

Das SurveNIR – System zur Bewertung des Zustands und des Alterungsverhaltens von Papier

Bericht über das Forschungsseminar und den Workshop
8.-10. September 2009, Bern

an der Hochschule der Künste Bern,
Forschungsschwerpunkt Materialität in Kunst und Kultur und
an der Schweizerischen Nationalbibliothek Bern

Dirk Lichtblau, Sebastian Dobrusskin und Agnes Blüher

 <p>Lichtblau SurveNIR</p>	<p>Lichtblau e.K. Materialprüfungen für Kultur und Industrie</p>
 <p>Berner Fachhochschule Haute école spécialisée bernoise Hochschule der Künste Bern Haute école des arts de Berne</p> <p>Forschungsschwerpunkt Materialität in Kunst und Kultur</p>	
 <p>Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra</p>	<p>Eidgenössisches Departement des Innern EDI Bundesamt für Kultur BAK Schweizerische Nationalbibliothek NB</p>

Oktober 2009

Kontaktdaten der Autoren

Dr. Dirk Andreas Lichtblau	Lichtblau e.K. Mommsenstrasse 7, 04329 Leipzig, Deutschland Tel. +49 341 259 8941 Fax +49 341 259 8999 E-Mail mail@lichtblau-germany.com Internet www.lichtblau-germany.com
Prof. Sebastian Dobrusskin	Hochschule der Künste Bern Forschungsschwerpunkt Materialität in Kunst und Kultur Fellerstrasse 11, 3027 Bern, Schweiz Tel. +41 31 848 3887 Fax +41 31 848 3881 E-Mail sebastian.dobrusskin@bfh.ch Internet www.hkb.bfh.ch
Dr. Agnes Blüher	Schweizerische Nationalbibliothek Dienst Konservierung Hallwylstrasse 15, 3003 Bern, Schweiz Tel. +41 31 322 2359 Fax +41 31 322 8463 E-Mail agnes.blueher@nb.admin.ch Internet www.nb.admin.ch

Dank

Die Autoren danken den folgenden Personen für die Mitwirkung am Workshop und an der Vorbereitung der Proben: Elke Mentzel, Giovanna Di Pietro, HKB; Gabriela Grossenbacher, André Page, Gertrud Ammann, NB; Michael Ramin, NCW.



Abbildung 1. Die Schweizerische Nationalbibliothek im September 2009.

Zusammenfassung

Das SurveNIR System ermöglicht die wissenschaftliche Erfassung und Bewertung des Zustandes von Papier in Sammlungen hinsichtlich des Abbau- und des Gefährdungsgrades.^{1,2,3} Das Prinzip basiert auf einer statistischen Auswertung der Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIR). SurveNIR ist ein mobiles System, welches in Archiven oder Bibliotheken eingesetzt werden kann, ohne dass die Objekte die Einrichtung oder das gewohnte Umgebungsklima verlassen müssen.

SurveNIR ist eine schnelle und zerstörungsfreie Technologie, die Messungen können wiederholt auf demselben Messpunkt erfolgen. Wasserflecken, farbige Markierungen oder Materialverlust wie bei bisherigen Techniken sind ausgeschlossen. Hauptkomponenten sind das NIR-Spektrometer und die Anwendersoftware mit einer Vielzahl an Funktionen. Diese wurde für die effiziente Durchführung von Bestandsaufnahmen optimiert. Das für Bewertungen in Bibliotheken und Archiven entwickelte NIR-Spektrometer garantiert ein Maximum an Objektsicherheit.

Akuter Restaurierungsbedarf wie auch nachhaltige Bestandserhaltungsstrategien können mit SurveNIR ermittelt werden. Die integrierte Papiersortenerkennung sowie die Auswertung relevanter chemisch-physikalischer Messgrößen wie Säuregehalt (pH), durchschnittlicher Polymerisationsgrad, Bruchkraft, Ligningehalt und Anwesenheit von optischen Aufhellern machen dies möglich. Neben den Messgrößen sind mit Datenbank, Ergebnisbewertung und Datenausgabe weitere Elemente enthalten.

SurveNIR nutzt die Individualität eines jeden Papiers, welche sich in den NIR-Spektren widerspiegelt. Basierend auf der Korrelation der Referenzdaten von 1400 europaweiten Papieren und deren NIR-Spektren ist es SurveNIR möglich, Daten aus einer Vielzahl typischer historischer und moderner Papiere zu extrahieren. Mit SurveNIR können Originale aus mehr als 200 Jahren bewertet werden. SurveNIR wurde auch mit Unterstützung der EU innerhalb des 6. Rahmenprogramms entwickelt und wird von der Firma Lichtblau e.K. vermarktet.⁴

Um die Anwendungsbreite von SurveNIR kennenzulernen, wurden im Rahmen mehrerer Workshops verschiedenste Papiere gemessen, darunter Originale der Schweizerischen Nationalbibliothek (NB), historische Testpapiere, neue Musterpapiere, aber auch verschiedene Sonderfälle. Insgesamt erfolgten 175 Messungen an 86 Objekten. Die NB ist an dem SurveNIR System interessiert, um damit hauptsächlich die Auswahl für die Massenentsäuerung durchzuführen. Dabei sind besonders die Objekte zu bestimmen, welche bereits zu brüchig für die Entsäuerung sind. Folgende weitere Anwendungsgebiete von SurveNIR sind in der NB vorerst vorgesehen:

- Papierentsäuerung allgemeine Sammlung: Auswahl der Bücher aus den Zeitschriften-Signaturen, die derzeit entsäuert werden, mit hohem Anteil an brüchigen Papieren.
- Papierentsäuerung Schweizerisches Literaturarchiv: Auswahl der Papiere, die behandlungsbedürftig sind, und damit kombiniert:
- Zustandserfassung für die Graphische Sammlung
- Materialprüfung: unterstützende und / oder schnellere Charakterisierung neuer Materialien, die für die Restaurierung/Konservierung in der NB verwendet werden.

Die Auswertung der Messungen im vorliegenden Bericht zeigt die breite Anwendbarkeit des Gerätes. Die Papiere konnten wie gewünscht in Zustandsklassen eingeteilt werden. Aus den Daten ergibt sich der jeweilige Behandlungsbedarf für die Objekte. Der Einsatz im Tiefmagazin der NB war möglich, so dass das Gerät vor Ort zur Auswahl bei der Papierentsäuerung eingesetzt werden kann. Für den Bereich brüchiger und sehr brüchiger Papiere zeigte sich, dass den Papieren ein etwas schlechterer Zustand zugeordnet wird. Der Grund liegt darin, dass das Gerät für diesen Anwendungsbereich bisher nicht optimiert wurde. Durch eine Verbesserung der Datenbasis und der Software ist dies jedoch möglich und wird im Rahmen einer Zusammenarbeit angestrebt. Der Dienst Konservierung strebt die Anschaffung des SurveNIR-Gerätes für die Schweizerische Nationalbibliothek an, da ohne dessen Einsatz ein effizientes, professionelles Vorgehen im Bereich brüchiger Papiere nicht möglich wäre.

Summary

The SurveNIR system is able to determine and to rate the condition of paper in collections in a scientific manner regarding its degree of degradation and hazard.^{1,2,3} The SurveNIR system is based on statistical evaluation of near infrared spectra. SurveNIR is a mobile system which can operate in the repository without moving the object to another location or environment.

SurveNIR is very fast and above all non-invasive; measurements can be repeated on the same spot. No colour marks, water stain or damages like with usual techniques will remain. Main components of SurveNIR are the NIR-spectrometer, a computer and the user friendly software with a lot of functions to execute an efficient survey. Accessories like foot step trigger and live video of the measurement spot complete the system. The system is specially designed to guarantee maximum object safety.

Short-term preservation needs as well as long-term strategies can be defined on the basis of the SurveNIR paper identification tool and due to relevant chemical-physical parameters like acidity (pH), degree of polymerisation, tensile strength, lignin content and presence of optical brighteners. Besides determinations of parameters are data base, rating and reporting elements included.

SurveNIR is using the individuality of each paper, which is represented within the NIR-spectra. Based on the correlation of reference data from 1400 paper all around Europe with their NIR-spectra, SurveNIR is able to extract data from a wide range of typically historical and modern papers in libraries and archives over a range of more than 200 years. SurveNIR was also developed within an EU 6th framework program and is marketed by company Lichtblau e.K..⁴

To become acquainted with the implementation range of the SurveNIR system, different items were measured like originals from the Swiss National Library, historical test papers, new model papers as well as different special cases. 175 measurements on 86 items were carried out within several workshops. The interests of the Swiss National Library are based on the pre-selection of items for mass deacidification, especially to define items which are already too brittle to deacidify them. The application area of SurveNIR for the National Library can be summarized as follows:

- Paper deacidification general collection: Selection of books with journal shelf marks and a high content of brittle paper
- Paper deacidification of Swiss Literature Archive: Selection of paper which needs a treatment and combined with it:
- Evaluation of the condition of the Prints and Drawings Department
- Material testing: supporting and / or fast characterization of new materials which are used at the National Library for preservation and conservation purposes.

With the results of this report could be demonstrated, that the system can be widely used. The different paper could be sorted into different degradation states as proposed. The obtained data represent the preservation need for the measured objects. The use in the repository of the national library is feasible. In conclusion, the system can be used for the pre-selection prior mass deacidification. For brittle or extreme brittle paper was found that they are recognized in a worse state than data from the National library has shown. The most probable reason is because the reference database wasn't optimized for this specific application until now. Optimization can be done with a better database and a software improvement. National Library and Lichtblau e.K. considered that to cooperate is interesting for both. The department of conservation has recommended the purchase of the SurveNIR system for the Swiss National Library, since without it a professional procedure wouldn't be possible.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Ausgangslage in der NB	9
3	Inhalt und Ziel des Workshops	10
4	Das Messprinzip des SurveNIR-Gerätes	10
4.1	NIR-Spektroskopie und ihre Vorteile für die Anwendung auf Papier.....	10
4.2	Einführung in die Chemometrik zur Auswertung von NIR	11
5	Die Messanordnung	13
5.1	Das Gerät.....	13
5.2	Ausschaltung des Einflusses der Papierfeuchte.....	15
5.3	Änderungen bei der neuen Version (Verkaufsgerät)	15
6	Der Referenzdatensatz	17
7	Die chemisch-physikalischen Papierparameter	17
8	Die Referenzanalytik	18
8.1	Faserzusammensetzung.....	19
8.2	pH-Wert.....	19
8.3	Durchschnittlicher Polymerisationsgrad (DP)	19
8.4	Molekulargewicht	20
8.5	Bruchkraft.....	20
8.6	Bruchkraft nach Bansa-Hofer-Falzung.....	21
8.7	Ligningehalt.....	22
8.8	Proteingehalt.....	22
8.9	Harzleimung (Rosin)	22
8.10	optische Aufheller.....	23
9	Der Anwendungsbereich	23
9.1	Messbare Proben.....	23
9.2	Nicht messbare Proben.....	23
10	Weitere Funktionen der SurveNIR-Software (SUSO)	23
10.1	Gleichzeitige visuelle Zustandserfassung.....	24
10.2	Definition von Zustandsklassen / Kategorien für die Messgrößen.....	24
10.3	Zusammenfassen von Messgrößen zu Indices	25
10.4	Eingabe der Probandaten	26
10.5	Ausgabe der Ergebnisse / Berichtmöglichkeiten	26
10.6	Externe Weiterverarbeitung der Ergebnisse	27
10.7	Lernmodus	28

11	Das Probenmaterial des Workshops	29
11.1	Allgemeines.....	29
11.2	Historische Testpapiere	29
11.2.1	Referenzmaterial NB 2009.....	30
11.2.2	Diverse brüchige Papiere und Zeitungspapiere.....	31
11.2.3	Proben mit Angabe einer Priorität für die Massenentsäuerung	31
11.2.4	Externe Proben	33
11.3	Originale	33
11.3.1	Hadernpapiere aus der NB	33
11.3.2	Amtsdruckschriften aus der NB	33
11.4	Neue Papiermuster	34
11.5	Spezialpapiere, Sonderfälle	36
11.5.1	Zuordnung zur Rubrik Sonderfälle	36
11.5.2	Hadernpapiere aus der Aargauer Kantonsbibliothek (AKB)	36
11.5.3	Graphische Papiere aus der NB	36
11.5.4	Weitere Sonderfälle.....	37
12	Die Ergebnisse	38
12.1	Allgemeines.....	38
12.2	Der NIR-ME-Index.....	38
12.3	Reproduzierbarkeit der Messungen.....	42
12.4	Vergleich der verschiedenen pH-Werte	43
12.5	Vergleich der Bruchkraft Fmax nach Bansa-Hofer-Falzung	44
12.6	Möglichkeiten der Auswertung bei Sonderfällen.....	46
13	Schlussbetrachtung	47
14	Ausblick	48
15	Anhang	49
15.1	Programm.....	49
15.2	Teilnehmerliste	49
15.3	Fotos vom Workshop	50
15.4	Datenblätter.....	53
15.5	Messwerttabellen	58
16	Literatur	63

Abkürzungsverzeichnis

BAR	Schweizerisches Bundesarchiv Bern
DP	Durchschnittlicher Polymerisationsgrad
EAD	Eidgenössisches Archiv für Denkmalpflege (in der GS)
GS	Graphische Sammlung (an der NB)
HKB	Hochschule der Künste Bern
LB	Firma Lichtblau e.K.
ME	Massenentsäuerung
MW	Mittleres Molekulargewicht (molecular weight)
NB	Schweizerische Nationalbibliothek Bern
NCW	Nitrochemie Wimmis AG
NIR	Nah-Infrarot-Spektroskopie
OP	Optische Aufheller (optical brighteners)
PCA	Hauptkomponentenanalyse (principal component analysis)
PLS	Methode der kleinsten Fehlerquadrate (partial least square)
SLA	Schweizerisches Literaturarchiv (an der NB)
SUSO	SurveNIR Software
TS	Bruchkraft Fmax (tensile strength)
TSF	Bruchkraft Fmax nach Bansa-Hofer Falzung (tensile strength folded)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.	Die technischen Daten des im Workshop verwendeten SurveNIR Systems.	14
Tabelle 2.	Die Analysenmethoden der NB für die Bewertung des Papierzustandes.	29
Tabelle 3.	Die Referenzpapiersammlung als Teil der historischen Testpapiere.	30
Tabelle 4.	Brüchige Papiere und Zeitungspapiere als Historische Testpapiere.	31
Tabelle 5.	Die Bewertungssysteme der NB im Vergleich zu den SurveNIR Kategorien.	32
Tabelle 6.	Historische Testpapiere mit Bewertung der ME-Prioritäten.	32
Tabelle 7.	Externe Proben als Historische Testpapiere.	33
Tabelle 8.	Hadernpapiere als Bestandteil der Messreihe Originale.	33
Tabelle 9.	Im Tiefmagazin der NB gemessene Originale.	34
Tabelle 10.	Probensammlung Neue Papiermuster.	35
Tabelle 11.	Hadernpapiere mit besonderen Alterungsschäden.	36
Tabelle 12.	Graphische Papiere mit besonderen Alterungsschäden.	36
Tabelle 13.	Probensammlung Sonderfälle.	37
Tabelle 14.	Die Proben für den NIR-ME-Index. Die ME-Priorität nach optisch-haptischer Bewertung wurde der NIR-Bewertung gegenübergestellt. Die Proben wurden in der Tabelle aufsteigend nach ME-Priorität angeordnet.	39
Tabelle 15.	Einteilung der Messgrößen in die vier Kategorien inklusive Wichtungsfaktor.	40
Tabelle 16.	Die Einteilung der zahlenmäßigen NIR-Gesamtbewertung zum NIR-ME-Index.	41
Tabelle 17.	Auszug aus einem Exceldatenblatt zur Berechnung des Gesamtzustandes mit NIR. ...	41
Tabelle 18.	Die SurveNIR Werte für den Spezialfall MOAB vor und nach künstlicher Alterung.	46
Tabelle 19.	Das Programm des Workshops.	49
Tabelle 20.	Die Teilnehmerliste.	49
Tabelle 21.	Beispielhafte Berechnung des NIR-ME-Indexes anhand der Probe "Ref07a-UB".	58
Tabelle 22.	Datenblatt mit allen 60 Proben für den NIR-ME-Index. Kategorien für die Einzelmessgrößen, Bewertungszahl und ME-Priorität.	59
Tabelle 23.	Messwerttabelle für die Messreihe "Historischen Testpapiere".	60
Tabelle 24.	Messwerttabelle für die Messreihe "Originale".	61
Tabelle 25.	Messwerttabelle für die Messreihe "Neuen Papiermuster".	61
Tabelle 26.	Messwerttabelle für die Messreihe "Sonderfälle".	62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.	Die Schweizerische Nationalbibliothek im September 2009.	2
Abbildung 2.	Messprinzip eines NIR-Spektrometers mit Diodenarraydetektor.....	13
Abbildung 3.	Ansicht des für den Verkauf optimierten SurveNIR Gerätes.	15
Abbildung 4.	Messfenster der aktuellen SurveNIR Software V2.0.1 (SUSO).	16
Abbildung 5.	Probennahme mit Hohlneedle und Messung des pH-Wertes mit kombinierter Mikro-pH-Elektrode.....	19
Abbildung 6.	Die Bruchkraft Fmax und Bruchkraft nach Bansa-Hofer Falzung werden mit der Zugprüfmaschine bestimmt. Rechts unten ist die Messanordnung für eine optionale Nullreisslänge gezeigt.....	21
Abbildung 7.	Für das standardisierte Falzen nach Bansa-Hofer wird eine spezielle Apparatur benötigt.	21
Abbildung 8.	Kriterien für die visuelle Zustandserfassung und ihre Einteilung in die vier Kategorien, hier am Beispiel einer Untersuchung am National Museum of Denmark, Kopenhagen.	23
Abbildung 9.	Auswertung der Kriterien für die visuelle Zustandserfassung anhand der vorher definierten vier Kategorien, hier am Beispiel einer Untersuchung am National Museum of Denmark, Kopenhagen.....	24
Abbildung 10.	Die Eingabemaske zur Einteilung der Messgrößen in Kategorien.....	25
Abbildung 11.	Die Datenmaske für die Zuordnung der Indices und Kategorien kann als Analysis Report ausgedruckt werden.....	27
Abbildung 12.	Auswertung der vier Messreihen des Workshops- Anzahl pro Papiersorte.....	28
Abbildung 13.	Für alle gemessenen Proben wurde die Bruchkraft nach Falzung (TSF) in vier Kategorien eingeteilt. Die Auswertung kann, wie gezeigt, auch getrennt nach Papiersorten erfolgen.....	28
Abbildung 14.	Das Diagramm zeigt die prozentuale Abweichung der quantitativen Messgrößen vom jeweiligen Messbereich anhand eines Datensatzes von 11 Zellstoff-, 2 gestrichenen und 9 Holzstoffproben.....	42
Abbildung 15.	Versuch einer Korrelation aller zur Verfügung stehenden Oberflächen-pH der NB Bern mit den auf einem Mikro-Kaltextrakt-pH basierenden SurveNIR pH-Werten.	43
Abbildung 16.	Vergleichende Korrelation zwischen Kaltextrakt-pH und Oberflächen-pH der NB Bern anhand der gleichen Proben, links SurveNIR und rechts Referenzwerte NB Bern.	43
Abbildung 17.	Korrelation der Kaltextrakt-pH-Werte der NB Bern mit den Werten aus SurveNIR.	44
Abbildung 18.	Der Vergleich zeigt die 13 Holzstoffproben, für die TSF Analysewerte der HKB vorlagen.	45
Abbildung 19.	Anzahl der Proben für die Messgröße TSF im Referenzdatensatz mit Unterteilung in Kategorien laut NIR-ME-Index. Die Kategorien "Critical" und "Poor" sind nur mit wenigen Proben besetzt.	46
Abbildung 20.	Der Workshop in einem Seminarraum an der HKB.	50
Abbildung 21.	Demonstration des SurveNIR Gerätes anhand von mitgebrachten Proben der Teilnehmer.	50
Abbildung 22.	Da während des Workshops nur Einzelblätter vermessen wurden, war das Hantieren mit gewichtigen Zeitungsbänden nur im Team zu bewältigen.....	51
Abbildung 23.	Durch den geringen Platzbedarf von SurveNIR kann auch vor Ort im Magazin gemessen werden.....	51
Abbildung 24.	Das SurveNIR Gerät im Einsatz.....	52
Abbildung 25.	Datenblattbeispiel für eine Probe aus Hadernpapier.	53
Abbildung 26.	Datenblattbeispiel eine Zellstoffprobe.	54
Abbildung 27.	Datenblattbeispiel für eine gestrichene Probe in gutem Zustand.	55
Abbildung 28.	Datenblattbeispiel für Holzstoffprobe mit niedrigem pH-Wert und guter Stabilität.....	56
Abbildung 29.	Datenblattbeispiel für Holzstoffprobe im kritischen Zustand.	57

1 Einleitung

Für die Planung und Durchführung von Konservierungsmassnahmen ist die Kenntnis des Abbaugrades und des Gefährdungsgrades von Papier notwendig. Für die Bearbeitung wertvoller Einzelobjekte oder grösserer Bestände kommen hierfür nur zerstörungsfreie Messmethoden in Frage. Schon lange wird an der Entwicklung zerstörungsfreier oder zumindest zerstörungsarmer Messmethoden gearbeitet und es wurden mehrere Spezialmethoden entwickelt. Zerstörungsarme Messmethoden sind zum Beispiel die pH-Mikroextraktionsmethode und der Puncture-Tester für die Bestimmung der Papierfestigkeit, als vollkommen zerstörungsfreie Methoden die Röntgenfluoreszenz (XRF)-Messungen für die Bestimmung der Behandlungsstärke bei der papersave swiss Entsäuerung. Bei all diesen Methoden wird jedoch nur eine einzelne Messgrösse bestimmt, aber nicht der Papierzustand gesamthaft beurteilt. Gerade im Hinblick darauf wurde das SurveNIR-Gerät entwickelt. Es kann und soll die herkömmlichen analytischen Messungen (pH-Wert, Festigkeit, Ligningehalt usw.) nicht ohne weiteres ersetzen. Die Bedeutung des Gerätes liegt vielmehr in einer Gesamteinschätzung des Papierzustandes im Hinblick auf eine bestimmte Aufgabenstellung: Massenentsäuerung ja oder nein, Restaurierung notwendig/möglich oder nicht, Anforderungen an Archivpapier erfüllt oder nicht erfüllt.

2 Ausgangslage in der NB

Die Schweizerische Nationalbibliothek (NB) führt seit dem Jahr 2000 ein Programm zur Massenentsäuerung durch. Die Auswahl der Bücher für die Entsäuerung geschieht anhand des Erscheinungsdatums und optisch-haptisch: der Verbräunungsgrad des Papiers wird optisch beurteilt, die Stärke und Festigkeit des Papiers wird haptisch abgeschätzt. Mit Hilfe des pH-Stiftes kann der Grad der Versäuerung grob eingeschätzt werden, falls dies am Objekt zulässig ist. Es wird grundsätzlich kein Eckfalztest gemacht, da dies zerstörend wäre. Bei Objekten aus dem Schweizerischen Literaturarchiv (SLA) zum Beispiel kann weder der pH-Stift noch der Eckfalztest oder sonst eine Methode der pH-Messung zur Anwendung kommen. Die optisch-haptische Einschätzung erfordert viel Erfahrung und ist auch bei geübten Personen mit grossen Unsicherheiten behaftet. Sie ist ausserdem abhängig von den subjektiven Kriterien der beurteilenden Person oder Institution. Schon seit langer Zeit besteht daher das Bedürfnis nach einer zerstörungsfreien und objektiven Methode zur Auswahl für die Massenentsäuerung.

Die NB hat bereits über zwei Drittel der Bestände (abgesehen von den Zeitungsbeständen und Sondersammlungen) entsäuern lassen. Die jetzt noch zur Entsäuerung anstehenden Bestände enthalten bei den älteren Jahrgängen viele brüchige oder ziemlich brüchige Papiere. Aus diesem Grund wurde ihre Entsäuerung hinausgeschoben, da bei diesen Papieren keine vorbeugende Entsäuerung mehr möglich ist. Vielmehr fallen sie in die Kategorie „sehr spät“ oder „zu spät und zu riskant“. Für die Bestände des SLA könnte eine gezielte und zerstörungsfreie Auswahl der behandlungsbedürftigen Dokumente erfolgen, was auf anderem Wege nicht möglich ist.

Bisher gibt es kein Instrument für die objektive, zerstörungsfreie und effiziente Auswahl für die ME. Mit dem SurveNIR-Gerät steht erstmals ein Gerät zur Verfügung, das für diesen Anspruch konzipiert und daher für die NB von grossem Interesse ist.

Abgesehen vom Einsatz in der ME bietet das Gerät auch weitere Einsatzmöglichkeiten, zum Beispiel für die Einschätzung des Zustandes graphischer Objekte oder Plakate, oder für die Abschätzung der Qualität und der Eignung von Archivmaterialien.

3 Inhalt und Ziel des Workshops

Obwohl Messgeräte auf dem Prinzip des SurveNIR-Gerätes schon lange auf anderen Gebieten wie der Prozesssteuerung, der Medizin oder der Lebensmittelindustrie eingesetzt werden, ist der Einsatz auf dem Gebiet der Konservierung neu. Die Einführung des Gerätes steht am Anfang, und es besteht aber auch Potential und Bedarf für die weitere Forschung und Entwicklung. Vor diesem Hintergrund ist das Gerät für die HKB in Lehre und Forschung von Interesse. Von Seiten der NB wurde für den Workshop Testmaterial vorbereitet, um die Anwendungsbreite und die Genauigkeit des Gerätes kennenzulernen, im Hinblick auf eine eventuelle Anschaffung oder Beteiligung an der Weiterentwicklung des Gerätes.

4 Das Messprinzip des SurveNIR-Gerätes

4.1 NIR-Spektroskopie und ihre Vorteile für die Anwendung auf Papier

Die NIR-Spektroskopie befasst sich mit der Aufnahme und Auswertung von Spektren im Bereich zwischen dem sichtbaren und mittleren infraroten Licht (Wellenzahl 12.000 bis 4.000 cm^{-1} , entspricht einer Wellenlänge von 850 bis 2.500 nm). In diesem Bereich liegt eine Vielzahl von Kombinations- und Oberschwingungen von vor allem CH-, OH- und CO-Gruppen, die ihre Grundschwingungen im herkömmlichen Infrarotbereich besitzen. Aber auch weitere organische Gruppierungen, wie z.B. NH- und SH-Funktionalitäten und sogar einige anorganische Oxide absorbieren in diesem Bereich. Die vielfältige Überlagerung der Schwingungen führt zwar zu weniger gut identifizierbaren, breiten Banden und senkt somit primär die Möglichkeiten der strukturanalytischen Auswertung, erhöht aber den Informationsgehalt des Gesamtspektrums.⁵

Die Auswertung der NIR-Spektren erfolgt nach dem Gesetz von Lambert-Beer. Um aber die Informationsvielfalt von mehreren hundert Datenpunkten pro Spektrum beherrschen zu können, bedient man sich der Chemometrik. Dabei erweisen sich die Methoden der multivariaten Datenanalyse als besonders geeignet. Hierbei werden die komplexen Zusammenhänge in den Spektren durch Datenreduzierung auf wenige spezifische Grundmuster zurückgeführt, die es sowohl dem Betrachter möglich machen, Tendenzen und Relationen in den Spektren qualitativ zu erkennen als auch Computerprogrammen erlauben, nahezu den gesamten Informationsgehalt dieser Spektren für quantitative Auswertungen zu nutzen.

Trotz dieser Datenreduzierung konnte die Chemometrik erst mit der Entwicklung leistungsfähiger Computertechnik in den letzten beiden Jahrzehnten für praxisnahe Aufgabenstellungen genutzt werden. Bis dahin beschäftigte sich die Wissenschaft hauptsächlich theoretisch mit den multivariaten Auswerteverfahren wie der Partial Least Squares Methode (PLS, Methode der kleinsten Quadrate), welche sich inzwischen als quantitative Methode für die Verarbeitung der, bei der NIR-Spektroskopie anfallenden, Datenmengen bestens bewährt hat.

Ein wesentlicher Vorteil der NIR-Spektroskopie ist ihre Schnelligkeit und die minimale Probenvorbereitung. Für SurveNIR entscheidend ist jedoch, dass papierne Originale zerstörungsfrei vermessen werden können. Während für Messmethoden in anderen Wellenlängenbereichen des Lichtes die Proben für quantitativ auswertbare Spektren gelöst (UV) und/oder verdünnt werden müssen (IR, Nujol-Verreibungen), ist eine solch invasive, d.h. zerstörende Probenvorbereitung für NIR nicht notwendig. Im nahen infraroten Wellenlängenbereich sind die Intensitäten der Banden um mehrere Größenordnungen kleiner als z.B. daran anschließenden mittleren infraroten Bereich. Technisch gesehen ist daher mit den verfügbaren Detektoren die Auswertung ohne Verdünnung möglich. Daher ist die NIR-Spektroskopie für Papier, wo eine Verdünnung sich nur schwerlich umsetzen lässt, besonders geeignet.

Trotzdem können die Spektren im gesamten NIR-Bereich mit außerordentlich hoher Präzision vermessen werden, was den zeitlich stabilen Lichtquellen und Sensoren zu verdanken ist. Ebenso vorteilhaft ist die Durchlässigkeit von Glas für das NIR-Licht. Dies erlaubt den Einsatz von Auflageflächen, welche nicht im direkten Kontakt mit dem Messkopf stehen. Bei der Untersuchung opaker Materialien führt die relativ hohe Eindringtiefe der NIR-Strahlung zu einer Verringerung der Oberflächeneffekte und einer gewissen Mittelung über die Schichten der Probe, was bei einem inhomogenen Stoff wie Papier meistens von Vorteil ist.⁶

Zusammenfassend kann daher gesagt werden, dass im Nahen Infrarot-Bereich zwischen 800 - 2.500 nm Kombinations- und Oberschwingungen von Hydrogenverbindungen (meistens CH-, OH-, CO-Funktionalitäten) ausgewertet werden. Bei der Untersuchung von Papier ist die relativ hohe Eindringtiefe von NIR vorteilhaft, da sie zur Verringerung von Oberflächeneffekten führt. Außerdem arbeitet das NIR zerstörungsfrei und ist damit für Originale geeignet.

4.2 Einführung in die Chemometrik zur Auswertung von NIR

Obwohl der Begriff Chemometrik genau definiert ist, wird er in vielen Fällen benutzt, um auch nichtchemische Sachverhalte zu beschreiben. Im engeren Sinn ist Chemometrik jedoch die chemische Disziplin, bei der mathematische und statistische Methoden verwendet werden zur:

- Planung und Auswahl optimaler Messverfahren und Experimente, sowie
- Gewinnung maximaler chemischer Informationen bei der Analyse chemischer Daten.

Die Chemometrik, wenn auch in ihren Mitteln vielfältig und kaum überschaubar, ist nur ein Hilfsmittel und kann nicht aus sich selbst heraus wirken oder aber Zusammenhänge zwischen Größen sichtbar machen, die rational nicht erklärt werden können.⁷ Deshalb wird für die Bewertung des Alterungszustandes von Papier mit SurveNIR auf die Ermittlung ausgewählter Messgrößen zurückgegriffen. Diese werden mit nasschemischen Referenzverfahren ermittelt. Anschließend werden die parallel aufgenommen NIR-Spektren anhand der ermittelten Messwerte mit multivariaten Auswerteverfahren analysiert. Auf der Grundlage der so erarbeiteten chemometrischen Modelle lassen sich die Messwerte von unbekanntem Proben aus deren Spektren vorhersagen.

In diesem Sinne besonders erfolgreiche mathematische Methoden sind die Methode der kleinsten Quadrate (PLS) und die Hauptkomponentenanalyse (PCA). Während sich die PCA mit der Extraktion von interpretierbaren Daten allein aus den Spektren beschäftigt, liefert die PLS als inverse Regressionsmethode die Voraussetzung dafür, speziell mit den Verhältnissen zwischen NIR-Spektren und Referenzmessdaten zu arbeiten.⁸ Diese Methoden unterliegen keinerlei Restriktionen hinsichtlich Spektraldatenmenge und Vielfalt. Die damit einhergehenden umfangreichen Berechnungen sind beim Stand heutiger Technik, vor allem für die angestrebte schnelle Auswertung, in kürzester Zeit möglich.

Bei der Auswertung von NIR-Spektren ist zu berücksichtigen, dass immer auf einen exakten chemischen Hintergrund der aufgestellten chemometrischen Modelle zu achten ist. Nur unter dieser Voraussetzung sind stabile und übertragbare Modelle möglich. Werden Systemeigenschaften betrachtet, die nicht mit chemischen Veränderungen in Zusammenhang gebracht werden können, sind trotzdem teilweise noch Aussagen generierbar. So können z.B. die optische Dichte und die Oberflächenbeschaffenheit (speziell: Rauigkeit) durchaus über NIR-Messanordnungen erfasst und dann mit chemometrischen Methoden ausgewertet werden. Die Übertragbarkeit solcher Modelle auf andere Messobjekte ist jedoch sehr beschränkt.

In einem chemometrischen PLS-Modell wird die Information des gesamten Spektrums einbezogen, so dass nicht wie üblich nur an einem Peak und mit der dort erhaltenen Absorbanz gerechnet wird, sondern auch Form und Lage der Peakflanken sowie die komplexen Überlagerungen, hervorgerufen durch die Vielzahl von Ober- und Kombinationsschwingungen, Berücksichtigung finden. Auch können in einem Ablauf der Berechnungen mehrere Eigenschaftswerte simultan kalibriert werden.

Ziel einer jeder Kalibrierung zum Zweck der Erstellung eines chemometrischen Modells ist es, einer Messgröße X eine bestimmte Systemeigenschaft Y innerhalb der NIR Spektren zuzuordnen. Die entsprechende Umrechnungsfunktion soll B sein, so dass sich der Zusammenhang in einem Modell wie folgt darstellt:

$$Y = X B \quad (1)$$

Dieses Modell wird als invers bezeichnet, da hier nur die Funktion B geschätzt werden muss. Es entfällt dadurch eine weitere Matrizenoperation, wie sie im Falle einer klassischen Kalibrierung (CLS, classical least squares) nötig wäre. Der zu erwartende Fehler wird somit begrenzt. Es handelt sich nun bei der Messgröße nicht nur um einen Wert, sondern um ein ganzes Spektrum von mehreren hundert Datenpunkten. Um dieses zu verarbeiten, wird jedes Spektrum x_n als Vektor betrachtet, dessen Länge im Extremfall der Anzahl der Datenpunkte entspricht. Alle im Kalibrierungssatz enthaltenen Spektren wurden zusammengenommen und ergeben damit eine Matrix. Analog dazu stellt sich auch Y als Matrix der Messgrößen, die den jeweiligen Spektren zugeordnet werden, dar.

Man sollte annehmen, dass die ebenfalls als Matrix auftretende Funktion B leicht zu ermitteln wäre. Die Gesetze der Matrizenrechnung erlauben aber keine triviale Lösung. Nach B umgestellt, ergibt sich die Gleichung

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (2)$$

Kritisch hierbei ist die Invertierung der Matrix $X^T X$. So bestimmt die PLS-Methode eine eingeschränkte inverse Matrix. Dabei muss X zuerst bi-diagonalisiert werden, also in eine Form

$$X = S L T \quad (3)$$

gebracht werden. Die Matrix S enthält die Scores, der Inhalt von L sind die PLS-Vektoren oder auch Loadings. Dies ist eine Art Faktorzerlegung, in der die Glieder nach Relevanz in Bezug auf die stofflichen Eigenschaftswerte geordnet sind, die nach einer bestimmten Anzahl an Gliedern abgebrochen wird und die damit die ursprüngliche Matrix X nicht mehr identisch wiederzugeben vermag. Die Zerlegung von X erfolgt simultan zur Zerlegung von Y , mit der Prämisse, dass die Scores in beiden Fällen identisch sind.

$$X = S_1 L_{X,1}^T + S_2 L_{X,2}^T + \dots + S_r L_{X,r}^T + R_X = S L_X^T + R_X \quad (4)$$

$$Y = S_1 L_{Y,1}^T + S_2 L_{Y,2}^T + \dots + S_r L_{Y,r}^T + R_Y = S L_Y^T + R_Y \quad (5)$$

Die Matrizen R_X und R_Y enthalten die jeweils nicht erklärten Reste und r ist die Anzahl der verwendeten PLS-Vektoren (auch: Rang der Methode). Mittels S , L_X und L_Y sowie Y kann nun die Berechnung der Funktion B erfolgen. Da jedoch die Anzahl der Datenpunkte die Zahl der zu kalibrierenden Eigenschaften im Allgemeinen wesentlich übersteigt, sind die entstehenden Gleichungssysteme um ein Vielfaches überbestimmt.

Nur ein Lösungsansatz, wie er in der Kreuzvalidierung (Cross Validation) verwendet wird, kann stabile Modelle liefern. Das Wesen der internen Validierung besteht darin, dass jeweils ein bestimmter Anteil des Spektrensatzes nicht für die Erstellung eines Modells herangezogen wird. Dieser Teil wird dann zur Validierung, d.h. zur Bestimmung des Vorhersagefehlers als Maß für die Modellgüte genutzt. Auf die mathematischen Einzelheiten sei an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Eine ausführliche Beschreibung des PLS-Mechanismus ist in der Literatur wiedergegeben.⁹

5 Die Messanordnung

5.1 Das Gerät

Das SurveNIR Spektrometer ist ein kompaktes Tischmessgerät. Die Messung der absoluten Remission in Abhängigkeit von der Wellenlänge basiert auf der Grundlage der NIR-Spektroskopie und erfolgt berührungslos und zerstörungsfrei. Der Bauart nach ist das SurveNIR Spektrometer ein Diodenarraydetektor. Die Daten werden digital ausgelesen.

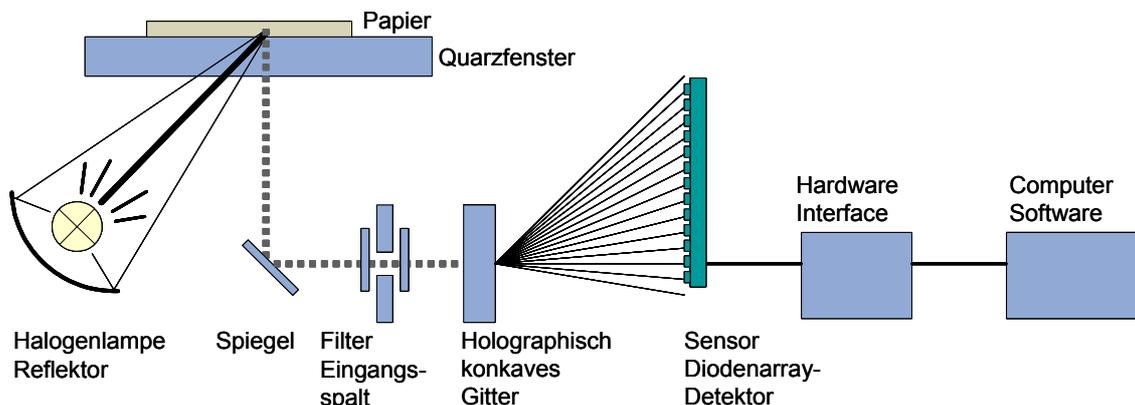


Abbildung 2. Messprinzip eines NIR-Spektrometers mit Diodenarraydetektor.

Messkopf (Lampe, Reflektor und Spiegel) und Spektrograph (Spalt, Gitter und Sensor) sind fest miteinander verbunden, die Optik ist staub- und luftfeuchtigkeitsgeschützt ausgeführt. Der Sensor wird zur Verbesserung des Signalrauschens auf eine Temperatur unter -15°C gekühlt. Die dadurch notwendige Zeit zum Erreichen der Betriebsbereitschaft beträgt ca. 30 min und wird automatisch kontrolliert. Der Messkopf ist in das Gehäuse integriert und gestattet eine Messung der Proben von unten nach oben. Die Papierproben werden auf einen Messtisch aus einem IR-transparenten Glas aufgelegt. Zur Messung öffnet ein Verschluss im Messkopf den Strahlengang zur Probe.

Das SurveNIR Spektrometer wurde für die Anforderungen zur Messung von Papier, im Besonderen von historischen Originalen konstruiert. Dabei stand die Sicherheit des zu messenden Objektes im Vordergrund. Innovative Detaillösungen wie der im Messkopf integrierte Verschluss, der Messtisch zur kontaktlosen Messung und die Livebildfunktion gewährleisten die sichere Messung. So verhindert der nur zur Messung öffnende Verschluss, dass die in Form von Licht emittierte Energiemenge nicht zu einer Irritation der Probe führt. Der Messtisch eliminiert die Aufwärmung der Probe durch den aufgewärmten Messkopf und die Livebildfunktion erlaubt die genaue Justierung des Messpunktes.

Vor jeder Messung erfolgt zudem ein automatischer Abgleich des Spektrometers zur Erhöhung der Reproduzierbarkeit der Messung, die so genannte interne Kalibrierung. Ausgelöst wird die Messung über einen Button im Softwaredialog oder wahlweise über einen Fußschalter. Dabei wird der Verschluss kurzzeitig geöffnet und die Probe mit Licht bestrahlt. Da die Proben das Licht teilweise absorbieren, enthält das von der Probe in das Spektrometer reflektierte Licht die benötigten Informationen. Die Bedienung des Spektrometers erfolgt via USB über ein externes Notebook mit der mitgelieferten benutzerfreundlichen Applikationssoftware.

Pro Probe werden ca. 6-8 Punkte an verschiedenen Stellen eines Blattes gemessen und als einzelne Spektren auf dem Bildschirm ausgegeben. Die Qualität dieser Messkurven wird im Anschluss mittels integrierter Filter automatisch geprüft, der Härtegrad der Filter kann durch erfahrene Nutzer eingestellt werden. Wenn ein Spektrum nicht den Qualitätsansprüchen genügt, wird es in der Software gestrichelt dargestellt und nicht mehr für die Auswertung verwendet. Je nach Einstellung kann die Software zum Wiederholen der Messungen auffordern. Oftmals ist schwarze Druckfarbe der Grund für unbrauchbare Spektren. Für die Auswertung werden die geprüften Spektren zu einem gemittelten Spektrum

zusammengefasst. Nur dieses wird dann unter Benutzung der integrierten chemometrischen Modelle für die Bestimmung der Messgrößen verwendet.

Eine weitere Besonderheit von SurveNIR ist die Anwendbarkeit auf Einzelblattdokumente und auf Bücher. Für Einzelblattdokumente wird der "Single Sheet Mode" verwendet. Um bei dünnen Papieren eine gleich gute Messung zu erzielen, wird hier ein Reflektor zur Verbesserung benutzt. Dadurch wird das Objekt zweimal durchleuchtet, der Informationsgehalt des Spektrums verbessert. Im "Stack Mode" kann das Buch direkt aufgelegt werden. Die Eindringtiefe von NIR beträgt bei einem Papier mit einem Flächengewicht von 80 g/m² ca. 4 Blatt Papier, der Reflektor wird bei der Stapelmessung nicht benötigt. Das erste Blatt liefert zwischen 60-70% der gesamten Information, schwarzer Text sollte hier vermieden werden. Die chemometrischen Modelle für "Single" und "Stack" wurden getrennt entwickelt.

Das System basiert auf einer Mehrfachmessung von 3-50 Spektren pro Datenpunkt. Eigenschaften von Papier wie Wolkigkeit oder andere Gründe für Inhomogenitäten werden so berücksichtigt. Im Workshop wurden 8 Messungen pro Objekt durchgeführt. Die Spektren werden durch die Software automatisch gefiltert und ausgewertet.

Merkmale	Spezifikation
Wellenlängenbereich	500 nm im Bereich zwischen 1440 – 1940 nm
Auflösung	ca. 2 nm
Diodenarraydetektor	256 Pixel
Anzahl der Messköpfe	1 (inklusive Messkopfverschluss und Livebildkamera)
Lampe	Halogenglühlampe
Grundgerät	Spektrograph, Messkopf, Steuerelektronik
Messtisch	Plexiglas mit Aussparung für Messfenster aus Quarz, Messfenster mit sternförmiger Andeutung des Messfleckes, abnehmbar
Durchmesser Messfleck	ca. 3 mm
Messzeit pro Spektrum	< 1 s
Spektren pro Messung	Zwischen 3 bis 50 Spektren frei wählbar, Standard 6-8
Messvarianten	Single Mode = Einzelblattmessung mit Backreflektor (für Dokumente) Stack Mode = Stapelmessung (für Bücher) Einseitige und zweiseitige Messung, wählbar
Interne Kalibrierung	Remissionskalibrierung bezogen auf Spektralonstandard
Externe Kalibrierung	Nur zur Wartung notwendig
Zubehör	USB-Fusschalter (im Lieferumfang)
Maße (B x H x T) ohne Verp.	342 x 171 x 270 mm, Messtisch 342 x 10 x 249 mm
Gewicht ohne Verpackung	ca. 10 kg
Mindestausstattung externes Notebook / PC	Betriebssystem XP oder höher, 1,2 GHz, 256 MByte, HDD mind. 20 GByte, Anschlüsse: USB 1.1 und USB 2.0 kompatibel
Temperaturbereich	Aufbewahrung Gerät +5°C bis + 35°C, Messbereitschaft +18°C bis +28°C
Luftfeuchtigkeit	Aufbewahrung Gerät 10% bis 80 %, Messbereitschaft 40% bis 60 %
Spannungsversorgung	230 V ~ 50 Hz, Sicherung 4 A, 240 V ~ 50 Hz, Großbritannien 115 V ~ 60 Hz mittels optionalem Adapter (Nicht im Lieferumfang!)
CE-Kennzeichnung	Ausführung in Übereinstimmung mit den geltenden europäischen Sicherheitsbestimmungen

Tabelle 1. Die technischen Daten des im Workshop verwendeten SurveNIR Systems.

5.2 Ausschaltung des Einflusses der Papierfeuchte

Die Papierfeuchte hat Einfluss auf die Spektren, weshalb theoretisch alle Spektren bei genormter Temperatur und Feuchte aufgenommen werden müssten. Da dies den Einsatz des Gerätes sehr einschränken würde, wurde eine interne Kalibrierung vorgenommen: die Spektren wurden bei drei verschiedenen Klimata, nämlich 18°C/40% rF, 23°C/50% rF und 28°C/60% rF aufgenommen und gleich gesetzt. Das bedeutet, dass in dem Klimabereich von 18 bis 28°C und 40-50% rF gemessen werden kann, und keine vorherige Klimatisierung der Proben notwendig ist. Da diese Kalibrierung bislang nur für den Single Mode verfügbar ist, wurden im Workshop alle Objekte im "Single Sheet Mode" gemessen.

5.3 Änderungen bei der neuen Version (Verkaufsgerät)

Bei dem im Workshop verwendeten Gerät handelt es sich um das im EU-Projekt für die Entwicklung verwendete Gerät. Die mit diesem Gerät innerhalb des Projektes gemachten Erfahrungen und Beobachtungen resultierten in Verbesserungen, welche inzwischen umgesetzt wurden und in den Verkaufsgeräten Anwendung finden (Abbildung 3).

Die wesentlichste Verbesserung im Vergleich zu dem derzeitigen Gerät wird die Erweiterung des Messbereiches sein. Dies wird dadurch erreicht, dass im Vergleich zum derzeitigen Gerät Diodenarraydetektoren mit 512 statt 256 Pixel eingesetzt werden. Dadurch kann die für Papier so wichtige Auflösung von nur 2 nm bei gleichzeitiger Erweiterung des Messbereiches beibehalten werden. Zudem lassen sich die neuen Sensoren platz sparend verbauen, die Größe des Gerätes bleibt somit erhalten. Durch die Neuberechnung der gesamten optischen Mimik wird der zuvor bei Sensoren mit 512 Pixel messbare Bereich von 800 nm zudem auf über 1000 nm erweitert.

Bereits das derzeitige Gerät beinhaltet den für Papier interessanten Messbereich. Es wird jedoch erwartet, dass die zusätzlichen Informationen aus der Erweiterung des Messbereiches zur Verbesserung der derzeitigen Methoden beitragen. Weiterhin wird das SurveNIR System damit noch flexibler für den Einsatz für andere Aufgabenstellungen und Applikationen und damit für die Kunden interessanter. Die höhere Wertigkeit führt dabei nicht zu einem Preisanstieg.

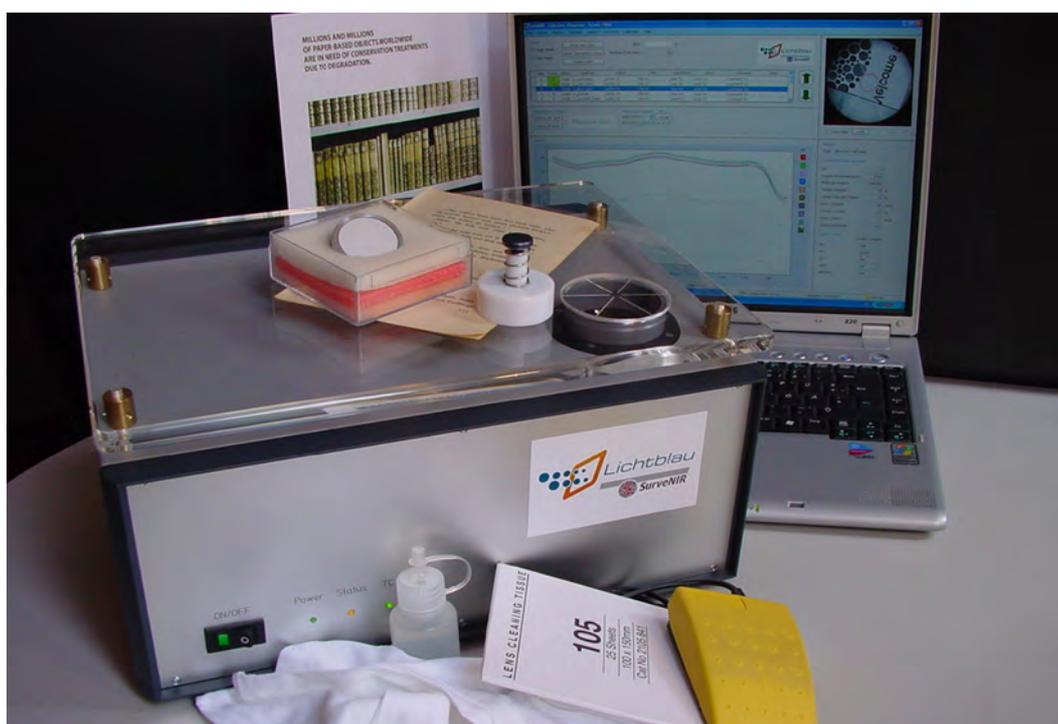


Abbildung 3. Ansicht des für den Verkauf optimierten SurveNIR Gerätes.

In allen zukünftigen Geräten ist eine Kamera integriert, die den Messfleck und dessen Umgebung anzeigt (Abbildung 4). Im Softwarefenster ist rechts oben die Livebildfunktion zu erkennen. Die Messung erfolgt innerhalb der roten Ringmarkierung. Die Größe des Ringes ist justierbar, dargestellt ist eine Markierung mit ca. der doppelten Messpunktgröße. Dadurch wird die Justierung der Probe vereinfacht. Zudem kann das Foto zusammen mit dem Spektrum gespeichert werden, d.h. wird ein Spektrum ausgewählt, so wird auch das dazugehörige Bild geladen. Auflösung und Bildformat können eingestellt werden und sind hinsichtlich des Speicherbedarfs optimiert. So werden bei einer Messung mit 8 Spektren und einer Speicherung der Bilder im JPEG-Format mit einer mittleren Auflösung von 600x600 Pixel für Spektren und Bilder zusammen nur durchschnittlich 240 kB benötigt.

Durch die kombinierte Speicherung von Spektrum und Messpunkt lassen sich die Messungen auch im Nachhinein hinsichtlich der Qualität der Spektren bewerten. Außerdem kann bei genügend Umgebungsinformation eine Messung zu einem späteren Zeitpunkt auf dem identischen Punkt wiederholt werden. Dadurch werden exakt vorher/nachher Untersuchungen möglich.

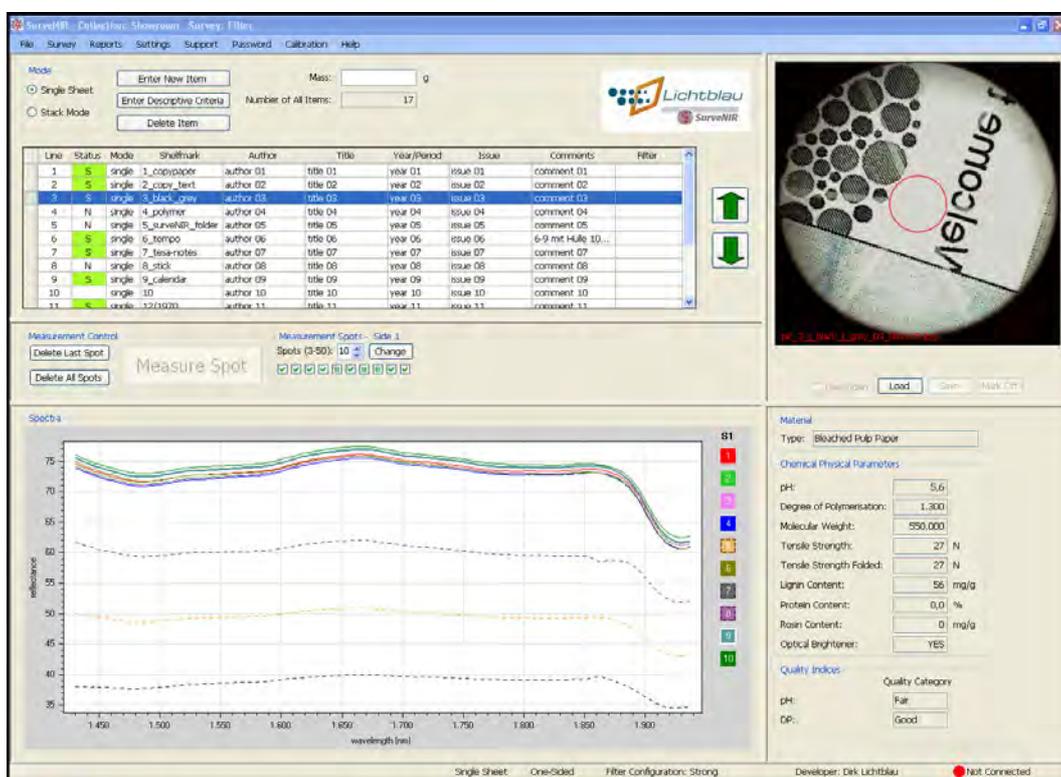


Abbildung 4. Messfenster der aktuellen SurveNIR Software V2.0.1 (SUSO).

Die mittlerweile mit der Softwareversion V2.0.1 erreichte Flexibilität ermöglicht das Laden von verbesserten Modellen, das Entwickeln von neuen Applikationen auch für andere Messgrößen und Materialien. Mit entsprechenden Softwareupdates lassen sich die Verbesserungen einfach integrieren. Davon profitieren auch alle bereits erfolgten Messungen, welche automatisch neu bewertet werden. Ein erneutes Messen der Objekte entfällt daher. Ein nächster Schritt wird auch die Stapelmessung für Bücher ebenso wie bereits die Einzelblattmessung unabhängig vom Umgebungsklima gestalten.

6 Der Referenzdatensatz

Der Referenzdatensatz für die Entwicklung von SurveNIR besteht aus insgesamt 1400 Proben und setzt sich aus historischen und neuen Originalen zusammen. Dabei handelt es sich um

- Handgemachte Hadernpapiere
- Industrielle Hadernpapiere
- Industrielle, sauer geleimte Papiere
- Industrielle, neutral geleimte Papiere
- Industrielle, gestrichene Papiere

Daher werden mit dem Referenzdatensatz nur reale Papiermuster betrachtet, jedoch keine behandelten oder zu Forschungszwecken hergestellten speziellen Papiere. Die Proben wurden von verschiedenen Institutionen und Einzelpersonen im Rahmen des SurveNIR-Projektes zur Verfügung gestellt. Sie stammen zum Teil von den Partnern des EU-Projektes selbst und damit aus dem Umfeld

- der slowenischen National and University Library in Ljubljana,
- des Niederländischen Nationalarchivs in Den Haag,
- der British Library in London,
- des Reichsarchivs von Schweden in Stockholm,
- des Staatsarchivs von Kroatien in Dubrovnik,
- des Nationalmuseums von Dänemark in Brede und
- des ZFB Zentrums für Bucherhaltung GmbH in Leipzig.

Aber auch Einzelpersonen, z.B. Henk Porck, Doris Müller-Hess, Nina Hasselberg-Wang, Jozef Hanus, Tom Koch Svenessen, Istvan Kecskemeti und Birgit Reissland haben sich mit Proben beteiligt, weitere Proben stammen aus europäischen Antiquariaten.

Die Referenzproben wurden als typische Papiere der vorhandenen Sammlungen zur Verfügung gestellt. Bei einem großen Teil der Holz- und Zellstoffe sind dies komplette Bücher, die Hadernpapiere lagen hingegen ausschließlich als Einzelproben vor. Die Proben stammen aus den Jahren 1560 bis 2006 mit einem Schwerpunkt von 1840 bis 2006 und werden nach Ende des SurveNIR Projektes an drei Orten unter definierten Bedingungen gelagert, unter anderem von der Firma Lichtblau e.K..

7 Die chemisch-physikalischen Papierparameter

Im EU-Projekt wurden zahlreiche Messgrößen mit großem personellem und zeitlichem Aufwand nass-chemisch und damit zerstörend bestimmt. Diese Messgrößen wurden ausgewählt, weil sie die chemischen und physikalischen Eigenschaften eines Papiers am besten beschreiben. Auf dieser Basis können mit SurveNIR bestimmt werden:

- Die hauptsächliche Fasersorte bzw. Papiersorte,
- Die Acidität (pH-Wert),
- der Durchschnittspolymerisationsgrad DP (bei holzfreien Papieren),
- das Molekulargewicht,
- die Bruchkraft F_{max} ,
- die Bruchkraft F_{max} mit Bansa-Hofer-Falzung,
- der Gehalt an Lignin,
- der Gehalt an Protein,
- die Anwesenheit von optischen Aufhellern.

Um die Genauigkeit der Methode für einige Messgrößen zu erhöhen, wurden die Papiere in vier Sorten eingeteilt. Der Sinn dieser Vorgehensweise wird verständlich, wenn man bedenkt, dass sich

die Ergebnisse in Abhängigkeit von der Papierqualität um Größenordnungen unterscheiden. So wird es für den Ligningehalt oder die Bruchkraft Ergebnisse geben, welche man in Cluster unterteilen kann. In der Software sind daher zwei so genannte Entscheidungsbäume hinterlegt. In einer festgelegten Abfolge von Entscheidungen wird zuerst ermittelt, um welche der vier untenstehenden Papiersorten es sich handelt.

- **Rag Paper** (Hadern- o. Baumwollpapier aus einjährigen Faserpflanzen)
- **Bleached Pulp Paper** (Papier aus gebleichtem Zellstoff, "holzfrei")
- **Coated Paper** (gestrichenes Papier auf Basis von gebleichtem Zellstoff, "holzfrei")
- **Groundwood Paper** (Papier aus mechanisch geschliffenem Holzstoff, "holzhaltig")

Da zwei verschiedene Entscheidungsbäume hinterlegt sind, lässt sich deren Ergebnis zur Qualitätskontrolle verwenden. Wenn eine Entscheidung auf Grund von Inhomogenitäten oder Mischpapieren nicht eindeutig möglich ist, wird dies durch eine gelbe (anstatt einer grünen) Markierung in der Statusspalte im Programm angezeigt. Auch wenn die Auswertung der Probe nach dem Wahrscheinlichsten erfolgt, wird die Wiederholung einer solchen Messung empfohlen.

Nach der Entscheidung für eine Papiersorte bzw. für eines der vier Cluster werden die Spektren mit den, in der Software für diese Papiersorte enthaltenen, chemometrischen Modellen ausgewertet. Mit moderner Rechentechnik stellt dies keinen Zeitaufwand dar, so dass die Papiersorte und die Messwerte als Messergebnis sofort nach dem Messen des letzten Spektrums verfügbar sind.

8 Die Referenzanalytik

Für die vollständige klassische Analyse mit den zerstörenden Referenzmethoden im Labor werden für die Anzahl an Messgrößen üblicherweise 2-3 DIN A4 Blätter pro Probe benötigt. Bei kleineren Formaten wurde die Anzahl der Blätter stark erhöht, da der Randbereich wegen dem dort vorkommenden Alterungsgradienten nicht gemessen wurde. Der in Deutschland marktübliche Aufwand für das Messen einer Probe beträgt zwischen 800-1200 EUR/Probe. Es sind jedoch nicht alle Messgrößen wie zum Beispiel der Mikro-pH oder das Mittlere Molekulargewicht verfügbar.

Nicht von allen Papieren stand jedoch Probenmaterial für alle Analysen zur Verfügung, vor allem nicht von den Hadernpapieren von vor 1840. Die Probenahme / Messung erfolgte jeweils nicht im Randbereich, sondern mindestens ca. 3 cm vom Rand entfernt, teilweise auch im Falzbereich. In der Praxis muss die SurveNIR Messung auch im Randbereich erfolgen, wenn nämlich sonst keine unbedruckte Stelle zu finden ist.

Dies hat seinen Hintergrund in der getätigten Entwicklung. Durch die im SurveNIR Projekt vorgenommene Verkleinerung des Messfleckes auf 3 mm (Prototyp paperrating 8 mm) und die um den Faktor 5 verringerte Lichtleistung zum Schutz der Objekte kommt es mit dem SurveNIR Gerät zu einer reduzierten Auswertbarkeit, wenn der Messfleck schwarzen Text enthält. Dieser absorbiert das ausgesendete Licht und erhöht das Signalauschen. Daher wird empfohlen, das direkte Messen von schwarzem Text und Grafiken, besonders auf dem ersten Blatt bei Stapelmessungen zu vermeiden.

Zur Erhöhung der Sicherheit beim Messen wurden daher Filter in die Software integriert, welche Spektren minderer Qualität erkennen, markieren und vor der Auswertung aussortieren. Stehen nicht genügend Spektren für die Auswertung zur Verfügung, so empfiehlt das System eine Wiederholung der Spektren bzw. der ganzen Messung. Abhilfe schafft weiterhin die im Verkaufsgerät integrierte Live Bildfunktion. Diese zeigt vor der Messung den Messpunkt und dessen Umgebung. Mit dieser Funktion kann der Messpunkt daher genau justiert werden.

8.1 Faserzusammensetzung

- Methode: Anfärben und mikroskopische Auswertung
- Genauigkeit: semi-quantitativ, Abweichungen durch Inhomogenität der Proben und visuelle Bewertung der Farbverteilung.
- Messbereich: 0-100% Baumwolle + Zellstoff + Holzstoff

Die für die Papierherstellung benutzten Fasern stammen meistens von einjährigen Pflanzen wie Leinen oder Baumwolle oder seit etwa 1850 von den verschiedenen mehrjährigen Holzsorten. Im Allgemeinen gilt, dass die Holzfasern von schlechterer Qualität bzw. Haltbarkeit sind. Es ist daher wichtig zu wissen, welchen Faserrohstoff die Papiere enthalten. Für die Analyse der Faserzusammensetzung wurde eine modifizierte Standardmethode eingesetzt. Die Fasern wurden angefärbt, unter dem Mikroskop nach Farbigkeit gezählt und der Faserverteilung zugeordnet.

8.2 pH-Wert

- Methode: Mikro-Kaltextraktion¹
- Messbereich: 2,7-10,5



Abbildung 5. Probennahme mit Hohlneedle und Messung des pH-Wertes mit kombinierter Mikro-pH-Elektrode.

Die Acidität (pH-Wert) ist der am besten bekannte Parameter und wird in den Einrichtungen mit Hilfe von Indikatorstiften (pH-Stift), Oberflächenelektroden oder Kaltextraktion bestimmt. Der Säuregehalt beeinflusst die Abbaugeschwindigkeit von Papier von allen Parametern am meisten. Die Papierherstellung zwischen 1850 und 1990 war kombiniert mit einer sauren Leimung und hat die Haltbarkeit der in diesem Zeitraum hergestellten Papiere gegenüber den vor 1850 hergestellten Papieren drastisch reduziert. Allerdings ist daran auch der Wechsel von Hadern zu Holz als Ausgangsmaterial entscheidend beteiligt. Deshalb und wegen dem Einfluss anderer Parameter ist der pH für die Bestimmung des momentanen Alterungszustandes von geringerer Aussagekraft. Der pH beschreibt jedoch den zu erwartenden Abbau von Papier am besten. Im SurveNIR Projekt wurde der pH-Wert mittels einer speziellen, neu entwickelten Methode der Mikro-Kaltextraktion bestimmt (Abbildung 5). Mit einer Hohlneedle wurde aus dem Papiermuster eine Probe entnommen und mit 5 μ l Wasser versetzt. Dann wurde der pH-Wert mit einer kombinierten Mikroglaselektrode bestimmt.

8.3 Durchschnittlicher Polymerisationsgrad (DP)

- Methode: Viskosimetrische Konzentrationsbestimmung¹
- Messbereich: 50-5.000

Der Durchschnittliche Polymerisationsgrad ist die durchschnittliche Anzahl an sich wiederholenden D-Glukose-Monomereinheiten in einer Celluloseprobe. Da Cellulose ein lineares Polymer ist, erlaubt die Anzahl an aneinander gereihten Zuckermolekülen eine Aussage hinsichtlich der Papierqualität. Je kürzer die Celluloseketten sind, umso kleiner ist der DP und umso stärker abgebaut ist das Papier und

umso kürzer ist die Lebenszeit. Da Papiere in Abhängigkeit von der Faserzusammensetzung bereits mit unterschiedlichsten DP produziert werden, ist eine generelle Aussage nicht einfach. Dennoch lässt sich verallgemeinern, dass ein Papier mit einem DP unter einer bestimmten Grenze als nicht mehr benutzbar eingeordnet werden kann.

Für die Bestimmung des DP wurde die standardisierte viskosimetrische Methode benutzt. Es wurde ein Mikroviskosimeter mit angenommener idealer Verdünnung und manueller Zeitmessung verwendet. Die Methode basiert auf einem Auflösen der Cellulose in CuEn (Ethylenediamine-Kupfer II-Komplex) und dem Messen der Zeit welche aufgrund der Viskosität von einer bestimmten Menge Lösung für das Durchfließen einer Kapillare benötigt wird. Für die DP-Bestimmung muss der Aschegehalt vorher bestimmt werden.

8.4 Molekulargewicht

- Methode: SEC¹
- Messbereich: 1.000 – 2.360.000

Das mittlere Molekulargewicht (MW) dient als Ersatz für den DP, welcher sich über die Cuen-Methode nicht von ligninhaltigen Papieren bestimmen lässt, da diese nicht vollständig in Cuen gelöst werden können. Das MW wird mit der Size Exclusion-Chromatographie bestimmt, einer Methode der instrumentellen Analytik. Um die Cellulose lösen zu können, wird diese zuerst chemisch modifiziert. In einen konstant fließenden Lösungsmittelstrom wird die klare Lösung dann auf ein poröses Material in einer Säule injiziert. Durch Verteilung und Herausspülen aus den Poren wird die Fließgeschwindigkeit der Cellulose gegenüber dem Lösungsmittelstrom verzögert. Dabei werden größere Moleküle weniger verzögert, weil diese nicht in die Poren passen. Kleinere Moleküle sinken öfters in die Poren und müssen vor dem Weitertransport herausgespült werden. Basierend auf diesem Prinzip, werden die Makromoleküle in Abhängigkeit ihrer Größe getrennt und das durchschnittliche Molekulargewicht in Relation zur benötigten Verweilzeit ermittelt. Die benötigte Probenmenge ist sehr gering und wird ebenfalls mit der Hohladel von weniger als 1 mm Durchmesser gewonnen.

8.5 Bruchkraft

- Methode: Bruchkraft F_{max} längs in Maschinenlaufrichtung
- Messbereich: 0-150 N

Die mechanischen Eigenschaften von Papier bestimmen deren Benutzbarkeit. Ein Kraftverlust ist die natürliche Konsequenz aus dem Celluloseabbau während der Alterung von Papier. Die Bruchkraft F_{max} wie auch die Bruchkraft nach Bansa-Hofer-Falzung sind daher wichtige Messgrößen für die Beschreibung des Alterungszustandes. Auch für die Entscheidung über eine noch mögliche Massenentsäuerung können diese Parameter eingesetzt werden.

Die Papierproben wurden leicht getrocknet und dann im Normalklima von 23°C und 50% rF für mehrere Tage aufbewahrt. Anschließend wurden die Proben in Streifen von 120 mm Länge und 15 mm Breite geschnitten. Dazu wurde ein elektrischer Parallelstreifenschneider eingesetzt. Durch diesen und besonders durch eine Weiterentwicklung einer Zwick-Prüfmaschine konnte der Fehler der Referenzmethode auf 2 N begrenzt werden (Abbildung 6). Dies wurde durch den Einsatz von pneumatischen Klammern, einer optimalen Achsausrichtung und spezieller Messbacken erreicht. Trotzdem benötigt diese Prüfmethode viel Material. Für jede Probe wurden 12 Papierstreifen gemessen, der größte und kleinste Wert wurde vor der Mittelwertbildung jeweils verworfen.

Für die Messung wird ein Papierstreifen zwischen die obere und untere Klammer eingeklemmt. Danach wird durch die Maschine die obere Klammer langsam nach oben bewegt. Die unterhalb der unteren Klammer angebrachte Messdose detektiert die Kraft bis zum Reißen des Papierstreifens. In Abbildung 6 wird das In Zusammenarbeit von der Firma Zwick und D. Lichtblau für brüchige Papiere und die Nullreißlänge weiter entwickelte Gerät auf der Basis des Gerätetyps "Zwicki Proline".

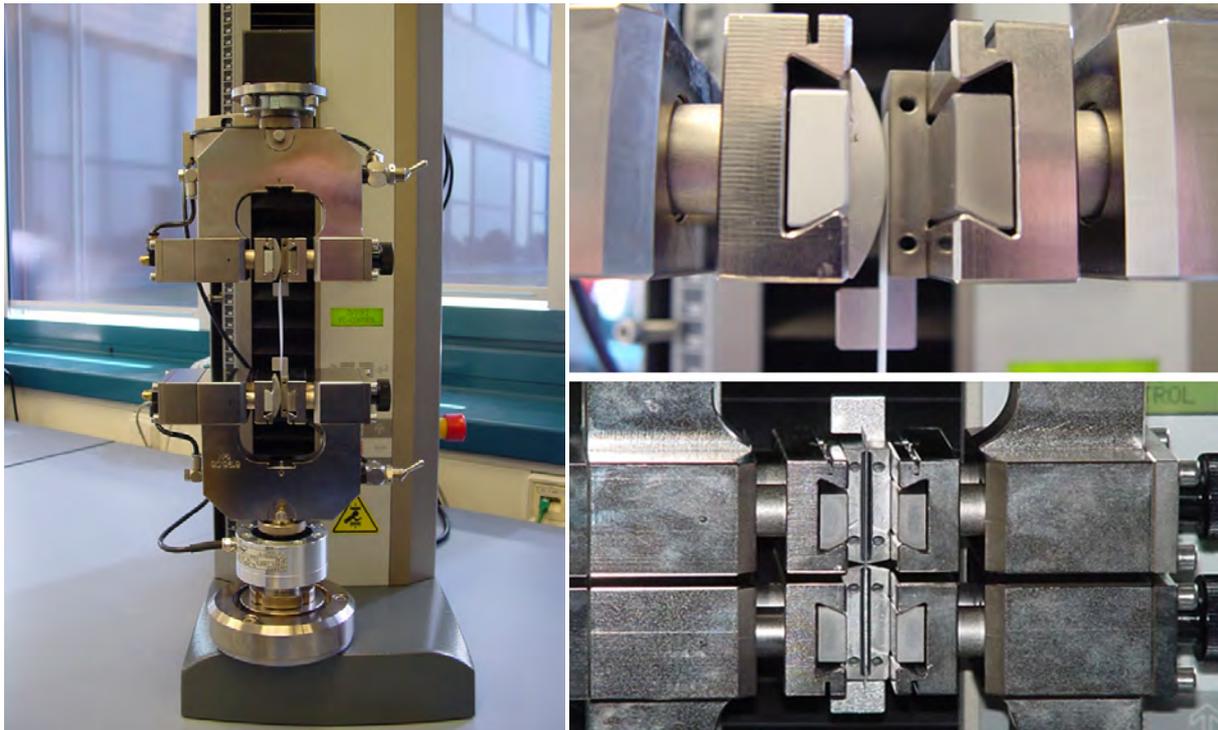


Abbildung 6. Die Bruchkraft F_{max} und Bruchkraft nach Bansa-Hofer Falzung werden mit der Zugprüfmaschine bestimmt. Rechts unten ist die Messanordnung für eine optionale Nullreisslänge gezeigt.

8.6 Bruchkraft nach Bansa-Hofer-Falzung

- Methode: Bruchkraft F_{max} längs nach Bansa-Hofer-Falzung
- Messbereich: 0-150 N

Die Bruchkraft nach Falzung eines Papierstreifens kommt dem manuellen Doppelfalz am nächsten. Die subjektiven Einflüsse vom Doppelfalz können bei dieser Methode vermieden werden. Im SurveNIR Projekt konnte die Messgenauigkeit besonders durch den Einsatz eines elektrischen Parallelstreifenschneiders der Firma emco und eine optimierte Messanordnung des Zugprüfgerätes der Firma Zwick verbessert werden. Nachteil dieser Methode ist der hohe Materialbedarf.

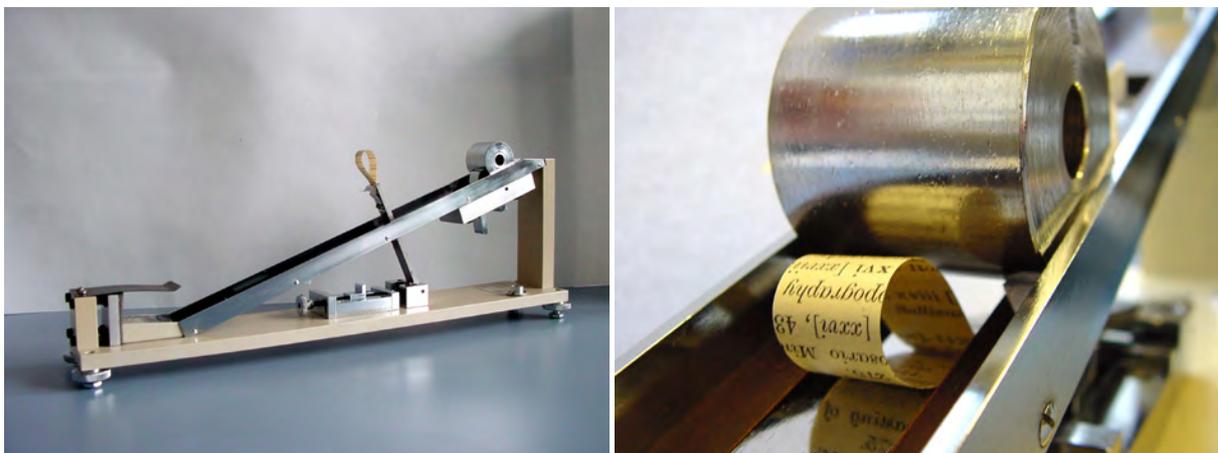


Abbildung 7. Für das standardisierte Falzen nach Bansa-Hofer wird eine spezielle Apparatur benötigt.

Für die Prüfung wurden jeweils 12 Streifen in Maschinenlaufrichtung von 15 mm Breite und 120 mm Länge in einer standardisierten Vorgehensweise gefalzt. Dazu wird aus dem Papierstreifen eine Schlaufe gebildet und die Enden werden gemeinsam eingespannt. Dann wird die Schlaufe auf einer

schiefen Ebene von 20° Neigung mit einer Walze von 460 g einmal überrollt (Abbildung 7). Danach erfolgt die Messung der Bruchkraft wie bei der Zugprüfung ohne Falzung. Der jeweils größte und kleinste Wert wurde für die Mittelwertbildung nicht beachtet.

8.7 Ligningehalt

- Methode: Colourimetrie¹
- Messbereich: 0-380 mg/g

Lignin ist ein organisches Polymer aus dem Holz und hat nur eine sehr geringe Stabilität gegenüber kurzwelligem Licht und UV. Während der Oxidation von Lignin werden farbige Abbauprodukte gebildet, Lignin ist daher sehr stark für die Vergilbung von Holzstoffen verantwortlich. Da diese Vergilbung für historische Papiere vermieden werden soll, ist das Wissen über die Höhe des Ligningehaltes wichtig. Auch so genanntes "holzfreies" Papier oder besser gebleichte Cellulose auf der Basis von Holz kann Lignin enthalten, welches beim Herstellungsprozess nicht komplett entfernt wurde. Zumeist wird eine Obergrenze von 50-75 mg/g Lignin genannt. Mit SurveNIR wurden daher Papiere mit einem Ligningehalt von mehr als 75 mg/g als „holzhaltige“ Ground Wood Papiere eingeordnet.

Wegen seiner komplexen Struktur ist die quantitative Analyse von Lignin problematisch. So stört Lignin auch die Messung des DP, welches deshalb für holzhaltige Papiere nicht gemessen werden kann. Im SurveNIR Projekt wurde daher nicht die empfohlene Standardmethode für Papier, sondern die colourimetrische Acetylbromidmethode benutzt. Hier wird Lignin zuerst chemisch modifiziert, dann aufgelöst und colourimetrisch mit vorbereiteten Ligninlösungen definierter Konzentrationen verglichen.

8.8 Proteingehalt

- Methode: Flüssigchromatographie (LC)
- Messbereich: 0-11 Gewichtsprozent

Gelatine war bis in die Mitte des 19. Jh. ein weit verbreiteter Zusatzstoff für die Papierherstellung. Während es ursprünglich für die Leimung verwendet wurde, kann es auch die mechanischen Eigenschaften wesentlich verbessern. In Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Zustand historischer Papiere und ihrem Gelatinegehalt gibt. Für die Analyse von Gelatine bedarf es der Extraktion und Hydrolyse. Dabei wird das Protein Gelatine in freie Aminosäuren gespalten. Die für Gelatine typische Aminosäure Hydroxyprolin wird mittels der instrumentellen Flüssigchromatographie quantifiziert. Die in einem Lösungsmittel gelöste Aminosäure interagiert mit dem Feststoff einer Chromatographiesäule und wird dabei in Abhängigkeit von der Stärke der Interaktion mit dem Feststoff zeitlich verzögert. Anhand der zeitlichen Verzögerung wird die Aminosäure identifiziert und anhand der Fläche unter dem Detektionspeak quantifiziert.

8.9 Harzleimung (Rosin)

- Methode: Flüssigchromatographie (LC)
- Messbereich: 0-15 mg/g

Abietinsäure (AA) und Dehydroabietinsäure (DHAA) sind die Hauptbestandteile von Kolophonium. Dieses wurde von ca. 1850 bis 1990 für die Leimung in der Papierproduktion benutzt. Um Kolophonium auf der Faser gleichmäßig abscheiden zu können, wurde Alaun, Aluminiumsulfat oder auch Schwefelsäure benutzt. Es ist allgemein bekannt, dass die eingesetzten Sulfate zu einem niedrigeren pH und damit zu einem beschleunigten Abbau der mit Kolophonium geleimten Papiere führten. Eine andere Quelle für AA und DHAA sind Fasern von ground softwood bei der Papierherstellung. Für die Analyse des Gehaltes an Rosin wird die Probe mit Acetonitril extrahiert und mit Flüssigchromatographie analysiert.

8.10 optische Aufheller

- Methode: UV-VIS
- Messbereich: qualitativ Ja/Nein

Optische Aufheller werden als Papieradditiv verwendet, um die Brillanz zu verbessern. Diese Chemikalien absorbieren Licht aus dem UV-Bereich und emittieren blaues Licht. Das menschliche Auge empfindet mit optischen Aufhellern behandelte Materialien als weißer. Daher werden die früher auch als Blaumacher bezeichneten Chemikalien in Waschpulvern und Textilien eingesetzt. Für die Aufbewahrung von Papier bergen die optischen Aufheller jedoch ein nicht unerhebliches Risiko, da die Verbindungen instabil sind und sich schnell zersetzen, besonders unter Lichteinwirkung. Daher ist es wichtig zu wissen, ob optische Aufheller vorhanden sind, um eine Gefährdung und Vergilbung durch Ausstellungen und Licht zu vermeiden. Gemessen wurde mittels UV-VIS-Spektroskopie.

9 Der Anwendungsbereich

9.1 Messbare Proben

Allgemein können Papiere mit einem Flächengewicht von 30-150 g/m² vermessen werden, und zwar im Klimabereich von 18-28°C und 40-60% rF. Messbar sind die in Kap. 7 genannten Papiere.

9.2 Nicht messbare Proben

Beschichtete Fotopapiere, Leder, Kunststoff, Transparentpapier, asiatische Papiere, entsäuerte Papiere und stark verbräunte Hadernpapiere (Reste vom Drucken). Papiere, welche für Forschungszwecke künstlich behandelt wurden, lassen sich zwar messen, doch kann die Genauigkeit wegen fehlender Referenzwerte nicht garantiert werden. Hier sind vergleichende Messungen angebracht, um eventuelle Korrekturparameter zu bestimmen.

10 Weitere Funktionen der SurveNIR-Software (SUSO)

Erst die weitreichende Funktionalität von SUSO macht aus SurveNIR ein Produkt. Im Folgenden soll daher versucht werden, die weiteren Möglichkeiten von SurveNIR abseits dem eigentlichen Messen zu beschreiben. Im Rahmen dieses Berichtes kann jedoch nur auf einige dieser Funktionen eingegangen werden.

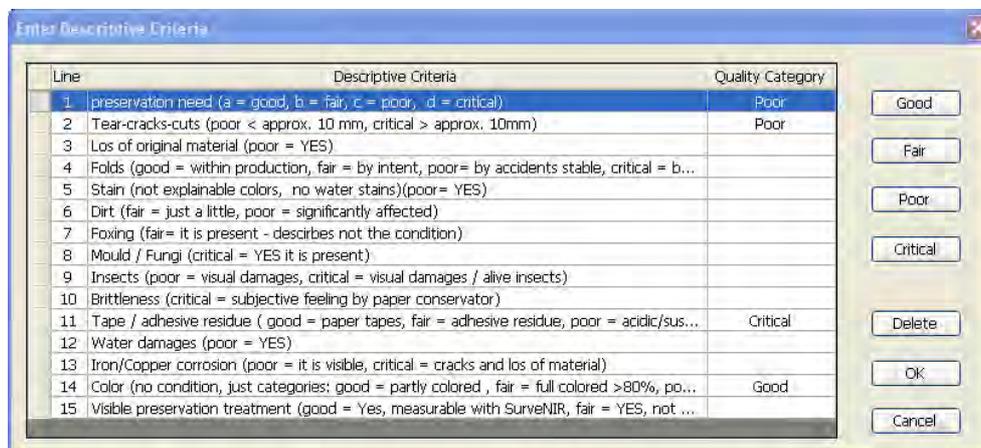


Abbildung 8. Kriterien für die visuelle Zustandserfassung und ihre Einteilung in die vier Kategorien, hier am Beispiel einer Untersuchung am National Museum of Denmark, Kopenhagen.

10.1 Gleichzeitige visuelle Zustandserfassung

In einer Maske können Schäden wie zum Beispiel Risse, Wasserschäden usw. erfasst werden. Somit kann neben der NIR-Bewertung auch eine visuelle Zustandserfassung (Survey) vorgenommen werden. Der Benutzer kann dafür bis zu 50 verschiedene Kriterien frei benennen und in bis zu vier Kategorien einteilen (Abbildung 8). Die visuelle Zustandserfassung kann parallel, aber auch unabhängig von der NIR-Bewertung erfolgen, d.h. sie kann auch ohne das NIR-Gerät erfolgen.

Die Auswertung der visuellen Zustandserfassung wird in der Software in Echtzeit vorgenommen. Dazu werden die Anzahl der bereits bewerteten Objekte und die prozentuale Verteilung pro Kategorie und Zustandskriterium angezeigt. Damit kann der Benutzer jederzeit den Fortschritt der Erfassung verfolgen (Abbildung 9).

Line	Descriptive Criteria	Portion		Good		Fair		Poor		Critical	
		Num	%	Num	%	Num	%	Num	%	Num	%
1	preservation need (a = good, b = fair, c = poor, d = critical)	241	97,18	18	7,47	44	18,26	174	72,20	5	2,07
2	Tear-cracks-cuts (poor < approx. 10 mm, critical > approx. ...	211	85,08	1	0,47	0	0,00	76	36,02	134	63,51
3	Los of original material (poor = YES)	53	21,37	0	0,00	0	0,00	53	100,00	0	0,00
4	Folds (good = within production, fair = by intent, poor= by...	146	58,87	14	9,59	113	77,40	19	13,01	0	0,00
5	Stain (not explainable colors, no water stains)(poor= YES)	59	23,79	1	1,69	1	1,69	57	96,61	0	0,00
6	Dirt (fair = just a little, poor = significantly affected)	23	9,27	0	0,00	22	95,65	1	4,35	0	0,00
7	Foxting (fair= it is present - describes not the condition)	20	8,06	0	0,00	20	100,00	0	0,00	0	0,00
8	Mould / Fungi (critical = YES it is present)	1	0,40	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	100,00
9	Insects (poor = visual damages, critical = visual damages / al...	1	0,40	0	0,00	0	0,00	1	100,00	0	0,00
10	Brittleness (critical = subjective feeling by paper conservator)	136	54,84	0	0,00	0	0,00	0	0,00	136	100,00
11	Tape / adhesive residue (good = paper tapes, fair = adhesi...	58	23,39	43	74,14	3	5,17	0	0,00	12	20,69
12	Water damages (poor = YES)	4	1,61	0	0,00	1	25,00	3	75,00	0	0,00
13	Iron/Copper corrosion (poor = it is visible, critical = cracks a...	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
14	Color (no condition, just categories: good = partly colored ,...	240	96,77	192	80,00	34	14,17	14	5,83	0	0,00
15	Visible preservation treatment (good = Yes, measurable wit...	7	2,82	2	28,57	5	71,43	0	0,00	0	0,00

Abbildung 9. Auswertung der Kriterien für die visuelle Zustandserfassung anhand der vorher definierten vier Kategorien, hier am Beispiel einer Untersuchung am National Museum of Denmark, Kopenhagen.

10.2 Definition von Zustandsklassen / Kategorien für die Messgrößen

Die mit SurveNIR ermittelten Messgrößen sind in der Bestandserhaltung meistens bekannt. Es wird dem Benutzer jedoch nicht leicht fallen, die Werte für die verschiedenen Messgrößen zu einem Gesamtbild für jede einzelne Probe zusammen zu fügen. Daher wurden in die SurveNIR Software (SUSO) verschiedene Funktionen integriert, welche die Praxistauglichkeit verbessern bzw. die Bewertung der Ergebnisse vereinfachen. Die Unterteilung der ermittelten Werte in Zustandsklassen, auch Kategorien genannt, ist eine dieser Funktionen. Dabei entschieden die im SurveNIR Projekt vertretenen Endnutzer, dass vier Kategorien folgender Einteilung für ihre Bedürfnisse optimal sind:

- Good = gut = kein Restaurierungsbedarf
- Fair = akzeptabel = geringer Restaurierungsbedarf
- Poor = bedenklich = signifikanter Restaurierungsbedarf
- Critical = kritisch = großer bzw. spezieller Restaurierungsbedarf

Die Kategorien lassen sich auch verwenden, um z.B. die Benutzbarkeit eines Objektes bzw. dessen Tauglichkeit für die Papierentsäuerung zu beschreiben. Durch die Reduzierung von Messwerten auf vier Kategorien wird die Übersichtlichkeit wesentlich erhöht. Der Anwender kann diese Einteilung selbst vornehmen. Innerhalb einer Eingabemaske wird dann zuerst die Messgröße ausgewählt und dann in einem zweiten Bereich die Einteilung vorgenommen (Abbildung 10). Die Unterteilung muss nicht in gleichen Abständen erfolgen. Das Programm erkennt zudem, ob mit einem kleinen oder großen Wert gestartet wird. Überlappende Bereiche sind nicht erlaubt.

Am einfachsten lässt sich dies am Beispiel des pH-Wertes erklären. Ein pH >7,2 gilt als ideal und wird daher mit "Good" bewertet. Bis pH 6,0 wird davon ausgegangen, dass das Objekt nicht akut gefährdet

ist, deshalb die Kategorie "Fair". Die saure Leimung fand bei pH 4,7 statt, d.h. viele Papiere wurden früher mit einem bereits niedrigen pH produziert. Diese Papiere mit einem pH > 4,2 (4,7 – 0,5 Fehlertoleranz) sind gefährdet und erhalten die Kategorie "Poor". Alle Papiere, welche einen niedrigeren pH aufweisen, sind extrem gefährdet und erhalten die Kategorie "Critical". Für alle anderen Messgrößen kann eine ähnliche Zuordnung zu den vier Kategorien erfolgen.

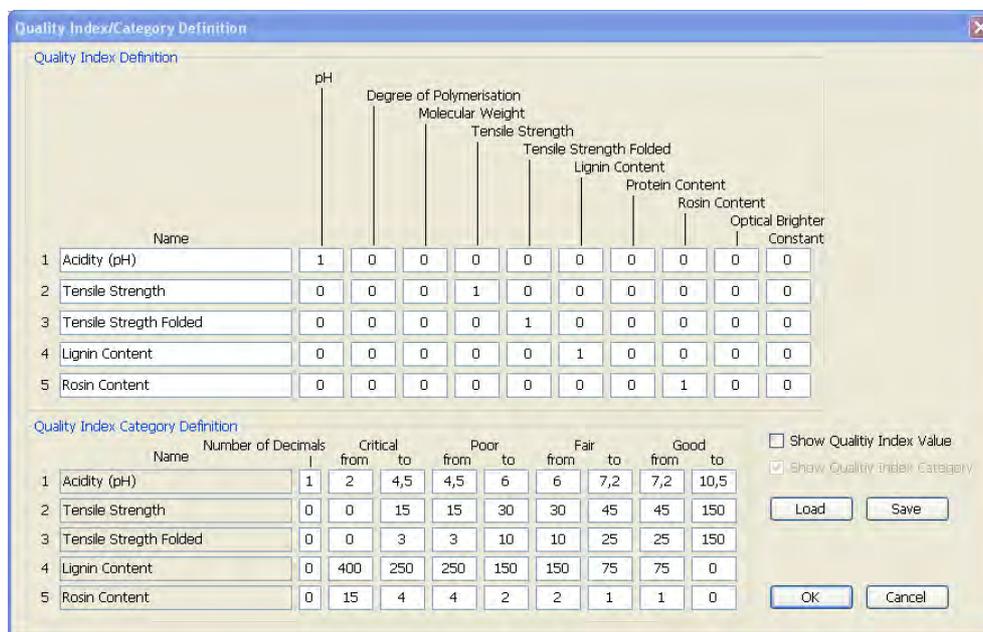


Abbildung 10. Die Eingabemaske zur Einteilung der Messgrößen in Kategorien.

Die während des Workshops verwendete Einteilung für den pH-Wert und die Bruchkraft (ohne Falzung zur Demonstration der Stabilität) wurde hinterher für den NIR-ME-Index optimiert und wird daher im Bericht nicht dargestellt (s. Kap. 12.2).

10.3 Zusammenfassen von Messgrößen zu Indices

SUSO ermöglicht auch ein Zusammenfassen von Messgrößen zu so genannten Indices. In einer Maske können die Parameter für den zu bildenden Index ausgewählt werden. Bei der Berechnung werden dann die ermittelten Werte der ausgewählten Messgrößen addiert. Verschiedene Messgrößen haben naturgemäß eine unterschiedliche Bedeutung für den mit einem Index zu beschreibenden Einzelfall. So ist z.B. für die Vergilbungsneigung der Ligningehalt wichtiger wie der Proteingehalt. Daher ist es in der Softwaremaske möglich, die für den Index ausgewählten Messgrößen entsprechend ihrer Bedeutung mit Wichtungsfaktoren zu versehen.

Der in der Addition der Messgrößen erhaltene Gesamtwert lässt dann wiederum in vier Kategorien einteilen. Dadurch wird das zahlenmäßige Ergebnis in eine leicht verständliche Terminologie übersetzt. Es ist jedoch nicht einfach, die für einen solchen Index notwendigen Justierungsarbeiten durchzuführen. Auch gibt es noch Erweiterungsbedarf für die Berechnung der Indices. Bei besonderer Bedeutung ist es auch möglich, einen Index in die Software zu integrieren.

Eine Verbesserung der Zuordnung wäre möglich, wenn die Messgrößen normiert und/oder gewichtet werden würden. Eine Summenbildung oder ein Mittelwert ergebe dann eine Kennzahl (bzw. die Zuordnung in die Zustandsklassen). Diese Vorgehensweise wäre ähnlich der Berechnung der Risikokennzahlen in der Qualitätssicherung der NB. Eine solche Kennzahl müsste in Bezug auf die ME eine Einordnung in eine Zustandsklasse bzw. die Auswahl „entsäuern – nicht entsäuern“ ermöglichen und unterstützen.

Ein solcher Index kann unter solchen Voraussetzungen auch komplizierter in der Berechnung sein als bisher in der Software verfügbar, ließe sich aber auf Kundenwunsch zeitnah umsetzen. Dazu muss der Algorithmus zur Berechnung des Indexes bekannt sein, und die Funktionen der Eingabemaske sind zu definieren. Die mögliche Vorgehensweise wird in Kap. 12.2 am Beispiel eines NIR-ME-Index für die Auswahl von Entsäuerungsgut für die ME erläutert.

10.4 Eingabe der Probandaten

SUSO enthält im Hauptfenster eine Tabelle mit Datenbankfunktion für die einzelnen Proben. In dieser Tabelle werden die Proben immer zeilenweise und die Daten spaltenweise angeordnet. Der Probenname innerhalb einer Messserie muss einzigartig sein, da die Dateinamen der Spektren und Bilder mit diesem verknüpft sind.

Manuell können die Daten für die Tabelle über ein Eingabemaske und die Tastatur eingefügt werden. Später lassen sich die Daten ergänzen oder korrigieren, auch kann der Probenname geändert werden. Bevor dieser und die Namen der Spektren- und Bilddateien geändert werden, erfolgt eine automatische Prüfung auf Einzigartigkeit. Einfacher und schneller ist die Importfunktion. Mit dieser lassen sich in Excel angefertigte Dateien im CSV-Format einlesen.

10.5 Ausgabe der Ergebnisse / Berichtsmöglichkeiten

In der Software SUSO wurden verschiedene Möglichkeiten integriert, um eine praxisnahe Ausgabe von Daten und Ergebnissen zu ermöglichen. Mit SUSO können folgende Datenblätter als Bestandteile eines Berichtes aufgerufen, exportiert, ausgedruckt oder gespeichert werden:

- **Item List**
Anzeige und Ausdruck der Datentabelle bzw. von Auszügen daraus.
- **Single Item Report**
Für jedes einzelne Objekt kann ein Kurzprotokoll mit den gemessenen Daten erzeugt und ausgedruckt werden (bei Vorhandensein eines Konverters auch als PDF möglich)
- **Executive Summary**
In dieser Zusammenfassung werden die Indices und die zusätzlichen Kriterien einer visuellen Beschreibung ausgewertet. Die Auswertung erfolgt prozentual und mengenmässig. Die Zusammenfassung wird nach jeder Messung aktualisiert und kann ausgedruckt oder gespeichert werden.
- **Comprehensive Report**
Diese umfangreichste Möglichkeit der Ergebnisausgabe umfasst die Datentabelle, alle Messwerte und Indices. Jede Zeile enthält auch hier eine Probe, die Messgrößen werden spaltenweise hinzugefügt. Die Ausgabe erfolgt im CSV-Format und kann in Excel weiterverarbeitet werden.
- **Data Backup**
Jede Untersuchung wird mit dieser Funktion dupliziert, als Backup gekennzeichnet und mit einem Zeitstempel versehen. Eine einfache Funktion um die Daten vor einer weiteren Bearbeitung zu sichern.
- **Export Application / Export Collection**
Die einzelnen Untersuchungen lassen sich zwar nicht exportieren, allerdings ist dies für die Sammlungen bzw. übergeordneten Kundenaufträge möglich. Auch die benutzerdefinierten Applikationen mit dem Layout, den Einstellungen und den chemometrischen Modellen lassen sich exportieren. So können an einem Rechner die Einstellungen erarbeitet und dann an einem anderen Rechner gemessen werden. Für die weitere Verarbeitung der Daten muss somit kein SurveNIR-Gerät angeschlossen sein.
- **Analysis Report**
Das Datenblatt sichert die Programmeinstellungen für Kategorien und Indices. Da auf diesen die Bewertung der Ergebnisse basiert, ist deren Kenntnis für das Nachvollziehen der Kategorien und Indices bei späteren Untersuchungen von Bedeutung.

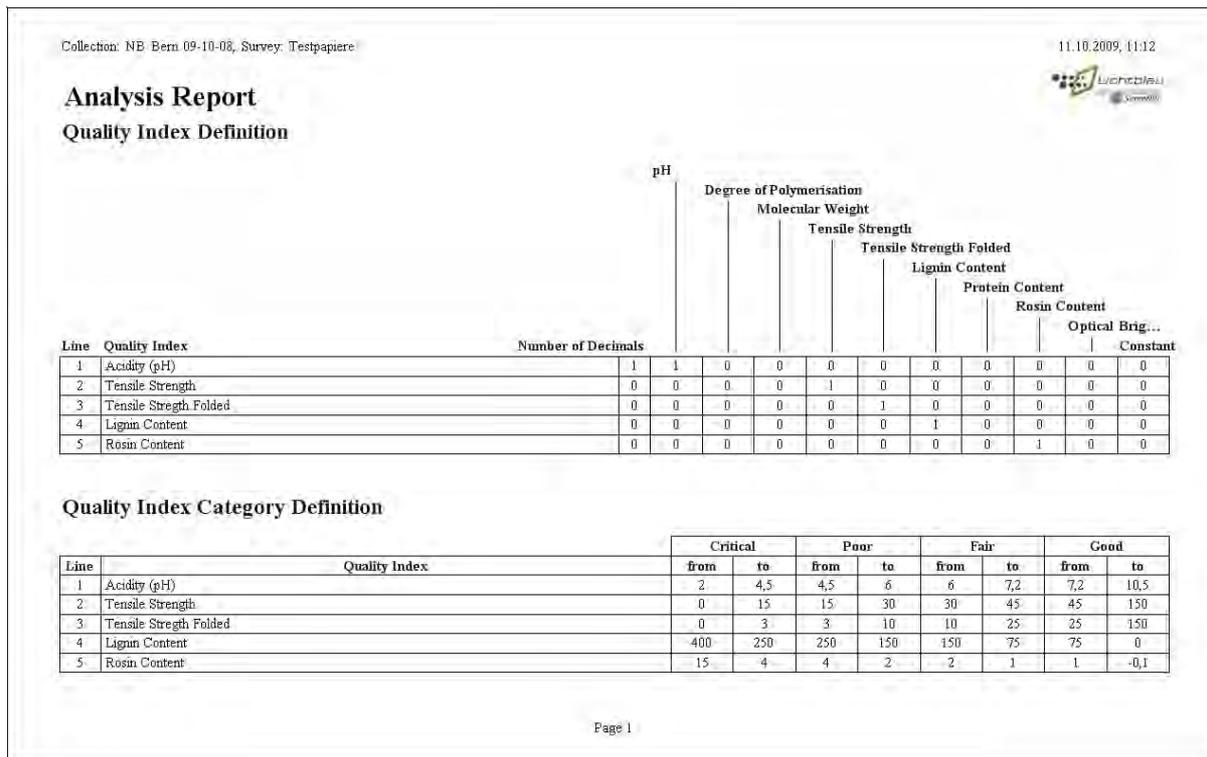


Abbildung 11. Die Datenmaske für die Zuordnung der Indices und Kategorien kann als Analysis Report ausgedruckt werden.

Eine weitere Möglichkeit die Daten darzustellen besteht durch den "Single Item Report". Hier werden alle Messdaten und gesammelten Informationen für ein Objekt auf einer Seite dargestellt. Dieses Datenblatt eignet sich daher hervorragend dafür, um direkt in das Objekt eingelegt zu werden. So erhält jeder Benutzer die Informationen über den Zustand zusammen mit dem Objekt. Indices, welche z.B. auf die Benutzbarkeit abgestimmt sind, würden hier ebenfalls vermerkt werden und könnten dem Bibliothekar eine wertvolle Hilfe im Magazin sein.

Im Anhang sind einige Beispiele aus dem Workshop für die verschiedenen Papiersorten und Alterungszustände dargestellt (s. 15.4, S. 53). Da im Workshop keine zusätzliche visuelle Auswertung stattfand, fehlen diese Daten im Datenblatt. Ansonsten würden die in der Software definierbaren "Descriptive Criteria" ebenfalls im Datenblatt erscheinen. Dadurch ließen sich Einband- oder Wasser- oder andere Schäden, aber auch ein allgemeiner Restaurierungsbedarf visuell festlegen.

10.6 Externe Weiterverarbeitung der Ergebnisse

SurveNIR verfügt nicht über eine graphische Auswertung der Ergebnisse. So umfangreich die Möglichkeiten für die Berichterstattung auch sind, Diagramme können mit SurveNIR nicht erstellt werden, über den Comprehensive Report können die Daten jedoch an Excel übergeben werden. Die weitere Verarbeitung kann dann für jede Messgröße einzeln erfolgen. Abhängigkeiten von Erscheinungsjahr können ebenso dargestellt werden wie die unterschiedliche Verteilung nach den vier Kategorien pro Messgröße und Papiersorte.

Die statistische Auswertung von Messgrößen ist die Hauptaufgabe von SurveNIR. Mit einer Anzahl zufällig ausgewählter Proben können ganze Sammlungen hinsichtlich ihres Zustandes bewertet werden. Aus den Ergebnissen lassen sich notwendige Massnahmen und Strategien für die Bestandserhaltung ableiten. Die reproduzierbaren, auf wissenschaftlicher Basis gewonnenen Erkenntnisse sollen dazu beitragen, dass notwendige Budgets für die Bestandserhaltung belastbar abgeschätzt werden können und dienen dem effizienten Einsatz knapper finanzieller Ressourcen.

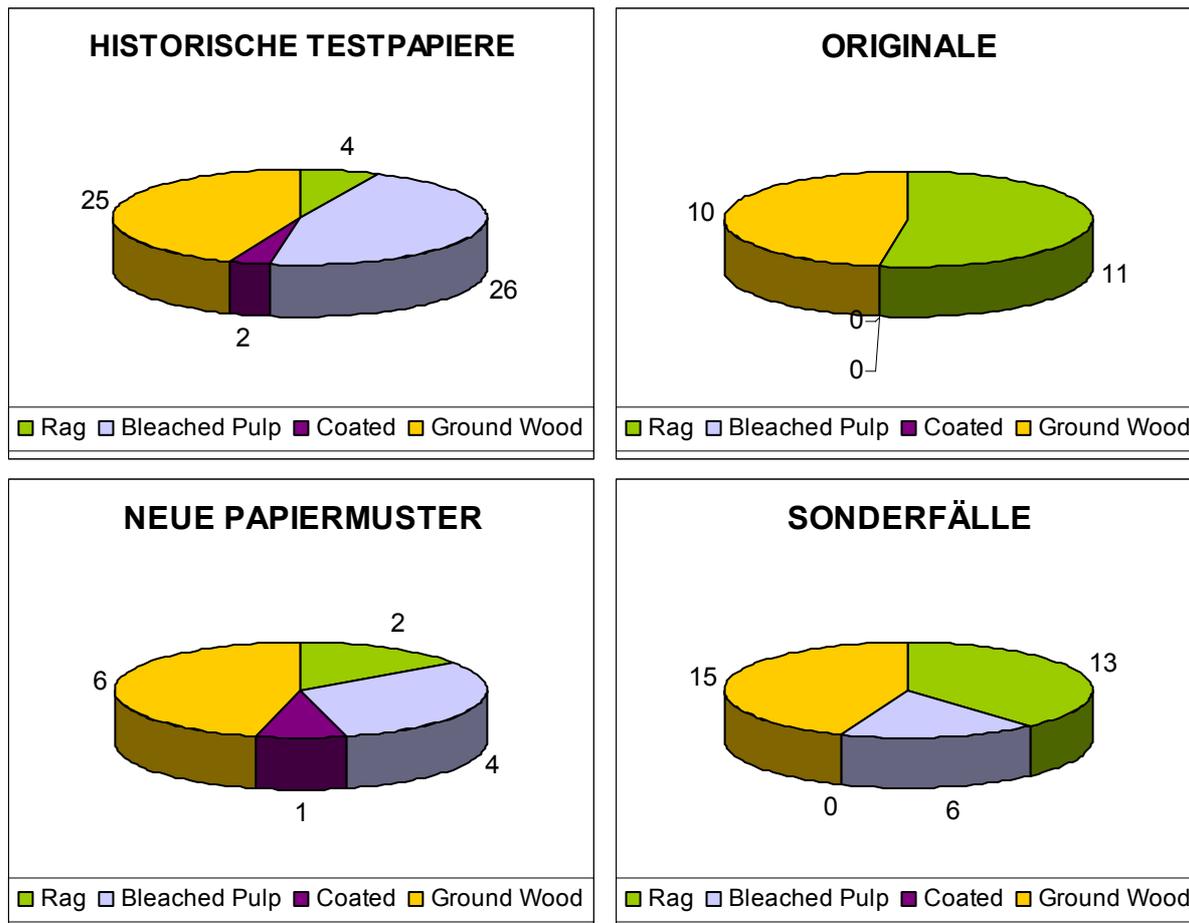


Abbildung 12. Auswertung der vier Messreihen des Workshops- Anzahl pro Papiersorte.

Eine andere Möglichkeit besteht in der Auswertung der einzelnen Messgrößen oder Indices. In Abbildung 13 wird die Bruchkraft nach Falzung in Abhängigkeit von der Papiersorte dargestellt. Auch bei der geringen Probenanzahl dieser Untersuchung werden die Unterschiede der verschiedenen Papiersorten in Bezug auf deren Erhaltungszustand deutlich. In Kombination mit der Verteilung pro Papiersorte in Abbildung 12 kann der Restaurierungsbedarf bereits besser ermittelt werden.

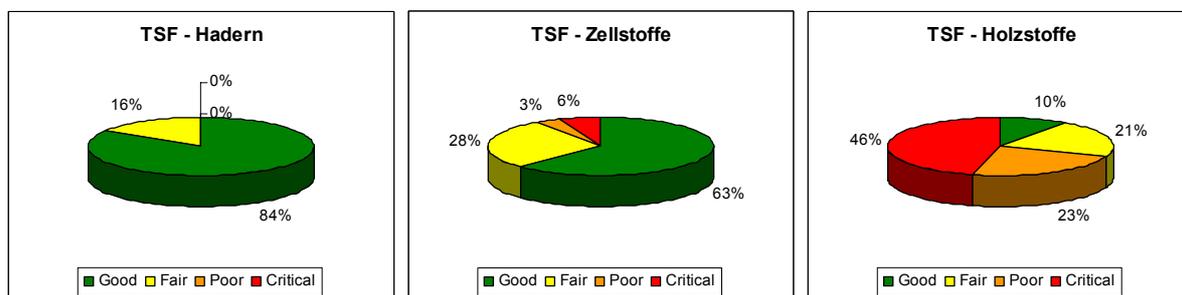


Abbildung 13. Für alle gemessenen Proben wurde die Bruchkraft nach Falzung (TSF) in vier Kategorien eingeteilt. Die Auswertung kann, wie gezeigt, auch getrennt nach Papiersorten erfolgen.

10.7 Lernmodus

Im "Lernmodus" kann der Anwender neue Proben einmessen, und damit eine Kalibrierung vornehmen. Eine Erweiterung der Software für spezielle Papier oder Zwecke ist damit denkbar. Wenn zum Beispiel in der NB die Evaluierung von Transparentpapieren wichtig ist, könnte dafür die Software erweitert werden. Voraussetzung ist allerdings die vorherige Erstellung eines Referenzdatensatzes aus entsprechend analysierten Transparentpapieren.

11 Das Probenmaterial des Workshops

11.1 Allgemeines

Im Workshop wurden insgesamt 175 Messungen an 86 Proben durchgeführt. Das Probenmaterial stammte grösstenteils aus der NB oder aus Projekten NB-NCW. Das Material war vorgängig in Gruppen unterteilt worden, musste aber im Nachhinein passend in vier Rubriken eingruppiert werden. Es wurde in der Regel Material ausgewählt, von dem bereits Analysenwerte von Seiten NB oder NCW vorlagen. Die Analysenmethoden und Messungen sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Messgrösse	Methode	Ausführung	Geräte	Anmerkung	Anzahl Werte
Oberflächen-pH	TAPPI T529 om-04	Einige Messwerte: NCW	pH-Meter und Oberflächen-Elektrode: von Firma Metrohm	NCW misst im Durchschnitt 0.1-0.2 pH-Einheiten tiefer als NB	87
		Die meisten Messwerte: NB	von Firma Mettler-Toledo		
pH aus dem Kaltextrakt	DIN 53124:1998 2 g Proben	Einige Messwerte: NCW	siehe Oberflächen-pH	Extrakt-pH liegt im Durchschnitt 1 pH-Einheit über dem Oberflächen-pH (Erfahrungswert)	32
		Die meisten Messwerte: NB	siehe Oberflächen-pH		
Bruchkraft nach Bansa-Hofer-Falzung	EN ISO 1924-2:1994, nur Längsrichtung	EMPA / UGRA*		nur einige neue Papiermuster	21
		HKB	Zwick BZ 2.5	Die meisten Messwerte	
Grenzviskositätszahl GVZ	ISO 5351-1:1981	PTS*			2
Lignin	Phloroglucin-Spot-Test	NB	Salzsäure + Phloroglucin in Methanol	gemessen bei Referenzmaterial NB 2009	18
Aluminium	Eriochromcyanin-Spot-Test	NB	Eriochrom-Cyanin, wässrig		18

Tabelle 2. Die Analysenmethoden der NB für die Bewertung des Papierzustandes.

*EMPA Eidgenössische Materialprüfanstalt, UGRA Schweizer Kompetenzzentrum für Medien und Druckereitechnologie, PTS Papiertechnische Stiftung.

11.2 Historische Testpapiere

Die historischen Testpapiere kommen aus der Testbüchersammlung der NB und sind entweder aus dem Bestand ausgeschiedene Mehrfach- und Lesesaalexemplare oder antiquarische Exemplare von ausserhalb der NB. Von den historischen Testpapieren liegen Bestimmungen des Oberflächen-pH vor, teilweise sind auch der Extrakt-pH, die Bruchkraft nach Falzung und in zwei Fällen die Grenzviskositätszahl vorhanden. Von den meisten Mustern liegt eine Einstufung in die Zustandsklassen der NB vor (Einteilung der Priorität für die Massenentsäuerung, s. 11.2.3).

11.2.1 Referenzmaterial NB 2009

Im Rahmen der Qualitätskontrolle und der Langzeitbeobachtung des papersave swiss Prozesses wurden in 2009 von der NB 20 ausgeschiedene oder antiquarische Bücher behandelt, von denen eine Hälfte oder ein gleichartiges Exemplar unbehandelt bleibt. Das Material ist mit Spot-Tests und hinsichtlich des pH-Wertes charakterisiert, und wird im Laufe des Jahres noch vollständig analysiert (Bruchkraft nach Falzung, DP). Die unbehandelten Hälften bzw. Exemplare (Code UB) wurden mit dem SurveNIR-Gerät gemessen und der Messort im Buch notiert, damit man sie im Rahmen der Langzeitbeobachtung wiederholen kann. Es wurden drei Messungen pro Seite durchgeführt, um die gute Reproduzierbarkeit der Messung aufzuzeigen (s. 12.3, S. 42). Die Bücher stammen aus den Jahren 1913 bis 1993 und haben den Probencode Ref01 bis Ref18. Die Bezeichnung a, b, beispielsweise Ref01a und Ref01b bedeutet, dass zwei gleichartige Exemplare vorliegen.

Probe	Jahr	Kurztitel	Papier gemäss Spot-tests/visuell	Herkunft	
Ref01a-UB	1976	Das Oratorium Helvetica Romana	holzfrei, guter Zustand	Unverkaufte Exemplare, Bundesamt für Kultur	
Ref01b-UB					
Ref02a-UB	1969	Le Sanctuaire II Helvetica Romana	holzfrei, guter Zustand		
Ref02b-UB					
Ref03a-UB	1971	Le Sanctuaire III Helvetica Romana	holzfrei, guter Zustand		
Ref03b-UB					
Ref04-UB	1913	Bulletin l'agriculture	stark holzhaltig	NB, ausgeschiede n oder antiquarisch	
Ref05-UB	1983	MAB Nr. 4	holzfrei, weiss, wenig Aluminium, schwach geleimt		
Ref06-UB	1983	Les devoirs actuels	holzhaltig		
Ref07a-UB	1982	Pro Familia Nr. 2	holzfrei, weiss		
Ref07b-UB					
Ref08-UB	1993	Bern Beitrag Bibliothek	holzfrei, weiss, kein Aluminium, schwach geleimt		
Ref09-UB	1975	Elementi Politica	schwach holzhaltig, nicht verbräunt, schwach geleimt		
Ref10-UB	1943	Untersuchungen Rentabilität, 1. Teil	holzhaltig, stark verbräunt, vor allem auf der Siebseite		
Ref11-UB	1943	Qualifikation in der Armee	holzhaltig		
Ref12-UB	1979	Informationen polit. Bildung 182	holzhaltig, deutlich verbräunt, satiniert		A. Blüher
Ref13-UB	1978	Informationen polit. Bildung 177	holzhaltig, deutlich verbräunt, satiniert		
Ref14-UB	1984	TCS Aargau	holzhaltig, Zeitschriftenpapier	NB, ausgeschiede n oder antiquarisch	
Ref15-UB	1971	Erinnerungen Hofwyl	holzfrei, satiniert		
Ref16-UB	1957	Turnprüfung 1957	holzhaltig, offene Oberfläche		
Ref17-UB	1985	Mit Herz und Hand	holzhaltig, offene Oberfläche		
Ref18-UB	1969	These Blaise Vaucher	holzhaltig, raue Oberfläche		

Tabelle 3. Die Referenzpapiersammlung als Teil der historischen Testpapiere.

11.2.2 Diverse brüchige Papiere und Zeitungspapiere

Proben-Code	Jahr	Beschreibung	Herkunft
Basler Nachrichten 1886	1886	Demo-Zeitungsband, extrem brüchig	NB, ausgeschieden
Mentzel 1932	1932	Extrem brüchiges Papier Papierfarbe: gut	HKB, E. Mentzel
BHR10/II 1973	1973	Sauer, holzhaltig, guter Zustand	Unverkaufte Exemplare, Bundesamt für Kultur
NGb 19459		Demo-Broschur, extrem brüchig	NB, ausgeschieden
DOS 1892	1892	Zeitungsband „Die Ostschweiz“	NB, antiquarisch; vermessen im Rahmen eines Projektes NCW/NB
DOS 1902	1902	Zeitungsband „Die Ostschweiz“	
DOS 1906	1906	Zeitungsband „Die Ostschweiz“	
DOS 1944	1944	Zeitungsband „Die Ostschweiz“	
EA1 1878	1878	„Eidgenössische Abschiede“, sehr brüchig	NB, ausgeschieden, vermessen im Rahmen eines Projektes NCW/NB
HW1 1911/7	1878	„Handbuch der Staats- wissenschaften“, sehr brüchig	
KB1 1814	1814	Hadernpapier, guter Zustand	

Tabelle 4. Brüchige Papiere und Zeitungspapiere als Historische Testpapiere.

11.2.3 Proben mit Angabe einer Priorität für die Massenentsäuerung

An 17 ausgeschiedenen Büchern der NB wurde ca. im Jahr 2003 eine exemplarische Einstufung in Entsäuerungsprioritäten vorgenommen (Skala 2003).

Die Einstufung geschah anhand von

- Papierverbräunung (optisch)
- Oberflächen-pH-Wert (teilweise Extrakt-pH), Messung mit Oberflächen-Elektrode. Normalfall an den Originalen: keine Messung oder kleiner Punkt mit dem pH-Stift.
- Papierfestigkeit anhand der Doppelfalzzahl. Normalfall an den Originalen: haptische Einschätzung ohne Falzen.

Die Entsäuerungsprioritäten wurden folgendermassen definiert:

1. Entsäuerung sofort notwendig, deutliche bis starke Papierverbräunung, Papierfestigkeit mässig bis schlecht, pH tief (Abbey pH-Stift wird sofort farblos).
2. Entsäuerung in den nächsten 5-10 Jahren, leichte bis deutliche Papierverbräunung, pH tief, Papierfestigkeit noch gut.
3. Entsäuerung in den nächsten 10-20 Jahren, beginnende Papierverbräunung. pH mässig tief. Papier vermutlich gefährdet, aber nicht akut.
- 0 keine Entsäuerung nötig

Die Bezeichnungen für die Prioritäten und die Beurteilung des Papierzustandes wurden im Rahmen der Zustandserfassung für die Sammlungen der NB im Jahr 2005 auf fünf Stufen und die umgekehrte Reihenfolge geändert (Skala 2006-2009). Die Skala 2006-2009 liegt diesem Bericht zugrunde. Lediglich in den "Comments" in Tabelle 23 sind teilweise noch die ME-Prioritäten nach Skala 2003 aufgeführt. Tabelle 5 enthält eine Übersicht der Skalen, wie sie für die Charakterisierung des Probenmaterials verwendet werden. In Tab. 6 sind die 17 Bücher mit den Prioritäten aufgeführt.

Papierverbräunung	ME-Prioritäten	Prioritäten NB Skala 2006-2009	SurveNIR-Kategorien	Prioritäten NB Skala 2003
Optisch-haptische Einschätzung des Papierzustandes	Umsetzung in Empfehlungen zur ME	Diese Skala diene als Basis für diesen Bericht	ca. Zuordnung der Kategorien zu den Prioritäten	Skala wird nicht mehr verwendet
Papierverbräunung: keine	keine ME	0	1 = good	0
Papierverbräunung: beginnend	niedrig	1	2 = fair	3
Papierverbräunung: leicht	empfehlenswert	2	2 = fair	2
Papierverbräunung: deutlich	dringlich	3	3 = poor	1
Papierverbräunung: stark	sehr dringlich	4	3 = poor	1+
Papierverbräunung: stark + brüchig	zu spät / zu riskant	5	4 = critical	x

Tabelle 5. Die Bewertungssysteme der NB im Vergleich zu den SurveNIR Kategorien.

Probe	Jahr	Prioritäten NB Skala 2003	Prioritäten NB Skala 2006-2009	Herkunft
H 7993	1975	3	1	NB, Testbücher-sammlung; ausgeschiedene Mehrfach-exemplare
H 8007	1975	3	1	
H 7959	1974	2	2	
NGb 12150	1956	2	2	
NGb 12272	1953	2	2	
NGb 12302	1959	2	2	
Bulletin1914	1914	1	3	
H12139	1982	1	3	
H142	1954	1	4	
H7960	1974	1	3	
Mitteilungen.. 1919	1919	1	4	
NGb 10623	1961	1	3	
NGb 10919	1962	1	3	
NGb 12015	1964	1	3	
NGb 3038	1950	1	4	
NGb 5378	1935	1	4	
H7954	1974	0	0	
H7985	1974	0	0	

Tabelle 6. Historische Testpapiere mit Bewertung der ME-Prioritäten.

11.2.4 Externe Proben

Probe	Jahr	Beschreibung	Papier	Herkunft
II01			Hadernpapier	Diplomarbeit Frau C. Effner
III06		Diplomarbeit S. 45	Hadernpapier	Diplomarbeit Frau C. Effner,

Tabelle 7. Externe Proben als Historische Testpapiere

11.3 Originale

An den Originalen wurden lediglich die Oberflächen-pH-Werte und die ME-Prioritäten bestimmt.

11.3.1 Hadernpapiere aus der NB

Probe	Jahr	Kurztitel	Papier, Zustand	Herkunft
L Theol 4733	1742	Vierstimmiges Psalmenbuch	grosse Flecken am Rand, Druckbereich etwas verbräunt	NB, allgemeine Sammlung
L Theol 6072	1640	Neues Testament rätromanisch	insgesamt starke Verbräunung, im Randbereich viele kleine Punkte	NB, allgemeine Sammlung
A 3775/1	1698	Helvetische Kirchengeschichte	einzelne Seiten stark verbräunt, fleckig, vor allem im Druckbereich	NB, allgemeine Sammlung
A 7569	1703	Fortunati Sprecher von Berneck	Starke Verbräunung im Druckbereich, Rand teilw. fleckig	NB, allgemeine Sammlung
AB-Luther	ca. 1700	Grabrede, Reste eines zerschnittenes Buches	Hadernpapier, schwache Verbräunung im Druckbereich, Flecken im Randbereich;	A. Blüher antiquarisch, vermutlich gewässert
GG-1728	1728	Geistliche Stadt Gottes	schwache Verbräunung im Druckbereich, Flecken im Rand-bereich, mehr hinten	G. Grossen- bacher

Tabelle 8. Hadernpapiere als Bestandteil der Messreihe Originale.

11.3.2 Amtsdrukschriften aus der NB

Derzeit werden die Amtsdrukschriften von ca. 1850 bis heute entsäuert (Format Oktav, Signatur OP). Zu Beginn ist die Auswahl schwierig, da noch Hadernpapiere ohne erkennbaren Behandlungsbedarf, aber auch sehr brüchige Papiere aus den Anfängen der industriellen Papierherstellung enthalten sind. Im Moment werden anhand des visuellen Eindrucks und der Haptik die Bände ausgesondert, die als stabil oder zu brüchig erscheinen. Im Bereich der Signaturen OP 311 bis OP 545 wurden 11 zumeist holzhaltige Bücher minderer Qualität vermessen, wo die optisch-haptische Entscheidung für oder gegen eine ME wegen Brüchigkeit sehr schwierig ist. Die Messungen wurden vor Ort im Tiefmagazin West der NB (18°C, 45% rF) durchgeführt. Ausserdem wurden zwei Zeitschriftenbände der Signatur Rq vermessen, die an der Grenze zum alkalischen Papier ohne Behandlungsbedarf sind.

Probe	Jahr	Kurztitel	Papier, Zustand, ME ja oder nein (Sicht NB)	Herkunft
OP311-1847	1847		Hadern, gut, keine ME	NB, allgemeine Sammlung / fortlaufende Publikationen
OP386-1845	1845-1890	Verordnungen Kanton Appenzell	vorne gut, hinten (Messung) zu brüchig, keine ME	
OP442-1866-1	1866	Amtsblatt Kanton Basel-Landschaft	Hadern, gut, keine ME	
OP442-1870-1	1870		Hadern? Grenzfall, verbräunter Rand, keine ME	
OP442-1873-2	1873		holzhaltig, ME	
OP442-1874-2	1874		holzhaltig, ME	
OP447-1880	1880-1890	BL Amtsbericht des Obergerichts	stark verbräunt, brüchig, keine ME	
OP449-1836-hinten	1836-1896	Bericht des Erziehungsrates Basel-Landschaft, drei verschiedene Papiere in einem Band, insgesamt: keine ME	holzhaltig, mässig gut, ME	
OP449-1836-mitte			stark verbräunt, holzhaltig, brüchig, keine PE	
OP449-1836-vorn			Hadern, gut, keine ME	
OP545-1926	1926	-	ME	
RQ4847-1991	1991	Schweizer Familie	Zeitschriften-Papier, holzhaltig, satiniert, ME	
RQ4847-1996	1996	Schweizer Familie	Zeitschriften-Papier, holzhaltig, satiniert, ME	

Tabelle 9. Im Tiefmagazin der NB gemessene Originale.

11.4 Neue Papiermuster

Die Messserie "Neue Papiermuster" beinhaltet vor allem Proben für wissenschaftliche Untersuchungen zum Thema Papier und Papieralterung. Zum Teil ist die Zusammensetzung dieser Papiere sehr genau definiert, daher gibt es in einigen Fällen eine Spezifikation des Herstellers.

Einige der neuen Papiermuster wurden zusätzlich auch in behandeltem oder künstlich gealtertem Zustand mit SurveNIR gemessen. Mit SurveNIR können derartige Papiere bislang jedoch nur bedingt ausgewertet werden. Die behandelten oder künstlich gealterten Proben sind daher Sonderfälle. Unbehandelte Proben der Messserie "Neue Papiermuster" werden somit in Abschnitt 11.4 und behandelte in Abschnitt 11.5 dargestellt.

Von den neuen Papiermustern liegen Bestimmungen des Oberflächen-pH vor, teilweise auch des Extrakt-pH, der Bruchkraft nach Falzung und – selten – des DP.

Probe	Jahr	Beschreibung, Verwendung	Papier / Spezifikation	Herkunft / Hersteller
3-0d-UB-Golzern?	1985 ?	Testpapier, sauer, aus der ehem. DDR, Papier 3 in [10]	sieht genau gleich aus wie das „Golzern“-Papier des ZFB, stark holzhaltig	DFG-Projekt Vergleich von ME-Verfahren (Prof. Banik)
3-UB-0d	1985 ?	das Gleiche, anderes Blatt		
Golzern		Papiermuster LB aus der SurveNIR-Sammlung		
Hahnemühle	ca. 2008	Vorsatzpapier 120 g/m ² ; verwendet in der Restaurierung NB	holzfrei, gepuffert	Büttenfabrik Hahnemühle
Klug Fotoarchivpapier	ca. 2008	120g/m ² ; verwendet in der Restaurierung NB	gebleichte Cellulose, ungepuffert, ohne opt. Aufheller	Klug Conservation, Art.-Nr. 8104
MOAB	ca. 2008	Moab Entrada Natural, 190 g/m ² ; verwendet im Reprobereich NB für hochwertige Inkjet-Drucke	100% Cotton	Imaprint Bern
Novo 2004-UB	2006	Novo-Papier holzhaltig, sauer gefertigtes Testpapier für die ME, zweiseitig; Papier 1 in Literatur[10]	holzhaltig	Klug Conservation
Novo 2008-UB-hh	2008	Sauer gefertigtes holzhaltiges Testpapier für ME, Novo 1, Spezifikation: www.klug-conservation.com	>55% CTMP, 17% Lignin, Kappazahl 113, Harz-Alaun-Leimung, ohne opt. Aufheller	Klug Conservation, Art.-Nr. 007090
Novo 2008-UB-hf	2008	Sauer gefertigtes holzfreies Testpapier für die ME, Novo 2	gebleichter Zellstoff, Harz-Alaun-Leimung ohne opt. Aufheller	Klug Conservation Art.-Nr. 007091
TB-UB-2000-Papier A	1999	Testpapier aus Testbuch papersave swiss 2000	gestrichen, unbehandelt	NCW, gelagert im NB-Magazin
TB-UB-2000-Papier B	1999	Testpapier aus Testbuch papersave swiss 2000; Papier 2 in [10]	holzfrei, unbehandelt	
TB-UB-2000-Papier C	1999	Testpapier aus Testbuch papersave swiss 2000; Zeitungspapier, verwendet für die Zeitung „Der Bund“	holzhaltig, Zeitungspapier, unbehandelt	
Whatmann Nr. 1- sure		Whatmann Nr.1 Filterpapier	holzfrei	HKB, Labor

Tabelle 10. Probensammlung Neue Papiermuster.

11.5 Spezialpapiere, Sonderfälle

11.5.1 Zuordnung zur Rubrik Sonderfälle

In die Rubrik „Sonderfälle“ wurden diejenigen Papiere eingruppiert, für die es in SurveNIR bisher keinen Referenzdatensatz gibt. Die Messergebnisse sind daher mit Vorbehalt zu betrachten und werden in die eigentliche Auswertung nicht einbezogen. Viele dieser Papiere wurden in irgendeiner Form behandelt, künstlicher Alterung unterworfen und stammen somit aus wissenschaftlichen Arbeiten. Bei den anderen Proben handelt es sich um Papiere, die spezielle Alterungsschäden aufweisen oder in Sammlungen weniger häufig vorkommen.

11.5.2 Hadernpapiere aus der Aargauer Kantonsbibliothek (AKB)

Die zwei Bücher wurden von Frau Dipl.-Restauratorin Karin Ruegg zum Workshop mitgebracht. Beide sind im Druckbereich stark verbräunt und gemäss Oberflächen-pH-Messung auch ziemlich sauer. Die Frage ist, ob Behandlungsbedarf besteht (Entsäuerung). Die Signaturen sind als Sonderfälle gewertet, da infolge der starken Verbräunung im Druckbereich keine sichere Messung möglich war.

Probe	Jahr	Beschreibung	Papier, Zustand	Herkunft
B235q Rand	1644	Pergamentband, Historia Caroli Magni Imperatoris Romani, Johannis Henrici,	Hadernpapier, mit Verbräunungen, S. 162 Rand, hellere Stellen	AKB
B235q Rand verbräunt			S. 263	
B235q innen verbräunt			S. 263	
B235q Ecke verbräunt			die herausstehende Ecke wurde gemessen, S. 241/2	
B249q Rand Vorderseite	1679	Lederband, Historia Veteris Regni Populique Burgundio-num. Gemessen: 1. Teil vor Coloris Commentarius	Hadernpapier starke Verbräunungen letztes, leeres Blatt, Vorderseite	AKB
B249q Rand Rückseite			letztes, leeres Blatt, Rückseite	

Tabelle 11. Hadernpapiere mit besonderen Alterungsschäden.

11.5.3 Graphische Papiere aus der NB

Probe	Jahr	Beschreibung	Papier, Zustand	Herkunft
Klf 279 Res	1899	Félix Vallotton: « Intimités », Titelblatt und 5 Werke: Graphisches Blatt "Le grand moyen"	stark verbräunt, sieht aus wie holzhaltig, innen	Graphische Sammlung NB
			stark verbräunt, sieht aus wie holzhaltig, Rand	
		Félix Vallotton: « Intimités », Titelblatt und 5 Werke: Rückenkarton	stark verbräunt	
EAD Kt. Genf,	1911	Temple de la Fusterie, Dossier 357/s, Rapport de 21. Juni 1911	gelbliches Blatt	NB; Graphische Sammlung/EAD
EAD Bern-Biel, Aebtehaus		1. Blatt in der Mappe	sehr dünn, Eisen-Gallus-Tinte, Kopier- o. Pergaminpapier,	NB; Graphische Sammlung/EAD

Tabelle 12. Graphische Papiere mit besonderen Alterungsschäden.

11.5.4 Weitere Sonderfälle

Proben	Jahr	Beschreibung	Papier / Behandlung	Herkunft	Warum Sonderfall
III06 Abklatsch			Hadernpapier	Diplomarbeit Frau C. Effner, S. 45	Tintenfrass- Schädigung
L Theol 4733			Hadernpapier		starke Verbräunung
Postkarte Damhirsch				A Blüher	Papier sehr dick (Karton)
DOS 1892 dea-b	1892	Zeitungspapier, unbehandelt s. 11.2.2	entsäuert, papersave swiss, Bibliothekskonz.		Entsäuerung
DOS 1906- dea-a	1906	Zeitungspapier, unbehandelt s. 11.2.2	entsäuert, papersave swiss, Archivkonzentration		Entsäuerung
DOS 1944 dea-b	1944	Zeitungspapier, unbehandelt s. 11.2.2	entsäuert, papersave swiss, Bibliothekskonz.		Entsäuerung
Papier ligninhaltig		Ohne Zuordnung	Vermutung, dass es ligninhaltig ist	Labor HKB	Ligninhaltigkeit nachgewiesen
Papier ligninhaltig behandelt			Getränkt mit 10%iger Salzsäure und getrocknet		Säurebehandlung; der pH wird zu hoch angezeigt.
Kein Whatmann		Filterpapier, vermutet als Whatmann Nr.1	Unbehandelt	Labor HKB	Kein W. Nr.1, da Anwesenheit von opt. Aufhellern
Kein Whatmann behandelt			Getränkt mit 10%iger Salzsäure und getrocknet		Säurebehandlung; der pH wird zu hoch angezeigt.
Microfilmjacket		Aufbewahrung von Negativen		NB/EAD	Alterung durch Negative
MOAB 7d gealtert		bei 80°C/65%rF Klimaschrank NB, hängend, Einzelblätter		NB	künstliche Alterung; die Tendenz ist zu sehen (pH- und DP-Abfall)
MOAB 14d gealtert				NB	
NOVO2004 kein Licht		Proben nicht mehr eindeutig zuzuordnen		NB	Proben doch mit Lichtalterung?
NOVO2004 Licht		Proben nicht mehr eindeutig zuzuordnen	Papier extrem abgebaut	NB	Lichtalterung, Wärmealterung
Negativhülle		Papier, gelagert in Hülle aus Cellulosenitrat	extrem verbräunt und abgebaut	NB	Papier wird richtig eingeordnet und als „N/A“ erkannt
Papier Tinte		Papier unspezifiziert	mit Tinte durchtränkt	Woher?	Tinte
Schnapskopie				NB	Vervielfältigung auf Alkoholbasis

Tabelle 13. Probensammlung Sonderfälle.

12 Die Ergebnisse

12.1 Allgemeines

Die Ergebnisse der Messungen sind in den Messwert-Tabellen im Anhang, Kap. 15.5, vollständig aufgeführt. Für jede Messung gibt es einen Single Item-Report, von dem im Anhang, 15.4, einige Datenblätter als Beispiele zu finden sind. In den Messwerttabellen sind ebenfalls die Messwerte und die Prioritäten der NB aufgeführt, die im Folgenden mit den Prioritäten und Messwerten des SurveNIR-Gerätes verglichen werden.

12.2 Der NIR-ME-Index

Derzeit wichtigstes Ziel der NB für den Einsatz von SurveNIR ist die Vergabe von Prioritäten für die Massenentsäuerung. Besondere Bedeutung kommt dabei dem Umstand zu, dass die ME für bereits stark brüchige Papiere ungeeignet ist. Zum einen es nicht besonders effizient, sehr stark abgebaute Papieren „nur“ zu entsäuern, da die angenommene Verlängerung der Haltbarkeit um Faktor 4-5 nur zu einer geringen Verbesserung führen kann. Zum anderen bedingt das Handling, der Transport, sowie die notwendige Vortrocknung und Rekonditionierung beim Entsäuerungsverfahren einen mechanischen Stress für das Objekt. Dieser kann sich sehr nachteilig auswirken, so dass bei stark abgebauten Papieren durch die Behandlung eine Destabilisierung des Objektes erfolgt.

Die Unterscheidung zwischen „noch entsäuerbaren“ und „nicht mehr entsäuerbaren“ Objekten ist mit einer rein visuellen Zustandserfassung nicht sicher möglich. SurveNIR kann dieses Problem durch die reproduzierbare Messung verschiedener repräsentativer Messgrößen lösen. Es ist jedoch für den routinemäßigen Einsatz notwendig, dass SurveNIR aus den einzelnen Messwerten eine automatische Aussage zum Gesamtzustand des Papiers ableitet. Dies kann durch einen so genannten NIR-ME-Index erfolgen. Wie dieser gebildet werden kann soll im Folgenden exemplarisch gezeigt werden.

Bereits 2004 wurde bei dem ersten NIR-Prototyp paperrating für den Alterungszustand Papier ein solcher Index entwickelt.^{11,12,13} SurveNIR stellt eine erhebliche Weiterentwicklung gegenüber dem Prototyp dar. So können mit SurveNIR mehr und repräsentativere Messgrößen für mehr Papiersorten ausgewertet werden. Zudem erlaubt SurveNIR eine Einteilung der Werte in 4 statt nur in 3 Zustände. Daher ist die bereits 2004 publizierte ME-Bewertung von paperrating nicht mehr aktuell und muss vollständig überarbeitet werden. Die folgenden Erläuterungen sind daher nur ein erster Versuch für einen NIR-ME-Index der schweizerischen Nationalbibliothek. Hinsichtlich verfügbarer Probenanzahl und Zeit kann somit kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden.

Für diesen ersten Ansatz wurde von den verfügbaren Messgrößen der DP nicht mit einbezogen, da dieser nicht für Holzstoffe verfügbar ist und somit eine separate Betrachtung für diese Papiergruppe erfolgen müsste. Das mittlere Molekulargewicht (MW) geht ebenfalls nicht in den Index ein. Das MW kann über eine Papierseite gesehen stark schwanken. Zudem erfolgte für diese Methode noch keine sichere Zuordnung der Werte zu den vier Kategorien.

Insgesamt konnten für diesen ersten Versuch 60 Proben verglichen werden, da sowohl die Einteilung nach der Prioritätenliste 2006-2009 der NB Bern als auch die vollständigen Datensätze von SurveNIR vorhanden war. Die nachstehende Tabelle vergleicht die Ergebnisse der Bewertung mit SurveNIR (NIR-ME-Index) und die ME-Priorität der NB Bern (Tabelle 14).

Betrachte man den Trend in Tabelle 14, so wird ersichtlich, dass der NIR-ME-Index wie auch die ME-Prioritäten von oben nach unten schlechter wird. Allerdings gibt es auch eine Anzahl Abweichungen. Außerdem werden mit dem NIR-ME-Index weniger Proben mit „Good“ = ME-Priorität „0“ bewertet. Letzteres liegt am Bewertungssystem des NIR-ME-Indexes und ließe sich anpassen. Der NIR-ME-Index soll jedoch ein objektives Bild wiedergeben, daher sind Abweichungen bzw. differenziertere Aussagen durchaus von Vorteil.

Signatur	Jahr	Papiersorte	Gesamt- bewertung NIR	NIR-ME-Index Sep09	ME Priorität NB Bern 2006-2009
Ref 07a-UB-MW	1982	Bleached Pulp Paper	1,55	Fair	0
Ref 07b-UB-MW	1982	Bleached Pulp Paper	1,55	Fair	0
Ref 05-UB-MW	1983	Bleached Pulp Paper	1,55	Fair	0
Ref 08-UB-MW	1993	Bleached Pulp Paper	1,35	Good	0
Ref 02b-UB-MW	1969	Coated Paper	1,10	Good	0
Ref 02a-UB-MW	1969	Coated Paper	1,10	Good	0
KB1 1814 S167	1814	Rag Paper	1,60	Fair	0
KB1 1814 S97	1814	Rag Paper	1,60	Fair	0
H 7954 M2	1974	Bleached Pulp Paper	1,55	Fair	0
H 7985	1974	Bleached Pulp Paper	1,55	Fair	0
OP311-1847		Rag Paper	1,60	Fair	0
OP442-1866-1	1866	Rag Paper	2,35	Fair	0
OP442-1870-1	1870	Ground Wood Paper	3,10	Critical	0
OP449-1836-vorn		Rag Paper	1,75	Fair	0
Ref 03a-UB-MW	1971	Bleached Pulp Paper	1,60	Fair	1
Ref 03b-UB-MW	1971	Bleached Pulp Paper	1,60	Fair	1
Ref 01a-UB-MW	1976	Bleached Pulp Paper	1,55	Fair	1
Ref 01b-UB-MW	1976	Bleached Pulp Paper	1,55	Fair	1
Ref 15-UB-MW	1971	Bleached Pulp Paper	1,75	Fair	1
Ref 09-UB-MW	1975	Bleached Pulp Paper	1,60	Fair	1
H 7993	1975	Bleached Pulp Paper	1,55	Fair	1
H 8007	1975	Bleached Pulp Paper	1,95	Fair	1
RQ4847-1996	1996	Ground Wood Paper	2,60	Poor	1
Ref 11-UB-MW	1943	Bleached Pulp Paper	1,90	Fair	2
Ref 06-UB-MW	1983	Ground Wood Paper	2,65	Poor	2
BHR10/II 1973	1973	Bleached Pulp Paper	1,95	Fair	2
H 7959	1974	Bleached Pulp Paper	1,55	Fair	2
NGb 12150	1956	Bleached Pulp Paper	1,95	Fair	2
NGb 12272	1953	Bleached Pulp Paper	1,95	Fair	2
NGb 12302	1959	Bleached Pulp Paper	1,50	Fair	2
RQ4847-1991	1991	Ground Wood Paper	3,30	Critical	2
Ref 16-UB-MW	1957	Ground Wood Paper	2,20	Fair	3
Ref 04-UB-MW	1913	Ground Wood Paper	3,05	Poor	3
Ref 18-UB-MW	1969	Ground Wood Paper	2,30	Fair	3
Ref 14-UB-MW	1984	Ground Wood Paper	2,15	Fair	3
Ref 17-UB-MW	1985	Ground Wood Paper	1,70	Fair	3
Mentzel 1932 M1	1932	Bleached Pulp Paper	2,75	Poor	3
Bulletin1914	1914	Ground Wood Paper	3,15	Critical	3
DOS 1906	1906	Ground Wood Paper	3,05	Poor	3
H 12139	1982	Ground Wood Paper	2,60	Poor	3
H 7960	1974	Ground Wood Paper	3,05	Poor	3
NGb 10623	1961	Ground Wood Paper	3,35	Critical	3
NGb 10919	1962	Ground Wood Paper	3,35	Critical	3
NGb 12015	1964	Bleached Pulp Paper	2,00	Fair	3
OP442-1873-2	1873	Ground Wood Paper	3,30	Critical	3
Ref 12-UB-MW	1979	Ground Wood Paper	3,30	Critical	4
EA1 1878	1878	Ground Wood Paper	3,40	Critical	4
DOS 1892 M2 Mitte	1892	Ground Wood Paper	3,00	Poor	4
DOS 1944	1944	Ground Wood Paper	3,05	Poor	4
DOS 1902	1902	Ground Wood Paper	3,35	Critical	4
H 142	1954	Bleached Pulp Paper	1,85	Fair	4
Mitteilungen.. 1919	1919	Ground Wood Paper	3,35	Critical	4
NGb 3038	1950	Ground Wood Paper	2,60	Poor	4
NGb 5378	1935	Ground Wood Paper	3,35	Critical	4
OP449-1836-mitte	1878	Ground Wood Paper	3,30	Critical	4
OP545-1926		Ground Wood Paper	3,35	Critical	4
NGb 19459		Ground Wood Paper	3,00	Poor	5
OP386-1845	1887	Ground Wood Paper	3,35	Critical	5
OP447-1880		Ground Wood Paper	3,30	Critical	5
OP449-1836-hinten	1889	Ground Wood Paper	3,30	Critical	5

Tabelle 14. Die Proben für den NIR-ME-Index. Die ME-Priorität nach optisch-haptischer Bewertung wurde der NIR-Bewertung gegenübergestellt. Die Proben wurden in der Tabelle aufsteigend nach ME-Priorität angeordnet.

Für das Verständnis wichtiger sind jedoch die Proben, bei denen der NIR-ME-Index erheblich von der ME Priorität NB 2006-2009 abweicht, wie zum Beispiel bei der Probe OP442-1870-1. Die optisch haptische Auswertung der NB hat die Priorität 0 ergeben, der NIR-ME Index die Kategorie "Critical". Zum Verständnis der unterschiedlichen Bewertungen soll an dieser Stelle die Vorgehensweise für den NIR-ME-Index erläutert werden. Zuerst wurde für jede der 7 verwendeten Messgrößen, wie unter 10.2 prinzipiell beschrieben, der jeweilige Messbereich in die vier Kategorien unterteilt (Tabelle 15).

Messgröße	Kategorie Good = 1	Kategorie Fair = 2	Kategorie Poor = 3	Kategorie Critical=4	Wichtungsfaktor
Acidität (pH)	≥7,2	≥6,0	≥4,2	<4,2	20
Bruchkraft [N]	≥45	≥30	≥15	<15	15
Bruchkraft nach Falzung [N]	≥25	≥10	≥3	<3	30
Ligningehalt	<75	<150	<250	≥250	20
Proteingehalt	>3	>0			5
Kolophoniumgehalt	<1	<2	<4	≥4	5
Optische Aufheller	NO		YES		5

Tabelle 15. Einteilung der Messgrößen in die vier Kategorien inklusive Wichtungsfaktor.

Nun soll für den NIR-ME-Index der Zustand "Critical" derjenige sein, bei welchem deutlich wird, dass diese Objekte wegen zu hoher Brüchigkeit nicht mehr entsäuert werden können. Ein sehr niedriger pH ist dafür eigentlich kein Ausschlusskriterium. Allerdings ist es denkbar, dass bei extrem niedrigen pH und normalem Entsäuerungsprozess die gewünschte Menge an alkalischer Reserve eventuell nicht mehr erreicht werden kann, da die eingelagerte Menge an Base hauptsächlich für die Neutralisation verbraucht wird. Deshalb soll in erster Annäherung der pH-Wert für den NIR-ME-Index ebenfalls herangezogen werden, für zukünftige Versuche wird eine getrennte Betrachtung empfohlen.

Die Berechnung eines Indexes erfolgt im einfachsten Fall wie in 10.3 dargestellt durch Addition der Ergebnisse. Man kann aber auch den mit einem Faktor multiplizieren bzw. den Mittelwert bilden wie derzeit in SUSO möglich.

$$\text{NIR-ME-Index} = (\text{KategorieMessgröße1} + \text{KategorieMessgröße2} + \dots)/n \quad (7)$$

Wie die folgende Betrachtung zeigt, ist die Bedeutung der einzelnen Messgrößen für den Index jedoch unterschiedlich. Bei Holzstoffpapierenen ist der Proteingehalt zumeist uninteressant, während bei Hadern die Proteinleimung einen entscheidenden Einfluss hat. Um die unterschiedliche Bedeutung auszugleichen, wird in die Berechnung für jede Messgröße ein Wichtungsfaktor eingeführt (Tabelle 15). So bedeutet ein Wichtungsfaktor 20, dass die Messgröße mit 20% am Index beteiligt ist, d.h. bei 7 Messgrößen einen leicht überdurchschnittlichen Einfluss ausübt ($100/7=14,3\%$; $20\%>14,3\%$). Die Summe der Faktoren ergibt 100%. Alle Faktoren sind so gewählt, dass die Summe 100 ergibt. Teilt man daher am Ende durch 100 so wird eine Kennzahl zwischen 1,00 und 4,00 erreicht. Der Gesamtalgorithmus zur Bestimmung des NIR-ME-Indexes lässt sich daher wie folgt beschreiben:

$$\text{NIR-ME-Index} = (\text{KategorieMessgröße1} \times \text{Faktor1} + \text{KategorieMessgröße2} \times \text{Faktor2} + \dots)/100 \quad (7)$$

oder mit Kategorie Messgröße 1 = KM1 und Wichtungsfaktor 1 = f1 ergibt sich

$$\text{NIR-Kennzahl} = (\text{KM1} \cdot \text{f1} + \text{KM2} \cdot \text{f2} + \text{KM3} \cdot \text{f3} + \text{KM4} \cdot \text{f4} + \text{KM5} \cdot \text{f5} + \text{KM6} \cdot \text{f6} + \text{KM7} \cdot \text{f7})/100 \quad (8)$$

Um mit den Kategorien rechnen zu können werden diese in der Gleichung durch Zahlen ersetzt:

$$\text{"Good"} = 1 \quad / \quad \text{"Fair"} = 2 \quad / \quad \text{"Poor"} = 3 \quad / \quad \text{"Critical"} = 4 \quad (9)$$

Für jedes einzelne Objekt wird mit dieser Gleichung der Gesamtzustand zwischen 1,00 und 4,00 ermittelt. Danach wird diese NIR-Kennzahl dem Zahlenergebnis nach wieder eine der vier Kategorien zugeordnet. Auch für diesen Schritt wurden Grenzen festgelegt (Tabelle 16).

NIR-Kennzahl	NIR-ME-Index
Gewichtete NIR-Gesamtbewertung	Verbaler Gesamtzustand
1,0 bis 1,4	GOOD
1,5 bis 2,3	FAIR
2,4 bis 3,0	POOR
3,1 bis 4,0	CRITICAL

Tabelle 16. Die Einteilung der zahlenmäßigen NIR-Gesamtbewertung zum NIR-ME-Index.

An einem Beispiel soll die Wirkung des NIR-ME-Indexes erläutert werden (Tabelle 17). Es wird jeweils die mit NIR ermittelte Messgröße dargestellt. Danach folgt die Einteilung in die jeweilige Kategorie bzw. dem entsprechenden Zahlenwert. Mit der NIR-Gesamtkennzahl wird dann die rechnerische Gesamtbewertung abgebildet, welche dann als NIR-ME-Index in eine der vier Kategorien eingeordnet wurde (Beispiel einer Berechnung s. auch 15.5, Tabelle 21, S. 58).

Beide Proben in Tabelle 17 erhielten nach der NB Skala die ME-Priorität "0", mit NIR wurden jedoch die Zustände "Fair" und "Critical" vergeben, was einer ME-Priorität von "2" bzw. sogar von "5" entsprechen würde. Wie kommt es zu diesen Unterschiede? Hauptursache ist die unterschiedliche Menge an Information. In der NB Bern stand nur die optisch haptische Bewertung zur Verfügung, Oberflächen-pH oder Bruchkraft nach Falzung wurden nur in wenigen Fällen ermittelt. Mit NIR konnten dahingegen deutlich mehr Messgrößen ermittelt werden. Dadurch ist eine differenzierte Betrachtung möglich.

Signatur	pH	Kategorie	Kennzahl	Bruchkraft [N]	Kategorie	Kennzahl	Bruchkraft nach Falzung [N]	Kategorie	Kennzahl	Lignin [mg/g]	Kategorie	Kennzahl	Protein [%]	Kategorie	Kennzahl	Rosin [mg/g]	Kategorie	Kennzahl	Optical Brightener	Kategorie	Kennzahl	NIR-Gesamtkennzahl	NIR-ME-Index Sep09	ME Priorität NB Bern 2006-2009
OP442-1866-1	3,5	Critical	4	24	Poor	3	19	Fair	2	49	Good	1	0,0	Fair	2	3,9	Poor	3	NO	Good	1	2,35	Fair	0
OP442-1870-1	3,7	Critical	4	6	Critical	4	0	Critical	4	69	Good	1	0,8	Fair	2	2,4	Poor	3	NO	Good	1	3,10	Critical	0

Tabelle 17. Auszug aus einem Exceldatenblatt zur Berechnung des Gesamtzustandes mit NIR.

In den NIR-ME-Index geht mit 30% die Bruchkraft nach Falzung ein, TSF ist also die wichtigste Messgröße. Bei der Probe OP442-1866-1 wird der TSF mit 19 N als "Fair" eingeschätzt, bei der Probe OP442-1870-1 jedoch mit 0 N als "Critical". Daraus ergeben sich Kennzahlen von 2,35 und 3,1. Mit 2,35 wird OP442-1866-1 noch als "Fair" eingestuft (bis 2,39), während OP442-1870-1 gerade den Zustand "Poor" (bis 3,09) verlassen hat und als "Critical" eingestuft wird.

Werden die Grenze für die Zuordnung des Zustandes "Poor" jedoch auf 3,1 erweitert, so würde OP442-1870-1 nicht mehr als "Critical", sondern als "Poor" eingestuft werden. Eine solche Feinabstimmung ist mit dem vorhandenen Probensatz aus 60 Proben nicht möglich. Dazu bedarf es mehr Proben und einer die Praxis begleitenden Untersuchung.

Die Einteilung der Parameter in die Kategorien, die Wichtungsfaktoren und auch die Zuordnung eines Gesamtzustandes zu einem gewichteten Mittelwert stellen Justierungsmöglichkeiten für den NIR-ME-Index dar. Zudem kann ein solcher Index besser werden, wenn für jede Papiersorte ein eigener Index erstellt wird. Darüber hinaus sind auch andere Normierungen und Algorithmen für einen solchen Index geeignet. An dieser Stelle soll aber auf diese Möglichkeiten nicht weiter eingegangen werden.

12.3 Reproduzierbarkeit der Messungen

Die Reproduzierbarkeit ist vor allem ein Mass für die Qualität der eingesetzten Gerätetechnik. Die verwendeten Baugruppen müssen aufeinander abgestimmt sein und müssen jederzeit zu den gleichen Spektren führen. Änderungen im Umgebungsklima bzw. Änderungen im Gerät wie z.B. die die Alterung der verwendeten Lichtquelle müssen durch geeignete Massnahmen kompensiert werden. Das SurveNIR-Spektrometer nutzt für gerätetechnische Änderungen einen internen Abgleich, welcher vor jeder Messung durchgeführt wird. Sollten Änderungen seit der letzten Messung aufgetreten sein, so werden diese durch die 3-Punkt-Kalibrierung auf den Ausgangswert zurückgesetzt.

Besonders abhängig ist die Reproduzierbarkeit von der thermisch-zeitlichen Stabilität des NIR-Spektrometers. Diese Stabilität wird nur erreicht, wenn die Sensorzeile im Spektrometer bei einer nahezu konstanten Temperatur arbeitet. Zudem sollte das Rauschen im Verhältnis zum Signal möglichst gering sein, was bei SurveNIR durch Kühlen auf eine konstante Temperatur erreicht wird.

Die Reproduzierbarkeit des Messwertes sagt jedoch nichts über die Genauigkeit der verwendeten chemometrischen Methode aus. Allerdings ist eine hohe Reproduzierbarkeit die Voraussetzung für einen geringen Methodenfehler. Infolgedessen lassen sich, ohne hohe zeitlich-thermische Stabilität wie beim SurveNIR System, keine quantitativen Methoden ausreichender Genauigkeit erstellen. In der Praxis kann die Reproduzierbarkeit jedoch nur in Kombination mit dem Methodenfehler betrachtet bzw. nur an ausgewählten, sehr genauen chemometrischen Methoden gezeigt werden.

Für den vorliegenden Bericht wurde die Reproduzierbarkeit anhand von 22 Büchern überprüft. Alle Objekte wurden dreimal mit je 8 Spektren gemessen. Allerdings war es aus Zeitgründen nicht möglich, identische Messpunkte festzulegen und diese wiederholt zu messen. Daher wird in diesem Test von der weitgehenden Homogenität des Papiers auf einer Buchseite ausgegangen. Bei der Messung identischer Punkte kann sich die Reproduzierbarkeit verbessern.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Abweichungen vom Messbereich alle im Bereich kleiner 3 Prozent bewegen. Es wird aber auch deutlich, dass Schwankungen den größten Einfluss auf den pH-Wert bzw. auf den DP ausüben. Diese Schwankungen beziehen aber auch räumlich leicht abweichende Werte mit ein.

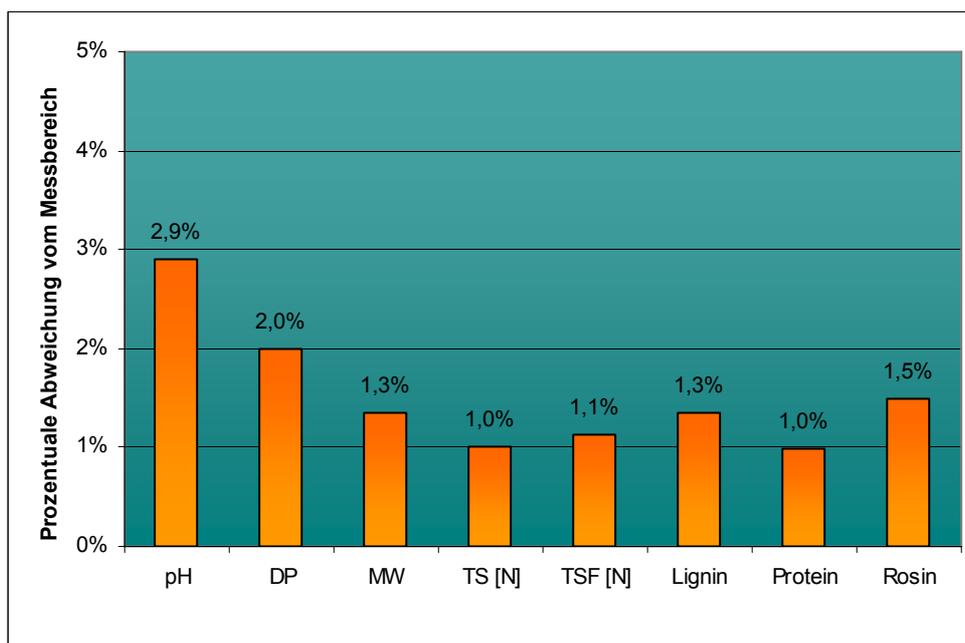


Abbildung 14. Das Diagramm zeigt die prozentuale Abweichung der quantitativen Messgrößen vom jeweiligen Messbereich anhand eines Datensatzes von 11 Zellstoff-, 2 gestrichenen und 9 Holzstoffproben.

12.4 Vergleich der verschiedenen pH-Werte

Insgesamt standen 78 Proben zur Verfügung, deren Oberflächen-pH durch die NB Bern gemessen wurde. Diese sollten versuchsweise mit den SurveNIR pH-Werten verglichen werden, obwohl die NIR-Werte auf einem Mikro-Kaltextrakt-pH und damit auf einer anderen Aussage und Messmethode basieren. Daher war es erstaunlich, dass eine sich eine Korrelation zeigen ließ. Trotz einer gewissen Streuung kann die Korrelation mit dem Oberflächen-pH angesichts der hohen Messgenauigkeit der Methode als gut bezeichnet werden (Abbildung 15). Im Durchschnitt war der Oberflächen-pH der NB um 0.3 pH-Einheiten höher als der SurveNIR-Wert.

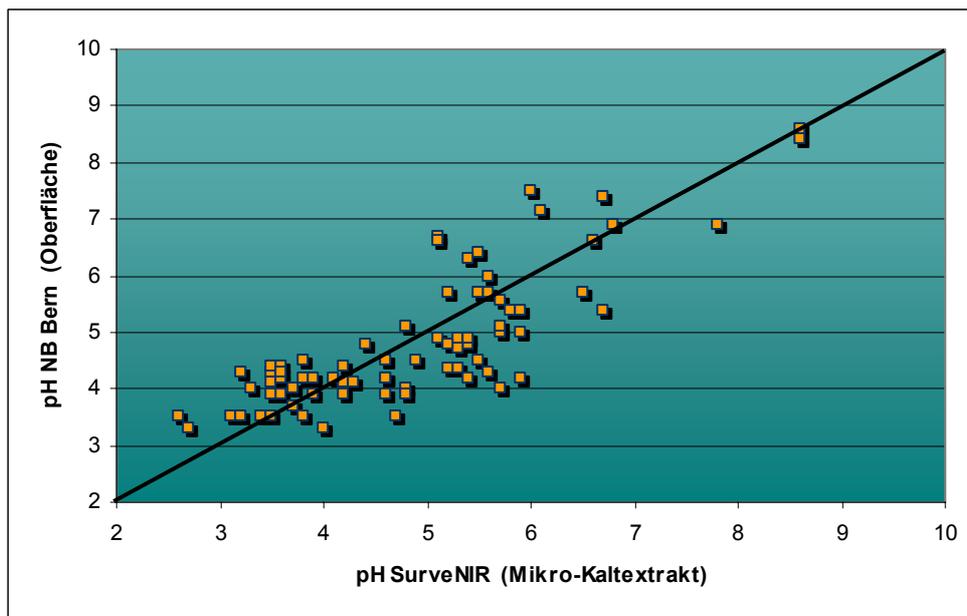


Abbildung 15. Versuch einer Korrelation aller zur Verfügung stehenden Oberflächen-pH der NB Bern mit den auf einem Mikro-Kaltextrakt-pH basierenden SurveNIR pH-Werten.

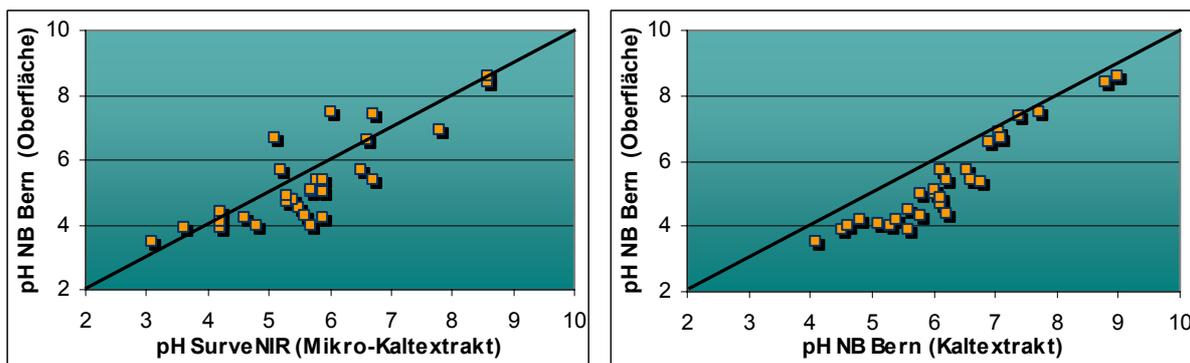


Abbildung 16. Vergleichende Korrelation zwischen Kaltextrakt-pH und Oberflächen-pH der NB Bern anhand der gleichen Proben, links SurveNIR und rechts Referenzwerte NB Bern.

Die Aussagekraft wird verbessert, wenn nicht nur die SurveNIR Mikro-Kaltextrakt pH-Werte, sondern auch die gemessenen Kaltextrakt-Werte der NB Bern mit den Oberflächen-pH-Werten für identische Proben verglichen werden (Abbildung 16).

Für den Kaltextrakt der NB Bern lagen allerdings nur 29 Werte vor, dennoch lässt sich in erster Näherung erkennen, dass die SurveNIR-Werte im Trend eine höhere Streuung zeigen, während die Werte der NB eher mit einer systematischen Abweichung behaftet sind. Die mittlere Abweichung beträgt bei SurveNIR 0.7 pH-Einheiten (über 79 Werte) und bei dem Kaltextrakt der NB Bern 0.9 pH-Einheiten (über 29 Proben).

An diesen 29 Proben war es auch möglich den Kaltextrakt-pH zu vergleichen (Abbildung 17). Die Korrelation zwischen 2 vergleichbaren Methoden sollte im Wesentlichen besser sein als ein Vergleich zwischen Oberflächen- und Extrakt-pH. Die Vergleichbarkeit ist jedoch durch die Verwendung des Mikroextrakt-pH in SurveNIR eingeschränkt. Dieser wird mit einer Papierprobe von kleiner 1 mm Durchmesser = 0,06 mg gemessen (Flächengewicht von 80 g/m²). Für den Kaltextrakt-pH nach DIN 53'124 werden hingegen für jede Analyse 2.000 mg Papier verwendet (entspricht ca. 1 Seite DIN A5). Der Umrechnungsfaktor von 1:1,3 Mio. lässt den prinzipiellen Unterschied zwischen beiden Messvarianten erahnen, welcher besonders bei inhomogenen Proben wie Holzstoffen die Vergleichbarkeit beeinflussen kann.

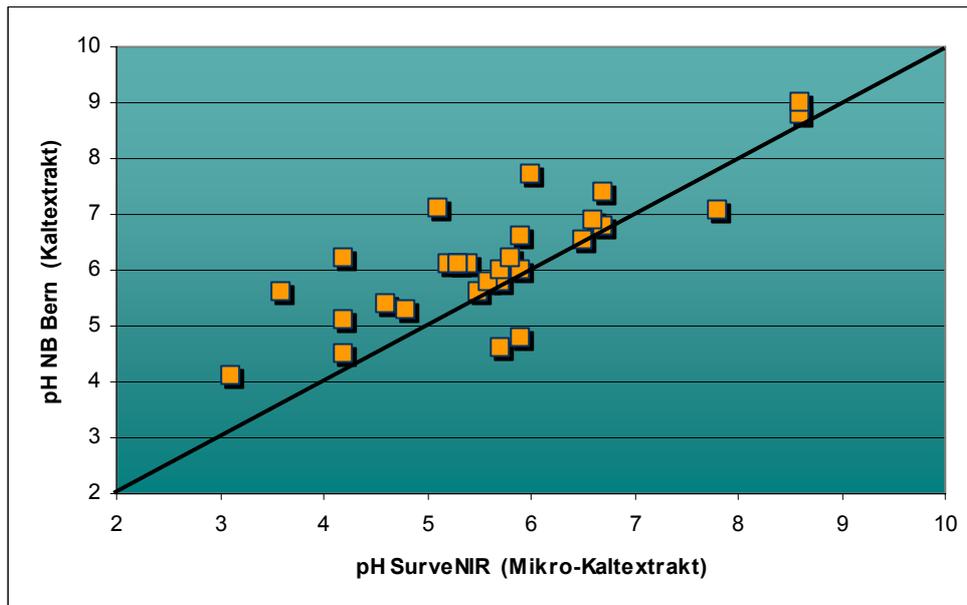


Abbildung 17. Korrelation der Kaltextrakt-pH-Werte der NB Bern mit den Werten aus SurveNIR.

Der Vergleich zeigt, dass die NB-Messwerte im Trend 0.5 pH-Einheiten in Richtung höherer pH abweichen, d.h. es wird mit SurveNIR saurer bewertet. Damit liegt die Abweichung zwar im Fehlerbereich von SurveNIR (± 0.5 - 0.7 pH-Einheiten), im Interesse einer besseren Vergleichbarkeit sollten die Ursachen jedoch trotzdem untersucht werden. Dazu bedarf es eines Vergleiches der Messmethoden an identischen Proben und einer insgesamt größeren Probenanzahl.

12.5 Vergleich der Bruchkraft Fmax nach Bansa-Hofer-Falzung

Neben verschiedenen pH-Werten konnte nur für die Bruchkraft nach Bansa-Hofer-Falzung verglichen werden. Allerdings lagen zum Zeitpunkt des Workshops nur für 16 Proben TSF-Werte vor. 13 dieser Proben waren Holzstoffe und werden in diesem Abschnitt näher betrachtet.

Alle vorhandenen Proben haben einen TSF <50 Newton, d.h. im unteren Drittel des Messbereiches. Die Messungenauigkeit der Referenzmessung beträgt bei stabilen Proben ca. 5 N ist aber einerseits bei Holzstoffen und andererseits bei brüchigen Papieren besonders hoch, dies ist auch für die NB-Proben, gemessen an der HKB bekannt. Wegen all dieser Einschränkungen lässt sich aus dem Vergleich der vorhandenen Werte bestenfalls ein Trend, aber keine allgemeingültige Aussage ableiten. Dazu muss zumindest der Probensatz vergrößert werden.

Werden die 13 Werte der Holzstoffproben gegen die NIR-Messung aufgetragen, so scheinen die Werte der NB-Proben um ca. 15-20 N höher zu sein bzw. die der SurveNIR Messung niedriger (Abbildung 18). Wie kann nun ein solcher Unterschied erklärt werden?

Beide Bruchkraftmessungen (SurveNIR / HKB) wurden mit Zugprüfmaschinen der Firma Zwick durchgeführt, allerdings kamen verschiedene Typen und Ausstattungen zur Anwendung. Gerade im Hinblick auf die brüchigen Papiere wurde für SurveNIR das "Zwicki Proline" optimiert. Eingesetzt wurden dafür eine genauere Messdose, speziell entwickelte Einspannbacken, Anbauteile zur exakten Ausrichtung der Messachsen und eine pneumatische Probenfixierung. Daher ist es denkbar, dass sich die Geräte bzw. deren Messwerte gerade für die hier betrachteten brüchigen Papieren unterscheiden. Dies würde sich auch in den chemometrischen Modellen und Werten von SurveNIR widerspiegeln.

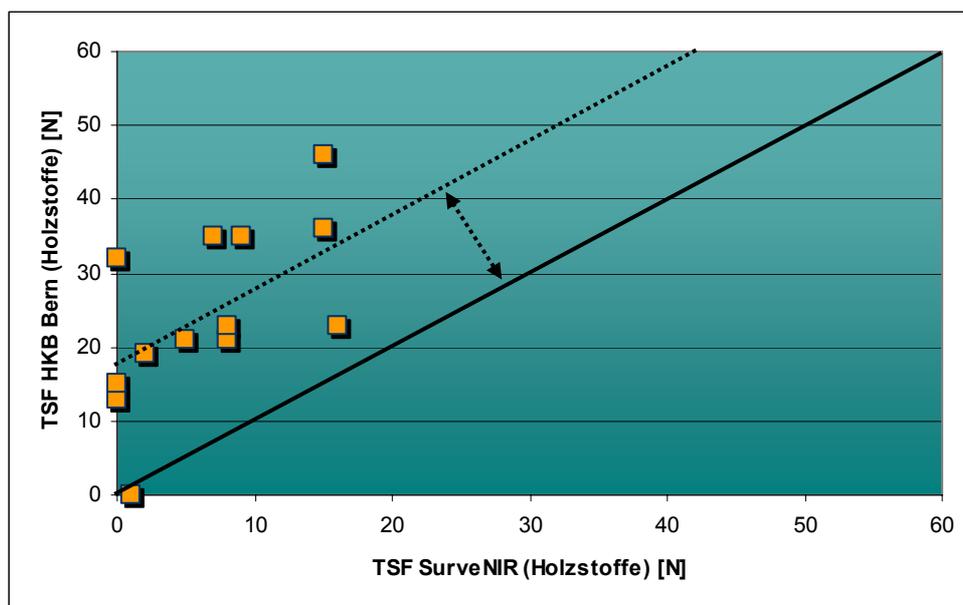


Abbildung 18. Der Vergleich zeigt die 13 Holzstoffproben, für die TFS Analysewerte der HKB vorlagen.

Ein Grund kann auch die Probennahme in SurveNIR sein. Wegen dem Alterungsgradienten im Randbereich wurde in SurveNIR definiert, dass vor der Probenentnahme ein Rand von 3 cm zu entfernen ist. TFS ist eine materialintensive Messgröße und benötigt 10-12 Streifen a 120x15mm. Dies führte dazu, dass wegen der Abhängigkeit der TFS Messung vom Format weniger Proben für die Methodenentwicklung zur Verfügung standen. Auch gab es nicht von allen Proben genügend Blätter für alle Messgrößen. Daher wurden die Messgrößen mit geringerem Materialbedarf oft favorisiert. Insgesamt führten diese Faktoren zu einer erheblichen Verkleinerung des Datensatzes für TFS.

Die Entfernung des Randes zeigte aber auch noch eine andere Problematik. Wenn bereits brüchige Ränder entfernt wurden, so wies das Kernpapier oftmals noch eine akzeptable Festigkeit des Kernpapiers auf. Auf der anderen Seite müssen die Papierstreifen vor der Messung gefalzt werden. Die Falzung führte bei brüchigen bzw. versprödeten Proben oder bei hoher Grammatur zum Bruch bzw. Abplatzen von Schichten und reduzierte die Probenanzahl nochmals (Abbildung 7, S.21).

Insgesamt kann daher konstatiert werden, dass im Datensatz für TFS der Bereich bereits brüchiger Proben unterrepräsentiert ist bzw. eine hohe Messgenauigkeit der Referenzmessung aufweist. Dies kann ebenfalls zu der beobachteten Abweichung führen (Abbildung 19).

Falls sich die Vermutung bei weiteren Messungen erhärtet, so gibt es verschiedene Möglichkeiten zur Verringerung des Fehlers. So ließe sich ein systematischer Fehler, d.h. eine konstante Abweichung, über die Software ausgleichen. Auch können die Grenzen der Kategorien für die Bewertung nach unten korrigiert werden. Aufwendiger, aber exakter ist die Vergrößerung des Datensatzes an Papieren schlechterer Qualität und das Anlernen der Methoden mit dem erweiterten Datensatz. In Kombination mit verbesserten Messungen durch Vermeiden von Text und Erweiterung des Spektralbereiches sind die Erfolgsaussichten für eine Verbesserung von chemometrischen Methoden mit gut zu bewerten.

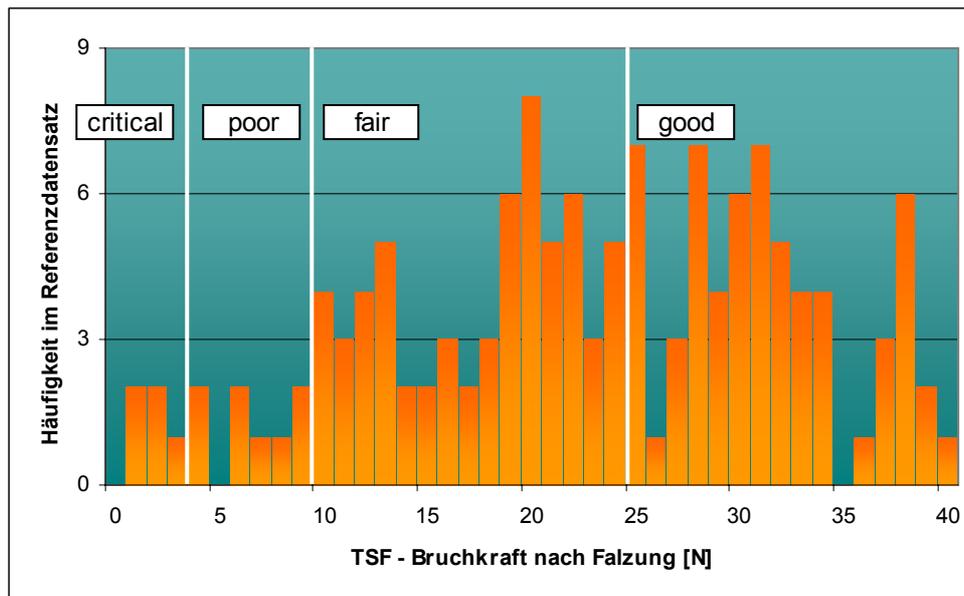


Abbildung 19. Anzahl der Proben für die Messgröße TSF im Referenzdatensatz mit Unterteilung in Kategorien laut NIR-ME-Index. Die Kategorien "Critical" und "Poor" sind nur mit wenigen Proben besetzt.

12.6 Möglichkeiten der Auswertung bei Sonderfällen

Dass SurveNIR auch bei wissenschaftlichen Studien nützlich sein kann, soll an einem Papier aus der Rubrik Sonderfälle erläutert werden. Allerdings sind immer genaue Kenntnisse über die Probe und die erfolgte Behandlung und ein gewisses Augenmaß für die Interpretation der Resultate notwendig.

Bei dem MOAB Papier handelt es sich um hochwertige Fotopapiere für den Reprobereich. Mit SurveNIR konnte bestätigt werden, dass es sich um ein sehr hochwertiges Baumwollpapier handelt. Der Ligninwert liegt unterhalb von 30 mg, die Bruchkraft war größer als 150 N und wurde daher in SurveNIR nicht mehr angezeigt. Aber auch die Bruchkraft nach Falzung war mit 125 N sehr hoch. Dieses Papier wurde zur Überprüfung einer künstlichen Alterung bei 80°C und 65%rF unterzogen. Nach 7 bzw. 14 Tagen wurde eine Probe entnommen und mit SurveNIR vermessen.

MOAB	pH	DP	MW	TSF [N]	Lignin [mg/g]
Ungealtert 0 d	6,6	2.800	1.870.000	124	21
Gealtert 7d	6,8	2.400	1.740.000	127	25
Gealtert 14 d	6,1	2.000	1.640.000	125	23

Tabelle 18. Die SurveNIR Werte für den Spezialfall MOAB vor und nach künstlicher Alterung.

Anhand der Tendenzen wird ersichtlich, dass DP und MW während der Alterung abnehmen. Auch der pH-Wert nimmt ab, was aber erst nach 14 Tagen ersichtlich wird. Die Bruchkraft nach Falzung bleibt dahingegen erhalten. Der Ligninwert sollte bei der relativ kurzen Alterungszeit nicht abnehmen, was denn auch nicht erfolgt. Auch wenn die Ergebnisse beim ersten Mal im Labor verifiziert werden sollten, kann mit SurveNIR zumindest vermutet werden, dass eine Abnahme von DP und pH erfolgt, diese aber bei dem MOAB-Papier nach 14 Tagen Alterung noch nicht zu einem Stabilitätsverlust führt.

13 Schlussbetrachtung

Im Workshop wurde eine breite Palette von Papieren gemessen, so dass der Anwendungsbereich des SurveNIR-Gerätes gut sichtbar wurde. Die Hauptanwendung des SurveNIR-Gerätes liegt in der Durchführung von Surveys (Zustandserfassungen), die mit SurveNIR effizient durchgeführt werden können. Um die Messwerte für die Praxis interpretierbar zu machen, werden den Messgrössen Qualitäts-Indices zugeordnet, die aus den vier Kategorien good, fair, poor und critical bestehen.

Für die NB sollen die Indices eine Entscheidungshilfe für die Auswahl zur Massenentsäuerung sein. Für diese Entscheidung ist anstelle mehrerer Indices jedoch eine Kennzahl besser geeignet. Für die Berechnung dieser Kennzahl können die einzelnen Messgrössen individuell gewichtet werden. Die Höhe der Kennzahl spiegelt direkt den Papierzustand und die Entsäuerungspriorität wieder, ähnlich wie die Risikokennzahl in der Qualitätssicherung der NB die Behandlungsqualität widerspiegelt. Eine Berechnung von Kennzahlen ist bisher nicht routinemässig in der SurveNIR-Software enthalten, wurde aber für diesen Bericht exemplarisch durchgeführt.

Der Vergleich der optisch-haptischen ME-Prioritäten der NB mit den SurveNIR-Kennzahlen zeigt, dass die Beurteilung wie erwartet nicht immer übereinstimmt. Besonders im Bereich der Kategorien 3 und 4 gibt es grössere Abweichungen. Dies ist einerseits darin begründet, dass die optisch-haptische Einschätzung bekanntermassen subjektiv und fehlerbehaftet ist. Andererseits bewertet das SurveNIR System die Papiere im Vergleich zu den ME-Prioritäten der NB tendenziell etwas schlechter, und zwar vor allem im Bereich brüchiger Papiere. Dafür gibt es Korrekturmöglichkeiten, indem die Berechnung der Kennzahlen verfeinert wird.

Im Bereich der brüchigen und sehr brüchigen Papiere, NB-Kategorien 4 und 5, ist die Auswahl für die Massenentsäuerung besonders wichtig und gleichzeitig besonders schwierig. Der Referenzdatensatz des SurveNIR-Gerätes wurde im Rahmen des SurveNIR-Projektes erarbeitet, an dem die NB nicht beteiligt war. Für die Bedürfnisse der NB ist dieser Papierbereich unterrepräsentiert, was jedoch korrigiert werden kann.

Allgemein wurde deutlich, dass nur solche Papiere mit SurveNIR umfassend charakterisiert werden können, die ihrem Typ nach im Referenzdatensatz enthalten sind. Aus diesem Grund wurden von den 86 Proben zum Testen der Grenzen von SurveNIR etwa 20 als Sonderfälle eingeordnet. So sind zum Beispiel entsäuerte Papiere, die nicht im Referenzdatensatz enthalten sind. Ein ursprünglich stark saures, brüchiges, aber entsäuertes Papier wird nicht eindeutig als solches erkannt. Es wird ein zu niedriger pH-Wert zugeordnet, auch wenn andere Messgrössen wie zum Beispiel der Ligningehalt richtig waren.

Ebenso können Transparentpapiere derzeit nicht charakterisiert werden, da aufgrund der typischen Faserart, Optik und Herstellungsart für sie ein eigener Referenzdatensatz nötig wäre. Das SurveNIR-Gerät muss also mit Hintergrundwissen bewusst eingesetzt werden. Andererseits gibt es unzählige Möglichkeiten zur Erweiterung des Anwendungsgebietes. Zu nennen sind hier die Einschätzung der konservatorischen Eignung neuer Materialien, die Bewertung von Papieren vor und nach einer künstlichen Alterung im Rahmen der Materialprüfung, die Überprüfung von Papieren vor und nach einer Ausstellung oder vor und nach einer Restaurierung.

Bei der Vermessung moderner Papiere, die in der Restaurierung und Konservierung verwendet werden, zeigte sich ein weiteres Anwendungsgebiet des SurveNIR-Gerätes. So können innerhalb weniger Sekunden Informationen über wichtige Qualitätseigenschaften wie die Faserart, den Holzstoffgehalt oder die Anwesenheit von optischen Aufhellern gemacht werden, und damit die konservatorische Eignung der Materialien eingeschätzt werden.

14 Ausblick

Der Dienst Konservierung strebt die Anschaffung des SurveNIR-Gerätes für die Schweizerische Nationalbibliothek an. Das Gerät soll für die Planung und Durchführung von Konservierungsmassnahmen sowie für die Qualitätssicherung eingesetzt werden. Prioritäre Einsatzgebiete sind die Auswahl bei der Massenentsäuerung der allgemeinen Sammlung und die Zustandserfassung/Auswahl für das Schweizerische Literaturarchiv und die Graphische Sammlung. Für die Auswahl zur Massenentsäuerung ist ein solches Hilfsmittel schon seit langer Zeit ein Desiderat. In der NB ist die Massenentsäuerung schon weit fortgeschritten. Die Entsäuerung von sensiblen Beständen, die ein hohes Mass an Auswahl erfordern, wurde jedoch vor allem aufgrund der schwierigen und aufwändigen Auswahl bisher hinausgeschoben. Ohne den Einsatz des SurveNIR-Gerätes wäre ein professionelles Vorgehen in diesen Bereichen nicht möglich.

Die Firma Lichtblau e.K., die Schweizerische Nationalbibliothek und die Hochschule der Künste Bern sind an einer zukünftigen Zusammenarbeit interessiert. Prioritäres Ziel der Zusammenarbeit ist für die Schweizerische Nationalbibliothek die Erweiterung des Referenzdatensatzes, damit die Aussonderung zu brüchiger Papiere im Rahmen der Massenentsäuerung mit genügender Genauigkeit durchgeführt werden kann. Die NB kann Beiträge zum Probenmaterial und zur Analytik liefern.

Die Hochschule der Künste Bern kann im Rahmen von Diplomarbeiten oder ggf. im Rahmen von Forschungsprojekten Beiträge zur Erweiterung des Anwendungsgebietes leisten, die gleichzeitig wertvolle Inhalte für Lehre und Forschung an der HKB darstellen.

15 Anhang

15.1 Programm

Referent: Dr. Dirk Lichtblau

Wann	Was	Wo	Teilnehmer
Dienstag, 8. September			
9.00 - 12.00	Einführung, Theorie	Aula der Hochschule der Künste Bern	öffentliche Veranstaltung
13.30 – 18.00	Workshop „light“		
Mittwoch, 9. September			
9.00 – 12.00	Einführung, Theorie	Seminarraum Hochschule der Künste Bern	nicht-öffentliches Forschungsseminar, Anmeldung erforderlich
13.00 – 18.00	Workshop „professional“		
Donnerstag, 10. September			
9.00 -12.00	Workshop „spezial“	Schweizerische Nationalbibliothek	nicht-öffentliches Forschungsseminar, , Anmeldung erforderlich
13.00 – 15.00	Auswertung und Abschlussdiskussion		
15.00 – 16.00	Weiteres Vorgehen		NB intern

Tabelle 19. Das Programm des Workshops.

15.2 Teilnehmerliste

Name	Ort	Einrichtung
Buder, Andreas	Bern	Hochschule der Künste
Dobruskin, Sebastian		
Mentzel, Elke		
Zumbühl, Stefan		
Ammann, Gertrud	Bern	Schweizerische Nationalbibliothek
Anklin-Mühlemann, Regula		
Blüher, Agnes		
Grossenbacher, Gabriela		
Page, André		
Aeby, Joël	Bern	Schweizerisches Bundesarchiv, Archivstrasse 24, 3003 Bern, Joel.Aeby@bar.admin.ch
Hanschke, Petra	Bern	Universitätsbibliothek Bern, Zentralbibliothek
Ramin, Michael	Wimmis	Nitrochemie Wimmis AG
Reist, Markus		
Comiotto, Anna	Bern	Restauratorin, selbständig
Di Pietro, Giovanna	Basel	Konservierungsforschung, selbständig, giovanna.dipietro@gmail.com
Effner, Carmen	Marly	Restauratorin, selbständig, carmen.effner@gmx.ch
Lüthi, Patrick	Worb	Restaurator, selbständig
Raymann, Monika	Rapperswil	Restauratorin, selbständig
Ruegg, Karin		Restauratorin, selbständig zehnder-ruegg@bluewin.ch
Schmid, Silvana	Bern	Restauratorin, selbständig
Urban, Klaus-Peter	Bätterkinden	Restaurator, selbständig
Wolper, Rike	Bern	Restauratorin, selbständig
Wyss, Caroline	Basel	Kunstmuseum Basel, Kupferstichkabinett, St. Alban-Graben 16, 4010 Basel/BS, caroline.wyss@bs.ch
Zorn, Sabine	Bern	Restauratorin, selbständig

Tabelle 20. Die Teilnehmerliste.

15.3 Fotos vom Workshop



Abbildung 20. Der Workshop in einem Seminarraum an der HKB.



Abbildung 21. Demonstration des SurveNIR Gerätes anhand von mitgebrachten Proben der Teilnehmer.



Abbildung 22. Da während des Workshops nur Einzelblätter vermessen wurden, war das Hantieren mit gewichtigen Zeitungsbänden nur im Team zu bewältigen.



Abbildung 23. Durch den geringen Platzbedarf von SurveNIR kann auch vor Ort im Magazin gemessen werden.



Abbildung 24. Das SurveNIR Gerät im Einsatz.

15.4 Datenblätter

Collection: NB Bern, Survey: Originale, Line: 5 05.10.2009, 23:19



Single Item Report

Line: 5
Mode: single
Signatur: GG-1728
Source: G. Grossenbacher
Title: Geistliche Stadt Gottes
Year: 1728
Measurement: S.401
Comments: Hadernpapier, schwache Verbräunung im Druckbereich, Flecken im Randbereich, me...

Status: S
Number of Measurements: 8
Number of Used Measurements: 8
Date of Measurements: 10.09.2009
Time of Measurements: 11:38
User: Dirk Lichtblau

Paper Type: Rag Paper

Chemical Physical Parameters

Line	Chemical Physical Parameter	Value	Unit
1	pH	5,5	
2	Degree of Polymerisation	1.400	
3	Molecular Weight	690.000	
4	Tensile Strength	30	N
5	Tensile Strength Folded	37	N
6	Lignin Content	21	mg/g
7	Protein Content	0,0	%
8	Rosin Content	0,0	mg/g
9	Optical Brightener	NO	

Quality Indices

Line	Quality Index	Value	Quality Category
1	Acidity (pH)	5,5	Poor
2	Tensile Strength	30	Fair
3	Tensile Strength Folded	37	Good
4	Lignin Content	21	Good
5	Rosin Content	0	Good

Page 1

Abbildung 25. Datenblattbeispiel fur eine Probe aus Hadernpapier.

Collection: NB Bern, Survey: Referenzpapiere, Line: 44

05.10.2009, 23:26

Single Item Report



Line: 44
Mode: single
Signatur: Ref 11-UB-M2
Source:
Title:
Year: 1943
Measurement: 143
Comments: 149

Status: S
Number of Measurements: 8
Number of Used Measurements: 8
Date of Measurements: 10.09.2009
Time of Measurements: 18:20
User: Dirk Lichtblau

Paper Type: Bleached Pulp Paper

Chemical Physical Parameters

Line	Chemical Physical Parameter	Value	Unit
1	pH	5,1	
2	Degree of Polymerisation	1.000	
3	Molecular Weight	510.000	
4	Tensile Strength	48	N
5	Tensile Strength Folded	27	N
6	Lignin Content	41	mg/g
7	Protein Content	0,0	%
8	Rosin Content	0,8	mg/g
9	Optical Brightener	YES	

Quality Indices

Line	Quality Index	Value	Quality Category
1	Acidity (pH)	5,1	Poor
2	Tensile Strength	48	Good
3	Tensile Strength Folded	27	Good
4	Lignin Content	41	Good
5	Rosin Content	1	Good

Abbildung 26. Datenblattbeispiel eine Zellstoffprobe.

Collection: NB Bern, Survey: Referenzpapiere, Line: 7

05.10.2009, 22:48

Single Item Report



Line: 7
Mode: single
Signatur: Ref 02a-UB-M1
Source:
Title:
Year: 1969
Measurement: XLVIII oben innen
Comments: L I

Status: S
Number of Measurements: 8
Number of Used Measurements: 8
Date of Measurements: 10.09.2009
Time of Measurements: 17:43
User: Dirk Lichtblau

Paper Type: Coated Paper

Chemical Physical Parameters

Line	Chemical Physical Parameter	Value	Unit
1	pH	8,6	
2	Degree of Polymerisation	300	
3	Molecular Weight	220.000	
4	Tensile Strength	68	N
5	Tensile Strength Folded	54	N
6	Lignin Content	48	mg/g
7	Protein Content	5,3	%
8	Rosin Content	1,1	mg/g
9	Optical Brightener	YES	

Quality Indices

Line	Quality Index	Value	Quality Category
1	Acidity (pH)	8,6	Good
2	Tensile Strength	68	Good
3	Tensile Strength Folded	54	Good
4	Lignin Content	48	Good
5	Rosin Content	1	Good

Abbildung 27. Datenblattbeispiel für eine gestrichene Probe in gutem Zustand.

Collection: NB Bern, Survey: Referenzpapiere, Line: 58

05.10.2009, 23:08

Single Item Report



Line: 58
Mode: single
Signatur: Ref 16-UB-M1
Source:
Title:
Year: 1957
Measurement: 60
Comments: 49

Status: S
Number of Measurements: 8
Number of Used Measurements: 8
Date of Measurements: 10.09.2009
Time of Measurements: 18:42
User: Dirk Lichtblau

Paper Type: Ground Wood Paper

Chemical Physical Parameters

Line	Chemical Physical Parameter	Value	Unit
1	pH	4,2	
2	Degree of Polymerisation		
3	Molecular Weight	N/A	
4	Tensile Strength	45	N
5	Tensile Strength Folded	19	N
6	Lignin Content	97	mg/g
7	Protein Content	0,0	%
8	Rosin Content	1,7	mg/g
9	Optical Brightener	NO	

Quality Indices

Line	Quality Index	Value	Quality Category
1	Acidity (pH)	4,2	Critical
2	Tensile Strength	45	Good
3	Tensile Strength Folded	19	Fair
4	Lignin Content	97	Fair
5	Rosin Content	2	Fair

Abbildung 28. Datenblattbeispiel für Holzstoffprobe mit niedrigem pH-Wert und guter Stabilität.

Collection: NB Bern, Survey: Magazin, Line: 10

05.10.2009, 23:31

Single Item Report



Line: 10
Mode: single
Signatur: OP447-1880
Source:
Title: 1880-90
Year:
Measurement: 1886 (1887) S.15
Comments:

Status: S
Number of Measurements: 8
Number of Used Measurements: 8
Date of Measurements: 10.09.2009
Time of Measurements: 14:45
User: Dirk Lichtblau

Paper Type: Ground Wood Paper

Chemical Physical Parameters

Line	Chemical Physical Parameter	Value	Unit
1	pH	3,2	
2	Degree of Polymerisation		
3	Molecular Weight	N/A	
4	Tensile Strength	5	N
5	Tensile Strength Folded	0	N
6	Lignin Content	141	mg/g
7	Protein Content	0,0	%
8	Rosin Content	2,6	mg/g
9	Optical Brightener	NO	

Quality Indices

Line	Quality Index	Value	Quality Category
1	Acidity (pH)	3,2	Critical
2	Tensile Strength	5	Critical
3	Tensile Strength Folded	0	Critical
4	Lignin Content	141	Fair
5	Rosin Content	3	Poor

Abbildung 29. Datenblattbeispiel für Holzstoffprobe im kritischen Zustand.

15.5 Messwerttabellen

Auf den folgenden Seiten sind die im Zusammenhang mit dem Workshop in Bern gemessenen Proben und die SurveNIR Ergebnisse tabellarisch dargestellt. Die an verschiedenen Tagen gemessenen und in verschiedenen Surveys in SUSO gespeicherten Proben wurden erst für den Bericht den folgenden vier Einzeluntersuchungen zugeordnet:

- Historische Testpapiere (Tabelle 23, S. 60),
- Originale (Tabelle 24, S. 61),
- Neue Papiermuster (Tabelle 25, S. 61),
- Sonderfälle (Tabelle 26, S. 62).

Weiterhin befindet sich in diesem Abschnitt eine Tabelle, in welchem alle 60 Proben mit Einteilung der Kategorien für die 7 Messgrößen des momentanen NIR-ME-Indexes dargestellt sind.

- Proben für den NIR-ME-Index (Tabelle 18, S. 57)

Diese Tabelle erlaubt das Nachvollziehen der Bewertung. Wie in Abschnitt 12.2 dargestellt und mit Gleichung berechnet ergibt sich die NIR-Kennzahl. Diese wird wie anhand der Grenzen aus Tabelle 16 in den NIR-ME-Index überführt. Ein Beispiel:

Bei der Probe "Ref07a-UB" handelt es sich um einen Buch von 1982. Das Papier wurde als Zellstoff identifiziert. Die Messwerte für den NIR-ME-Index wurden wie folgt bewertet:

Messgröße	NIR-Wert	Kategorie	Kenngroße	Wichtungsfaktor	Berechnung	Ergebnis
Acidität (pH)	5,7	Poor	3	20	$3 \cdot 20 / 100$	0,60
Bruchkraft [N]	51	Good	1	15	$1 \cdot 25 / 100$	0,15
Bruchkraft nach Falzung [N]	31	Good	1	30	$1 \cdot 30 / 100$	0,30
Ligningehalt	35	Good	1	20	$1 \cdot 20 / 100$	0,20
Proteingehalt	0,0	Fair	2	5	$2 \cdot 5 / 100$	0,10
Kolophoniumgehalt	0,7	Good	1	5	$1 \cdot 5 / 100$	0,05
Optische Aufheller	YES	Poor	3	5	$3 \cdot 5 / 100$	0,15
					SUMME:	1,55
					NIR-ME-Index:	Fair

Tabelle 21. Beispielhafte Berechnung des NIR-ME-Indexes anhand der Probe "Ref07a-UB".

Signatur	Year	Paper Type	pH	pH Kategorie	Tensile Strength	TS Kategorie	Tensile Strength Folded	TSF Kategorie	Lignin Content	Lig Kategorie	Protein Content	Prot Kategorie	Rosin Content	Ros Kategorie	Optical Brightener	OpBr Kategorie	NIR-Kennzahl	NIR-ME-Index Sep09	ME Priorität NB Bern 2006-2009
Ref 07a-UB-MW	1982	Bleached Pulp Paper	5,7	Poor	3 51	Good	1 31	Good	1 35	Good	1 0,0	Fair	2 0,7	Good	1 YES	Poor	3 1,55	Fair	0
Ref 07b-UB-MW	1982	Bleached Pulp Paper	5,9	Poor	3 53	Good	1 34	Good	1 40	Good	1 0,0	Fair	2 0,5	Good	1 YES	Poor	3 1,55	Fair	0
Ref 05-UB-MW	1983	Bleached Pulp Paper	5,9	Poor	3 54	Good	1 39	Good	1 40	Good	1 0,0	Fair	2 0,6	Good	1 YES	Poor	3 1,55	Fair	0
Ref 08-UB-MW	1993	Bleached Pulp Paper	6,7	Fair	2 52	Good	1 45	Good	1 33	Good	1 0,0	Fair	2 0,0	Good	1 YES	Poor	3 1,35	Good	0
Ref 02b-UB-MW	1969	Coated Paper	8,6	Good	1 71	Good	1 57	Good	1 44	Good	1 5,0	Good	1 0,9	Good	1 YES	Poor	3 1,10	Good	0
Ref 02a-UB-MW	1969	Coated Paper	8,6	Good	1 69	Good	1 55	Good	1 45	Good	1 5,0	Good	1 0,9	Good	1 YES	Poor	3 1,10	Good	0
KB1 1814 S167	1814	Rag Paper	4,7	Poor	3 32	Fair	2 31	Good	1 23	Good	1 0,0	Fair	2 0,0	Good	1 NO	Good	1 1,60	Fair	0
KB1 1814 S97	1814	Rag Paper	5,6	Poor	3 38	Fair	2 38	Good	1 16	Good	1 0,3	Fair	2 0,0	Good	1 NO	Good	1 1,60	Fair	0
H 7954 M2	1974	Bleached Pulp Paper	5,5	Poor	3 60	Good	1 39	Good	1 44	Good	1 0,1	Fair	2 0,7	Good	1 YES	Poor	3 1,55	Fair	0
H 7985	1974	Bleached Pulp Paper	5,6	Poor	3 57	Good	1 41	Good	1 50	Good	1 0,0	Fair	2 0,9	Good	1 YES	Poor	3 1,55	Fair	0
OP311-1847		Rag Paper	4,8	Poor	3 63	Good	1 66	Good	1 36	Good	1 0,0	Fair	2 4,0	Critical	4 NO	Good	1 1,60	Fair	0
OP442-1866-1	1866	Rag Paper	3,5	Critical	4 24	Poor	3 19	Fair	2 49	Good	1 0,0	Fair	2 3,9	Poor	3 NO	Good	1 2,35	Fair	0
OP442-1870-1	1870	Ground Wood Paper	3,7	Critical	4 6	Critical	4 0	Critical	4 69	Good	1 0,8	Fair	2 2,4	Poor	3 NO	Good	1 3,10	Critical	0
OP449-1836-vorn		Rag Paper	4,9	Poor	3 25	Poor	3 33	Good	1 25	Good	1 0,0	Fair	2 0,1	Good	1 NO	Good	1 1,75	Fair	0
Ref 03a-UB-MW	1971	Bleached Pulp Paper	5,5	Poor	3 60	Good	1 44	Good	1 33	Good	1 0,0	Fair	2 1,1	Fair	2 YES	Poor	3 1,60	Fair	1
Ref 03b-UB-MW	1971	Bleached Pulp Paper	5,6	Poor	3 59	Good	1 44	Good	1 34	Good	1 0,0	Fair	2 1,1	Fair	2 YES	Poor	3 1,60	Fair	1
Ref 01a-UB-MW	1976	Bleached Pulp Paper	5,7	Poor	3 56	Good	1 44	Good	1 24	Good	1 0,0	Fair	2 0,4	Good	1 YES	Poor	3 1,55	Fair	1
Ref 01b-UB-MW	1976	Bleached Pulp Paper	5,4	Poor	3 56	Good	1 41	Good	1 25	Good	1 0,0	Fair	2 0,7	Good	1 YES	Poor	3 1,55	Fair	1
Ref 15-UB-MW	1971	Bleached Pulp Paper	5,2	Poor	3 43	Fair	2 31	Good	1 43	Good	1 0,0	Fair	2 1,8	Fair	2 YES	Poor	3 1,75	Fair	1
Ref 09-UB-MW	1975	Bleached Pulp Paper	5,8	Poor	3 49	Good	1 32	Good	1 44	Good	1 0,0	Fair	2 1,0	Fair	2 YES	Poor	3 1,60	Fair	1
H 7993	1975	Bleached Pulp Paper	5,6	Poor	3 48	Good	1 35	Good	1 42	Good	1 0,0	Fair	2 0,9	Good	1 YES	Poor	3 1,55	Fair	1
H 8007	1975	Bleached Pulp Paper	5,1	Poor	3 31	Fair	2 12	Fair	2 39	Good	1 0,0	Fair	2 1,8	Fair	2 NO	Good	1 1,95	Fair	1
RQ4847-1996	1996	Ground Wood Paper	4,6	Poor	3 33	Fair	2 5	Poor	3 246	Poor	3 0,0	Fair	2 0,0	Good	1 NO	Good	1 2,60	Poor	1
Ref 11-UB-MW	1943	Bleached Pulp Paper	4,8	Poor	3 46	Good	1 24	Fair	2 40	Good	1 0,0	Fair	2 1,2	Fair	2 YES	Poor	3 1,90	Fair	2
Ref 06-UB-MW	1983	Ground Wood Paper	3,3	Critical	4 37	Fair	2 9	Poor	3 124	Fair	2 0,0	Fair	2 1,7	Fair	2 NO	Good	1 2,65	Poor	2
BHR10/II 1973	1973	Bleached Pulp Paper	5,7	Poor	3 36	Fair	2 18	Fair	2 31	Good	1 0,0	Fair	2 1,2	Fair	2 NO	Good	1 1,95	Fair	2
H 7959	1974	Bleached Pulp Paper	5,4	Poor	3 48	Good	1 28	Good	1 31	Good	1 0,0	Fair	2 0,2	Good	1 YES	Poor	3 1,55	Fair	2
NGb 12150	1956	Bleached Pulp Paper	4,8	Poor	3 40	Fair	2 19	Fair	2 34	Good	1 0,0	Fair	2 1,3	Fair	2 NO	Good	1 1,95	Fair	2
NGb 12272	1953	Bleached Pulp Paper	5,4	Poor	3 41	Fair	2 22	Fair	2 45	Good	1 0,0	Fair	2 1,7	Fair	2 NO	Good	1 1,95	Fair	2
NGb 12302	1959	Bleached Pulp Paper	5,2	Poor	3 52	Good	1 28	Good	1 30	Good	1 0,0	Fair	2 1,5	Fair	2 NO	Good	1 1,50	Fair	2
RQ4847-1991	1991	Ground Wood Paper	3,9	Critical	4 16	Poor	3 0	Critical	4 186	Poor	3 0,0	Fair	2 1,3	Fair	2 NO	Good	1 3,30	Critical	2
Ref 16-UB-MW	1957	Ground Wood Paper	4,2	Critical	4 45	Good	1 17	Fair	2 103	Fair	2 0,0	Fair	2 1,8	Fair	2 NO	Good	1 2,20	Fair	3
Ref 04-UB-MW	1913	Ground Wood Paper	4,2	Critical	4 22	Poor	3 4	Poor	3 169	Poor	3 0,0	Fair	2 3,0	Poor	3 NO	Good	1 3,05	Poor	3
Ref 18-UB-MW	1969	Ground Wood Paper	4,6	Poor	3 38	Fair	2 19	Fair	2 181	Poor	3 0,0	Fair	2 0,8	Good	1 NO	Good	1 2,30	Fair	3
Ref 14-UB-MW	1984	Ground Wood Paper	5,3	Poor	3 45	Good	1 23	Fair	2 223	Poor	3 0,0	Fair	2 0,7	Good	1 NO	Good	1 2,15	Fair	3
Ref 17-UB-MW	1985	Ground Wood Paper	5,3	Poor	3 63	Good	1 28	Good	1 123	Fair	2 0,0	Fair	2 1,5	Fair	2 NO	Good	1 1,70	Fair	3
Menzel 1932 M1	1932	Bleached Pulp Paper	4,8	Poor	3 29	Poor	3 0	Critical	4 35	Good	1 0,4	Fair	2 2,0	Poor	3 NO	Good	1 2,75	Poor	3
Bulletin1914	1914	Ground Wood Paper	4,2	Critical	4 21	Poor	3 2	Critical	4 129	Fair	2 0,0	Fair	2 3,0	Poor	3 NO	Good	1 3,15	Critical	3
DOS 1906	1906	Ground Wood Paper	3,5	Critical	4 21	Poor	3 3	Poor	3 164	Poor	3 0,0	Fair	2 2,6	Poor	3 NO	Good	1 3,05	Poor	3
H 12139	1982	Ground Wood Paper	4,4	Critical	4 40	Fair	2 12	Fair	2 176	Poor	3 0,3	Fair	2 2,2	Poor	3 NO	Good	1 2,60	Poor	3
H 7960	1974	Ground Wood Paper	3,9	Critical	4 23	Poor	3 5	Poor	3 223	Poor	3 0,4	Fair	2 2,4	Poor	3 NO	Good	1 3,05	Poor	3
NGb 10623	1961	Ground Wood Paper	3,6	Critical	4 28	Poor	3 1	Critical	4 185	Poor	3 0,0	Fair	2 3,4	Poor	3 NO	Good	1 3,35	Critical	3
NGb 10919	1962	Ground Wood Paper	3,5	Critical	4 24	Poor	3 0	Critical	4 169	Poor	3 0,0	Fair	2 3,7	Poor	3 NO	Good	1 3,35	Critical	3
NGb 12015	1964	Bleached Pulp Paper	4,6	Poor	3 28	Poor	3 27	Good	1 91	Fair	2 0,4	Fair	2 1,7	Fair	2 NO	Good	1 2,00	Fair	3
OP442-1873-2	1873	Ground Wood Paper	3,8	Critical	4 5	Critical	4 0	Critical	4 78	Fair	2 1,3	Fair	2 2,8	Poor	3 NO	Good	1 3,30	Critical	3
Ref 12-UB-MW	1979	Ground Wood Paper	3,6	Critical	4 20	Poor	3 0	Critical	4 190	Poor	3 0,0	Fair	2 1,7	Fair	2 NO	Good	1 3,30	Critical	4
EA1 1878	1878	Ground Wood Paper	3,2	Critical	4 17	Poor	3 0	Critical	4 181	Poor	3 0,0	Fair	2 8,1	Critical	4 NO	Good	1 3,40	Critical	4
DOS 1892 M2 Mitte	1892	Ground Wood Paper	3,7	Critical	4 20	Poor	3 5	Poor	3 194	Poor	3 0,5	Fair	2 1,6	Fair	2 NO	Good	1 3,00	Poor	4
DOS 1944	1944	Ground Wood Paper	4,3	Critical	4 27	Poor	3 8	Poor	3 243	Poor	3 0,0	Fair	2 2,0	Poor	3 NO	Good	1 3,05	Poor	4
DOS 1902	1902	Ground Wood Paper	3,2	Critical	4 22	Poor	3 0	Critical	4 161	Poor	3 0,1	Fair	2 2,4	Poor	3 NO	Good	1 3,35	Critical	4
H 142	1954	Bleached Pulp Paper	4,9	Poor	3 44	Fair	2 32	Good	1 85	Fair	2 0,0	Fair	2 1,0	Fair	2 NO	Good	1 1,85	Fair	4
Mitteilungen... 1919	1919	Ground Wood Paper	3,6	Critical	4 25	Poor	3 2	Critical	4 211	Poor	3 0,0	Fair	2 3,3	Poor	3 NO	Good	1 3,35	Critical	4
NGb 3038	1950	Ground Wood Paper	3,5	Critical	4 34	Fair	2 12	Fair	2 221	Poor	3 0,4	Fair	2 2,8	Poor	3 NO	Good	1 2,60	Poor	4
NGb 5378	1935	Ground Wood Paper	3,3	Critical	4 28	Poor	3 0	Critical	4 191	Poor	3 0,0	Fair	2 3,1	Poor	3 NO	Good	1 3,35	Critical	4
OP449-1836-mitte	1878	Ground Wood Paper	3,4	Critical	4 14	Critical	4 0	Critical	4 142	Fair	2 0,8	Fair	2 3,5	Poor	3 NO	Good	1 3,30	Critical	4
OP545-1926		Ground Wood Paper	3,5	Critical	4 16	Poor	3 0	Critical	4 157	Poor	3 0,0	Fair	2 2,6	Poor	3 NO	Good	1 3,35	Critical	4
NGb 19459		Ground Wood Paper	2,7	Critical	4 37	Fair	2 1	Critical	4 140	Fair	2 1,4	Fair	2 3,5	Poor	3 NO	Good	1 3,00	Poor	5
OP386-1845	1887	Ground Wood Paper	2,9	Critical	4 18	Poor	3 0	Critical	4 155	Poor	3 0,0	Fair	2 3,5	Poor	3 NO	Good	1 3,35	Critical	5
OP447-1880		Ground Wood Paper	3,2	Critical	4 5	Critical	4 0	Critical	4 141	Fair	2 0,0	Fair	2 2,6	Poor	3 NO	Good	1 3,30	Critical	5
OP449-1836-hinten	1889	Ground Wood Paper	2,8	Critical	4 15	Poor	3 0	Critical	4 232	Poor	3 0,3	Fair	2 1,4	Fair	2 NO	Good	1 3,30	Critical	5

Tabelle 22. Datenblatt mit allen 60 Proben für den NIR-ME-Index. Kategorien für die Einzelmessgrößen, Bewertungszahl und ME-Priorität.

Status	Signatur	Year	Measurement	Comments	Paper Type	pH	DP	MW	TS	TSF	Lignin	Protein	Rosin	Opt. Brightener	Surface pH (NB BERN)	Cold extract pH (NB BERN)	Tensile Strength Folded (HDK BERN)	ME Priorität NB Bern 2006-2009	
S	Ref 01a-UB-MW	1976	S.84 Kopfschnitt		85 Bleached Pulp	5,7	1.300	520.000	56	44	24	0,0	0,4	YES	5,1	6		1	
S	Ref 01b-UB-MW	1976	S.84 Kopfschnitt		85 Bleached Pulp	5,4	1.300	540.000	56	41	25	0,0	0,7	YES	4,8	6,1		1	
S	Ref 02a-UB-MW	1969	XLVIII oben innen	L I	Coated	8,6	300	290.000	69	55	45	5,0	0,9	YES	8,6	9		0	
S	Ref 02b-UB-MW	1969	XLVIII	L I	Coated	8,6	400	300.000	71	57	44	5,0	0,9	YES	8,4	8,8		0	
S	Ref 03a-UB-MW	1971	66 oben Mitte		59 Bleached Pulp	5,5	1.400	460.000	60	44	33	0,0	1,1	YES	4,5	5,6		1	
S	Ref 03b-UB-MW	1971	66 oben Mitte		59 Bleached Pulp	5,6	1.300	450.000	59	44	34	0,0	1,1	YES	4,3	5,8		1	
S	Ref 04-UB-MW	1913	14 unteres Drittel	Nr.30/28 Juli 1913	Ground Wood	4,2		240.000	22	4	169	0,0	3,0	NO	4,1	5,1		3	
S	Ref 05-UB-MW	1983	34 unten		35 Bleached Pulp	5,9	1.400	630.000	54	39	40	0,0	0,6	YES	5,4	6,6		0	
S	Ref 06-UB-MW	1983	8 unten		17 Ground Wood	3,3		N/A	37	9	124	0,0	1,7	NO	4,4	6,6		2	
S	Ref 07a-UB-MW	1982	30		21 Bleached Pulp	5,7	1.400	520.000	51	31	35	0,0	0,7	YES	5	5,8		0	
S	Ref 07b-UB-MW	1982	30		21 Bleached Pulp	5,9	1.300	540.000	53	34	40	0,0	0,5	YES	5	6		0	
S	Ref 08-UB-MW	1993	102 unten		95 Bleached Pulp	6,7	1.500	640.000	52	45	33	0,0	0,0	YES	7,4	7,4		0	
S	Ref 09-UB-MW	1975	257 unten		249 Bleached Pulp	5,8	1.200	480.000	49	32	44	0,0	1,0	YES	5,4	6,2		1	
S	Ref 10-UB-MW	1943	232 unten		229 Ground Wood	N/A		N/A	20	0	190	0,0	2,3	YES	3,7	4,6		4	
S	Ref 11-UB-MW	1943	143		149 Bleached Pulp	4,8	1.000	460.000	46	24	40	0,0	1,2	YES	4	5,3		2	
S	Ref 12-UB-MW	1979	19, M2, M3: Randbereich oben		23 Ground Wood	3,6		160.000	20	0	190	0,0	1,7	NO	3,9	5,6		4	
S	Ref 13-UB-MW	1978	11, Messung M1: Mitte		15 Ground Wood	N/A		20.000	12	0	208	0,0	1,7	NO	3,7	4,9		4	
S	Ref 14-UB-MW	1984	Ford Fiesta Annonce "Der Erfolgstyp"	51Blätter/S5	Ground Wood	5,3		250.000	45	23	223	0,0	0,7	NO	4,7	6,1		3	
S	Ref 15-UB-MW	1971	25 oben		29 Bleached Pulp	5,2	1.200	440.000	43	31	43	0,0	1,8	YES	5,7	6,1		1	
S	Ref 16-UB-MW	1957	60		49 Ground Wood	4,2		N/A	45	17	103	0,0	1,8	NO	3,9	4,5		3	
S	Ref 17-UB-MW	1985	29 "Thema Fans"		91 Ground Wood	5,3		190.000	63	28	123	0,0	1,5	NO	4,9	6,1		3	
S	Ref 18-UB-MW	1969	54 Rückseite		57 Ground Wood	4,6		140.000	38	19	181	0,0	0,8	NO	4,2	5,4		3	
S	Basler Nachrichten 1886	1886	31.Dez. Beil. Zu Nr.359	ganzer Band	Ground Wood	2,6		N/A	17	N/A	217	0,3	4,8	NO	3,5			5	
S	Mentzel 1932 M1	1932		ph niedrig, brüchig, Farbe ok	Bleached Pulp	4,8	500	170.000	29	0	35	0,4	2,0	NO	3,9		0	3	
S	Mentzel 1932 M2	1932			Bleached Pulp	4,6	500	270.000	32	0	36	0,3	2,1	NO	3,9		0	3	
S	BHR10/II 1973	1973	S. 247/249	holzhaltig	Bleached Pulp	5,7	1.100	390.000	36	18	31	0,0	1,2	NO			46,3	2	
S	NGb 19459		S. 37	ganze Broschur	Ground Wood	2,7		N/A	37	1	140	1,4	3,5	NO	3,3		0	5	
S	DOS 1892 M1	1892		zerschnitten	Ground Wood	2,8		180.000	16	0	195	0,3	2,2	NO	4		21	4	
S	DOS 1892 M2 Mitte	1892	Seitenmitte		Ground Wood	3,7		150.000	20	5	194	0,5	1,6	NO	4		21	4	
S	DOS 1902	1902			Ground Wood	3,2		100.000	22	0	161	0,1	2,4	NO	4,3		32	4	
S	DOS 1906	1906	No. 152, 5. Juli, Erstes Blatt	ganzer Band	Ground Wood	3,5		130.000	21	3	164	0,0	2,6	NO	4,3			3	
S	DOS 1944	1944			Ground Wood	4,3		300.000	27	8	243	0,0	2,0	NO	4,1		23	4	
S	EA1 1878	1878			Ground Wood	3,2		N/A	17	0	181	0,0	8,1	NO	3,5		13	4	
S	HW1 1911/7	1911	S. 79		Bleached Pulp	4,0	100	110.000	6	N/A	28	0,0	1,3	NO	3,3		15	4	
S	KB1 1814 S167	1814	S. 167		Rag	4,7	1.500	1.030.000	32	31	23	0,0	0,0	NO				14	0
S	KB1 1814 S97	1814	S. 97	S.97 nicht S.169 wie 2. pH	Rag	5,6	1.600	920.000	38	38	16	0,3	0,0	NO				14	0
S	H 7993	1975	S.140	Kat 3 niedrige ME Priorität	Bleached Pulp	5,6	1.300	530.000	48	35	42	0,0	0,9	YES	5,7			1	
S	H 8007	1975	S. 64	Kat 3 niedrige ME Priorität	Bleached Pulp	5,1	900	340.000	31	12	39	0,0	1,8	NO	4,9			1	
S	H 7959	1974	S. 94	Kat 2 mittlere ME Priorität	Bleached Pulp	5,4	1.300	580.000	48	28	31	0,0	0,2	YES	4,2			2	
S	NGb 12150	1956	S. 34	Kat 2 mittlere ME Priorität	Bleached Pulp	4,8	1.000	380.000	40	19	34	0,0	1,3	NO	5,1			2	
S	NGb 12272	1953	S. 68	Kat 2 mittlere ME Priorität	Bleached Pulp	5,4	1.300	360.000	41	22	45	0,0	1,7	NO	4,9			2	
S	NGb 12302	1959	S. 32	Kat 2 mittlere ME Priorität	Bleached Pulp	5,2	1.100	450.000	52	28	30	0,0	1,5	NO	4,8			2	
S	Bulletin1914	1914	No.23	Kat 1 höchste ME Priorität	Ground Wood	4,2		60.000	21	2	129	0,0	3,0	NO	4,1			3	
S	H 12139	1982	S. 158	Kat 1 höchste ME Priorität	Ground Wood	4,4		320.000	40	12	176	0,3	2,2	NO	4,8			3	
S	H 142	1954	S. 41	Kat 1 höchste ME Priorität	Bleached Pulp	4,9	1.300	450.000	44	32	85	0,0	1,0	NO	4,5			4	
S	H 7960	1974	Eckenfalz	Kat 1 höchste ME Priorität	Ground Wood	3,9		120.000	23	5	223	0,4	2,4	NO	3,9			3	
S	Mitteilungen.. 1919	1919	No. 17 S.2	Kat 1 höchste ME Priorität	Ground Wood	3,6		150.000	25	2	211	0,0	3,3	NO	4,2			4	
S	NGb 10623	1961	S. 52	Kat 1 höchste ME Priorität	Ground Wood	3,6		30.000	28	1	185	0,0	3,4	NO	4,4			3	
S	NGb 10919	1962	S. 36	Kat 1 höchste ME Priorität	Ground Wood	3,5		100.000	24	0	169	0,0	3,7	NO	3,9			3	
S	NGb 12015	1964	S. 65	Kat 1 höchste ME Priorität	Bleached Pulp	4,6	1.100	480.000	28	27	91	0,4	1,7	NO	4,5			3	
S	NGb 3038	1950	S. 8	Kat 1 höchste ME Priorität	Ground Wood	3,5		170.000	34	12	221	0,4	2,8	NO	4,4			4	
S	NGb 5378	1935	S. 26	Kat 1 höchste ME Priorität	Ground Wood	3,3		50.000	28	0	191	0,0	3,1	NO	4			4	
S	H 7954 M1	1974	S. 8	Kat 0 keine ME	Bleached Pulp	5,4	1.700	600.000	61	41	36	0,0	0,5	YES	6,4			0	
S	H 7954 M2	1974	S. 22	Kat 0 keine ME	Bleached Pulp	5,5	1.600	630.000	60	39	44	0,1	0,7	YES	6,4			0	
S	H 7985	1974	S. 46	Kat 0 keine ME	Bleached Pulp	5,6	1.600	630.000	57	41	50	0,0	0,9	YES	6			0	
S	II01	1799		Diplomarbeit Frau Effner	Rag	6,1	2.200	1.110.000	51	64	9	2,7	0,0	NO	6,2				
S	III06	1826		Diplomarbeit Frau Effner, braune Probe	Rag	5,2	1.000	710.000	43	30	6	2,2	0,0	NO	4,9				

Tabelle 23. Messwerttabelle für die Messreihe "Historischen Testpapiere".

Status	Signatur Originale	Year	Measurement	Comments	Paper Type	pH	DP	MW	TS	TSF	Lignin	Protein	Rosin	Opt. Brightener	Surface pH (NB BERN)	Cold extract pH (NB BERN)	Tensile Strength Folded (HDK BERN)	ME Priorität NB Bern 2006-2009
S	L Theol 4733	1742	Rand S.361	Hadernpapier, grosse Flecken am Rand, Druckbereich etwas	Rag	5,3	900	380.000	28	33	36	0,0	0,0	NO	4,4			
S	L Theol 6072	1640	S.457 Rand neben OF-pH	Hadernpapier, insgesamt ziemlich starke Verbräunung, im Ra	Rag	5,2	700	550.000	34	49	18	1,5	0,0	NO	4,4			
S	A 3775/1	1698		Hadernpapier, einzelne Seiten stark verb	Rag	5,7	1.200	830.000	26	31	21	0,0	0,1	NO	5,6			
S	A 7569	1703	S.515	Starke Verbräunung im Druckbereich, Rand	Rag	5,4	900	660.000	17	35	25	0,5	0,0	NO	4,9			
S	AB-Luther M1			Hadempapier, schwache Verbräunung im Druckbereich, Flec	Rag	5,1	900	790.000	34	47	17	0,0	0,0	NO				
S	AB-Luther M2		neben Oberflächen pH 1.	Hadempapier, schwache Verbräunung im Druckbereich, Flec	Rag	5,4	900	720.000	33	36	19	0,3	0,0	NO	6,3			
S	AB-Luther M3		im oberen Textfeld	Hadempapier, schwache Verbräunung im Druckbereich, Flec	Rag	5,1	300	740.000	29	18	30	0,0	1,5	NO	6,6			
S	GG-1728	1728	S.401	Hadempapier, schwache Verbräunung im Druckbereich	Rag	5,5	1.400	690.000	30	37	21	0,0	0,0	NO	5,7			
S	OP311-1847				Rag	4,8	1.300	850.000	63	66	36	0,0	4,0	NO				0
S	OP386-1845	1887	1887 (handschriftlich 1872) S.19		Ground Wood	2,9		N/A	18	0	155	0,0	3,5	NO				5
S	OP442-1866-1	1866	1866/1 S.239		Rag	3,5	1.300	1.540.000	24	19	49	0,0	3,9	NO	4,1			0
S	OP442-1870-1	1870	S.353		Ground Wood	3,7		N/A	6	0	69	0,8	2,4	NO	3,7			0
S	OP442-1873-2	1873	S.158		Ground Wood	3,8		100.000	5	0	78	1,3	2,8	NO	3,5			3
S	OP442-1875-2	1875	S.175		Ground Wood	3,4		N/A	0	N/A	105	2,0	5,1	NO				4
S	OP447-1880		1886 (1887) S.15		Ground Wood	3,2		N/A	5	0	141	0,0	2,6	NO				5
S	OP449-1836-hinten	1889	1889 S41	verschiedene Papiersorten	Ground Wood	2,8		N/A	15	0	232	0,3	1,4	NO				5
S	OP449-1836-mitte	1878	1878/79 S.13	verschiedene Papiersorten	Ground Wood	3,4		0	14	0	142	0,8	3,5	NO	3,5			4
S	OP449-1836-vorn		S.147	verschiedene Papiersorten	Rag	4,9	1.200	1.180.000	25	33	25	0,0	0,1	NO				0
S	OP545-1926				Ground Wood	3,5		130.000	16	0	157	0,0	2,6	NO				4
S	RQ4847-1991	1991	Band 3 Nr. 39		Ground Wood	3,9		160.000	16	0	186	0,0	1,3	NO	4,2			2
S	RQ4847-1996	1996	Band 2 Nr. 18		Ground Wood	4,6		100.000	33	5	246	0,0	0,0	NO	4,2			1

Tabelle 24. Messwerttabelle für die Messreihe "Originale".

Status	Signatur Neue Papiermuster	Year	Measurement	Comments	Paper Type	pH	DP	MW	TS	TSF	Lignin	Protein	Rosin	Opt. Brightener	Surface pH (NB BERN)	Cold extract pH (NB BERN)	Tensile Strength Folded (HDK BERN)	ME Priorität NB Bern 2006-2009
S	3-0d-UB-Golzern?				Ground Wood	3,1		160.000	35	7	225	0,0	4,8	NO	3,5	4,1		35
S	3-UB-0d				Ground Wood	3,5		190.000	37	9	203	0,1	4,3	NO	3,5			35
S	Golzern				Ground Wood	4,1		330.000	42	17	185	0,0	2,8	NO				
S	Hahnemühle Papier			Büttenfabrik Hahnemühle, Vorsatzpapier 120 g/m2	Bleached Pulp	6,0	1.600	500.000	55	42	22	0,0	0,0	YES	7,5	7,7		
S	Klug Fotoarchivpapier			ohne Puffer, ohne opt. Aufheller, pH 7, gebl. Cellulose nach A	Bleached Pulp	6,7	2.000	690.000	76	68	29	0,1	0,0	YES	5,38	6,78		
S	MOHAB			hochwertiges Papier für Fotodrucke (Ink-Jet), Moab Entrada	Rag	6,6	2.800	1.870.000	N/A	124	21	N/A	7,9	NO	6,6	6,9		
S	Novo 2004-UB	2006		Testbücher für Routinekontrolle papersave swiss	Ground Wood	4,2		260.000	40	15	206	0,4	2,0	NO	4,4	6,2		46
S	Novo 2008-UB-hf	2008			Bleached Pulp	5,7	1.300	460.000	41	26	26	0,0	0,3	YES	4	4,6		
S	Novo 2008-UB-hh	2008			Ground Wood	5,9		40.000	66	26	99	1,4	1,5	NO	4,2	4,8		
S	TB-UB-2000-Papier A			nicht gestrichene Seite gemessen	Coated	7,8	1.600	530.000	102	85	0	4,3	0,0	YES	6,9	7,07		
S	TB-UB-2000-Papier B				Bleached Pulp	6,5	1.200	560.000	46	33	36	0,0	0,0	YES	5,7	6,55		
S	TB-UB-2000-Papier C				Ground Wood	5,1		390.000	22	10	282	0,0	0,4	NO	6,7	7,11		
S	Whatmann Nr1-sure				Rag	6,0	3.300	1.470.000	55	50	12	0,0	0,0	NO				

Tabelle 25. Messwerttabelle für die Messreihe "Neuen Papiermuster".

Status	Signatur	Year	Measurement	Comments	Paper Type	pH	DP	MW	TS	TSF	Lignin	Protein	Rosin	Opt. Brightener	Surface pH (NB BERN)	Cold extract pH (NB BERN)	Tensile Strength Folded (HDK BERN)	ME Priorität NB Bern 2006-2009
S	B235q Ecke verbräunt	1644	S. 241	Hadernpapier, mit Verbräunungen, verbräunte Ecke, nur einlagig	Rag	5,4	400	N/A	18	28	23	0,5	0,0	NO				
S	B235q Innen verbräunt	1644	S. 263	Hadernpapier, mit Verbräunungen	Rag	5,7	300	N/A	42	29	25	0,0	1,8	NO				
S	B235q Rand verbräunt	1644	S. 263	Hadernpapier, mit Verbräunungen, Vergleich zu vorheriger Messung	Rag	6,2	600	300.000	53	76	23	0,0	0,7	NO				
S	B235q Rand	1644	S. 162	Hadernpapier, mit Verbräunungen, weniger verbräunt, single	Rag	6,8	1.000	580.000	73	73	14	0,0	0,0	NO				
N	B249q Rand M1	1679	Vorderseite	Hadernpapier mit starken Verbräunungen														
N	B249q Rand M2	1679	Vorderseite	Hadernpapier mit starken Verbräunungen														
S	B249q Innen M1	1679	Rückseite	Hadernpapier mit starken Verbräunungen	Rag	4,2	500	800.000	21	29	33	0,0	0,4	NO				
S	B249q Rand M3	1679	Rückseite	Hadernpapier mit starken Verbräunungen	Rag	4,5	1.000	1.030.000	28	34	22	0,0	0,0	NO				
S	Kif 279 Res. Innen	1899			Rag	4,7	1.300	880.000	48	40	4	4,4	0,0	NO	3,5			
S	Kif 279 Res. Rand	1899			Rag	4,7	1.300	810.000	49	40	1	4,7	0,0	NO	3,5			
S	Kif 279 Res. Rückenkarton	1899			Ground Wood	3,6		600.000	55	28	132	1,0	7,2	NO	4,3			
S	EAD Kt. Genf M1	1911		gelbliches Blatt	Ground Wood	3,1		40.000	32	10	175	0,0	2,2	NO				
S	EAD Kt. Genf M2	1911		gelbliches Blatt	Ground Wood	2,8		60.000	35	7	173	0,0	1,7	NO				
N	EAD Bern-Biel Aebtehaus			sehr dünn, mit Eisengallustinte, Pergami														
S	III06 Abklatsch	1826		Diplomarbeit Frau Effner, braune Probe	Rag	5,0	400	670.000	29	20	16	1,6	0,0	NO	4,8			
S	L Theol 4733 Punkt	1742	verbräunter Punkt S363	Hadernpapier, grosse Flecken am Rand, Druckbereich etwas verbräunt	Rag	4,2	N/A	N/A	43	19	37	4,6	3,9	NO				
S	Hadern 1799	1799			Rag	6,1	1.900	1.040.000	49	56	12	2,3	0,0	NO				
S	Postkarte Damhirsch				Ground Wood	3,8		350.000	62	37	150	0,4	1,3	NO	4,5			
S	DOS 1892 dea-b	1892		entsäuert, papersave swiss	Ground Wood	3,9		240.000	26	8	192	0,4	1,7	NO			21	
S	DOS 1906-dea-a	1906	No.138, 19.Juni, Erstes Blatt	ganzer Band	Ground Wood	4,7		160.000	29	16	186	0,0	2,2	NO	8,3			
S	DOS 1944-dea-b	1944			Ground Wood	4,7		320.000	29	16	232	0,4	1,3	NO			23	
S	Papier ligninhaltig			Vermutung über Ligninhaltig	Ground Wood	2,7		N/A	37	0	334	0,8	5,8	NO				
S	Papier ligninhaltig behandelt			behandelt mit 10% Salzsäure	Ground Wood	2,8		N/A	34	0	307	0,4	5,1	NO				
S	Kein Whatmann M1			kein Whatmann!!!	Bleached Pulp	4,9	1.000	560.000	58	29	0	0,0	0,0	YES				
S	Kein Whatmann M2			kein Whatmann!!!	Bleached Pulp	5,1	1.000	570.000	59	32	0	0,0	0,0	YES				
S	Kein Whatmann behandelt M1			behandelt mit 10%Salzsäure	Bleached Pulp	3,8	N/A	250.000	36	0	2	0,0	0,0	YES				
S	Kein Whatmann behandelt M2				Bleached Pulp	4,2	N/A	330.000	35	0	0	0,0	0,0	YES				
S	Microfilmjacket M1				Bleached Pulp	5,5	1.400	610.000	60	43	23	0,0	0,8	NO				
S	Microfilmjacket M2				Bleached Pulp	5,4	1.400	620.000	62	49	26	0,0	0,7	NO				
S	MOHAB 7d			bei 80°C/65%rF	Rag	6,8	2.400	1.740.000	N/A	127	25	N/A	7,5	NO	6,9			
S	MOHAB 14d			bei 80°C/65%rF	Rag	6,1	2.000	1.640.000	N/A	125	23	N/A	8,6	NO	7,15			
S	Novo2004 M1 kein Licht		nur licht1	nicht lichtgealtert	Ground Wood	4,1		290.000	42	15	206	0,0	1,9	NO	4,2			36
S	Novo2004 M2 kein Licht		nur Licht2	nicht lichtgealtert	Ground Wood	3,8		250.000	42	12	201	0,4	2,5	NO	4,2			38
S	Novo2004 M1 Licht		licht+Wärme	lichtgealtert	Ground Wood	N/A		N/A	24	2	180	0,0	3,0	NO	5,2			19
S	Novo2004 M2 Licht		licht+Wärme	lichtgealtert	Ground Wood	N/A		N/A	28	1	204	0,0	3,2	NO	5,2			18
S	Negativhülle			Hülle von cellulosenitratfilm, abgebaut	Ground Wood	N/A		N/A	8	N/A	268	1,6	0,5	NO				
S	Negativhülle vorn			Vorderseite	Ground Wood	N/A		N/A	10	N/A	253	0,4	0,9	NO				
S	PapierTinte			Papier mit Tinte durchtränkt	Rag	3,8	1.600	1.490.000	16	47	41	0,0	0,0	NO				
N	Schnapskopie			Vertiefältigung auf Alkoholbasis														

Tabelle 26. Messwerttabelle für die Messreihe "Sonderfälle".

16 Literatur

-
- [1] T. Trafela, M. Strlič, J. Kolar, D.A. Lichtblau, M. Anders, D. Pucko Mencigar, B. Pihlar: "Nondestructive analysis and dating of historical paper based on IR spectroscopy and chemometric data evaluation", *Anal. Chem.* **79**, 2007, 6319-6323.
- [2] D. Lichtblau, M. Strlič, T. Trafela, J. Kolar, M. Anders: "Determination of mechanical properties of historical paper based on NIR spectroscopy and chemometrics – a new instrument", *Appl. Phys. A* **92**, 2008, 191-195.
- [3] M. Strlič, M. Cassar, J. Kolar, D. Lichtblau, M. Anders, T. Trafela, L. Csefalvayova, G. de Bruin, B. Knight, G. Martin, J. Palm, N. Selmani, M.Ch. Christensen: "NIR/chemometrics approach to characterisation of historical paper and surveying of paper-based collections", In: the 15th Triennial Conference New Delhi, 22-26 September 2008. Preprints: ICOM committee for conservation. Volume 1, New Delhi: Allied Publishers, 2008, pp. 293-300.
- [4] Further information's are available on: <http://www.lichtblau-germany.com>;
<http://www.science4heritage.org/survenir/>
- [5] J.S. de WitT und E.K. Baldwin, On-line compositional analysis of treated cellulose using selected wavelength near-infrared reflectance spectroscopy, *Process Control and Quality* **4**, 21-30, 1992.
- [6] E. Weber, Einführung in die Faktorenanalyse, VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1974.
- [7] J. Einax, H.W. Zwanziger, und S. Geiss, Chemometrics in Environmental Analysis, Wiley VCH, 1997.
- [8] M. OTTO, Chemometrie: Statistik und Computereinsatz in der Analytik, VCH Weinheim, 1997.
- [9] D.M. Haland und E.V. Thomas, Partial least-squares methods for analysis, *Journal of Analytical Chemistry* **60** 1988, 193-208.
- [10] H. Andres, A. Blüher, G. Grossenbacher, M. Reist, B. Vogelsanger und M. Wälchli, The Papersave Swiss-Process. Quality Control and Efficacy, *Restaurator* **28**, 2008, 3-28.
- [11] D. Lichtblau, Analyse des Alterungszustandes von Papier mit Nah-Infrarot, *PapierRestaurierung* **5**, No. 3, 2004, 5-6.
- [12] D. Lichtblau, Characterization of paper by near infrared spectroscopy, *Proceedings Durability of Paper and Writing*, 16-20 Nov 2004, Ljubljana, Slowenien, 28-30.
- [13] D. Lichtblau, Untersuchung des Alterungszustandes von Papier mit NIR-Spektroskopie, *PTS News* 09/2004, 30-33.