

# みんなくりポジトリ

国立民族学博物館学術情報リポジトリ National Museum of Ethnology

## Paper splitting : its history, principles, mechanization, applications and limitations

メタデータ	言語: eng 出版者: 公開日: 2009-04-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: マンフレッド, アンダース メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.15021/00001691">https://doi.org/10.15021/00001691</a>

# Paper splitting:

its history, principles, mechanization, applications and limitations

**Manfred Anders**

ZFB Zentrum für Bucherhaltung GmbH (Center for Book Conservation)

## 1. Introduction

Paper is a long-lasting and very resistant material. It is subject, however, to various external influences which cause it to degrade. These influences can be of mechanical nature e.g. inappropriate use or other violent external influences. Among



the biological causes of paper degradation there are of course microorganisms (e.g. bacteria or mold) as well as insects and rodents to be listed.

Environmental pollution with SO<sub>2</sub>, ozone, and NO<sub>2</sub> discharges accelerate the degradation of paper in all developed countries. Then, there are ink and color corrosion to be mentioned. This problem is further aggravated by the fact that these damages as a rule affect valuable manuscripts and similar artifacts. You are all probably only too familiar with disasters as floods, hurricanes and fire which are not to be neglected as a threat to cultural heritage on paper.

The main chemical cause is acid degradation affecting almost all publications printed after 1850 well into the 1980s, since the industrial production of paper included aluminum sulphate which reacts to sulphuric acid in the course of time.

The aging reactions involve the hydrolytic cracking of cellulose with parallel oxidization reactions taking place in an acidic ambience. Due to the acid hydrolysis combined with oxidation processes further acids are formed. This autocatalytic process that accelerates itself requires fast action, for otherwise the paper is damaged so severely by these irreversible processes that it cannot be used anymore without further losses. The contained information can only be saved by cost-intensive measures, the object itself can only be preserved by even more costly conservation processes.

In this context, the preservation method of mass deacidification plays an important role with the Papersave® process being particularly worth mentioning as the one with the most experiences and the highest acceptance worldwide. Let me illustrate the significance of mass deacidification by the following example: It is known that about 70 to 80% of the European library collections are affected by acid degradation. For Germany alone this represents approximately 64 million of the 80 million books that are held in public libraries. This does not even include the archival sector, which accounts more than 600 km of shelf space. These

quantities can only be saved with high-capacity methods that are not too costly.

Currently, the annual capacity of Papersave® in Germany is approximately 150 tons. This corresponds to ca. 300,000 average-sized books.

After thorough evaluation of the possible deacidification methods, Switzerland decided on the Papersave® process now disposing of an annual capacity of 120 tons.

Compared to deacidification, the price of microfilming is a multiple, the price for digitization is even higher. Reformatting without preserving the original means risking the loss of it with all information that cannot be captured in an image.

Mass deacidification is thus the most effective and cost-saving method with the highest capacities for preserving documents threatened by acid. The positive effect of mass deacidification is greatest the sooner the dynamic, irreversible degradation process is stopped. Hesitating will be punished dearly with irreversible loss.

## **2. Stabilization of Brittle Paper**

If the paper damage is already advanced, i.e. the paper has become brittle or losses have occurred, there are various techniques for stabilization. Among these are resizing, leaf-casting, lining or, paper splitting. It has to be noted, however, that really fragile paper cannot be stabilized by resizing or leaf-casting alone.

Important goals of conservation and preservation measures are — beside stabilization — the extraction of impurities as well as noxious compounds such as acids or degradation products. The contained acids are to be neutralized in an aqueous or non-aqueous process, and an alkaline reserve is to be introduced. If possible, carbonyl groups contained in degraded paper should be chemically reduced, which can be achieved by a reduction treatment with sodium borohydrite which conditions are single-sheet treatment and thus is a more costly treatment than mass deacidification.

Missing sections in the paper are to be replaced by new fibers, e.g. with leaf-casting.

Not last, the stabilization of weakened paper guarantees its usability after the conservation. According to the degree of damage and the particularities of the object to be treated this stabilization can be achieved by resizing, lining or splitting. Which brings us to our actual topic today — paper splitting. There is no doubt about the fact that only paper splitting is able to preserve brittle paper in its most original form for the long-term. All other goals of an optimal preservation treatment can also be achieved by the paper splitting process: Extraction of degradation products such as acids, chemical reduction with  $\text{NaBH}_4$  during aqueous pretreatment, stabilization, format creation and deacidification

### 3. The history of paper splitting

The origins of paper splitting are difficult to trace. The French collector of graphic art Pierre-Jean Mariette appears to have successfully split paper as early as the 1760s. But public attention was only drawn towards it in the 19<sup>th</sup> century in England. There are reports of the bookbinder William Baldwin to have split paper and even banknotes. This caused the Bank of England to offer him a generous sum to prevent him from publishing his work thus enabling its use for criminal purposes.

Initially appreciated by collectors of graphic art because it enabled the separation of recto and verso of double-sided prints, it took several decades until paper splitting was applied to actually restabilizing damaged paper. The first conservator to do this was supposedly the Italian Mario Morgana who describes it in his book “*Restauro dei libri antichi*” published in 1932. In the 1960s several Czech conservators as well as the chief conservator of the Thuringian University and State Library, Günter Müller, started to experiment with paper splitting. In 1964, a conservation department was established at the German Library in Leipzig with Dr. Wolfgang Wächter, a former student of Günter Müller, as head conservator [Brückle, Irene & Dambrogio, Jana: *Paper Splitting: History and modern technology*, JAIC 39 (200): 295-325].

Both Germans then pursued the goal of raising the capacities of the process, acknowledging the fact that the problem of brittle paper has a huge scale. The conservators at the German Library Leipzig in the meantime developed a paper-splitting machine. The machine could never be used to its capacity at the Library, however, which led to the privatization of the entire department in 1998 as the *Zentrum für Bucherhaltung*—Center for Book Conservation where the machine was developed further, and the process was optimized.

### 4. The Steps of the Paper Splitting Process

The individual steps of the paper splitting process are the following: first, two support papers are covered with warm gelatin glue. Between these two support sheets the original is subsequently embedded. A short pressing period makes sure that the adhesive solidifies and can bind properly with the original. Then comes the actual splitting. The support papers are separated by just tearing them apart. The embedded original is thus split in its cross-section. Now that the original is opened up, missing sections can be replaced and a new stabilizing core paper can be inserted and fixed by means of the core adhesive. This core adhesive consists of cellulose ethers and calcium carbonate which serves as an alkaline buffer from inside the object. Thus, a deacidification from the core of the object is included in the paper

splitting process.

The split halves have then to be reunited in a congruent manner and are subsequently pressed to ensure the firm bonding of the adhesive. This step is followed by the removal of the support papers in a warm water bath where the gelatin glue is broken down to amino acids by enzymes (Protease) which are subsequently rinsed out with hot water that also serves to inactivate the enzymes. Subsequently, the support papers are removed and last, the sheets are dried and pressed. If leaf-casting was part of the process, the sheets can now be cut to the desired size and rebound.

As described earlier, gelatin glue is used for applying the support papers to the original. This has many advantages—it is a protective colloid and an amphoteric compound. By using gelatin which stabilizes the inks, colors, and pigments, we can adjust the humidity. In addition, heavy-metal ions and impurities are bound. Since gelatin has its melting point at approximately 30°C, there is a sol-gel transition in the gelatin glue which is soluble in water and can be broken down by proteases. Lastly, the material has been used for centuries in conservation and has no adverse effects on the paper.

This process does not meet the required capacities, however, if done by hand. Four persons can treat an average of 200 sheets per day, provided their work is well organized. Assuming that about 10% of all holdings in libraries are damaged to such an extent that they cannot be used anymore, the German Library in Leipzig alone, would have to have about 120,000 volumes split. Assuming an average of 100 sheets per book (or 200 pages), we would need 60,000 working days for these estimated 12 million sheets. That means 300 years! By the time we had reached the last of the 120,000 volumes it would have crumbled to dust. And this is just the German Library. An industrialization of conservation and preservation is the only chance in this race against time.

With this problem in mind, the first paper splitting machine was developed in the 1990s, raising the capacity to up to 5,000 sheets per day. It is constructed in a modular way with a lining unit, a splitting unit, a lining detachment unit, and a drying and cutting unit, which can all be used individually. Brittle paper in most cases needs to have missing sections replaced if losses have occurred. Therefore, it makes sense to start the stabilization process by leaf-casting the sheets. This approach has the advantage that the leaf-cast areas are split together with the original and are thus connected to it by the core paper. An additional margin can be added around the original which offers protection during later use. Furthermore, many brittle sheets are broken in the joints thus rendering rebinding impossible. A protective margin can remedy this problem. In some cases, the legibility is improved since the entire printed surface can be read, paper and binding are protected.

The process on the papersplitting machine is basically the same as in the manual technique. The support papers run on a continuous roll of paper, however, functioning as a carrier.

At ZFB, the strengthening of paper begins with an aqueous pre-treatment aiming at the extraction of acids and degradation products. This step also offers the possibility for a chemical reduction treatment by sodium borohydrite. The sheets thus prepared are then placed on the leaf-casting machine where a continuous length of paper is created by adding new fibers that connect the individual damaged sheets. This length of paper is then faced on both sides with the carrier or support paper and subsequently fed into the actual splitting unit. The stabilizing core paper also runs on a roll and is glued between the two halves of the original by means of the core adhesive. The two paper bands are then reunited, and the carrier paper is removed in the detachment unit, followed by the drying of the paper and the cutting of the length of paper into individual sheets again.

While about 90% of all material can be treated on the machine, the manual process is still used at ZFB for about 5 to 10% of the material to be split. The reason for this is the limited format we can treat on the machine (max. 50 cm width) and sometimes the damage on the object (e.g. heavily fragmented sheets or severe ink corrosion).

Paper Splitting has many advantages over other stabilization methods. It does not only stabilize the sheet mechanically. Due to the combination of leaf-casting and splitting, missing segments are replaced. The connection between the original and the new fibers is very strong and stable due to the fact that both are reinforced by the core paper. Fragments of heavily damaged sheets can thus be assembled to form an intact sheet again. Potential missing sections can be replaced by new fibers. No materials untypical for paper conservation are used. Splitting has a high degree of reversibility, i.e. the two halves can be opened up again, the core paper can be removed. Paper splitting can be easily combined with other conservation measures, it preserves the paper's characteristics and properties. Furthermore, paper splitting offers the possibility to integrate a gentle deacidification from inside the sheet with calcium carbonate.

Brittle papers do not regain new strength by any chemical process. Their usability can only be re-established by introducing or applying a new stabilizing matrix. Mass deacidification alone, done at the right moment can prolong the life of an object 4 to 5-fold. Compared with an untreated sheet, the life expectancy was prolonged more than 10-fold by paper splitting. Since ZFB feels committed to developing the preservation processes further, it operates an R & D department that is largely financed by the company itself. In the medium term, paper splitting could be combined for instance with digitization.

Last year it became very clear in Germany, that disaster management is one of the preservation measures most rarely used. But when it is used, large capacities are needed fast.

## 5. Conclusion

The modern papers produced in the last 150 years are subject to a dynamic degradation process mostly caused by acid sizing. These materials can best be preserved in the original form the sooner the degradation process is halted. Hesitating will result in higher costs and more losses. This is particularly true for acid papers that still have a sufficient stability. These documents should be deacidified as soon as possible, for there is no approach more efficient with costs as low as for mass deacidification. Mass Deacidification is the most efficient and least costly method for the preservation of cultural heritage on paper.

Brittle paper can be saved by the mechanical paper splitting process. Preventive preservation comprising also reformatting (microfilming, digitization) are important measures that contribute to preserving our written heritage but cannot guarantee the survival of our cultural heritage.

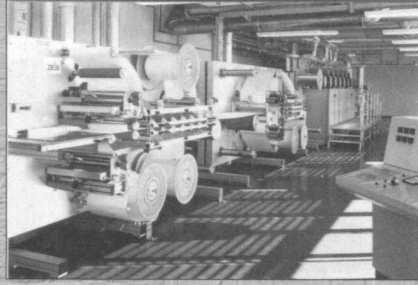
No cultural artifact contains as much information as written documents. It is our responsibility to preserve this knowledge for future generations. We are liable for any loss occurred due to our hesitating and doing nothing.

*„If we do nothing, we will be left with nothing.“*

(J. Rhys-Lewis in: The Enemy Within)

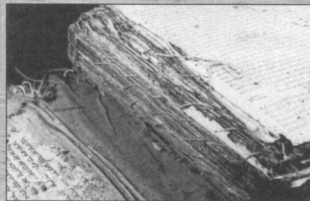


## Paper Splitting: Its History, Principles, Mechanization, Applications and Limitations



## Causes of Damages in Paper:

- Mechanical causes:  
Inappropriate use  
Violent external influences



- Biological causes:  
microorganisms (bacteria or mold)  
Insects or rodents



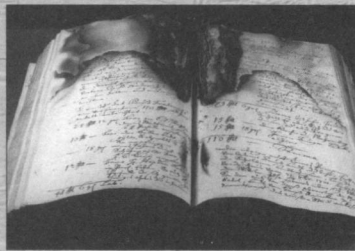


## Causes of Damages in Paper:

- Chemical causes:
  - Acid degradation (Aluminum sulphate)
  - Ink corrosion (Fe - ions; sulphuric acid)
  - Color corrosion (heavy-metal ions; Cu - ions)
  - Environmental pollution ( $\text{SO}_2$ ;  $\text{NO}_x$ )



- Other Causes:
  - Water, Fire ...

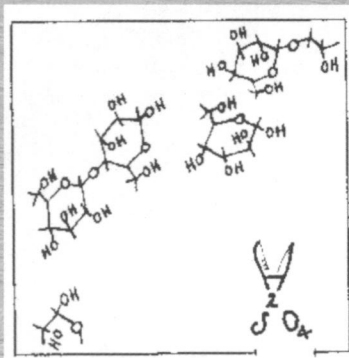


## Aging Reactions of Paper

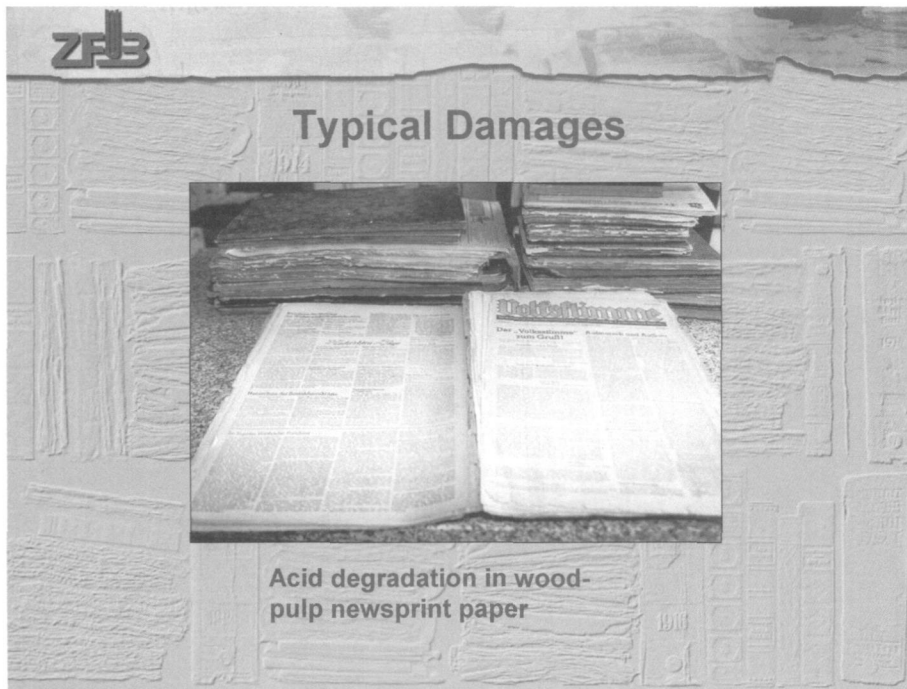
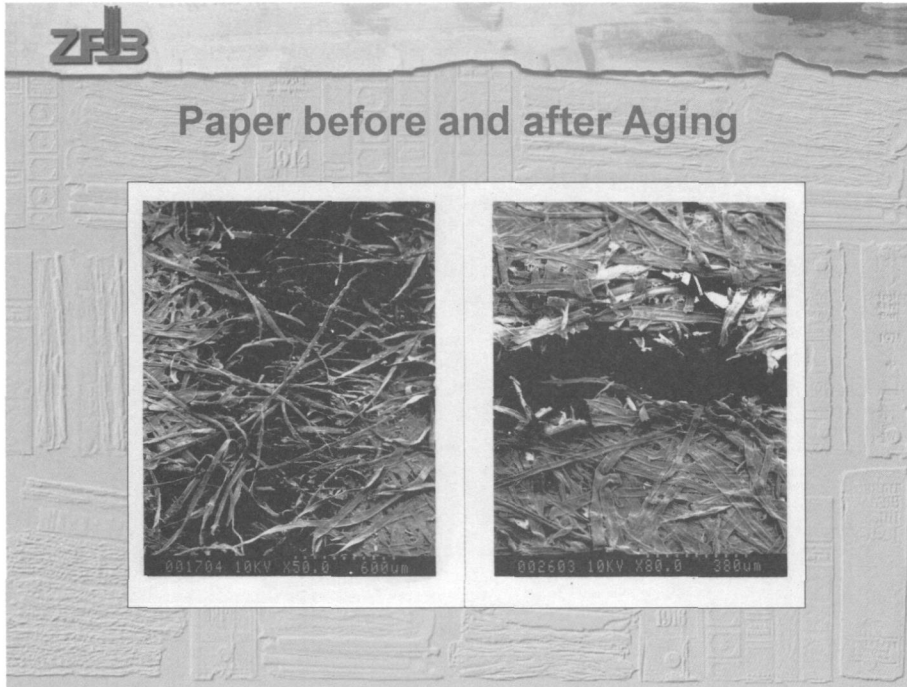
Aging reactions in acidic ambience  
(acids and enzymes)

Hydrolytic cracking of cellulose

Oxidation reactions (transition metal ions)

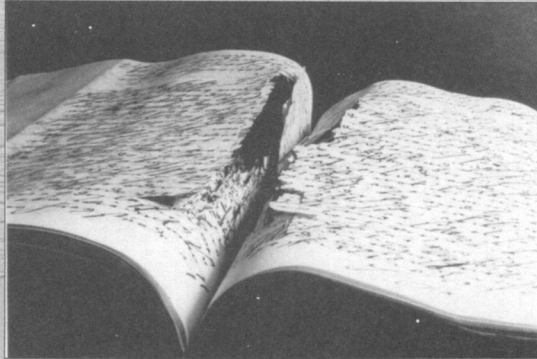


(Source: ECPA)





## Typical Damages

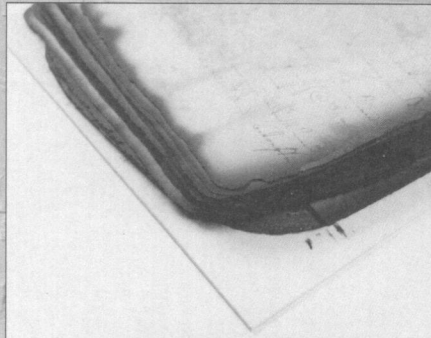


Severe Ink Corrosion damage  
in an old manuscript



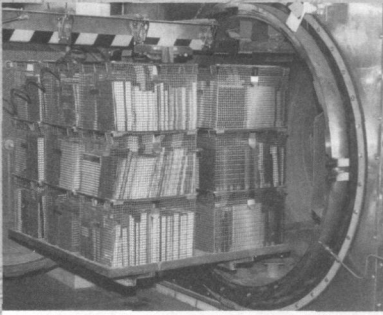
## Typical Damages

Fire Damage on  
Archival Material





## The Papersave Mass Deacidification Process



## The Situation in Germany

**The situation in Germany:**

**Public Libraries:**

- ca. 80 Mio. books
- ca. 20 Mio. unique items
- ca. 2 million books that are severely damaged and withdrawn from circulation!



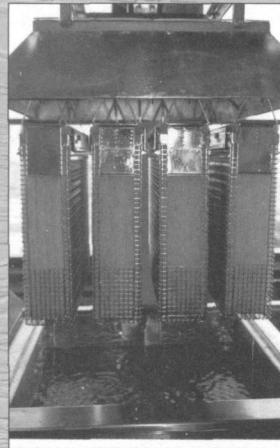
(60,000 shelf meters at an average thickness of 3 cm per book)

**Public Archives:**

- ca. 600,000 shelf meters of archival material
- Each file is unique!

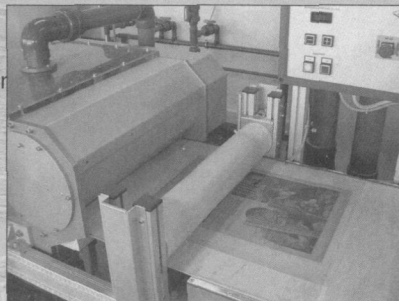
## Important Goals of Conservation and Preservation Measures on Paper


- Extraction of impurities as well as noxious compounds (acids; paper degradation products)
  - Wet treatment
- Neutralization of the acids contained in the paper and introduction of an alkaline reserve
  - Deacidification (wet treatment/ non-aqueous deacidification)



## Important Goals of Conservation and Preservation Measures on Paper


- Reduction of Carbonyl groups
  - Reduction treatment ( $\text{NaBH}_4$ ) (wet treatment)
- Replacement of missing sections in the paper
  - Leaf-Casting
- Stabilization of weakened paper
  - Resizing, Introduction of new fibers, Lining or Splitting






**The Paper Splitting Process is the only method to preserve brittle paper in its original form for the long-term!**


Contemporary paper splitting is an invasive treatment designed to strengthen paper artifacts so deteriorated that their physical use is severely restricted. The brittle paper is split in half through its thickness, and a strong, stable, thin paper is inserted in the center before the original paper halves are reunited. The treated paper regains its functionality (Müller 1989, Gast 1993, Wächter et. al. 1996/1997).



**Brittle Paper**



before.....



after treatment

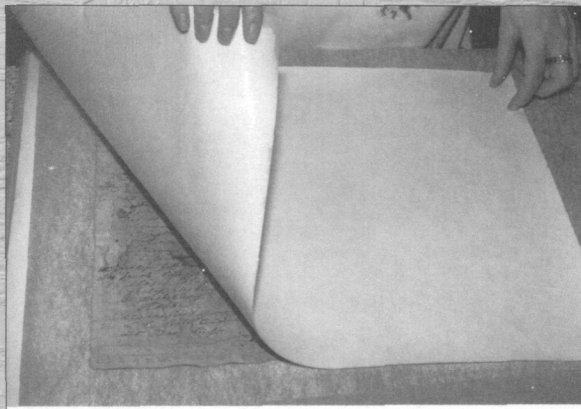


## The Paper Splitting Process

- Application of gelatin on support papers (~60°C)
- Embedding of original between gelatin-covered support papers
- Pressing
- Splitting
- Insertion and of core paper and fixation by means of core adhesive (consisting of cellulose ethers +  $\text{CaCO}_3$ )
- Congruent reattachment of split halves
- Pressing
- Removal of support papers (in warm water bath with enzymes)
- Drying and pressing



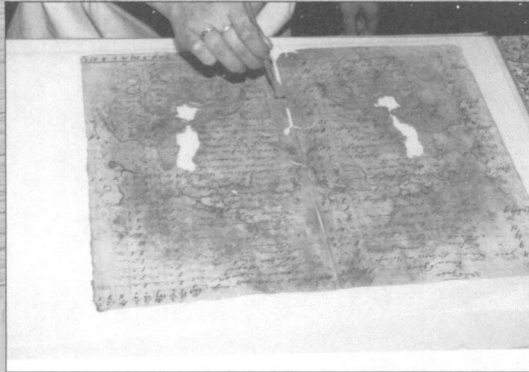
## Manual Paper Splitting



Application of support sheet



## Manual Paper Splitting



Smoothing of edges and aligning of fragments.



## Manual Paper Splitting

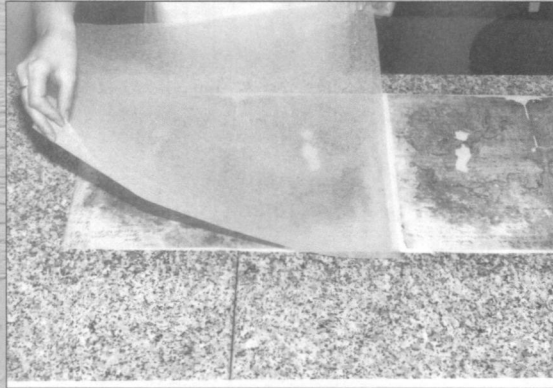


Actual splitting





## Manual Paper Splitting



Insertion of core paper



## Manual Paper Splitting



Removal of Support Paper in Enzyme Bath



## The special role of gelatin in paper splitting

- Regulation of humidity
- Stabilization
- Binding of heavy-metal ions and impurities
- Sol-Gel-transition
- Soluble in warm water
- Can be enzymatically broken down by proteases
- Fixation of colors (Ampholyte)
- Traditional material, used for centuries in conservation



## Industrialization of Paper Preservation and Conservation Techniques

- The degradation of collections in libraries and archives is a mass problem.
- Conventionally, conservators work on individual pieces.
- Large collections mostly undergo preventive measures (climate regulation, hygiene, repackaging etc.).



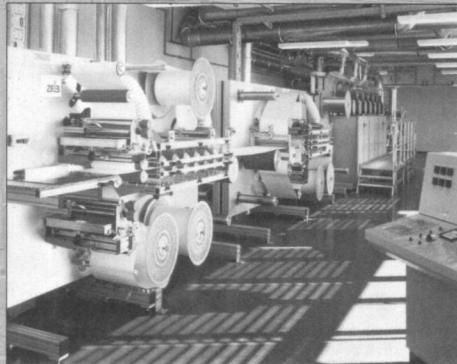
## Industrialization of Paper Preservation and Conservation Techniques Contact

- **New technologies are necessary, however, to save entire libraries and archives.**
- **The preservation problems in archives and libraries can only be solved by adapting the technologies to an industrial scale.**



## The Paper Splitting Machine

- **Developed since 1994**
- **Capacity: up to 5,000 sheets/day)**
- **Modular construction: lining unit, splitting unit and lining detachment unit**





## The Paper Splitting Machine

- Leaf-casting module for replacement of missing particles in damaged paper
- Creation of formats



## The Paper Splitting Machine

The lining unit:

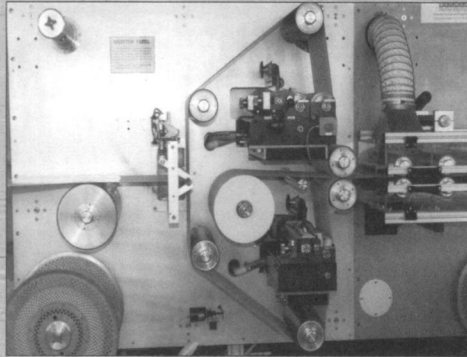
Embedding of the original between to support papers





## The Paper Splitting Machine

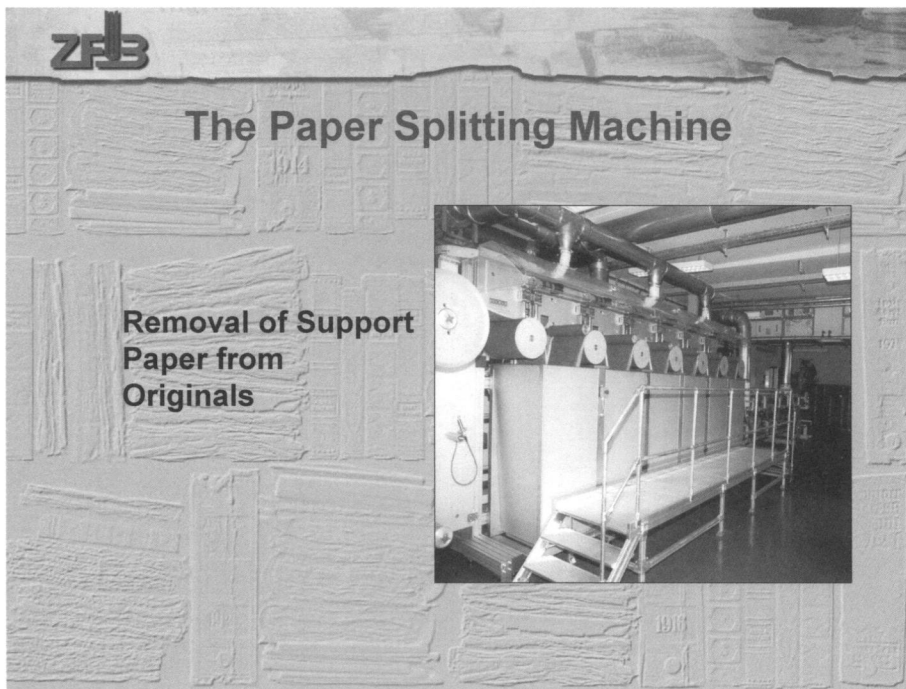
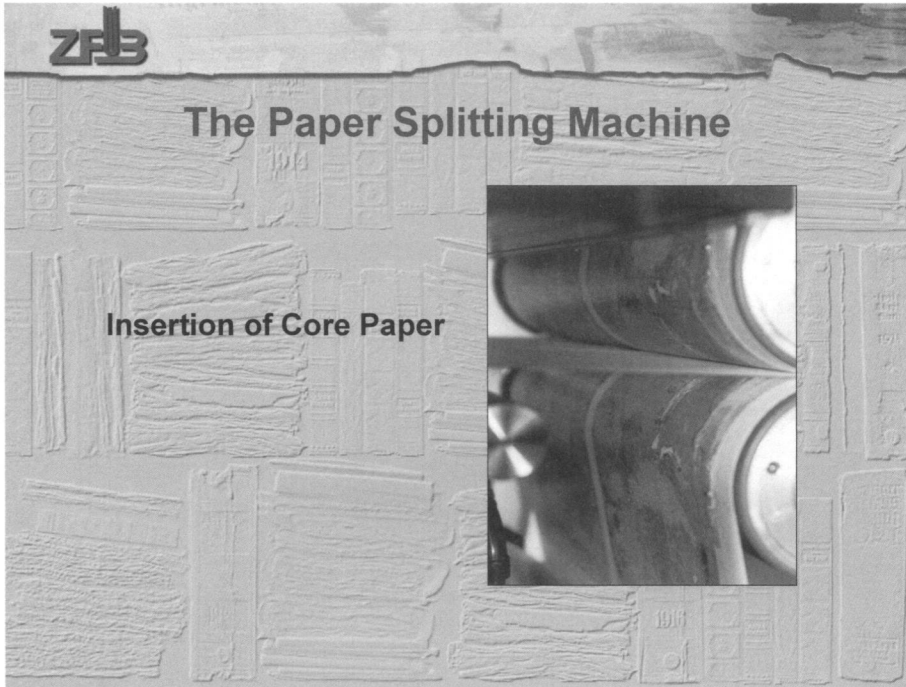
Actual splitting of  
the original sheet



## The Paper Splitting Machine

Close-up of  
Splitting step

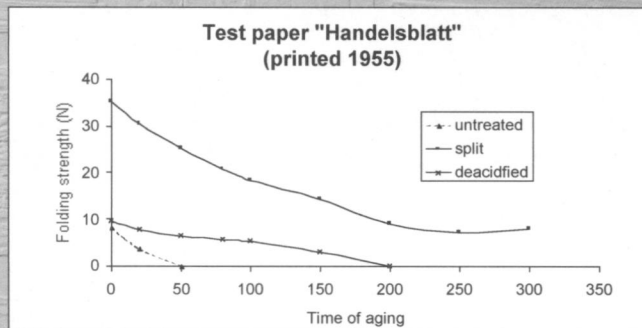





## The Advantages of Paper Splitting

- Stabilization
- Replacement of missing segments (by leaf-casting)
- Paper fragments can be reassembled to form an intact sheet again
- No use of untypical material
- Preservation of the paper's properties
- Combination with further conservation measures

## Results of Mass Deacidification and Paper Splitting

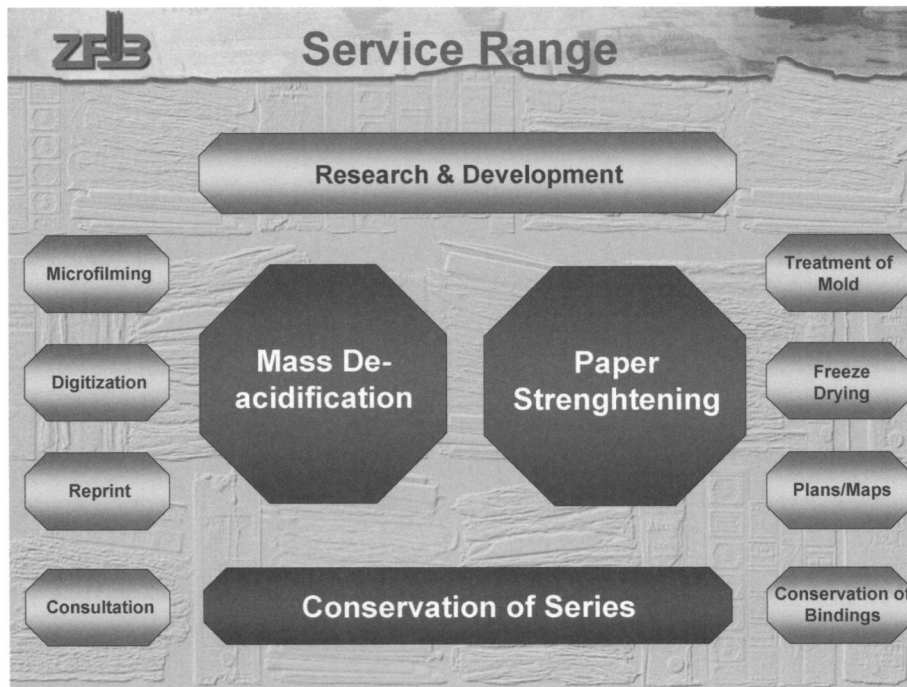


**A mechanical stabilization is required in strongly damaged papers**



## Components of a Preservation Concept

- Mass Deacidification
- Paper Conservation (by machine and by hand)
- Conservation and repair of bindings
- Specialized work (Parchments, seals ...)
- Reformatting (Digitization, Microfilming, Preservation-Reprint)
- Disaster Management (Organization; Freeze-Drying)
- Protective enclosures
- Climate and hygiene in storage rooms







## Service Range

- Concepts for conservation workshops
- Sale of workshop equipment & machinery
- Guaranty for machinery and spare parts, maintenance & further development
- Training of staff in Leipzig and on site
- Assistance in establishing a functional and optimal working environment
- Advice on necessary supplies, specifications



## Conclusion

***„If we do nothing, we will be left with nothing.“***

(J. Rhys-Lewis in: The Enemy Within!)



## ペーパー・スプリット法の原理と活用

マンフレッド・アンダース

### 1 はじめに

紙は長く永続し、強い耐性をもつ材料です。しかし、劣化原因となる諸々の外的影響を受けやすいのです。その影響には、機械的な影響、たとえば不適当な使い方や、その他の激しい外的影響があります。生物学的な紙の劣化原因には、当然、微生物（バクテリアやカビ）、害虫および齧菌類があります。

二酸化硫黄、オゾン、二酸化窒素の排出による環境汚染が、あらゆる先進国で、紙の劣化を促進させています。インクと色料による腐食も挙げなければなりません。こういった損傷は、概して貴重な文献資料などの文化財に影響するために、問題をさらに悪化させます。皆さんは、紙でできた文化遺産の被害というと、洪水、ハリケーン、火事な

どは無視できぬ脅威としてよくご存知のことでしょう。

化学的劣化の主な原因は酸によるものです。工業生産されるようになった紙に含まれている硫酸アルミニウムが、時が立つにつれて硫酸に反応したからであり、1850年以降1980年代までに印刷されたほとんどすべての出版物に影響を与えました。

経年により、セルロースは加水分解します。平行して、酸性の環境下では酸化反応がおきます。酸による加水分解、そして酸化のプロセスが結びつくと、さらに多くの酸が形成されます。これは自ずから劣化を促進する自触媒作用であり、迅速な措置をとらない限り、不可逆的な進行によって紙に甚大な損害をもたらされ、資料を活用すればさらなる損傷をもたらすこととなります。紙の上に盛り込まれた情報を保存するには費用がかかりますし、資料自体は、さらに費用をかけなければ救済できなくなります。

その意味で、劣化紙の大量脱酸性化処理という修復方法は重要な役割を担っています。ペーパーセーブ Papersave®法は、世界中でもっとも経験を積み、もっとも受け入れられている手法の一つです。脱酸性化処理をおこなうことの意味を次の例で説明しましょう。

ヨーロッパの図書館に収蔵されている書物の約70%から80%が、酸による劣化の影響を受けていることは周知の事実です。ドイツだけでも、この数は、公共図書館の蔵書、8000万冊の内の約6400万冊に相当します。この冊数は、文書館の収蔵品、本棚のスペースで600キロメートル以上の距離になりますが、これを除いた数です。これだけの数のものと、あまり費用がかからず、しかも大量の処理能力がある手法でなければ救済できません。

現在、ドイツにおけるペーパーセーブ法の年間処理能力は約150トンです。これは平均的サイズの書籍30万冊に相当します。

スイスでは、脱酸性化処理の方法を徹底的に検討してから、ペーパーセーブ法に決め、現在、年間120トンの生産高で処理しています。

脱酸性化処理に比較すると、マイクロフィルムへの転換費用は数倍のコストがかかり、デジタル化となるともっと高価につきます。オリジナルを保存しないでフォーマットを変更するのは、画像では残すことができないすべての情報をオリジナルとともに失う危険を覚悟することを意味します。

ゆえに大量脱酸性化処理は、酸の脅威にさらされている紙資料を保存するにあたっては、もっとも能力があり、もっとも効果的かつコスト節約型の手法なのです。ダイナミックで非可逆的な紙の劣化プロセスを停止するのが早ければ早いほど、大量脱酸性化処理のプラスの効果がはっきり出ます。躊躇すると、取り返しのつかない損失をこうむることになるでしょう。

## 2 脆弱化した紙の安定化

紙の劣化がすでに相当進んでいれば、すなわち脆くなっていたり、欠損部分があったりすれば、安定化のためにはさまざまな技術があります。再びサイジングするとか、リーフ・キャストイング、ライニング、ペーパー・スプリットなどの方法です。しかしまったく脆弱になってしまった紙は、再びサイジングを施しても、リーフ・キャストイングしても安定させることはできません。

保存と救済の方法の重要な目的は、安定化のほかに、酸や劣化生成物などの有害物質とともに、不純物を除去することです。工程の中で、水を使う使わないにかかわらず、含有された酸を中和し、アルカリ・リザーブを導入する必要があります。できれば、劣化紙に含まれたカルボニル基を、水酸化ホウ素ナトリウムで還元処理して、化学的に減少すべきです。しかしこの手法は、毎葉紙での処理が条件になっていますから、大量脱酸性化処理よりもっと費用がかさみます。

紙の欠損部分には、新しい紙の繊維を充填する、たとえばリーフ・キャストイングで補填することになります。

これも重要なことですが、劣化紙を安定化してこそ、修復後の使用を保障できます。処置の対象となる紙資料の損傷の程度、そして、その資料の特殊性によって、再サイジング、ライニング、またはペーパー・スプリット法で、安定化が得られます。ここから本日の実際の本題であるペーパー・スプリット法の話に入ります。ペーパー・スプリット法のみが、脆弱になった紙を最もオリジナルに近い形で、長期にわたって保存することができるという事実には、疑いをはさむ余地がありません。すべての最適な修復処置の目的は、ペーパー・スプリット法の工程で達成することができます。すなわち、酸のような劣化生成物の除去、水を使った前処理工程で水酸化ホウ素ナトリウムを使っての還元、安定化、新しいフォーマット作成、および脱酸性化処理です。

## 3 ペーパー・スプリット法の歴史

ペーパー・スプリット法の起源を遡るのは困難です。フランス人でグラフィックアートのコレクター、ピエール・ジャン・マリエット Pierre-Jean Mariette が、早くも1760年代にペーパー・スプリットに成功したようです。しかし、それが一般に注目されるようになったのは、19世紀になってからの英国でのことでした。製本業者のウィリアム・ボールドウィン William Baldwin が、紙のみならず銀行紙幣さえ剥いだという報告書が残されています。そのために、イングランド銀行は、ボールドウィンがこの方法を公表すると犯罪目的に利用されるおそれがあるとし、相当な金額を彼に支払うことになりました。

この方法に最初に興味をもったのがグラフィックアートのコレクターであった理由は、両面印刷された紙の表と裏を剥がすことができたからです。ペーパー・スプリット法が、

劣化紙を実際に再安定化することに応用されるまでには、数十年かかりました。これを最初に取り入れた修復家は、おそらくイタリア人のマリオ・モルガナ Mario Morgana で、1932年に出版された彼の著書『古書の修復 *Restauro dei libri antichi*』の中で、そのことを述べています。1960年代には、ツールンゲン大学と州立図書館の主席修復家であるギュンター・ミュラー Günter Müller, ならびにチェコで数名の修復家たちがペーパー・スプリット法の実験を開始しました。1964年には、ライプツヒのドイツ図書館に、ギュンター・ミュラーのかつての教え子であったウルフガング・ヴェヒター Wolfgang Wächter が主任修復家に就任し、修復部門が設立されました。[Brückle, Irene & Dambrogio, Jana; Paper Splitting: History and modern technology, JAIC 39 (200): 295-325]。

この二人のドイツ人は、劣化紙の問題は大量にあるという事実を認識して、この工程の処理能力向上を目的として、研究にとりくみました。また、ライプツヒのドイツ図書館の修復家たちは、ペーパー・スプリット・マシンの開発に努めました。その機械は、図書館で実際にフル能力で使用されることはありませんでしたが、1998年に修復部門全体が民営化されて、センター・フォー・ブック・コンサーベーション Zentrum für Bucherhaltung (ZFB) となってからさらに開発されて、システムの最適化がおこなわれました。

#### 4 ペーパー・スプリット法の工程

ペーパー・スプリット法の個々のステップを以下に述べます。まず2枚のサポート・ペーパーに、温めたゼラチンを塗布します。ついで、その2枚のサポート・ペーパーの間に、オリジナルの紙を埋め込みます。短時間圧力をかけると、接着剤が固化し、オリジナルにしっかりと接着します。次が実際のペーパー・スプリットです。サポート・ペーパーは、両側に引っ張るだけで剥がされます。すると、埋め込んだオリジナルは、裂けた断面にそって剥がれます。オリジナルが開いた状態なので、欠損部を<sup>3</sup>埋め、安定化のために新しい芯紙を挿入し、芯紙用の接着剤で固定します。この芯紙用の接着剤は、セルロースエーテルと炭酸カルシウムでできており、オリジナルの紙の内側からアルカリ・バッファーとして作用します。こうして、ペーパー・スプリットの工程には、オリジナルの芯からの脱酸性化が含まれるのです。

半分に裂いた紙は、もとどおりに合わせてから、再結合され、それから接着剤でしっかりと固まるように圧力をかけます。この段階のあと、温水の中でサポート・ペーパーを除去します。ゼラチンが酵素(プロテアーゼ)によってアミノ酸に分解され、温水で洗い流されます。温水は、また酵素を不活性化させる働きもします。それからサポート・ペーパーを除去し、最後に毎葉紙を乾燥し、圧力をかけます。リーフ・キャストイングが全体の工程の一部である場合は、毎葉紙はここで必要な寸法に断裁され、再製

本されます。

先に述べたように、サポート・ペーパーをオリジナルの紙に密着させるには、ゼラチンを使いますが、これには多くの利点があります。保護コロイドであると同時に、酸としても塩基としても反応します。ゼラチンを使ってインク、色料、顔料などを安定化させるとともに、湿度調整もできます。さらに、重金属イオンと不純物が結合されます。ゼラチンの融点はおよそ30℃、ゾル・ゲル変換があり、可溶性であり、プロテアーゼで分解できます。最後になりますが、ゼラチンは修復に数世紀も使用されてきましたが、紙に対してなんの悪影響もありません。

この工程は、手作業では、必要な処理能力を満たせません。仕事の段取りがうまくついでいけば、4人で1日平均200枚処理できます。仮に、図書館の全蔵書の10%が脆弱化して閲覧に供せなくなったとすると、ライプチヒのドイツ図書館だけで、12万冊の本をスプリットしなくてはならないことになります。1冊の平均枚数が100枚（200ページ）として、推定1200万枚の毎葉処理には、6万日の作業日が必要となります。つまり300年かかるのです。12万冊の書籍の最後の1冊にとりかかるころには、その本はもう塵のようにぼろぼろになっていることでしょう。これはドイツ図書館だけの推定です。劣化紙の保存と修復に対する時間との戦いでは、機械化のみが唯一のチャンスです。

以上の問題を念頭において、最初のペーパー・スプリット・マシンが1990年代に開発され、処理能力は1日当たり5000枚に伸びました。モジュラー方式で、サポート・ペーパーを貼りあわせるユニット、スプリットのユニット、サポート・ペーパーを剥がすユニット、乾燥および断裁のユニットで構成され、各ユニットはそれぞれ独立して使うことができます。ほとんどの場合、劣化紙に欠損部があれば、充填しなくてはなりません。そのためには、安定化のプロセスの最初の段階で毎葉紙をリーフ・キャストイングしておいたほうがよいです。このアプローチは、リーフ・キャストイングした部分がオリジナルとともにスプリットされ、芯紙で接合されるという利点があります。オリジナルの紙の周囲に幅広く余白部分を付足することも可能で、それによって安全に閲覧することができるようになります。さらに、多くの劣化した毎葉紙は、綴じの部分が破損しているため、再製本できなくなっていますが、この問題は保護のための余白の紙によって解決できます。場合によっては、印刷面が全部読めるようになるので可読性が向上し、紙も製本も保護されます。

ペーパー・スプリット・マシンでの工程は、基本的には手作業の工程と同じです。サポートとなる紙は、巻取り紙の上を走り、キャリアーの働きをします。

ZFBでは、紙の強化は、まず水を使った前処理で開始します。その目的は、酸と劣化成分の抽出です。この段階で、水酸化ホウ素ナトリウムによる化学的還元処置もおこなえます。このように前処理された毎葉紙は、つぎにリーフ・キャストイング・マシンの上に置かれます。そこでは、一枚ずつの劣化した紙に、新しく繊維を足すことで、縦

につないだ紙がつくれます。この縦長の紙の表・裏の両側に、キャリアまたはサポート・ペーパーの面が接するように置かれて、それから実際のスプリットのユニットに送られていきます。安定化のための芯紙もロールの上を走って、2枚に剥がしたオリジナルの紙の間に、芯紙用の接着剤で接着されます。2枚の帯状の紙は再び接合され、キャリア・ペーパーは裏紙剥がしのユニットで剥がされます。その後、紙を乾燥し、縦長の紙をそれぞれの毎葉紙の寸法に断裁します。

劣化したあらゆる紙資料の約90%は機械で処理できますが、ZFBでは、いまだに約5%から10%は手で処理しています。その理由は、機械で処理できるフォーマットに制限があるから（最大幅50cm）です。時には資料が損傷（たとえば極度にばらばらになった毎葉紙とか、インクのひどい腐食があった）しているためです。

ペーパー・スプリット法は、他の安定化の手法に比較すると多くの利点があります。機械的に毎葉紙を安定化するというだけでなく、リーフ・キャストイングとスプリットを組み合わせることで、欠損部が充填されます。オリジナルと新しい紙繊維の間の結合は、どちらも芯紙で補強されているため、非常に堅固になり、安定化されます。非常に痛んだ毎葉紙の断片も、このように接合して、元のままの無傷の状態に戻せます。欠損部には、新しい紙繊維を補填できます。紙の修復において典型的でない材料は使われません。ペーパー・スプリット法は、高度な可逆性があります。つまり半分ずつに剥いだ紙を、再び剥ぐことができ、芯紙を除去することができます。ペーパー・スプリット法は、他の修復の手法と容易に組み合わせられるので、紙の特性と物性を保てます。さらに、ペーパー・スプリット法では、炭酸カルシウムを用い、毎葉紙の内側から、緩やかに脱酸性化をおこなうこともできます。

脆弱になった紙は、どのような化学的プロセスによっても、もう一度強化されることはありません。新しい安定化のマトリックスを導入あるいは適用することによってのみ、再び閲覧に供せるのです。正しい時期に大量脱酸性化をおこなってこそ、紙資料の寿命を4倍から5倍に伸ばせます。未処理の毎葉紙に比較すると、ペーパー・スプリット法では、余命（期待寿命）が10倍以上伸びました。ZFBは、保存法のさらなる発展に関わってこうとしており、ほとんど自社資金で研究開発部を運営しています。中期的には、ペーパー・スプリット法を、たとえばデジタル化と組み合わせることができるかもしれません。

昨年、ドイツでは、災害管理というめったに使われない保存手段の一つが必要になりました。しかし、ひとたびそれが使用されるときは、大容量を処理する能力が緊急に必要となるのです。

## 5 結論

過去150年間に生産された近代の紙は、主として、酸性のサイジングによって急速に劣化しがちです。紙資料は、劣化のプロセスを抑えるのが早ければ早いほど、オリジナルの形で最良の保存が可能となります。躊躇していると、より高いコストと、より大きな損害を生じます。このことは、まだ十分な安定度をもっている酸性紙に特に該当することです。大量脱酸性化処理ほど低コストで、これほど効率のよい方法は他にありませんから、酸性紙の文献資料はできるだけ早く脱酸性化されるべきです。紙に書かれた文化遺産の保存では、大量脱酸性化処理が最も効率よく、しかも最もコストが安いのです。

脆弱な紙は、機械的にペーパー・スプリット法で救済できます。フォーマット変換（マイクロフィルム化、デジタル化）をも含め、予防的保存処置は、人類の文字遺産を保護する重要な手段ではありますが、文化遺産をそのままの形で残すことを保障するものではありません。

いかなる文化財も、書かれた文献資料ほど多くの情報をもってはいません。この知識を将来の世代のために保存することは、我々の責任です。我々が躊躇し、何も手を打たない結果、なんらかの損失が生じたら、その責めを負うのは我々であります。

「我々が何もしなければ、我々には何も残されないままになるであろう」

J. ライスールイス著『内なる敵』(F. Rhys-Lewis in: The Enemy Within)



