



Zustandserfassung der Archivbestände des
Staatsarchivs der Freien und Hansestadt Hamburg
mittels der
NIR-Paperrating-Technologie
durch die
ZFB – Zentrum für Bucherhaltung GmbH, Leipzig

Report über den Zustand des Gesamtbestands





Das *NIR-Paperrating*-Analysegerät bestimmt den Erhaltungszustand von Papier, zerstörungsfrei und schnell mittels Nah-Infrarot-Technologie.

Diese Analyse wurde erstellt durch:

**Nicole Klinger und
Oliver Messerschmidt**

ZFB – Zentrum für Bucherhaltung GmbH
MommSENstraße 7
D-04329 Leipzig
Tel +49 (0) 341 25989-0
Fax +49 (0) 341 25989 -99
E-Mail info@zfb.com
www.zfb.com

Leipzig, September 2008



Inhaltsverzeichnis	Seite
Abkürzungsverzeichnis	5
1. Einleitung	6
1.1 Warum ist eine Zustandserfassung wichtig? Oder: Die Notwendigkeit der Entsäuerung	7
1.1.1 Das Massenentsäuerungsverfahren nach dem papersave [®] -Verfahren	8
1.2 Die <i>NIR-Paperrating</i> -Technologie – Eine neue Technologie zur wissenschaftlichen Schadenserfassung	10
1.2.1 Die Möglichkeiten des <i>NIR-Paperrating</i> -Analyseverfahrens	11
1.2.2 Wie funktioniert die <i>NIR-Paperrating</i> -Analyse	13
1.2.3 Die Vorteile der <i>NIR-Paperrating</i> -Analyse	14
2. Grundlegende Erläuterungen zu den Beständen und zur Vorgehensweise der Untersuchungen	15
2.1 Die Bestände des Staatsarchivs Hamburg	15
2.2 Die statistisch gesicherte Stichprobenauswahl	15
2.2.1 Die Stichprobenbestimmung und -auswahl im Staatsarchiv Hamburg	16
2.3 Definition zur <i>NIR-Paperrating</i> -Messung im Staatsarchiv Hamburg	17
2.3.1 Die Auswahl der Messpunkte innerhalb der Objekte	17
2.3.2 Die Buchstaben- und Zahlenkombination	18
2.3.2.1 Die Unterscheidung zwischen Akte und Buch, sowie Benennung der Stichprobe	18
2.3.2.2 Die Angabe der Jahreszahl	19
2.3.2.3 Die Angabe zum Einbandmaterial	20
2.3.2.4 Die Angabe zur Art der Heftung	23
2.3.2.5 Die Angabe zum Erhaltungszustand des Einbands	25



	Seite
2.3.2.6 Die Angaben zum Erhaltungszustand der Heftung des „Buchblocks“	27
2.3.2.7 Die Angabe zum Zustand des Papiers	29
3. Die Ergebnisse der Zustandserfassung der Archivbestände des Staatsarchivs Hamburg mittels der <i>NIR-Paperrating-Technologie</i>	31
3. 1 Die Zustandserfassung des Gesamtbestands des Staatsarchivs Hamburg mittels der <i>NIR-Paperrating-Technologie</i>	32
3.1.1 Einleitende Fakten zum Gesamtbestand	32
3.1.2 Die Primärwerte des Gesamtbestands	34
3.1.2.1 Der Erhaltungszustand des Papiers des Gesamtbestands	34
3.1.2.2 Die Faserart des Papiers des Gesamtbestands	39
3.1.2.3 Die pH-Werte des Papiers des Gesamtbestands	41
3.1.3 Die Sekundärwerte des Gesamtbestands	43
3.1.3.1 Das Einbandmaterial des Gesamtbestands	43
3.1.3.2 Schäden am Einband des Gesamtbestands	45
3.1.3.3 Die Heftungsart des Gesamtbestands	46
3.1.3.4 Der Erhaltungszustand der Heftung des Gesamtbestands	46
3.1.3.5 Diverse Beeinträchtigungen (inkl. biologischer Befall)	47
4. Das Fazit der Zustandserfassung der Archivbestände des Staatsarchivs Hamburg mittels der <i>NIR-Paperrating -Technologie</i>	48
4.1 Die Faktoren der Bestandserhaltungsstrategie	48
4.1.1 Die exogenen Faktoren der Bestandserhaltungsstrategie	49
4.1.2 Die endogenen Faktoren der Bestandserhaltungsstrategie	50
4.2 Abschließende Beurteilung zum Gesamtbestands	51
4.3 Monetäre Betrachtung der Bestandserhaltungsmaßnahmen	53
Anhang	56



Abkürzungsverzeichnis

HS	Holzschliffpapier
HS-ME	Holzschliffpapier entsäuert
Jh.	Jahrhundert
lfm.	Laufender Meter
Ma-%Mg₂CO₃	Masseprozent überschüssiges Magnesiumkarbonat
nm	Nanometer
NIR	Nah Infrarot
PTS	Papiertechnische Stiftung Heidenau
ZFB	Zentrum für Bucherhaltung GmbH
ZS	Zellstoffpapier
ZS-ME	Zellstoffpapier entsäuert



Das grüne Ausrufezeichen zeigt den Verweis auf weiterführende Informationen im Anhang an.



Das rote Ausrufezeichen markiert besonders erwähnenswerte Informationen.



1. Einleitung

>> Die knappen Budgets zur Bestandserhaltung müssen effizient eingesetzt werden und selten kann all das erhalten werden, was erhaltenswert wäre. <<

Die Diskussion um den Erhalt von Papier ist facettenreich – mindestens so facettenreich wie die Alternativen, dieses Schriftgut zu erhalten. Die Verantwortlichen in Archiven und Bibliotheken sehen sich mit dem Zerfall von ihren Beständen konfrontiert. Die knappen Budgets zur Bestandserhaltung müssen effizient eingesetzt werden und selten kann all das erhalten werden, was erhaltenswert wäre.

Bestandserhaltungskonzepte können von vielen Seiten betrachtet werden. Um nun aber bezüglich der Bestandserhaltungsalternativen *in medias res* zu gehen, ist es notwendig, alle Möglichkeiten der Bestandserhaltung und deren Vor- und Nachteile zu vergleichen, denn auch hier kann eine mannigfaltige Betrachtung erfolgen:

- „Welche Bestände gilt es mit oberster Priorität zu erhalten?“
- „Gibt es Bestände, die durch konservierende Maßnahmen nicht mehr gerettet werden können?“
- „Welche Folgekosten entstehen, wenn die Entsäuerung von Papier nicht rechtzeitig stattfindet?“
- usw.

Die *ZFB - Zentrum für Bucherhaltung GmbH* in Leipzig (kurz: *ZFB*) ist seit vielen Jahren Anbieter von Bestandserhaltungskonzepten aus einer Hand für Bibliotheken, Archive und Museen und bietet Hilfestellung bei der Beantwortung jener Fragen. Die derzeit 25 Mitarbeiter des *ZFB* bieten alle Dienstleistungen zur Bestandserhaltung aus einer Hand an. Das bedeutet, dass neben handwerklicher Einzelrestaurierung von Büchern, Akten, Zeitungen und Plakaten auch Massenverfahren wie die nicht-wässrige Massenentsäuerung nach dem *papersave*[®]-Verfahren angeboten werden. Das *ZFB* verfügt über eine hausinterne Forschungs- und Entwicklungsabteilung. Insgesamt arbeiten vier Diplom-Restauratoren und zwei Diplom-Chemiker im *ZFB* an neuen Restaurierungstechnologien.

Seit kurzem bietet das *ZFB* die Dienstleistung der wissenschaftlichen und damit objektiven Erfassung von Papierzuständen an. Diese Schadenserhebung wird mittels eines mobilen Analysegeräts durchgeführt, welches den Namen *NIR-Paperrating* trägt und vom *ZFB* entwickelt wurde. Die *NIR-Paperrating-Analyse* dient der Zustandserfassung der Papiere. Sie geschieht zerstörungsfrei und schnell. Auf Grundlage der *NIR-Paperrating*-Analysedaten können Bestandserhaltungsstrategien abgeleitet werden.

Anfang 2008 beauftragte das *Staatsarchiv der Freien und Hansestadt Hamburg* das *ZFB* mit der Zustandserfassung seiner Archivbestände mittels der *NIR-Paperrating*-Technologie. Die Messungen an über 3.000 Objekten erfolgten im Frühjahr 2008 durch das *ZFB* in den Räumlichkeiten des *Staatsarchiv der Freien und Hansestadt* in Hamburg.



1.1 Warum ist eine Zustandserfassung wichtig? Oder: Die Notwendigkeit der Entsäuerung

>> ...ist das Papier hingegen schon so brüchig, dass es nicht mehr ohne Substanzverlust benutzt werden kann, kommt die Entsäuerung zu spät. Die konservierende Maßnahme der Entsäuerung wäre vergebene Liebesmühe. <<

Seit ca. 1850 wird Papier industriell hergestellt. Durch diesen Herstellungsprozess wurden hochwertige Faserstoffe durch Holzschliff ersetzt und das Papier wurde sauer geleimt. Diese Tatsachen führen dazu, dass die minderwertigen Bestandteile des Papiers schneller abgebaut werden. Das Papier verliert seine Stabilität, vergilbt zusehends, wird brüchig und versprödet innerhalb von 50 bis 150 Jahren, bis es nicht mehr ohne Substanzverlust zu nutzen ist. Dieser Prozess ist nicht durch konventionelle Maßnahmen wie dunkler und kühler Lagerung der Papiere zu stoppen und führt – über kurz oder lang – zur Zerstörung der Papieroriginalen! Die einzige Möglichkeit diesen Prozess zu stoppen, ist die Neutralisation, sprich die Entsäuerung der Papiere.

Diese Neutralisation sollte so früh wie möglich stattfinden, da die Massenentsäuerung eine konservierende Behandlung ist, welche die Lebensdauer von Papier um den Faktor 4 bis 5 verlängert. Mit anderen Worten: Hat ein Papier noch eine angenommene Haltbarkeit von 100 Jahren bis es zerfällt, verlängert die **papersave**[®]-Massenentsäuerung die Lebensdauer auf 400 bis 500 Jahre. Ist das Papier hingegen schon so brüchig, dass es nicht mehr ohne Substanzverlust benutzt werden kann, kommt die Entsäuerung zu spät. Die konservierende Maßnahme der Entsäuerung wäre vergebene Liebesmühe. Die Bestandserhaltung müsste nun in Form von restauratorischen Maßnahmen geschehen, wie beispielsweise der Papierstabilisierung durch Kaschieren oder Spalten. Auch diese Dienstleistung wird vom **ZFB** angeboten.

Durch das maschinelle Papierspalten ist es möglich, große Mengen an Papier zu restaurieren. Die weltweit einzige Anlage zum maschinellen Papierspalten wird vom **ZFB** in Leipzig betrieben und kann größte Bestände restaurieren. Allerdings, und das sollte das beste Argument für eine frühzeitige Entsäuerung sein, ist der Preis für die restauratorische Maßnahme des Papierspalten um ein Vielfaches höher als eine rechtzeitige Entsäuerung! Hier liefert die **NIR-Paperrating**-Analyse wissenschaftliche Daten, auf deren Grundlage die Papiere gruppiert werden können.



Abb. 1: Saure Zeitungsbände, die kurz vor dem Zerfall stehen. In diesem Fall kommt eine konservierende Entsäuerung zu spät. Lediglich durch eine kostenintensivere Restaurierung wie dem Papierstabilisieren können diese Originale noch für die Nachwelt erhalten werden.



1.1.1 Das Massenentsäuerung nach dem *papersave*[®]-Verfahren

>> Durch die Entsäuerung werden die im Papier vorhandenen Säuren vollständig ... neutralisiert. Dabei wird der am behandelten Papier gemessene pH-Wert in den alkalischen Bereich zwischen 7,5 und 9,5 angehoben. <<

Die Zielsetzung der *papersave*[®]-Massenentsäuerung des ZFB ist, eine alkalische Substanz in das Papier einzubringen, welche die vorhandene Säure tief und nachhaltig in der Papierfaser neutralisiert. Eingebracht wird die alkalitätschaffende Chemikalie über eine nicht-wässrige Flüssigkeit. Eine nicht-wässrige Flüssigkeit hat den Vorteil, dass die Papiere nicht quellen oder verwellt werden und die Bücher daher auch nicht auseinandergenommen werden müssen. Somit soll das erklärte Ziel der *papersave*[®]-Massenentsäuerung erreicht werden, dass ein Buch oder eine Akte nach der Entsäuerung genauso aussieht wie vor der Entsäuerung – eben nur mit dem kleinen, aber bedeutenden Unterschied, dass die zerstörende Säure neutralisiert ist und die Papiere für weitere Generationen im Original erhalten bleiben. Die einzelnen Schritte der Massenentsäuerung nach dem *papersave*[®]-Verfahren sind die folgenden:

Im ersten Schritt werden die Bücher, die sich während des gesamten Entsäuerungsprozesses in einer abgeschlossenen Behandlungskammer befinden, getrocknet. Dabei wird der natürliche Wassergehalt des Papiers von ca. 5 – 7% vorübergehend auf einen Restwassergehalt < 1% abgesenkt. Das Trocknen erfolgt unter Vakuum bei gleichzeitig schonender Erwärmung der Bücher. Dieser Prozess ist notwendig, damit die Objekte die Entsäuerungsflüssigkeit optimal aufnehmen können. Im Anschluss an die Vortrocknung erfolgt die eigentliche Entsäuerungsbehandlung, indem die Bücher in einer alkalischen Behandlungslösung getränkt werden. Hierzu wird die Behandlungskammer mit den darin befindlichen Büchern mit der Behandlungslösung vollständig geflutet. Als Entsäuerungschemikalien werden Magnesium- und Titanverbindungen verwendet, welche – das sei an dieser Stelle erwähnt – für den Menschen und die Umwelt ungiftig sind. Auf Grund der Vortrocknung sind die im geschlossenen Zustand in der Behandlungskammer stehenden Bücher in der Lage, die Behandlungslösung vergleichbar einem Schwamm aufzusaugen.



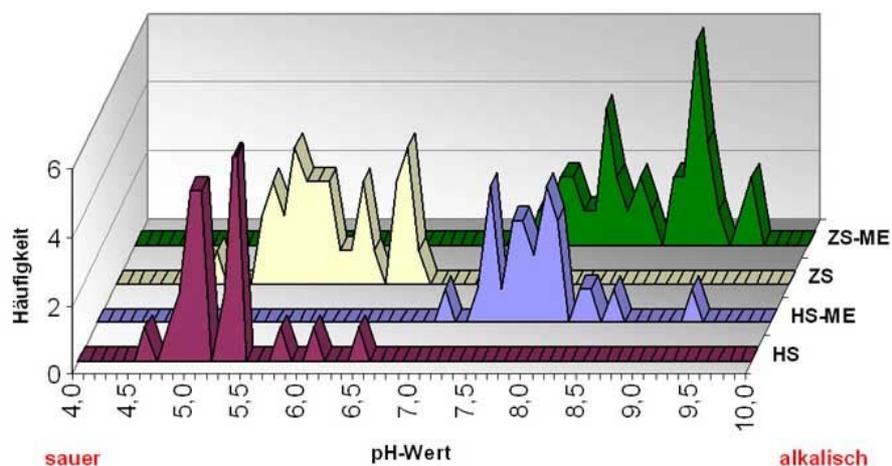
Abb. 2: Die mit Papier bestückten Körbe der Massenentsäuerungsanlage des ZFB in Leipzig werden zur Tränkung in die Behandlungskammer eingefahren.



Nach dem Abpumpen der Behandlungslösung werden im letzten Behandlungsschritt die Bücher oder Archivalien nachgetrocknet. Dabei wird das während der Tränkung aufgesogene Lösungsmittel wieder herausgetrocknet, während die eigentlichen Entsäuerungschemikalien (Magnesium- und Titanverbindungen) im Papier verbleiben.

Die gesamte Behandlungszeit der Papierobjekte liegt bei zwei bis drei Tagen. Werden anschließend die frisch behandelten Papiere aus der Behandlungsröhre genommen, beginnen sie das während des Vortrocknungsvorganges abgegebene Wasser wieder aus der Luft aufzunehmen und ihren natürlichen Feuchtigkeitsgehalt einzustellen. Dieser Prozess dauert ca. vier Wochen. Nur so ist eine flächendeckende und qualitativ hochwertige Entsäuerung gewährleistet.

Durch die Entsäuerung werden die im Papier vorhandenen Säuren vollständig durch die Magnesiumverbindungen neutralisiert. Dabei wird der am behandelten Papier gemessene pH-Wert in den alkalischen Bereich zwischen 7,5 und 9,5 angehoben. Nach der Neutralisation der Säuren verbleiben noch 0,5 – 2,0 Masseprozent überschüssiges Magnesiumkarbonat (MgCO_3) im Papier, welche die so genannte „alkalische Reserve“ darstellen. Hiermit können später entstehende oder durch Umwelteinflüsse eingebrachte Säuren im Papier neutralisiert werden. Somit ist das Papier durch diesen Puffer an Alkalität für einen langen Zeitraum vor weiteren Säureangriffen geschützt.



Die vorstehende Grafik macht es deutlich

HS zeigt den durchschnittlichen pH-Wert von Holzschliff-Papieren vor der Entsäuerung (4,5 – 6,5). Das *papersave*[®]-Verfahren erhöht den pH-Wert erfahrungsgemäß um 2,5 – 3,0. Somit zeigt das Ergebnis nach der Entsäuerung einen Wert zwischen 7,5 – 9,5 (HS-ME). Ähnliche Ergebnisse zeigt die Entsäuerung von Zellstoff-Papieren. Der pH-Wert von Zellstoff-Papieren vor der Entsäuerung (ZS) und nach der Entsäuerung (ZS-ME) erhöht sich auch hier erfahrungsgemäß um 2,5 – 3,0.

Abb. 3: pH-Werte bei Holzschliff- und Zellstoffpapieren vor und nach der *papersave*[®]-Massenentsäuerung des ZFB.



1.2 Die *NIR-Paperrating*-Technologie – Eine neue Technologie zur wissenschaftlichen Schadenserfassung

>> Dem ZFB ist es in jahrelanger Forschungsarbeit gelungen, ein weltweit einzigartiges Analysegerät zu entwickeln, welches schnelle und zerstörungsfreie Aussagen zu dem Erhaltungszustand von Papier geben kann: das NIR-Paperrating-Verfahren. <<

Oft stellt sich die Frage, welche Papiere welche konservatorische (sprich: Entsäuerung) oder restauratorische (sprich: Papierstabilisierung, Einzelrestaurierung usw.) Behandlung erfahren sollten und welche Papiere in der Dringlichkeit der Bestandserhaltung erst mal hinten angestellt werden können, da ihr Erhaltungszustand noch gut ist. Die bisherigen Möglichkeiten den Erhaltungszustand – und damit den Handlungsgrad der Bestandserhaltungsmaßnahme – zu bestimmen, waren beschränkt in ihrer Aussagekraft und zumeist zerstörend in ihrer Durchführung. Entweder muss mit einem pH-Teststift eine sichtbare und unwiderrufliche Markierung im Original gesetzt werden oder eine Ecke Papier wird so oft geknickt, bis sie abbricht. Fast schon pathetisch wird dann die Frage aufgeworfen, ob Herren nicht doch „kräftiger“ knicken als Damen. Die Aussagekraft in punkto Objektivität bleibt da zumeist auf der Strecke – und das obwohl die Objektivität der Aussage gerade die Budgetgeber überzeugen würde.

Dem *ZFB* ist es in jahrelanger Forschungsarbeit gelungen, ein weltweit einzigartiges Analysegerät zu entwickeln, welches schnelle und zerstörungsfreie Aussagen zu dem Erhaltungszustand von Papier geben kann: das *NIR-Paperrating*-Verfahren.



Abb. 4: Das *NIR-Paperrating*-Analysegerät des *ZFB* bestimmt den Erhaltungszustand von Papier zerstörungsfrei und schnell mittels Nah-Infrarot-Technologie.



1.2.1 Die Möglichkeiten des *NIR-Paperrating*-Analyseverfahrens

>> Je nachdem, wie oft eine Ecke das „Hin und Her“ mitmachte, wurde das Papier klassifiziert. Unabhängig der Tatsache, dass die Ecke ab war, blieb die Vorgehensweise eher subjektiver Natur. Die NIR-Analyse gibt den Erhaltungszustand objektiv auf Basis wissenschaftlicher Untersuchungsergebnisse aus. <<

Das *NIR-Paperrating*-Verfahren wurde entwickelt, um den Erhaltungszustand von großen Papierbeständen objektiv zu bestimmen. Aus den Ergebnissen können in nachfolgenden Schritten detaillierte Bestandserhaltungsstrategien abgeleitet werden. Dabei findet die *NIR-Paperrating*-Analyse Anwendung bei industriell gefertigten Papieren ab ca. 1850. Papiere vor dieser Zeit (z. B. Hadernpapiere) sind durch die *NIR-Paperrating*-Analyse nicht zu bestimmen, was für eine Analyse, deren Ergebnisse insbesondere Handlungsempfehlungen in Bezug auf die Massenentsäuerungsnötigkeit ausgibt, allerdings auch nicht erforderlich ist. Der Fokus der *NIR-Paperrating*-Analyse liegt somit auf Holzschliff- und Zellstoffpapieren, die ab Mitte des 19. Jahrhunderts hergestellt wurden.



Abb. 5: Die *NIR-Paperrating*-Technologie findet Anwendung bei industriell gefertigten Papieren ab ca. 1850 und eignet sich somit optimal für die Analyse von Zeitungen, Büchern und Akten.

Die Analyse der *NIR-Paperrating*-Technologie findet Anwendung bei Bibliotheks-, Archivgut und Zeitungsbeständen und gibt primär Auskunft über drei wichtige Kategorien der bestandserhaltenden Maßnahmen. Die Messung, die in wenigen Sekunden per Mausclick erfolgt, zeigt folgende Werte:

- pH-Wert des Papiers

- Die Kenntnis über den pH-Wert ist dabei eine offensichtlich sinnvolle und nachvollziehbare Messgröße: liegt der pH-Wert unter 7 ist das Papier sauer. Je niedriger der pH-Wert, desto saurer das Papier und damit die Gefahr der Zerstörung. Ein pH-Wert von 7 ist neutral und von 7 bis 14 ist der pH-Wert alkalisch. Für die Zustandserfassung gelten folgende Abgrenzungen:

- pH-Wert < 6,5 = **stark durch Säure gefährdet**
- pH-Wert zwischen 6,5 und 7,5 = **durch Säure gefährdet**
- pH-Wert > 7,5 = **stabil**



- **Faserart des Papiers (Zellstoff oder Holzschliff [auch Holzstoff])**
 - o Die Bestimmung der Faserart, die mit dem bloßen Auge schwer möglich ist, gibt Hilfestellung bei der Bestandserhaltungsstrategie, da Holzschliffpapiere dem Zerfallprozess nämlich wesentlich schneller unterworfen sind als Zellstoffpapiere. In der Regel zeigt ein Holzschliffpapier nach 50 - 100 Jahren große Schädigungen durch Säure und Vergilbung, während ein Zellstoffpapier erst nach ca. 200 Jahren sich der Säureeinwirkung ergeben zeigt. Diese Tatsache läuft wohlbemerkt bei nahezu identischen pH-Werten ab! Eine Entsäuerung von Holzschliffpapieren sollte bei knappen Budgets daher Vorrang haben.

- **Erhaltungszustand des Papiers (gut/kritisch/schlecht)**
 - o Einleitend wurde kurz erwähnt, dass zur herkömmlichen Bestimmung des Erhaltungszustands Damen und Herren mittels dem Abknicken einer Papierecke bestimmt haben, was *gut* oder *schlecht* erhalten ist. Je nachdem, wie oft eine Ecke das „Hin und Her“ mitmachte, wurde das Papier klassifiziert. Unabhängig der Tatsache, dass die Ecke ab war, blieb die Vorgehensweise eher subjektiver Natur und zeitintensiv.

Die *NIR-Paperrating*-Analyse gibt den Erhaltungszustand objektiv auf Basis wissenschaftlicher Untersuchungsergebnisse aus.

Dabei gruppiert die *NIR-Paperrating*-Analyse drei Erhaltungszustände:

- *gut* (=Zustand 1)
- *kritisch* (=Zustand 3)
- *schlecht* (=Zustand 5)

Gut-Erhaltene Papiere (Zustand 1) können weiter genutzt werden. Eine Einschränkung in der Benutzbarkeit ist nicht vorzusehen. Eventuelle Entwicklung von Säuren im Papier schaden der Papierstruktur noch nicht.

Anders verhält es sich bei dem Erhaltungszustand *kritisch* (Zustand 3). Bei dieser Gruppe sollte der Fokus der Bestandserhaltung liegen. Die Korrelation zwischen Faserart, Erhaltungszustand und pH-Wert zeigt, dass erste Schädigungen der Papierstruktur vorliegen. Mittels einer Entsäuerung kann noch rechtzeitig Bestandserhaltung betrieben werden und Budgets können effektiver genutzt werden.

Schlecht (Zustand 5) bedeutet, dass die Papierstruktur so stark geschädigt ist, dass eine konservierende Maßnahme wie die Massenentsäuerung zu spät kommt und somit keinen Nutzen stiften kann. So negativ diese Tatsache ist, kann man aber dennoch von dieser Information Handlungsweisen ableiten, indem man Bestandserhaltungsbudgets hier nicht für konservierende Maßnahmen ausgibt. So hätten Archive und Bibliotheken einen wissenschaftlichen Beweis dafür, dass eine Entsäuerung zu spät kommt und die zu ergreifenden Maßnahmen in Form von Papierstabilisierung oder dem Entzug aus der Benutzung erfolgen müssten. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die Gruppierungen in *gut/kritisch/schlecht* noch mit Tendenzen versehen sind. So zeigt das NIR-Analyseergebnis an, ob ein Papier die Tendenz aufweist, in ein anderes Cluster abzurutschen.



Neben den vorgenannten primären Ausgabewerten der *NIR-Paperrating*-Analyse, ist es auch möglich eine wissenschaftliche Erhebung über weitere sogenannte Sekundärwerte zu erstellen. So können auch Schimmelbefall, Schäden an Einband, Buchblock oder Bindung erfasst werden. Die Sekundärwerte werden nicht durch die eigentliche Messung erfasst, sondern „per Hand“ eingegeben.

Durch die Erfassung der Primär- und Sekundärwerte kann neben dem Erhaltungszustand eines Bestands auch die Bezifferung eines Bestandserhaltungsbudgets erfolgen. Dadurch ist es möglich, Bestandserhaltungsstrategien gezielt, wissenschaftlich und wirtschaftlich effizient abzuleiten.

1.2.2 Wie funktioniert die *NIR-Paperrating*-Analyse?

>> Diese Messung ist zerstörungsfrei, schnell und wissenschaftlich genau. Innerhalb weniger Sekunden kann am Bildschirm das Ergebnis der Messung abgelesen werden. <<

Die computergestützte Technologie der *NIR-Paperrating*-Analyse basiert auf der Messung mittels Nah-Infrarot. Dabei wird von einer im Messkopf integrierten Lichtquelle Licht mit infrarotem Anteil auf die Probe gestrahlt. Dieses regt die Probe zu charakteristischen Schwingungen an. Passend zu diesen Schwingungen werden nun Absorptionsbanden aus dem Lichtspektrum entzogen. Das von der Probe zurückgegebene, in seinem Spektrum veränderte Licht, wird in den Rechner übertragen und aufgezeichnet.

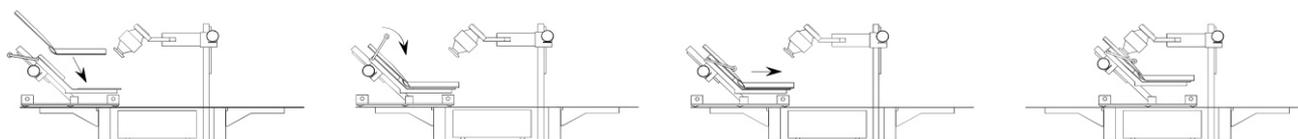


Abb. 6: Schematischer Ablauf der *NIR-Paperrating*-Messung.

Für die Messung wird das Buch oder die Akte auf eine, in alle Richtungen bewegliche Buchwippe gelegt. Sicher befestigt kann nun der Messkopf auf das Objekt aufgesetzt werden. Die Messung dauert wenige Sekunden und schadet dem Objekt in keiner Weise.

Diese Messung ist zerstörungsfrei, schnell und wissenschaftlich genau. Innerhalb weniger Sekunden kann am Bildschirm das Ergebnis der Messung abgelesen werden.



Was bestimmt die NIR-Analyse?:

pH-Wert

Faserart
Holzschliff oder
Zellstoff

Erhaltungszustand
des Papiers

1=gut
3=kritisch
5=schlecht

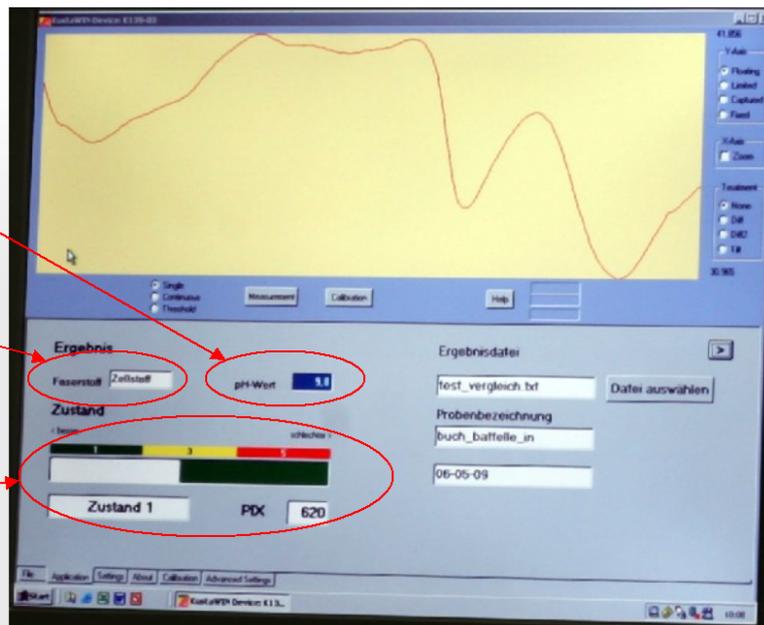
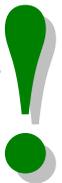


Abb. 7: Die Ergebnisse der *NIR-Paperrating*-Analyse sind in Sekundenschnelle auf dem Bildschirm verfügbar.

Weiterführende „Informationen zur Funktionsweise und zur Entwicklungshistorie der *NIR-Paperrating*-Technologie“ finden Sie im Anhang unter Punkt 1.



1.2.3 Die Vorteile der *NIR-Paperrating*-Analyse

>> Durch die NIR-Paperrating-Analyse sind Bestandserhaltungsverantwortliche in der Lage, eine langfristige Bestandserhaltungsstrategie auf Grundlage wissenschaftlicher Daten abzuleiten. <<

Durch die *NIR-Paperrating*-Analyse sind Bestandserhaltungsverantwortliche in der Lage, eine langfristige Bestandserhaltungsstrategie auf Grundlage wissenschaftlicher Daten abzuleiten. Komplexe Bestände können systematisch erfasst werden und das subjektive „Bauchgefühl“ bei der Beurteilung von Beständen wird durch objektive Messdaten ersetzt.

Die Tatsachen, dass die *NIR-Paperrating*-Analyse schnell, wissenschaftlich fundiert und vor allem zerstörungsfrei ist, sind weitere Vorteile, die es bisher bei keinem anderen Verfahren zur Messung des Erhaltungszustands von Papier in einem Gerät gibt. Durch die Verbindung der vorstehenden Fakten hilft die *NIR-Paperrating*-Analyse bei:

- der Erstellung von langfristigen Bestandserhaltungsstrategien,
- der Risikoreduzierung, Bestände falsch einzuschätzen und so eine suboptimale Bestandserhaltung zu betreiben und
- der Argumentationshilfe, Bestandserhaltungsbudgets zu planen und einzufordern.



2. Grundlegende Erläuterungen zu den Beständen und zur Vorgehensweise der Untersuchungen

>> Die Zustandserfassung mittels der NIR-Paperrating-Technologie wird vom ZFB als „Vor-Ort-Messung“ angeboten. Die Messungen werden dabei in der Regel von restauratorisch sehr gut ausgebildeten Mitarbeitern durchgeführt... <<

Die Zustandserfassung mittels der *NIR-Paperrating*-Technologie wird vom ZFB als „Vor-Ort-Messung“ angeboten. Die Messungen werden dabei in der Regel von restauratorisch sehr gut ausgebildeten Mitarbeitern durchgeführt, da neben den Primärwerten (pH-Wert / Faserart / Erhaltungszustand) etliche Sekundärwerte (z. B. Schimmelbefall, Schäden an Einband, Buchblock oder Bindung usw.) erfasst werden sollten; hierfür ist das Fachwissen einer Diplom-Restauratorin zielführend. Die Messungen der *Archivbestände des Staatsarchivs der Freien und Hansestadt Hamburg* führte Nicole Klinger¹ in der Zeit vom 07. April – 28. Mai 2008 durch.

2.1 Die Bestände des Staatsarchivs Hamburg

Das Staatsarchiv gibt seinen quantitativen Gesamtumfang mit 1.400.000 Objekten an.

2.2 Die statistisch gesicherte Stichprobenauswahl

>> Der Stichprobenumfang ist mathematisch zu bestimmen. Nur so können mit einer gewissen statistischen Sicherheitswahrscheinlichkeit belastbare Aussagen über den Erhaltungszustand des untersuchten Bestands getroffen werden <<

Der Erhaltungszustand von Dokumenten (Bücher, Akten) in Archiven und Bibliotheken ist eine wichtige Kenngröße für die Qualität und Nutzbarkeit eines Bestands. Bei größeren und sehr großen Beständen, bei denen nicht jedes Objekt untersucht werden kann, kann eine Stichprobenuntersuchung des Bestands durchgeführt werden. Für die Auswahl einer solche Stichprobe gibt es verschiedene Ansätze. Zur Absicherung der Ergebnisse mit einem Konfidenzniveau (auch Sicherheitswahrscheinlichkeit) von z. B. 90% (= 90% der Objekte wurden richtig bewertet) und damit der Verlässlichkeit der Gesamtmethode ist der benötigte Stichprobenumfang mathematisch zu bestimmen. Nur so können mit einer gewissen statistischen Sicherheitswahrscheinlichkeit belastbare Aussagen über den Erhaltungszustand des untersuchten Bestands getroffen werden.

„Die Grundlagen der statistischen Probenauswahl mit *NIR-Paperrating*“
finden Sie im Anhang unter Punkt 2.



¹ Nicole Klinger ist Diplom-Restauratorin und seit 2005 Restauratorische Leitung des ZFB.



2.2.1 Die Stichprobenbestimmung und -auswahl im Staatsarchiv Hamburg

Der Stichprobenumfang für den **Gesamtbestand** wurden gemäß der gesicherten Stichprobenauswahl (siehe vorstehend) bestimmt. folgende Werte wurden zugrunde gelegt:

Gesamtbestand

- **1.400.00 Objekte (= Grundgesamtheit)**
 - o Art der Stichprobe: **einfache Stichprobe**
 - o Relativer Fehler: **10%**
 - o Konfidenzniveau: **90%**
 - o Stichprobenumfang: **3.133 Objekte**

Bzgl. der Auswahl der zu messenden Stichproben wählte das Staatsarchiv eine Zufallsauswahl, die sich wie folgt darstellt:

Gesamtbestand

- alle 5,7 lfm. (laufender Meter) wurde ein Objekt ausgewählt.



2.3 Definitionen zur *NIR-Paperrating*-Messung im Staatsarchiv Hamburg

Nachfolgend definieren wir den Bestand des Staatsarchivs Hamburg und die Kategorisierung der Messergebnisse. Neben den Primärwerten (pH-Wert / Faserart / Erhaltungszustand), welche bereits unter Gliederungspunkt 1.2.1 kategorisiert wurden, sollen nachfolgend vor allem die Sekundärwerte (z. B. Schimmelbefall, Schäden an Einband, Buchblock oder Heftung) definiert werden.

2.3.1 Die Auswahl der Messpunkte innerhalb der Objekte

Zur erfolgreichen Messung mittels der *NIR-Paperrating*-Technologie gelten folgende Regelungen:

- Die Auswahl der Messpunkte innerhalb einer Akte bzw. eines Buchs erfolgt zufällig.
- In einem Buch erfolgt ausschließlich an einer Stelle eine Messung am Blattrand und eine Messung in der Blattmitte.
- In einer Akte erfolgen an drei unterschiedlichen Stellen je eine Messung am Blattrand und eine Messung in der Blattmitte.
- Die Akte wird dazu wahllos je ein Mal im vorderen, im mittleren und im hinteren Bereich aufgeschlagen.
- Die Akte wird von vorne nach hinten durchgemessen.
- Bedingt durch diese Vorgehensweise befinden sich die Messpunkte immer auf der Blattrückseite.
- Nicht gemessen werden Verpackungs-, Einband- und Umschlagmaterialien, sowie Registerkartons, d. h. Materialien, die zur Unterteilung oder Verpackung der Akte verwendet wurden. Diese Materialien bestehen meist aus einem minderwertigen Material und könnten ohne Informationsverluste gegen geeigneteres und alterungsbeständiges Material ausgetauscht werden. Die Einbeziehung dieser Materialien in die *NIR-Paperrating*-Messungen, welche hauptsächlich den Erhaltungszustand der Papiere in der Akte bestimmen soll, wäre daher wenig sinnvoll bzw. würde das Ergebnis der Zustandsbestimmung verfälschen. Wird in der Akte zufällig eine Stelle mit einem der oben genannten Materialien aufgeschlagen, muss wahllos zur nächsten Stelle geblättert werden.
- Wird in der Akte zufällig eine Stelle aufgeschlagen, bei der eine Messung aus technischen Gründen nicht möglich ist, muss zur nächstmöglichen Stelle weitergeblättert werden. Diese technischen Gründe liegen z. B. vor, wenn einzelne Blätter innerhalb der Akte so miteinander verbunden sind, dass die Messung einen mechanischen Schaden an den Blättern bzw. ihrer Verbindung verursachen würde.

Fallbeispiel:

Mehrere Blätter sind in der linken oberen Ecke mit einer Heftklammer zusammengefügt. Eine Messung in der Mitte dieser Blätter wäre nicht möglich, ohne dass einzelne Blätter aus dieser Verbindung herausreißen würden. Daher wird bis zum letzten Blatt dieser Einheit weitergeblättert und dort auf der Rückseite die Messung durchgeführt.



2.3.2 Die Buchstaben- und Zahlenkombination

In Ergänzung zu den *NIR-Paperrating*-Messungen können mit Hilfe einer Buchstaben-Legende Angaben zum allgemeinen Erhaltungszustand der Objekte gemacht werden, denn neben den Maßnahmen, die ausschließlich dem Erhalt des Papiers dienen, müssen u. U. auch für die diversen Einbände und Bindungen geeignete Maßnahmen ergriffen bzw. ins Bestandserhaltungsbudget eingeplant werden.

Insgesamt stehen 17 Zeichen zur Buchstaben- und Zahleneingabe zur Verfügung. Während die Stellen 1 – 12 der Identifikation der Objekte (Akte oder Buch) und der Jahreszahl dienen, sehen die verbleibenden fünf Stellen zur individuellen Vergabe zur Verfügung.

Diese Stellen (13 – 17) betrachten den technologischen Aufbau des Objekts, d. h. welches Einbandmaterial und welche Heftart liegen vor. Anschließend werden jeweils der augenscheinliche Erhaltungszustand des Einbands, der Heftung und des Papiers bewertet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Feststellung von mechanischen Schäden.

Nachstehend werden die Buchstaben- und Zahlenkombinationen definiert. Die Festlegung dieser ergänzenden Angaben erfolgte in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern des Staatsarchivs Hamburg.

2.3.2.1 Die Unterscheidung zwischen Akte und Buch, sowie Benennung der Stichprobe (Stelle 1 – 8 der Buchstaben- und Zahlenkombination)

Auf Wunsch des Staatsarchivs Hamburg wurden die Objekte des Stichprobenumfangs bei der *NIR-Paperrating*-Messung in *Akten* und *Bücher* unterschieden. Gemäß dieser Unterscheidung wurde bei der Benennung der gemessenen Stichprobe vor der fortlaufenden Stichprobennummer ein „A“ für Akte oder ein „B“ für Buch vermerkt.

Ein „B“ für Buch wird für eine Stichprobe vergeben, wenn folgende Merkmale erfüllt sind:

- Der Buchblock ist faden- oder klammergeheftet oder klebegebunden.
- Der Buchblock wurde aus einem einheitlichen Papier gebunden. Handelt es sich bei einem Objekt nicht um ein Druckwerk, muss durch technologische Merkmale des Objekts wie einen Farbschnitt, linierte oder karierte Seiten erkennbar sein, dass der Buchblock gebunden wurde, bevor handschriftlichen Eintragungen gemacht wurden.
- Vereinzelt, lose eingelegte Blätter werden für die Eingaben nicht betrachtet.
- Die Akte muss einen mit dem Buchblock verbundenen Einband bzw. Umschlag aufweisen.

In allen anderen Fällen wird ein „A“ für Akte vergeben.



Die Benennung der Stichprobe besteht aus einer achtstelligen Buchstaben- und Zahlenkombination.

Stelle 1: Unterscheidung zwischen Akte und Buch
 Mögliche Eingaben: **A** für Akte
B für Buch

Stelle 2 – 6: Fortlaufende Stichprobennummer
 Mögliche Eingaben: Zahlen von 1 bis 99.999

Stelle 7 und 8: Kennzeichnung der Anzahl von Innen- und Außenmessungen in der Akte / im Buch.
 Mögliche Eingaben: **a1, a2, a3** für je eine Außenmessung am Blattrand
i1, i2, i3 für je eine Innenmessung im Bereich der Blattmitte

2.3.2.2 Die Angabe der Jahreszahl

(Stelle 9 – 12 der Buchstaben- und Zahlenkombination)

Das Datum der Objekte wurde von der durch das Staatsarchiv Hamburg erstellten Stichprobenliste übernommen. Da eine Angabe von Laufzeiten technisch nicht möglich ist, wurde stets der Beginn der Laufzeit eingegeben. Im Falle von Jahreszahlen, die nicht bzw. nicht vollständig angegeben sind, wurden die nicht definierten Stellen mit dem Buchstaben „x“ ausgefüllt.

Fallbeispiele:

Stichprobe – lfd. Nr.	Erscheinungsjahr	Eingabe <i>NIR-</i> <i>Paperrating</i> <i>-Messung</i>
1	1897	1897
2	1888/1889	1888
9	1851-1854	1851
50	1909 ff.	1909
96	Bis 1803	1803
199	1695 und 1785	1695
201	Frühes 19. Jh.	19xx
233	Mitte 20. Jh.	19xx
287	1850 / 1860er Jahre	1850
290	(1935) 1936 – 1938	1935
367	1870er Jahre	187x
442	Ohne	xxxx
540	Spätes 19. Jh.	18xx
546	?	xxxx
619	17. Jh.	16xx
663	1597, 1626 – 1844	1597
1016	Um 1890	189x
3020	18. / 19. Jh.	1xxx
3108	Vor 1960	195x



2.3.2.3 Die Angabe zum Einbandmaterial

(Stelle 13 der Buchstaben- und Zahlenkombination)

Da die Kosten für Sicherungs- oder Restaurierungsmaßnahmen nicht nur von der Art des Einbandschadens, sondern auch vom Einbandmaterial abhängig sind, wird an dieser Stelle die Einbandart des Objekts erfasst.

Alternativ können folgende Buchstaben stellvertretend für eine oder mehrere Einbandarten eingegeben werden. Allgemein gilt, dass die Buchstaben

„**p**(apier)“, „**g**(ewebe)“, „**l**(eder)“ und „**m** (pergament)“

nur dann einer Akte zugeordnet werden, wenn die **ganze Akte** in **einem** Einband dieser Art gebunden ist.

Einzelne nachträglich eingelegte Blätter können in diesen Akten vorkommen und werden für die Kategorisierung des Einbands nicht betrachtet (s. Abb. 8 + 9).

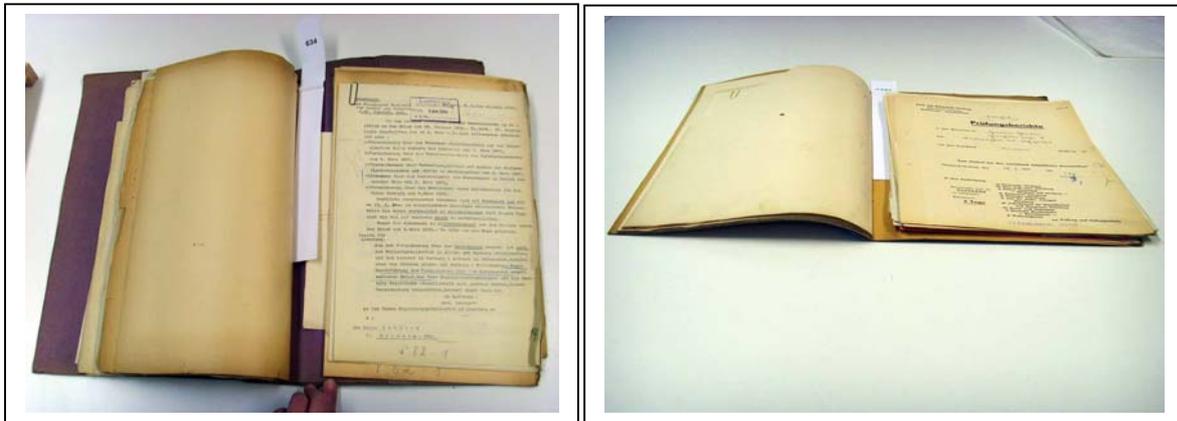


Abb. 8 + 9

p – Papier / Karton

Zu dieser Kategorie zählen:

- Pappbände
- Broschuren, unabhängig davon, ob der Rücken aus Papier oder Gewebe gefertigt ist.
 - Ein „Geweberücken“ ist in diesem Fall kein Grund, die Akte der Kategorie für Halb- und Ganzgewebeband zuzuordnen (s. Abb. 10).

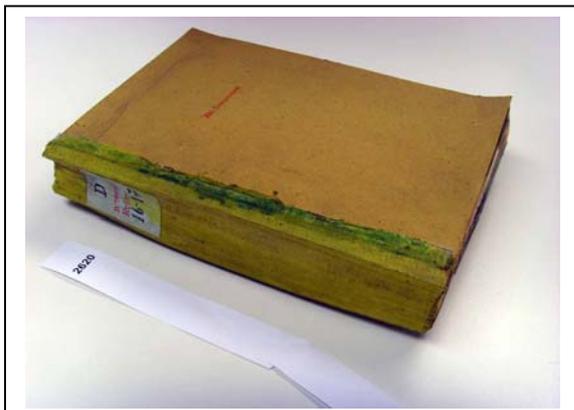


Abb. 10



- Akten mit Aktenstichheftung durch den Rücken, wobei die Verstärkung des Rückens sowohl aus Karton als auch aus Gewebe bestehen kann.
 - Ein „Geweberücken“ ist auch in diesem Fall kein Grund, die Akte der Kategorie für Halb- und Ganzgewebeband zuzuordnen (s. Abb. 11+12)

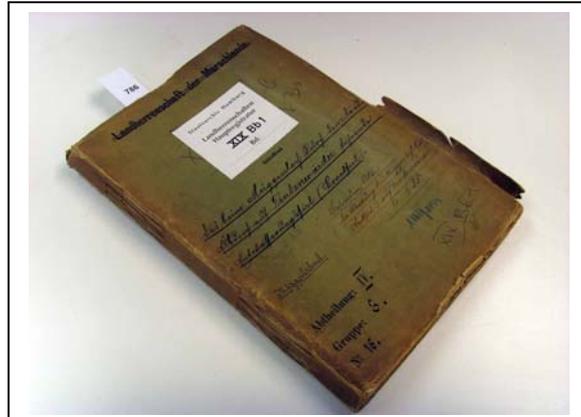


Abb. 11 + 12

Nicht zu dieser Kategorie zählen Ordner und Schnellhefter mit Abheftmechaniken aus Metall. Da diese Ordnungssysteme aufgrund ihrer Metallmechanik aus konservatorischen Gründen ausgetauscht und entsorgt werden müssen, sollen sie bei der Auswertung der Einbandschäden nicht an dieser Stelle in die Statistik einfließen. Stattdessen werden die Ordnersysteme mit dem Buchstaben „x“ erfasst.

g – Gewebe

Zu dieser Kategorie zählen:

- Ganzgewebebände
- Halbgewebebände

Nicht zu dieser Kategorie zählen die „Schutzumschläge“ aus einem groben, braunen Gewebe, welche im Staatsarchiv um viele Leder- und Pergamentbände gelegt sind. In diesen Fällen wird das Material des darunterliegenden Originaleinbands erfasst (vorausgesetzt der Originaleinband ist erkennbar) (s. Abb. 13).

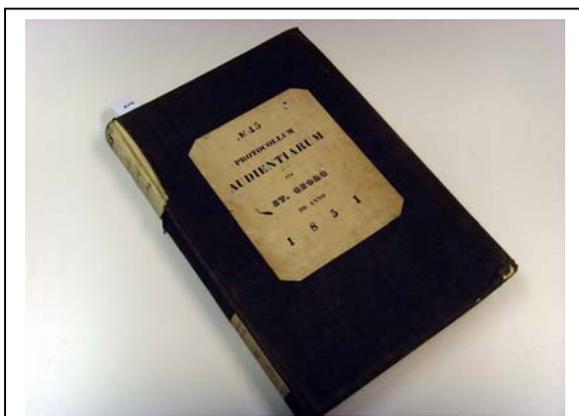


Abb. 13



I – Leder

Zu dieser Kategorie zählen:

- Ganzlederbände
- Halblederbände

m – Pergament

Zu dieser Kategorie zählen:

- Ganzpergamentbände
- Halbpergamentbände

x – Ungebundene Akten / unterschiedlich gebundene Akten / Ordner und Schnellhefter / kein Einband vorhanden und daher nicht auswertbar

Zu dieser Kategorie zählen:

- Komplet ungebundene Akten, d. h. lose Blattsammlungen (s. Abb. 14)



Abb. 14



Abb. 15

- Akten, bestehend aus einer Mischung von losen Blättern und unterschiedlichen Bindungen und / oder Abheftmechaniken (s. Abb. 15)
- Akten, welche sich aus mehreren unterschiedlich oder auch einheitlich gebundenen Blättern zusammensetzen (s. Abb. 16)



Abb. 16



- Akten, deren Blätter nur mit einem sogenannten Archiv-Abheftbügel zusammengefasst sind und daher keinen Einband besitzen (s. Abb. 17)



Abb. 17

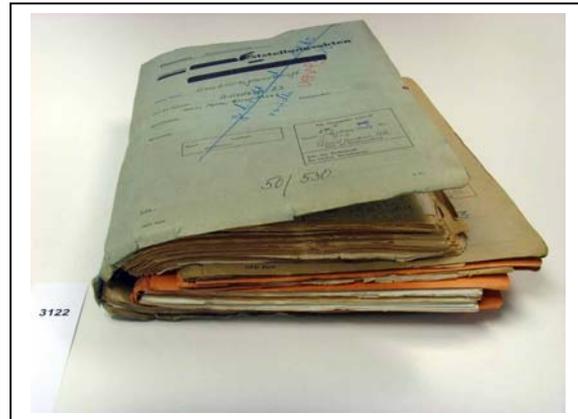


Abb. 18

- Akten, deren Inhalt in einem Ordner oder Schnellhefter abgeheftet ist. Diese Ordnungssysteme werden nicht als Einband erfasst, da sie aufgrund ihrer z. T. bereits rostenden Abheftmechanik aus Metall perspektivisch durch die Archiv-Abheftbügel ersetzt werden sollen (s. Abb. 18).

2.3.2.4 Die Angabe zur Art der Heftung

(Stelle 14 der Buchstaben- und Zahlenkombination)

An dieser Stelle wird nach Möglichkeit definiert, wie die Papiere, aus denen sich das Objekt zusammensetzt, miteinander verbunden sind. Denn auch die Betrachtung der unterschiedlichen Heftungsarten kann restauratorische Maßnahmen zur Folge haben, die sich in Vorgehensweise und Aufwand stark unterscheiden.

Alternativ kann zwischen den nachstehenden Angaben gewählt werden:

k – geklebt (gebunden /Klebebindung)

Zu dieser Kategorie zählen:

- Akten, deren gesamter Inhalt mit Hilfe einer Klebebindung zusammengefügt ist und dadurch **eine Einheit** bildet
- Vereinzelt lose eingelegte Blätter werden dabei nicht betrachtet.

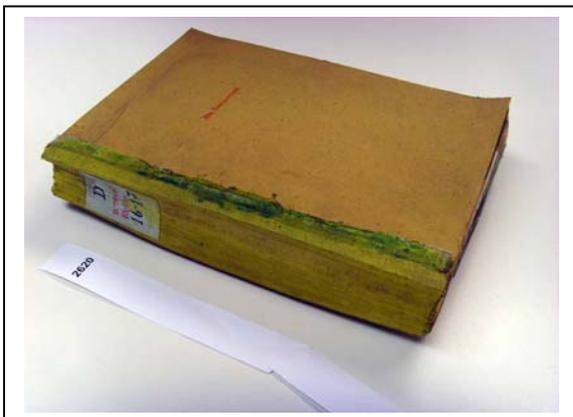


Abb. 19



h – geheftet (gebunden / Fadenheftung)

Zu dieser Kategorie zählen:

- Akten, deren gesamter Inhalt über eine Fadenheftung miteinander verbunden ist und dadurch **eine Einheit** bildet
- Vereinzelt lose eingelegte Blätter werden dabei nicht betrachtet.

o – lose Blattsammlung

(ungebunden / Kordel / Archiv-Abheftbügel / geklammert / geschraubt)

Zu dieser Kategorie zählen:

- Akten, deren gesamter Inhalt lose, d. h. nicht über eine Klebebindung oder Fadenheftung zu einer Einheit zusammengefügt ist
- Akten, deren gesamter Inhalt über eine der nachstehenden Techniken zu einer Einheit zusammengefügt ist:
 - Kordel
 - Archiv-Abheftbügel
 - Drahtklammerheftung
 - Buchschrauben
 - Ordner, Schnellhefter, d. h. Ordnungssysteme mit Abheftmechaniken aus Metall
- Akten, deren Inhalt sich zusammensetzt aus gebundenen bzw. auf unterschiedliche Art und Weise miteinander verbundenen Blättern sowie losen Blättern (s. Abb. 20).



Abb. 20

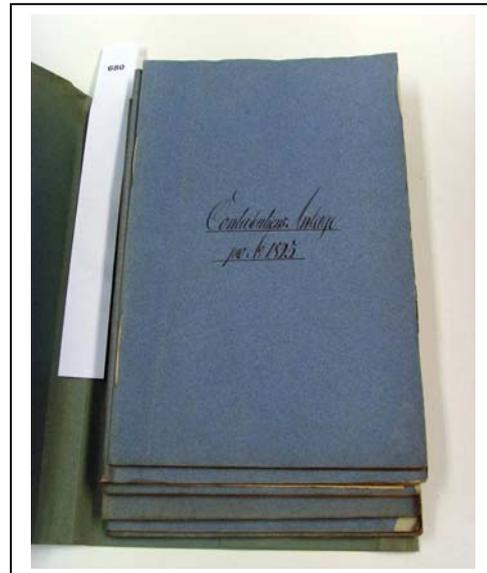


Abb. 21

- Akten, die sich aus mindestens zwei unterschiedlich oder gleich gebundenen Einheiten zusammensetzen, d. h. **keine** gemeinsame Einheit bilden (s. Abb. 21).

x – mit NIR-Paperrating nicht erfassbar

Die Vergabe dieses Buchstabens hat an dieser Stelle nichts mit der Heftung oder einem anderen Bestandteil der Akte zu tun. Er wurde verwendet, um mit *NIR-Paperrating* nicht erfassbare Akten zu kennzeichnen, welche anschließend für die Auswertung herausgenommen werden müssen.



Zu diesen mit dem *NIR-Paperrating* nicht erfassbaren Akten zählen:

- Akten mit schwerwiegendem Schimmelbefall, bei denen der Schimmel bereits zu einem starken Abbau der Papiersubstanz geführt hat.
 - In diesen Fällen war das sehr fragile und teilweise verblockte Papier zum einen nicht mehr handhabbar, zum anderen ist der augenscheinliche Zustand der Papiere unabhängig von den Ergebnissen der *NIR-Paperrating*-Messung so schlecht, dass hier auf jeden Fall zum Erhalt der Akte eine Stabilisierung durchgeführt werden muss (s. Abb. 22).



Abb. 22

- Akten, die komplett beidseitig mit einer Kunststoffolie laminiert sind.
 - Aufgrund der Folie kann hier keine *NIR-Paperrating*-Messung erfolgen.
- Akten, welche auf eine Art Fotopapier umkopiert wurden oder daraus besteht.
 - Dieses Spezialpapier ist mit dem *NIR-Paperrating*-Gerät nicht erfassbar.

2.3.2.5 Die Angaben zum Erhaltungszustand des Einbands

(Stelle 15 der Buchstaben- und Zahlenkombination)

Grundsätzlich muss bei der Beurteilung des Erhaltungszustands von einem bestimmten Maß an bereits vorhandenen mechanischen Schäden ausgegangen werden, da die Akten zum Teil mehrere hundert Jahre alt sind und zudem im Laufe der Zeit unterschiedlichste Benutzungen und Aufbewahrungsbedingungen erfahren haben. Im Folgenden werden daher die Definitionen für die Kategorien „in Ordnung“ und „defekt“ festgelegt.

Der Zustand des Einbands wird rein über den Umfang des mechanischen Schadens definiert, da durch diesen eine Benutzung der Akten teilweise nicht mehr möglich bzw. stark eingeschränkt sein kann.

Chemische Schäden wie der so genannte „Rote Zerfall“ bei vegetabil gegerbten Einbandledern oder diverse Flecken und Verfärbungen an den Einbandmaterialien werden an dieser Stelle nicht betrachtet.

Alternativ können folgende Angaben zum Erhaltungszustand des Einbands gemacht werden:



i - Einband in Ordnung

Ein Einband wird mit „i“ bewertet, wenn:

- die Einbandfunktion intakt ist
- alle Bestandteile (Rücken und Deckel) des Einbands vorhanden sind
- alle Bestandteile (Rücken und Deckel) noch so fest miteinander verbunden sind, dass durch die umsichtige Benutzung im Archiv keine Verluste zu befürchten sind
- keine oder nur geringfügige mechanische Schäden vorliegen. Zu diesen geringfügigen Schäden zählen (s. Abb. 23 + 24):
 - bestoßene, geknickte Ecken und Kanten
 - abgeriebene und partiell abgerissene Bezugsmaterialien
 - abgelöste Stellen im Bezugsmaterial
 - eingerissene oder gebrochene Rückenfalten, Deckel und Ecken (solange keine Substanz- oder Informationsverluste drohen)
 - abgerissene Bänder
 - defekte Schließen

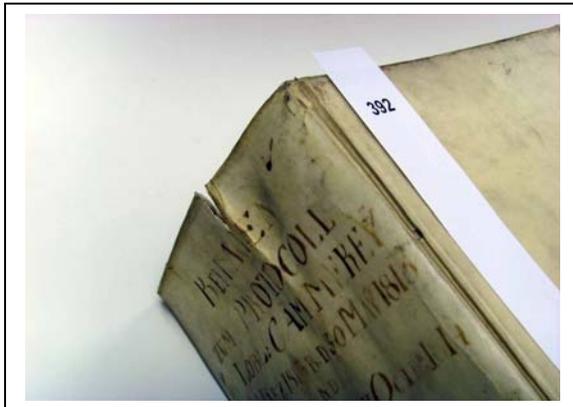


Abb. 23 + 24: Keine Einbandschäden

- zu einem früheren Zeitpunkt eine Reparatur- bzw. Restaurierungsmaßnahme durchgeführt wurde und diese noch intakt ist. Dies gilt auch für intakte Maßnahmen, welche aus heutiger Sicht konservatorisch nicht einwandfrei sind.

e - Einband defekt

Ein Einband ist defekt, wenn:

- die Einbandfunktion nicht mehr intakt ist, d. h. eine Benutzung nicht mehr möglich ist, ohne den bestehenden Schaden zu verschlimmern oder einen Substanz- oder Informationsverlust zu riskieren (s. Abb. 25).

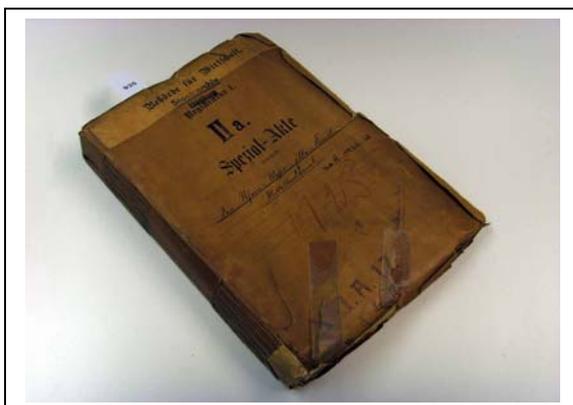


Abb. 25: Einbandschäden



- Bestandteile (Rücken und Deckel) des Einbands fehlen, bzw. große Fehlstellen aufweisen.
- Rücken oder Deckel lose sind.
- es sich generell um Leitz-Ordner oder Schnellhefter, d. h. Ordnungssysteme mit Abheftmechaniken aus Metall handelt (s. Abb. 26 + 27).

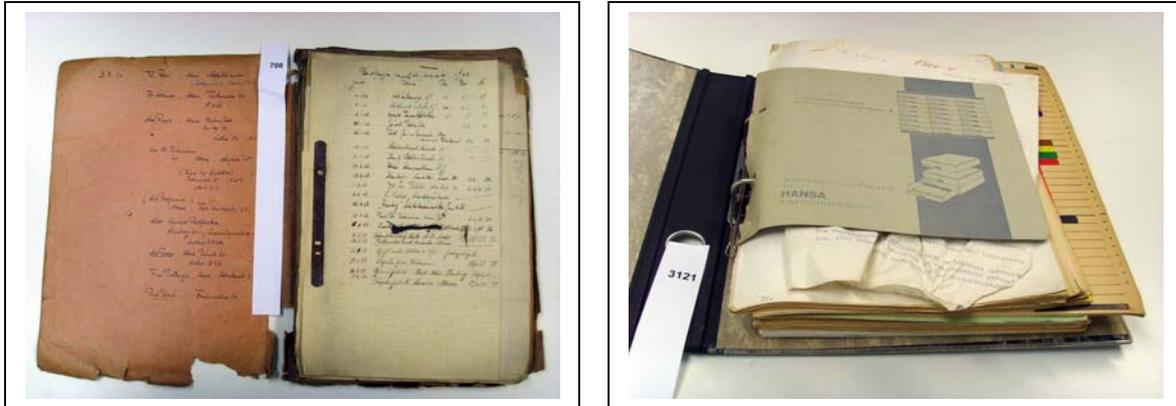


Abb. 26 + 27: Einbandschäden

x – Einband nicht auswertbar

In diese Kategorie fallen alle Akten, die keinen bzw. keinen einheitlichen Einband besitzen, den man an dieser Stelle bewerten könnte. Dazu zählen:

- Lose Blattsammlungen
- Akten, deren Inhalt sich zusammensetzt aus gebundenen, bzw. auf unterschiedliche Art und Weise miteinander verbundenen Blättern sowie losen Blättern (s. Abb. 20)
- Akten, die sich aus mindestens zwei unterschiedlich oder gleich gebundenen, Einheiten zusammensetzen, d. h. **keine** gemeinsame Einheit bilden (s. Abb. 21 +16)
- Akten, welche eine geheftete Einheit bilden, allerdings nie einen Einband besessen haben bzw. deren Einband komplett fehlt und der demnach an dieser Stelle auch nicht ausgewertet werden kann.

2.3.2.6 Die Angaben zum Erhaltungszustand der Heftung des „Buchblocks“ (Stelle 16 der Buchstaben- und Zahlenkombination)

An dieser Stelle soll der Erhaltungszustand der Heftung erfasst werden. Auf diese Weise können auch erste Rückschlüsse auf den Erhaltungszustand des Buchblocks gezogen werden. Alternativ können folgende Angaben zum Erhaltungszustand der Heftung gemacht werden:

i – Heftung in Ordnung

Mit einem „i“ werden folgende Akten erfasst:

Alle fadengehefteten und klebegebundenen Akten, die keine losen Lagen oder losen Blätter beinhalten, die vormals im Buchblock fest gebunden waren (s. Abb. 11 + 13)



Einzelne gerissene Heftfäden kommen bei Akten, welche durch einen mit Karton oder Gewebe verstärkten Rücken geheftet sind häufig vor. Daher wurde hier durch leichtes Ziehen an den Lagen überprüft, ob sich die gerissenen Heftfäden auf den Zusammenhalt der Akte auswirken oder nicht.

- Alle intakten Drahtklammerheftungen.
 - Der Buchblock darf in diesem Fall keine losen Lagen haben. Die Drahtklammern können leichte Rostspuren aufweisen, dürfen aber aufgrund des Rosts nicht gebrochen sein.

b – Heftung defekt

Ein defekter Buchblock liegt vor, wenn:

- in dem „Buchblock“ einer fadengehefteten oder klebegebundene Akte Lagen oder Blätter lose sind.



Abb. 28

Einzelne gerissene Heftfäden kommen häufig bei Akten vor, welche durch einen mit Karton oder Gewebe verstärkten Rücken geheftet sind. Daher wurde hier durch leichtes Ziehen an den Lagen überprüft, ob sich:

- die gerissenen Heftfäden auf den Zusammenhalt der Akte auswirken,
- der gesamte Buchblock aus dem Einband herausgerissen ist,
- im Falle von Büchern mit Drahtklammerheftung, die Klammern erheblich verrostet sind,
- bei Büchern der Buchblock sehr stark verformt ist.

x – Heftung nicht auswertbar bzw. es handelt sich um Akten in Form einer losen Blattsammlung, Leitz-Ordner oder Schnellhefter

In diese Kategorie fallen alle Akten, deren Inhalt nicht mit Faden oder Drahtklammern geheftet bzw. klebegebunden ist. Dazu zählen:

- Lose Blattsammlungen
- Akten, deren gesamter Inhalt über eine der nachstehenden Techniken zu einer Einheit zusammengefügt ist:
 - Kordel
 - Archiv-Abheftbügel
 - Buchschrauben
 - Ordner, Schnellhefter, d. h. Ordnungssysteme mit Abheftmechaniken aus Metall



- Akten, deren Inhalt sich zusammensetzt aus gebundenen bzw. auf unterschiedliche Art und Weise miteinander verbundenen Blättern sowie losen Blättern (s. Abb. 29)



Abb. 29

- Akten, die sich aus mindestens zwei unterschiedlich oder gleich gebundenen Einheiten zusammensetzen, d. h. **keine** gemeinsame Einheit bilden (s. Abb. 21).

2.3.2.7 Die Angaben zum Zustand des Papiers

(Stelle 17 der Buchstaben- und Zahlenkombination)

An dieser Stelle werden die diversen chemischen und mechanischen Schäden der Papiere zusammengefasst. Diese dienen, neben der Zustandserfassung der Heftung, zur Beschreibung des allgemeinen Erhaltungszustands des Buchblocks.

Die Schäden wurden hier nur zusammenfassend mit Hilfe von drei Buchstaben angegeben, da es sich um die Schadenserfassung am Gesamtbestand des Staatsarchivs Hamburg handelt, aus der ein Bestanderhaltungskonzept abgeleitet werden soll. Eine detaillierte Erfassung der zahlreichen chemischen und mechanischen Schäden hätte eine Vielzahl an Daten bedeutet, aus denen keine Rückschlüsse auf die notwendigen Bestandserhaltungsmaßnahmen hätten gezogen werden können. Eine detaillierte Erfassung der vorhandenen Papierschäden ist erst bei der Erfassung von Einzelbeständen sinnvoll.

i – Alles in Ordnung

Zu dieser Kategorie zählen Papiere, die weder mechanische noch chemische noch biologische Schäden aufweisen bzw. zu einem früheren Zeitpunkt einer umfassenden Restaurierung unterzogen wurden (s. Abb. 30).



Abb. 30



s – Biologischer Befall

Mit diesem Buchstaben werden Papiere erfasst, welche Schimmelbefall, gravierenden Insekten- oder Nagetierfraß aufweisen.

Der biologische Befall wurde stets höher bewertet als die mit „x“ erfassten diversen chemischen und mechanischen Schäden. D. h. sobald ein biologischer Befall vorlag, wurde an 17. Stelle ein „s“ erfasst.

x – Diverse chemische und mechanische Schäden

Ein „x“ wurde an dieser Stelle erfasst, wenn die nachstehenden Schäden einzeln oder in Kombination vorliegen:

- Brandschaden
- Wasserschaden
- Tintenfraß in allen möglichen Stadien seiner Entwicklung
- Stockflecken, sobald sie nahezu den gesamten Buchblock durchziehen
- Selbstklebebänder
- Mechanische Schäden,
 - zu denen hauptsächlich geknickte, eingerissene Ecken und Kanten, Risse und Fehlstellen zählen.

In den meisten Fällen sind die mechanischen Schäden einer unsachgemäßen Verpackung oder Benutzung zuzuschreiben (s. Abb. 31).



Abb. 31 + 32

Große mechanische Schäden bzw. Substanzverluste entstehen bei der Benutzung von bereits stark abgebautem, brüchigem Papier des *NIR-Paperrating*-Zustands 5 (s. Abb. 32).



3. Die Ergebnisse der Zustandserfassung der Archivbestände des Staatsarchivs Hamburg mittels der *NIR-Paperrating* -Technologie

>> Durch die Erfassung der Primär- und Sekundärwerte kann neben dem Erhaltungszustand eines Bestands auch die Bezifferung eines Bestandserhaltungsbudgets erfolgen. Dadurch ist es möglich, Bestandserhaltungsstrategien gezielt, wissenschaftlich fundiert und wirtschaftlich effizient abzuleiten. <<

Nachfolgend wird der Erhaltungszustand des Gesamtbestands des Staatsarchivs Hamburg dargestellt.

Die genaue Angabe zu dem Umfang und der Stichprobenauswahl finden sich unter Gliederungspunkt 2.1 ff.

An dieser Stelle möchten wir darauf hinweisen, dass bei einigen Auswertungen der Stichprobenumfang verringert ist. Warum ist das so und welche Bestände betrifft dies?

Die *NIR-Paperrating*-Technologie ist für die Auswertung von industriell gefertigten Papieren (Holzschliff- und Zellstoffpapiere) geeignet (vgl. auch Gliederungspunkt 1.2.1), welche ab Mitte des 19. Jahrhunderts hergestellt wurden. Papiere, die vor dieser Zeit hergestellt wurden, sind zumeist Hadernpapiere, welche nicht durch die *NIR-Paperrating*-Technologie zu erfassen sind.

Primärwerte wie pH-Wert, Erhaltungszustand und Faserart können bei Beständen vor 1850 nicht mit der *NIR-Paperrating*-Technologie erfasst werden.

Sekundärauswertungen hingegen können dennoch getroffen werden, da diese Auswertungsparameter durch Sichtung erfasst wurden (z. B. biologischer Befall, Schäden an Einbänden usw.).

Die Ergebnisse der Zustandserfassung gliedern sich in

- **Primärwerte** (detaillierte Erläuterungen unter Gliederungspunkt 1.2.1)
 - o Erhaltungszustand des Papiers (gut/kritisch/schlecht)
 - o Faserart des Papiers (Zellstoff oder Holzschliff)
 - o pH-Wert des Papiers

und

- **Sekundärwerte** (detaillierte Erläuterungen unter Gliederungspunkt 2.3.2 ff.)
 - o Einbandmaterial
 - o Schäden am Einband
 - o Heftungsart
 - o Erhaltungszustand der Heftung
 - o Diverse Beeinträchtigungen (inkl. mikrobiologischer Befall)



3.1 Die Zustandserfassung des Gesamtbestands des Staatsarchiv Hamburg mittels der *NIR-Paperrating*-Technologie

3.1.1 Einleitende Fakten zum Gesamtbestand

Der Gesamtbestand des Staatsarchivs Hamburg beläuft sich auf:

- **1.400.000 Objekte (= Grundgesamtheit)**
 - o Art der Stichprobe: **einfache Stichprobe**
 - o Relativer Fehler: **10%**
 - o Konfidenzniveau: **90%**

Der Stichprobenumfang beläuft sich auf **3.133 Objekte**.

Der Gesamtbestand unterscheidet sich dabei in Bücher und Akten (s. Gliederungspunkt 2.3.2.1).

Insgesamt wurden 465 Bücher (= 15% des Stichprobenumfangs) und 2.668 Akten (= 85% des Stichprobenumfangs) durch die *NIR-Paperrating*-Technologie erfasst (vgl. Abb. 34).

Die Verteilung nach Holzstoff, Zellstoff und Mischungen (s. Abb. 35) zeigt, dass der Gesamtbestand zu 14,9% aus Hadernpapieren besteht. Wie vorstehend erwähnt, dürfen Objekte aus Hadernpapier für die Auswertung der Primärwerte nicht herangezogen werden. Somit finden 466 Objekte (= 14,9%) für diverse Auswertungen keine Berücksichtigung.

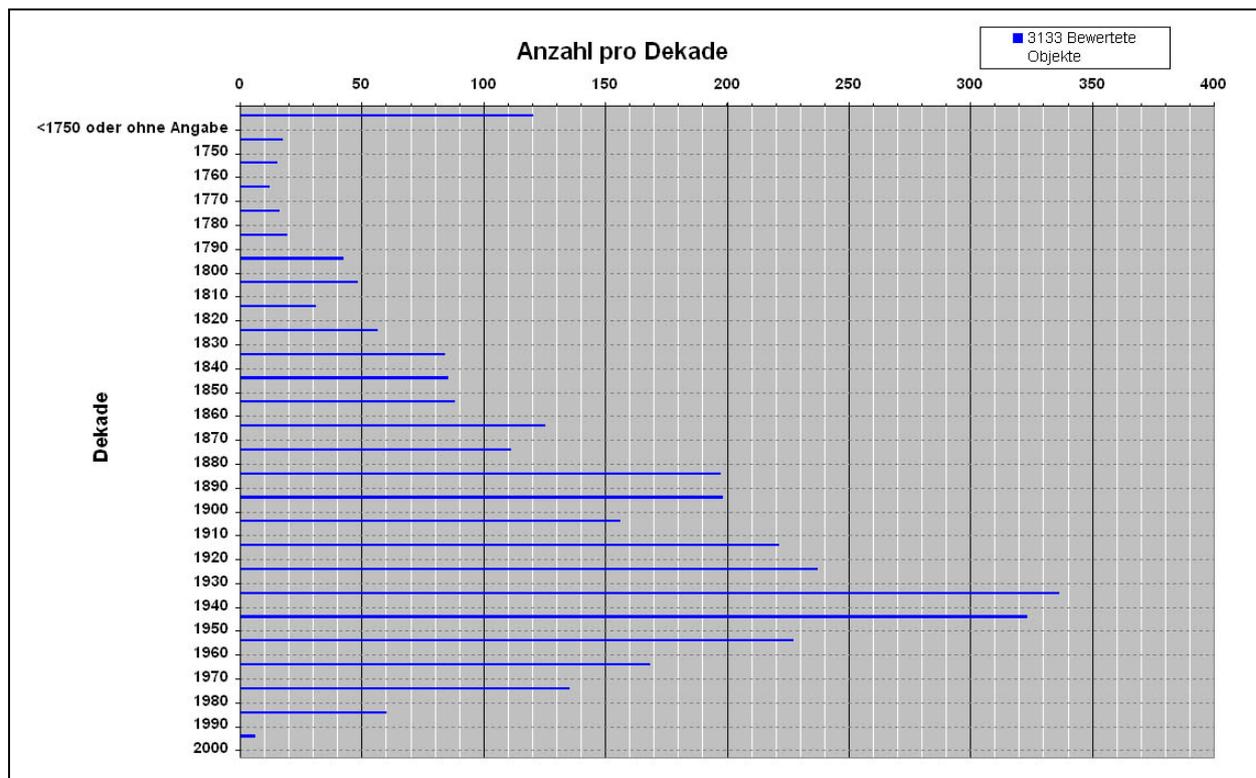


Abb. 33: Verteilung der Stichproben über die Dekaden





Abb. 34: Verteilung der Stichproben über den Gesamtbestand

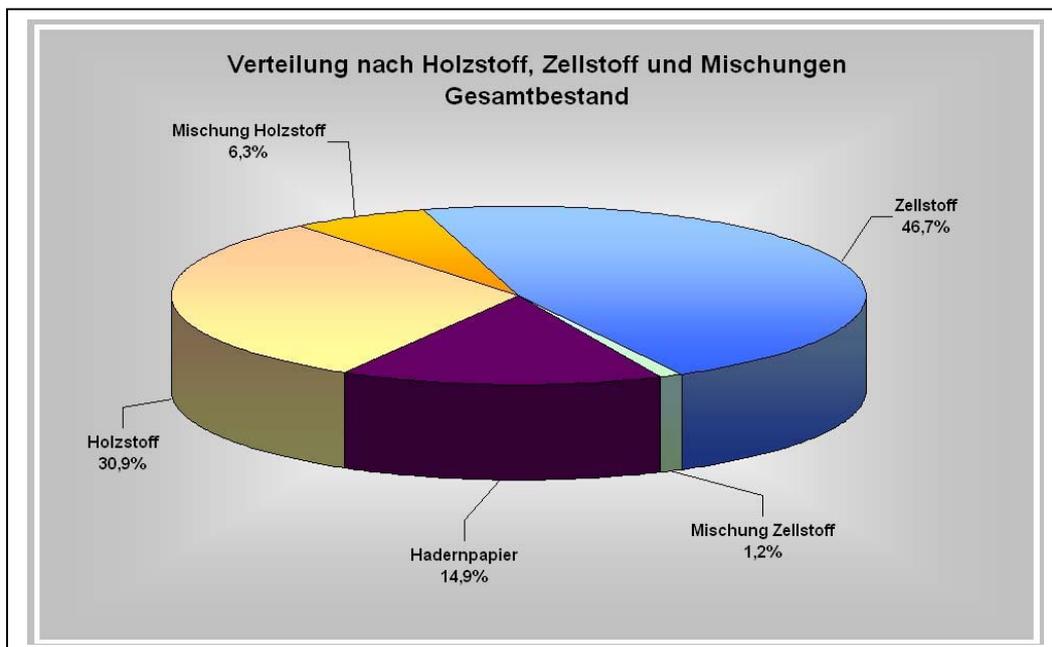


Abb. 35: Papierfaserverteilung im Gesamtbestand

Positiv zu werten ist die Tatsache, dass ca. 63% der Bestände aus Zellstoff-, Zellstoffmischungen und Hadernpapieren bestehen. Diese Papiere weisen im Vergleich zu den Holzschliffpapieren eine deutlich höhere Alterungsbeständigkeit auf. In der Regel zeigt ein Holzschliffpapier nach 50 - 100 Jahren große Schädigungen durch Säure und Vergilbung, während ein Zellstoffpapier erst nach ca. 200 Jahren sich der Säureeinwirkung ergeben zeigt. Bei Hadernpapieren ist der Zerstörungsprozess noch langfristiger zu sehen. Diese Tatsache läuft wohlbermerkt bei nahezu identischen pH-Werten ab! Eine Entsäuerung von Holzschliffpapieren sollte bei knappen Budgets daher immer Vorrang haben.



3.1.2 Die Primärwerte des Gesamtbestands

Die Analyse der *NIR-Paperrating*-Technologie gibt primär Auskunft über drei wichtige Kategorien:

- Erhaltungszustand
- Faserart und
- pH-Wert

Diese Werte sind nachfolgend dargestellt.

3.1.2.1 Der Erhaltungszustand des Papiers des Gesamtbestands

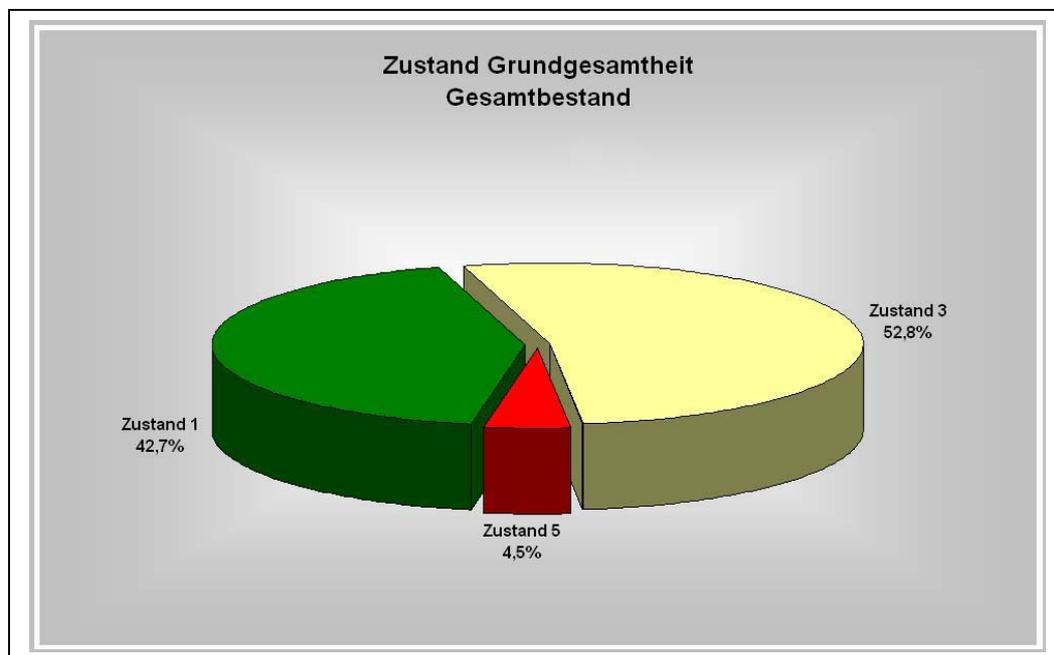


Abb. 36: Aufteilung des Gesamtbestands nach 1850 in die Erhaltungszustände 1, 3 und 5

Auch hier ist positiv zu werten, dass Erhaltungszustand 1 (=gut) und 3 (=kritisch) (s. Gliederungspunkt 1.2.1) den Großteil des Bestands ausmachen. Auf Erhaltungszustand 3 sollte der Fokus der Bestandserhaltung liegen. Die Korrelation zwischen Faserart, Erhaltungszustand und pH-Wert zeigt, dass erste Schädigungen der Papierstruktur vorliegen. Mittels einer Entsäuerung kann hier rechtzeitig Bestandserhaltung betrieben werden.

Nur ein geringer Prozentsatz der Papiere (< 5%) befindet sich in einem schlechten Erhaltungszustand (Erhaltungszustand 5), der konservierende Maßnahmen wie die Massenentsäuerung zu spät kommen lässt. Diese Papiere können nur durch umfangreiche Restaurierungsarbeiten erhalten werden (z. B. Papierstabilisierung).



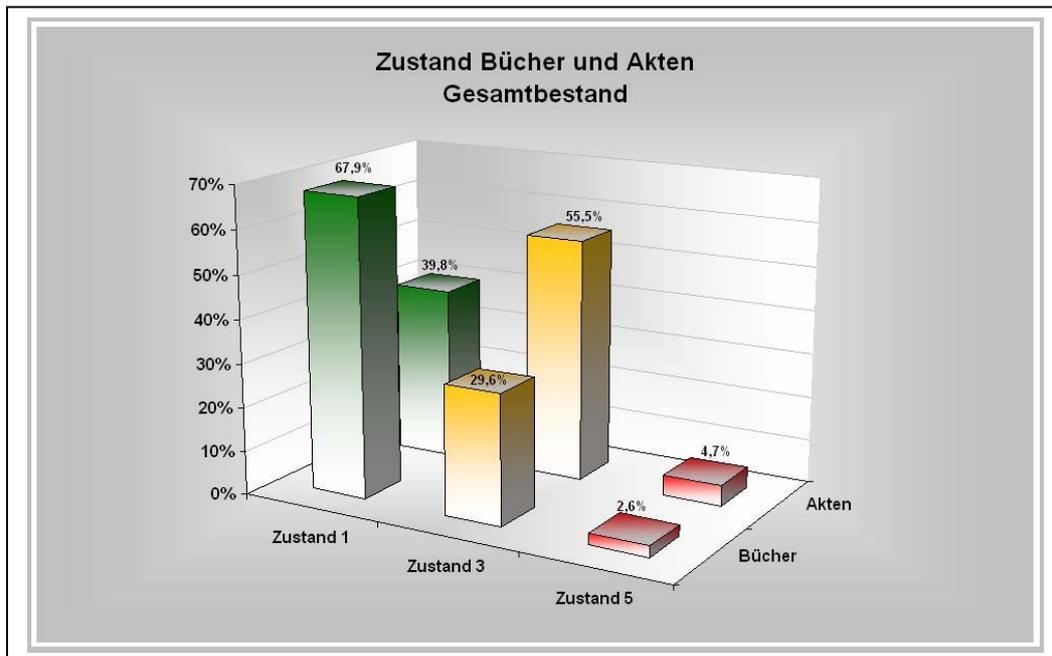


Abb. 37: Aufteilung des Gesamtbestands nach 1850 in die Erhaltungszustände 1, 3 und 5, unterteilt nach Büchern und Akten

Die Abbildung 37 zeigt, dass die Papiere der Bücher besser erhalten sind als die der Akten. Bei den Akten überwiegen die Papiere des Zustands 3. Die bessere Qualität der Bücher liegt darin begründet, dass es bis zum zweiten Weltkrieg für viele Bücher bereits Normvorschriften gab, welche die Papierqualität festlegten². Besonders Kirchen- und Geschäftsbücher profitieren noch heute von diesen Anfängen der Normung. Für die Bestandserhaltungsstrategie bedeutet diese Tatsache, dass der Handlungsbedarf an konservierenden Maßnahmen (z. B. Massenentsäuerung) bei Akten größer ist als bei Büchern.

² Vorgeschrieben durch verschiedene Vorschriften und Normen in den letzten 200 Jahren, wurden in Archiven viele sogenannte *dokumentenechte Papiere* (auch dokumenten- oder urkundenfähiges Papier genannt) verwendet. Dieses Dokumentenpapier zeichnet sich durch hohe Alterungsbeständigkeit aus. Dokumentenpapier wird besonders für die Herstellung von Schriftstücken und Urkunden verwendet, die lange aufbewahrt werden müssen.



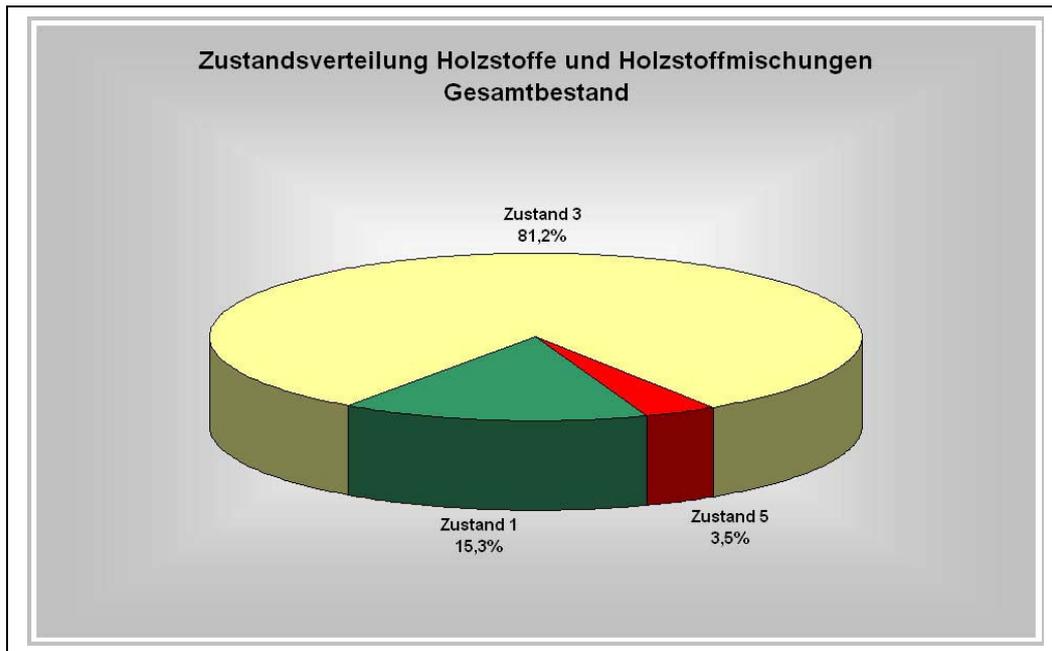


Abb. 38: Aufteilung der Holzstoffpapiere des Gesamtbestands nach 1850 in Erhaltungszustände

Wie zu erwarten war, liegt der Großteil der Holzstoffpapiere im Erhaltungszustand 3. Im Vergleich mit den Zellstoffpapieren (ca. 60% im Erhaltungszustand 1) zeigt sich, dass der Fokus der Bestandserhaltung bei den Holzschliffpapieren liegen sollte.

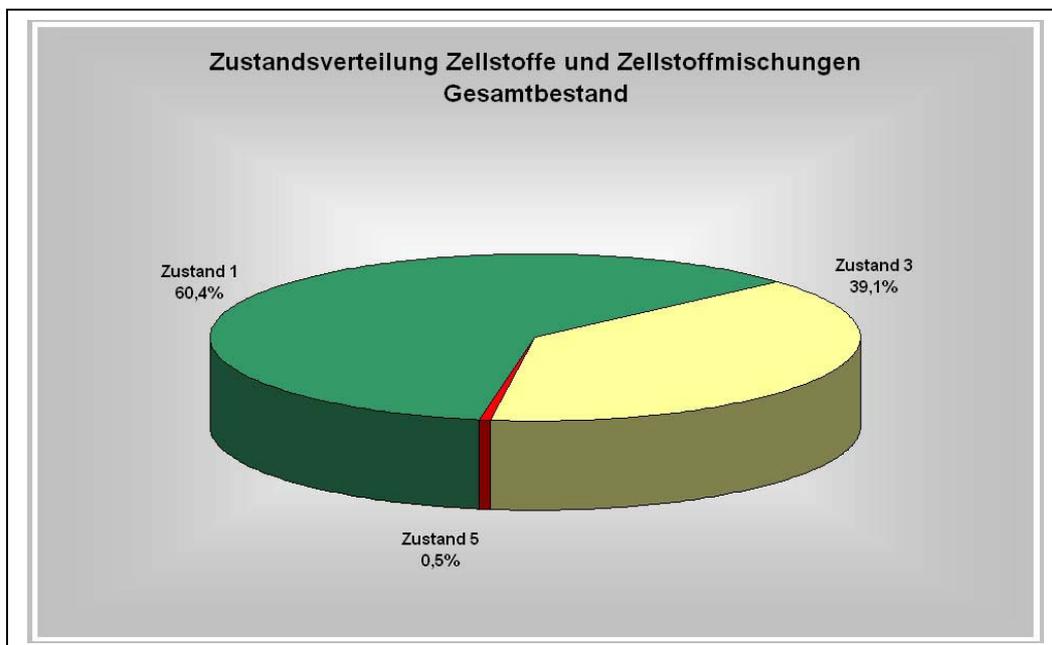


Abb. 39: Aufteilung der Zellstoffpapiere des Gesamtbestands nach 1850 in die Erhaltungszustände 1, 3 und 5



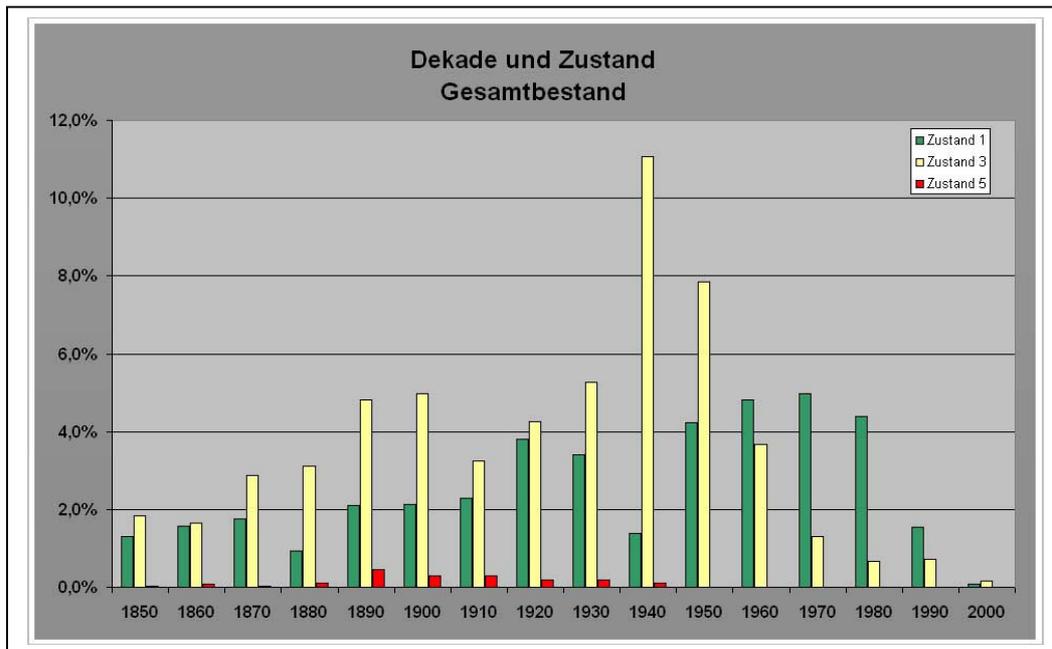


Abb. 40: Relation zwischen Dekaden und Zustandsverteilung ab 1850, Gesamtbestand

Die Dekadenverteilung (s. Abb. 40) zeigt, dass besonders die Zeit des 2. Weltkriegs mit einer schlechten Papierqualität einherging. Die Jahre 1930 – 1960 sollten daher bei einer Bestandserhaltungsstrategie genau betrachtet werden.

Da der Gesamtbestand zu 85% aus Akten besteht, unterscheiden sich die Auswertungen „Gesamt“ und „Akte“ nur geringfügig.



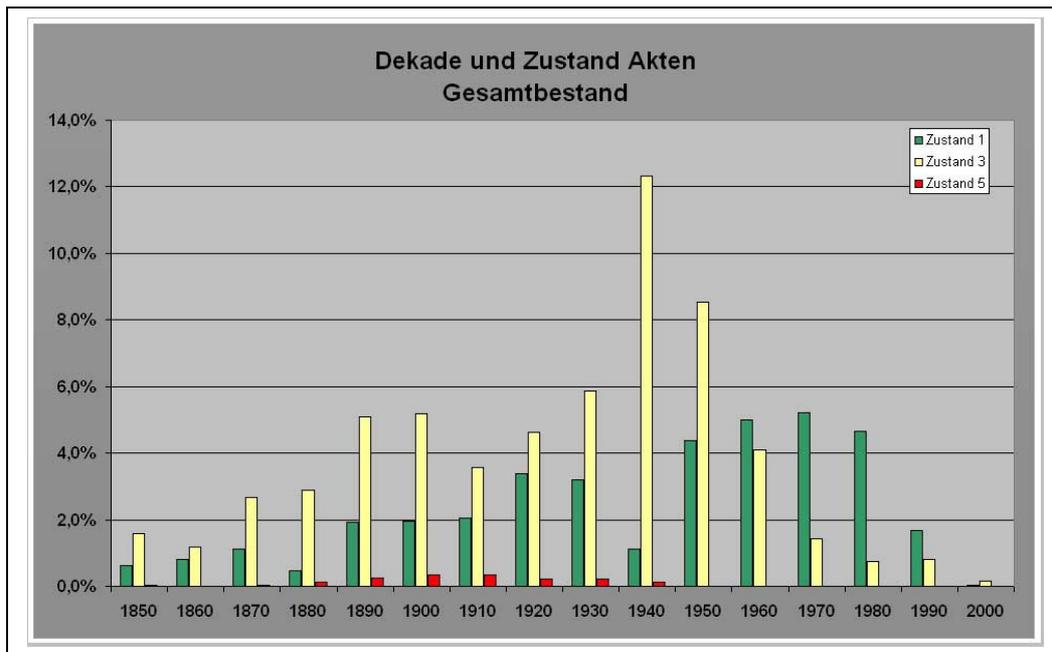


Abb. 41: Relation zwischen Dekaden und Zustandsverteilung ab 1850, Akten

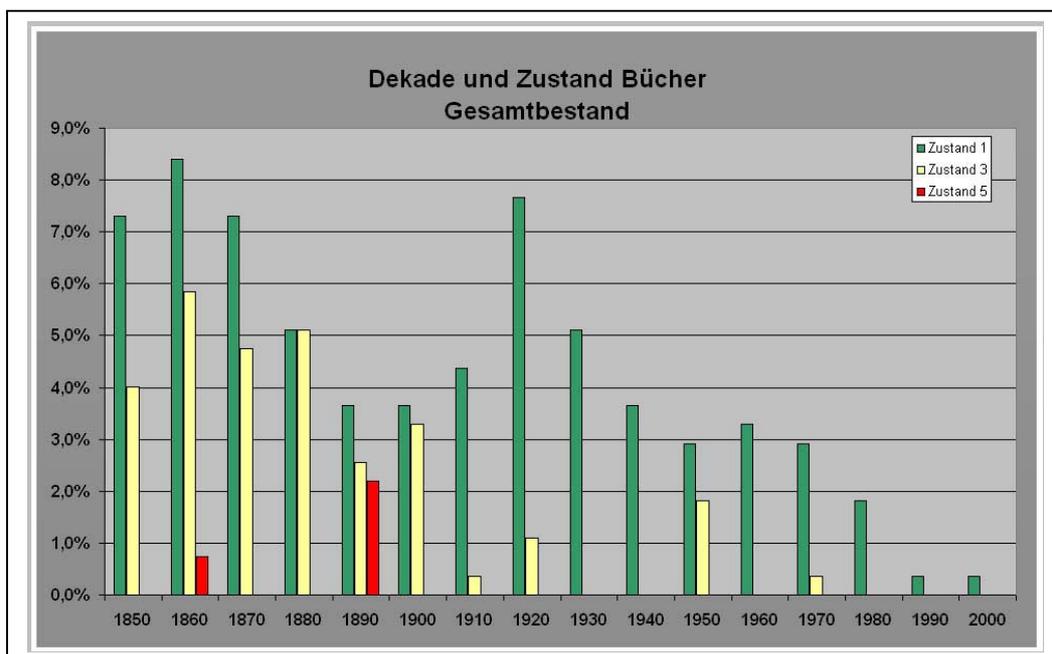


Abb. 42: Relation zwischen Dekaden und Zustandsverteilung ab 1850, Bücher



3.1.2.2 Die Faserart des Papiers des Gesamtbestands

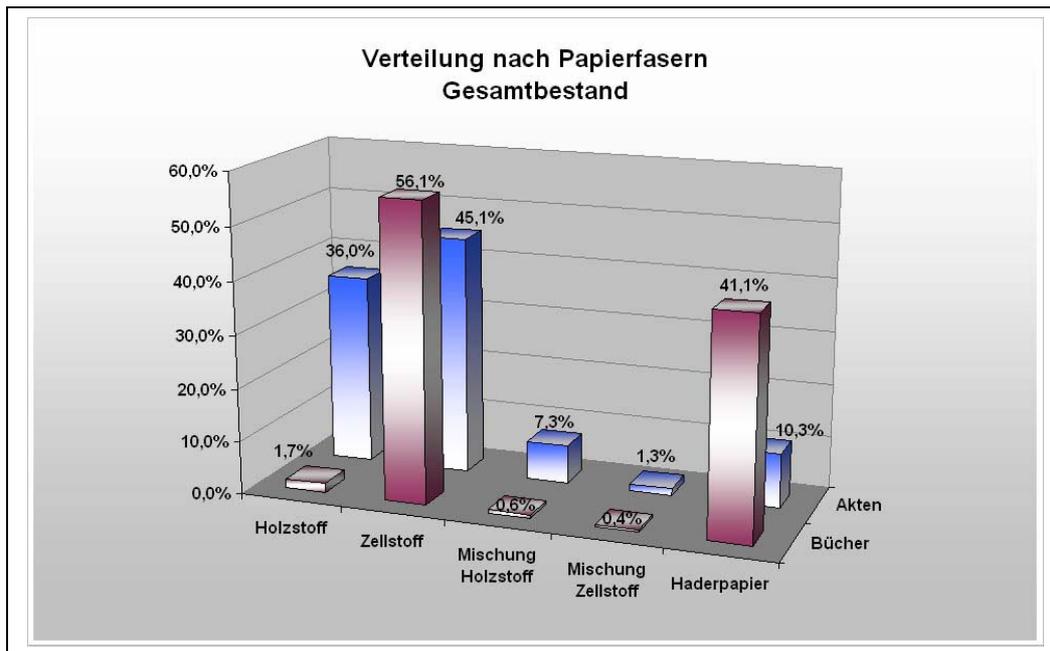


Abb. 43: Verteilung der Papierfaserarten im Gesamtbestand, unterteilt nach Akten und Bücher

Anhand der Abbildung 43 wird deutlich, dass der Holzstoffanteil in den Papieren der Akten viel größer ist, als in den Papieren der Büchern. Dies ergibt zusammen mit der Betrachtung der vorstehenden Dekadenauswertungen ein schlüssiges Bild: Bücher des Gesamtbestands sind weniger gefährdet als Akten.

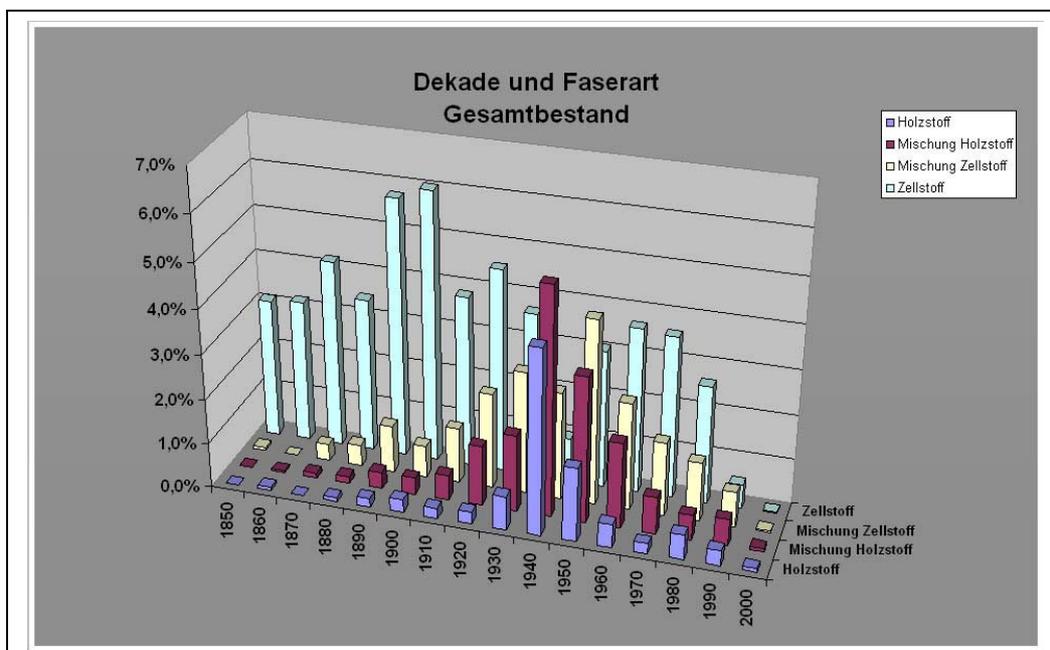


Abb. 44: Relation zwischen Dekaden und Faserartverteilung im Gesamtbestand nach 1850



Über die Dekaden hinweg ist ein hoher Anteil an Zellstoff zu finden. Das ist der Grund für den allgemein guten Erhaltungszustand des Gesamtbestands. Dennoch ist auffällig, dass besonders Holzstoff und Holzstoffmischungen besonders ab den 1930ern stark zunehmen. Dies bestätigt die vorangegangene Empfehlung, den Fokus der Bestandserhaltung auf die Jahrzehnte 1930 bis ca. 1960 zu legen.

Da der Gesamtbestand zu 85% aus Akten besteht, unterscheiden sich die Auswertungen „Gesamt“ und „Akte“ nur geringfügig.

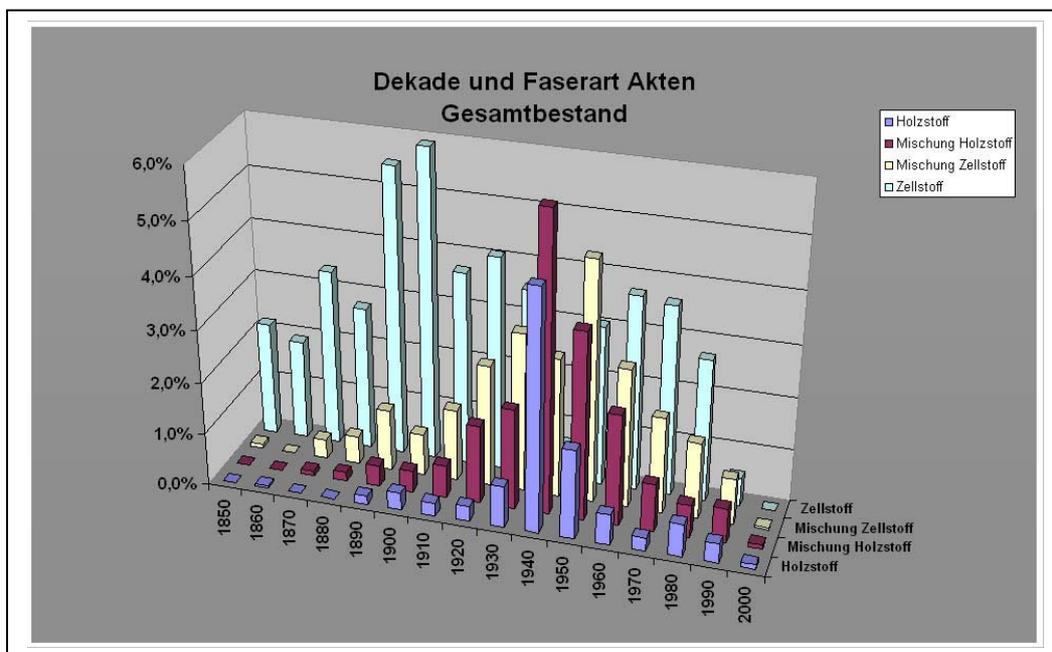


Abb. 45: Relation zwischen Dekaden und Faserartverteilung im gesamten Aktenbestand nach 1850

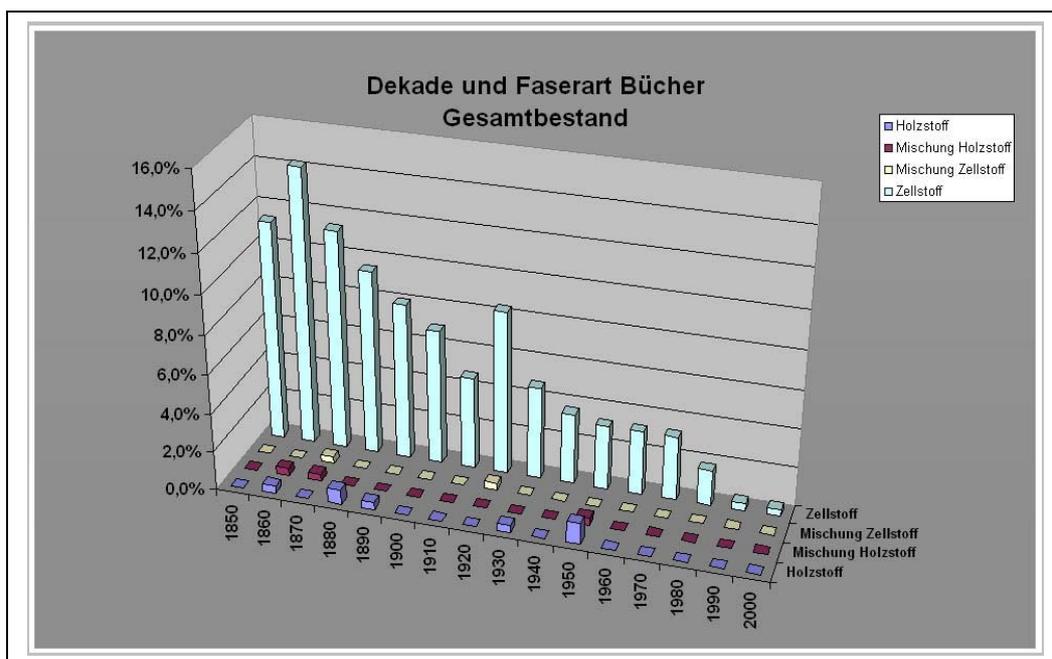


Abb. 46: Relation zwischen Dekaden und Faserartverteilung im gesamten Buchbestand nach 1850



3.1.2.3 Die pH-Werte des Papiers des Gesamtbestands

Wie auf Abbildung 47 zu sehen, sind knappe $\frac{3}{4}$ des Gesamtbestands durch einen pH-Wert von $< 6,5$ stark gefährdet (s. auch Gliederungspunkt 1.2.1). Auch wenn der pH-Wert nicht als alleinige Größe für die Zustandsbetrachtung herangezogen werden darf, ist er dennoch als Tendenzgrad zu werten. Die Betrachtung, ob Bestandserhaltungsmaßnahmen in Form von konservierenden Maßnahmen (z. B. Massenentsäuerung) zeitnah durchgeführt werden müssen, sollte immer mit Blick auf alle Parameter geschehen. D. h. besonders der Erhaltungszustand in Verbindung mit der Papierfaserart sollten Grundlage der Bestandserhaltungsstrategie sein. Der pH-Wert sollte die beiden vorgenannten Parameter lediglich unterstützen, da eine alleinige Betrachtung des pH-Werts nicht zielführend ist.



Dennoch ist festzuhalten, dass obwohl sich über 90% des Gesamtbestands im Erhaltungszustand 1 (gut) oder 3 (kritisch) befinden, knapp 75% diese Gesamtbestands „sauer“ sind. Um also einen relativ guten Erhaltungszustand auch für die Zukunft zu sichern, ist die Massenentsäuerung HEUTE sehr wichtig. Die starke Gefährdung durch die zu niedrigen pH-Werte würde künftig dafür sorgen, dass sich der Anteil der *gut* und *kritisch* kategorisierten Archivbestände in negative Bereiche verschieben wird.

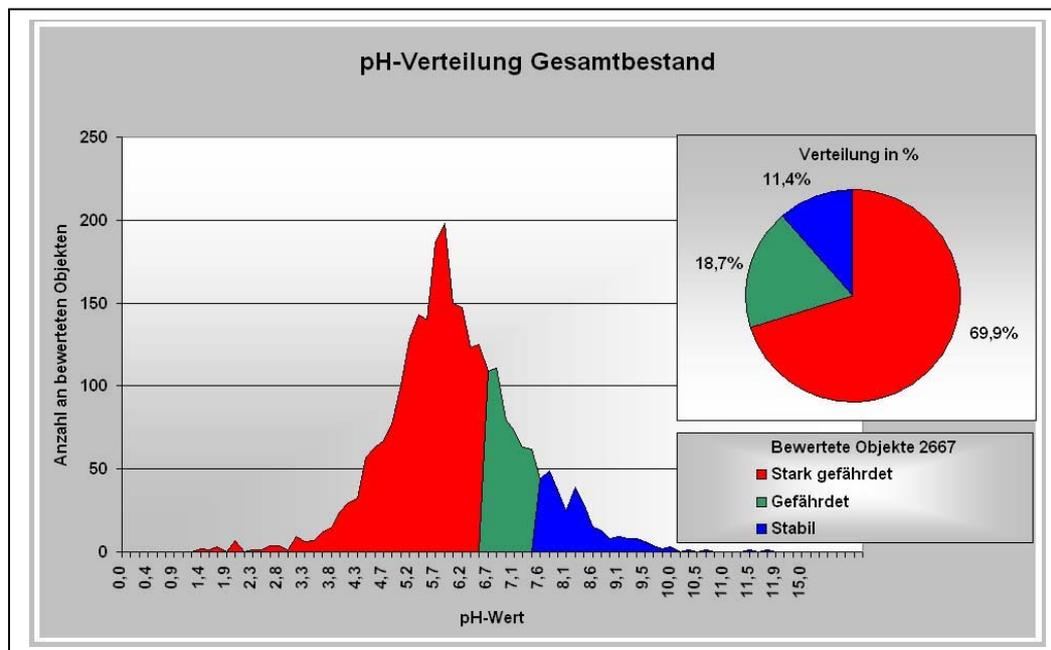


Abb. 47: pH-Wert-Verteilung im Gesamtbestand nach 1850



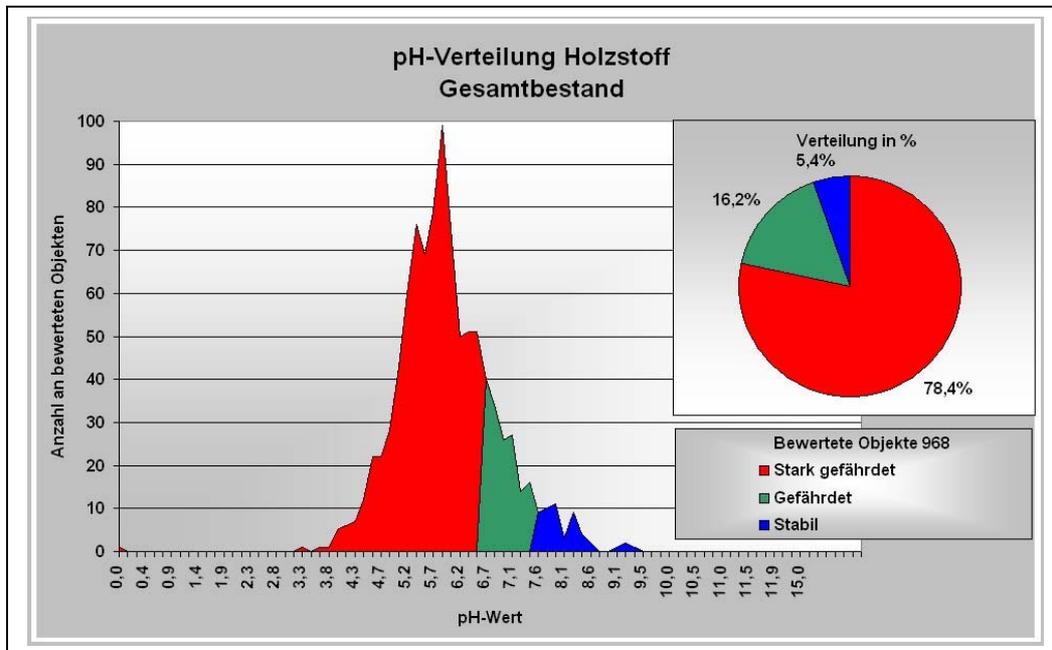


Abb. 48: pH-Wert-Verteilung im Gesamtbestand von Holzstoff nach 1850

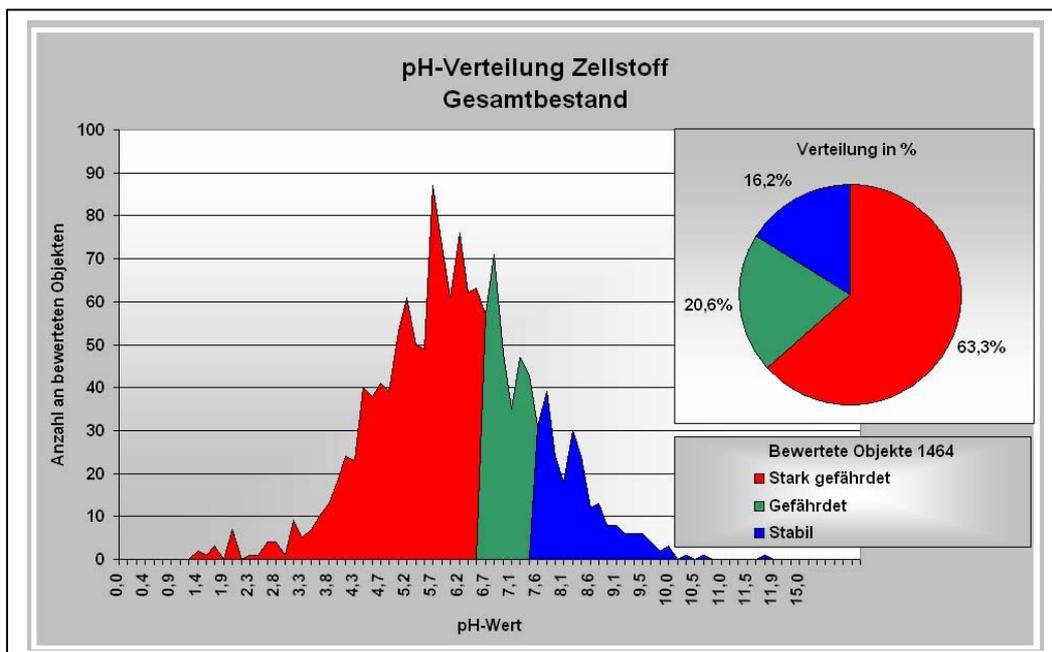


Abb. 49: pH-Wert-Verteilung im Gesamtbestand von Zellstoff nach 1850



3.1.3 Die Sekundärwerte des Gesamtbestands

Neben den vorgenannten primären Ausgabewerten der *NIR-Paperrating-Analyse* ist es auch möglich, eine wissenschaftliche Erhebung über weitere so genannte Sekundärwerte zu erstellen. So können auch Schimmelbefall, Schäden an Einband, Buchblock oder Bindung erfasst werden. Die Sekundärwerte werden nicht durch die eigentliche Messung erfasst, sondern „per Hand“ eingegeben.

Durch die Erfassung der Primär- und Sekundärwerte kann neben dem Erhaltungszustand eines Bestands auch die Bezifferung eines Bestandserhaltungsbudgets erfolgen. Dadurch ist es möglich, Bestandserhaltungsstrategien gezielt, wissenschaftlich und wirtschaftlich effizient abzuleiten.

3.1.3.1 Das Einbandmaterial des Gesamtbestands

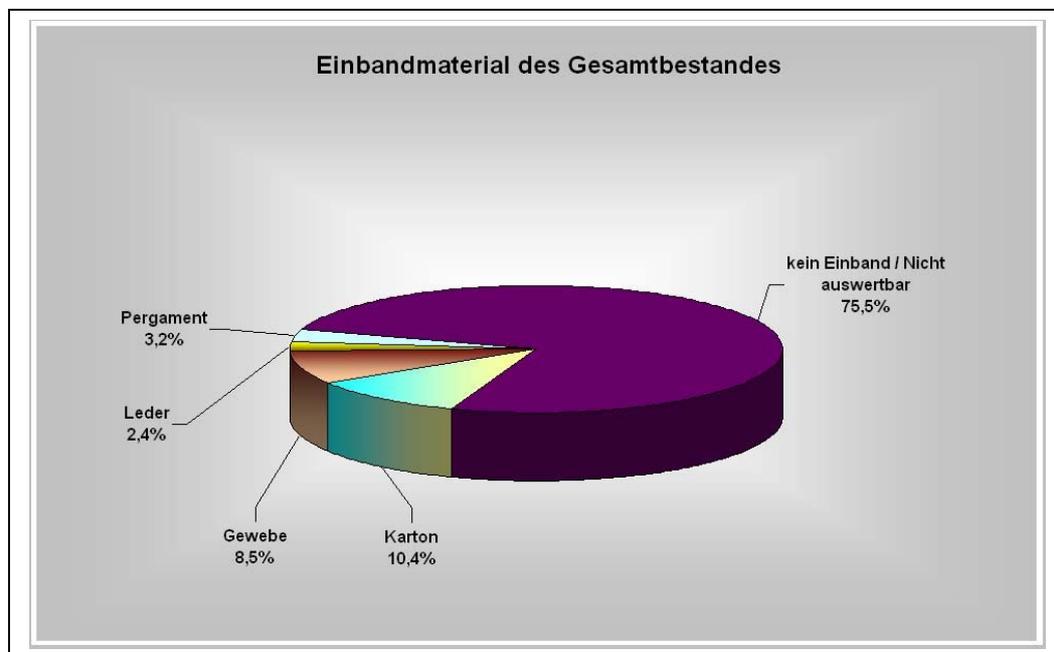


Abb. 50: Verteilung der Einbandmaterialien im Gesamtbestand

Gemäß den unter Punkt 2.3.2 ff. festgelegten Definitionen zur Kategorisierung der Einbände im Gesamtbestand zeigt die Abb. 50, dass $\frac{3}{4}$ des Gesamtbestands keinen auswertbaren Einband aufweist. Dieser Umstand liegt darin begründet, dass es sich bei den Akten, welche 85% des Gesamtbestands ausmachen, überwiegend um ungebundene, d. h. lose Blattsammlungen handelt oder um Papiere, welche nicht in einem einheitlichen Einband gebunden sind.

Deutlich wird dies ebenfalls bei der Betrachtung der nachstehenden Abb. 51 und 52, welche die Verteilung der Einbandmaterialien nochmals nach Akten und Büchern aufgeschlüsselt darstellen. Der Aktenbestand weist eine relativ homogene Verteilung der Einbandmaterialien auf, wohingegen im Buchbestand alle gängigen Einbandmaterialien enthalten sind und nur ein sehr geringer Anteil ($< 0,5\%$) nicht auswertbar ist.



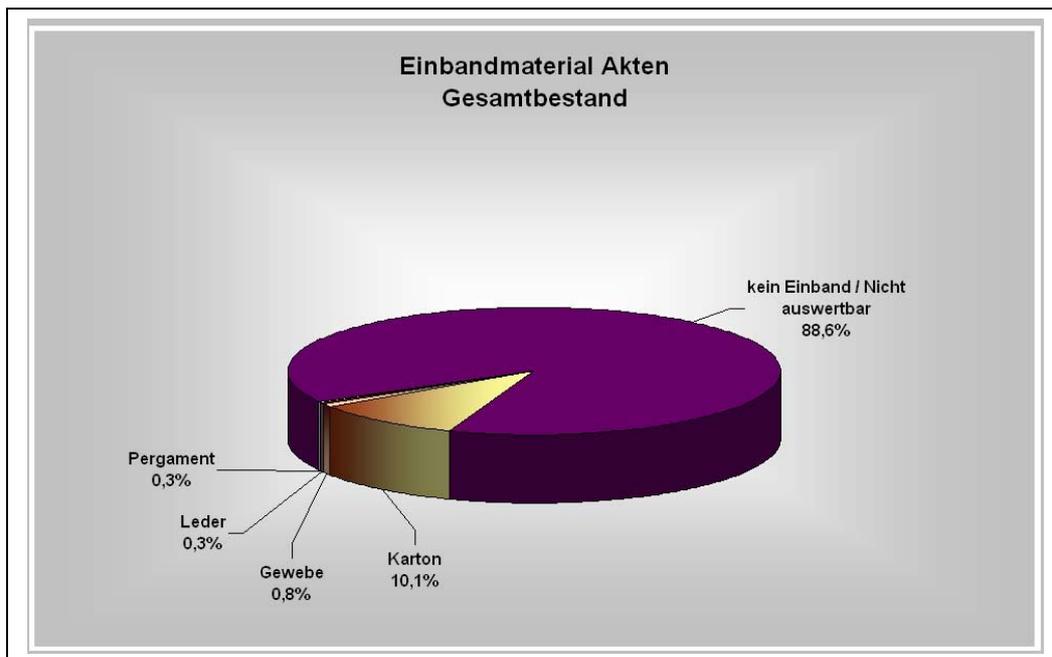


Abb. 51: Verteilung der Einbandmaterialien im gesamten Aktenbestand

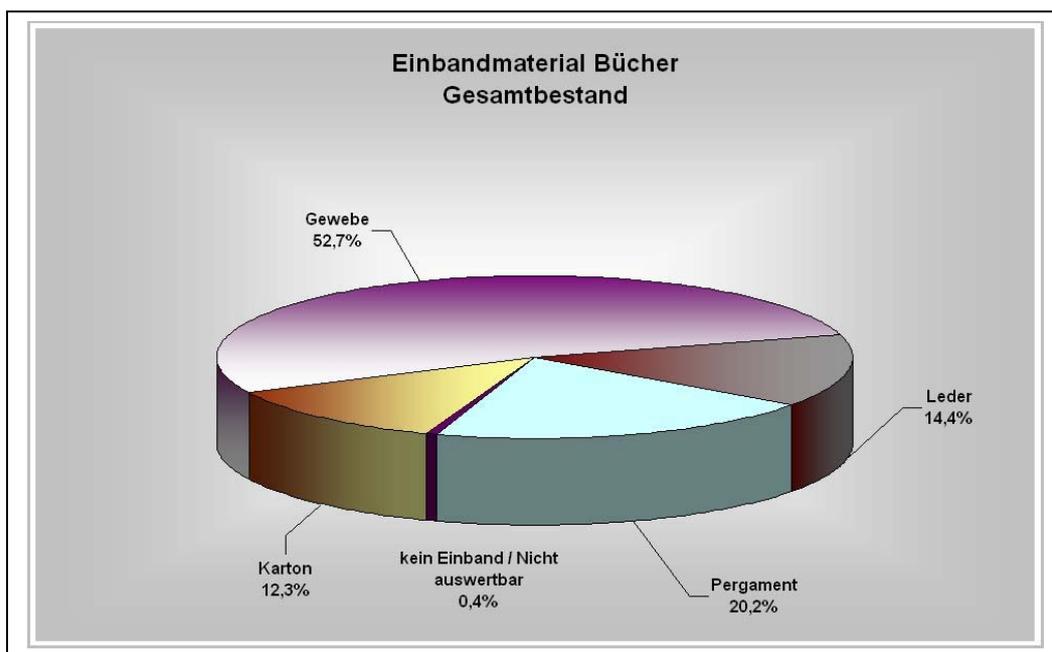


Abb. 52: Verteilung der Einbandmaterialien im gesamten Buchbestand



3.1.3.2 Schäden am Einband des Gesamtbestands

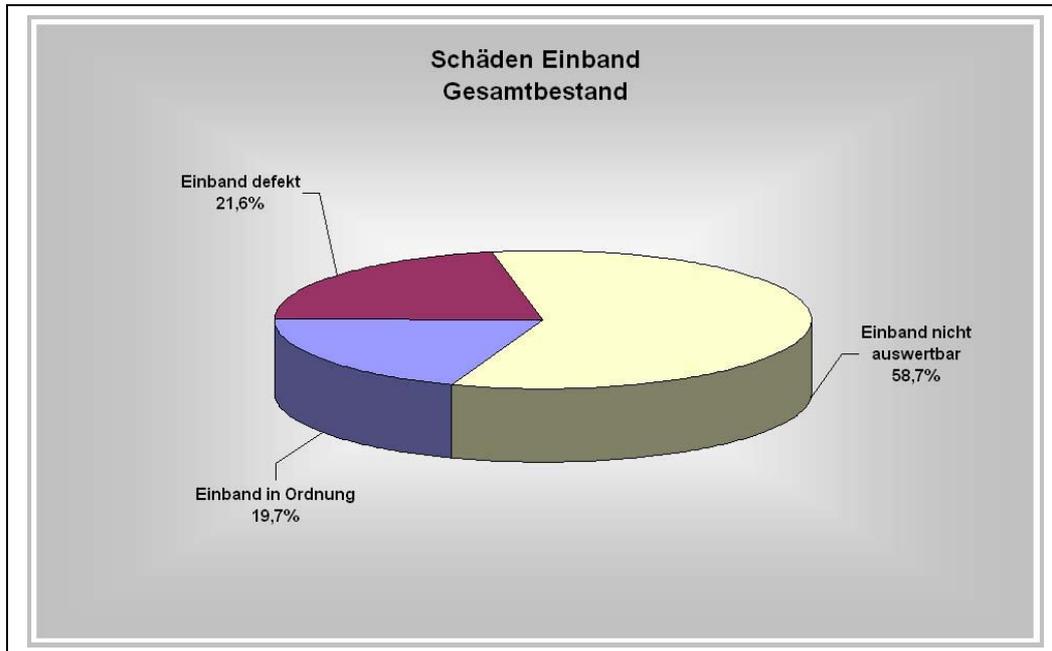


Abb. 53: Darstellung des Erhaltungszustands der Einbände im Gesamtbestand

In Folge des großen Anteils an nicht auswertbaren Einbänden im Gesamtbestand (> 75%) (s. Abb. 50) kann auch bei der Betrachtung des Erhaltungszustands der Einbände ein großer Anteil nicht ausgewertet werden.

Der prozentuale Unterschied zwischen den bei den Einbandmaterialien nicht auswertbaren Objekten und den beim Erhaltungszustand nicht auswertbaren Objekten liegt darin begründet, dass Leitz-Ordner und Schnellhefter bei der Betrachtung des Erhaltungszustands, aufgrund ihrer Abheftmechanik aus Metall, in der Kategorie „Einband defekt“ erfasst wurden (s. Gliederungspunkt 2.3.2.3).



3.1.3.3 Die Heftungsart des Gesamtbestandes

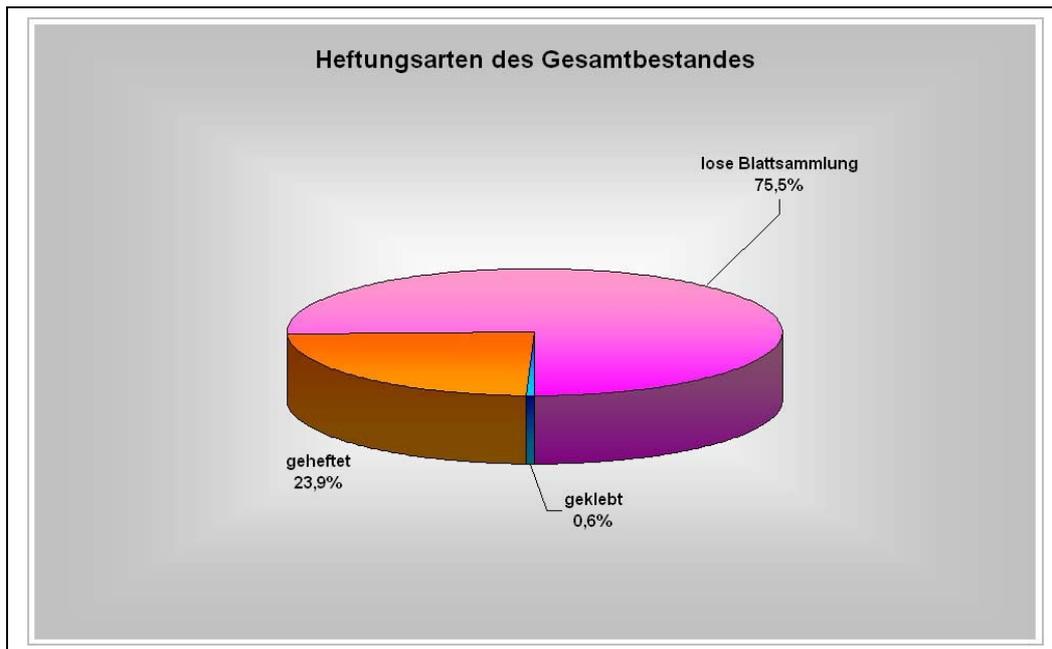


Abb. 54: Darstellung der Heftungsarten im Gesamtbestand

Abbildung 54 bestätigt nochmals die bereits vorstehend mehrfach genannte Tatsache, dass der große Aktenbestand (85%) in Form von losen Blattsammlungen und in Form von nicht zu einer Einheit gebundenen Objekten vorliegt. Der geringe Anteil an klebegebundenen Akten ist positiv zu bewerten, da der für Klebebindungen verwendete Weißleim nicht alterungsbeständig ist, innerhalb weniger Jahre versprödet und sich die Bindung dadurch auflöst. Klebegebundene Akten verlieren daher relativ schnell ihre Benutzbarkeit.

3.1.3.4 Der Erhaltungszustand der Heftung des Gesamtbestandes

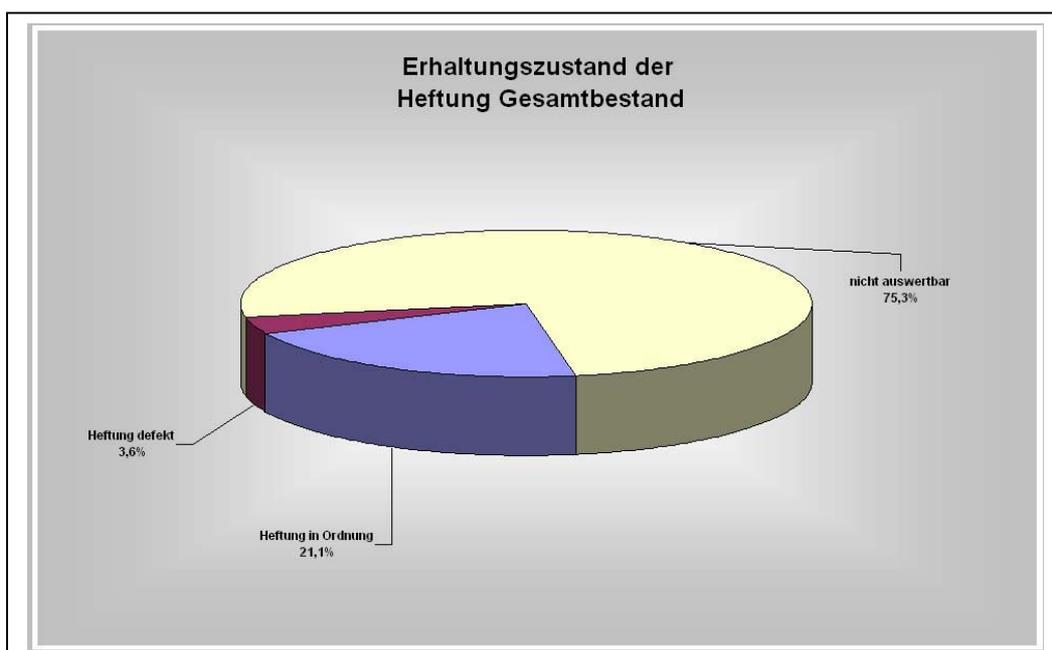


Abb. 55: Darstellung des Erhaltungszustands der gehefteten und klebegebundenen Objekte im Gesamtbestand



Wie bereits in den vorstehenden Darstellungen ist der hohe prozentuale Anteil an nicht auswertbaren Objekten (75,3%) in dem Umstand des überwiegend ungebundenen bzw. nicht einheitlich gebundenen Aktenbestands begründet.

3.1.3.5 Diverse Beeinträchtigungen (inkl. biologischer Befall)

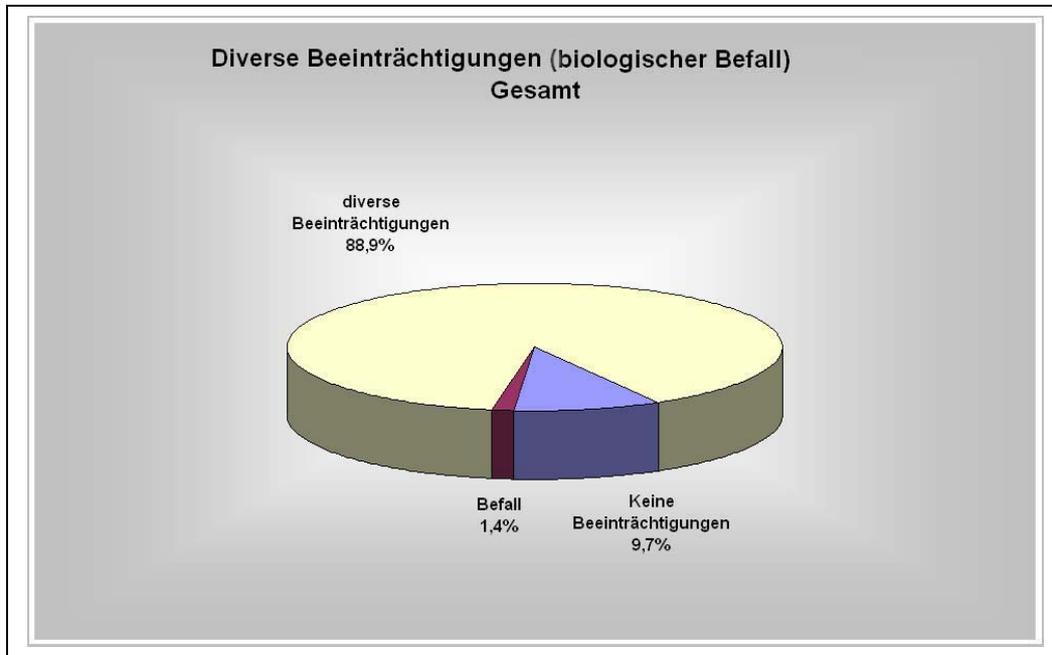


Abb. 56: Darstellung diverser Beeinträchtigungen an den Papieren des Gesamtbestands unter besonderer Berücksichtigung von biologischem Befall

Nahezu 90% der Papiere weisen diverse Schäden auf. In der Hauptsache handelt es sich dabei um mechanische Schäden wie geknickte, eingerissene Ecken und Kanten, Risse und Fehlstellen. Diese mechanischen Schäden sind überwiegend auf unzureichende Schutzverpackung und falsche Lagerung, nicht sachgerechte Benutzung und abgebaute Papiersubstanz zurückzuführen.

Weitere Beeinträchtigungen an den Papieren, allerdings in einem sehr viel geringeren Umfang, sind durch Tintenfraß, Selbstklebebänder, Wasser- und Brandschäden sowie Stockflecken entstanden. Diese wurden für die Betrachtung des Gesamtbestands allerdings nicht einzeln erfasst und ausgewertet.

Erkennbare Spuren von biologischem Befall, d.h. Schimmel, Insekten- und Nagetierfraß, wurden dagegen separat erfasst und schlagen erfreulicherweise hier mit einem Anteil von nur 1,4% zu Buche. In der Hauptsache handelt es sich um Schimmelbefall in unterschiedlich starken Ausprägungen.



4. Das Fazit der Zustandserfassung der Archivbestände des Staatsarchivs Hamburg mittels der *NIR-Paperrating* -Technologie

Bestandserhaltungsstrategien können von verschiedenen Seiten betrachtet werden. So ist der Erhaltungszustand von Papier nur eine Facette der Entscheidungsgrundlagen. Die Wertigkeit oder der erhöhte Zugriff auf einzelne Bestände lassen sich durch Messergebnisse nicht darstellen. Somit weisen wir an dieser Stelle darauf hin, dass die individuelle Prüfung der Bestandserhaltungsmaßnahmen einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Bestandserhaltungsstrategie haben muss.

Die vorliegende Zustandserfassung gibt einen wissenschaftlich fundierten Bericht über den Gesamtbestand des Papiers und lässt Schlussfolgerungen zu, die besonders konservierende Bestandserhaltungsmaßnahmen wie die Massenentsäuerung empfehlen.

Anhand der vorliegenden Messergebnisse können bestimmte Dekaden, bestimmte Objekte und andere Schwerpunkte der Bestandserhaltung herausgestellt werden. Außerdem ist es möglich, Budgets durch Hochrechnungen zu bestimmen. Der zielgerichtete Mitteleinsatz sollte aber immer unter individueller Abschätzung des jeweiligen Bestands gesehen werden.

4.1 Die Faktoren der Bestandserhaltungsstrategie

Eine Bestandserhaltungsstrategie wird ausgearbeitet, um das Altern der unterschiedlichen Objekte, die den Sammlungsbestand eines Archivs, einer Bibliothek oder einer musealen Sammlung darstellen, zu verlangsamen.

Unter Berücksichtigung folgender Aspekte kann sich eine Bestandserhaltungsstrategie entwickeln:

1. Aufbewahrungs- und Benutzungsbedingungen
2. Erhaltungszustand des Gesamtbestands bzw. der Teilbestände in Hinblick auf ihre materialspezifischen Eigenschaften
3. Nutzungshäufigkeit
4. Kultureller Wert

Nachstehend gehen wir auf die Punkte 1. und 2. ein. Die Punkte 3. und 4. müssen von der jeweiligen Einrichtung bestimmt werden und können daher nicht Gegenstand dieses Reports sein.

Für eine umfassende Bestandserhaltungsstrategie sollten alle exogenen und endogenen Schadensfaktoren betrachtet werden, welche die Alterung der Objekte beeinflussen.



4.1.1 Die exogenen Faktoren der Bestandserhaltungsstrategie

Sinnvoll ist es, in einem ersten Schritt die exogenen Faktoren auszuschalten bzw. auf ein Minimum zu reduzieren. Auf diese Weise wird das bestmögliche Umfeld geschaffen, in dem der natürliche Alterungsprozess der Objekte nur langsam fortschreiten kann.

Exogene Faktoren, die betrachtet werden müssen, sind u. a.:

- Aufbewahrungsbedingungen:
 - Klima, Licht und Luftqualität
- Hygienische Aspekte der Aufbewahrung:
 - Reinigung der Magazinräume, Verschmutzungsgrad der Bestände usw.
- Aufstellung und Schutzverpackung:
 - Regale, Buchstützen, Materialien für Schachteln und Mappen usw.
- Benutzungsbedingungen:
 - Klima, Licht, Räumlichkeit, Benutzungsvorschriften für Schreibmittel, für Hygiene oder Vervielfältigung, interne Schulungen der Mitarbeiter usw.

Bei der Erfassung der Stichproben fiel Folgendes besonders auf:

1. Zahlreiche Bestände, vor allem aus den Jahren vor 1900, sind so stark verschmutzt, dass sie in vielen Fällen ohne entsprechende Schutzkleidung nicht in die Benutzung gegeben werden können.

Des Weiteren sind bestimmte Staubarten hygroskopisch. Diese nehmen Luftfeuchtigkeit auf und stellen damit einen möglichen Nährboden für die Entwicklung von Mikroorganismen dar. Somit besteht für stark verschmutzte Objekte eine hohe Gefahr von mikrobieller Kontamination (Schimmel).

2. Viele Akten sind unzureichend oder gar nicht verpackt. Es besteht in diesen Fällen weder Schutz vor Verschmutzung noch vor mechanischer Beschädigung.

Hinzu kommt, dass durch im gesamten Bestand verbreitete, ungeeignete Verpackungsmaterialien und Verpackungstechniken zusätzliche Schäden an den Objekten verursacht werden.

Die chemischen Abbauprodukte aus den nicht alterungsbeständigen und nicht-säurefreien Verpackungsmaterialien können in nebenstehende Papiere abwandern und dort den Abbauprozess beschleunigen. Häufig wird dieser Prozess durch die Verbräunung der direkt im Kontakt mit den Verpackungsmaterialien stehenden Papiere sichtbar!

3. Die Aufstellung einiger Objekte in den Magazinräumen hat zu mechanischen Schäden an den Archivalien geführt.



4.1.2 Die endogenen Faktoren der Bestandserhaltungsstrategie

Nachdem die äußeren Bedingungen für die Bestandserhaltung festgelegt sind, sollten im nächsten Schritt die endogenen Faktoren betrachtet werden. Entscheidend sind hier die Materialien und Herstellungstechniken der Objekte.

Zu den papiereigenen – den endogenen – Abbaufaktoren zählen:

- Papierkomponenten:
 - Papierfasern, Leimung und Füllstoffe, welche sich direkt auf die Alterung des Papiers auswirken
- Herstellungsmethoden,
 - welche Einfluss auf den durchschnittlichen Polymerisationsgrad (DP) der Zellulose und damit auf die mechanische Festigkeit des Papiers haben
- Nachträglich ein- bzw. aufgetragene Komponenten:
 - Eisen-Gallus-Tinten oder Selbstklebebänder verändern den Alterungsprozess des Papiers.

Die exogenen Fakten konnten die *NIR-Paperrating*-Technologie sehr gut erfasst werden. die Bewertung des Zustands lässt sich wie folgt interpretieren:



4.2 Abschließende Beurteilung zum Gesamtbestand

Die *NIR-Paperrating*-Analyse liefert folgende Aussagen zum Erhaltungszustand des Gesamtbestands des Staatsarchivs der Freien und Hansestadt Hamburg:

1. Der Gesamtbestand ist zum größten Teil in einen guten Erhaltungszustand

Diese Tatsache bestätigen diverse Messergebnisse:

- Der Anteil an deutlich alterungsbeständigerem Zellstoffpapier und Hadernpapier beträgt über 60% (s. Abb. 35 und Gliederungspunkt 1.2.1).
- Der Erhaltungszustand des Gesamtbestands ist zu über 95% in den Bereichen 1 und 3. Diese zwei Erhaltungszustände charakterisieren Papier, welches entweder *gut* erhalten ist (Zustand 1 = 42,7%) oder noch so gut erhalten ist, dass konservierende Maßnahmen die Nutzung auch künftig möglich machen (diese betrifft den Zustand 3 = 52,8%) (s. Abb. 36).
- Lediglich 4,5% des Gesamtbestands sind in einem so schlechten Zustand (Zustand 5), dass konservierende Maßnahmen keinen Nutzen mehr stiften.

2. Trotz des überwiegend guten Erhaltungszustands zeigen knapp $\frac{3}{4}$ des Gesamtbestands einen pH-Wert von $< 6,5$ auf, was einen relativ „sauer“ Wert darstellt. Somit lässt sich ableiten:

- Obwohl über 90% des Gesamtbestands einen Erhaltungszustand 1 (*gut*) oder 3 (*kritisch*) haben, sind knapp 75% dieses Gesamtbestands „sauer“ (s. Abb. 47). Um den relativ guten Erhaltungszustand auch für die Zukunft zu sichern, müssen konservierende Maßnahmen, wie die Massenentsäuerung, zum jetzigen Zeitpunkt stattfinden. Ein unbehandelter pH-Wert von < 7 würde künftig dafür sorgen, dass sich der Anteil der *gut* und *kritisch* kategorisierten Archivbestände in negative Bereiche verschieben wird. Die Folge wären erhöhte Ausgaben für die Restaurierung und/oder in letzter Konsequenz der Entzug der Nutzung oder im schlimmsten Fall Informationsverlust.

3. Bücher sind in einem besseren Erhaltungszustand als Akten

- Die Abbildung 37 zeigt deutlich, dass fast 70% der Bücher in einem guten Erhaltungszustand sind (Zustand 1). Bei den Akten erreichten gerade mal 39,8% einen guten Erhaltungszustand. Auch wenn der Gesamtbestand zu lediglich 15% aus Büchern besteht, kann für eine Bestandserhaltungsstrategie konstatiert werden, dass der Bedarf an konservierenden Maßnahmen bei Akten zeitdringlicher ist als bei Bücher.



4. Objekte aus Zellstoff sind in einem besseren Erhaltungszustand als Holzschliff-Objekte

- Zellstoffpapiere liegen mit über 60% im Erhaltungszustand 1 (*gut*). Lediglich 0,5% der Zellstoffbestände sind „*schlecht*“ erhalten (Zustand 5) (s. Abb. 39).
- Hingegen weisen lediglich 15,3% der Holzschliffpapiere einen guten Erhaltungszustand auf. Bestandserhaltungsmaßnahmen sollten diese Tatsache berücksichtigen.

5. Die Zeit des 2. Weltkriegs und die Nachkriegszeit gingen mit einer schlechten Papierqualität einher

- Besonders die Jahre 1930 – 1960 zeigen einen überdurchschnittlich negativen Erhaltungszustand. In dieser Zeit ist das schlechte Verhältnis zwischen *gut* und *kritisch* erhaltenen Papieren besonders auffällig (s. Abb. 40).
- Auch die Analyse der Faserarten bestätigt Vorstehendes. Die weniger alterungsbeständigen Holzstoffe und Holzstoffmischungen zeigen einen sprunghaften Anstieg ab 1930, der in den 1960ern wieder abebbt. Dies ist besonders bei Aktenbeständen der Fall (s. Abb. 44 und 45). Somit sollten die vorstehenden Jahre bei Bestandserhaltungsmaßnahmen immer aufmerksam betrachtet werden.

6. Der Erhaltungszustand der Einbände ist gut und es besteht wenig Handlungsbedarf

- 24,5% aller erfassten Objekte konnten für die Einband-Beurteilung erfasst werden (s. Abb. 53). Von den 24,5% wurden lediglich 21,6% in die Kategorie „Einband defekt“ eingestuft (s. Abb. 53). In diesen 21,6% der defekten Einbände sind zudem alle Leitz-Ordner und Schnellhefter enthalten.
- In den meisten Fällen defekter Einbände kann eine Benutzung den bestehenden Schaden verschlimmern oder einen Substanz- oder Informationsverlust riskieren. Dennoch sind die Schäden nicht so schwer, dass hier in Folge der Bestandserfassung sofortige Restaurierungsmaßnahmen eingeleitet werden müssen. Eine geeignete Schutzverpackung und Aufstellung, sowie die umsichtige Benutzung reichen aus, um die Einbände im momentanen Zustand zu erhalten.
- Im Falle der zahlreichen Leitz-Ordner und Schnellhefter sollte aufgrund der bereits rostenden Abheftmechaniken aus Metall eine Neuverpackung erfolgen.



7. Verschmutzungen müssen beseitigt werden

- Die zum Teil starken Verschmutzungen auf und in den Akten müssen zum einen zum Schutz der Benutzer und zum Schutz der Papiersubstanz durch geeignete Trockenreinigungsmaßnahmen entfernt werden.
- Zum anderen müssen die Verschmutzungen vor weiteren Konservierungsmaßnahmen wie z. B. Neuverpackung oder Massenentsäuerung abgereinigt werden.
- Neben den verschmutzten Objekten müssen insbesondere Objekte mit Schimmelbefall im Gesamtbestand entdeckt, separiert und in geeigneter Weise behandelt werden, um die Gesundheit der Benutzer und Mitarbeiter nicht zu gefährden.

8. Unzureichende Verpackung

- Im Zuge der Bestandserfassung wurde deutlich, dass zahlreiche Objekte unzureichend bzw. gar nicht verpackt sind, sowie für bestehende Verpackungen in der Vergangenheit ungeeignetes Material verwendet wurde.

Da sich durch geeignete Schutzverpackungen die unter den obenstehenden Punkten 6 und 7 beschriebenen Schadensbilder vermeiden lassen, sollte die Neuverpackung als konservatorische Maßnahme zur Vermeidung von exogenen Schadensfaktoren neben der Massenentsäuerung zum Erhalt des Papiers oberste Priorität haben.

4.3 Monetäre Betrachtung der Bestandserhaltungsmaßnahmen

Die Ergebnisse der Zustandserfassung mittels der *NIR-Paperrating*-Analyse können als Grundlage zur Budgetplanung von Bestandserhaltungsstrategien herangezogen werden. Besonders die Massenentsäuerung als konservierende Maßnahme lässt sich auf Grundlage der *NIR-Paperrating*-Analyse berechnen.

Auch können Aussagen zu Trockenreinigungsarbeiten von verschmutzten Beständen getroffen werden. Diese Hochrechnung geschieht allerdings nicht auf Grundlage der *NIR-Paperrating*-Analyse.

Aussagen zu Restaurierungsarbeiten, wie beispielsweise der Einbandrestaurierung lassen sich auf Grund ihres individuellen Charakters nicht treffen. In diesen Fällen ist eine Einzelobjektbetrachtung sinnvoll.

Da die Bestandserhaltungsstrategien von verschiedenen Seiten betrachtet werden müssen, soll dieser Report in erster Linie auf die Aspekte *Erhaltungszustand* und *Dekadenauswertung* Bezug nehmen. Diese Aspekte dienen hauptsächlich der Ableitung von konservierenden Maßnahmen wie beispielsweise der Massenentsäuerung. Zur Kalkulation der Massenentsäuerung wenden die meisten Anbieter die Kilogramm-Basis an.



Da bei der Zustandserfassung auch die Gewichte erfasst wurden, kann konstatiert werden, dass das **Durchschnittsgewicht einer Archiveinheit 1,6 kg³** beträgt. Bei einem Gesamtumfang von **1.400.000 Archiveinheiten** liegt das Gesamtgewicht der Archivbestände des Staatsarchiv Hamburg damit bei **ca. 2.240 t**.

Wenn man bedenkt, dass **ca. 75%** der Archivbestände des Staatsarchiv Hamburg in einem gefährdeten bis stark gefährdeten pH-Wert-Bereich liegen, dann bedeutet dies, dass **ca. 1.680 t** Papier entsäuert werden müssen.

Unter der Annahme, dass die Massenentsäuerung – je nach Anbieter – zwischen 20,00 € und 25,00 € je Kilogramm (zzgl. Mehrwertsteuer) kostet und dass sich zu diesen Beträgen weitere Arbeitsschritte wie Vor- und Nachbereitungsarbeiten zur Massenentsäuerung addieren, die den Preis auf ca. 30,00 €* je Kilogramm ansteigen lassen können, bedeutet das für das Staatsarchiv folgendes:

Die Kosten der Massenentsäuerung für alle sauren Papierbestände des Staatsarchiv liegen bei **ca. 50 Mio. €⁴** zzgl. Mehrwertsteuer.

Das vorstehende Rechenbeispiel zeigt, dass ein Masterplan zur Bestandserhaltung notwendig ist, der sich über viele Jahre erstreckt – denn die Bereitstellung von hohen zweistelligen Millionen-Beträgen zur Massenentsäuerung ist eher unwahrscheinlich.

Um nun die Mittel zielgerichtet einzusetzen, sollte der Fokus der Bestandserhaltung durch Massenentsäuerung dringend auf folgenden Beständen liegen⁵:

- **Bestände aus den Jahren 1930 – 1960** (diese Bestände haben die stärkste Korrelation zwischen Holzstoffpapieren und dem kritischen Erhaltungszustand 3)
- **Aktenbestände** (diese bilden den Großteil des Gesamtbestands und sind in einen wesentlich schlechteren Zustand als die Buchbestände)
- **Holzstoffpapiere** (die Entsäuerung von Holzschliffpapieren sollte bei knappen Budgets immer Vorrang haben)

Zu beachten ist, dass sich die vorstehende Empfehlung lediglich auf den ermittelten Erhaltungszustand bezieht. Sämtliche Aspekte zur Wertigkeit oder Priorität einzelner Bestände sind nicht in diese Auswertung eingeflossen. Die Hochrechnung, wie viel Budget für konservierende Maßnahmen eingestellt werden muss, lässt sich anhand der nachstehenden Formel leicht vornehmen:

$$\begin{aligned} & \text{Anzahl an Objekten eines bestimmten Bestands/Dekade usw.} \\ & \quad \times \\ & \quad \text{durchschnittliches Gewicht (1,6 kg)} \\ & \quad \times \\ & \quad \text{ca. Preis Massenentsäuerung für Aktenbestände} \\ & \quad \text{(inkl. Vor- und Nacharbeiten zur Massenentsäuerung!) (ca. 30,00 €*)} \\ & \quad + \text{MwSt.} \\ & \quad = \\ & \quad \underline{\underline{\text{Budget für konservierende Maßnahmen}}} \end{aligned}$$

³ Beachten Sie, dass dieser Wert auf Grund von heterogenem Archivmaterial innerhalb der Bestände stark schwanken kann.

⁴ 1.680.000 kg x 30,00 €

⁵ Zu beachten ist, dass sich die vorstehende Empfehlung lediglich auf den ermittelten Erhaltungszustand bezieht. Sämtliche Aspekte zur Wertigkeit oder Priorität einzelner Bestände sind nicht in diese Auswertung eingeflossen.

* Die Angabe von 30,00 € zzgl. MwSt. gilt für Aktenbestände. Reine Buchbestände haben i. d. R. einen geringeren Umfang an Vor- und Nachsortierungsarbeiten und würden sich in diesem Fall mit ca. 20,00 € - 25,00 € zzgl. MwSt. kalkulieren.



Da große Bestände des Staatsarchivs Verschmutzungen aufweisen, sollte zur Bestandspflege eine Reinigung in Betracht gezogen werden.

Auf Grund von Vergleichswerten kann das ZFB mit der nachfolgenden Kategorisierung einen Anhalt zur Budgetplanung geben.

Bitte beachten Sie hier auch die Querverbindung zur Massenentsäuerung: stark verschmutzte Bestände müssen vor einer Massenentsäuerung immer gereinigt werden. Hier können verschmutzte Bestände die Kosten der Massenentsäuerung indirekt beeinflussen.

- **Bestände mit starker Verschmutzung** (seitenweise Reinigung)
 - o ca. 1.000,00 – 1.500,00 € (zzgl. Mehrwertsteuer) / lfm.
- **Bestände mit mittlerer Verschmutzung** (Außen- und teilweise Innenreinigung)
 - o ca. 500,00 € (zzgl. Mehrwertsteuer) / lfm.
- **Bestände mit leichter Verschmutzung** (lediglich Außenreinigung inkl. Schnitte)
 - o ca. 200,00 € - 300,00 € (zzgl. Mehrwertsteuer) / lfm.



Anhang

1. Informationen zur Funktionsweise und zur Entwicklungshistorie der NIR-Paperrating –Technologie

1.1 Analyse des Alterungszustandes von Papier mit Nah-Infrarot

von Dr. Dirk A. Lichtblau²

erschienen in *PapierRestaurierung* Vol. 5 (2004), No. 3, Seite 5 – 6.

Mit einer visuellen Prüfung lässt sich der Alterungszustand von Papier nicht eindeutig feststellen. Bisherige Analysemethoden sind für große Bestände zu teuer bzw. deren Probenvorbereitung und Handhabung zu aufwendig. Entscheidender Nachteil ist der Probenbedarf. Da diese Methoden nicht zerstörungsfrei arbeiten, ist ihre Anwendung auf Originale, selbst bei Mikroanalysen, kaum vorstellbar. Vor diesem Hintergrund wurde vom Zentrum für Bucherhaltung Leipzig (ZFB) in Kooperation mit der Papiertechnischen Stiftung Heidenau (PTS) eine spektroskopische Messtechnik entwickelt, mit welcher große Bestände in vertretbarer Zeit evaluiert werden können. Diese Technik erfordert keine Probenvorbereitung, ist einfach in der Anwendung, arbeitet völlig zerstörungsfrei und erlaubt eine sichere Bewertung des Alterungszustandes. Diese Arbeiten wurden von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) gefördert. Grundlage von *NIR-Paperrating* sind standardisierte Messgrößen, welche der Beschreibung des Alterungszustandes dienen. Der von Musterpapieren ermittelte Referenzdatensatz wurde anschließend mit deren NIR-Spektren in Beziehung gesetzt.

Messprinzip

Als NIR wird der Bereich zwischen dem sichtbaren und mittleren infraroten Licht bezeichnet (12.000 – 4.000 cm^{-1} , 850 – 2.500 nm). In diesem Bereich liegt eine Vielzahl von Kombinations- und Oberschwingungen, welche den Informationsgehalt des Gesamtspektrums erhöhen, deren Interpretation aufgrund vielfältiger Überlagerungen aber nur noch mit Chemometrik beherrschbar ist. Hierbei werden die komplexen Zusammenhänge in den Spektren auf wenige spezifische Grundmuster zurückgeführt, die es der Rechentechnik erlauben, nahezu den gesamten Informationsgehalt der Spektren für quantitative Auswertungen zu nutzen. Das eingesetzte NIR-Spektrometer arbeitet auf der Grundlage der Remissionspektroskopie. Von einer im Messkopf integrierten Lichtquelle wird Licht mit infrarotem Anteil auf die Probe gestrahlt. Dieses regt die Probe zu charakteristischen Schwingungen an. Passend zu diesen Schwingungen werden Absorptionsbanden aus dem kontinuierlichen Lichtspektrum entzogen. Das von der Probe remittierte, in seinem Spektrum veränderte Licht wird auf den Spektrographen übertragen und von einem Diodenarraydetektor aufgezeichnet. Bei guter Auflösung und thermischer Stabilität wurde mit dieser Anordnung eine hohe Reproduzierbarkeit erreicht. Zur Messgenauigkeit trägt weiterhin die vorhandene interne Kalibrierung des NIR-Spektrometers per Mausclick bei.

Messanordnung

Das Messsystem besteht aus dem transportablen NIR-Spektrometer und einem Messkopf für Feststoffe. Dieser ist mittels Lichtleiter mit dem Spektrometer verbunden. Er wurde mit einer Auflagemöglichkeit und einer Andrückplatte versehen. Der integrierte Rechner erlaubt die direkte Ausgabe der Ergebnisse; eine höhere Mobilität wird durch Vernetzung mit einem Notebook ermöglicht. Zur Messung wird das zu bewertende Papier auf die Öffnung der Lichtquelle gelegt. Um die Stabilität der Methode zu garantieren, werden pro Bewertung drei Messungen an unterschiedlichen Stellen vorgenommen. Die aufgenommenen Spektren werden automatisch gemittelt und es erfolgt die sofortige Ausgabe der Bewertung. Die benötigte Messzeit pro Objekt wird von der Handhabung der Probe bestimmt, da für Spektrenaufnahme und Berechnung jeweils nur Sekundenbruchteile benötigt werden. Wegen des relativ tief eindringenden NIR-Lichtes ist die Messung mit mehreren Lagen vorzunehmen. Vorhandener Text wirkt sich auf die Messung nicht störend aus, jedoch sind Abbildungen mit sättigend aufgetragenen Farben (z. B. Bilder mit hohem Schwarzanteil) zu vermeiden. Während bei einem Buch ein minimales Andrücken zum Entfernen von Zwischenräumen genügt, sollten lose Blätter mit der Andrückplatte beschwert werden.

² Dr. Dirk A. Lichtblau ist Diplomchemiker und Leiter der Forschungs- und Entwicklungsabteilung des ZFB – Zentrum für Bucherhaltung. Er war maßgeblich an der Entwicklung der *NIR-Paperrating* –Technologie beteiligt.



Messmethode

Die vorliegende Meßmethode basiert auf dem Vergleich von experimentellen Referenzdaten mit analytischen, in diesem Fall spektroskopischen *NIR-Paperrating*-Messdaten. Diese werden mit Hilfe multivariater Statistik wie der Methode der kleinsten Quadrate miteinander korreliert. Mit diesen Auswerteverfahren der Chemometrik können allgemein Zusammenhänge zwischen chemisch-experimentellen und analytisch-chemischen Daten dargestellt werden. Zur Bewertung des Alterungszustandes wurden hauptsächlich Referenzgrößen zur Beschreibung der mechanischen Festigkeit herangezogen. Für eine umfassende Bewertung sind diese mehr physikalischen Festigkeitsgrößen jedoch nicht ausreichend, da mit ihnen nur der momentane Zustand, nicht aber die zukünftige Geschwindigkeit des Abbaus beschrieben wird. Daher kann erst zusammen mit chemischen Messgrößen, welche den Grad der Schädigung der Cellulose abbilden, eine optimale Bewertung erfolgen. Zur Erstellung des Musterdatensatzes wurden über 100 verschiedene Holzschliff- und Zellstoffpapiere der Jahrgänge 1886 – 1993 untersucht. So wurden z.B. die Bruchkraft F_{\max} in Maschinenrichtung und die Grenzviskosität ermittelt. Der Musterdatensatz wurde in Alterungszustände eingeteilt und deren Grenzen validiert. Zur Absicherung der Zustandsgrenzen gehörte auch die Entsäuerung der Muster mit anschließender erneuter Analyse. Nachdem die Bewertung des Alterungszustandes anhand der Musterdaten abgesichert war, wurden diese durch chemometrische Methoden mit den spektroskopischen NIR-Messdaten verknüpft. Um den Fehler von *NIR-Paperrating* möglichst klein zu halten, wurden für Holzschliffe und Zellstoffe eigenständige Methoden entwickelt. Dies war aufgrund der unterschiedlichen spektralen Charakteristik für eine stabile Ergebnisvorhersage erforderlich. Daneben spielte auch die Verschiebung der Messbereiche in Abhängigkeit von der Papiersorte eine Rolle. So werden für Holzschliffe niedrigere Bruchkräfte F_{\max} als für Zellstoffe gemessen. Charakterisiert wurden die Papiersorten über den Ligningehalt, welcher daher bei der spektroskopischen Bewertung immer zuerst bestimmt wird (Lignin < 10 % = Zellstoff). Danach erfolgt die weitere Analyse anhand der zumeist papiersortenspezifischen *NIR-Paperrating*-Methoden. Für die Darstellung der Ergebnisse wurde ein Schema entworfen, welches den Alterungszustand nach physikalisch-chemischen Referenzdaten und unabhängig von der strategischen Ausrichtung der Bestandserhaltung vornimmt. Zudem wird eine Empfehlung in Bezug auf die Verwendungsmöglichkeit der Massenentsäuerung vorgenommen. Anhand dieses Modells können derzeit drei Bewertungen vergeben werden – Zustand 1, 3 bzw. 5 genannt. Mit dem Anwachsen des Datensatzes aus weiteren Untersuchungen ist vorgesehen, den Zustand 3 bzw. die Grenzbereiche 1–3 und 3–5 differenzierter mit den bisher nicht vergebenen Zuständen 2 und 4 zu beschreiben.

Softwareapplikation

In eine auf Microsoft Windows basierende Software wurden die erarbeiteten Methoden in ein Applikationsmodul mit Bedienoberflächen (Standard-/Detailformat) integriert. Die Kombination aus Geräte- und Applikationssoftware erlaubt die Bedienung des Spektrometers per Mausklick. So wird, neben der Auswahl einer Datei und der Eingabe der Probenbezeichnung, das Gerät auch intern kalibriert sowie die Messung per Software gestartet. Außerdem wird der Fortschritt der Bewertung angezeigt. Nach der Messung wird das Ergebnis sofort auf dem Bildschirm als jeweiliger Alterungszustand und mittels eines farbigen Balkens dargestellt (Zustand 1 = grün, Zustand 3 = gelb, Zustand 5 = rot). Auch wenn eine detailliertere Unterteilung bislang nicht möglich war, so kann doch an der Länge des Balkens eine tendenzielle Abschätzung innerhalb des Zustandes durchgeführt werden. Für die Erfassung und schnelle Bewertung großer Bestände werden die Ergebnisse tabellarisch in einer Textdatei abgelegt, wobei jede Zeile einer Messung entspricht. Neben dem Probenamen und einem optionalen Kommentar werden Datum und Zeitpunkt der Messung sowie die Ergebnisse aller Messgrößen gespeichert. Die Textdatei kann mit Microsoft Excel ausgewertet werden.

Ausblick

Holzschliffe und Zellstoffe machen den größten Teil der gefährdeten Bestände aus. Mit *NIR-Paperrating* ist es Archiven und Bibliotheken möglich, den Alterungszustand dieser Papiersorten eindeutig und wissenschaftlich fundiert zu analysieren sowie das Alterungsverhalten der Bestände durch die wiederholte Evaluierung zu erfassen. Für die Bestandserhaltung ist die zerstörungsfreie *NIR-Paperrating*-Bewertung ein Instrument zur Strategieumsetzung und erhöht deren Effizienz beträchtlich. Die Bewertung des Alterungszustandes wird als Dienstleistung verfügbar sein; Publikationen zum wissenschaftlichen Hintergrund und zu ersten Anwendungen sind in Vorbereitung.



2. Die Grundlagen der statistische Probenauswahl mit *NIR-Paperrating*

2.1 Erhaltungszustand von Dokumenten in Sammlungen und Bibliotheken:

Berechnung des notwendigen Stichprobenumfangs

von Prof. Dr. Claudia Becker,

Juristische und Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Wirtschaftswissenschaftlicher Bereich der
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

im Auftrag der *ZFB - Zentrum für Bucherhaltung GmbH*, Leipzig

2006

Der Erhaltungszustand von Dokumenten (Bücher, Akten) in Sammlungen und Bibliotheken ist eine wichtige Kenngröße für die Qualität und Nutzbarkeit eines Bestands. Bei größeren und sehr großen Beständen bei denen nicht jedes Objekt untersucht werden kann, kann eine Stichprobenuntersuchung des Bestands durchgeführt werden. Für die Auswahl einer solche Stichprobe gibt es die verschiedenen Ansätze. Zur Absicherung der Ergebnisse mit einem Konfidenzniveau (auch Sicherheitswahrscheinlichkeit) von z. B. 90% (= 90% der Objekte wurden richtig bewertet) und damit der Verlässlichkeit der Gesamtmethode ist der benötigte Stichprobenumfang mathematisch zu bestimmen. Nur so können mit einer gewissen statistischen Sicherheitswahrscheinlichkeit belastbare Aussagen über den Erhaltungszustand des untersuchten Bestands getroffen werden. Im nachfolgenden soll der notwendige Stichprobenumfang hergeleitet werden. Für diese Herleitung wurden Überlegungen zur Charakteristik von Dokumentenbeständen und zum verwendeten Bestimmungsverfahren für den Zustand eines Dokuments herangezogen.

Voraussetzungen und Modell

Mit Hilfe von *NIR-Paperrating* kann der Zustand eines Dokuments mit einer oder mehrerer nicht zerstörender Messungen klassifiziert werden. Generell muss man zunächst davon ausgehen, dass die Dokumente in einem Bestand bezüglich ihres Zustands sowohl untereinander (zwischen den Objekten) als auch in sich (innerhalb der Objekte) heterogen sind. Diese Heterogenität zwischen den Objekten wird in der Berechnung des benötigten Stichprobenumfangs berücksichtigt. Der Heterogenität innerhalb der Objekte kann nur durch Mehrfachmessungen an verschiedenen Stellen desselben Objekts Rechnung getragen werden.

An dieser Stelle ist die prinzipielle Unterscheidung von Dokumenten in Bücher, Akten oder andere Typen vorzunehmen. Im vorliegenden Modell wird eine Unterscheidung zwischen heterogenem und homogenem Material vorgenommen. Während man davon ausgehen kann, dass ein Buch oder ein Zeitungsband bezüglich des Erhaltungszustands ein insgesamt vergleichsweise homogenes Objekt darstellt, muss man bei einer Akte von einer relativ starken Heterogenität ausgehen, da hier insbesondere verschiedenste Papierarten innerhalb desselben Dokuments vereint sind. Um einen Datenpunkt zu erhalten, werden mit *NIR-Paperrating* drei Messpunkte gemessen. Diese werden gemittelt und als ein Datenpunkt ausgegeben. Misst man nun drei Messpunkte im mehr geschädigten Randbereich und drei Messpunkte im inneren Textbereich, so wird von einer Doppelmessung gesprochen.

Als Ausgangspunkt für die statistische Herleitung wird davon ausgegangen:

- dass ein homogeneres Material (Buch, Zeitung) mittels einer Doppelmessung klassifiziert werden kann und
- dass für heterogenes Material (Akten) drei solcher Doppelmessungen anzusetzen sind.

Wichtig ist, dass die Durchführung von nur einer Messung pro Akte bei gleichzeitiger Verdreifachung des Stichprobenumfangs nicht zur selben Genauigkeit bei der Schätzung der Erhaltungszustände des Gesamtbestands führt wie bei Büchern. Denn in der Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfangs wird zwar die Heterogenität zwischen den Akten bereits berücksichtigt; bei nur einer Messung pro Akte erhält man jedoch keine Schätzung für die Heterogenität innerhalb der Akte. Mit der dreifachen Doppelmessung pro Akte wird auch diese Heterogenität mit einbezogen. Damit ist insgesamt eine bessere Schätzung des Erhaltungszustands des Dokumentenbestands möglich (generell sei im Folgenden mit einer Messung stets eine solche Doppelmessung gemeint).



Zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfangs wird folgendes Modell unterstellt:

- ein gewisser Teil des Bestands wird zwar als Bestand geführt, ist aber zu einem Stichzeitpunkt tatsächlich nicht zugänglich (entweder verschwunden, falsch einsortiert oder ausgeliehen);
- ein weiterer Teil der Dokumente besteht aus einem Material, das nicht vermessen werden kann;
- der Erhaltungszustand eines messbaren Dokuments schließlich kann in eine von drei möglichen Zustandsklassen eingeordnet werden; diese Zustände können als Einschätzungen "gut", "mittel" und "schlecht" interpretiert werden.

Damit kann für eine beliebige Stichprobe vom Umfang n aus der Grundgesamtheit des Bestands ein Multinomialmodell unterstellt werden:

$$P(X_i = x_i, i = 1, \dots, k) = \frac{n!}{\prod_{i=1}^k x_i!} \prod_{i=1}^k p_i^{x_i}, \quad (1)$$

wobei

k = Anzahl der angesetzten Zustände,

n = Umfang der Stichprobe,

x_i = Anzahl der Objekte in der Stichprobe in Zustand i , $\sum_{i=1}^k x_i = n$,

p_i = Anteil der Objekte in Zustand i in der Grundgesamtheit, $\sum_{i=1}^k p_i = 1$.

Gibt es keine Fehlbestände und sind alle Dokumente messbar, so ist $k = 3$ zu wählen. Anderenfalls kann man entweder zwischen nicht messbaren und nicht verfügbaren Dokumenten unterscheiden ($k = 5$) oder diese beiden Dokumente zu einem Zustand zusammenfassen ($k = 4$). Die Stichprobenplanung wird so durchgeführt, dass mit der vorgegebenen Sicherheit die Anteile p_i für jeden der k Zustände zuverlässig geschätzt werden können. Je mehr Zustände unterschieden werden, umso größer muss daher der Stichprobenumfang sein. Grob gesagt, muss durch den Stichprobenumfang sichergestellt werden, dass aus jedem interessierenden Zustand genügend viele Objekte in die Stichprobe gelangen.

Allgemeines Vorgehen, Konfidenz und relativer Fehler

Grundsätzlich sind in der beschriebenen Ausgangssituation zwei Ansätze statistischer Stichprobenziehung als sinnvolle Möglichkeiten anzusehen: die einfache und die geschichtete Zufallsauswahl, an dieser Stelle soll jedoch nur die einfache Zufallsauswahl betrachtet werden.

Verfügt man über keine weitergehende Information über den zu untersuchenden Dokumentenbestand, so stellt sich der Bestand als heterogene, nicht in homogene Teile zu gliedernde Masse dar. In diesem Fall ist die einfache Zufallsauswahl das sinnvollste Instrument. Da davon auszugehen ist, dass in der heutigen Zeit große Sammlungen bzw. Bibliotheken über elektronische Kataloge und damit letztlich über eine Liste ihres Bestands verfügen, stellt die technische Umsetzung einer einfachen Zufallsauswahl, die in anderen Anwendungen durchaus problematisch sein kann, hier kein Hindernis dar.

Unabhängig davon, welche Art der Stichprobenziehung gewählt wird, ist das Vorgehen bei der Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfangs n prinzipiell gleich [HARTUNG et al.]: zunächst wird unter Berücksichtigung des Ziehungsschemas eine erste Näherung n_0 für den Stichprobenumfang berechnet. Daraus bestimmt man den notwendigen Stichprobenumfang gemäß



$$n \approx \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}, \quad (2)$$

wobei N den Umfang der Grundgesamtheit (hier also die Anzahl der Dokumente im Bestand) bezeichnet. Das Ergebnis aus (2) wird auf die nächst größere ganze Zahl aufgerundet.

Zur Bestimmung von n_0 wird neben der Art der geplanten Zufallsauswahl die Angabe zweier weiterer Größen benötigt. Es müssen das Konfidenzniveau β (Sicherheitswahrscheinlichkeit) und der so genannte zulässige relative Fehler ε festgelegt werden. Nach der Stichprobenerhebung und Vermessung der ausgewählten Objekte werden die Anteile p_i aus (1) durch die entsprechenden Anteile in der Stichprobe geschätzt. Der zulässige relative Fehler ε gibt an, wie breit der Bereich sein darf, in dem der Schätzwert für jedes der p_i sich realisieren kann, und zwar als prozentualer Anteil an p_i . Wählt man beispielsweise $\varepsilon = 10\%$, so können die Schätzwerte für ein p_i von 0.5 in einem Bereich der *Breite* $2 \cdot 0.1 \cdot 0.5 = 0.1$ variieren. Liegt der zulässige relative Fehler fest, kann statistisch mit einer gewissen Sicherheitswahrscheinlichkeit β , die ebenfalls vorgegeben werden muss, garantiert werden, dass der Bereich der angegebenen Breite den wahren Anteil p_i tatsächlich enthält. übliche Werte für diese Sicherheitswahrscheinlichkeit sind 90, 95 oder 99%.

Einfache Zufallsauswahl

Aus dem Binomialmodell ($k = 2$ Zustände, es interessiert nur ein Anteil p von Objekten mit einer gewissen Eigenschaft) ist als erste Näherung zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfangs mittels einer einfachen Zufallsstichprobe folgende Formel bekannt [LEVY et al.]:

$$n_0 = \frac{0.25 \cdot z_{1-\alpha/2}^2 \cdot N}{N \cdot \hat{p}^2 \cdot \varepsilon^2 + 0.25 \cdot z_{1-\alpha/2}^2}, \quad (3)$$

wobei sich die Irrtumswahrscheinlichkeit aus dem vorgegebenen Konfidenzniveau β ergibt durch $\alpha = 1 - \beta$, $z_{1-\alpha/2}$ das $(1 - \alpha/2)$ -Quantil der Standardnormalverteilung bezeichnet und ε der zulässige relative Fehler ist. Weiterhin bezeichnet \hat{p} eine Schätzung für p , z.B. auf Basis einer Vorerhebung. Genauer gesagt, kann man zur Minimierung des benötigten Stichprobenumfangs den größeren Wert aus \hat{p} und $1 - \hat{p}$ benutzen. Kann man p nicht aus einer Vorinformation zumindest grob schätzen, wählt man $\hat{p} = 0.5$, da dieser Wert unter allen möglichen Wahlen des größeren Wertes aus \hat{p} und $1 - \hat{p}$ zum größten Wert für n_0 führt. Man bezeichnet die Wahl von $\hat{p} = 0.5$ daher auch als Fall der schlechtesten Vorinformation. Es ergibt sich

$$n_0 = \frac{z_{1-\alpha/2}^2 \cdot N}{N \cdot \varepsilon^2 + 0.25 \cdot z_{1-\alpha/2}^2}. \quad (4)$$

Als direkte Übertragung auf das Multinomialmodell bietet es sich an, auf Basis von (3) für jeden zu modellierenden Zustand i eine Vorabschätzung \hat{p}_i für p vorzunehmen, den notwendigen Stichprobenumfang $n_{0,i}$ zur Bestimmung von p_i analog zu (3) zu berechnen und als konservativen Ansatz das Maximum dieser berechneten Stichprobenumfänge zu benutzen. Man erhält

$$n_0 = \max_{i=1,\dots,k} n_{0,i} = \max_{i=1,\dots,k} \frac{0.25 \cdot z_{1-\alpha/2}^2 \cdot N}{N \cdot \hat{p}_i^2 \cdot \varepsilon^2 + 0.25 \cdot z_{1-\alpha/2}^2}. \quad (5)$$

Bei dieser Herleitung wurde noch nicht berücksichtigt, dass das Konfidenzniveau beim Binomialmodell für die Schätzung des Anteils für nur einen einzelnen Zustand gewährleistet wird, während im Multinomialmodell mit mehr als zwei Zuständen insgesamt k Schätzungen durchgeführt werden müssen, für die insgesamt das Konfidenzniveau gewährleistet werden soll. Dies ist durch eine Modifikation von (5) zu erreichen, indem die Irrtumswahrscheinlichkeit α durch α / k ersetzt wird (so genannte Bonferroni Korrektur). In einem ähnlichen Ansatz kann man sich mit der Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfangs in einem Multinomialmodell auch auseinander setzen, ohne jedoch



einen Bezug zum Umfang der betrachteten Grundgesamtheit herzustellen [BROMAGHIN]. Als Zwischenschritt ergibt sich

$$n_0 = \max_{i=1, \dots, k} \frac{0.25 \cdot z_{1-\alpha/(2k)}^2 \cdot N}{N \cdot \hat{p}_i^2 \cdot \varepsilon^2 + 0.25 \cdot z_{1-\alpha/(2k)}^2}. \quad (6)$$

Das Maximum in (6) wird offensichtlich für den minimalen vorab geschätzten Wert $\min_{i=1, \dots, k} \hat{p}_i$ erreicht. Aufgrund der Nebenbedingung, dass $\sum_{i=1}^k p_i = 1$ und damit notwendig auch $\sum_{i=1}^k \hat{p}_i = 1$ gelten muss, kann man (6) zugunsten eines kleineren benötigten Stichprobenumfangs korrigieren, indem statt des kleinsten \hat{p}_i der zweitkleinste Wert eingesetzt wird. Bezeichne dazu $\hat{p}_{(1)} \leq \hat{p}_{(2)} \leq \dots \leq \hat{p}_{(k)}$ die der Größe nach geordneten Einschätzungen bzw. Vorabschätzungen der \hat{p}_i , dann ergibt sich als endgültige Formel zur Bestimmung der ersten Näherung n_0 des benötigten Stichprobenumfangs bei einfacher Zufallsauswahl:

$$n_0 = \frac{0.25 \cdot z_{1-\alpha/(2k)}^2 \cdot N}{N \cdot \hat{p}_{(2)}^2 \cdot \varepsilon^2 + 0.25 \cdot z_{1-\alpha/(2k)}^2}. \quad (7)$$

Damit muss schließlich vorab nur noch eine Einschätzung für den Anteil der Zustandsklasse mit der zweitschwächsten Besetzung in der Grundgesamtheit gegeben werden. Die tatsächliche Schätzung von $p_{(2)}$ anhand der Stichprobe wird in der Regel von der vorab gegebenen Schätzung abweichen. Dennoch ist eine nachträgliche Korrektur des Stichprobenumfangs nicht notwendig, da die Unsicherheit der Information über $p_{(2)}$ bei der Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfangs inhärent berücksichtigt wird.

