

Die Bayerische Staatsbibliothek hat in einer Strategieentscheidung vor dem Hintergrund ihrer exzeptionell reichen und hochwertigen Sammlungen als erste deutsche Bibliothek einen neuen Bereich für Materialwissenschaft und Kunsttechnologie geschaffen und mit modernster Technologie ausgestattet, um sich auch im Feld naturwissenschaftlicher Analytik als Partner in der Forschung zu etablieren und um Projekte in nationaler und internationaler Kooperation aktiv gestalten zu können. Ausgewählte Ergebnisse von 3D-Digitalmikroskopie und spektroskopischer Analytik aus DFG-Projekten und Forschungsprojekten im Rahmen der institutionellen Kooperation zwischen der Bayerischen Staatsbibliothek und der Technischen Universität München werden exemplarisch vorgestellt. Das Ziel ist ein im Internet leicht zugänglicher Verbund aus den »Bild-Digitalisaten« von Einband, Text und Miniaturmalerei und den »Analytik-Digitalisaten« zur Materialität mit den Ergebnissen und spektralen Daten der materialwissenschaftlichen Untersuchungen.

Already housing an exceptionally rich and high-quality range of collections, the Bavarian State Library has taken a strategic decision to become the first German library to set up a new section for material science and art technology and to equip it with state-of-the-art technology in order to establish itself as a research partner in the field of scientific analysis and to be able to collaborate on projects at the national and international level. The paper presents selected exemplary results of 3D digital microscopy and spectroscopic analysis from both DFG-funded and other research projects that are part of the institutional cooperation between the Bavarian State Library and the Technical University of Munich. The objective is to create an easily accessible Internet-based service which combines the digitised images of covers, texts and miniature painting with digitised analyses of information on materiality and the results and spectral data of materials science investigations.

IRMHILD CEYNOWA, THORSTEN ALLSCHER

Analytisch betrachtet

Der neue materialwissenschaftliche und kunsttechnologische Forschungsschwerpunkt an der Bayerischen Staatsbibliothek

Gold und Silber, Elfenbein und Edelsteine, Gemmen und Kameen, erlesene Textilien und Emailen: Evangeliare und andere liturgische Bücher wurden seit der Spätantike mit wertvollen Einbänden versehen oder in kostbaren Kästen aufbewahrt. Die ältesten erhaltenen Prachteinbände reichen in das frühe Mittelalter zurück. Die Bayerische Staatsbibliothek bewahrt in ihren Sammlungen weltweit einzigartige Goldschmiede- und Elfenbeineinbände, die den Betrachter seit über 1000 Jahren mit der überbordenden Pracht ihrer Einbände und mit faszinierender Miniaturmalerei in ihren Bann ziehen. Von Kaisern, Königen und Kirchenfürsten gestiftet, führen sie uns nicht nur den Kunstsinn der damaligen Herrscher vor Augen, sondern bezeugen ebenso die unvergleichliche Kunstfertigkeit der Goldschmiede, Kunsthandwerker und Buchmaler. In eine ferne Welt führt uns die bedeutende Sammlung Tibetischer Buchdeckel, Zeugnisse tiefer buddhistischer Religiosität, die mit ihren kunstvollen, bemalten und vergoldeten Holzschnitzereien als Höhepunkte asiatischer Buchkunst gelten.

An dieser Kunstfertigkeit, den Materialien, Rezepturen und Fertigungsweisen in den Kulturen besteht ein großes und stark zunehmendes Forschungsinteresse verschiedener Fachrichtungen, angetrieben von den Möglichkeiten der naturwissenschaftlichen Analytik. Aus der Archäometrie und Kunstgeschichte über die Geschichtswissenschaften bis hin zu den Natur- und Konservie-

rungswissenschaften erreichen die Bayerische Staatsbibliothek in steigender Zahl Anfragen zu materialwissenschaftlichen und kunsttechnologischen Themen, die ohne eine entsprechende Analytik und Expertise nicht beantwortet werden können. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler möchten das kulturelle Erbe nicht länger nur auf der textuellen oder bildlichen Ebene erforschen, sondern ihm auch materiell auf den Grund gehen, damit auch verstanden werden kann, wie diese einzigartigen Werke entstanden sind und wie sie gegebenenfalls im Lauf der Zeit verändert wurden.

Um diese Forschungsansätze in eigener Kompetenz bearbeiten zu können, hat die Bayerische Staatsbibliothek einen neuen Bereich für Materialwissenschaft und Kunsttechnologie geschaffen und mit modernster Technik ausgestattet. Vor dem Hintergrund ihrer exzeptionell reichen und hochwertigen Sammlungen sowie ihrer klassischen Erschließungsarbeiten beschreitet die Bayerische Staatsbibliothek mit dieser Strategieentscheidung als erste deutsche Bibliothek den Weg, sich auch im Feld naturwissenschaftlicher Analytik als Partner in der Forschung zu etablieren, um Projekte in nationaler und internationaler Kooperation aktiv gestalten zu können. Der neue Arbeitsbereich fügt sich nahtlos ein in die bestehende institutionelle Kooperation zwischen der Bayerischen Staatsbibliothek und der Technischen Universität München, in deren Rahmen das Institut für Bestands-

erhaltung und Restaurierung (IBR) der Bayerischen Staatsbibliothek für die Ausbildung von Restauratoren im Studienschwerpunkt »Buch und Papier« des Studiengangs »Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft« verantwortlich ist und Forschungsprojekte durchführt.

Bestandserhaltung und Restaurierung – Materialwissenschaft und Kunsttechnologie

Das Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung (IBR) ist ein international renommiertes Kompetenzzentrum für die Erhaltung des schriftlichen Kulturerbes und steht seit nunmehr über 60 Jahren für die konsequente Verbindung von praktischer Restaurierung und anwendungsorientierter Forschung zu Techniken und Materialien. Die zentrale Aufgabe des IBR ist die Erhaltung des wertvollen schriftlichen Kulturerbes der staatlichen wissenschaftlichen Bibliotheken in Bayern durch Präventive Konservierung und Restaurierung. Dabei liegt ein wesentlicher Schwerpunkt auf der Erhaltung der in der Bayerischen Staatsbibliothek verwahrten einzigartigen Bestände an Handschriften, Inkunabeln, alten Drucken, historischen Karten und Notendrucke sowie Nachlässen und Autographen, Bestände, die zu den bedeutendsten und größten Sammlungen der Welt zählen und besonders hohe Ansprüche an die Restaurierung / Konservierung stellen. Das IBR erbringt umfangreiche Beratungs- und Dienstleistungen für die zehn regionalen Staatlichen Bibliotheken des Freistaats Bayern in Aschaffenburg, Amberg, Ansbach, Augsburg, Bamberg, Coburg, Dillingen, Neuburg an der Donau, Passau und Regensburg, sowie für die vier Universitätsbibliotheken mit signifikantem Altbestand in Augsburg, Erlangen-Nürnberg, München und Würzburg. Darüber hinaus arbeitet das IBR aktiv in zahlreichen nationalen und internationalen Fachgremien.

Analytik an der Bayerischen Staatsbibliothek

Das neue Referat »Materialwissenschaft und Kunsttechnologie« bündelt die im IBR vorhandene Expertise im Bereich der Chemie und Materialwissenschaften und führt im Rahmen der Kooperation mit der Technischen Universität München (TUM) oder als Partner in interdisziplinären Förderprogrammen Forschungsprojekte durch. Es ergänzt beim Schutz und Erhalt der Sammlungen das benachbarte Referat »Bestandserhaltung und Restaurierung«, dessen Schwerpunkt auf der Präventiven Konservierung und Durchführung von Restaurierungsprojekten liegt. Beide Referate greifen auch im internationalen Innovationsfeld der naturwissenschaftlichen Erforschung des Kulturerbes eng ineinander. Die Expertise zur Materialität der Sammlungen und zu ihrer Analytik macht das IBR zu einem kompetenten Partner von Forschungsgruppen für die Planung und Durchführung von Projekten. Neue Verfahren und Untersuchungsmethoden sowie deren Risiken werden bewertet.

Es ist eine schmale Gratwanderung, bei naturwissenschaftlichen Untersuchungen dem Kulturerbe ein Maximum an Informationen abzugewinnen und gleichzeitig seine Unversehrtheit nachhaltig abzusichern. Daher achten die Expertinnen und Experten im IBR bei der Analytik genauestens darauf, dass die Objekte keinerlei Veränderung, auch nicht in mikroskopischen Dimensionen, erfahren. Der oberste Grundsatz der berührungslosen und nichtinvasiven Analytik garantiert, dass einzigartige Kulturdenkmäler von Weltrang keinen Schaden nehmen – auch wenn dadurch möglicherweise Detailfragen für die heutige Generation unbeantwortet bleiben.

Erstmals möglich wird dies durch ein breites Spektrum an neuen analytischen Methoden, die jetzt zum Einsatz kommen, wie die 3D-Digital-Mikroskopie, UV/Vis-, Infrarot- und Raman-, sowie Röntgenfluoreszenzspektroskopie. Das Herzstück der Analytik ist ein Hyperspectral Imaging System. Mit diesem jüngst gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik speziell entwickelten, bildgebenden Spektrometer setzt die Bayerische Staatsbibliothek neue Maßstäbe für die ganzheitliche, berührungslose und nichtinvasive spektrale Untersuchung von Handschriften und Miniaturmalerei. Die Technik des Hyperspectral Imaging führt ein bildgebendes Verfahren mit der Spektroskopie zusammen, da bei den Aufnahmen für jeden Pixel ein kontinuierliches Spektrum gemessen und analysierbar wird. Abhängig vom spektralen Bereich deckt die Technik den unsichtbaren UV- über den sichtbaren bis hin zum infraroten Bereich ab, so dass die hyperspektrale Bildgebung auch die Infrarotreflektographie ersetzen kann.

Dieser Beitrag stellt die neuen analytischen Möglichkeiten an der Bayerischen Staatsbibliothek anhand von ersten Ergebnissen zur Digitalisierung von nichttextuellen Informationen des schriftlichen Kulturerbes aus verschiedenen Projekten vor. Ergänzend zu den regulären, hochauflösenden Digitalisaten der Texte, Miniaturmalereien und Einbände werden die aus den naturwissenschaftlichen Untersuchungen entstehenden Daten zur Materialität der Kunstobjekte bereitgestellt. Um diese »analytischen Digitalisate« für alle Interessierten im Internet leicht zugänglich zu machen, werden sie an die regulären Digitalisate angebunden.

Erschließung und Digitalisierung von Prachteinbänden als eigenständige Kunstobjekte in einem DFG-Projekt

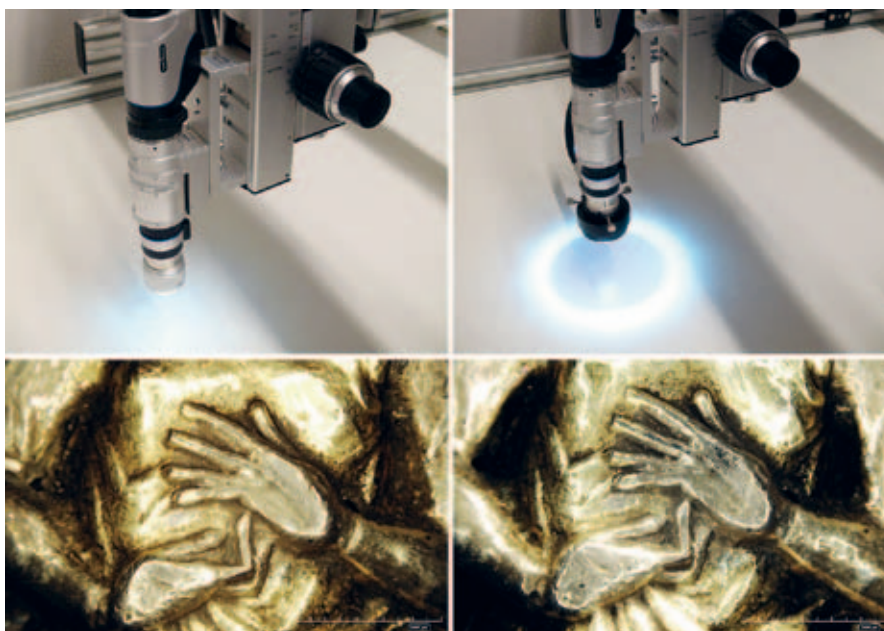
An der Bayerischen Staatsbibliothek wird mit den neuen analytischen Möglichkeiten im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekts zur »Erschließung und Digitalisierung von Prachteinbänden als eigenständige Kunstobjekte« nun erstmals eine materialwissenschaftliche und kunsttechnologische Bestandsaufnahme an ausgewählten Goldschmiedearbeiten vorgenommen, die der Forschung und der interessierten Öffentlichkeit online zur Verfügung gestellt wird.

Der Codex Aureus von St. Emmeram in Regensburg, das Perikopenbuch Heinrichs II., das Evangeliar Ottos III. und der Buchkasten zum Uta-Evangelistar sind einzigartige Meisterwerke des frühen Mittelalters, die bis heute mit der vollen Pracht ihres reichen Besatzes überdauert haben. Vergleichbare Schatzkammerstücke wurden von späteren Besitzern durchaus »geplündert«, um den wertvollen Besatz für andere Kunstwerke wiederzuverwenden, ihn einzutauschen oder schlichtweg zu Geld zu machen. Während die Namen der Stifter als hochrangige Auftraggeber dieser Prachteinbände bekannt sind, bleiben die genialen Künstler anonym und ebenso unbestimmbar, wie oftmals auch Zeit und Ort der Entstehung dieser Werke.

Nur sehr wenige Zeitzeugen berichten von der Goldschmiedekunst in früheren Jahrhunderten. Der bei dem Vesuvausbruch 79 n. Chr. ums Leben gekommene römische Gelehrte Plinius der Ältere äußert sich in seiner 32-bändigen Naturkunde nur sehr allgemein über die Metallurgie, während der Benediktinermönch Theophilus Presbyter um 1125 n. Chr. mit zahlreichen Details über die Metallgewinnung und -verarbeitung aufwartet. Auch der »Liber illuministarum«, eine spätmittelalterliche Handschrift aus dem Kloster Tegernsee enthält zahlreiche Rezepturen zu Vergoldungen und zum Löten¹ (Bayerische Staatsbibliothek, Cgm 821). Ein bislang wenig beachtetes byzantinischer Traktat zur Gold-

schmiedekunst aus dem 11. Jahrhundert wird derzeit in der Byzanzforschung interdisziplinär ausgewertet, handelt es sich doch um den einzigen bislang bekannten Text aus der Zeit vor Theophilus.² Trotz dieser Beschreibungen sind viele Fragen zu den Details der Goldschmiedekunst noch ungeklärt. Dies ist zum Teil den Unschärfen der historischen Quellentexte selbst geschuldet, aber auch den sprachlichen Verlusten bei der Übersetzung, da die Bedeutung mancher technischer Ausdrücke verloren gegangen ist. Ebenso fehlen detaillierte Kenntnisse zu den Rahmenbedingungen in den Werkstätten, über Arbeitsabläufe, die zur Verfügung stehende Ausstattung oder historische Werkzeuge.

So ist es nur allzu verständlich, dass die kunsthistorische und kunsttechnologische Forschung sowie das moderne Kunsthandwerk an diesen Spitzenwerken der mittelalterlichen Goldschmiedekunst ein großes Interesse haben. Allerdings sind sowohl die filigran gearbeiteten Goldschmiedeeinbände als auch die darin eingebundenen Pergamenthandschriften mit feinsten Miniaturmalerei besonders empfindlich gegenüber Erschütterungen sowie Schwankungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Daher sind die Werke nur sehr restriktiv für ausgewiesene Experten zugänglich und haben in den letzten Jahrzehnten nur sehr selten die schützenden Tresore verlassen.



1 Diffuses Licht (links) und Streiflicht (rechts) am 3D-Mikroskop beeinflussen die Wiedergabe der Plastizität stark. Links wird die Oberfläche einheitlich golden abgebildet, rechts treten Kratzer und Unebenheiten deutlich hervor (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 21585, Detail)

Foto: BSB/ Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung



2 Evangeliar aus dem Bamberger Domschatz (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 4451), Digitalisat vom Rückdeckel mit Maßstab und Farbchart (links), und vom Vorderdeckel bei Aufnahme der Schnitte (rechts)
Foto: BSB/Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung

3D-Digital-Mikroskopie als neue Forschungsgrundlage

Im Zuge der Digitalisierung ist es nun erstmals technisch möglich, diese Kunstwerke mit Detailbildern und HD-Mikroskopaufnahmen sowie mit Rotationsvideos und materialwissenschaftlichen Daten zu Metallen und Schmucksteinen am Bildschirm anzubieten und erforschbar zu machen. Digitalisate müssen heute nicht mehr nur bloße Abbildungen sein, sondern eröffnen beispielsweise zur Materialität oder Herstellung ganz neue Zugänge zu den Kunstwerken. Dabei spielt nicht nur eine hohe Digitalisierungsqualität mit hoher Auflösung und Bildschärfe eine Rolle. Vor allem für kunsttechnologische Untersuchungen ist auch die Beleuchtungsqualität entscheidend, da das Ergebnis abhängig von Lichtfarbe und -intensität sowie Einstrahlwinkel stark variieren kann. So zeigen gerade metallische Oberflächen, aber auch die aus mehreren Farbschichten dreidimensional strukturierte Miniaturmalerei sehr unterschiedliche Abbildungsergebnisse. Wie Abbildung 1 deutlich erkennen lässt, verändern sich Oberfläche und Plastizität der Aufnahme bei einer diffusen Beleuchtung von oben und bei Streiflicht.

Mit den differenzierten Digitalisaten eines 3D-Digitalmikroskops können kunsttechnologische Fragestellungen besser am Bildschirm beantwortet werden als bei einer Betrachtung des Originals mit bloßem Auge. Darüber hinaus bieten eine hohe Tiefenschärfe und spezialisierte Programme, die das vom Original gelöste digitale Bild beliebig drehen und in die Strukturen hineinzoomen können, Einsichten, die am Original in dieser

Weise nicht möglich sind. Ein weiterer Vorteil der »digitalen Forschung« sind Softwarelösungen zur Bemaßung im Bild. Mit verzerrungsfreien und deutlich bemaßten Aufnahmen (s. Abb. 2 links) und einer geeigneten Software kann jedes beliebige Detail im Bild wie etwa Strecken, Flächen, Winkel oder Formen mit ungeradem Umriss als Grundlage für weitere Untersuchungen vermessen werden. Dafür müssen aber alle Aufnahmen mit einem Maßstab aufgenommen werden, der optimal zur Oberfläche hin platziert ist. Der Maßstab muss sich auf der gleichen Ebene wie das aufgenommene Objekt befinden. Dies ist vor allem bei dreidimensionalen Objekten häufig nur mit Hilfsmitteln umzusetzen. So wird der Maßstab für die Aufnahme des Goldschmiedeeinbands des Evangeliers aus dem Bamberger Domschatz von einer Plexiglas konstruktion gestützt (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 4451, s. Abb. 2 rechts).

Sehr differenzierte und dreidimensionale Strukturen auf den Goldschmiedeeinbänden lassen sich mit Makrofotografie oder Mikroskopie nur begrenzt abbilden, da manche Details aus keiner Perspektive heraus vollständig erfasst werden können. Ein hochauflösendes Digitalmikroskop mit spezieller, rotierender Spiegeloptik ermöglicht nicht nur vergrößerte Detailaufnahmen, sondern auch eine 360°-Ansicht von der Seite, um dreidimensionale Strukturen rundherum aufnehmen zu können (s. Abb. 3). Die dabei entstehenden Kurzfilme eröffnen erstmals allen Interessierten am eigenen Bildschirm faszinierende Einblicke in die Goldschmiedearbeiten, die bislang nicht einmal am Original möglich waren.³

Bei den Untersuchungen an den mittelalterlichen Goldschmiedeeinbänden aus den Sammlungen der Bayerischen Staatsbibliothek, wie etwa an dem berühmten Codex Aureus von St. Emmeram, stehen aussagekräftige Detailaufnahmen vom Dekor aus Filigrandrähten, Fassungen und Granulation im Vordergrund. Jedes mikroskopische Detail ist von Interesse, um den Geheimnissen der antiken und mittelalterlichen Goldschmiedekunst auf die Spur zu kommen. Abrisse, Bearbeitungsspuren, stehen gebliebene Grate oder Lötstellen geben wichtige Hinweise auf die Herstellung der Drähte selbst, den daraus gebildeten Mustern und dreidimensionalen Strukturen (Filigran) sowie zur Position der verschiedenen Fassungen in der Gesamtkomposition. Gleich in mehrfacher Hinsicht stellt der Goldschmiedeeinband des Codex Aureus von St. Emmeram eine Besonderheit dar. Neben seinen außergewöhnlichen Goldschmiedearbeiten ist sein Einband ein seltenes, wenn nicht sogar das einzige Beispiel für einen Goldschmiedeeinband, der die wechsellvollen Zeiten ohne große Veränderungen oder Verluste an der ursprünglichen Gesamtkomposition überstanden hat. Bis heute übt dieser Goldschmiedeeinband eine nahezu magische Faszination aus. Dabei ist es weniger die senkrechte Aufsicht auf den Einband mit dem symmetrisch angeordneten Edelstein- und Perlenbesatz, sondern die Seitenansicht, die so gefangen nimmt. Die Dreidimensionalität und Feinheit der Goldschmiede-

arbeiten können nur von der Seite und herangezoomt exakt wahrgenommen werden (s. Abb. 4). Da viele Fassungen wie kleine Säulengänge gearbeitet sind, wirken sie wie prächtige farbige Dächer einer antiken Tempelanlage. Perlen glänzen in runden Zargenfassungen in einem Ring aus Perldraht zwischen dreiblättrigen Glaseinlagen und Flächengranulation. Allein 32 kelchförmige Fassungen umrahmen die zentrale, in ein Goldblech getriebene Darstellung der *Maiestas Domini*.

Die großen Smaragde sind in Zargen aus Akanthusblatt gefasst. Deutlich sind Unterschiede an den Fassungen und den Zargen, die die Steine halten, zu erkennen. Einige Fassungen zeigen umlaufend Akanthusblatt und Drahtspiralen mit Granulation (s. Abb. 5 rechts), während andere Fassungen einem antiken Tempel nachempfunden sind (s. Abb. 5 links). Die Aufsicht auf eine gefasste Perle, umgeben von feinem Emaille und Flächengranulation, offenbart die filigrane Arbeitsweise und die im Wortsinn mikroskopischen Strukturen der Goldschmiedearbeit erst unter dem hochauflösenden Digitalmikroskop (s. Abb. 6). Auch eine einzelne, bislang unbeachtete Glasgemme mit Monogramm gehört zu den Details am Codex Aureus, die sich erst mit einer hochaufgelösten digitalen Aufnahme deutlich herausarbeiten lassen (s. Abb. 7). Schärft man den Blick dafür und sieht sich ein in die Arbeit des Goldschmieds, stellt sich zwangsläufig die Frage, wie dieser die höchst fili-



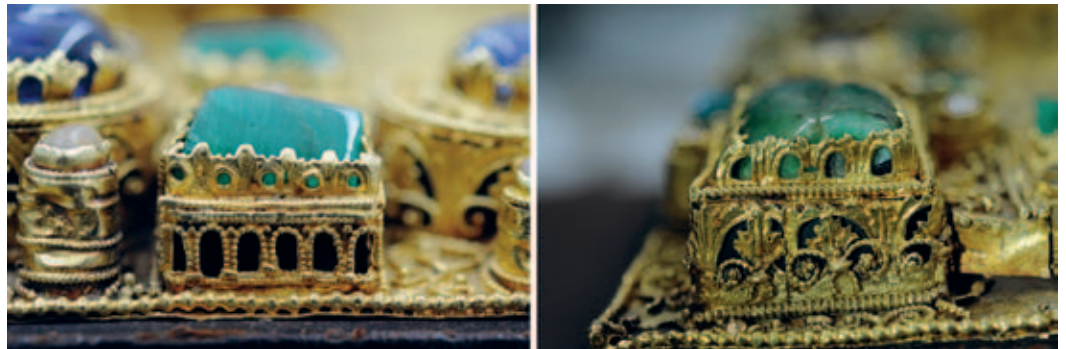
3 Untersuchung des Evangeliums Ottos III. mit Rotationsoptik (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 4453)

Foto: BSB/ H.-R. Schulz



4 Goldschmiedeeinband des Codex Aureus von St. Emmeram, Schrägaufsicht (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 14000, Detail)

Foto: BSB/ Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung



5 Seitenansicht von zwei Smaragden mit unterschiedlichen Fassungen am Codex Aureus (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 14000, Details)

Foto: BSB/ Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung

grane Miniaturarbeit ohne das heutige Wissen über Material und Verarbeitung und ohne moderne technische Hilfsmittel überhaupt herstellen konnte.

Auch der Vorderdeckel des Evangeliiars Ottos III. ist mit gefassten Steinen und Granulation reich verziert. Bei dieser seit der Antike bekannten Goldschmiedetechnik werden aus vorab hergestellten, winzigen Goldkügelchen kleine Kunstwerke geschaffen. Auf dem Einband findet man kleine Drahtkegel mit einer einzelnen Goldperle, sogenannte Bienenkörbe, und Traubengranulation auf zylindrischen Zwischenträgern, bei der mehrere Goldkügelchen auf mikroskopische Röhren gelötet werden (s. Abb. 8). Um ein zentrales Elfenbeintäfelchen mit der Darstellung des Marientodes gruppieren sich eine

Vielzahl von Schmucksteinen und Perlen, die ihrerseits von diesen mikroskopischen Gebilden aus Goldkügelchen umgeben sind.

Im Gegensatz zur streng symmetrischen Anlage des Codex Aureus scheinen die einzelnen Elemente eher zufällig über den Einband und um die zentrale Elfenbeinplatte verteilt. Erst bei näherem Betrachten ist eine gewisse Regelmäßigkeit zu erkennen.⁴ Ein Grund für diese Unordnung ist eine schriftlich belegte Reparatur aus dem Jahr 1726 durch den Bamberger Goldschmied Johann Jacob Lochner, der 28 »neue güldene Kästen« ergänzt hat, die nicht ganz in den Bestand und die vormalige Ordnung passen.⁵



6 Aufsicht auf eine Perle mit ihrer Fassung am Codex Aureus (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 14000, Detail)
Foto: BSB/ Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung



7 Glasgemme mit Monogramm (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 14000, Detail)
Foto: BSB/ Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung



8 Bienenkörbe und Traubengranulation auf dem Einband des Evangeliums Ottos III. (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 4453, Detail)
Foto: BSB/ Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung

Metallarbeiten am Uta-Buchkasten mit Röntgenfluoreszenzspektroskopie auf der Spur

Die Werksgeschichte des Buchkastens zum Uta-Evangelistar (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 13601) entzieht sich dagegen aufgrund von stilistischen Brüchen in der Gesamtkomposition einer klaren zeitlichen Einordnung und gibt noch Rätsel auf. Seine Entstehung lässt sich nur näherungsweise auf 1020–1040 festlegen. Die zentrale Figur des Christus Pantokrator ragt weit über

den umgebenden, edelsteinbesetzten Rahmen hinaus und sitzt auch nicht genau in der Mitte. Auch andere, weniger deutlich sichtbare Unregelmäßigkeiten lassen den Eindruck entstehen, dass der Rahmen überhaupt erst später dazukam, ebenso wie die umlaufenden Silberbleche an den Seiten des Buchkastens, unter denen noch vereinzelt textile Fragmente herausragen, die eine einstmals prächtige Bespannung des Holzdeckels erahnen lassen.

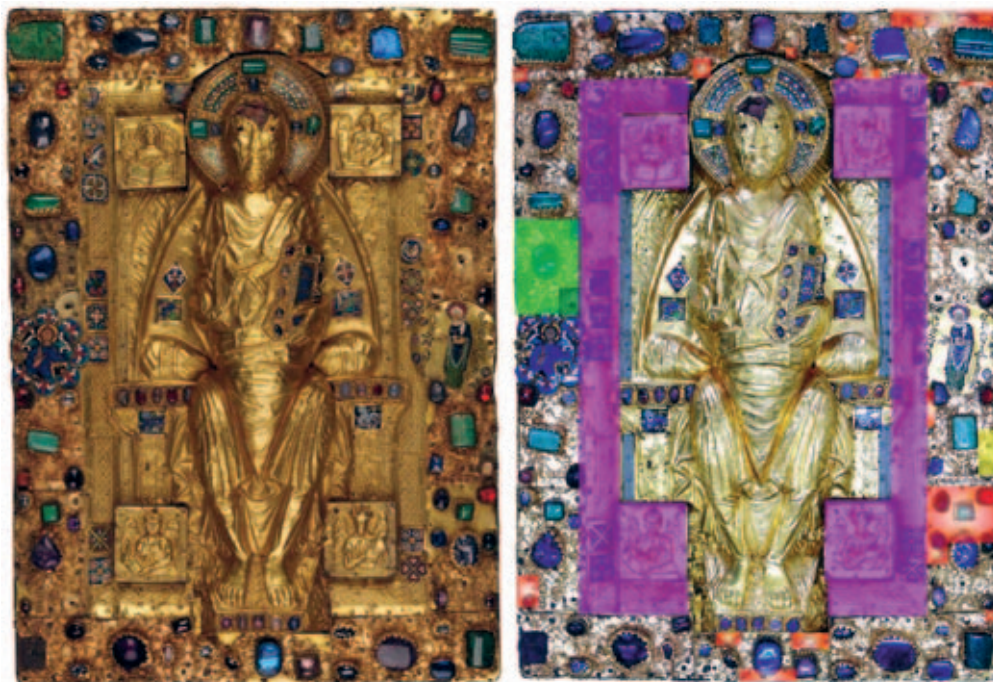
Immer wieder wurde der Buchkasten repariert, oder einzelne Bestandteile wurden aus unbekanntem Gründen gegeneinander ausgetauscht. Dies belegen unterschiedlichste Fassungen auf dem Buchkasten und die ergänzten blauen und roten Glassteine. Noch in den letzten etwa einhundert Jahren hat der Uta-Buchkasten kleine Veränderungen erfahren. Wie eine Fotografie aus dem Zeitraum 1899–1910 belegt,⁶ ist ein Reparaturblech an der Stirn des Christus verloren gegangen, und eine Steinfassung wurde versetzt. Zuletzt mussten 2015 am Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung minimale, detailliert dokumentierte Sicherungen durchgeführt werden, um drohende Verluste an Filigran und Emaille zu verhindern. Gewiss hat der Buchkasten vor späteren Umarbeitungen und Reparaturen ein einheitliches Bild ergeben und auch in seiner Farbigkeit mit den grünen Smaragden, blauen Saphiren und violetten Amethysten eine ganz andere optische Wirkung erzielt als mit den nachträglich ergänzten blauen und roten Glassteinen, die mit ihrer ganz anderen Farbigkeit die ursprüngliche Farbkombination durchbrechen. Bei der Analyse der unterschiedlichen Fassungen und Bleche mit dem Ziel, eine zeitliche Abfolge in die Überarbeitungen des Buchkastens zu bringen, war es entscheidend, die Zusammensetzung der Metalle mittels Röntgenfluoreszenz zu untersuchen. Das gängige Verfahren ermöglicht die zerstörungsfreie Analyse von Legierungen an der Metalloberfläche. Eine vergleichbare Zusammensetzung der Edelmetalle von Blechen, Dräh-

ten und Fassungen ist ein wichtiges Indiz für eine zeitgleiche Herstellung und Verarbeitung. Unterschiedliche Metalle können Hinweise auf spätere Eingriffe in den ursprünglichen Bestand geben. Daher ermöglicht es die genaue Kartierung auf Grundlage dieser aktuell erhobenen naturwissenschaftlichen Daten, Rückschlüsse auf die frühere Gestaltung des Buchkastens zu ziehen.

Zum Beispiel belegen identische Legierungen der Leisten in der inneren Schräge des Rahmens und der Evangelisten-Darstellungen (s. Abb. 9, violett), dass diese Arbeiten in einem Zug ausgeführt worden sind. Im Gegensatz dazu bestehen die blau markierten Abschlussleisten an den Seiten der Christus-Darstellungen sowie die rot, gelb und grün markierten Reparaturen aus anders zusammengesetzten Metallen. Diese späteren Ergänzungen können also jeweils einzeln vorgenommen worden sein oder wurden von bestehenden Einbänden abgenommen und wiederverwendet. Aus der Untersuchung des Buchkastens resultiert eine relative zeitliche Abfolge seiner zahlreichen Umarbeitungen. Darauf aufbauend können gezielt Fragen zu einzelnen Elementen, deren Ursprung und Herstellung angegangen werden.

Ramanspektroskopie zur Bestimmung der Schmucksteine

Von den Goldschmiedeeinbänden des frühen und hohen Mittelalters unterscheidet sich der spätmittelalterliche Einband des Evangeliars aus dem Benedikti-



9 Kartierung von unterschiedlichen Metallen am Buchkasten des Uta-Codex (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 13601)

Foto: BSB/ Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung

nerkloster Niederaltaich hinsichtlich der Machart und angewandten Techniken (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 9476). Die einzelnen Goldschmiedearbeiten dieses Einbands sind deutlich plastischer gestaltet: Ausgesägte Silberbleche wurden vergoldet und zu kunstvollem Rankenwerk aufgerollt, in dem kleine Granate in blütenförmigen Fassungen sitzen. Eine Vielzahl von heute leeren Fassungen deutet auf einen ursprünglich noch prachtvolleren Steinbesatz und die großen Verluste über die Jahrhunderte hin. Auch die in Silber gegossene und anschließend vergoldete Kreuzigungsgruppe stellt eine eigene technische Meisterleistung ihrer Zeit dar. Eine Inschrift auf dem Rückdeckel nennt den kunstsinnigen Abt Johann III. Simmerl als Auftraggeber im Jahr 1496. Über die Jahrhunderte eingetretene Schäden wurden von späteren Besitzern behoben, doch die Ausführung der Reparaturen bleibt qualitativ deutlich hinter der ursprünglichen Kunstfertigkeit zurück.

Rein visuelle Untersuchungen ermöglichen zwar die Benennung der größeren Steine, wie etwa in der oberen Rahmenleiste eines Heliotrops und eines Saphirs sowie in der unteren Leiste zweier Schichtachate (s. Abb. 10, links). Aber kleinere Steine wie der Chalcedon und der Amethyst (links und rechts über der Gemme) sind ohne eine genaue Analyse mit Ramanspektroskopie

nahezu unmöglich zweifelsfrei zu identifizieren. Mithilfe eines speziell konstruierten Raman-Mikroskops, das eine berührungslose und nichtinvasive Untersuchung auf dem Einband ermöglicht (s. Abb. 11), können nun viele Steine genauer untersucht werden. Jeder farbige Punkt (s. Abb. 10, rechts) steht für einen Stein aus der Gruppe der Granate, die roten Punkte für Almandine, die gelben Punkte für Pyrope. Erst die sorgfältige Auswertung der Raman-Spektren ermöglicht die exakte Zuordnung, die belegt, dass die Steine, die alle identisch gefasst sind, verschiedener Herkunft sein müssen. Dies wäre mit bloßem Auge nicht möglich gewesen.

Von der Spektroskopie zur spektroskopischen Bildgebung

Während noch vor wenigen Jahren punktuelle spektroskopische Messungen an Originalen einen großen Fortschritt bei der Untersuchung und Analyse von Kunstobjekten bedeuteten, hat die Technik in der Zwischenzeit einen regelrechten Quantensprung erfahren. Heute können alle gängigen spektroskopischen Verfahren entlang des elektromagnetischen Spektrums von der Röntgenfluoreszenz bis zur Terahertzspektroskopie als bildgebende Techniken eingesetzt werden. Im Zusammenhang mit zum Teil spektakulären Entdeckungen

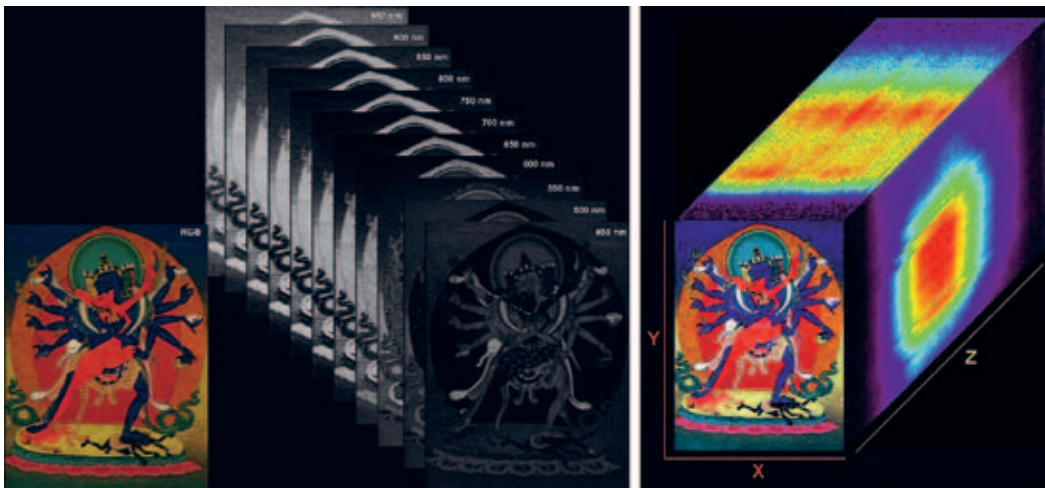


10 Vorderdeckel des Evangeliers aus Niederaltaich (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 9476), im rechten Bild zeigen rote Punkte Almandine, gelbe Punkte Pyrope an
Foto: BSB/ Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung



11 Berührungslose, nichtinvasive Ramanspektroskopie am Vorderdeckel eines Evangeliums (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 4451)

Foto: BSB/Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung



12 Vergleich von multi- und hyperspektraler Auflösung am Beispiel eines Tibetischen Buchdeckels (Bayerische Staatsbibliothek, Cod.tibet. 634, Detail)

Foto: BSB/ Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung

bedeutender Palimpseste⁷ werden in Projekten verschiedener Einrichtungen die Techniken des »Multispectral Imaging« oder »Hyperspectral Imaging« genannt. Diese, nicht punktuell, sondern auf der gesamten Oberfläche angewandten Techniken haben das Potential, verborgene Texte sichtbar zu machen und Miniaturmalerei für Analysen spektroskopisch zu erfassen. Allerdings stehen hinter diesen beiden Begriffen komplexe Techniken mit unterschiedlichem Ergebnisgehalt, so dass sie etwas deutlicher voneinander abgegrenzt werden sollten.

Neben den unterschiedlichen Aufnahmetechniken unterscheiden sich multispektrale und hyperspektrale Datensätze hauptsächlich in der spektralen Auflösung. Abbildung 12 lässt erkennen, dass in der zweidimensionalen Bildebene bei beiden Verfahren Aufnahmen mit vergleichbar hoher Auflösung entstehen. Erst in der dritten Dimension, die die spektrale Auflösung repräsentiert, zeigt sich ein deutlicher Unterschied. Der multispektrale Datensatz (links) setzt sich aus wenigen Einzelaufnahmen (Bändern) bei einzeln angesteuerten Wellenlängen zusammen, die sich aus den bei der Aufnahme verwendeten, fest definierten Filtern und eingestrahlten Wellenlängen ergeben. Im Gegensatz dazu besteht der hyperspektrale Datenwürfel (rechts) aus einem Vielfachen an Bändern, so dass für jeden Pixel der hyperspektralen Aufnahme ein hoch aufgelöstes UV/Vis-Spektrum entlang der z-Achse hinterlegt ist. Die Dichte der Messpunkte und damit die Zahl der Bildebenen ist geräteabhängig. Allein für den UV/Vis-Bereich können an der Bayerischen Staatsbibliothek bis zu 501 Bänder erfasst werden, was einer spektralen Auflösung von etwa 1,4 Nanometern entspricht. Für den infraroten Bereich stehen noch einmal 196 Bänder zur Verfügung.

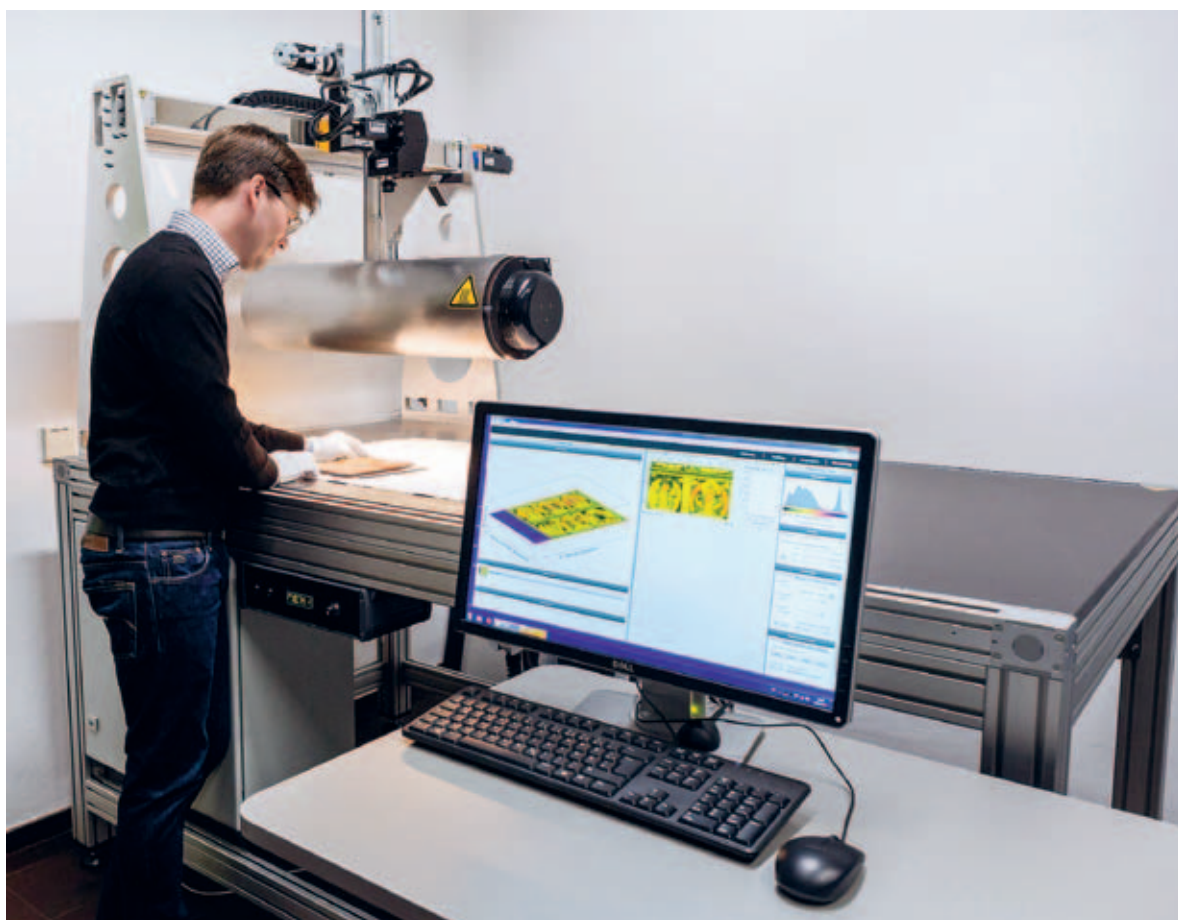
Beim Hyperspectral Imaging kommen abhängig von Einsatzgebiet und Geräteaufbau bzw. -typus verschiedene Aufnahmetechniken zur Anwendung. So wird bei hyperspektralen Landschaftsaufnahmen zu geologischen oder militärischen Zwecken die zu untersuchende Fläche Punkt für Punkt von Satelliten aus mit der sog. Wiskbroom-Technik abgescannt. Für Aufnahmen auf kurze Distanz gibt es zwei Varianten des Hyperspectral Imaging: Mit der Pushbroom-Technik wird die Oberfläche eines Objekts zeilenweise gescannt. Alternativ werden bei der Tunable Filter-Technik vollflächige Aufnahmen erstellt, wobei das Licht für jede Aufnahme mit durchstimmbaren spektralen Filtern (tunable spectral filters) wellenlängenweise gefiltert werden muss. Für den sichtbaren Bereich kommen Flüssigkristall-Filter zum Einsatz, während im nahinfraroten Bereich die akustooptischen Filter so einstellbar sind, dass sie nur bestimmte Wellenlängen durchlassen. Die generischen Vorteile der Pushbroom-Technik für die Analyse von empfindlichen Kunstobjekten sind:

1. Die Aufnahme der gesamten spektralen Information erfolgt exakt zur gleichen Zeit und ist damit auch unempfindlich gegenüber minimalen Bewegungen des Geräts oder der Oberfläche des Objekts.
2. Die Aufnahme des von der Objektoberfläche zurückfallenden Lichts ist um den Faktor 5 bis 20 effizienter im Vergleich zur Tunable Filter-Technik.
3. Es wird keine einheitliche Ausleuchtung der gesamten Objektoberfläche benötigt, nur eine einzige Zeile muss synchron zur Messung beleuchtet werden. Damit erhöht sich die Aufnahmegeschwindigkeit, und zugleich minimiert sich die thermische Belastung für das Objekt.

Die Charakteristika der Pushbroom-Technik entsprechen den konservatorischen Vorgaben, bei allen Untersuchungen die Wärme- und Lichtbelastung geringstmöglich zu halten. Um die Vorteile dieser Technik auch maximal zu nutzen, wurde für die Bayerische Staatsbibliothek ein spezielles Beleuchtungssystem entwickelt. An einem Portal hängen sowohl das Imaging Spectrometer als auch ein eigens für das System gefertigtes Streiflicht. Die Konstruktion überträgt das Prinzip der Ulbricht-Kugel auf eine Röhre, um für eine optimale Ausleuchtung auch unebener Oberflächen diffuse Strahlung aus gerichteter Strahlung zu erzeugen. Umgekehrt wird die stark divergente Rückstrahlung von der Objekt-oberfläche durch die Ulbricht-Röhre auf das Imaging Spectrometer gebündelt (Abb. 13). Für das Hyperspectral Imaging System der Bayerischen Staatsbibliothek wurden die Gerätedimensionen so gewählt, dass sowohl kleine als auch große Objekte bis zu einer Fläche von 80 x 120 cm untersucht werden können.

Analyse von Farbpigmenten und Palimpsesten mit Hyperspectral Imaging

Mit dem Hyperspectral Imaging System (HIS) kann man von einer beliebigen farbigen Oberfläche die gesamte spektrale Information im Bereich des sichtbaren Lichts und des nahen Infrarot aufnehmen und erhält einen dreidimensionalen Datensatz. Durch eine mit spezieller Software unterstützte Auswertung dieses sogenannten Datenwürfels können mit nur einer Messung und entsprechend geringer Belastung für das Objekt gleich mehrere Fragestellungen gleichzeitig beantwortet werden (z. B. Unterzeichnungen, Farbmittel, Retuschen, Schadensdokumentation und Prognose von Schadensentwicklung bei chemisch induzierten Schäden). Abbildung 14 zeigt das Ergebnis einer ersten HIS-Untersuchung von einer Miniaturmalerei auf einem Tibetischen Buchdeckel aus China, der in das 18. / 19. Jahrhundert datiert wird. Links ist das reguläre Digitalisat, rechts die softwareunterstützte Auswertung des eingemessenen Datenwürfels abgebil-



13 Hyperspectral Imaging System der Bayerischen Staatsbibliothek mit spezieller Streiflichtbeleuchtung und großem Portal Aufbau

Foto: BSB/H.-R. Schulz



14 Auswertung einer hyperspektralen Aufnahme eines Tibetischen Buchdeckels (Bayerische Staatsbibliothek, Cod.tibet. 634)

Foto: BSB/ Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung

det. Die falschfarbige Kartierung zeigt die verwendeten Pigmente an, die auf der Grundlage von den in der Software hinterlegten Referenzdaten nachgewiesen werden, auf diesem Buchdeckel Zinnober (rot), Mennige (gelb), Malachit (orange), Auripigment (grün) und Azurit (rosa).

Im Rahmen einer Masterarbeit, die im vom IBR gestalteten Studienschwerpunkt »Buch und Papier« des Studiengangs »Restaurierung, Kunsttechnologie und Konservierungswissenschaft« der Technischen Universität München entsteht, wird das neue Hyperspectral Imaging System dazu eingesetzt, Palimpseste in Handschriften aus den Sammlungen der Bayerischen Staatsbibliothek lesbar zu machen. Von besonderem Interesse für die Forschung ist das dreiteilige, sogenannte Münchener Palimpsest aus dem 9. bis 11. Jahrhundert. Dieses vermutlich älteste westliche hebräische Schriftdokument findet sich in drei Handschriften der Bayerischen Staatsbibliothek und soll jetzt mit hyperspektralen Aufnahmen wieder so vollständig wie möglich lesbar gemacht werden (Bayerische Staatsbibliothek, Clm 6315, Clm 29416(1) und Clm 29418(1)). Auch in anderen bedeutenden Handschriften warten Palimpseste auf ihre Entdeckung. Zwei liturgische Texte aus der Mitte des 11. Jahrhunderts zeichnen sich beispielsweise unter dem Text der griechischen Handschrift *Commentaria in Dionysii Thracis artem grammaticam* ab, die nun dank des HIS genauer erforscht werden können (Bayerische Staatsbibliothek, Cod.graec. 272).

Neue Technologien und traditionelle Techniken

Die umfangreichen analytischen Möglichkeiten des IBR werden auch für die Konzeptfindung und Qualitätssicherung bei der Restaurierung bedeutender Handschriften eingesetzt, wie etwa bei der Restaurierung einer *Shāhnāme*-Handschrift (Bayerische Staatsbiblio-

thek, Cod.pers. 15) im Rahmen eines von der Koordinierungsstelle für die Erhaltung des schriftlichen Kulturguts (KEK) geförderten Modellprojektes im Jahr 2015. Die Prachthandschrift überliefert das »Königsbuch« oder »*Shāhnāme*«, mit dem der Dichter Abū'l-Qāsim Firdausī um das Jahr 1000 die Geschichte Persiens von den Anfängen bis zur islamischen Eroberung im 7. Jahrhundert erzählt. Das Königsbuch avancierte zum Nationalepos der persischsprachigen Welt und zählt zur Weltliteratur. Diese *Shāhnāme*-Handschrift entstand um 1550–1600 in der Hofschule von Schiras, einem bedeutenden Zentrum der Buchmalerei im Safavidenreich. Die Qualität der 26 farbenprächtigen Miniaturen und der Kalligraphie machen diese Handschrift einzigartig. Aufgrund des extremen Farbschadens war die Handschrift allerdings seit langem für die Öffentlichkeit und Forschung nicht zugänglich, denn der Text drohte beim Blättern der Seiten spaltenweise auszubrechen. Als Ursache für den umfangreichen Schaden konnte mit der Röntgenfluoreszenzspektroskopie eine grüne, kupferhaltige Tusche identifiziert werden, mit der die Textspalten durchgängig fein umrahmt wurden. Sie katalysiert den Abbau der Cellulose, der das Papier allmählich brüchig werden lässt. Da die Textspalten auf Vorder- und Rückseite eines Blattes an der exakt gleichen Position angelegt sind, trifft die Tusche zweifach und daher mit erhöhter Schadwirkung auf das Papier im 1.200 Seiten umfassenden Buchblock.

Angesichts des Schadenumfanges und der Empfindlichkeit der Handschrift mit ihrer Miniaturmalerei war die Restaurierung eine besondere Herausforderung. Die brüchigen und gebrochenen Rahmungen mussten stabilisiert werden, damit die Handschrift mit der gebotenen Sorgfalt wieder benutzt werden kann. Zum Einsatz kam das »Münchener Tissue«, ein mit einer speziellen Acrylatmischung beschichtetes und nahezu transparentes

Japanpapier, das im IBR für solche Farbschäden und für die unzähligen Schäden durch aggressive Eisengallustinten entwickelt wurde. Tinten, Tuschen und Farben, die aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung das Papier schädigen, treten in der ganzen Bandbreite des schriftlichen Kulturerbes auf, z. B. bei mittelalterlichen Handschriften und Musikhandschriften, bei Atlanten sowie bei Briefen in Nachlässen. Daher hat das IBR eine langjährige Erfahrung mit der Behandlung dieser Schäden, speziell mit dem Einsatz von alterungsbeständigen Acrylaten, der bis in die 1970er-Jahre zurückreicht. Das mit einem Heizspatel aktivierte Münchener Tissue verliert mit dem Aufbringen auf dem Original seinen Glanz und wird nahezu unsichtbar. Daher eignet es sich zur Applikation über Schrift und bildlichen Darstellungen, ohne diese optisch zu beeinträchtigen.

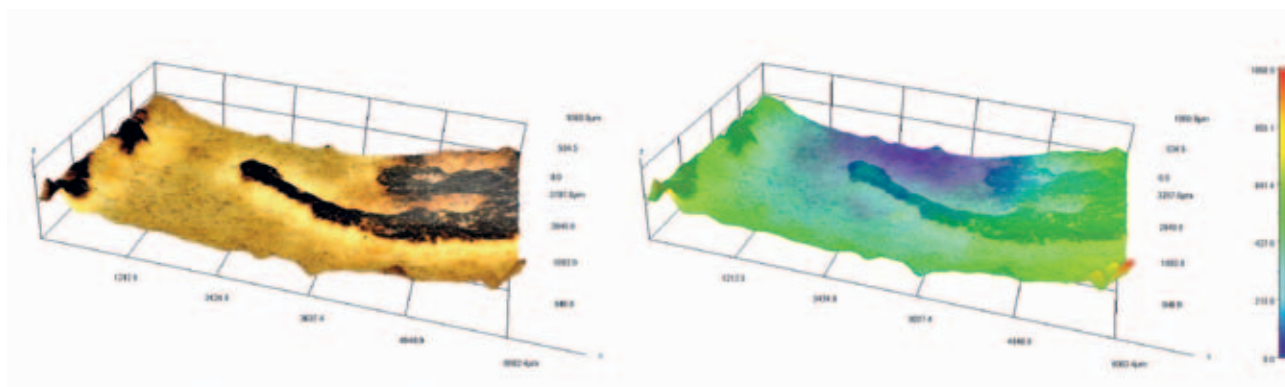
Da für die Verwendung von Kunststoffen in der Restaurierung besonders hohe Kriterien gesetzt sind, um Veränderungen und Folgeschäden durch das eingebrachte Material so weit wie möglich auszuschließen, wird das verwendete Tissue aufwendigen Untersuchungen mit dem 3D-Digitalmikroskop unterzogen. Mit dem Mikroskop werden die restaurierten Partien stichprobenartig geprüft, 3D-Messungen im Tiefenprofil wie in Abbildung 15 belegen die Integrität der Oberflächen, ein wichtiger Aspekt für die Nachhaltigkeit des restauratorischen Eingriffs.

Mit Open Data und Open Science in die richtige Richtung

Um die hochauflösenden und analytischen Digitalisate des IBR aus HD-Mikroskopaufnahmen, Rotationsvideos und materialwissenschaftlichen Daten zu Farben, Metallen und Schmucksteinen im Netz leicht auffindbar zu machen, werden sie an die »regulären« digitalen Bilder der untersuchten Objekte aus dem Scanzentrum der Bayerischen Staatsbibliothek angebunden. Das Ziel ist, einen digitalen Verbund aus den »Bild-Digitalisaten« von Einband, Text und Miniaturmalerei und den »Analytik-Digitalisaten« zur Materialität mit den Ergebnissen und spektralen Daten der materialwissenschaftlichen Unter-

suchungen herzustellen. Im Rahmen des DFG-Projekts »Erschließung und Digitalisierung von Prachteinbänden als eigenständige Kunstobjekte« wird der materialwissenschaftliche und kunsttechnologische Befund in Form eines Semantik Media Wiki hergestellt und online präsentiert. Die neue IIF-Viewer-Technologie, die auch Ausgangspunkt für weitere technische Innovationen auf dem Gebiet der »digitalen Forschung« sein wird, ist dabei der Schlüssel für eine forschungsgerechte Präsentation der Digitalisate auf höchstem technischen Standard. Die von der International Image Interoperability Framework-Gemeinschaft (IIIF) gemeinsam entwickelten Schnittstellen für Bilder und Metadaten bieten die besten Voraussetzungen für das Data Sharing zwischen verschiedenen bestandshaltenden Institutionen. In geeigneten Viewern, wie dem von den Universitäten Harvard und Stanford entwickelten Mirador, kann dann Bildmaterial aus verschiedenen Repositorien geladen, verglichen und bearbeitet werden. So lassen sich beispielsweise Annotationen direkt im Viewer erstellen und in der jeweiligen Ansicht auch speichern.⁸

Mit der Strategie, digitale Forschungsprimärdaten zum schriftlichen Kulturerbe an das Untersuchungsobjekt zu knüpfen und online verfügbar zu machen, ist die Bayerische Staatsbibliothek einen richtungsweisenden Schritt hin zu Open Science gegangen. Sie bietet damit als selbst forschende Einrichtung Forschenden, Studierenden und der interessierten Öffentlichkeit Einblicke in die Entstehung wissenschaftlicher Ergebnisse und Zugang zu allen Forschungsdaten. Indem diese als Open Data bereitgestellt werden, können sie nachgenutzt und für weitere Forschungen fruchtbar gemacht werden. Weitere Projekte werden folgen, denn die Erforschung der Materialität von Kulturerbe ist ein Wachstumsbereich mit hohem Potenzial, und die Sammlungen der Bayerischen Staatsbibliothek sind reich an bedeutenden und wertvollen Objekten. Die aktuell entstandenen fotografischen und mikroskopischen Aufnahmen lassen wie niemals zuvor die geniale Kunstfertigkeit vergangener Meister erkennen und laden nicht nur Forscherinnen und Forscher zu deren Bewunderung ein.



15 3D-Tiefenprofil einer mit dem Münchener Tissue restaurierten Textstelle
Foto: BSB/Institut für Bestandserhaltung und Restaurierung

Anmerkungen

- 1 Bartl, Anna; Kregel, Christoph; Lautenschlager, Manfred; Oltrogge, Doris; Germanisches Nationalmuseum Nürnberg (Hrsg.): Der »Liber illuminarum« aus Kloster Tegernsee – Edition, Übersetzung und Kommentar der kunsttechnologischen Rezepte. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, 2005.
- 2 Der griechische Traktat »Über die hochgeschätzte und berühmte Goldschmiedekunst« – Edition und interdisziplinärer Kommentar. Verfügbar unter: http://web.rgzm.de/no_cache/forschung/schwerpunkte-und-projekte/a/article/der-griechische-traktat-ueber-die-edle-und-hochberuehmte-goldschmiedekunst-edition-und-int/ [Zugriff am: 14.07.2017].
- 3 Kunsttechnologische Forschung an Prachteinbänden. Verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=emHXzB_tbl8 [Zugriff am: 14.07.2017].
- 4 Pfändtner, Karl-Georg: Neue Erkenntnisse zum Einband des Evangeliums Ottos III. In: *Codices Manuscripti & Impressi. Zeitschrift für Buchgeschichte* (2016), Heft 105, S. 1–8.
- 5 Dressler, Fridolin: Die Prachthandschriften aus dem Bamberger Domschatz in der Bayerischen Staatsbibliothek. Nachrichten und Dokumente zu ihrer Geschichte bis 1803. In: *Bericht des Historischen Vereins für die Pflege der Geschichte des ehemaligen Fürstbistums Bamberg*, 131 (1995), S. 67–127.
- 6 www.bildindex.de/document/obj00044535?part=1 [Zugriff am: 14.07.2017].
- 7 Easton, Jr., Roger L.; Christens-Barry, William A.; Knox, Keith T.: Ten Years of Lessons from Imaging of the Archimedes Palimpsest. In: *Digital Imaging of Ancient Textual Heritage: Technological Challenges and Solutions*, 28–29 October 2010, Helsinki, Finland.
- 8 Brantl, Markus; Eichinger, Rolf; Wolf, Thomas: Ein neuer offener Standard für Bildrepositorien – das International Image Interoperability Framework (IIIF) im Einsatz an der Bayerischen Staatsbibliothek. In: *ABI Technik*, 36 (2016), Heft 2, S. 105–113.

Die Verfasser



Dr. Irmhild Ceynowa ist Direktorin des Instituts für Bestandserhaltung und Restaurierung (IBR) der Bayerischen Staatsbibliothek, Ludwigstraße 16, 80539 München, Telefon 089 28638-2238, irmhild.ceynowa@bsb-muenchen.de
Foto: privat



Dr. Thorsten Allscher ist Stellvertreter der Abteilungsleitung IBR und Leiter des Referats für Materialwissenschaft und Kunsttechnologie, Bayerische Staatsbibliothek, Ludwigstraße 16, 80539 München, Telefon 089 28638-2396, thorsten.allscher@bsb-muenchen.de
Foto: Sedan Sieben GmbH