hohe Menge S. Auch andere Säurebestandteile sind nicht auffindbar, weshalb es sich nicht um eine Eisengallustinte handeln kann (vgl. dazu Abb. 48 im nachfolgenden Kapitel). Aus diesen Ergebnissen kann keine endgültige Aussage zur ursprünglichen Verwendung der Flüssigkeit getroffen werden.

⁴⁸ NEEVEL, H. 2006, S. 150.

5.3 Röntgenfluoreszenz-Analyse

Es wurde das Niton XL3t GOLD D+ Röntgenfluoreszenzanalyse-Gerät der Firma Thermo Scientific im Messmodus „Mining“ verwendet. Der Gehalt an Fe wird bestätigt (Abb. 46). Es sind zudem Verunreinigungen K, Zn oder Si zu finden. Der Anteil an S ist für einen Sulfatgehalt zu gering. Die Verteilung wiederholt sich in abgeschwächter Form in der Referenzmessung der Unterlage R#1 (Abb. 46).

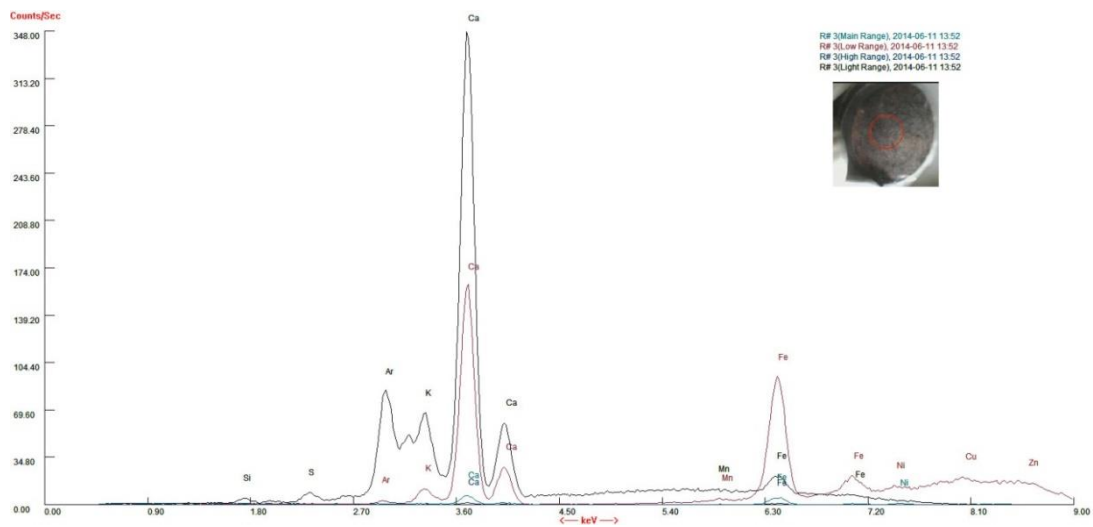


Abb. 43 Messung R#3.

Dem Peak für Fe (6.40 keV) steht ein sehr geringer Peak für S (2.31 keV) gegenüber.

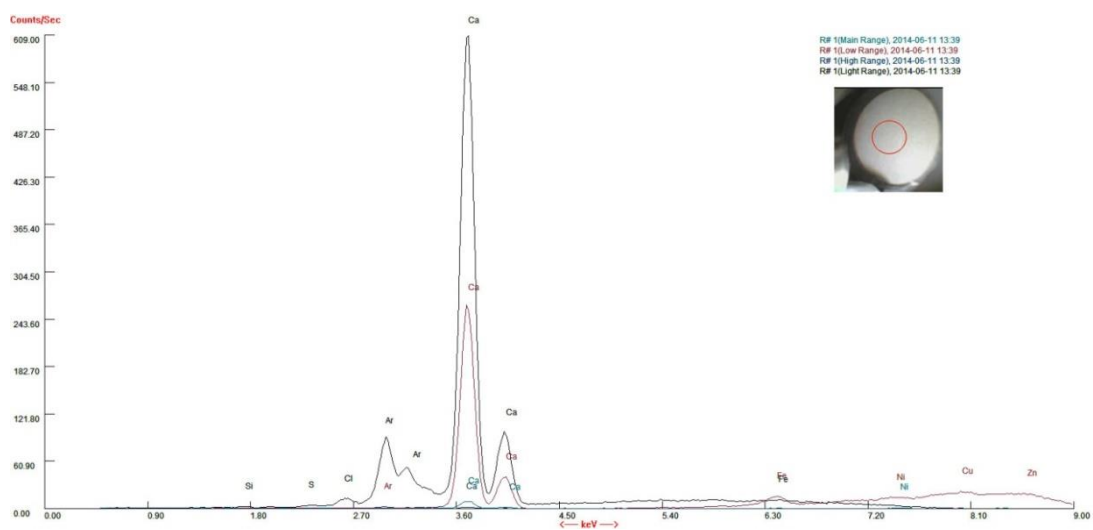


Abb. 44 Referenzmessung R#1 der Unterlage.

Die Verteilung der Peaks wiederholen sich im Vergleich zur Messung R#3.

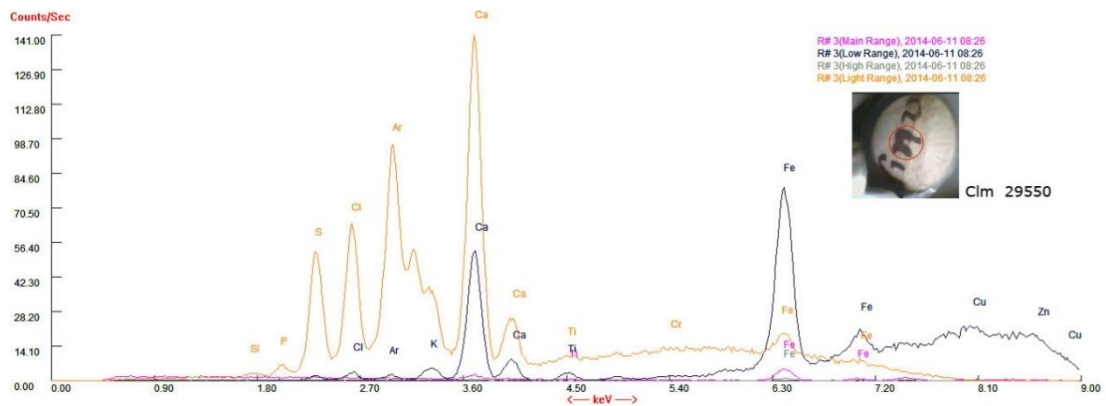


Abb. 45 Spektrum einer historischen Eisengallustinte (Signatur Clm. 29550).

Dem Peak für Fe (6.40 keV) stehen ähnliche hohe Peaks für S (2.31 keV) und Cl (2.61 keV) gegenüber. Auch Cu und Zn zeigen deutlichere Signale.

Abb. 48 zeigt ein RFA-Spektrum einer mittelalterlichen Handschrift (Signatur Clm 29550), die mit Eisengallustinte auf Pergament geschrieben wurde. Die Tinte ist zeitlich und räumlich gesehen nicht vergleichbar, verdeutlicht aber das Verhältnis der enthaltenen Elemente untereinander. Hierbei sind deutliche Ausschläge für S und Cl sowie Fe zu sehen. Auch Verunreinigungen Cu oder Zn sind vorhanden.

5.4 Dünnschicht–Chromatographie

Die Dünnschicht-Chromatographie (DC, TLC) dient der qualitativen organischen Analyse, beispielsweise zur Bindemittel–Identifizierung. Für die DC werden kommerzielle Fertigplatten verwendet, die mit einer Trennschicht, beispielsweise Kieselgel, beschichtet sind. Die Proben werden auf einer horizontalen Linie, ca. 1,5 cm entfernt von der unteren Kante, aufgebracht und die Platte in eine mit dem Laufmittel konditionierten DC-Kammer gestellt. Das Laufmittel nimmt die zu trennenden Substanzen auf und transportiert diese entlang der Trennstrecke. Die Trennung erfolgt durch unterschiedliche Adsorptions- und Verteilungsgleichgewichte. Die Substanzen müssen daher im Laufmittel löslich sein. Bei Beendigung der DC wird die Laufmittelfront markiert und die Platte getrocknet. Ungefärbte Substanzen können mit UV-Lampen sichtbar gemacht werden.

Probelösung: Lösung 1

Vergleichslösungen: Gallussäure, Gerbsäure, Tannin, Glucose.

Trennschicht: Kieselgel Fertigfolie POLYGRAM® SIL G/UV₂₅₄.

Laufmittel: Propanol, Essigsäure, Wasser (3:1:1 v/v).⁴⁹

Lösung 1 wurde in den Mengen 5 µl und 1 µl punktuell mit einer Kapillare aufgetragen. Die Vergleichslösungen wurden in der Menge 1 µl in der oben angegebenen Reihenfolge aufgetragen.

Die Trennzeit betrug ca. 2 ½ h für eine Steighöhe von 9,7 cm.

Die Aufträge von Lösung 1 formten einen bräunlichen Ring an der Startlinie. Im Gegensatz zu den Vergleichslösungen, deren Verlauf teilweise durch Verfärbungen gut sichtbar war, hat sich aus der Probelösung jedoch nichts herausgelöst.

⁴⁹ Nach Internetquelle 2.

5.5 Schlussfolgerung

Farbe und Brüchigkeit der beschädigten Bereiche ähneln dem Abbau der Zellulose durch Eisengallustinten, den sogenannten Tintenschaden. Da die Flüssigkeit offensichtlich ungewollt auf das Mandala gelangte und dieses keine Schriftzeichen oder Elemente aufweist, die mit einer ähnlichen Flüssigkeit durchgeführt wurden, kann es sich auch um eine andere Flüssigkeit als Tinte handeln. Westliche Eisengallustinten setzen sich grundsätzlich aus folgenden Bestandteilen zusammen: Eisensalz (meist Eisen(II)-Sulfat FeSO_4 , das sogenannte grüne Vitriol), Gerbstoff (meist Galläpfelextrakt) sowie Bindemittel und Flüssigkeit.⁵⁰ Vitriol weist je nach Herkunft variierende Gehalte an Verunreinigungen mit anderen Metallsulfaten wie Kupfer-, Mangan-, Zink-, Aluminium- sowie Eisen(III)-Sulfat auf.⁵¹ KREKEL belegt dies mit den Ergebnissen einer REM/EDX-Analyse an Handschriften aus dem Diözesanmuseum Hildesheim und benennt vor allem CuSO_4 (blaues Vitriol) und ZnSO_4 (weißes Vitriol) als nicht zu unterschätzende Schadensfaktoren bei Tintenfraß.⁵²

Die meisten Tinten enthalten je nach Rezeptur außerdem unterschiedliche Zusatzstoffe, um beispielsweise eine Verbesserung der Fließfähigkeit, der Tintenbildung, der Sichtbarkeit auf dem Papier oder der Haltbarkeit zu erreichen. FUCHS listet mögliche Zusätze moderner Tinten (19. - 20. Jahrhundert) auf, die zur Konservierung oder zur besseren Tintenbildung beigemischt wurden; unter anderem Salzsäure, Schwefelsäure, Nelkenöl, Salizylsäure, Holzzessig, Anilinfarbstoffe, Thioindigo, Blauholzextrakt, Zucker, Dextrin oder Honig.⁵³ Zucker oder Honig dienen dabei als hygroskopische Additive, die auch als Zusätze für Kopiertinten bekannt sind, um die Trocknung zu verlangsamen.⁵⁴ Durch diese Zusätze würden die Tinten schmierig und wasserempfindlich, wodurch eine Wässerung nahezu unmöglich mache.⁵⁵ Abbauprodukte, Bindemittel und möglicherweise zugesetzte Farbstoffe sind teils leicht wasserlöslich und können daher zum Ausbluten neigen.

Sowohl die REM-EDX- als auch die RFA-Untersuchungen am mongolischen Mandala bestätigen einen variierenden Gehalt an Eisen in der schädigenden Substanz. Die pH-Messung ergab einen niedrigen Wert von 3.30. Für eine Eisengallustinte mit Eisen(II)-Sulfat fehlt jedoch ein deutlicher Schwefelanteil in der Substanz, der weder durch die REM-EDX- oder RFA-Messungen noch durch Säurenachweise belegt werden konnte. Zwar ergab Messung R#3 (Abb. 45) einen geringen Gehalt an Schwefel, dieser müsste jedoch höher

⁵⁰ KREKEL 1999, S. 26.

⁵¹ NEEVEL, H. 2006, S. 150.

⁵² KREKEL 1999, S. 30f.

⁵³ FUCHS 1999, S. 57f.

⁵⁴ TITUS ET AL. 2009, S. 17.

⁵⁵ FUCHS 1999, S. 72.

liegen, wie im RFA-Spektrum einer westlichen Eisengallustinte zu sehen ist (Abb.48). Es konnten weiterhin auch Chloride und Nitrate als Säurebestandteile ausgeschlossen werden. Die DC mit den Vergleichsproben Gerbsäure, Gallussäure und Tannin brachte auch keine Hinweise, da sich aus der Lösung 1 des Mandalas nichts herauslöste. Da keine Schriftzüge Aufschluss über die Verwendung der Substanz als Tinte geben, wird nachfolgend nicht von Eisengallustinte gesprochen. Der Schaden wird jedoch für die restauratorischen Maßnahmen aufgrund der vergleichbaren Abbaumechanismen als Tintenfraß betrachtet, da analog zum Schadensbild der Eisengallustinten hier besonders das saure Milieu und die freien Eisen(II)-Ionen problematisch sind.

6 Konzept zur Restaurierung und Aufbewahrung

Durch die Untersuchungen wurde bekannt, dass es sich bei den Farbmitteln um moderne, teils wasserempfindliche Farbstoffe handelt. Das aufgefaltete Mandala weist zahlreiche Falten, umgeschlagene Papierbereiche und Knicke auf, die in den abgebauten Bereichen teilweise aneinander haften. Dies führt zu Spannungen und Verwerfungen. Das Papier ist langfaserig und flexibel und erlaubt daher in den unbeschädigten Bereichen ein Auslegen und lokales Spannen. Problematisch sind die abgebauten und brüchigen Bereiche, in denen bereits große Fehlstellen entstanden sind. In diesen Bereichen sind zudem teils mehrlagige Verklebungen zu finden, die wie folgt entstanden sein können: Die schädigende Flüssigkeit hat neben dem Abbau der Cellulose zu einer Verklebung der Papierlagen untereinander geführt. Bei einer anschließenden unvorsichtigen Auffaltung des Mandalas rissen die Verklebungen aus dem Papier aus und bildeten so die mehrlagigen Verklebungen. Für diesen Ablauf sprechen die in gefaltetem Zustand übereinander liegenden extrem abgebauten Bereiche, sowie die Möglichkeit, einige der Fragmente anhand anhaftender farbiger Fasern anderen Fehlstellen zuzuordnen.

Die Schadensanalytik ergab für die brüchigen Bereiche einen niedrigen pH-Wert von ca. 3.30 und einen variierenden Gehalt von Eisen und freien Eisen(II)-Ionen. Als Ergebnis der durchgeführten Schadensanalysen in Kapitel 5.5 konnte festgehalten werden, dass analog zum Schadensbild der Eisengallustinten, die enthaltenen sauren Produkte und die freien Eisen(II)-Ionen zum Abbau der Cellulose geführt haben. Aufgrund des fehlenden Schwefel-Anteils und der unbekanntem Verwendung der Flüssigkeit wird sie nicht als (Eisengallus-) Tinte bezeichnet. Die restauratorischen Maßnahmen können jedoch der Restaurierung von Dokumenten mit Tintenschaden entlehnt werden.

In Kapitel 6.1 erfolgt aufgrund der vorliegenden Ergebnisse zunächst eine Einführung in die Schädigungsmechanismen freier Eisen(II)-Ionen sowie der sauren Hydrolyse im Papier. Es folgt eine Übersicht derzeitiger Herangehensweisen und Restaurierungsmethoden von tintenfraß-geschädigten Dokumenten. In Kapitel 6.2 werden die Möglichkeiten zur Restaurierung des Mandalas diskutiert und die getroffene Auswahl begründet. In Kapitel 6.3 wird das Konzept zur Aufbewahrung vorgestellt.

6.1 Restaurierung von Dokumenten mit Tintenschaden

Die restauratorischen Maßnahmen an tintenfraß-geschädigten Manuskripten und Zeichnungen werden seit Jahren kontrovers diskutiert. Die Schädigungsmechanismen von Eisengallustinten und die derzeitigen Herangehensweisen zur Restaurierung, hierbei insbesondere die Komplexierung der freien Eisen(II)-Ionen und unterschiedliche Rissverklebungstechniken, werden nachfolgend dargestellt. Teils divergierende Ansätze zur Restaurierung ergeben sich einerseits aus den individuellen Problemstellungen der Schriftzeugnisse, andererseits aus der Tatsache, dass die genauen Vorgänge der Bildung des Eisengalluskomplexes und seines Abbaumechanismus noch nicht vollständig aufgeklärt sind.

6.1.1 Schädigungsmechanismen von Eisengallustinten

Der sogenannte Tintenfraß bezeichnet den Abbau des Schriftträgers bei Manuskripten und Zeichnungen, der durch Bestandteile der Eisengallustinte hervorgerufen wird. Diese zählt vom Mittelalter an bis ins 20. Jahrhundert zu der am häufigsten verwendeten Schreibfarbe.

Die Stabilität der Tinte ist abhängig vom Verhältnis der Eisen(II)-Ionen zum Gerbstoff. In einer sogenannten *idealen Tinte* sollten alle Eisen(II)-Ionen durch Komplexbildner gebunden sein. Aufgrund der natürlichen Herkunft der Tintenbestandteile, ihrer variierenden Inhaltsstoffe und den unterschiedlichen Mengenangaben historischer Rezepturen ist das exakte Verhältnis jedoch meist nicht gegeben und ein Überschuss an Eisen(II)-Ionen zu erwarten.

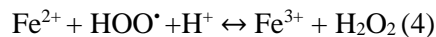
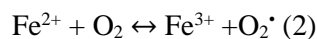
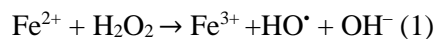
Zu den wesentlichen Abbaureaktionen zählen die saure Hydrolyse der Zellulose und die durch freie Eisen(II)-Ionen katalysierte Oxidation, die einen komplexen Abbaumechanismus ergeben.⁵⁶ Das Ausmaß der Schädigung ist einerseits von internen Faktoren, wie der Zusammensetzung der Tinte, andererseits von externen Faktoren, wie der Lagerung oder der Benutzung, abhängig. Die Abbaureaktionen führen insgesamt zu Versprödung und Verlust der Flexibilität des Papiers. Der Abbau wird durch ein saures Milieu beschleunigt. Mechanische Belastungen der abgebauten und brüchigen Bereiche führen bei fortschreitendem Abbau zu Rissen innerhalb des Tintenauftrags bis hin zum Verlust größerer Schriftbereiche.

⁵⁶ BANIK/WEBER 1999, S. 9.

REISLAND/HOFFENK DE GRAAFF entwickelten eine vierstufige Schadensklassifizierung des Abbauprozesses: Zunächst ist (1) unter UV-Licht eine Fluoreszenz im angrenzenden Papierbereich der Schriftzüge erkennbar, worauf sich (2) braun verfärbte Höfe um die Tintenzonen bilden und eine braune Verfärbung im Schriftbereich auch auf der Rückseite sichtbar wird. Im weiteren Verlauf bilden sich (3) feine Risse in den Tintenbereichen bis hin zu (4) großflächigen Ausbrüchen ganzer Schriftzüge.⁵⁷

Die durch Säure katalysierte Hydrolyse der Cellulose führt zur Depolymerisation der Celluloseketten, wodurch das Papier an mechanischer Festigkeit verliert. Aufgrund ihrer Hauptbestandteile, Eisen(II)-Sulfat und Gallussäure oder Tannin, sind Eisengallustinten sauer, wobei der pH-Wert, abhängig von beigefügten Zusatzstoffen, von pH 3.7 bis 7.1 variieren kann.⁵⁸ Der Grad der sauren Hydrolyse ist vom pH-Wert abhängig.

BANIK und KOLAR/STRLIČ legen dem durch Übergangsmetallionen wie Eisen(II)-, Kupfer- oder Zink-Ionen induzierten Zelluloseabbau einen ähnlichen Mechanismus der sogenannten *Fenton Reaktion* (1) zugrunde, der nach den folgenden Prinzipien ablaufen soll:



Eisen(II)-Ionen katalysieren durch Umwandlung von Fe^{2+} zu Fe^{3+} den oxidativen Abbau von organischen Materialien und führen in der Folge zur Bildung freier, organischer Radikale R^\bullet (2), (3). Die Bildung reaktiver Peroxide HOO^\bullet (3) führt durch Einwirkung von Licht oder mit Hilfe von Katalysatoren aus Wasser zur Bildung von Wasserstoffperoxiden (4), die nach der *Fenton-Reaktion* (1) durch Übergangsmetallionen abgebaut werden. Die extrem reaktiven Hydroxylradikale (HO^\bullet) lösen weitere radikalische Kettenreaktionen an der Zellulose aus, die zu Kettenspaltungen führen.^{59, 60}

Neben Eisen(II)-Ionen spielen auch andere Übergangsmetallionen, wie Kupfer oder Zink, beim oxidativen Abbau der Cellulose eine Rolle, da diese meist als Verunreinigungen unterschiedlichster Mengen im Vitriol enthalten sind. Kupfer wird dabei in seiner katalytischen Wirkung als noch weitaus aggressiver als Eisen beschrieben.⁶¹

Untersuchungen ergaben, dass sichtbare und unsichtbare Komponenten der Tinte, insbesondere Säuren und Eisen(II)-Ionen, durch erhöhte Luftfeuchtigkeit oder eingebrachtes

⁵⁷ REISLAND/HOFFENK DE GRAAF 2000.

⁵⁸ KOLAR/STRLIČ 2006, S. 182.

⁵⁹ Reaktion (1)–(4) nach BANIK 1999, S. 18 ff., KOLAR/STRLIČ 2006, S. 184 f.

⁶⁰ STRLIČ/SELIH/KOLAR 2006, S. 174.

⁶¹ KOLAR/STRLIČ 2006, S. 186.

Wasser lateral und transversal in das angrenzende Papier migrieren und die Schädigungsbereiche vergrößern können.⁶² Luftfeuchtigkeit über 60% rF und das Einbringen von Wasser durch übliche Rissverklebungsmethoden muss daher vermieden werden, solange freie Übergangsmetallionen im Papier vorhanden sind.

6.1.2 Komplexierung freier Eisen(II)-Ionen

Reine Entsäuerungsmaßnahmen zielen nur auf die saure Hydrolyse der Cellulose und können nicht die durch Eisen(II)-Ionen katalysierte Oxidation verhindern. Bereits 1995 schlug J. NEEVEL zur Komplexierung der Eisen(II)-Ionen die sogenannte Calcium-Phytat-Behandlung vor, die seitdem weiterentwickelt und verbessert wurde.⁶³ Das Phytat bildet dabei mit den freien Eisen(II)-Ionen einen Eisen(II)-Phytat-Komplex, der durch Luftsauerstoff in einen unlöslichen Eisen(III)-Phytat-Komplex umgewandelt wird.⁶⁴ Durch ein anschließendes Calciumbicarbonatbad wird eine alkalische Reserve zur Langzeitstabilisierung des Dokuments eingebracht, da der Eisen(III)-Phytat-Komplex in saurer Umgebung instabil ist.⁶⁵ HUHSMANN/HÄHNER publizierten 2008 eine systematische Anwendungstechnik dieser Behandlung.⁶⁶ Die Calcium-Phytat-Behandlung wird nur dann durchgeführt, wenn eine Stabilisierung nötig ist, um weiteren Verlust zu verhindern. Entgegen ursprünglicher Annahmen, die Calcium-Phytat-Behandlung komplexiere lediglich Eisen(II)-Ionen, konnten POTTHAST ET AL. einen stabilisierenden Effekt der Calcium-Phytat-Behandlung auch bei enthaltenen Kupfer-Ionen beobachten.⁶⁷

Wässrige Maßnahmen bergen jedoch schwer kalkulierbare Risiken und können zudem in manchen Fällen aufgrund wasserlöslicher Zusatzstoffe in der Tinte oder aufgrund angrenzender, wasserempfindlicher Medien nicht angewandt werden. Papiere mit fortgeschrittenem Tintenfraß weisen eine unterschiedliche Wasseraufnahmefähigkeit im Schriftbereich auf, die in drei Zonen eingeteilt werden können: ein hydrophober Bereich direkt unterhalb der Tintenlinien, ein hauptsächlich hydrophiler Bereich an den Rändern der Tintenlinien (abhängig vom Stadium) und ein hydrophober Bereich des leeren Papiers

⁶² JACOBI 2011, S. 26.

⁶³ NEEVEL, J. 1995.

⁶⁴ HUHSMANN/ HÄHNER 2008, S. 297.

⁶⁵ HUHSMANN/ HÄHNER 2008, S. 299.

⁶⁶ HUHSMANN/ HÄHNER 2008.

⁶⁷ POTTHAST ET AL. 2008, S. 857.

abhängig von Leimung und Art des Papiers.⁶⁸ Durch die unterschiedlichen Spannungen im Kontakt mit Wasser können Risse entstehen und neue Fragmente oder Partien ausbrechen. Der Vorgang der Komplexierung von Eisen(II)-Ionen durch Phytat-Behandlungen und die Dauerhaftigkeit des Komplexes sind Gegenstand kontroverser Diskussionen und können daher als noch nicht restlos aufgeklärt gelten. HAHN ET AL. wiesen zudem nach, dass die Behandlung von Dokumenten mit Tintenschaden mittels einer Calcium-Phytat-Behandlung zu deutlichen Veränderungen der chemischen Zusammensetzung der Tinten durch Ausspülen der Neben- und Spurenkomponenten führte und damit zu einer Veränderung des archäometrischen Fingerabdrucks.⁶⁹

6.1.3 Rissverklebungstechniken

Rissverklebungen sind bei fortgeschrittener Schädigungen nötig, um die brüchigen Papierbereiche vor weiterer Beschädigung oder Verlust zu schützen. Vor allem Verklebungen auf Basis wässriger Klebstoffe können bei Tintenfraß jedoch weitere Schädigungen verursachen. Um eine Migration freier Eisen(II)-Ionen oder saurer Produkte in die angrenzenden Papierbereiche zu verhindern, muss daher die Menge der eingebrachten Feuchtigkeit auf ein Minimum reduziert werden oder ganz auf nicht-wässrige Klebstoffe ausgewichen werden.

JACOBI ET AL. testeten die Klebemittel Methylcellulose, Klucel® G, Weizenstärkekleister und Gelatine in verschiedenen Anwendungsmethoden⁷⁰ auf ihre Eignung.⁷¹ Dabei wurden nicht-blutende Indikatorpapiere für Eisen(II)-Ionen verwendet, um deren potentielle Migration zu bewerten. Die direkte Applikation der Klebstoffe führte zu einer deutlichen Migration, während die Technik der angeschnittenen Japanpapierstreifen im Ergebnis von der individuellen Anwendung abhing und schlecht reproduzierbar erschien. JACOBI et al. bewerteten die Methode des *Remoistenable Tissue* als einzige Technik, die keine Migration verursache und reproduzierbar sei.⁷²

Eine weitere Möglichkeit zur Langzeitstabilisierung könnte künftig der Einsatz von speziell modifizierten Proteinen bieten, die in der Lage sind, Übergangsmetallionen zu binden.

⁶⁸ HUHSMANN/HÄHNER 2008, S. 275.

⁶⁹ HAHN ET AL. 2008, S. 245.

⁷⁰ (1) Direkter Auftrag des Klebstoffs auf das Original und Auflegen des Japanpapiers, (2) Anschmieren des Japanpapierstreifens, (3) Herstellung eines *Remoistenable-Tissue* und Reaktivierung mit Pinsel oder Schwämmchen.

⁷¹ JACOBI et al. 2011.

⁷² JACOBI et al. 2011, S. 31.

KOLBE konnte 2004 zeigen, dass Gelatine eine Art Komplex mit Übergangsmetallionen bildet und dadurch die Oxidation verlangsamen kann.⁷³ Die gebildeten Komplexe sind aufgrund des geringen Anteils funktioneller Gruppen und der Kettenlänge jedoch instabil und lösen sich schon bei leicht erhöhter Luftfeuchtigkeit auf. Die Wirksamkeit von Gelatine zur Stabilisierung von Tintenfraß konnte bei späteren Untersuchungen von POTTHAST et al. daher auch nicht analytisch bestätigt werden.⁷⁴ MEYER/NEUMANN testeten jedoch 2009 einigermaßen erfolgreich *rekombinante Proteine* sowie speziell modifizierte (kurzkettige) Gelatine zur Behandlung von Kupferfraß.⁷⁵ Dieser erscheint ähnlich zum Tintenfraß, folgt jedoch einem anderen chemischen Prozess, für den es derzeit noch keine effektive Behandlungsmethode gibt.⁷⁶

Um die Risiken wässrig-basierter Maßnahmen vollständig zu vermeiden, können Rissverklebungstechniken auch mit nicht-wässrigen Klebstoffen zur Stabilisierung verlustgefährdeter Bereiche angewandt werden. Das Trägermaterial, meist sehr dünnes Japanseidenpapier, wird dabei mit einem hitze- oder lösemittelaktivierbaren, synthetischen Klebstoff beschichtet. Diese vorzubereitenden Sicherungspapiere können mittels Wärme oder Lösemittelauftrag aktiviert und auf die zu sichernde Stelle aufgebracht werden. Dadurch wird keine Feuchtigkeit eingebracht und die Möglichkeit zur Migration unterbunden. Die enthaltenen Säuren und freien Eisen(II)-Ionen verbleiben jedoch unverändert im Papier.

⁷³ KOLBE 2004.

⁷⁴ POTTHAST et al. 2008.

⁷⁵ MEYER/NEUMANN 2009.

⁷⁶ MEYER/NEUMANN 2009, S. 97.

6.2 Konzeptfindung

Das Ziel der konservatorischen und restauratorischen Maßnahmen ist das Auffalten des Mandalas, die Sicherung der gefährdeten Bereiche sowie die Erstellung eines Lagerungskonzepts. Das Auffalten wurde zu Beginn der Arbeit durchgeführt, um den Zugang zur Darstellung und Übersicht über die Schadensbereiche zu erreichen. Aufgrund der Ergebnisse der kunsttechnologischen Untersuchungen und der Schadensanalyse ergeben sich verschiedene Möglichkeiten für die Restaurierung, die in ihren Vor- und Nachteilen erläutert werden. Dabei handelt es sich nicht um vollständige Konzepte, sondern um einzelne Vorgehensweisen oder Teilmaßnahmen, die in Bezug auf das Mandala diskutiert werden müssen. Den ersten Punkt der präventiv konservierenden Maßnahmen kann man jedoch als allein stehendes Konzept betrachten.

In einem weiteren Schritt wird die getroffene Auswahl dargestellt und begründet.

○ **Präventiv konservierende Maßnahmen**

Hierbei wird von Maßnahmen zur Reduzierung und Entfernung der braunen Produkte, von einer Trennung der verklebten Bereiche und einer Sicherungsmaßnahme der brüchigen Papierbereiche abgesehen. Diese bedeuten einen nicht zu unterschätzenden Eingriff in die Originalsubstanz. Es wird dafür gesorgt, dass das aufgefaltete Mandala in einer geeigneten Schutzverpackung bei konstantem Klima gelagert wird. Die Verwerfungen und Spannungen im Papier können jedoch in der Zukunft weitere Beschädigungen verursachen. Die brüchigen Bereiche sind in ungesichertem Zustand sehr empfindlich.

○ **Lokales Trennen der in den brüchigen Bereichen verklebten Falten**

Durch die Trennung punktueller Verklebungen in den beschädigten Bereichen können Falten ausgelegt und damit eine deutliche Reduzierung der Spannungen im Papier sowie eine verbesserte Planlage erreicht werden. Die Trennung würde lokal begrenzt mit einem zum Aerosol vernebelten Ethanol-Wasser-Gemisch erfolgen. Durch ein Abdecken aller angrenzenden Bereiche, einen hohen Ethanol-Anteil und einen minimalen Aerosolauftrag (schmale Düse, kurze Auftragsintervalle) kann eine Flexibilisierung erreicht werden, ohne dass ein Auswandern wasserlöslicher Produkte erfolgt. Nach der

Flexibilisierung können die Verklebungen mechanisch getrennt werden. Die Trennung würde nur in den Bereichen erfolgen, in denen auszulegende Falten verklebt sind (insgesamt sechs Verklebungen).

○ **Lokales Auswaschen der braunen Produkte**

Durch ein lokales Auswaschen mit Wasser oder Wasser-Ethanol-Mischungen auf dem Saugtisch könnten die braune Färbung bis zu einem gewissen Grad reduziert und saure Produkte entfernt werden.⁷⁷ Die braune Farbigekeit kann jedoch nur reduziert, nicht vollständig entfernt werden. Verklebte Fragmente ließen sich anschließend leicht voneinander trennen, wodurch möglicherweise Fehlstellen durch zugeordnete Fragmente verkleinert oder geschlossen werden könnten. Durch eine eventuell anschließende Calcium-Phytat-Behandlung werden die freien Eisen(II)-Ionen komplexiert und ein alkalischer Puffer eingebracht. Die braunen Produkte und die teilweise an die beschädigten Bereiche angrenzenden Farbstoffe sind jedoch stark wasserlöslich. In Kombination mit der offenen Struktur des Papiers ist die Gefahr des Ausblutens der braunen Produkte und der Farbstoffe sehr hoch. Auch lokales Wässern auf dem Saugtisch kann deren Ausbluten wahrscheinlich nicht vollständig verhindern. Zudem wird das Papier durch den Sog plan gelegt, was in vielen beschädigten Bereichen aufgrund der Verwerfungen zu weiteren Schädigungen führen könnte.

○ **Auslegen von Falten und verworfener Bereiche**

Die vorhandenen Falten sind zunächst danach zu unterscheiden, ob sie auf beschädigte Papierbereiche übergreifen oder nur im unbeschädigten Papier auftreten. Falten, die in den brüchigen Bereichen verklebt sind, können nur nach einer Trennung der Verklebungspunkte ausgelegt und beschwert werden. Sie sind hauptverantwortlich für die Spannungen im Papier.

In den unbeschädigten Papierbereichen finden sich vermehrt kleinere Knicke, Umschläge an den Rändern und Verwerfungen, die aufgrund der Flexibilität des Papiers bis zu einem gewissen Grad allein durch Beschweren unter leichter Spannung ausgelegt werden können. Durch eine japanische Spannmethod, die auf dem Karibari durchgeführt wird, kann eine weitere Reduzierung der Verwerfungen und Falten erfolgen. Die Technik dient der Spanntrocknung gewässerter oder befeuchteter Papiere. Dabei werden Japanpapierstreifen mit den Fasern am Rand des Objekts verklebt und auf

⁷⁷ Abgeleitet aus der Herstellung von Lösung 1.

dem Karibari unter individuell einstellbarer Spannung befestigt und können von diesem leicht wieder abgelöst und neu verklebt werden, wodurch Kontrolle über Spannintensität, Dauer und Spannrichtung ermöglicht wird. Falten und Verwerfungen können schonend ausgelegt werden. Diese Technik müsste auf den vorliegenden Fall in der Weise angepasst werden, als dass sie nur sehr lokal, unter wenig Spannung und ohne Befeuchtung des Papiers durchgeführt wird. Da die Verklebungen der Papierstücke des Mandalas nicht spannungsfrei erfolgte, können einige dieser Verwerfungen wahrscheinlich auch nicht durch das Spannen vollständig entfernt werden.

○ **Sicherung der brüchigen Bereiche und Fehlstellenergänzung oder -sicherung**

Die Sicherung der brüchigen Bereiche kann grundsätzlich ohne ein vorhergehendes Auswaschen oder eine Komplexierung der Eisen(II)-Ionen erfolgen. Es sollten jedoch Methoden angewandt werden, die einen geringen Wassereintrag verursachen oder auf nicht-wässrigen Klebstoffsystemen basieren. Durch einen zu hohen Wassereintrag können wasserlösliche Produkte ausbluten und schädigende Substanzen (Säuren, Eisen(II)-Ionen) in angrenzende Papierbereiche migrieren und weitere Schädigungen verursachen. Eine Sicherung dieser Bereiche in verworfenem Zustand ist ungünstig. Die Sicherung kann ein- oder zweiseitig erfolgen. Aufgrund der angrenzenden, großen Fehlstellen ist eine bloße Sicherung der brüchigen Bereiche trotzdem sehr instabil und sollte mindestens mit einer Fehlstellensicherung kombiniert werden.

Bei einer Fehlstellenergänzung wird eine Intarsie aus farblich und strukturell angepasstem Papier auf Stoß oder leicht überlappend verklebt. Dabei müsste ein großer Teil der Verklebung auf den angrenzenden brüchigen Bereichen erfolgen. Das Ergänzungspapier, das unbeschädigte Papier und die beschädigten Bereiche weisen zudem unterschiedliche Flexibilität und Dehnungseigenschaften auf, die zu Beschädigungen führen könnten.

Eine Fehlstellensicherung dient der Sicherung der Fehlstellen in der Ebene. Dabei wird ein Japanpapier rückseitig in den an die Fehlstelle und die brüchigen Bereiche angrenzenden unbeschädigten Papierbereichen verklebt. Dadurch muss die Verklebung nicht in den brüchigen Bereichen erfolgen und unterlegt diese zusätzlich schützend. Das Japanpapier kann farblich und strukturell angepasst werden und so auch ästhetischen Ansprüchen genügen.

Auswahl und Begründung

Die zahlreichen miteinander verklebten Falten führen zu Spannungen im Papier, die mit der Zeit zu weiteren Schäden führen können. Daher wurde entschieden, eine Trennung der verklebten Stellen durchzuführen, um ein Auffalten zu ermöglichen. Dies gewährleistet das spannungsfreie Planlegen des Mandalas sowie die Sicherung der brüchigen Bereiche. Diese Entscheidung wurde durch die erste REM-EDX-Messung an Probe 1 unterstützt, die einen sehr geringen Eisengehalt ergab (siehe Kapitel 5.2). Die Verklebungen treten in den brüchigen Bereichen selbst nur punktuell auf. Zur Trennung wurde mit einem Aerosolauftrag von Ethanol-Wasser-Mischungen experimentiert, wobei sich eine 70 : 30 Mischung (Ethanol : Wasser) als geeignet erwies. Durch diese Flexibilisierung konnten die sechs Verklebungspunkte mechanisch getrennt werden. Die Trennung ergab einige lose Fragmente, die keiner Fehlstelle zugeordnet werden konnten. An einem weiteren Fragment (Probe 2) wurde anschließend die REM-EDX-Messung wiederholt, die diesmal einen weitaus höheren, variierenden Eisen-Gehalt ergab. Zudem wurde positiv auf Eisen(II)-Ionen getestet. Trotz dieser neuen Erkenntnisse ist die Trennung der brüchigen Bereiche restauratorisch vertretbar, da lokal und mit wenig Feuchtigkeit gearbeitet wurde. Es konnten keine optischen Veränderungen festgestellt werden.

Anschließend sollte eine lokale, einseitige, rückseitige Sicherung der brüchigen Bereiche in Kombination mit einer Fehlstellensicherung erfolgen. Die Sicherung der brüchigen Bereiche sollte mit einem nicht-wässrigen Klebstoff erfolgen, um eine Migration schädlicher Substanzen zu verhindern. Risse in unbeschädigten Papierbereichen können dagegen mit wässrig-basierten Rissverklebungstechniken geschlossen werden.

Bevor die Fehlstellensicherung durchgeführt wird, soll die angepasste japanische Spannmethode zur Reduzierung verbleibender Falten und Verwerfungen angewandt werden. Anschließend wird eine Fehlstellensicherung durchgeführt, bei der das verwendete Japanpapier rückseitig in den unbeschädigten Papierbereichen um eine Fehlstelle verklebt wird und dadurch die Fehlstelle in der Ebene stabilisiert, ohne die brüchigen Papierbereiche durch eine Verklebung zu belasten.

6.3 Aufbewahrung

Das Mandala soll aufgefaltet und flach liegend im Depot aufbewahrt werden. Die Lagerung in aufgefaltetem Zustand schont die beschädigten Bereiche. Nötig ist eine formstabile und alterungsbeständige Unterlage mit Deckel, der mittels Abstandshaltern nicht auf dem Mandala aufliegt. Die abgelösten, nicht lokalisierten Fragmente sollen dem Mandala gesichert beigelegt werden und die eventuell vorhandenen Informationen zur Fundstelle notiert werden.

6.3.1 Schutzverpackung

Die Schutzverpackung soll nach Art einer Mappe konstruiert werden und besteht aus einer Unterlage, Abstandshaltern sowie Staubabdeckung. Die Außenmaße betragen 130 x 130 cm. Für das Unterlagenmaterial sowie die Abdeckung bietet sich Wabenkarton an, welcher bei geringem Gewicht formstabil ist und aus säurefreiem Karton gefertigt wird. Auch die Abstandshalter können aus Wabenkarton in der gewünschten Größe zugeschnitten werden und dienen gleichzeitig als Schutz vor Licht und Staub. Die offenen Kanten des Wabenkartons sollen mit säurefreiem Material (beispielsweise gefalzter Autographenkarton) eingefasst werden.

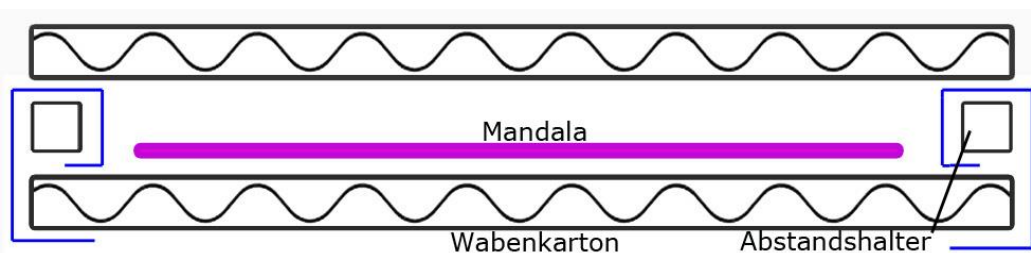


Abb. 46 Schema der Aufbewahrungsmappe, Querschnitt.
Die blaue Linie bezeichnet eine mögliche Variante der Kanteneinfassung des Wabenkartons.

Abb. 50 zeigt den schematischen Aufbau der Schutzverpackung im Querschnitt. Nicht dargestellt sind die Art der Deckelverbindung und der Verschlussmechanismus.

Bei diesen bieten sich mehrere Möglichkeiten, die anhand von Miniaturmodellen der Aufbewahrungsmappe visualisiert und getestet werden sollen.

Prinzipiell eignen sich zur Deckelverbindung beispielsweise Gewebebänder, die auf den Wabenkartons verklebt werden. Bei der Verarbeitung dieser Verbindung bieten sich verschiedene Möglichkeiten, von denen zwei exemplarisch in Abb. 51 dargestellt werden. Das Gewebeband kann einfach (A) oder doppelt (B) gearbeitet sein oder zusätzlich eine Verstärkung durch einen Karton- oder Pappkern enthalten.

Wie in Abb. 51 zu sehen, kann die Entscheidung für eine Deckelverbindungsvariante die Art der Kanteneinfassung des Wabenkartons sowie die Reihenfolge der Verklebungen beeinflussen und muss zuvor ebenfalls kritisch überdacht werden.

Um die Mappe zu schließen, können an der gegenüberliegenden Kante oder an allen drei Seiten Verschlussbänder befestigt werden.

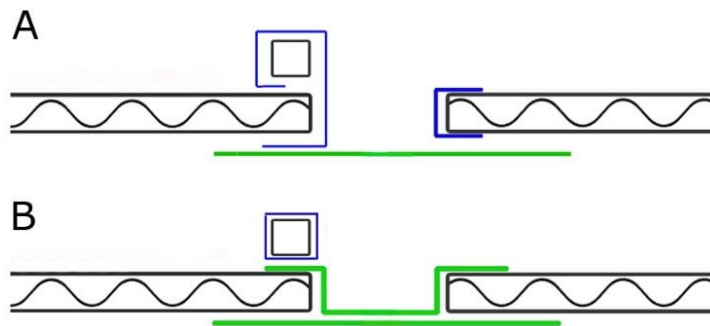


Abb. 47 Zwei der möglichen Varianten der Deckelbefestigung.
A: Einfaches Gewebeband (grün), B: Doppeldes Gewebeband.

Das Mandala sollte in der Schutzverpackung gegen Verrutschen fixiert werden. Aufgrund der durchzuführenden Spannmethode auf dem Karibari werden Japanpapiersteifen in regelmäßigen Abständen am Rand des Mandalas verklebt. Diese könnten in Teilen belassen und zur Befestigung in der Aufbewahrungsmappe verwendet werden. Wenn eine Montage durch Japanpapierfälzchen auf der Unterlage nicht erwünscht ist, bieten sich mehrere klebstofffreie Lösungen an. Gegen leichte Bewegung kann schon ein Umschlag aus festem Japanpapier als rutschfeste Unterlage dienen, wenn dieser in der Größe der inneren Unterlagefläche zugeschnitten wird. Der Umschlag kann durch am Deckel befestigte Abstandshalter bei geschlossenem Deckel fixiert werden. Für einen Schutz gegen stärkere Bewegung könnten Streifen aus Japanpapier oder Karton dienen, die über das Mandala gespannt und durch Schlitze auf die Rückseite der Unterlage geführt werden.

6.3.2 Fragment-Montage

Die beschädigende Substanz, die im gefalteten Zustand verschüttet wurde, hat eine Verklebung des Papiers in diesen Bereichen verursacht. Die Faltung muss zu einem früheren Zeitpunkt schon einmal geöffnet worden sein, da viele Fragmente an anderer Stelle verklebt sind. Durch die Trennung der Verklebungen der Falten wurden einige dieser Fragmente abgelöst oder ergaben sich in den Falten lose vorliegend. Aufgrund an diesen anhaftender, gefärbter Fasern und der Rekonstruktion der aufeinanderliegenden Schadstellen kann in vielen Fällen eine ungefähre Lokalisation auf dem Mandala erfolgen. Aufgrund der Größe der Fehlstellen ist eine genaue Zuordnung in dieser jedoch nicht möglich. Daher sollen die Fragmente lediglich extra montiert beigelegt werden. Die Trennungen ergaben elf Fragmente, die in ihrer Größe von einem Millimeter bis zu mehreren Zentimetern rangieren. Generell ist die Fragment-Montage abhängig von ihrer Größe, Form, den mechanischen Eigenschaften und dem vorliegenden Schadensfall. Sie können unter anderem mit Fäden montiert, mit Fäden festgenäht oder in Taschen aus Papier oder Folienmaterial gelagert werden.

Aufgrund der Wasserempfindlichkeit und der Brüchigkeit der Fragmente wurde entschieden, diese in Folientaschen zu lagern. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass eine klebstofffreie Montage erfolgt und die Fragmente sichtbar bleiben. Polyesterfolien aus Polyethylenterephthalat (PET) enthalten keine Weichmacher und weisen gute Alterungseigenschaften auf. Die Taschen werden durch Verschweißen geschlossen und können auf einer stabilen Unterlage verklebt oder vernäht werden. Für eventuell gewünschten Luftaustausch können Löcher gestochen oder geschnitten werden. Diese Methode eignet sich unter anderem für Fragmente aus Manuskripten mit Tintenkorrosion. Die Fragmente werden dabei in Foliensteifen eingeschweißt, auf Autographenkarton festgenäht und nummeriert beim Buch gelagert.

7 Durchgeführte Maßnahmen

Nachfolgend werden die bisher durchgeführten, konservatorischen und restauratorischen Maßnahmen am Mandala beschrieben. Dabei erfolgte das Auffalten des Mandalas zu Beginn der Arbeit, während die Trennung der Verklebungen und die Stabilisierung der brüchigen Bereiche zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt wurden.

7.1 Auffalten

Das Papier war ursprünglich mit der Rückseite nach außen zu einem Viertelkreis gefaltet (Abb. 52, 53). Um die erste Faltung des Mandalas auszulegen, wurde ein Stützmaterial benötigt, das zur späteren Stabilisierung beim Aufklappen zunächst zwischen die beiden Mandalaviertel eingeschoben werden musste. Dabei diente ein gefaltetes Japanseidenpapier als schützende Trennlage, auf der ein stabiler V-förmig gefalzter Autographenkarton, mit der Falzung voran eingeschoben werden konnte. Ein zweiter, V-förmig gefalzter Karton fasste das Mandala von außen ein. Dadurch umgaben das obere Mandalaviertel zwei stabile Kartons, mit deren Hilfe die erste Faltung vorsichtig aufgefaltet werden konnte. Die dann zu oberst liegende Mandalahälfte (Abb. 54) war durch mehrfache Fehlstellen und brüchigen Bereichen sehr fragil und empfindlich. Zwischenlagepapiere oder Kartons konnten aufgrund der Beschädigungen nicht komplett bis zum Falz vorgeschoben werden. Zudem befand sich an der Faltung ein vorstehendes Fragment, das beschädigt werden könnte (roter Pfeil in Abb. 54). Zunächst musste daher die auf Abb. 54 im linken Randbereich befindliche gestauchte Faltung in eine Rundung nach außen ausgefaltet werden, um die Faltkante zu begradigen und Spannungen im Papier während der Ausfaltung zu vermindern. Diesmal wurde auf die wiederum eingeschobene Trennlage aus Japanpapier ein V-förmig gefalzter Karton mit einer Lage eingeschoben, sodass sich der Karton um die obere Lage sandwichartig schließen konnte. Der Karton wurde nur so weit eingeschoben, dass der unterste beschädigte Bereich an der Faltung sichtbar blieb und das Fragment so während dem Auffalten gesichert werden konnte. Um eventuell auftretenden Spannungen im Papier beobachten zu können, wurde die Mandalahälfte zunächst auf eine Schräge (ca. 100°) umgelegt. Nach Sicherung des Fragments und Abschätzung der Risiken konnte die Schräge entfernt und das Mandala komplett aufgefaltet werden. Durch eingepresste und verklebte Falten ergaben sich Spannungen und Verwerfungen im Papier (Abb.55).



Abb. 48 Viertelfaltung des Mandalas.



Abb. 49 Viertelfaltung des Mandalas, Rückseite.

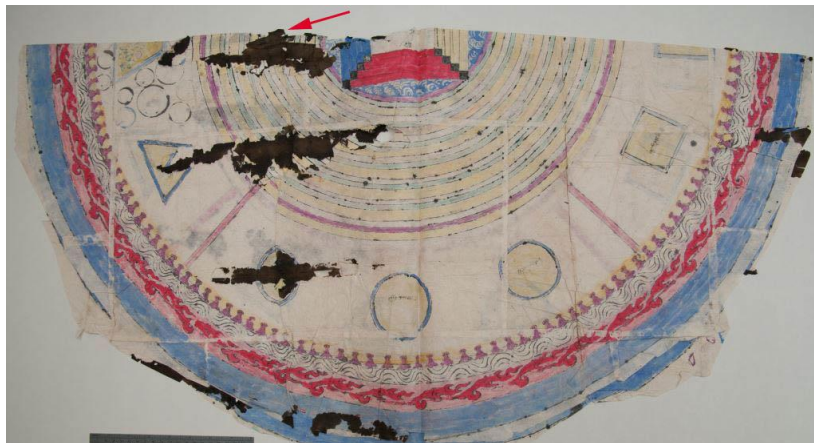


Abb. 50 Zur Hälfte aufgefaltetes Mandala.



Abb. 51 Schrägansicht des ausgefalteten Mandalas.

7.2 Trennung der verklebten Bereiche

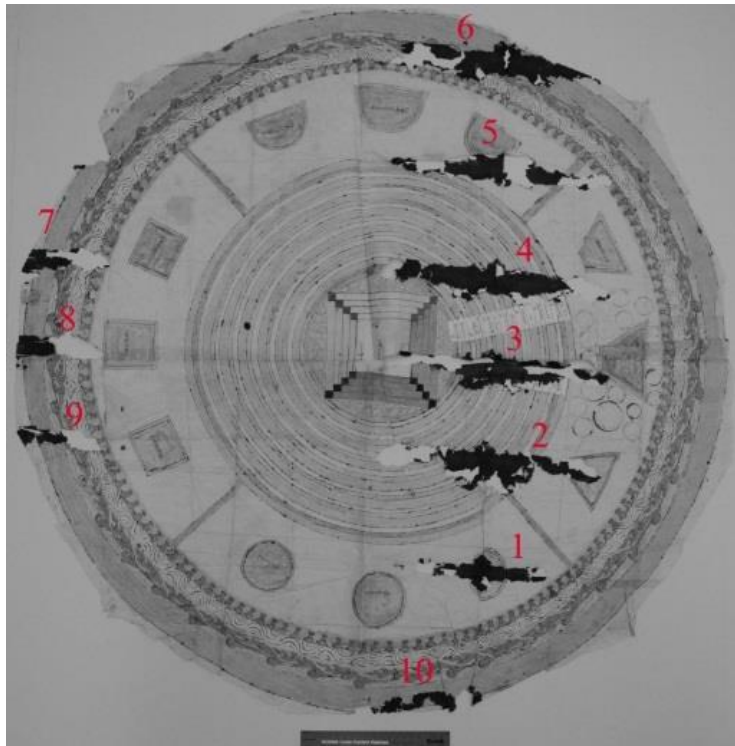


Abb. 52 Übersicht der nummerierten Schadensbereiche.

Abb. 56 zeigt die Nummerierung der Schadensbereiche, die zur Dokumentation der Maßnahmen erfolgte. Anhand dieser Nummern wird in der Dokumentation auf die betroffene Stelle verwiesen.

Durch den lokalen Auftrag einer zum Aerosol vernebelten Ethanol-Wasser-Mischung (70:30 v/v) kann das Papier lokal flexibilisiert und anschließend mechanisch mit Spatel und Skalpell getrennt werden. Die angrenzenden Bereiche wurden durch Löschkartonabdeckungen geschützt. Durch den möglichst punktuellen und geringen Aerosolauftrag durch eine schmale Düse konnte in begrenzten Bereichen gearbeitet werden. Es traten keine Veränderungen in den geschädigten Bereichen auf, die mit dem bloßen Auge oder unter UV erkennbar sind.

Die Abbildungen 57 bis 60 dokumentieren beispielhaft die Trennung verklebter Bereiche zum Auslegen der Falten an Schadensbereich 2. Die betreffende Falte verläuft zwischen Schadensbereich 1 und 2 und ist in ersterem ebenfalls verklebt. Die roten Pfeile in Abb. 57 markieren die zu trennenden Kanten, wobei zu bemerken ist, dass die Verklebung nur in einer Breite von 2–3 mm entlang der markierten Kante zu finden ist. Ihre genauen Ausmaße wurden vor der Maßnahme untersucht und die Befeuchtung nur im Bereich der Verklebung angewandt. Abb. 58 zeigt den Schadensbereich nach der Flexibilisierung und der Trennung,

jedoch vor dem Auslegen der Falte. Es wurden keine optischen Veränderungen durch die Maßnahme festgestellt. Abb. 59 bietet durch eine Schrägansicht einen Blick zwischen die getrennten Lagen. Das vollständige Auslegen des Schadensbereichs in Verbindung mit dem Auslegen der Falte konnte anschließend trocken durchgeführt werden (Abb. 60).



Abb. 53 Schadensbereich 2, vor der Trennung.
Die zu trennenden Kanten sind mit den roten Pfeilen markiert.



Abb. 54 Schadensbereich 2, nach der Trennung: Ansicht von oben.
Das untere Stück ist bereits nach rechts ausgeklappt.



Abb. 55 Schadensbereich 2, nach der Trennung:
Schrägansicht.



Abb. 56 Schadensbereich 2, nach der Trennung:
Ausgelegte Falte.

7.3 Sicherung des Papierschildes und Drehung des Mandalas

Zur rückseitigen Sicherung der brüchigen Bereiche muss das Mandala umgedreht werden. Zuvor wurden das Risiko weiterer Beschädigungen während des Umdrehens evaluiert und die gefährdeten Stellen gesichert.

Besonders bruchgefährdet ist das zweite, stark beschädigte Papierschild, das sich als deutlich brüchiger als das langfaserige Trägerpapier erweist. Das Papierschild ist stark fragmentiert, weist einige umgeschlagene Papierbereiche auf und hat in vielen Bereichen seine Haftung zum Trägerpapier verloren (Abb. 61). Dieses muss zunächst gesichert werden, bevor das Mandala zur Sicherung der brüchigen Bereiche umgedreht werden kann.

Zur Sicherung wurde eine zur Folie ausgegossene Klebstoffmischung aus Plextol B500 (Ethylacrylat und Methylmethacrylat) und Plextol M630 (Methylmethacrylat) verwendet.⁷⁸ Diese kann in passende Stücke zugeschnitten und unter das Papierschild geschoben werden.

Die Verklebung erfolgt bei einer Temperatur von 140 - 150°C. Dabei schützt ein Zwischenlagepapier die Oberfläche des Papierschildes. Abb. 62 dokumentiert Lage und Größe der Klebepunkte. Abb. 63 zeigt das Papierschild nach erfolgreich durchgeführter Sicherung. Die Sicherung konnte erfolgreich durchgeführt werden.

Anschließend konnte das Mandala umgedreht werden. Dabei wurde ein schützendes Sandwich aus flexiblen Materialien zur Anpassung an die Unebenheiten der brüchigen Bereiche mit starren Materialien zur Fixierung kombiniert: Auf der Oberfläche des Mandalas



Abb. 57 Schadensbereich 3: Beschädigtes Papierschild vor den Sicherungsmaßnahmen.

⁷⁸ Mischungsverhältnis: B500:M630 = 1,5:8,5, Verdünnung: dest. Wasser : Acrylatmischung = 2:1.

wurde eine schützende Schicht glatten Japanpapiers gelegt, worauf drei Schichten eines weichen Polyester-Vlieses (AVOS-Vlies) folgten. Mit der Unterlage und einer aufgelegten Wabenplatte konnte das Ganze umgedreht werden. Das Vlies kann anschließend unter dem Japanpapier entfernt werden und das Mandala mit diesem auf die Arbeitsunterlage übertragen werden.



Abb. 59 Kartierung der eingebrachten Klebepunkte.



Abb. 58 Schadensbereich 3: beschädigtes Papierschild nach der Sicherung.

7.4 Rückseitige Sicherung der brüchigen Papierbereiche

Für die rückseitige Stabilisierung der brüchigen Bereiche wurde das sogenannte *Munich Tissue* ausgewählt, das im Institut für Buch- und Handschriftenrestaurierung (IBR) der Bayerischen Staatsbibliothek für die Sicherung von Tintenschäden entwickelt wurde.⁷⁹ Dieses besteht aus einem dünnen Japanseidenpapier, das mit einem hitze- oder lösemittelreaktivierbaren, synthetischen Klebstoffgemisch beschichtet ist. Das Klebstoffgemisch setzt sich derzeit aus den Komponenten Plextol B500 und M630 zusammen. Es kann bei Temperaturen ab 110° verklebt werden und soll auch nach der Alterung mittels Ethylacetat wieder entfernbar sein.

Die Abbildungen 64 bis 67 dokumentieren die ersten Sicherungen mit dem *Munich Tissue* am mongolischen Mandala. Es wurden zunächst kleinere Bereiche zur Sicherung ausgewählt, hier im Schadensbereich 7. Durch eine Aktivierung der Klebstoffschicht bei 140–150°C ohne Druck durch den Heizspatel kann das *Munich Tissue* aufgesiegelt werden. Bei einer Aktivierung wird die Klebstoffschicht matt und passt sich so gut an die Oberfläche an. Durch den dunklen Untergrund in Verbindung mit dem hellen Japanseidenpapier als Trägermaterial erfolgt eine leichte Vergrauung, die in dem Ausmaß und rückseitig jedoch vertretbar sind.

⁷⁹ Es wird derzeit (2014) am IBR eine Publikation zum *Munich Tissue* vorbereitet.



Abb. 60 Schadstelle 7, vor der Stabilisierung

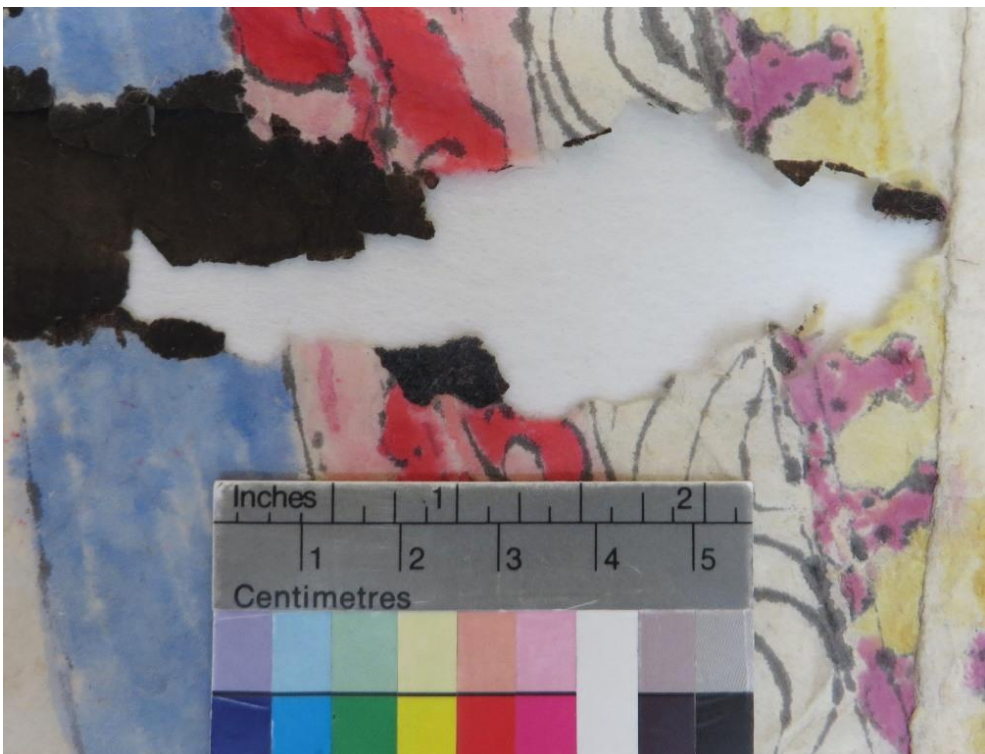


Abb. 61 Schadstelle 7, nach der Stabilisierung



Abb. 62 Schadstelle 8, vor der Stabilisierung.



Abb. 63 Schadstelle 8, nach der Stabilisierung.

8 Fazit und Ausblick

Die Beschädigung des Papiers in insgesamt elf Bereichen wurde durch eine Flüssigkeit hervorgerufen, die wahrscheinlich über dem Mandala verschüttet wurde und den Papierträger mit der Zeit abgebaut hat. Diverse Fehlstellen belegen einen großen Verlust an Originalsubstanz aufgrund dieser Beschädigung.

Die Ursache des Papierabbaus kann auf die saure Hydrolyse (pH-Wert ca. 3.30) und den durch Eisen(II)-Ionen katalysierten oxidativen Abbau zurückgeführt werden. Ein variierender Gehalt an Eisen konnte unter dem Rasterelektronenmikroskop mittels energiedispersiver Röntgenspektroskopie sowie durch Röntgenfluoreszenz-Analyse nachgewiesen werden. Die Indikatorpapiere für freie Eisen(II)-Ionen testeten zudem positiv auf freie Eisen(II)-Ionen. Der Schrifträgerabbau durch die komplexe Kombination dieser Abbaumechanismen ist als sogenannter Tintenfraß bei Eisengallustinten bekannt. Trotz der Ähnlichkeiten der Abbaumechanismen zum Tintenfraß bei Eisengallustinten konnte ein für Vitriol (FeSO_4) nötiger Gehalt an Schwefel nicht nachgewiesen werden. Es kann daher nicht von einer eisenhaltigen Tinte gesprochen werden, da es sich auch um eine Flüssigkeit anderer Verwendung oder Herkunft gehandelt haben kann. Der Schaden wurde jedoch aufgrund analoger Abbaumechanismen für die restauratorischen Maßnahmen als Tintenfraß betrachtet.

Auf Grundlage der durchgeführten kunsttechnologischen Untersuchungen sowie der Schadensanalytik wurden das Restaurierungskonzept sowie das Lagerungskonzept erstellt. Das Auffalten des Mandalas konnte problemlos durchgeführt werden. Da die ersten REM-EDX-Messungen an Probe 1 einen sehr geringen Eisengehalt ergaben, wurden Maßnahmen mit sehr geringem Anteil an Feuchtigkeit in die Überlegungen mit einbezogen. Um die Spannungen im Papier zu reduzieren, wurden die punktuell verklebten Falten mit einem zum Aerosol vernebeltem Ethanol-Wasser-Gemisch (70:30 v/v) flexibilisiert und mechanisch getrennt. Auch mit den REM-EDX-Ergebnissen von Probe 2, die einen teilweise deutlich höheren Eisenanteil ergaben, wurde diese Maßnahme als in diesem Fall vertretbar erachtet. Die Trennung wurde an insgesamt sechs Verklebungen, sehr lokal und mit minimal eingebrachter Feuchtigkeit durchgeführt. Durch diese Trennungen war es möglich, stark eingepresste Falten auszulegen und so die Planlage des Papiers deutlich zu verbessern. Es traten keine optische Veränderungen oder mechanischen Beschädigungen an den getrennten Papierbereichen auf.

Da von einer vollständigen oder lokalen Wässerung aufgrund der hohen Wasserlöslichkeit der Farbstoffe und brauner Produkte abgesehen wurde, sollte zur rückseitigen Stabilisierung der brüchigen Bereiche eine nicht-wässrige Stabilisierungstechnik, das sogenannte *Munich Tissue*, verwendet werden. Dieses wird zur Sicherung von Tintenfraßschäden verwendet. Durch den Einsatz eines nicht-wässrigen Klebstoffes wird die Möglichkeit der Migration schädigender Säuren und Eisen(II)-Ionen im Papier durch eingebrachte Feuchtigkeit unterbunden. Die rückseitige Stabilisierung konnte bereits am Mandala begonnen werden. Mit ausreichender Hitze kann das *Munich Tissue* relativ unsichtbar aufgebracht werden, wobei durch das helle Japanpapier auf dunklem Grund trotzdem eine leichte Verschleierung eintritt. Da das brüchige Papier nur rückseitig stabilisiert wird, ist dies jedoch akzeptabel. Abschließend kann festgehalten werden, dass die durchgeführten konservatorischen und restauratorischen Maßnahmen den Zugang zur Darstellung ermöglicht haben und die begonnene Stabilisierung und anschließende Fehlstellensicherung der abgebauten Bereiche zu einer Langzeitstabilisierung des Mandalas beitragen wird.

Ausblick

Die restauratorischen Maßnahmen am mongolischen Mandala werden nach Abschluss der Arbeit fortgeführt. Die brüchigen Bereiche werden nach der beschriebenen Vorgehensweise mit dem *Munich Tissue* gesichert. Anschließend sollen kleinere Falten und Verwerfungen mit der erwähnten japanischen Spannmethodem reduziert werden. Es wird erwartet, dass dadurch kleinere Falten und Verwerfungen ausgeglichen oder reduziert werden können, ohne zu starke Belastung auf die beschädigten Bereiche auszuüben oder die Fehlstellen zu vergrößern. Es muss jedoch zunächst gesondert evaluiert werden, wie die Anpassung der Spannmethodem an den vorliegenden Fall im Detail erfolgt.

Die Fehlstellensicherung wird mit farblich und strukturell passendem Japanpapier durchgeführt, welches unter die Fehlstellen gespannt und in den unbeschädigten Papierbereichen verklebt wird. Hierbei kann ein wässriger Klebstoff verwendet werden, der ausreichende Stabilität bei hoher Flexibilität aufweist.

Abschließend erfolgt die Herstellung der Aufbewahrungsmappe nach den oben genannten Gesichtspunkten.

9 Literaturverzeichnis

- BANIK 1999 Banik, Gerhard: *Phänomene und Ursachen von Tintenfraß auf Papier – Eine Einführung*, in: G. BANIK/H. WEBER (Hrsg.): *Tintenfraßschäden und ihre Behandlung*, Stuttgart 1999, S. 13–24.
- BANIK 2009 Banik, Gerhard: *Scientific conservation: Transfer of scientific research on ink corrosion to conservation practice – does it take place?*, in: *Restaurator* Vol. 30, Heft 1-2, München 2009, S. 131-146.
- BARKMANN 2005 Barkmann, Udo: *Die Mongolei im 20. Jahrhundert*, in: *Dschingis Khan und seine Erben. Das Weltreich der Mongolen*, Ausstellungskatalog der Kunst und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn 2005, S. 414-417.
- BASF 1967 BASF (Hrsg.): *Farbstoffe für das Färben von Papier in der Masse, Musterkarten*, 3 Bände, Ludwigshafen [am Rhein] 1961-1967.
- BRAUEN 1992 Brauen, Martin: *Das Mandala. Der heilige Kreis im tantrischen Buddhismus*, Köln 1992.
- CHIDO 2005 Chiodo, Elisabetta: *Die mongolischen Manuskripte auf Birkenrinde aus Charbuchyn Balgas*, in: *Dschingis Khan und seine Erben. Das Weltreich der Mongolen*, Ausstellungskatalog der Kunst und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn 2005, S. 112-116.
- CHULUUNBAATAR 2008 Chuluunbaatar, Otgonbayar: *Einführung in die mongolischen Schriften*, Hamburg 2008.
- DIETSCH 2000 Dietsch, Klaus A.: *China. Mit Tibet und Innere Mongolei*, München 2000.
- ESSEN/THINGO 1989 Essen, Gerd-Wolfgang/ Thingo, Tsering Tashi: *Die Götter des Himalaya*, München 1989.
- FUCHS 1999 Fuchs, Robert: *Der Tintenfraß historischer Tinten und Tuschen – ein komplexes, nie endendes Problem*, in: G. BANIK/H. WEBER (Hrsg.): *Tintenfraßschäden und ihre Behandlung*, Stuttgart 1999, S. 37-76.
- GRÖNBOLD 1982 Grönbold, Günter: *Die Schrift- und Buchkultur Tibets*, in: MÜLLER (Hrsg.): *Der Weg zum Dach der Welt*, Innsbruck, S. 363-380.

- HELMAN-WAŻNY 2006 Helman-Ważny, Agnieszka: *Asian paper in works of art: a comparative fiber analysis*, in: *Hand Papermaking*, Vol. 21, Heft 2, 2006, S. 3-9.
- HUHSMANN/HÄHNER 2008 Huhsmann, Enke/ Hähner, Ulrike: *Work standard for the treatment of 18th- and 19th-century iron gall ink documents*, in: *Restaurator* 29, Heft 4, München 2008, S. 274-319.
- HUNTER 1947 Hunter, Dard: *Papermaking: The History and Technique of an Ancient Craft*, London 1957.
- HUNTINGTON 2003 Huntington, John C. (Hrsg.): *The Circle of Bliss: Buddhist meditational art*, Chicago 2003.
- ILVESSALO-PFÄFFLI 1995 Ilvessalo-Pfäffli, Marja-Sisko: *Fiber atlas: Identification of papermaking fibers*, Berlin 1995.
- JACOBI ET AL 2011 Jacobi, Eliza: *Rendering the Invisible Visible. Preventing Solvent-Induced Migration During Local Repairs on Iron Gall Ink*, in: *Journal of PaperConservation* Vol. 12, Heft 2, Stuttgart 2011, S. 25-34.
- KAMMERMANN 2012 Kammermann, Walter: *Mikroskopie in der Papierindustrie*, Deutsche Nationalbibliothek 2012.
- KARA 2005 Kara, György: *Books of the Mongolian Nomads. More than Eight Centuriers of Writing Mongolian*, Bloomington (Indiana) 2005.
- KERRIGAN 1998 Kerrigan, Michael: *Auf dem Pfad der Erleuchtung: Tibet und Mongolei*, Amsterdam 1998.
- KOLAR/STRLIČ 2006 Kolar, Jana/Strlič, Matija: *Ageing and Stabilisation of Paper containing Iron Gall Ink*, in: KOLAR/STRLIČ (Hrsg.): *Iron Gall Inks: On Maufacture, Characterisation, Degradation and Stabilisation*, Ljubljana 2006, S. 181-194.
- KOLBE 2004 Kolbe, Gesa: *Gelatine in historical paper production and as inhibiting agent for iron-gall-ink corrosion on paper*, in: *Restaurator* 25, Heft 1, München 2004, S. 26-39.
- KOLLMAR-PAULENZ 2005 Kollmar-Paulenz, Karénina: *Der tibetische Buddhismus in der Mongolei: Geschichte und Gegenwart*, in: *Die Welt des tibetischen Buddhismus, Mitteilungen aus dem Museum für Völkerkunde Hamburg*, Band 36, Hamburg 2005.
- KÖPKE 2005 Köpke, Wulf: *Die Welt des tibetischen Buddhismus*, Hamburg 2005.
- KREKEL 1999 Krekel, Christoph: *Chemische Struktur historischer Eisengallustinten*, in: G. BANIK/H. WEBER (Hrsg.): *Tintenfraßschäden und ihre Behandlung*, Stuttgart 1999, S.25-36.

- LODRÖ TAYÉ 2003 Lodrö Tayé, Kongtrul: *The Treasury of Knowledge, Book One: Myriad Worlds*, Ithaca, NY 2003.
- MEINERT 2011 Meinert, Carmen (Hrsg.): *Buddha in der Jurte. Buddhistische Kunst aus der Mongolei*, München 2011.
- MEYER/ NEUMANN 2009 Meyer, Fabienne/Neumann, Anke: *Recombinant Proteins: A new material for the chemical stabilisation of copper pigment corrosion on paper?*, in: *Restaurator* 30, Heft 1, München 2009, S. 96-130.
- NEBESKY-WOJKOWITZ 1949 Nebesky-Wojkowitz, Réne de: *Schriftwesen, Papierherstellung und Buchdruck bei den Tibetern*, Dissertation, Universität Wien, 1949.
- NEEVEL, J. 1995 Neevel, Johan G.: *Phytate: a potential conservation agent for the treatment of ink corrosion caused by iron galls*, in: *Restaurator* 16, Heft 3, München 1995, S. 143-160.
- NEEVEL, H. 2006 Neevel, Han: *The development of in-situ methods for identification of iron gall inks*, in: KOLAR/STRLIČ (Hrsg.): *Iron Gall Inks: On Manufacture, Characterisation, Degradation and Stabilisation*, Ljubljana 2006, S. 147-172.
- NEEVEL, J./REISSLAND 2005 Neevel, Johan G./Reißland, Birgit: *Bathophenanthroline Indicator paper. Development of a New Test for Iron ions*, in: *PapierRestaurierung* Vol. 6, Heft 1, Stuttgart 2005, S. 28-36.
- PIENING 2007 Piening, Heinrich: *Mobile UV-VIS-Absorptionsspektroskopie. Einsatzmöglichkeiten zur zerstörungsfreien Materialanalytik in der Konservierung und Restaurierung von Kunst- und Kulturgut*, unveröffentlichte Diss., Hochschule für Bildende Künste Dresden, 2007.
- POTTHAST ET AL 2008 Potthast, Antje/Henniges, Ute/Banik, Gerhard: *Iron gall ink-induced corrosion of cellulose: ageing, degradation and stabilization. Part 1: Model paper studies*, in: *Cellulose* Vol. 15, Heft 6, 2008, S. 849-859.
- REBHAN 2007 Rebhan, Helga: *Tibetische Handschriften aus der Mongolei*, in: *Bibliotheksmagazin: Mitteilungen aus den Staatsbibliotheken in Berlin und München* 2, 2007, S. 24-28.
- REISSLAND/HOFFENK DE GRAAFF 2000 Reißland, Birgit/Hoffenk de Graaff, Judith: *Condition Rating for paper objects with iron-gall ink*, ICN-Information Nr. 1, Instituut Collectie Nederland, Amsterdam 2000.
- SAGASTER 2005 Sagaster, Klaus: *Der Mongolische Buddhismus: Geschichte*, in: *Dschingis Khan und seine Erben. Das Weltreich der Mongolen*, Ausstellungskatalog der Kunst und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn 2005, S. 342-347.

- SANDERMANN 1988 Sandermann, Wilhelm: *Die Kulturgeschichte des Papiers*, Berlin, Heidelberg, 1988.
- SCHICKLGRUBER 2009 Schicklgruber, Christian: *The Tower of Trongsa*, 2009.
- SCHMITZ-GLINTZER 2008 Schmitz-Glitzer, Helwig: *Der Buddhismus*, Die Weltreligionen-Box Bd. 5, München 2008.
- STRLIČ/SELIH/KOLAR 2006 Strlič, Matija/ Selih, Vid Simon/ Kolar, Jana: *Model studies of the catalytic role of transition metals*, in: KOLAR/STRLIČ (Hrsg.): *Iron Gall Inks: On Manufacture, Characterisation, Degradation and Stabilisation*, Ljubljana 2006, S. 173-180.
- TITUS ET AL 2009 Titus, Sonja/ Schneller, Regine/ Huhsmann, Enke/ Hähner, Ulrike, Banik, Gerhard: *Stabilising local areas of loss in iron gall ink copy documents from the Savigny estate*, in: *Restaurator* Vol. 30, Heft 1–2, München 2009, S. 16–50.
- WEBER 2004 Weber, Therese: *Die Sprache des Papiers. Eine 2000-jährige Geschichte*, Bern 2004.
- WEIERS 2005 Weiers, Michael: *Sprache und Schrift der Mongolen*, in: *Dschingis Khan und seine Erben. Das Weltreich der Mongolen*, Ausstellungskatalog der Kunst und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn 2005, S. 106–107.
- WEIERS 2009 Weiers, Michael: *Erbe aus der Steppe. Beiträge zur Sprache und Geschichte der Mongolen*, in: WEIERS/KÄMPFE (Hrsg.): *Tunguso Sibirica* Band 28, Wiesbaden 2009.
- WÜLFERT 1999 Wulfert, Stefan: *Der Blick ins Bild – Lichtmikroskopische Methoden zur Untersuchung von Bildaufbau, Fasern und Pigmenten*, in: SCHIEBL (Hrsg.): *Bücherei des Restaurators* Bd. 4, Freiburg 1999.

Internetquellen

- Internetquelle 1 Kollmar-Paulenz, Karenina: *Buddhism in Mongolia after 1990*,
Journal of Global Buddhism 4 (2003), S. 18–34,
<http://www.globalbuddhism.org>
(letzter Aufruf 10.06.14)
- Internetquelle 2 Macherey-Nagel (Hrsg.): *Dünnschichtchromatographie mit
TLC Mikro Sets*, <http://mn-net.com>, <http://mn-net.com/tabid/12389/default.aspx>
(letzter Aufruf 11.07.14)
- Internetquelle 3 The Huntington Archive:
<http://www.huntingtonarchive.osu.edu>, 2014.
Educational Resources:
<http://huntingtonarchive.osu.edu/resources/images/buddhistIconography/mtMeru/02.jpg>
(letzter Aufruf 14.07.2014)
- Internetquelle 4 Iron Gall Ink Website, <http://irongallink.org>
(letzter Aufruf 15.07.2014)
- Internetquelle 5 Wikipedia: Kupferphthalocyanin.
<http://de.wikipedia.org/wiki/Kupferphthalocyanin>
(letzter Aufruf 28.07.2014)
- Internetquelle 6 Kremer Pigmente: Heliogenblau, Phthalocyaninblau PB 15
<http://kremer-pigmente.de/23050.htm>
(letzter Aufruf 28.07.2014)

10 Glossar

- Abhidharmakosa** Abhidharmakosa bezeichnet einen Kommentar zum dritten Teil (Abhidharma) des buddhistischen Pali-Kanons (Tripitaka), verfasst von Vasubandhu im 4./5. Jahrhundert.
- Bathophenanthroline** Auch 4,7-Diphenyl-1,10-phenanthroline. Wird seit seiner Einführung durch NEEVEL, J./REISSLAND 2005 als spezifischer Eisen(II)-Ionen-Indikator verwendet. Bathophenanthroline weist eine geringe Löslichkeit in Wasser auf und blutet deshalb aus dem Indikatorpapier nicht aus. Das Indikatorpapier wird befeuchtet und für mehrere Sekunden auf die zu testende Stelle aufgelegt und leicht angedrückt. Bei Anwesenheit von Eisen(II)-Ionen färbt sich das Papier Magenta. Bathophenanthroline bildet dabei mit den Eisen(II)-Ionen einen gefärbten Komplex, der im Verhältnis 1:3 Eisen(II)-Ion:Indikatormolekül entsteht. Eisen(III)-Ionen können nur indirekt durch Reduzierung zu Eisen(II)-Ionen detektiert werden, beispielsweise durch Ascorbinsäure oder Natriumdithionit. Die Intensität der Magenta-Färbung ist abhängig von der Konzentration an Eisen(II)-Ionen, dem pH-Wert oder der Wasseraufnahmefähigkeit des Originals.
- Einzieh-Methode** Die trockenen Fasern werden auf einem Objektträger platziert, mit einem Deckglas bedeckt und auf eine Wärmeplatte gelegt. Ein Tropfen des erwärmten Einschlussmittels Melmount® 1.662 wird am Rand des Deckgläschens platziert. Das Einschlussmittel dringt zwischen Objektträger und Deckglas. Um Luftbläschen zu vermeiden und eine gute Verteilung zu gewährleisten, kann das Deckgläschen mit einem Silikonpinsel leicht bewegt oder nieder gedrückt werden.
- Godāniya** Kontinent (*dvīpa*) im Westen des Weltensystems. Runde Form. Wird flankiert von den kleineren Inseln Shatha und Uttaramantrin.
- Gossamer Tissue** Handelsname. Dünnes Japanpapier hergestellt aus Kozo- und Mitsumata-Fasern. Flächengewicht ca. 1,7 g/m².
- Herzog-Test** Aufgrund des unterschiedlichen Fibrillenverlaufs in der S1-Wand sind Bastfasern unter dem Polarisationsmikroskop unterscheidbar. Der Test gehört zu den wenigen eindeutigen Unterscheidungsmerkmalen zwischen Flachs und Hanf. Zwischen gekreuzten Polarisatoren und eingeschobener Lambda-Platte zeigen Flachs und Hanf in den Orthogonalstellungen eine entgegengesetzte Abfolge der Interferenzfarben Indigo der II. Ordnung oder Orange der I. Ordnung. Flachs, Ramie und Nessel (S1 s-spiraliger Fibrillentextur) zeigen in der O-W-Richtung Indigo II und Orange I in der N-S-Richtung.

Hanf und Jute (S1 z-spiraliger Fibrillentextur) zeigen dagegen in der O-W-Richtung Orange I und in der N-S-Richtung Indigo II. Baumwolle zeigt aufgrund wechselnd-spiraliger Fibrillentextur abwechselnde Bereiche in Orange I, Indigo II und neutralen Bereichen in Rot I.

- Jambudvipa** Benannt nach dem Baum *Jambu*. Auf dem trapezoid geformten Kontinent (*dvipa*) im Süden des Weltensystems leben die Menschen. Der Diamantenthron, *Vajrasansa*, befindet sich in seiner Mitte. Jambu wird flankiert von den kleineren Inseln Chamara und Avarachamara.
- Kalacakra** „Das Rad der Zeit.“ Praxissystem aus der Gruppe der Anattarayoga-Tantras des tibetischen Buddhismus, das sich ab dem 10. Jahrhundert verbreitete. Kalacakra bezeichnet ebenso die tantrische Gottheit.
- Karibari** Ein japanisches Trocknungspaneel für die Spanntrocknung von Papierobjekten. Es besteht aus einem hölzernen Rahmen, der mit zahlreichen Lagen Japanpapier nach einem bestimmten System beschichtet und dessen Oberfläche mit fermentiertem Kakisaft oder synthetischem Harz bestrichen und dadurch wasserundurchlässig gemacht wird.
- Dalai Lama** „Meeres-Lama“.
Lama (tibet.) *bla ma* oder sanskr. *Guru* ist ein Ehrentitel, der im tibetischen Buddhismus den spirituellen Lehrer und historisch gesehen die Leiter buddhistischer Klöster bezeichnet.
Dalai Lama ist eine Kombination aus dem mongolischen Wort *dalai* für Meer und dem tibetischen Wort *bla-ma* und bezeichnet den höchsten „lebenden Buddha“ (vom Vorgänger identifizierte Reinkarnation eines früheren Meisters) der *Gelug-* oder Gelbmützen-Schule des tibetischen Buddhismus. Der Dalai Lama gilt als Verkörperung des Bodhisattvas Avalokitesvara.
Er wurde erstmals als Ehrentitel von Altan Qayan 1578 an Sönam Gyatsho verliehen, der heute als 3. Dalai Lama bekannt ist. Nach KOLLMAR-PAULENZ geht der Titel auf den schon im 13. Jahrhundert Ehrentitel der mongolischen Khane, *dalai-yin qan*, „Meeres-Khan“ zurück.
- Lamaismus** Siehe Vajrayana.

Mahayana	Mahayana bezeichnet eine Hauptrichtung des Buddhismus. Wörtlich übersetzt bedeutet Mahayana so viel wie „Großes Fahrzeug“ oder "Großer Weg". Nach diesem wird der Buddhismus in Mahayana und Hinayana unterteilt. Hinayana bedeutet so viel wie „Kleines Fahrzeug“. Die Unterscheidung der beiden Richtungen liegt vor allem in der Motivation für den Weg, die sich aus der Erkenntnis des Leids (der 1. Edlen Wahrheit) ergibt. Ist der Wunsch, die Erlösung vom Leid zu erlangen, auf die eigene Person gerichtet, zählt dieser zum Hinayana, gilt der Wunsch der Erlösung vom Leid allen Lebewesen, wird dieser zum Mahayana gezählt. In diesem wird das Wohl der eigenen Person untergeordnet.
Purvavideha	Purvavideha bezeichnet den Kontinent im Osten des Weltenbergs Meru. Er ist halbrund geformt und wird von den kleineren Inseln Deha und Videha flankiert.
Rekombinante Proteine	Rekombination bezeichnet in der Biologie die Verteilung und Neuordnung von genetischem Material (RNA, DNA). „Protein-Engineering“ ist ein Teilgebiet der Biochemie/Biotechnologie, das sich mit der Optimierung und Herstellung von Proteinen beschäftigt. Rekombinante Proteine sind biotechnologisch hergestellte Proteine. Dabei wird die DNA ganz oder in Teilen mit der Vektor-DNA eines anderen Organismus verbunden und in der Form in eine Wirtszelle übertragen.
RK-00	Dünnes Japanpapier aus 100 % Kozo, Flächengewicht ca. 3,7 g/m ² . Handelsname der Firma Paper Nao.
Stupa	Stupa (Sanskrit „Hügel“), auch <i>Tope</i> , bezeichnet einen ursprünglich hügelartigen buddhistischen Kultbau und gehört zu den Hauptsymbolen des Buddhismus. Die vier Grundelemente sind eine quadratische Basisplattform, das Kuppelgewölbe, eine Reliquienkammer und eine mit einer Krone oder einem Juwel besetzten Spitze. In seiner Symbolik steht er als Grab- und Erinnerungsmal für den historischen Buddha und kann als Bauwerk für den Weltenberg Meru, den Kosmos oder den sitzenden gekrönten Buddha stehen. In seinem Grundriss symbolisiert sich darin das Rad der Lehre (<i>Dharmachakra</i>), die Lotusblüte der das Mandala.
Sudarshana	Nach BRAUEN 1992, S. 19 eine quadratisch angelegte Stadt auf der Gipfelfläche des Weltenbergs Meru.
Uttarakuru	Kontinent (<i>dvipa</i>) im Norden des Weltensystems, quadratisch geformt. Wird flankiert von den kleineren Inseln Kuru und Kauravas.

Vajrayana	„Diamant-Fahrzeug“. Der <i>Vajrayana</i> ist eine Strömung des Mahayana-Buddhismus, der ab dem 4. Jahrhundert in Indien entstand und vor allem den Buddhismus in Tibet und der Mongolei prägte. Er wird auch als <i>Lamaismus</i> , <i>Mantrayana</i> oder <i>Tantrayana</i> bezeichnet. Der Unterschied zum Mahayana-Buddhismus liegt in der Art und Weise der Erreichung der Buddhaschaft. Die tantrische Praxis ist im <i>Vajrayana</i> von großer Bedeutung. Zu den wichtigsten Schulen des <i>Vajrayana</i> zählen Nyingma, Kagyü, Sakya und Gelug.
------------------	--

11 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Das aufgefaltete Mandala vor der Bearbeitung.....	10
Abb. 2 Übersetzung der tibetischen Begriffe auf dem intakten Papierschild.	11
Abb. 3 Die Himmelsrichtungen und Kontinente des Mandalas nach buddhistischer Kosmologie.	12
Abb. 4 Überlappungsbereiche der Papierstücke.	13
Abb. 5 Beispiel einer in den brüchigen Bereichen verklebten Falte (rote Pfeile).....	13
Abb. 6 Rückseite des Mandalas.	15
Abb. 7 Vorderseite der Skizze (Cod.tibet. 982).	17
Abb. 8 Rückseite der Skizze (Cod.tibet. 982).	17
Abb. 9 Referenzmessung R#1 (Unterlage) am Mandala (Cod.tibet. 992).	20
Abb. 10 Messung R#4 (rotes Farbmittel) am Mandala (Cod.tibet. 992).....	20
Abb. 11 Messpunkt R# 1 der Skizze (Cod.tibet. 982).....	21
Abb. 12 Messpunkt R# 3 der Skizze (Cod.tibet. 982).....	21
Abb. 13 UV/VIS-Messung 00001 des Mandalas (Cod.tibet.992).	23
Abb. 14 UV/VIS-Messung 00006 des Mandalas (Cod.tibet.992).....	23
Abb. 15 Dauerpräparat 1 – braun verfärbte Fasern, Teil-Übersicht.....	25
Abb. 16 Intakter Faserbereich mit durchsichtiger Hülle.	26
Abb. 17 Faser zwischen gekreuzten Polarisatoren.....	26
Abb. 18 O-W-Richtung → Orange I.....	26
Abb. 19 N-S-Richtung → Indigo II.	26
Abb. 20 Beispiel einer flachen, in sich gedrehten Faser.	27
Abb. 21 Flache, in sich gedrehte Faser unter gekreuzten Polarisatoren.....	27
Abb. 22 Dauerpräparat 2 – intakte Fasern.	28
Abb. 23 Faser aus Abb. 25 in Dunkelstellung zwischen gekreuzten Polarisatoren.	28
Abb. 24 Gekreuzte Polarisatoren mit Lambda-Platte.....	28
Abb. 25 Gekreuzte Polarisatoren mit Lambda-Platte.....	28
Abb. 26 Flacher Faserbereich mit zwei Drehungen.....	29
Abb. 27 Übergang von flachem und verdrehtem Faserbereich zu rundem Bereich.	29
Abb. 28 Fortsetzung der Faserreste, Verquetschung und Drehung im weiteren Verlauf.....	29
Abb. 29 Flach gedrückter Faserbereich.	29
Abb. 30 Beschädigtes und aufgespaltenes Faserende.	30
Abb. 31 Faserreste aus Abb. 30, 31 unter gekreuzten Polarisatoren in Dunkelstellung.	30

Abb. 32 Kozo-Faser aus Rohbast mit umgebender transparenter Membrane.....	30
Abb. 33 Kozo-Faser aus Rohbast unter gekreuzten Polarisatoren.	30
Abb. 34 Fläche, in sich gedrehte Kozo-Faser aus einem Japanpapier.....	31
Abb. 35 Probe 1 – REM-EDX-Messung 1 (Spot 1 – 2).	34
Abb. 36 Quantitative Analyse von Spot 2 der REM-EDX-Messung 1.....	34
Abb. 37 Quantitative Analyse a Spot 2 der Probe 2 – REM-EDX-Messung 3.....	35
Abb. 38 Probe 2 – REM-EDX-Messung 3 (Spot 1 – 3).	35
Abb. 39 Quantitative Analyse von Spot 3 der Probe 2 – REM-EDX-Messung 3.	35
Abb. 40 Probe 2 – REM-EDX-Messung 4 (Spot 1 – 4).....	35
Abb. 41 Quantitative Analyse von Spot 1 der Probe 2 – REM-EDX-Messung 4.	35
Abb. 42 Quantitative Analyse von Spot 4 der Probe 2 – REM-EDX-Messung 4.	35
Abb. 43 Messung R#3.....	37
Abb. 44 Referenzmessung R#1 der Unterlage.....	37
Abb. 45 Spektrum einer historischen Eisengallustinte (Signatur Clm. 29550).....	38
Abb. 46 Schema der Aufbewahrungsmappe, Querschnitt.	52
Abb. 47 Zwei der möglichen Varianten der Deckelbefestigung.	53
Abb. 48 Viertelfaltung des Mandalas.....	56
Abb. 49 Viertelfaltung des Mandalas, Rückseite.....	56
Abb. 50 Zur Hälfte aufgefaltetes Mandala.....	56
Abb. 51 Schrägansicht des ausgefalteten Mandalas.....	56
Abb. 52 Übersicht der nummerierten Schadensbereiche.	57
Abb. 53 Schadensbereich 2, vor der Trennung.	58
Abb. 54 Schadensbereich 2, nach der Trennung: Ansicht von oben.....	58
Abb. 55 Schadensbereich 2, nach der Trennung: Schrägansicht.	58
Abb. 56 Schadensbereich 2, nach der Trennung: Ausgelegte Falte.....	58
Abb. 57 Schadensbereich 3: Beschädigtes Papierschild vor den Sicherungsmaßnahmen.	59
Abb. 58 Schadensbereich 3: beschädigtes Papierschild nach der Sicherung.	60
Abb. 59 Kartierung der eingebrachten Klebepunkte.....	60
Abb. 60 Schadstelle 7, vor der Stabilisierung.....	62
Abb. 61 Schadstelle 7, nach der Stabilisierung.....	62
Abb. 62 Schadstelle 8, vor der Stabilisierung.....	63
Abb. 63 Schadstelle 8, nach der Stabilisierung.....	63

12 Verzeichnis verwendeter Materialien und Geräte

Material	Bezugsquelle
Archivkarton 300g/m ² (Format: 1220 x 1000 mm)	Römerturm Feinstpapier GmbH & Co. KG Alfred-Nobel-Straße 19, 50226 Frechen
AVOS-Vlies, ca. 7 mm stark, 60 g/m ² .	Hans Schröder GmbH Ostendstr. 13, 76689Karlsdorf-Neuthard
Berlin Tissue	Gangolf Ulbricht Mariannenplatz 2, 10997 Berlin
KAPAline, Stärke 10 mm	Römerturm Feinstpapier GmbH & Co. KG
Nichtblutende Indikatorpapiere für Eisen(II)-Ionen	Preservation Equipment Ltd. Vinces Road, Diss, Norfolk, IP22 4HQ England
Plextol B500	Kremer Pigmente GmbH & Co. KG Hauptstr. 41-47, 88317 Aichstetten
Plextol M630	Conservation Resources Ltd., Cowley, UK / Polymer Latex GmbH & Co. KG, Marl
Viledon, 30 g/m ²	GMW Gabi Kleindorfer Aster Str. 9, 84186 Vilsheim

Verwendete Geräte

Durchlichtmikroskop	Leica DMLP
pH-Messung	Mettler Toledo SevenEasy
REM	Phenom G2 Pro X CeB6-Elektronenquelle
Röntgenfluoreszenzanalyse-Gerät	Thermo Scientific Niton XL3t GOLD D+
Ultraschallvernebler	Ultraschall-Minivernebler W/A/Vn II Günther Engelbrecht GmbH
UV/VIS-Messgerät	Ocean Optics Maja 200 Pro Wellenlängen 200–1100 nm.

13 Anhang

Anhang A	Kartierungen.....	79
Anhang B	Energiedispersive Röntgenspektroskopie.....	81
Anhang C	Röntgenfluoreszenzanalyse.....	98
Anhang D	UV/VIS-Messungen.....	106
Anhang E	Vollständige Fotodokumentation.....	111

Anhang A

Kartierungen

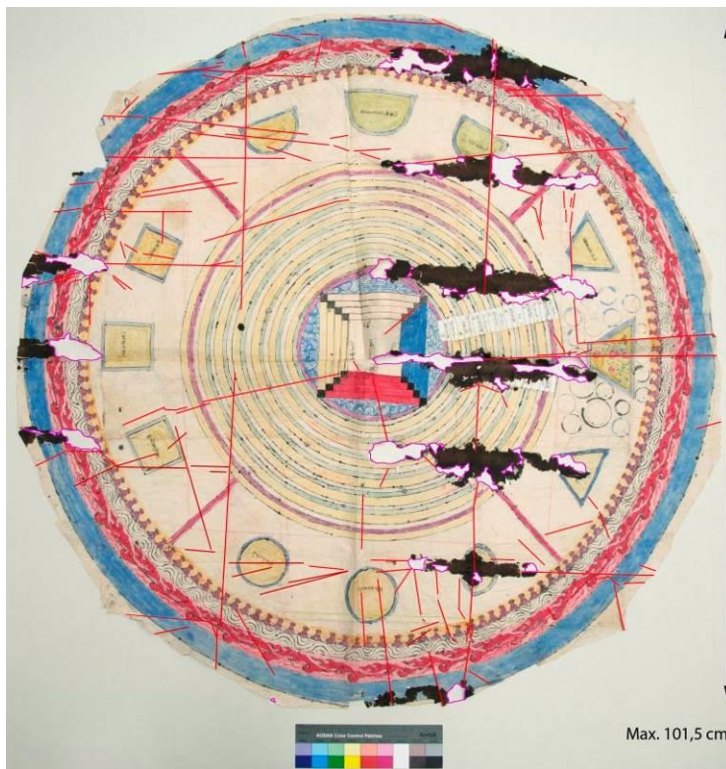


Abb. 64 Cod.tibet.992 Schadenskartierung

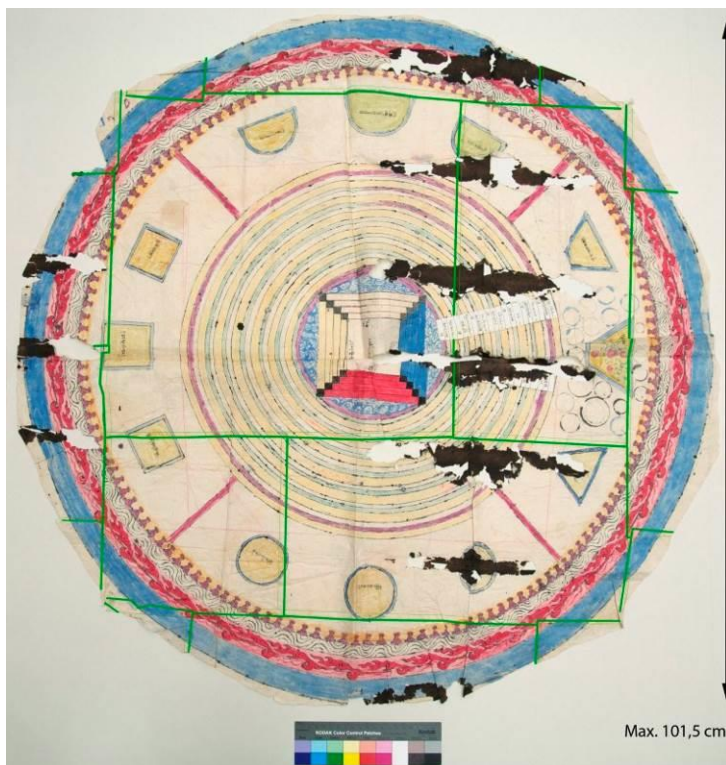


Abb. 65 Cod.tibet.992 Überlappungen der Papierstücke

Anhang B

REM-EDX-Messungen

Probe 1

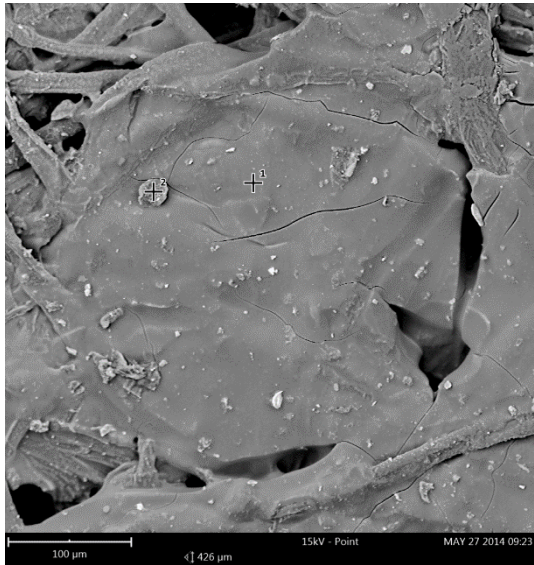


Abb. 66 Probe 1 REM-EDX-Messung 1 (Punkte 1-2).

Probe 1 - REM-EDX-Messung 1: Punkt 1

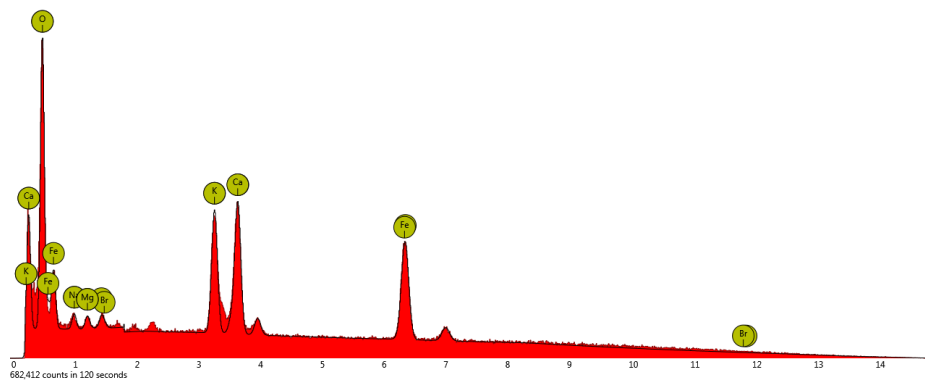


Abb. 67 Röntgenspektrum Probe 1 – Messung 1- Punkt 1.

Tabelle 1 Quantitative Analyse Probe 1 – Messung 1 – Punkt 1

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
8	O	Oxygen	100.0	74.7	0.6
20	Ca	Calcium	100.0	6.1	0.7
26	Fe	Iron	100.0	9.9	0.7

19	K	Potassium	100.0	5.1	0.7
11	Na	Sodium	100.0	2.7	4.1
35	Br	Bromine	100.0	0.4	4.5
12	Mg	Magnesium	100.0	1.2	4.8

Probe 1 - REM-EDX-Messung 1: Punkt 2

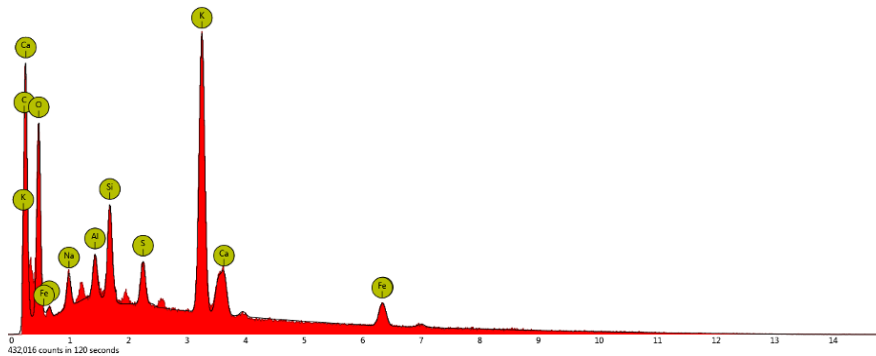


Abb. 68 Röntgenspektrum Probe 1 – Messung 1 – Punkt 2

Tabelle 2 Quantitative Analyse Probe 1 – Messung 1 – Punkt 2

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
19	K	Potassium	100.0	11.2	0.5
6	C	Carbon	100.0	10.3	0.7
8	O	Oxygen	100.0	63.4	0.7
14	Si	Silicon	100.0	3.1	1.1
20	Ca	Calcium	100.0	1.9	1.6
16	S	Sulfur	100.0	1.5	1.7
13	Al	Aluminium	100.0	1.9	2.0
26	Fe	Iron	100.0	2.3	1.8
11	Na	Sodium	100.0	4.5	2.3

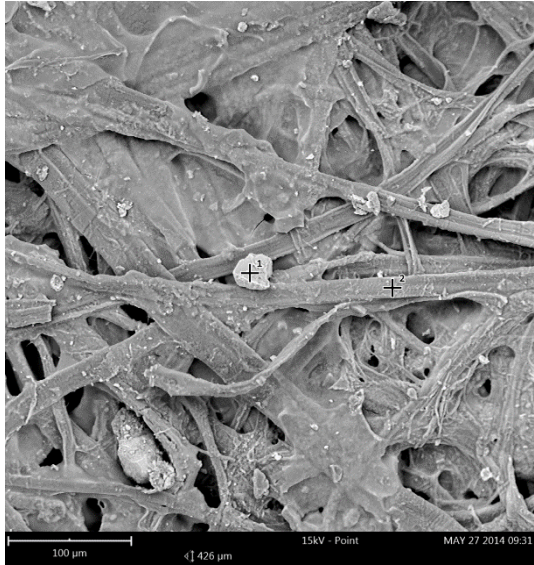


Abb. 69 Probe 1 – REM-EDX-Messung 2 (Punkte 1-2)

Probe 1 - REM-EDX-Messung 2: Punkt 1

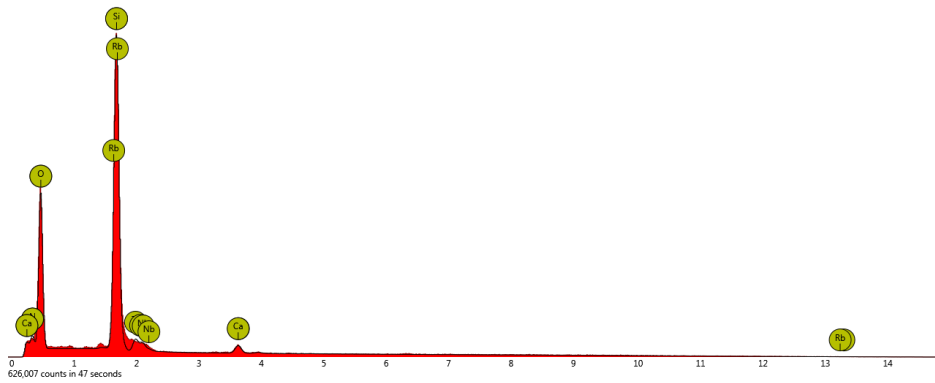


Abb. 70 Röntgenspektrum Probe 1 – Messung 2 – Punkt 1.

Tabelle 3 Quantitative Analyse Probe 1 – Messung 2 – Punkt 1

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
14	Si	Silicon	100.0	17.1	0.3
37	Rb	Rubidium	100.0	0.9	2.6
8	O	Oxygen	100.0	74.8	0.4
40	Zr	Zirconium	100.0	0.8	1.6
41	Nb	Niobium	100.0	0.4	3.2

7	N	Nitrogen	100.0	5.3	1.9
20	Ca	Calcium	100.0	0.7	1.8

Probe 1 - REM-EDX-Messung 2: Punkt 2

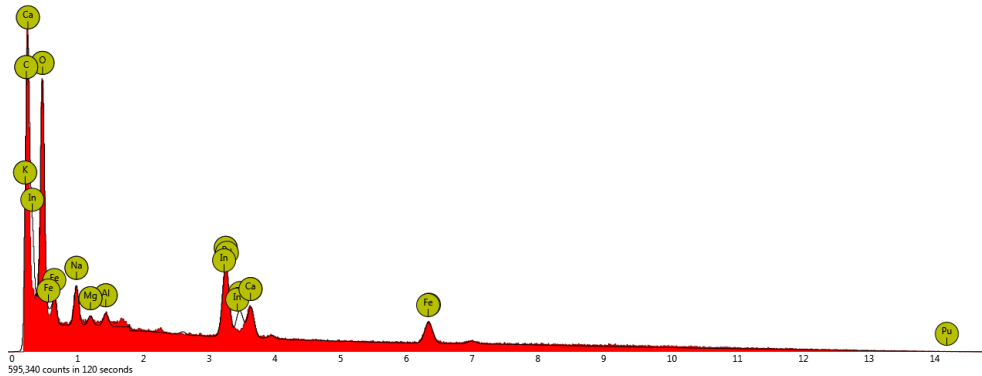


Abb. 71 Röntgenspektrum Probe 1 – Messung 2 – Punkt 2

Tabelle 4 Quantitative Analyse Probe 1 – Messung 2 – Punkt 2

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
8	O	Oxygen	100.0	70.5	0.5
6	C	Carbon	100.0	11.7	0.5
19	K	Potassium	100.0	1.3	1.7
94	Pu	Plutonium	100.0	1.4	1.7
49	In	Indium	50.0	0.9	2.6
20	Ca	Calcium	100.0	1.6	1.5
11	Na	Sodium	100.0	7.8	1.6
26	Fe	Iron	100.0	2.7	1.5
13	Al	Aluminium	100.0	0.9	3.8
12	Mg	Magnesium	100.0	1.2	5.0

Probe 2

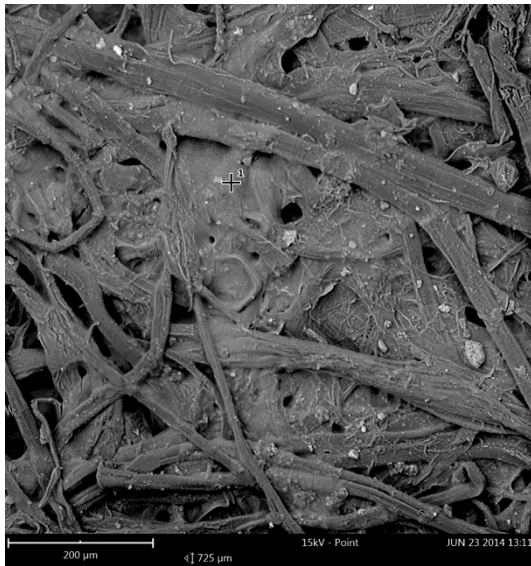


Abb. 72 Probe 2 – REM-EDX-Messung 1 (Punkte 1 – 2).

Probe 2 – REM-EDX Messung 1: Punkt 1

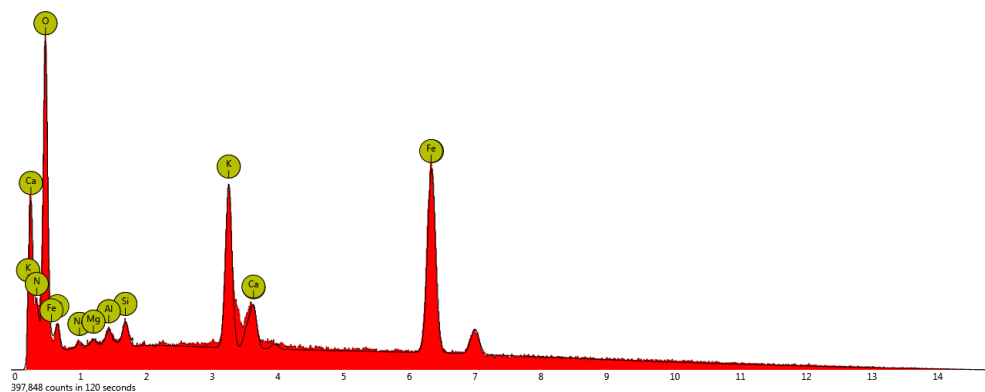


Abb. 73 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 1 – Punkt 1.

Tabelle 5 Quantitative Analyse Probe 2 – Messung 1 – Punkt 1.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
26	Fe	Iron	50.0	14.5	0.6
8	O	Oxygen	Manual	65.4	0.6
19	K	Potassium	100.0	5.6	0.8
20	Ca	Calcium	100.0	1.5	1.9
7	N	Nitrogen	Manual	10.4	1.7

14	Si	Silicon	100.0	0.7	3.6
13	Al	Aluminium	Manual	0.6	5.2
11	Na	Sodium	Manual	0.9	11.1
12	Mg	Magnesium	Manual	0.4	12.6

Probe 2– REM-EDX Messung 1: Punkt 2

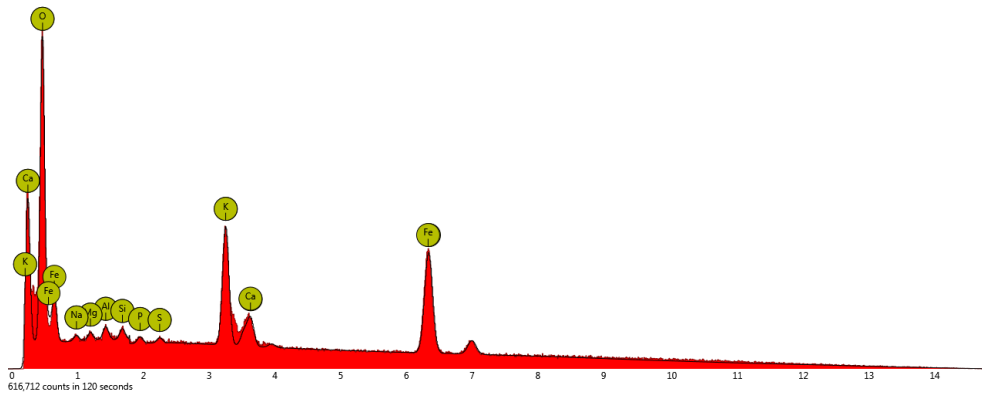


Abb. 74 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 1 – Punkt 2.

Tabelle 6 Quantitative Analyse Probe 2 – Messung 1 – Punkt 2.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
8	O	Oxygen	Manual	77.3	0.5
26	Fe	Iron	50.0	11.4	0.7
19	K	Potassium	100.0	5.9	0.7
20	Ca	Calcium	100.0	1.5	1.9
13	Al	Aluminium	100.0	0.8	4.5
14	Si	Silicon	Manual	0.5	5.1
15	P	Phosphorus	Manual	0.3	7.0
12	Mg	Magnesium	Manual	0.9	7.3
16	S	Sulfur	Manual	0.2	8.5
11	Na	Sodium	Manual	1.2	9.4

Probe 2 – REM-EDX Messung 1: Punkt 3

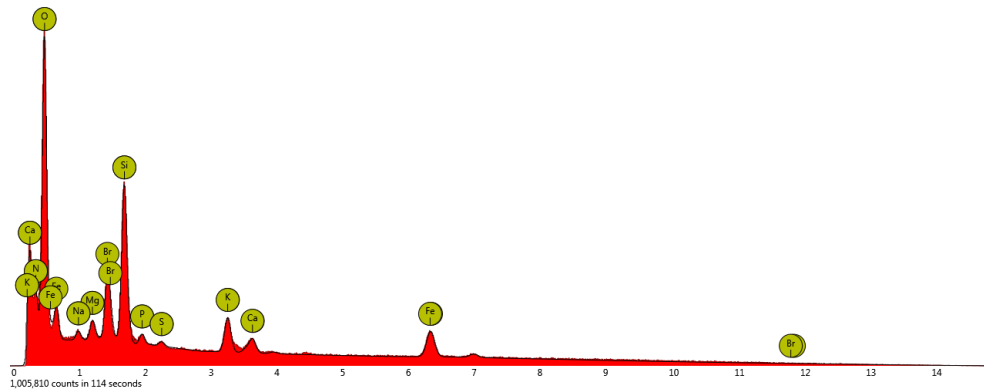


Abb. 75 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 1 – Punkt 3.

Tabelle 7 Quantitative Analyse Probe 2 – Messung 1 – Punkt 3.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
8	O	Oxygen	Manual	73.8	0.3
14	Si	Silicon	100.0	5.8	0.5
35	Br	Bromine	100.0	1.8	0.8
7	N	Nitrogen	Manual	10.7	0.9
19	K	Potassium	100.0	1.5	1.0
26	Fe	Iron	50.0	2.5	1.0
12	Mg	Magnesium	100.0	1.4	2.2
20	Ca	Calcium	100.0	0.6	1.8
15	P	Phosphorus	Manual	0.5	2.9
11	Na	Sodium	100.0	1.3	4.0



Abb. 76 Probe 2 – REM-EDX-Messung 2 (Punkte 1 – 2)

Probe 2 – REM-EDX-Messung 2: Punkt 1

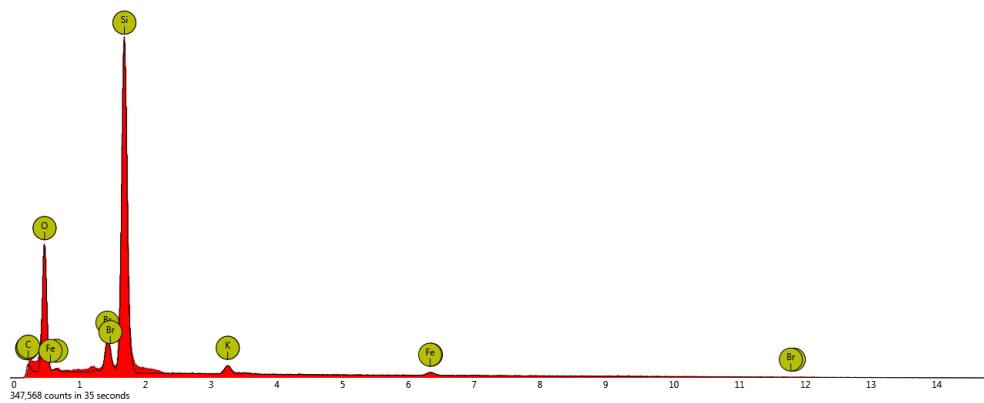


Abb. 77 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 2 – Punkt 1.

Tabelle 8 Quantitative Analyse Probe 2 – Messung 2 – Punkt 1.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
14	Si	Silicon	100.0	26.0	0.3
8	O	Oxygen	100.0	68.9	0.6
35	Br	Bromine	100.0	1.7	1.1
19	K	Potassium	100.0	0.9	2.3
6	C	Carbon	100.0	1.8	3.3
26	Fe	Iron	50.0	0.7	3.8

Probe 2 – REM-EDX-Messung 2: Punkt 2

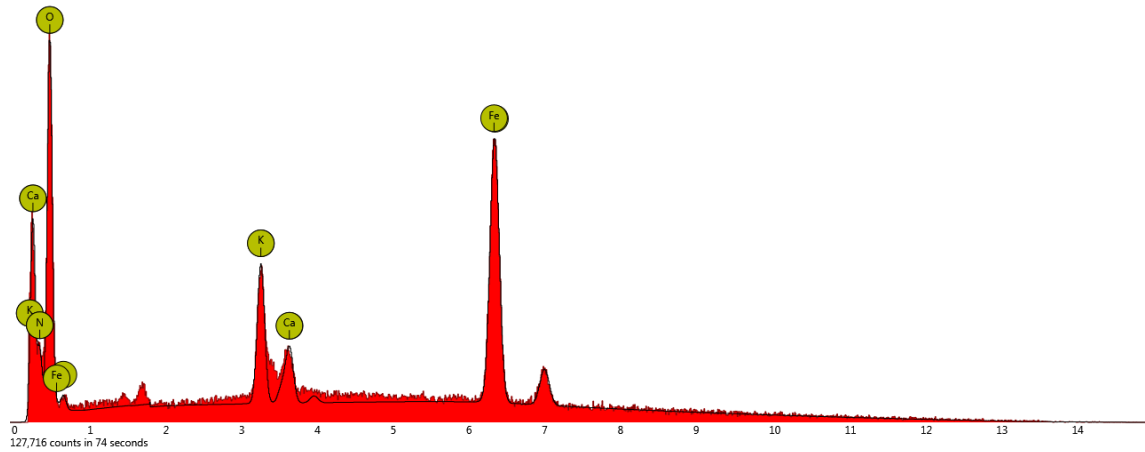


Abb. 78 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 2 – Punkt 2.

Tabelle 9 Quantitative Analyse Probe 2 – Messung 2 – Punkt 2.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
26	Fe	Iron	100.0	18.9	1.0
8	O	Oxygen	100.0	63.5	1.1
19	K	Potassium	100.0	4.4	1.5
20	Ca	Calcium	100.0	1.8	2.7
7	N	Nitrogen	100.0	11.3	2.5



Abb. 79 Probe 2 – REM-EDX-Messung 3 (Punkte 1 – 3).

Probe 2 – REM-EDX-Messung 3: Punkt 1

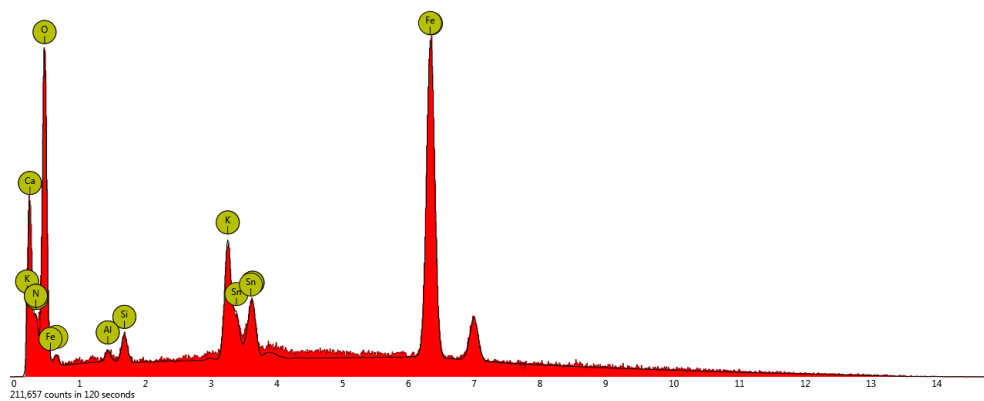


Abb. 80 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 3 – Punkt 1.

Tabelle 10 Quantitative Analyse Probe 2 – Messung 3 – Punkt 1.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
26	Fe	Iron	50.0	23.0	0.7
8	O	Oxygen	100.0	60.5	0.9
19	K	Potassium	100.0	3.8	1.2
20	Ca	Calcium	100.0	1.3	2.5
50	Sn	Tin	50.0	1.3	2.3
7	N	Nitrogen	Manual	8.7	2.1

14	Si	Silicon	100.0	0.8	3.6
13	Al	Aluminium	Manual	0.5	7.1

Probe 2 – REM-EDX-Messung 3: Punkt 2

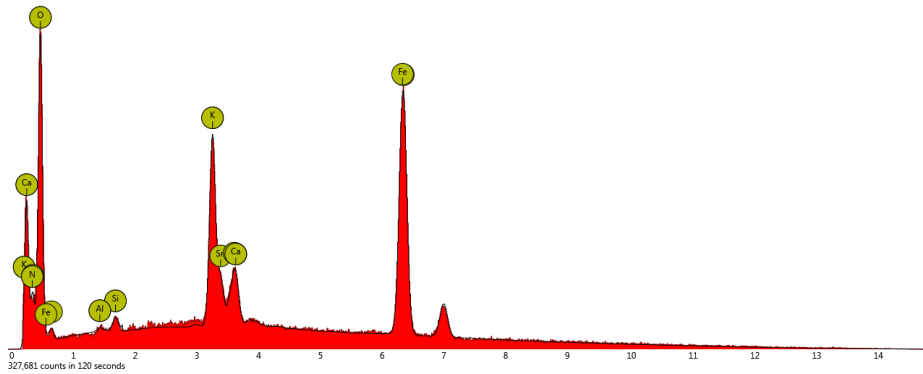


Abb. 81 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 3 – Punkt 2.

Tabelle 11 Quantitative Analyse Probe 2 – Messung 3 – Punkt 2.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
26	Fe	Iron	100.0	18.0	0.6
8	O	Oxygen	100.0	64.7	0.7
19	K	Potassium	100.0	5.9	0.8
50	Sn	Tin	50.0	1.4	1.9
20	Ca	Calcium	100.0	1.2	2.6
7	N	Nitrogen	100.0	8.3	1.7
14	Si	Silicon	Manual	0.4	5.6
13	Al	Aluminium	Manual	0.2	16.3

Probe 2 – REM-EDX-Messung 3: Punkt 3

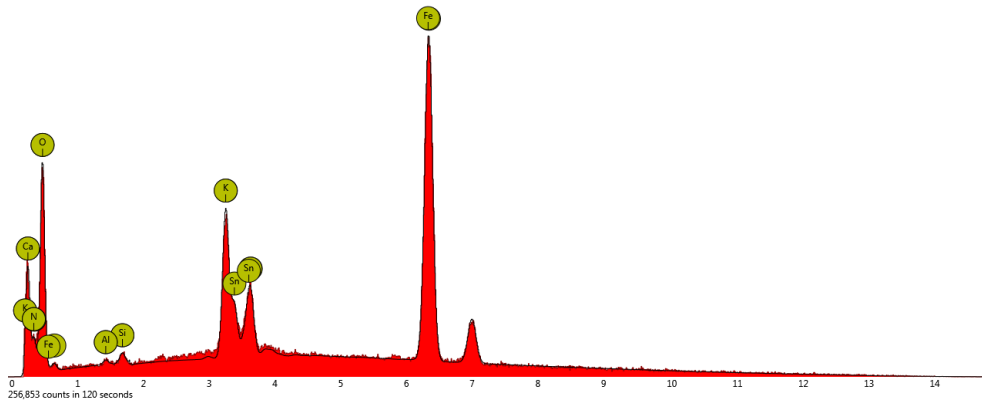


Abb. 82 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 3 – Punkt 3.

Tabelle 12 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 3 – Punkt 3.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
26	Fe	Iron	100.0	28.7	0.6
19	K	Potassium	100.0	5.8	0.9
8	O	Oxygen	100.0	53.2	0.9
20	Ca	Calcium	100.0	2.0	1.9
50	Sn	Tin	50.0	1.8	1.8
7	N	Nitrogen	100.0	7.8	2.2
14	Si	Silicon	Manual	0.4	6.2
13	Al	Aluminium	Manual	0.3	12.2

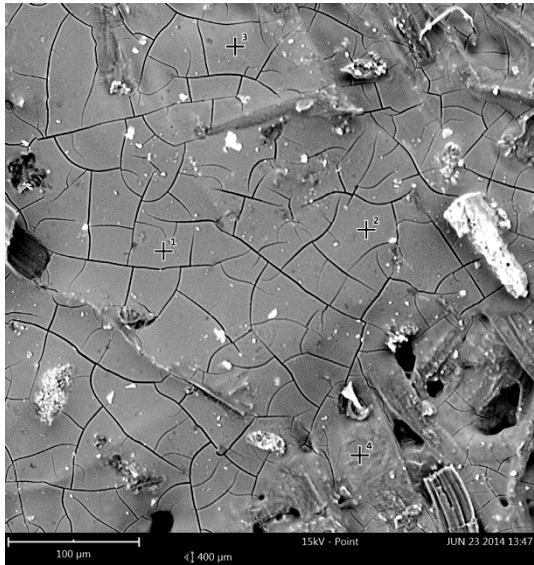


Abb. 83 Probe 2 – REM-EDX-Messung 4 (Punkte 1 – 4).

Probe 2 – REM-EDX-Messung 4: Punkt 1

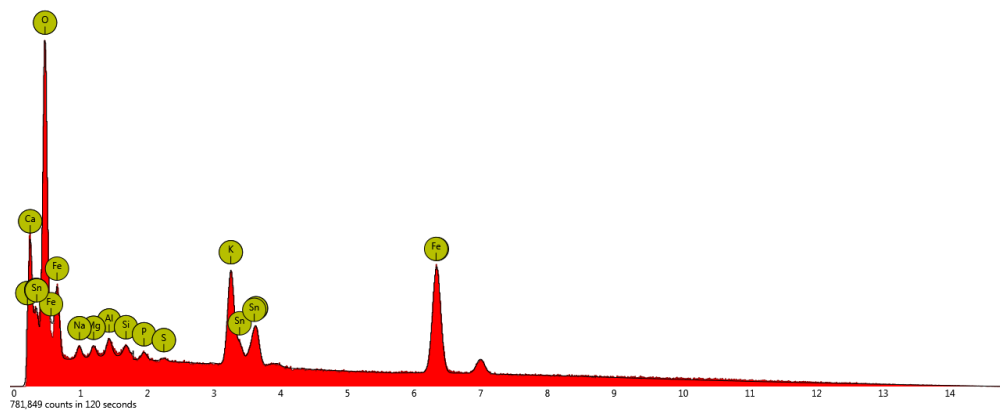


Abb. 84 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 4 – Punkt 1.

Tabelle 13 Quantitative Analyse Probe 2 – Messung 4 – Punkt 1.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
8	O	Oxygen	100.0	70.8	0.4
26	Fe	Iron	100.0	9.2	0.6
19	K	Potassium	100.0	3.5	0.7
20	Ca	Calcium	100.0	1.6	1.3
7	N	Nitrogen	Manual	9.9	1.2

50	Sn	Tin	50.0	0.7	1.9
13	Al	Aluminium	100.0	0.9	3.0
12	Mg	Magnesium	Manual	1.0	4.3
11	Na	Sodium	100.0	1.9	4.1
14	Si	Silicon	Manual	0.3	4.7
15	P	Phosphorus	Manual	0.3	5.6
16	S	Sulfur	Manual	0.1	13.2

Probe 2 – REM-EDX-Messung 4: Punkt 2

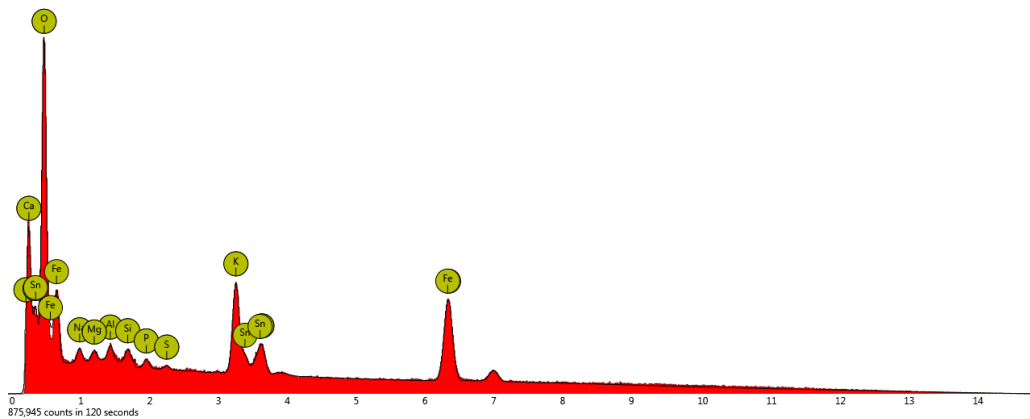


Abb. 85 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 4 – Punkt 2.

Tabelle 14 Quantitative Analyse Probe 2 – Messung 4 – Punkt 2.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
8	O	Oxygen	100.0	72.7	0.4
26	Fe	Iron	100.0	7.2	0.6
19	K	Potassium	100.0	3.5	0.7
7	N	Nitrogen	Manual	10.6	1.1
20	Ca	Calcium	100.0	0.9	1.7
50	Sn	Tin	50.0	0.6	2.1

13	Al	Aluminium	100.0	0.7	3.3
14	Si	Silicon	Manual	0.4	3.5
11	Na	Sodium	100.0	2.1	3.7
12	Mg	Magnesium	Manual	0.8	4.8
15	P	Phosphorus	Manual	0.3	4.4
16	S	Sulfur	Manual	0.1	8.8

Probe 2 – REM-EDX-Messung 4: Punkt 3

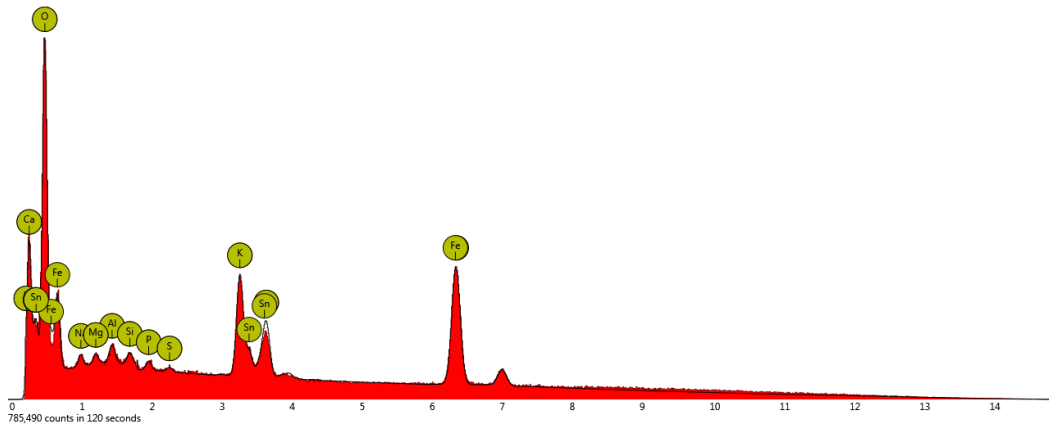


Abb. 86 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 4 – Punkt 3.

Tabelle 15 Quantitative Analyse Probe 2 – Messung 4 – Punkt 3.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
8	O	Oxygen	100.0	70.6	0.5
26	Fe	Iron	100.0	9.7	0.6
19	K	Potassium	100.0	3.6	0.7
20	Ca	Calcium	100.0	1.7	1.2
7	N	Nitrogen	Manual	9.5	1.3
50	Sn	Tin	50.0	0.8	1.8
13	Al	Aluminium	100.0	0.8	3.3

14	Si	Silicon	100.0	0.4	4.7
11	Na	Sodium	100.0	1.7	4.7
15	P	Phosphorus	100.0	0.3	4.9
12	Mg	Magnesium	Manual	0.8	5.5
16	S	Sulfur	Manual	0.1	9.1

Probe 2 – REM-EDX-Messung 4: Punkt 4

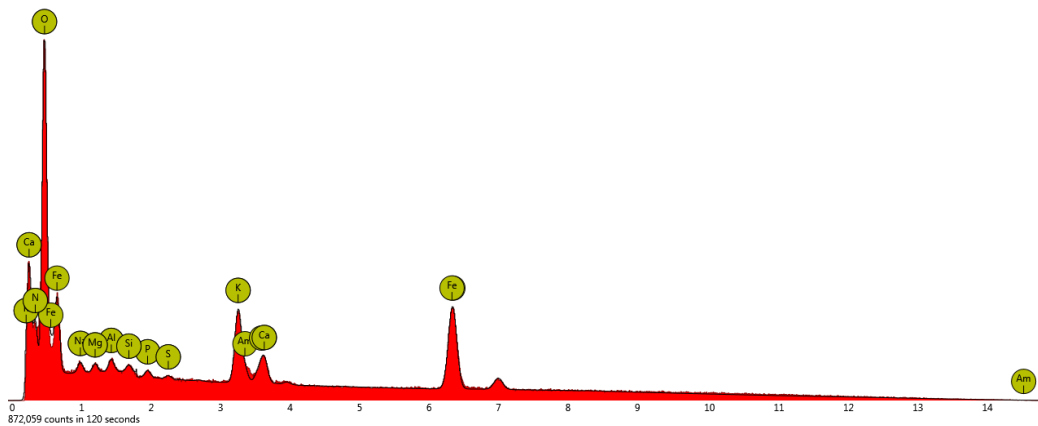


Abb. 87 Röntgenspektrum Probe 2 – Messung 4 – Punkt 4.

Tabelle 16 Quantitative Probe 2 – Messung 4 – Punkt 4.

Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
8	O	Oxygen	100.0	72.4	0.4
26	Fe	Iron	100.0	8.4	0.6
19	K	Potassium	100.0	3.2	0.7
7	N	Nitrogen	Manual	10.7	1.1
95	Am	Americium	100.0	0.3	2.6
20	Ca	Calcium	100.0	1.0	1.7
13	Al	Aluminium	100.0	0.7	3.6
11	Na	Sodium	100.0	1.8	4.1
12	Mg	Magnesium	Manual	0.8	5.1

15	P	Phosphorus	Manual	0.3	5.1
14	Si	Silicon	Manual	0.3	5.6
16	S	Sulfur	Manual	0.1	9.8

Anhang C

Röntgenfluoreszenz-Analyse

Messgerät: Thermo Scientific Niton XL3t GOLDD+

Messmodus: Mining

Cod.tibet. 992

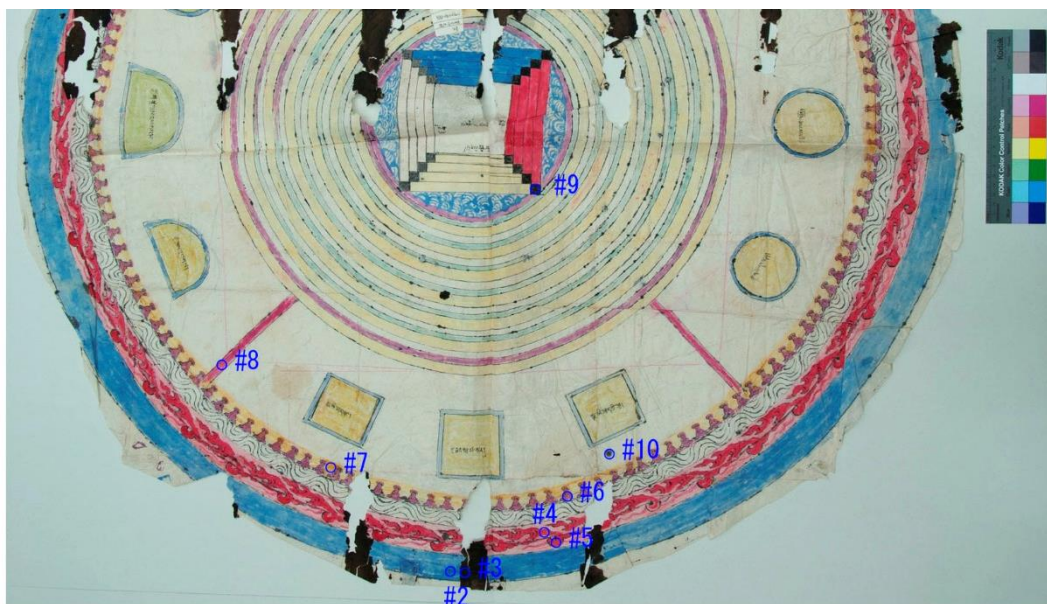


Abb. 88 Cod.tibet. 992 Übersicht der Messpunkte (ohne Referenzmessung R#1).

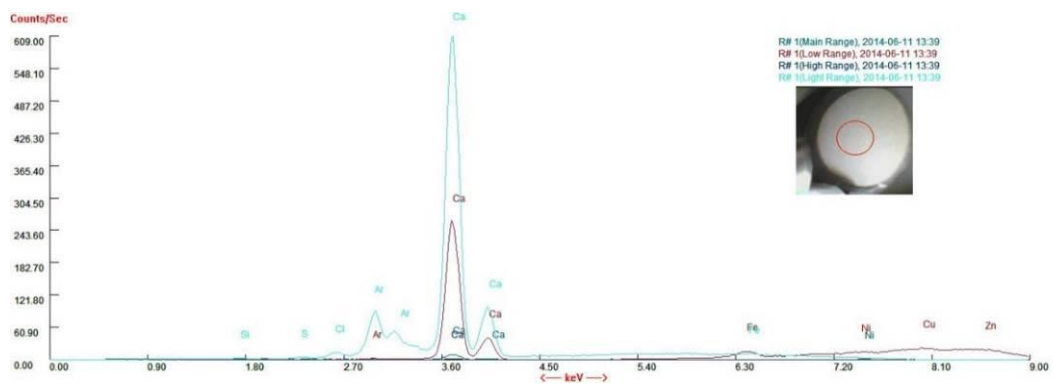


Abb. 89 Cod.tibet. 992 R#1 (Referenzmessung Unterlage).

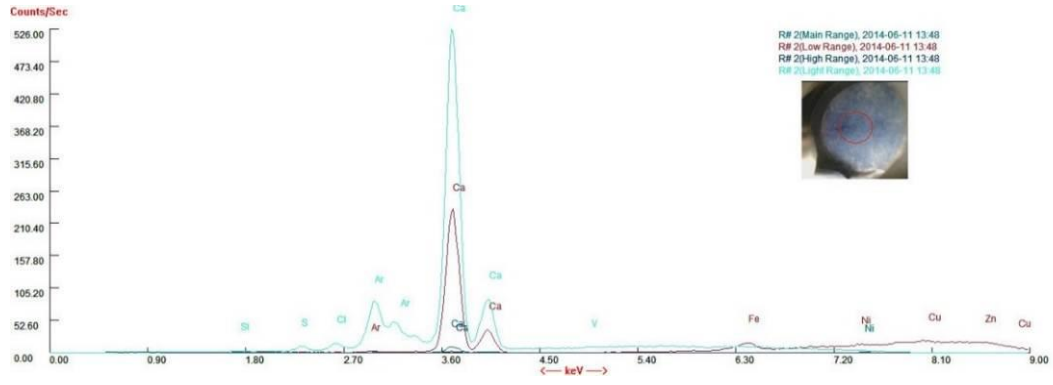


Abb. 90 Cod.tibet. 992 R#2.

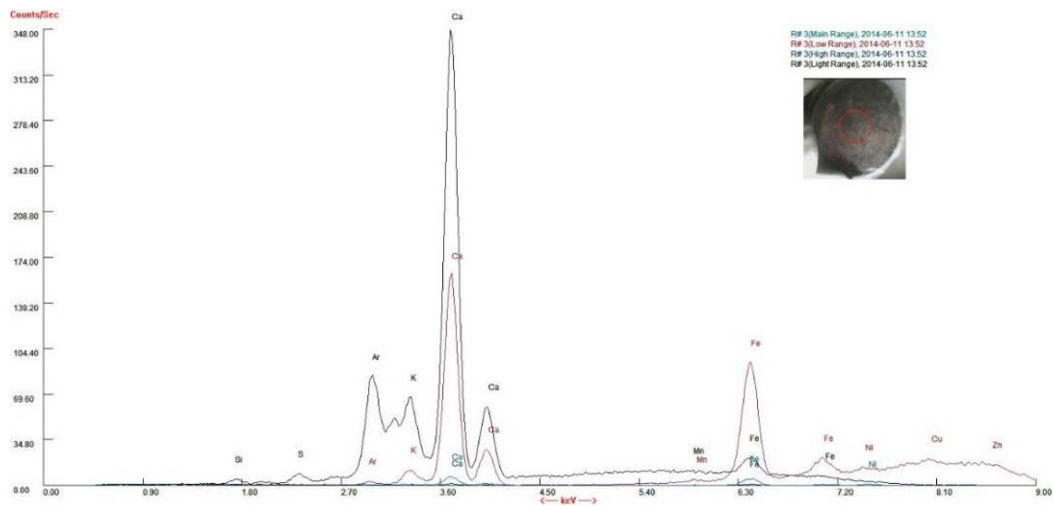


Abb. 92 Cod.tibet. 992 R#3.

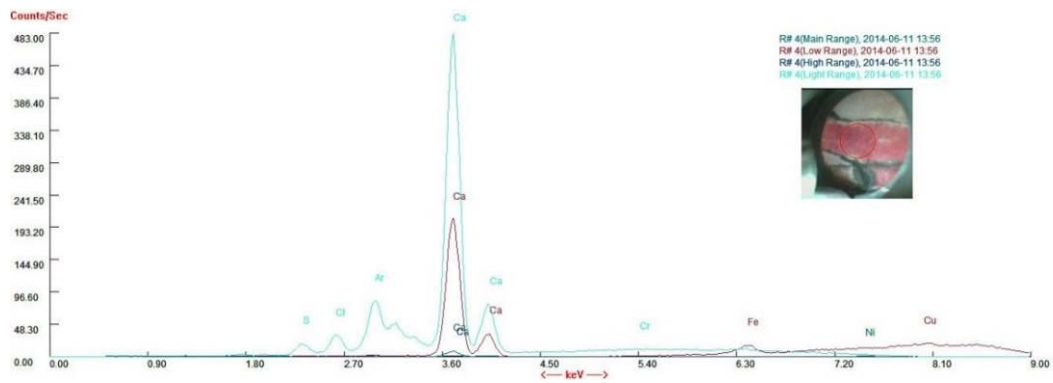


Abb. 91 Cod.tibet. 992 R#4.

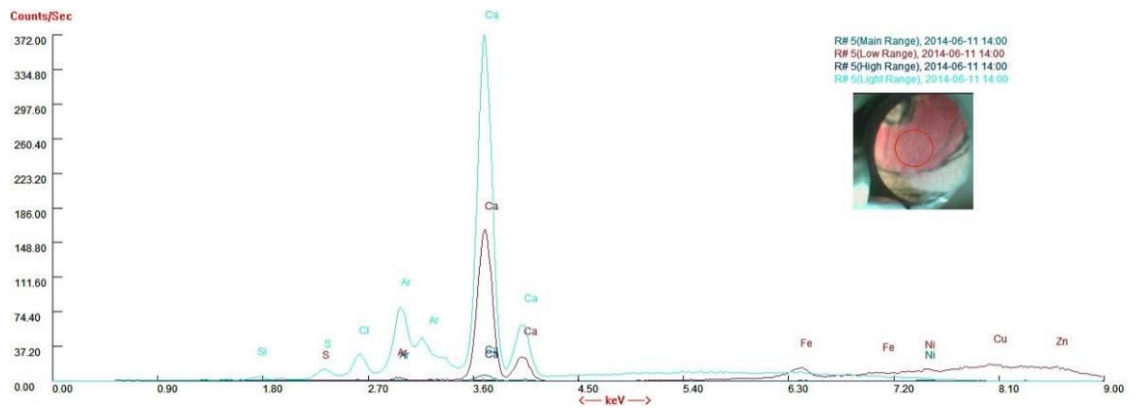


Abb. 93 Cod.tibet. 992 R#5.

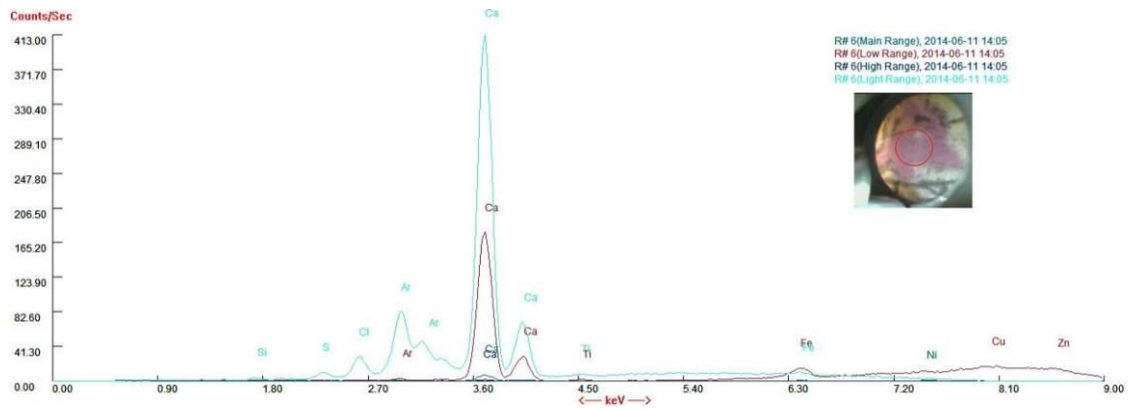


Abb. 94 Cod.tibet. 992 R#6.

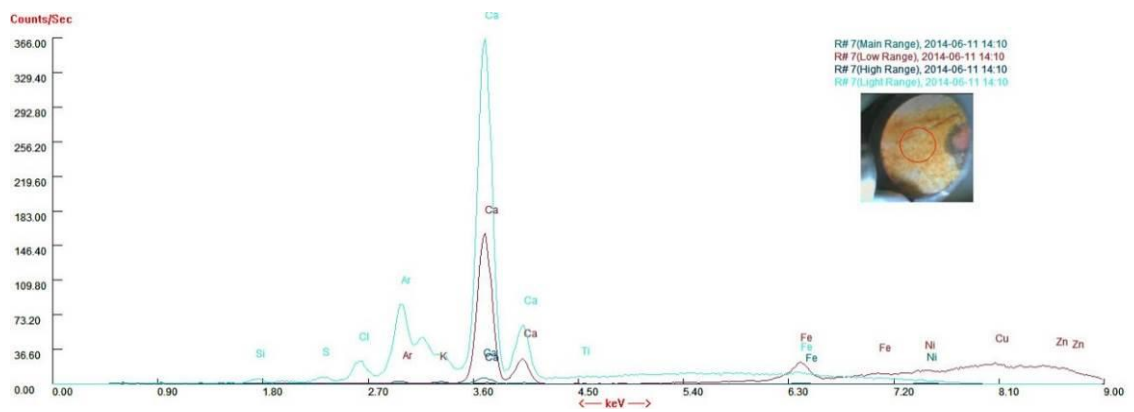


Abb. 95 Cod.tibet. 992 R#7.

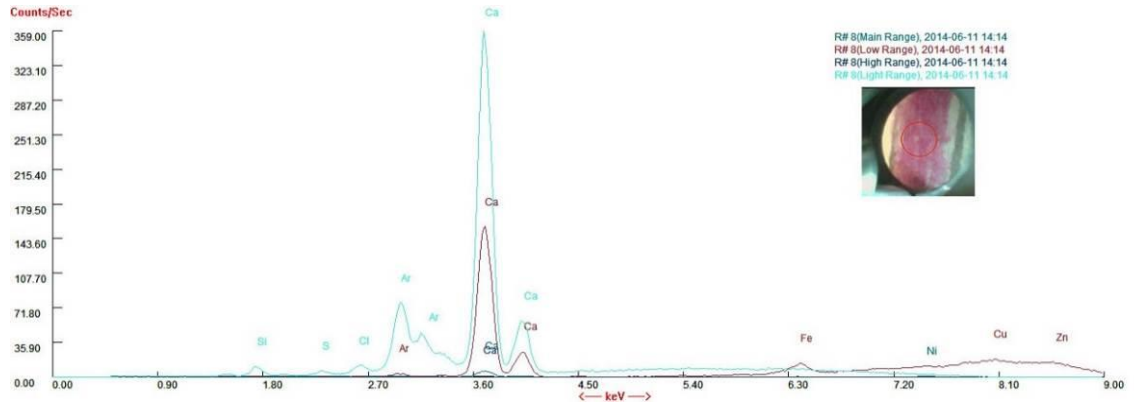


Abb. 96 Cod.tibet. 992 R#8.

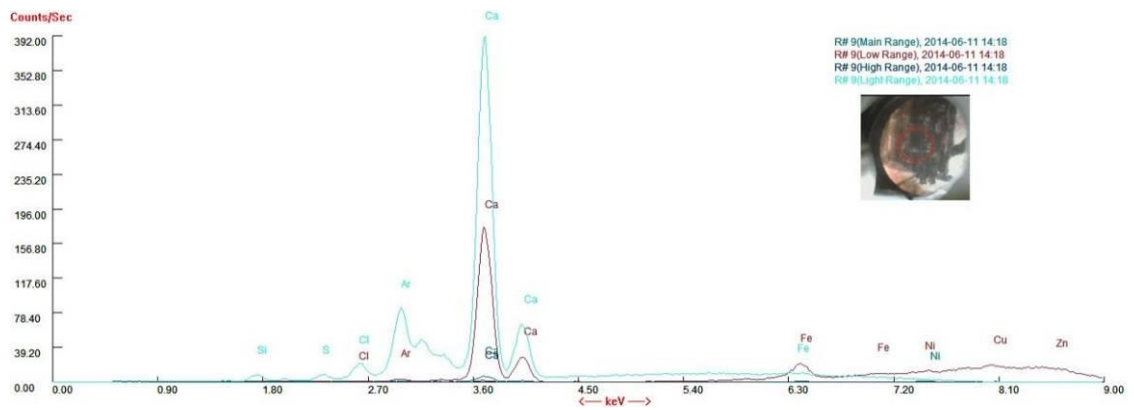


Abb. 97 Cod.tibet. 992 R#9.

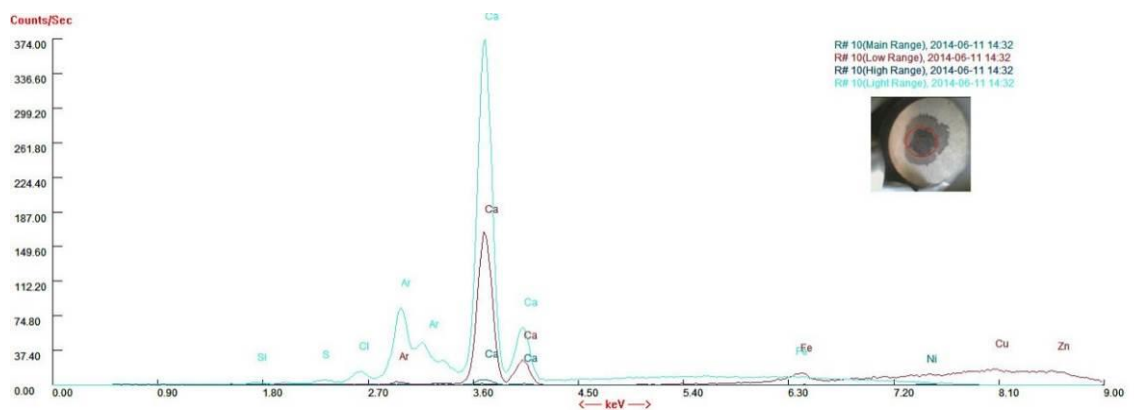


Abb. 98 Cod.tibet. 992 R#10.

Abb. 101 Cod.tibet. 982 R#2.

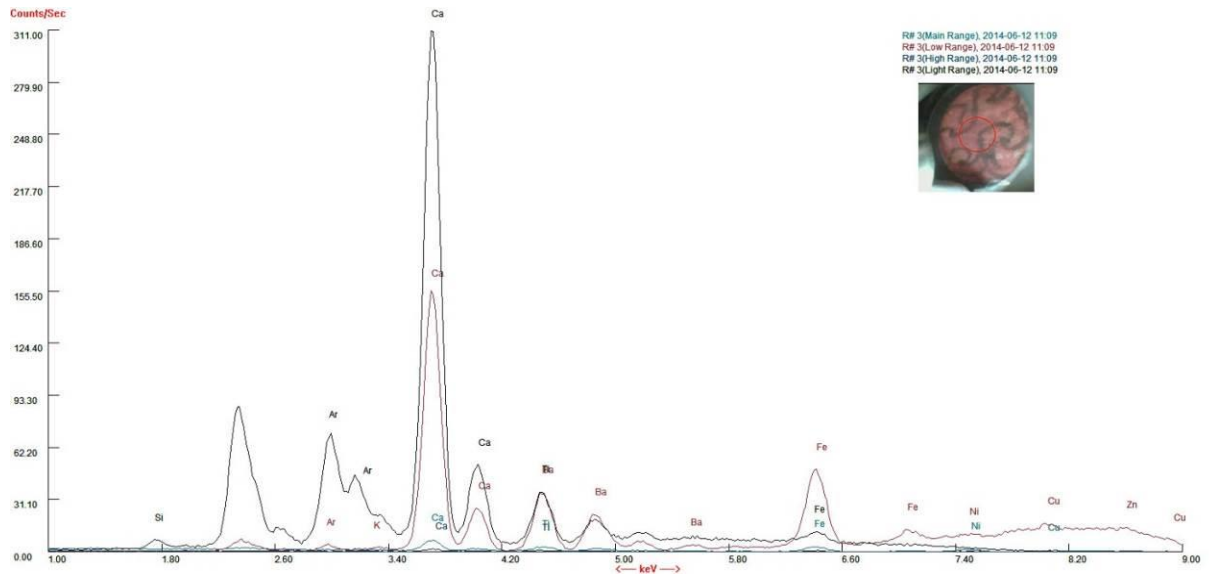


Abb. 102 Cod.tibet. 982 R#3.

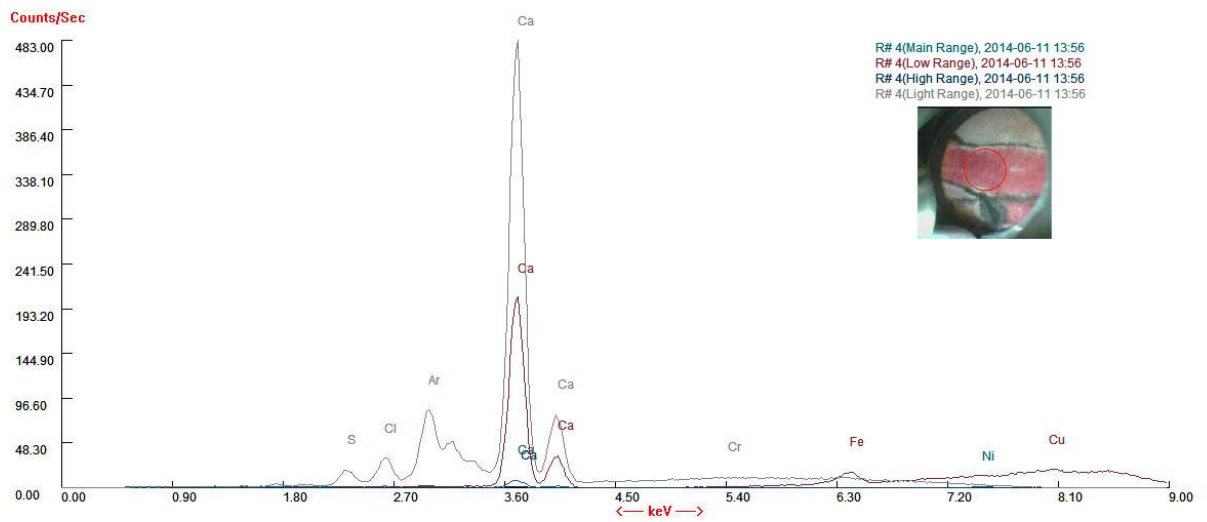


Abb. 103 Cod.tibet. 982 R#4.

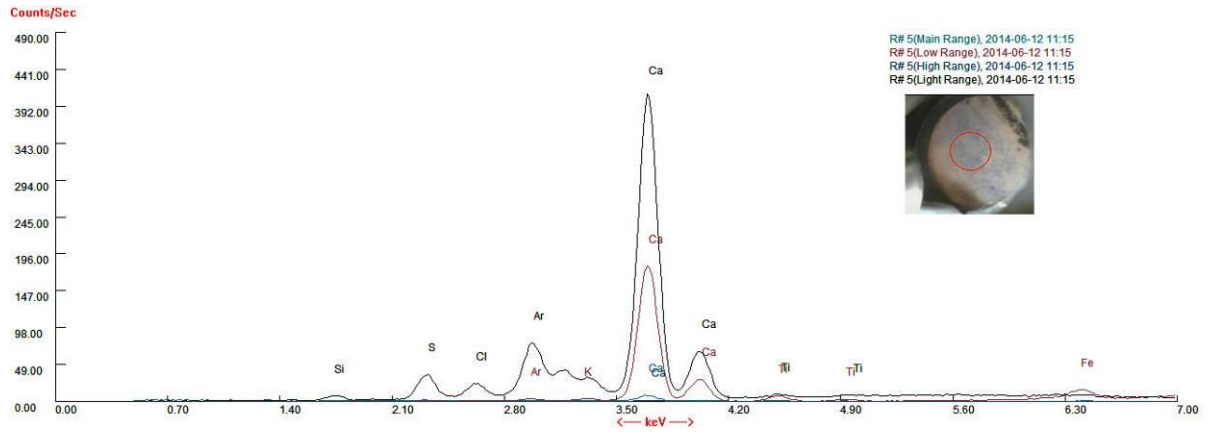


Abb. 104 Cod.tibet. 982 R#5.

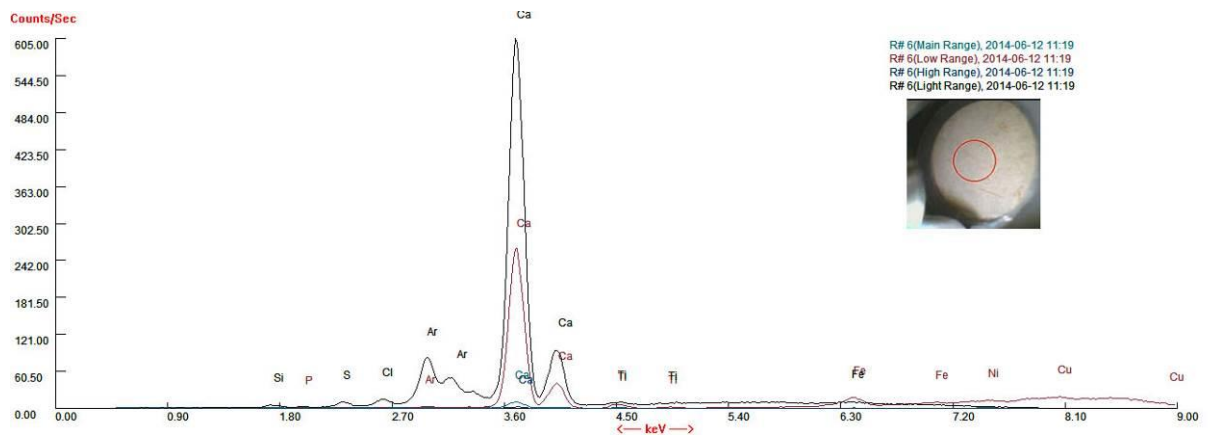


Abb. 105 Cod.tibet. 982 R#6 (Referenzmessung unbemaltes Papier).

Anhang D

UV-VIS-Messung

Messgerät: Ocean Optics Maja 200 Pro

Wellenlängen: 200-1100 nm

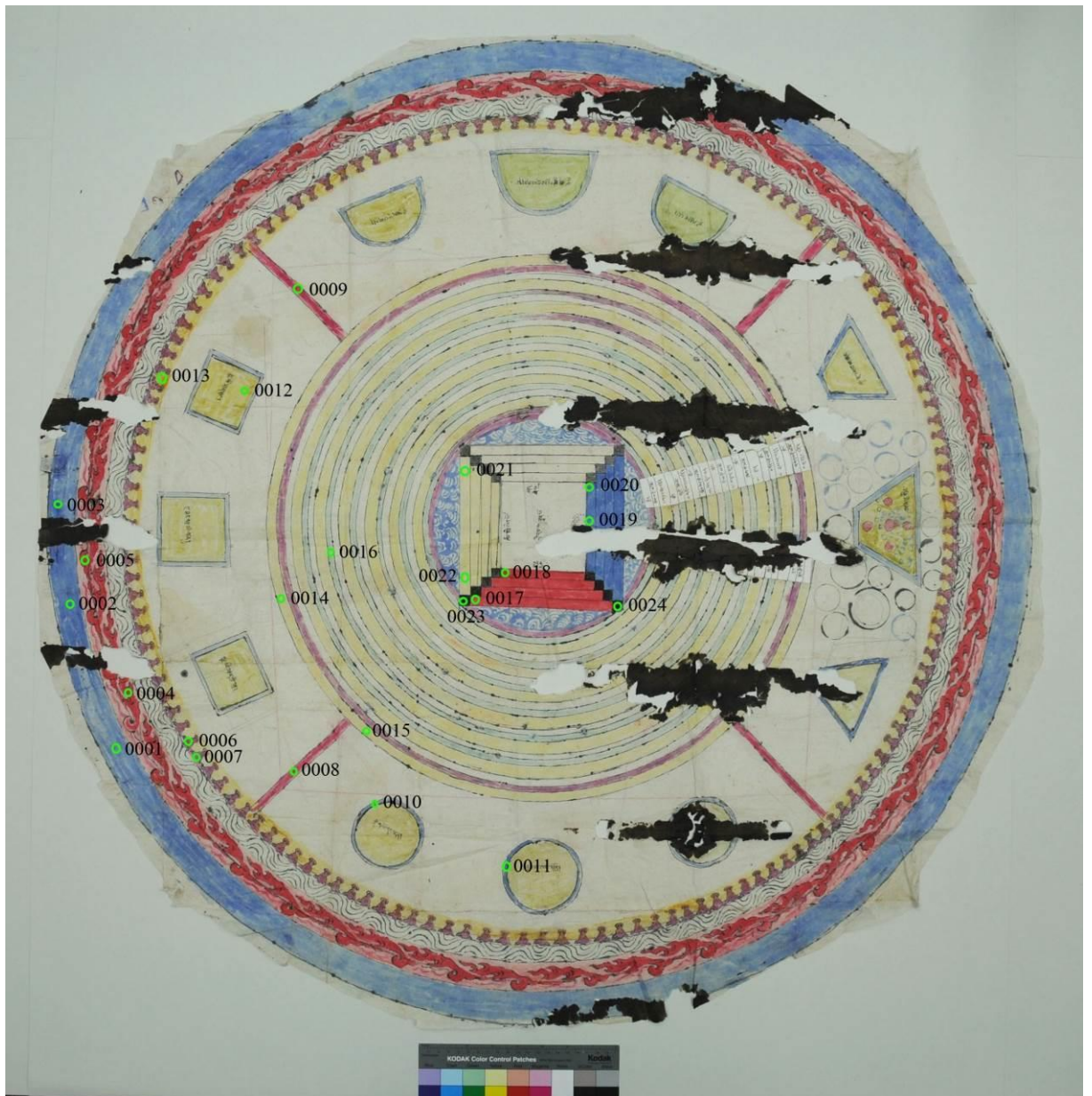


Abb. 106 Übersicht Messpunkte der UV/VIS-Messungen.

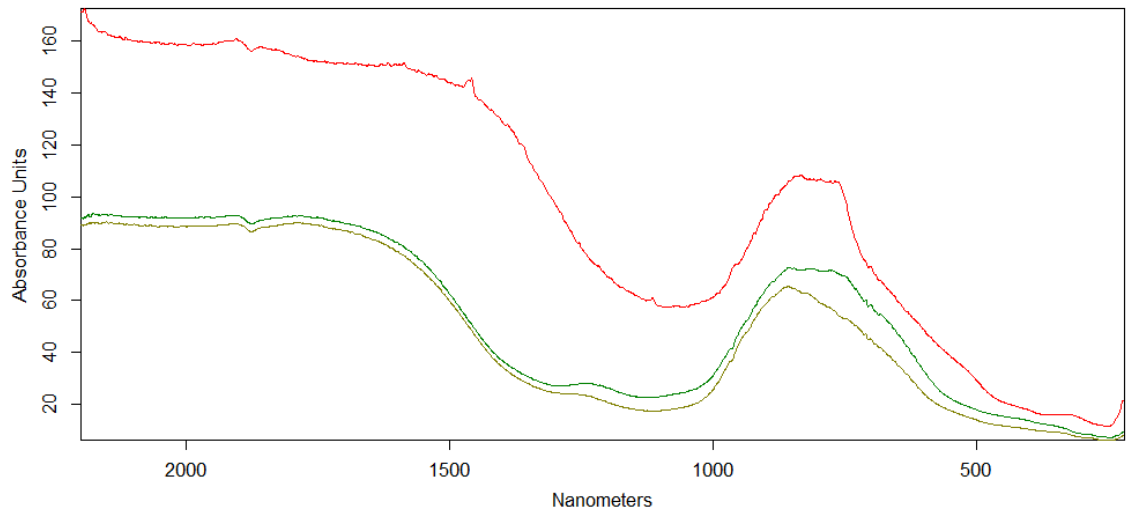


Abb. 107 Cod.tibet. 992 UV/VIS-Messung 00001 (Blau)

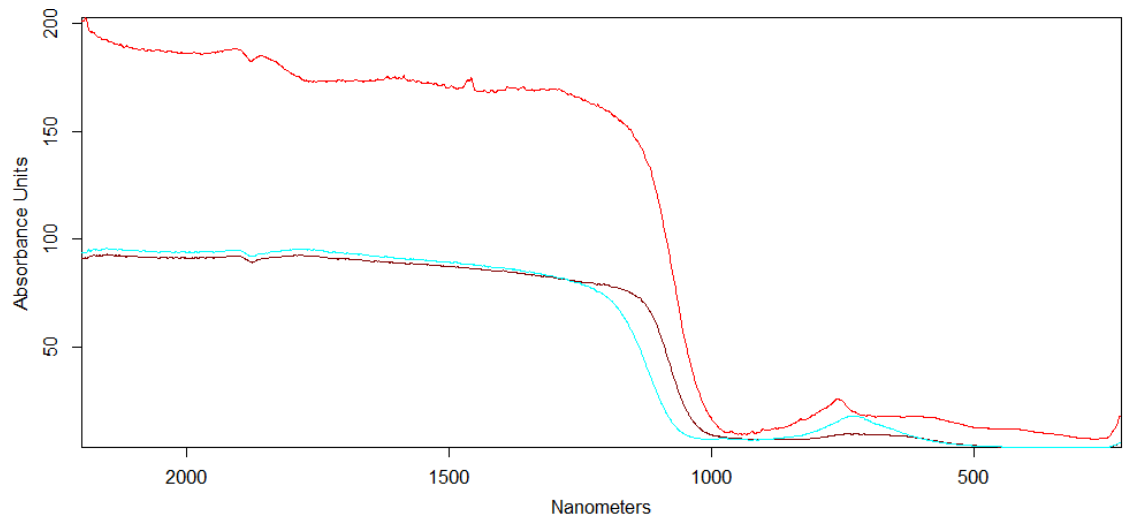


Abb. 108 Cod.tibet. 992 UV/VIS-Messung 00004 (Rot).

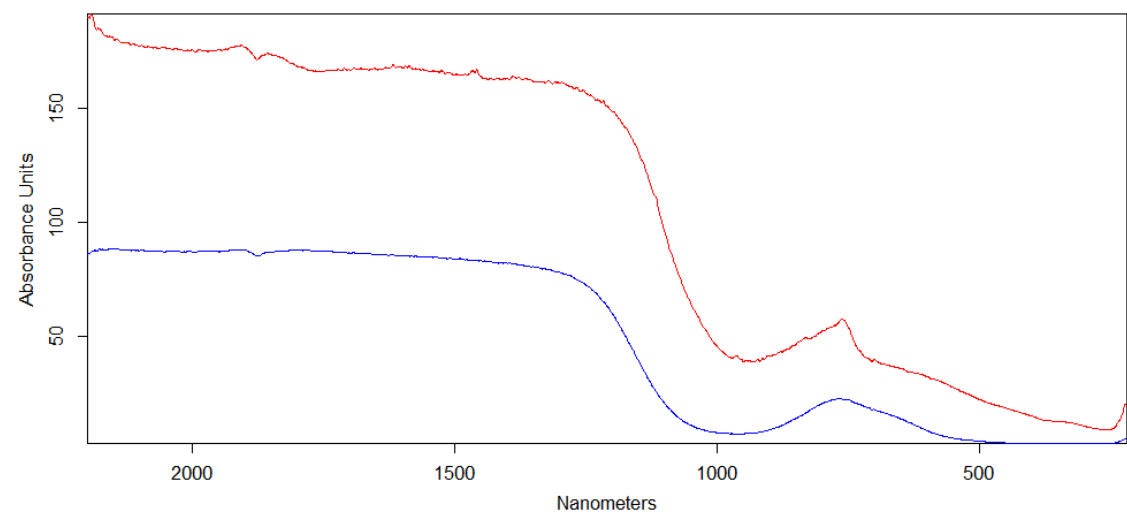


Abb. 109 Cod.tibet. 992 UV/VIS-Messung 00006 (Lila Ochsenköpfe).

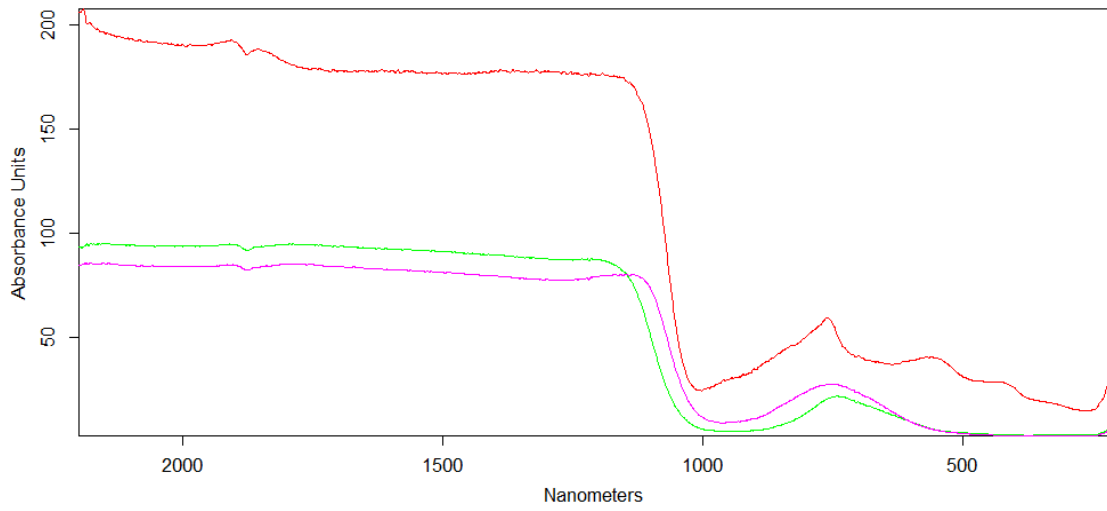


Abb. 110 Cod.tibet. 992 UV/VIS-Messung 00008 (Lila Streben).

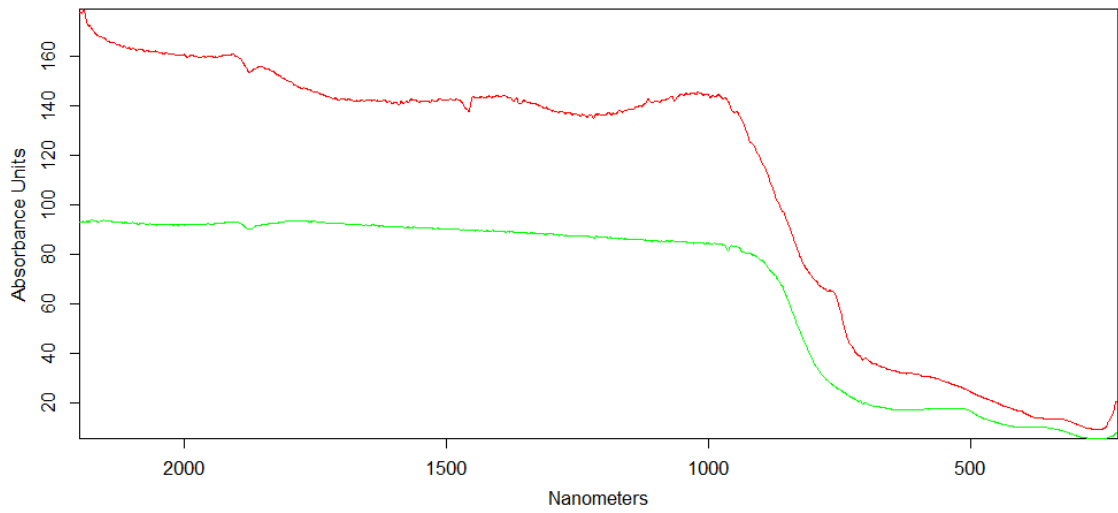


Abb. 111 Cod.tibet. 992 UV/VIS-Messung 00012 (Gelb Kontinent).

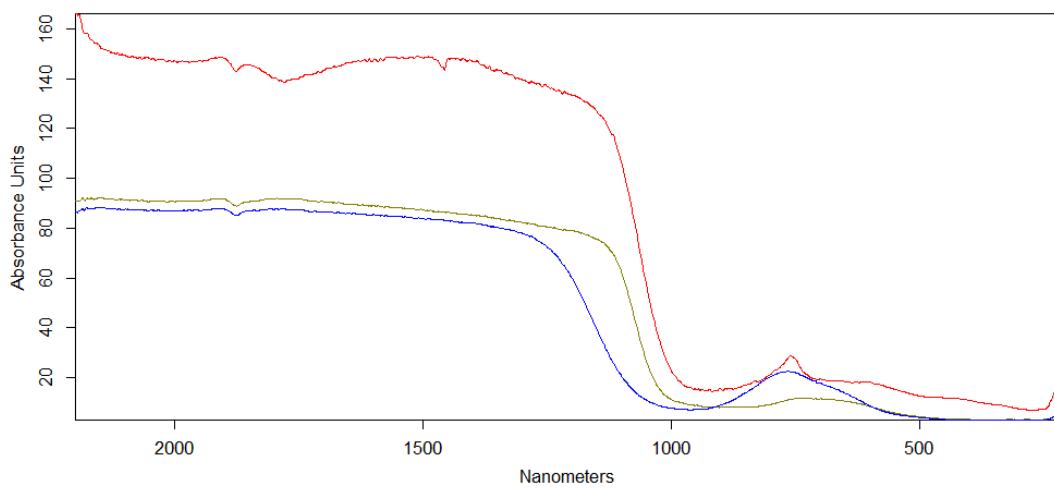


Abb. 112 Cod.tibet. 992 UV/VIS-Messung 00017 (Rot Terrasse).

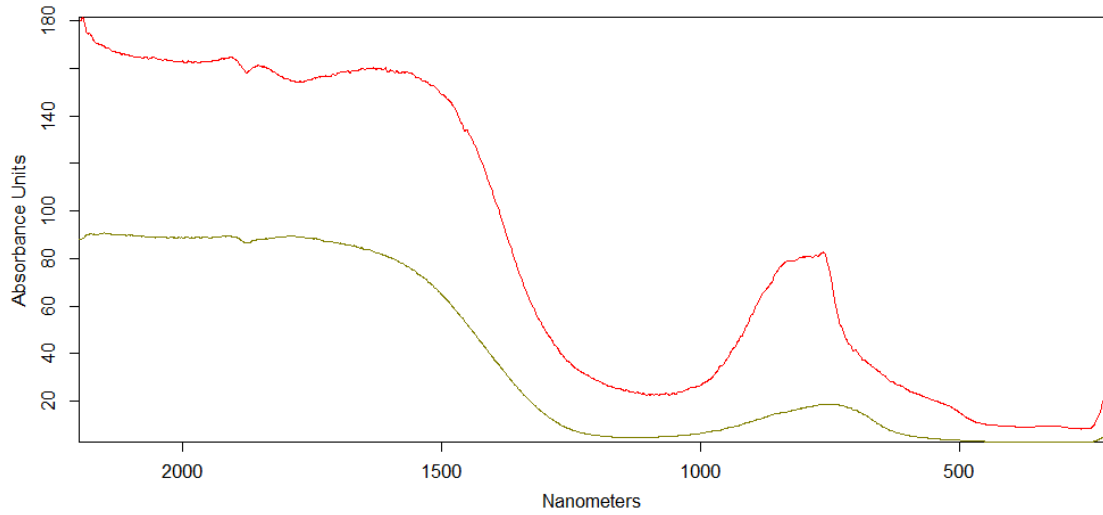


Abb. 113 Cod.tibet. 992 UV/VIS-Messung 00019 (Blau Terrasse).

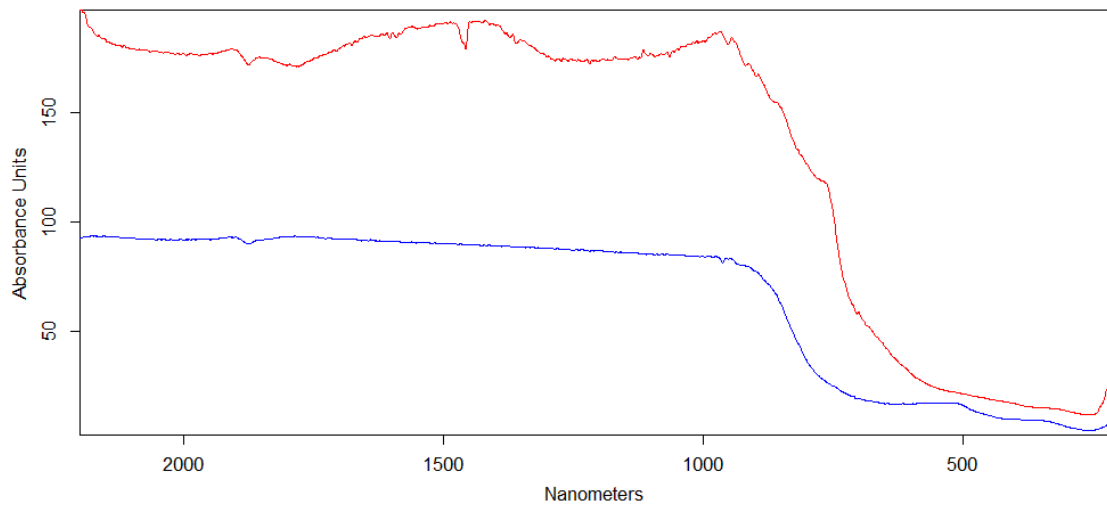


Abb. 114 Cod.tibet. 992 UV/VIS-Messung 00021 (Gelb Terrasse).

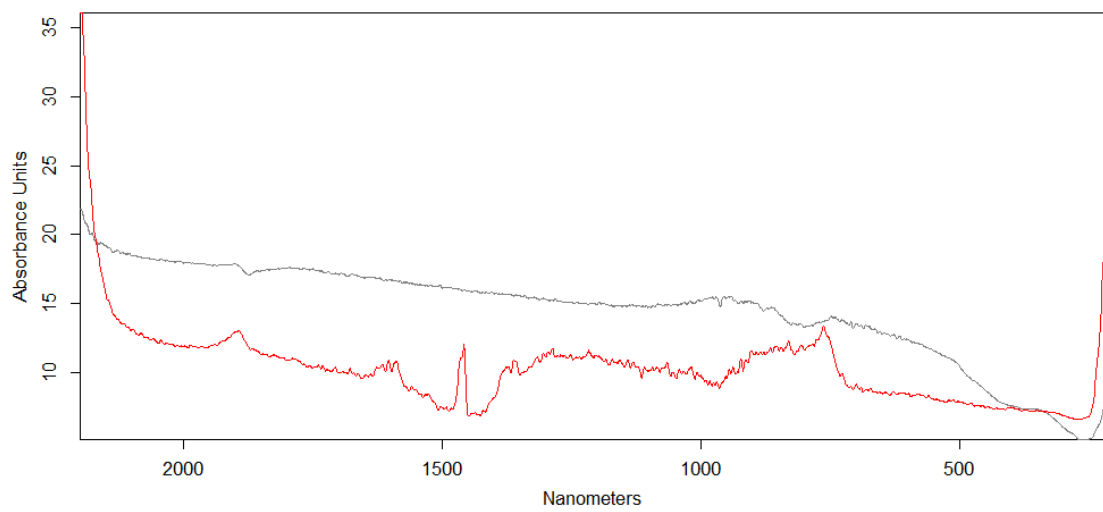


Abb. 115 Cod.tibet. 992 UV/VIS-Messung 00023 (Schwarz Terrasse).

Anhang E

Vollständige Fotodokumentation

Vorzustand - Detailfotos der Schäden

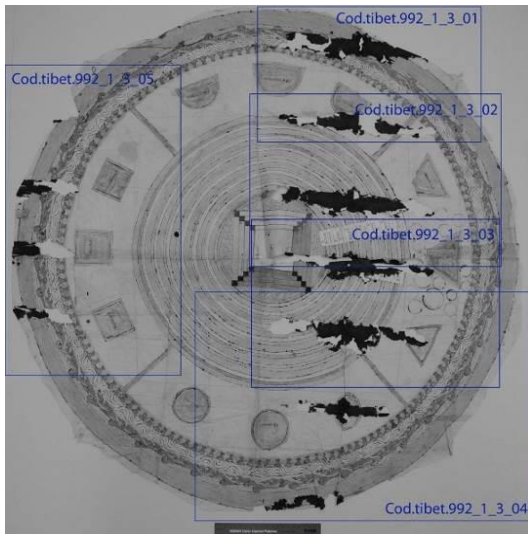


Abb. 116 Übersicht Detailfotos.

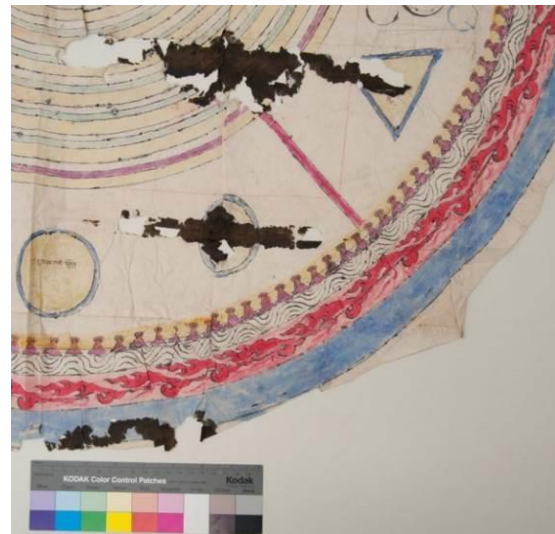


Abb. 117 Cod.tibet.992_1_3_04.



Abb. 118 Cod.tibet.992_1_3_01.



Abb. 119 Cod.tibet.992_1_3_02.



Abb. 120 Cod.tibet.992_1_3_03.



Abb. 121 Cod.tibet.992_1_3_05.

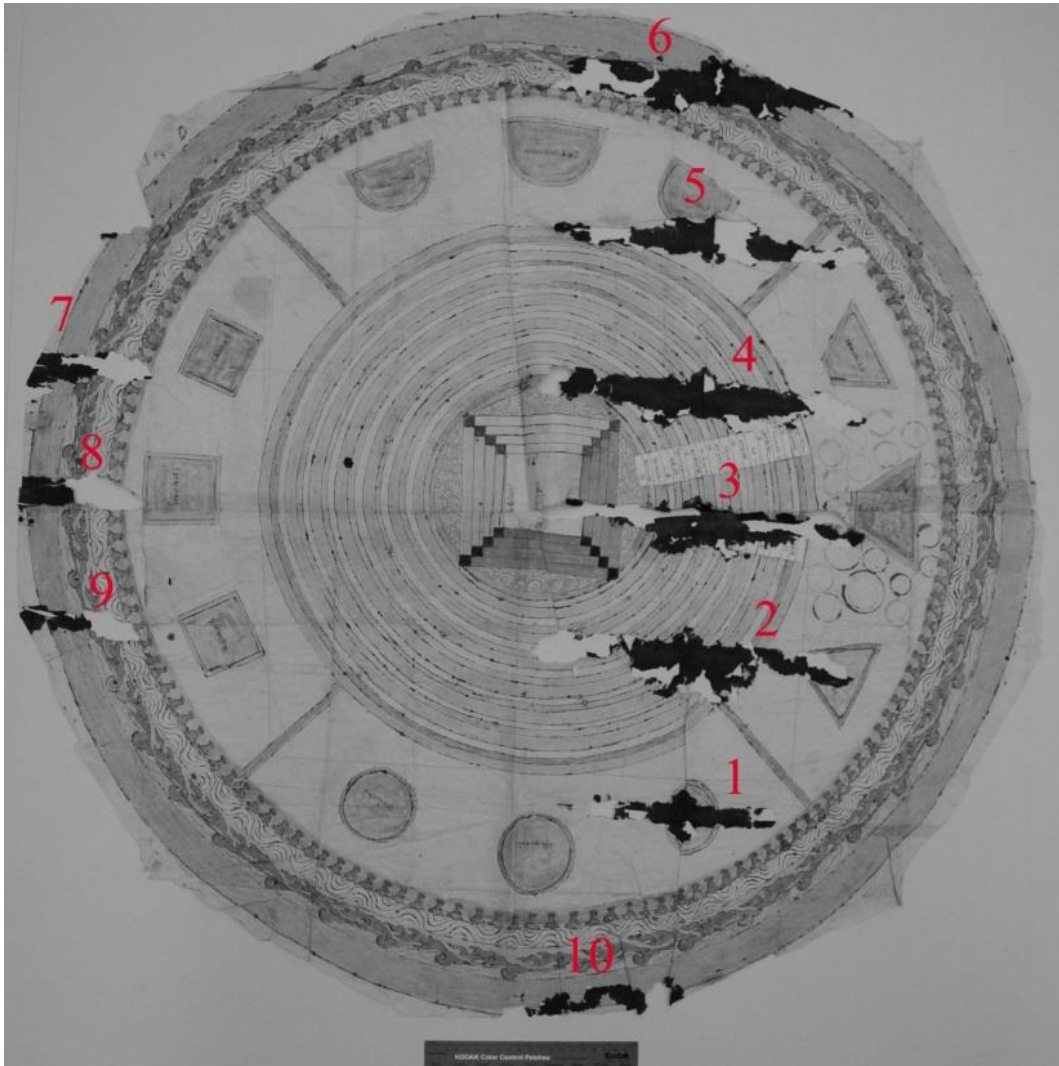


Abb. 122 Übersicht der nummerierten Schadensbereiche.

Auslegen der eingepressten Falten

1



Abb. 123 Vor der Trennung.

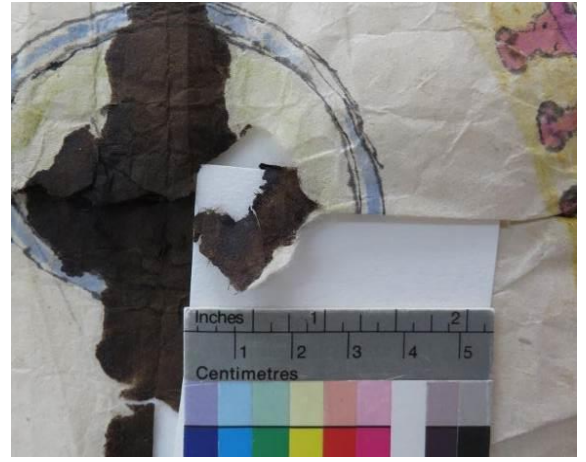


Abb. 124 Nach der Trennung der ersten Stelle.



Abb. 125 Nach der Trennung aller Bereiche.

2



Abb. 126 Vor der Trennung, zu trennende Kanten mit roten Pfeilen markiert.



Abb. 127 Nach der Trennung.



Abb. 128 Nach der Trennung, Schrägansicht



Abb. 129 Getrennt und Ausgelegt.

3



Abb. 130 Beschädigtes Papierschild, vor dem Ausfalten.



Abb. 131 Nach dem Ausfalten.

4

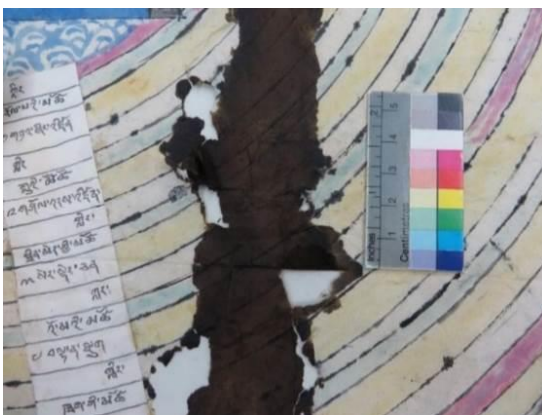


Abb. 132 Vor dem Auslegen.



Abb. 133 Nach dem Auslegen.

5



Abb. 134 Vor dem Trennen und Auslegen.



Abb. 135 Nach dem Trennen und Auslegen.

6



Abb. 136 Der rote Pfeil markiert eine punktuell verklebte Stelle, die zum Auslegen der Falte getrennt werden musste.

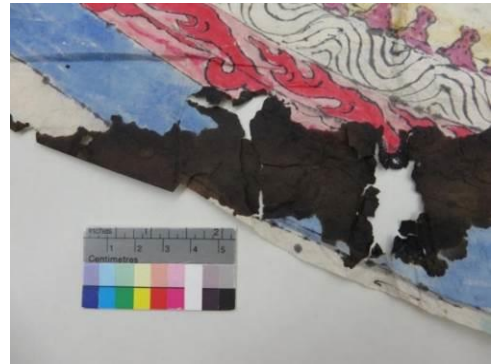


Abb. 137 Punktuelle Verklebung getrennt.



Abb. 138 Die roten Pfeile markieren die Kanten von zwei Fragmenten, die abgelöst wurden. Dabei ist das rechte Fragment auf der Rückseite zu finden.

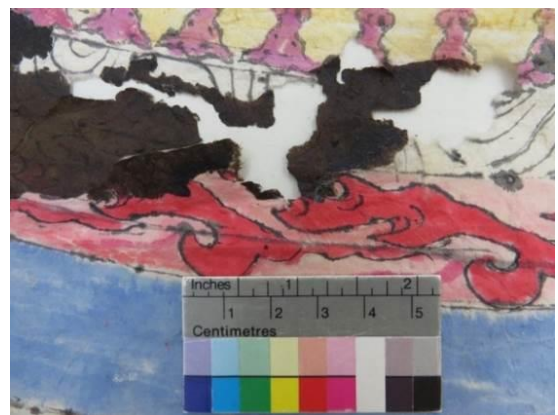


Abb. 139 Nach dem Ablösen.

7

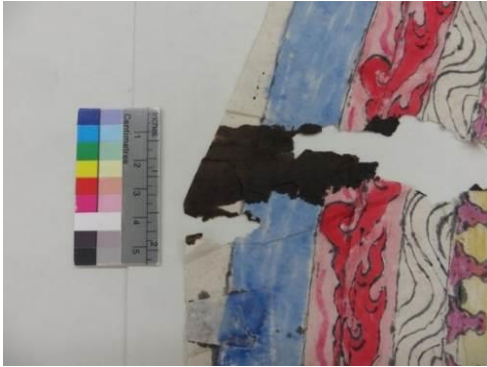


Abb. 140 Keine Maßnahme nötig.

8

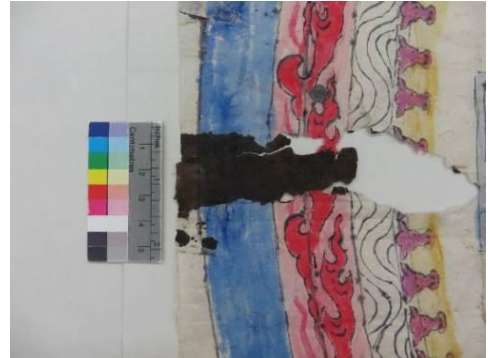


Abb. 141 Keine Maßnahme nötig.

9



Abb. 142 Keine Maßnahme nötig.

10



Abb. 143 Keine Maßnahme nötig.

11



Abb. 144 Vor dem Ausfalten.

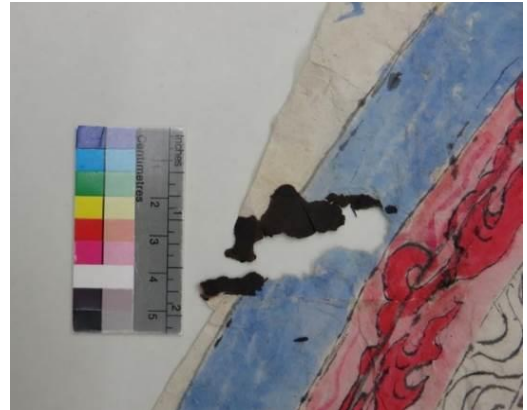


Abb. 145 Ausgefaltet.

Stabilisierung der brüchigen Bereiche



Abb. 146 Erste Teststelle, vor der Laminierung (7).



Abb. 147 Erste Teststelle, nach der Laminierung (7).

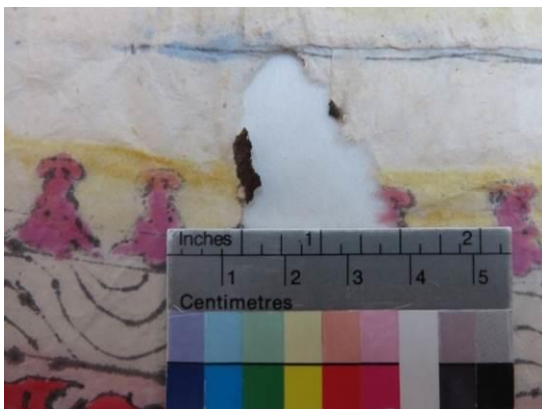


Abb. 148 Vor der Laminierung (7).



Abb. 149 Nach der Laminierung (7).