

# Der Endogene Zerfall von Archivgut - ein zwangsläufiges Phänomen?

Von KLAUS B. HENDRIKS (†)

Der Beitrag erschien erstmals in: Bestandserhaltung. Herausforderung und Chancen, hrsg. von Hartmut Weber (Veröff. der Staatlichen Archivverwaltung Baden-Württemberg Bd. 47), Stuttgart 1997, S. 21-44.

## Einleitung

Das Thema dieses Aufsatzes, die endogenen Alterungsursachen von Archivgut, beschreibt ein faszinierendes Fachgebiet, das es verdient, intensiv studiert zu werden. Der Begriff *Archivgut* schließt dabei im wesentlichen alle heute gebräuchlichen Informationsträger ein, das heißt die folgenden Materialien:

[Pergament]

Papier

Fotografische Filme und Papiere

Magnetische Aufzeichnungen

Optische digitale Medien

Es ist nun nicht ohne weiteres einzusehen, könnte gar als vermessen erscheinen, die Eigenschaften einer derartigen Vielfalt von Datenträgern innerhalb eines kurzen Aufsatzes abzuhandeln. Sehen wir uns kurz die Gründe für die Komplexität dieses Themas an.

*Erstens* hat jedes dieser Materialien seine eigene verwickelte Geschichte: Papier wurde bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts in ziemlich gleichförmiger Weise von Hand geschöpft, aber erst seit der Einführung von Maschinen ist die Mannigfaltigkeit der Papierarten beträchtlich angewachsen. Weiterhin tritt Papier in historischen Sammlungen in vielen Ausführungsformen in Erscheinung, wird verwendet für Bücher, Handschriften, Landkarten, gedruckte Einzelblätter, Plakate und als Unterlage für Zeichnungen, Aquarelle und Druckgrafiken. Papierdokumente kommen in Verbindung mit Tinten in Schwarzweiß und Farbe, mit Einbänden aus Leder, Leinwand, Holz und Karton, mit Siegeln und Klebstoffen vor.

Filme, magnetische Aufzeichnungen und optoelektronische Medien insbesondere sind in stetigem Wandel begriffen im Sinne eines technischen Fortschritts, der nicht immer zum Vorteil der Haltbarkeit verläuft. Die endogenen Eigenschaften dieser Informationsträger sind also eine Folge von technischen Entwicklungsprozessen, die selbst ständigem Wechsel unterworfen sind und in denen wechselnde Rohstoffe und Zugaben verwendet werden. Diese Variationen in der Anwendung von Rohstoffen und Herstellungsverfahren sind obendrein zumeist von wirtschaftlichen Gesichtspunkten bestimmt.

So kann man sehen, daß es eine Vielzahl von eng definierten Spezialgebieten zum Thema Erhaltung von Archivgut gibt, die zahlreichen Kollegen mit individuellen Meinungen und Erfahrungen Brot und Arbeit geben.

*Zweitens* gibt es über jedes dieser Materialien eine Fülle von Literatur, dazu Tagungen, Konferenzen und Treffen, die von Arbeitsgemeinschaften, Verbänden, großen nationalen Sammlungen und Berufsorganisationen der amtlich bestellten Hüter unseres schriftlichen und gedruckten Kulturguts regelmäßig abgehalten werden. Viele dieser Veranstaltungen geben Preprints oder Konferenzberichte heraus, und all dies will gelesen werden. Leider ist die Zusammenarbeit und Koordinierung zwischen diesen Organisationen nicht gerade vorbildlich, und so liest man oft Wiederholungen, veraltete Ansichten und fragwürdige Auslegungen von Beobachtungen und von Experimentalarbeiten. Dazu kommen die

zahlreichen Veröffentlichungen aus der Industrie, welche die oben angeführten Materialien - mit Ausnahme des Pergaments - herstellt und die ihre eigenen Vorstellungen über die Eigenschaften ihrer Produkte hat.

Dieser Aufsatz versucht, die herausragenden Eigenschaften dieser Informationsträger zusammenzufassen. Hier ist ein wichtiges Caveat: nicht über alles, was ich vorschlage, besteht einhellige, glückliche Zustimmung. Schließlich spiegeln meine Bemerkungen meine persönlichen Erfahrungen und Vorurteile wider.

Nachdem wir die Materialien grob umrissen haben, die uns beschäftigen, müssen wir uns kurz fragen, was wir unter endogenem Zerfall verstehen wollen. Die Kehrseite dieses Ausdrucks, oder sein komplementärer Begriff, ist die *endogene Haltbarkeit von Archivgut*, der ja im Prinzip dasselbe aussagt. Wenn wir also die endogene Haltbarkeit von Papier, Film und Magnetband irgendwie quantitativ ausdrücken wollen, dann kommen wir nicht umhin, aus dem Vakuum der idealen Haltbarkeit heraus und in die Realität einzutreten, wo Temperatur, Feuchtigkeit und Luftverunreinigung vorhanden sind. Wir können die endogene Haltbarkeit von Archivgut nicht losgelöst von seiner Umwelt betrachten. Das wird klar, wenn wir die Ziele zahlreicher Untersuchungen und Forschungen auf dem Gebiet der Erhaltung von Kulturgut wie folgt umreißen:

1. die Gründe des Zerfalls und seinen Mechanismus zu erkennen und zu verstehen;
2. Maßnahmen zu finden und einzuleiten, um diesen Zerfall zu verlangsamen oder gar zu verhindern;
3. Methoden und Verfahren zu entwickeln, um vom Zerfall bedrohte oder schon beeinträchtigte Objekte wieder herzustellen.

Das erste dieser Ziele ist das Thema dieser Abhandlung: warum zerfällt Kulturgut, welches sind die dabei ablaufenden chemischen Vorgänge, und warum ist ein bestimmtes Material einer Gattung haltbarer als ein ihm scheinbar verwandtes ähnliches Material. Dabei denken wir aber nur an den endogenen, also den von selbst verlaufenden Zerfall. Wir schließen ausdrücklich die Einflüsse von Feuer, Wasser, äußerer Gewaltanwendung durch übermäßigen Gebrauch im Lesesaal, in Ausstellungen und durch Transport sowie diejenigen von Insekten und Mikroorganismen aus. Da die Haltbarkeit von Archivgut aber auch von seiner Umgebung abhängt, müssen minimale Bedingungen gesetzt werden.

Das zweite Ziel dient der *Erhaltung* durch Anwendung nützlicher Lagerungsbedingungen, Richtlinien für den Gebrauch von Archivgut, Anfertigung von Kopien und so weiter. Es sollen hier aber keine diesbezüglichen Empfehlungen oder Normen besprochen werden, sondern es soll nur darauf hingewiesen werden, daß gewisse Minimalbedingungen eingehalten werden müssen, um die Haltbarkeit von Archivgut beschreiben zu können und vergleichbar zu machen. Es ist klar, daß ein Material um so haltbarer ist, je freizügiger diese Umweltbedingungen gehalten werden können, und daß umgekehrt weniger haltbare, das heißt chemischen Reaktion gegenüber empfindliche Materialien, besondere Aufmerksamkeit erfordern. Dies wird gegen Ende dieser Ausführungen noch an konkreten Beispielen erläutert werden.

Das dritte Hauptziel der Bestandserhaltung, die Restaurierung solcher Dokumente, die bereits Schaden erlitten haben, soll in dieser Arbeit überhaupt nicht erörtert werden, da es außerhalb des Themas liegt.

## Direkt lesbare Dokumente

Zu dieser Gruppe gehören - neben Pergament - beschriebene und bedruckte Dokumente aus Papier sowie fotografische Materialien, das heißt Filme und Fotopapiere. Direkt lesbare Dokumente können laut Definition allein mit dem menschlichen Auge gelesen und verstanden werden, ohne Zuhilfenahme eines Apparats oder einer Maschine, welche die Information erst entschlüsseln müßte. Sie sind historisch gesehen auch die ältesten der

hier betrachteten Informationsträger.

## 1. Papier

Die Lebenserwartung von Papier, das wir zuerst betrachten, ist in den 20er Jahren von W. Herzberg am Materialprüfungsamt in Berlin wie folgt beschrieben worden:<sup>1</sup>

Lebenserwartung = Haltbarkeit + Dauerhaftigkeit  
= *Stoffgüte + Festigkeitseigenschaften*  
mechanische atmosphärische  
Beanspruchung Einwirkung

Dies ist eine kluge Definition, denn sie enthält alle wesentlichen Elemente, welche die Haltbarkeit eines Materials ausmachen. Ganz offenbar ist die *Stoffgüte* diejenige Eigenschaft, die uns hier am meisten interessiert, denn sie bestimmt maßgebend das Ausmaß und die Geschwindigkeit des endogenen Zerfalls. Sie bestimmt auch zum großen Teil die Festigkeitseigenschaften eines Papiers. Mit Festigkeit bezeichnet man in der Papiertechnik die Stärke eines Materials, das heißt seine Fähigkeit, mechanischen Kräften zu widerstehen, die auf es einwirken. Die Stoffgüte ihrerseits hängt ab von der Qualität der Rohstoffe und von der Verarbeitung. Das trifft eigentlich für alle industriell hergestellten Gegenstände zu, ob es sich um ein Oberhemd, eine Kommode oder ein Automobil handelt. Daher wollen wir jetzt kurz die Faktoren besprechen, welche die Stoffgüte von Papier bestimmen.

Papier besteht im wesentlichen aus einem Geflecht aus pflanzlichen Fasern.<sup>2</sup> Das Prinzip seiner Herstellung ist einfach: die pflanzlichen Fasern befinden sich in Suspension in Wasser über einem siebartigen Boden. Wenn das Wasser abgesaugt wird, setzen sich die Fasern auf dem Boden ab und verfilzen sich zu einem noch nassen Blatt, das nun abgenommen und getrocknet werden kann. Von den vielen Beimengungen, die benutzt werden, um dem Papier diese oder jene Eigenschaften zu verleihen, sei die Leimung als wichtigste hervorgehoben. Sie bewirkt, daß das Papier beschrieben oder bedruckt werden kann, ohne daß die Tinte ausläuft.

Bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts stammten die Pflanzenfasern zur Herstellung von Papier vornehmlich aus Leinen, Baumwolle und Hanf. Sie bilden lange, kräftige Fasern, ein Bild, das sich im molekularen Bereich fortsetzt. Pflanzenfasern bestehen letztendlich aus Zellulose, einem natürlichen Polymer, dessen Chemie in den 20er und 30er Jahren von H. Staudinger an der Universität Freiburg erforscht und aufgeklärt wurde. Reine Zellulose ist aus zahlreichen einfachen Zuckermolekülen, der Glukose aufgebaut, die sich über Sauerstoffatome miteinander zu langen Ketten verbinden. Ein Maß für die Kettenlänge ist der sogenannte mittlere Polymerisationsgrad, der die durchschnittliche Anzahl der Glukoseeinheiten in einer Zellulose bestimmter Herkunft angibt. Je länger diese Kette aus Glukosemolekülen, das heißt das Zellulosepolymer ist, um so höher ist seine Lebenserwartung. Das hatte schon Staudinger richtig erkannt.<sup>3</sup> Der mittlere Polymerisationsgrad ist also ein wichtiges Qualitätsmerkmal für Papiere, deren Hauptbestandteil Zellulose ist.

Zur Leimung wurde im 19. und 20. Jahrhundert oft Harzseife verwendet, die mit Alaun auf die Fasern niedergeschlagen wurde. Das Alaun ist ein aluminiumsulfathaltiges Salz, das in Gegenwart von Wasser - das heißt hoher Feuchtigkeit - Derivate der Schwefelsäure bildet. Da die Gegenwart von Säuren ein Hauptgrund des Zerfalls von Papier darstellt, ist der Gebrauch von Alaun in der Papierherstellung unerwünscht. Es werden daher heutzutage viele andere Stoffe zur Leimung von Papier verwendet.

Die von Säuren katalysierte chemische Reaktion, welche die Zellulosekette in kürzere Fragmente aufspaltet, wird als Hydrolyse bezeichnet. Die saure Hydrolyse der Zelluloseketten ist seit über hundert Jahren von zahlreichen Autoren studiert und

beschrieben worden. Schon im Jahre 1882 wurde gezeigt, daß die saure Reaktion in verschiedenen Papiersorten entweder von freier Schwefelsäure oder von einem sauer reagierenden schwefelsauren Salz herrührte.<sup>4</sup> 20 Jahre später wies ein weiterer Autor freie Säure in mehreren Papieren nach. Er zeigte ferner, daß freie Säure im Papier durchaus beständig ist und fast unmöglich aus ihm zu entfernen sei. In mit Säuren verschiedener Verdünnung getränkten Papierprüflingen konnte er eine Schwächung der Papierstruktur nachweisen; Schwefelsäure wirkt energischer auf Papier ein als Salzsäure; und durch die Einwirkung der Säure auf das Papier und Schwächung desselben wird die Säure nicht verbraucht, was mit unserer heutigen Auffassung der Säure als Katalysator gut übereinstimmt.<sup>5</sup>

Seit neuerer Zeit zieht sich die Überzeugung, daß säurehaltiges Papier nicht beständig ist, wie ein roter Faden durch die Literatur über die Haltbarkeit von Papier. Dabei war schon vor mehr als 100 Jahren aus der reinen Chemie bekannt, daß Zellulose in wäßriger Lösung durch Säuren in kleinere Bausteine gespalten wird, die oben schon erwähnte Hydrolysereaktion. Tausende von Artikeln sind über die Einwirkung von Säuren auf die Zellulose, die ja im Textilbereich, in der Pflanzenphysiologie und in der Papierindustrie eine überragende Rolle spielt, veröffentlicht worden. Ihre genaue Strukturaufklärung gelang englischen Chemikern Ende der 20er Jahre dieses Jahrhunderts eben durch Abbau der Zellulose auf den Grundbaustein, das Disaccharid Cellobiose, mittels saurer Hydrolyse.

In einer Reihe von grundlegenden in den 30er Jahren veröffentlichten Arbeiten haben T. D. Jarrell, J. M. Hankins und F. P. Veitch den zerstörerischen Einfluß von Säuren auf die Haltbarkeit des Papiers dargelegt.<sup>6</sup> Die Alterung des Papiers, das heißt der Verlust seiner Festigkeitseigenschaften in der Gegenwart von Säuren, ist bis auf den heutigen Tag Gegenstand intensiver Forschungen.<sup>7</sup>

Weitere Stoffe, die der endogenen Haltbarkeit des Papiers abträglich sind, sind Metallionen insbesondere von Eisen und Kupfer sowie restliches Chlor, das zum Bleichen des Zellstoffs verwendet wurde und noch verwendet wird. Die Rolle des Lignins, eines verwickelt zusammengesetzten im Holz vorkommenden natürlichen Baustoffs, ist gegenwärtig umstritten. Die Frage, ob das Lignin die Haltbarkeit des Papiers negativ beeinflusst oder nicht, ist im Augenblick wohl das aktuellste Problem auf dem Gebiet der Erhaltung von Archivgut. Für seinen Verbleib im Endprodukt Papier sprechen sowohl wirtschaftliche Gesichtspunkte, da mehr Anteile vom Holz zu Papier verarbeitet werden können, als auch ökologische Gründe, da theoretisch wegen der hohen Ausbeute an Rohmaterial weniger Bäume gefällt werden müßten. Es besteht aber ernsthafter Anlaß, die Gegenwart von Lignin im Papier als nicht förderlich für seine Haltbarkeit zu betrachten. Die endgültige Aufklärung seines Einflusses auf die Haltbarkeit erfordert verwickelte und langwierige Untersuchungen, die bei weitem noch nicht abgeschlossen sind.

Einige kürzlich ausgeführte Arbeiten in verschiedenen Laboratorien zeigen, daß Lignin im Papier mit oxidierenden Stoffen wie Schwefeldioxid aus der Atmosphäre<sup>8</sup> oder mit oxidierenden Radikalen schneller reagiert als die Zellulose selbst.<sup>9</sup> Diese Beobachtung könnte so ausgelegt werden, daß die Anwesenheit von Lignin die Haltbarkeit des Papiers erhöht. Das ist jedoch eine Frage der Interpretation. Diese Versuche zeigen lediglich, daß Lignin reaktionsfähiger ist als Zellulose, eine Tatsache, die schon seit über 100 Jahren bekannt ist. Auf ihr beruhen die verschiedenen großtechnischen Verfahren zur Abtrennung des Lignins von der Zellulose.

Was die Verarbeitung des Rohstoffs - das heißt der pflanzlichen Fasern - zu Papier betrifft, so unterscheidet sich die Papierherstellung während der letzten 100 bis 150 Jahre ganz erheblich von der von Hand ausgeführten Papierschöpfung der fünf Jahrhunderte vor dem Jahre 1800. Während dieser Zeit wurden die Pflanzenfasern chemisch nur wenig beeinträchtigt; sie blieben daher als lange und feste Fasern erhalten. Der mittlere Polymerisationsgrad von Zellulose aus Baumwolle, Leinen und Hanf liegt im

allgemeinen höher als derjenige von aus Holz gewonnener Zellulose. Chemische Einwirkungen durch Behandlung in Kalkwasser bei Zimmertemperatur in einem mehrwöchigen Fäulnisprozeß hatten wohl einen positiven Einfluß auf die Haltbarkeit durch die Wanderung von Kalziumionen auf die Säuregruppen und deren Neutralisierung in der Zellulose. Im Gegensatz dazu müssen aggressive chemische Prozesse angewandt werden, um die Zellulose aus Holz zu gewinnen. Hierdurch werden die Festigkeitswerte herabgesetzt und der mittlere Polymerisationsgrad erniedrigt.

Wir haben die vor 1800 handgeschöpften Papiere als Typ I bezeichnet, eben wegen ihrer besonderen Eigenschaften, namentlich ihrer herausragenden endogenen Haltbarkeit.<sup>10</sup> Papiere vom Typ II sind die seit der Mitte des 19. Jahrhunderts stammenden Papiere, deren Rohmaterial von aus Holz gewonnenem Zellstoff hergestellt wurde. Sie enthalten allerlei natürliche Bestandteile und künstliche Beimengungen, die ihrer Haltbarkeit nicht unbedingt förderlich sind. Es sind Papiere vom Typ II, welche die Erhaltungsprobleme von Papierdokumenten in historischen Sammlungen verursachen.

Literatur über die Herstellung handgeschöpfter Papiere ist nicht gerade häufig. Wohl das bekannteste Werk ist von Joseph Jérôme François de la Lande,<sup>11</sup> das zuerst 1761 veröffentlicht, ein Jahr später ins Deutsche übersetzt und 1984/1993 vom Westfälischen Archivamt nachgedruckt wurde. Über moderne Papiertechnologien konsultiere man die klassischen Werke von Rydholm,<sup>12</sup> daselbst auch detaillierte Angaben über den mittleren Polymerisationsgrad, und von James P. Casey.<sup>13</sup> Beispiele von Aufschlußverfahren zur Trennung des Lignins von Zellulose sind der Sulfitprozeß, der bei 140 - 150 °C oder bei 115 - 125 °C über acht Stunden arbeitet; oder das Sulfatverfahren: Behandlung des Rohstoffs bei 170 - 180 °C über mehrere Stunden. Schließlich kann noch das 1988 erschienene Büchlein von Wilhelm Sandermann als eine schöne Einführung in die Geschichte und Technologie des Papiers empfohlen werden.<sup>14</sup>

Aus Anlaß des 600jährigen Jubiläums der ersten Papierherstellung in Deutschland erschien im Jahre 1990 ein Buch mit dem Titel *Zauberstoff Papier*. Der Titel bezieht sich auf die mehr als 2000 Anwendungen als Schreib- und Packpapier sowie auf viele andere Gebrauchsgegenstände, die aus Papier gefertigt werden. Der Name *Zauberstoff* ist auch angebracht im Hinblick auf die erstaunliche Haltbarkeit der alten Papiere, die vor dem 19. Jahrhundert handgeschöpft wurden und die wir heute Hadernpapiere nennen. Sie haben magische Eigenschaften, die wissenschaftlich nicht vollständig verstanden werden, da sie größtenteils unerforscht geblieben sind. Was uns mit schöner Gewißheit bleibt, ist die empirische Erfahrung, daß sie außerordentlich haltbar sind. Diese praktische Erfahrung wird gelegentlich von gewissen Kreisen in satirischer Weise als *anekdotischer Beweis* bezeichnet. Da darf man sich aber nicht irreführen lassen. Vielmehr ist die Haltbarkeit von handgeschöpften Papieren, die 200 Jahre und älter sind, handfestes Wissen, das auf gesicherter Erfahrung beruht. Und dieses Wissen gibt uns die Überzeugung, daß Papiere, die heute hergestellt werden, ebenfalls Jahrhunderte überleben werden, solange sie nur dieselben Eigenschaften haben, wie die alten Papiere in unseren Sammlungen. Diese Vorhersage beruht auf der Überzeugung, daß man die Zukunft eben nur aus dem langfristigen Verhalten eines Materials über vergangene Zeiträume hinweg voraussagen kann. Die Naturwissenschaften haben nie vorgegeben, die Zukunft vorherzusagen zu können. Ein Laboratoriumsversuch kann so angelegt werden, daß sein Ergebnis innerhalb der nächsten Sekunde oder Minute oder für mehrere Minuten vorhergesagt werden kann. Vielleicht können einige Versuche so berechnet und angeordnet sein, daß sich voraussagen läßt, was in zwei Tagen als Ergebnis vorliegen wird. Aber nirgendwo hört man von Ansprüchen vorherzusagen, was in 100 oder gar 500 Jahren passieren wird. Das gibt es nur auf unserem Gebiet, und man sollten ihnen gegenüber dementsprechend skeptisch sein.

Die Lösung dieses Dilemmas - nämlich unsere Unfähigkeit, die Lebensdauer eines Materials im voraus zu berechnen, und die Unkenntnis der Faktoren, die für die Haltbarkeit der alten Papiere verantwortlich sind - erscheint klar: haltbares Papier sollte diejenigen Eigenschaften besitzen, welche die zwischen 1300 und 1800 hergestellten

Papiere auszeichnen. Das heißt nun aber nicht - *und diese Bemerkung ist wichtig* -, daß haltbares Papier auf dieselbe Weise hergestellt werden soll wie vor 1800. Es gibt überhaupt keinen Grund zu glauben, daß haltbares Papier nicht von modernen Maschinen gemacht werden könnte, solange das Endprodukt nur einige unerläßliche Eigenschaften aufweist.

Ich habe einige technische Einzelheiten in Umrissen erwähnt als Begründung für meine Schlußfolgerungen zur Frage des endogenen Zerfalls von Archivgut. Auf einige der genannten Punkte wird später noch einmal zurückzukommen sein.

## 2. Fotografische Materialien

Wenn wir uns jetzt fotografischen Aufzeichnungen zuwenden, dann beginnen wir mit zwei wichtigen Beobachtungen, die den Unterschied zwischen bedrucktem oder beschriebenen Papier auf der einen Seite und einem Film oder einer Fotografie auf der anderen kennzeichnen. Das erste Unterscheidungsmerkmal, das sich leicht bei der Betrachtung eines Querschnitts durch eine Fotografie beobachten läßt, zeigt, daß fotografische Dokumente eine Schichtstruktur haben, die ihnen Eigenschaften verleiht, die bei ihrer Erhaltung beachtet werden müssen. Ein Wechsel sowohl der Lagerungstemperatur als auch der relativen Luftfeuchtigkeit läßt die Bildschicht - eine Gelatinebeschichtung von etwa einem hundertstel Millimeter (1/100 mm) Dicke - schneller reagieren, zum Beispiel durch Ausdehnung oder Zusammenziehung, als den Bildträger. Letzterer besteht für unsere Betrachtungen hier vereinfacht hauptsächlich aus Kunststofffilmen oder Fotopapieren.

Damit haben wir zwei Bestandteile einer Fotografie kennengelernt, den Bildträger und die Bildschicht. Die dritte - ganz unerläßliche - Komponente ist die Bildsubstanz. Sie besteht in Schwarzweißfotografien aus elementarem Silber, in Farbfotografien aus organischen Farbstoffen. Um sie zu bilden, durchlaufen Fotografien einen komplizierten Vorgang, währenddessen Filme oder Fotopapiere belichtet und verarbeitet werden. Dies ist der zweite wichtige Unterschied zu reinen Papierdokumenten.

Fotografische Aufzeichnungen müssen vom Anwender oder von einem Fachlabor *verarbeitet* werden. Sie erfordern eine Behandlung in chemischen Lösungen, um das belichtete Bild sichtbar zu machen und zu fixieren. Dabei kann es vorkommen, daß Reste der hierzu benutzten Chemikalien in der Bildschicht oder im Träger verbleiben. Sie können in einer langsamen Reaktion über längere Zeiträume hinweg zu einer Verfärbung des Bildsilbers führen. Ganz ähnlich verhält es sich bei Farbfotografien. Schlechte Verarbeitung führt zu beschleunigtem Ausbleichen der Farbstoffe.

Der eben beschriebene Umstand erfordert also eine weitere Einschränkung oder Bedingung, die erfüllt werden muß, um die Haltbarkeit fotografischer Dokumente zu gewährleisten: sie müssen sachgemäß verarbeitet werden, eine Forderung, die für einfache Papierdokumente nicht zutrifft. Worin diese sachgemäße Verarbeitung besteht, ist der Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten gewesen und ist es noch. Es ist also ohne Zweifel wohlbekannt, was zu tun ist. Es soll aber erwähnt werden, daß das Tönen von Schwarzweißfotografien, eine am Ende der Verarbeitung angewandte Behandlung, die das Bildsilber chemisch stabilisiert, Teil einer wichtigen Erhaltungsmaßnahme ist.

Der endogene Zerfall fotografischer Bilder hängt also von den Eigenschaften der drei hauptsächlichsten Bestandteile solcher Aufzeichnungen ab. Die Gelatine, die während der letzten 100 Jahre nahezu ausschließlich als Bindemittel für die Bildsubstanz verwendet wird, zeigt unter normalen Bedingungen gute Haltbarkeit. Normale Bedingungen heißt, daß die relative Luftfeuchtigkeit etwa 60 Prozent nicht überschreiten soll sowie die Abwesenheit von Insekten und Mikroorganismen. Ihre Lebenserwartung ist etwa derjenigen von Acetylzellulose gleichzusetzen.

Die Eigenschaften sowohl des Bildsilbers als auch der organischen Farbstoffe sind im Laufe der Jahre ausführlich erforscht worden. Das fein verteilte Silber in der Bildschicht einer Schwarzweißfotografie ist reaktionsfähiger gegenüber oxidierenden Substanzen als seine Stellung in der chemischen Spannungsreihe der Elemente als ein Edelmetall erwarten läßt. Sachgerecht verarbeitet und getont, ist es jedoch unanfällig gegenüber derartigen Einflüssen. Das Tönen von Fotografien und Filmen, die für langfristige Erhaltung vorgesehen sind, hat daher nicht den Rang einer wünschenswerten Möglichkeit, sondern ist ein integraler Bestandteil fachgerechter Verarbeitung.

Wesentlich empfindlicher sind die Farbstoffe in den nach dem chromogenen Entwicklungsverfahren hergestellten Farbfotografien. Diese Gruppe schließt nahezu alle heute produzierten Farbbilder ein, das heißt Negative, Abzüge und Diapositive. Im Gegensatz zu Schwarzweißfotografien, die gegenüber erhöhter Temperatur ziemlich unempfindlich sind, ist die Haltbarkeit der Farbstoffe in Farbfotografien temperaturabhängig. Ihr endogener Zerfall beschleunigt sich mit ansteigender Temperatur. Das geeignete Gegenmittel ist somit Lagerung bei tiefer Temperatur, wie es heute in den einschlägigen Normen vorgeschrieben wird. Einen weiteren schädlichen Einfluß auf die Haltbarkeit von Farbfotografien übt das Licht aus. Sie werden deshalb im Dunkeln gelagert. Die zahlreichen Faktoren, welche die Haltbarkeit fotografischer Aufzeichnungen beeinflussen, sind vom Verfasser dieser Zeilen ausführlich diskutiert worden.<sup>15</sup>

Wir müssen jetzt noch die Stoffgüte von *Bildträgern* betrachten, die für fotografische Aufzeichnungen verwendet werden. Einzig geeignet für Langzeitarchivierung sind Papier und gewisse Kunststofffilme. Qualitätsanforderungen für sogenannte Barytpapiere, die bis vor etwa 25 Jahren ausschließlich hergestellt wurden, sind ganz ähnlich wie wir sie für Schreib- und Druckpapiere besprochen haben. Eine zusätzliche Anforderung ist jedoch eine hohe Naßfestigkeit, um den Fotografien das Überleben im wäßrigen Verarbeitungsprozeß zu erleichtern.

Fotopapiere, seit den 1860er Jahren industriell hergestellt, zeichnen sich im allgemeinen durch hohe Reinheit - das heißt Abwesenheit von Metallionen, Chlor und Schwefel, Hauptbestandteil reine Zellulose - und hervorragende Haltbarkeit aus. Auf alten Fotos wird man selten die Zerfallerscheinungen finden, denen man bei Papieren des 19. und 20. Jahrhunderts so zahlreich begegnet.

In den frühen 70er Jahren kamen dann die polyäthylenbeschichteten Fotopapiere (PE-Papiere) auf den Markt, die vom Fotografen schneller verarbeitet werden können, sich weniger leicht aufrollen und kostengünstiger sind. Farbfotos gibt es nur noch auf PE-Papier. In Schwarzweiß werden zwar noch einige traditionelle Barytpapiere hergestellt, doch überwiegen auch hier die PE-Papiere (englisch: resin-coated papers; RC papers). Sie sind etwas komplizierter aufgebaut. Das Papierblatt ist mit einer sehr dünnen Polyäthylenschicht beidseitig beschichtet, und es ist nun möglich, daß dieses Kunststoffhäutchen brüchig wird, aufbricht und das Bild in Mitleidenschaft zieht. Der Vorgang wird vom Licht gefördert. PE-Papiere werden daher nicht zur Herstellung langfristiger haltbarer Fotografien empfohlen.

Die Filmträger sind für den Kustos von Archivgut besonders wichtig wegen ihrer Bedeutung für Mikrofilme und Kinofilme. Die Eigenschaften des historisch frühesten Filmmaterials, der *Nitrozellulose*, sind ausgiebig untersucht worden. Dieser Film ist zu Recht verurteilt wegen seiner ihm eigenen Instabilität, was in Filmarchiven zu weitläufigen Programmen zur Umkopierung von Kinofilmen auf neuere Materialien geführt hat. Nitrozellulose wurde im allgemeinen nicht zur Herstellung von Mikrofilmen verwendet. Ein anderes frühes Trägermaterial, eine Folie aus *Polykarbonat* kann wegen seiner geringen Verbreitung in dieser Betrachtung unberücksichtigt bleiben.

Von den neueren Kunststofffilmen spielen die *Acetylzellulose* (Triacetat) und der *Polyester* eine überragende Rolle. Zwar hat es in den letzten Jahren eine gewisse Beunruhigung

gegeben wegen einiger beobachteter Zerfallserscheinungen an Filmen aus Acetylzellulose, doch hatte das eine durchaus positive Wirkung. Diese und andere Filmarten sind nämlich in mehreren Laboratorien erneut untersucht worden, was zu verbesserten Empfehlungen für die Lagerungsbedingungen geführt hat.<sup>16</sup> Das Zellulosetriacetat, frisch hergestellt, hat nach Untersuchungen der Firma Kodak eine Lebenserwartung von etwa 300 Jahren, wenn dieses Material bei 20 °C und 15 - 40 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit gelagert wird.<sup>17</sup> Man darf wohl einer derartigen Prognose mit Zuversicht begegnen.

Ein neues Verfahren ist kürzlich beschrieben worden, um die Erhaltung dieses Materials zu *fördern*. Die Instabilität der Acetylzellulose rührt daher, daß im Endprodukt unweigerlich geringste Spuren von Essigsäure enthalten sind, die zu seiner Herstellung verwendet wurde. Die Essigsäure katalysiert das Abspalten der Acetylgruppen von der Zellulosekette. Dieser Zerfall beginnt gleich nach der Fertigung, aber bis vor kurzem war es nicht möglich, aus Mangel an analytischer Technik, die freiwerdende Essigsäure zu entdecken und quantitativ zu bestimmen. Wenn also restliche oder freiwerdende Essigsäure den Zerfall des Films beschleunigt, dann liegt es nahe, zu versuchen, sie aus dem System zu entfernen, sobald sie auftaucht. Das geschieht mit Hilfe der Molekularsiebe, welche die freie Essigsäure selektiv absorbieren. Dies ist eine relativ neue Entwicklung, die nach allen bisherigen Versuchen frisch verarbeitete Acetylzellulose vor dem frühzeitigen Verfall schützt.<sup>18</sup>

Neuere Filmmaterialien haben weithin verbesserte Eigenschaften. Das Filmmaterial, das kurz als Polyester bezeichnet wird, der Polyäthylenterephthalsäureester, scheint mit Abstand der stabilste Filmträger zu sein von allen, die derzeit bekannt sind. Das bestätigen mehrere unabhängigen Instituten. Polyester ist ein bedeutendes Archivgut, nicht nur als Unterlage für Plan- und Mikrofilme, sondern auch für Magnetbänder. Seine Lebenserwartung wird wechselweise auf 500 bis 2000 Jahre geschätzt.<sup>19</sup> Solche Schätzungen beruhen auf Versuchen mit beschleunigter Alterung sowie auf theoretischen Überlegungen über die Stabilität chemischer Verbindungen. Aus dem bis jetzt Gesagten ist es also möglich, Entscheidungen über die haltbarsten fotografischen Aufzeichnungen zu treffen. Eine weitere moderne Kunststoffolie ist das Polyäthylennaphthalat, welches in zukünftigen Filmen verwendet werden soll und dem hervorragende Eigenschaften nachgesagt werden.

## Maschinenlesbare Dokumente

Je weiter wir in die Gegenwart vorrücken, um so komplizierter wird das Aufzeichnen, Sammeln und die Erhaltung von Daten oder Informationen. Zunächst gab es das *Beschriften* von Pergament und Papier, dann das *Bedrucken* von Papier. Die Erfindung der Fotografie - das *Schreiben mit Licht* - mit ihren äußerst zahlreichen Anwendungen und Variationen führte zur direkten Aufzeichnung von Text oder Bildern mit Hilfe des Lichts und einem lichtempfindlichen Material. Der nächste Entwicklungsschritt war das Aufzeichnen von *kodierter* Information auf einem magnetischen Medium. Zuerst im Jahre 1935 für die Aufnahme von Ton entworfen und beabsichtigt, wurde es seit Anfang der 50er Jahre auch für Computerdaten benutzt. Dies geschah zunächst in der Form von Magnetbändern, später zusätzlich in Diskettenform. Eine weitere Entwicklungsstufe stellen die optischen Digitalspeicher oder optoelektronischen Speicher dar, bei denen Information mittels Laserstrahlung in ein Substrat eingebrannt wird. Zu diesen gehören die verbreiteten beschreibbaren Compact-Disks (Recordable CD).

Diese elektronisch gesteuerten Aufzeichnungen haben eine herausragende Eigenschaft gemeinsam: sie sind maschinenlesbar, die auf ihnen gespeicherten Informationen bleiben dem menschlichen Auge zunächst verborgen. Maschinenlesbare Dokumente können nur mit Hilfe einer Maschine gelesen und verstanden werden. Zu diesen Speichermedien gehören solche wie Videoband, Compact-Disk oder 1/2-Zoll-Computermagnetband.<sup>20</sup> Alle digitalen Aufzeichnungen sind maschinenlesbar. Analoge Aufzeichnungen können



entweder maschinen- oder direkt lesbar sein. Es sei betont, daß alle Fotografien, einschließlich Mikrofilm und Kinofilm, direkt lesbar sind, auch wenn die Anwendung eines einfachen Vergrößerungsgeräts oder optische Projektion nötig ist.

Beim Betrachten der auf elektronischen Medien - Magnetband, Magnetdiskette oder optoelektronischer Diskette - gespeicherten Information ist eine gewisse Ratlosigkeit der mit ihrer Erhaltung bedachten Fachleute nicht zu übersehen. Der Begriff des maschinenlesbaren Dokuments und alle damit verknüpften Konsequenzen sind offenbar so grundsätzlich verschieden von traditionellen beschriebenen oder beschrifteten und aufgezeichneten Urkunden, daß ein grundlegendes Verständnis sich erst langsam entwickelt. Die Entwicklung der neuen Medien wird von kommerziellen Interessen der Fernseh- und Unterhaltungsindustrie vorangetrieben, deren Geschäft auf stetigem Wechsel und schnellem Fortschritt beruht. Man darf ruhig annehmen, daß die Aufgaben und Interessen von Archiven und Bibliotheken kein Anliegen dieser Industrien sind, dem hohe Bedeutung zukäme. Damit traditionell geführte Archive nicht von der Flut neuer Informationsspeicher und -systeme überwältigt werden, ist technisch orientiertes Grundwissen unerlässlich. Vorsicht ist daher sowohl bei der Erwerbung solcher Dokumente als auch bei der Anwendung maschinenlesbarer Technologien für archivische Zwecke geboten, die schnellen und bequemen Zugang zu Informationen versprechen.

Es wäre nun sehr reizvoll, den Aufbau, die Struktur und die Wirkungsweise im einzelnen zu erörtern, aber die Haltbarkeit von magnetischen Aufzeichnungen und optoelektronischen Speichern ist gar nicht die zentrale Frage. Wohl gibt es Schätzungen für Magnetbänder, die sich übereinstimmend auf 30 - 50 Jahre belaufen, also für archivalische Zwecke ganz unbefriedigend. Viel wichtiger ist das Problem der langfristigen Verfügbarkeit von Maschinen, Computern und Programmen, die man braucht, um diese Dokumente zu lesen. Die Geschwindigkeit, mit der sich Maschinen und Formate ändern, läßt sich leicht demonstrieren. Das zentrale Problem ist also nicht die zwar auch begrenzte endogene Haltbarkeit dieser Medien, sondern das Veralten der zum Rückgriff auf die maschinenlesbar gespeicherten Informationen nötigen Maschinen und Systeme.

Die Anzeichen mehren sich, die auf das Versagen von auf elektronischen Daten beruhenden Informationssystemen hinweisen. Zahlreiche Berichte, auch in der volkstümlichen Presse, haben das Risiko der Langzeitarchivierung magnetisch aufgezeichneter Daten beschrieben. Eine große Ölgesellschaft in den USA, die in den 1960er Jahren die Ergebnisse seismischer Untersuchungen in Texas auf Magnetband gespeichert hat, muß diese Daten jetzt in eine direkt lesbare Form konvertieren (zum Beispiel auf Mikrofilm oder auf Papier), da sie mit Maschinen auf normalem Wege nicht mehr gelesen werden können. Die Messungen können nicht wiederholt werden, da das Gebiet, in dem die künstlichen Erdbeben durch unterirdische Sprengungen ausgelöst wurden, jetzt bebaut ist. Auch die Magnetbänder, deren von Raketen in der höheren Erdatmosphäre aufgezeichnete Daten die Existenz des Van-Allen-Gürtels nachwiesen, können heute nicht mehr gelesen werden.<sup>21</sup> Ähnliche Klagen sind aus Ton- und Videoarchiven bekannt geworden.<sup>22</sup>

Der Grund für den Verlust der aufgezeichneten Daten oder die Unmöglichkeit, sie zu lesen, liegt einmal im Mangel an funktionsfähigen Maschinen und zum anderen in der geringen endogenen Haltbarkeit der Informationsträger. Magnetbänder, ob sie nun für Ton- oder Bildaufzeichnung oder für die Speicherung von Computerdaten verwendet werden, bestehen aus einem Kunststoffträger, auf dem sich eine Schicht befindet, welche die magnetisierbaren Teilchen enthält. Diese Schicht besteht aus Polyurethan, einem synthetischen organischen Material, das unter dem Einfluß von Feuchtigkeit in einer hydrolytischen Reaktion abgebaut wird.<sup>23</sup> Diese magnetisierbare Schicht ist also das schwache Glied im Gefüge eines Magnetbands. Andere Schwierigkeiten können durch eine Ablösung dieser Schicht vom Trägermaterial oder auch von seiner Beschädigung durch Reibung mit dem Lesekopf des Wiedergabegeräts verursacht werden. Werner Marx hat kürzlich die verschiedenen Schäden, die an optoelektronischen Speichern (CD-ROM, CD-Recordable, WORM, magneto-optische Speicher) auftreten können, beschrieben.<sup>24</sup>

Die größte Gefahr aber für das Überleben magnetisch oder optoelektronisch aufgezeichneter Daten ist der Verlust der Existenz von Maschinen, die nötig sind, um solche Daten zu lesen. Der Fortschritt auf diesem Gebiet ist so rasant, daß zum Beispiel die Bandformate für die Videoaufzeichnung sich seit 1956 nicht weniger als 18mal geändert haben, analoge und digitale Aufzeichnungen eingeschlossen.<sup>25</sup> Mit anderen Worten, alle zwei bis drei Jahre ist ein neues Videoformat herausgekommen. Die Formate für Halbzollmagnetbänder sind seit den frühen 50er Jahren neunmal erneuert worden, das heißt etwa alle fünf Jahre. Andere Beispiele für die Schnelligkeit, mit der die Entwicklung fortschreitet, ließen sich anführen. Jeder Fortschritt auf dem Gebiet der elektronischen Datenaufzeichnung läuft darauf hinaus, daß auf stets kleinerer Fläche eines jeweiligen Substrats immer mehr Daten untergebracht werden. Daraus entstehen ernsthafte nachteilige Konsequenzen für die Langzeitarchivierung dieser Medien.

Von den theoretisch möglichen Lösungen dieses Problems sei der kaum realisierbare Vorschlag erwähnt, alle Maschinen, die für die Wiedergabe elektronisch aufgezeichneter Daten benötigt werden, ebenfalls zu sammeln und auf Dauer funktionsfähig zu erhalten. Erforderlich wäre also ein Museum veralteter und aufgegebenen Wiedergabegeräte, die auch dann noch zuverlässig arbeiten müssen, wenn Ersatzteile dafür längst nicht mehr zu erhalten sind. Weiterhin ist vorgeschlagen worden, daß die Industrie ein weltweit anerkanntes digitales archivisches Format entwickelt, auf das alle anderen Formate konvertiert werden können. Dies scheint jedoch auch keine realistische Chance auf Verwirklichung zu haben, da alle großen Firmen im Geschäft mit dem Wechsel engagiert sind. Sollte eine Firma heute ein solches archivisches System produzieren, dann gibt es immer noch keinen Grund für dieselbe oder eine andere Firma, nicht in zehn Jahren ein verbessertes archivisches System zu bauen. Eine dritte Möglichkeit für historische Sammlungen besteht darin, elektronische Datenträger nicht aufzunehmen. Dafür gibt es Beispiele. So teilte ein Bulletin der amerikanischen National Archives and Records Administration (NARA) in Washington D.C. den verschiedenen Regierungsstellen mit, daß Daten auf optoelektronischen Speichern nicht vom Nationalarchiv zur Archivierung angenommen werden könnten. Solche Datenträger müßten auf Medien umkopiert werden, für deren Erhaltung die NARA besser gerüstet sei.<sup>26</sup>

Derzeit gibt es wohl nur zwei realistische Wege, um das Überleben elektronisch aufgezeichneter Daten zu sichern. Der kostspielige und zeitraubende Weg ist das Übertragen der Daten vom ursprünglichen Format auf die nächste Generation, und zwar jedesmal wenn ein System droht zu veralten und das neue System desselben Herstellers schon erschienen ist. Die Daten werden also regelmäßig auf neue Formate übertragen oder *migriert* (*reformatting, continuous file conversion*). So wird das Problem der *Datenerhaltung* - denn die Erhaltung der Medien selbst, bestimmter Bänder oder Disketten steht nicht mehr im Zentrum der Bemühungen - von den großen wissenschaftlichen Datenbanken, von Behörden, Banken und Versicherungen gelöst. Der zweite Weg ist das Ausdrucken der Information in direkt lesbarer Form, das heißt entweder auf Mikrofilm (Computer Output Microfilm) oder gleich auf Papier.

Derartige Betrachtungen sind schon vor über zehn Jahren diskutiert worden. Im Jahre 1984 erschien ein *White Paper*, veröffentlicht von der NARA und verfaßt von sechs Fachleuten aus der informationsverarbeitenden Industrie.<sup>27</sup> Dies Dokument untersuchte die Frage, welches Medium für die Langzeitarchivierung von Information am geeignetsten sei. Unter Berücksichtigung aller wichtigen Faktoren und der Voraussetzung, daß die Erhaltung der Information das oberste Ziel sei, kamen die Verfasser zu dem Schluß, daß Information in *direkt lesbarer Form* zu bewahren sei, um dies Ziel zu erreichen.

Meist haben sich Überlegungen zur Bestandserhaltung von maschinenlesbaren Dokumenten auf drei Themen konzentriert: nämlich erstens die Archivfestigkeit der Speicher selbst, also auf Magnetband und -diskette, zweitens auf die zum Lesen erforderlichen Maschinen und drittens auf die für den Zugriff auf digital aufgezeichnete Daten notwendigen Softwareprogramme. Maschinenlesbare Daten können natürlich auf

direkt lesbare *konventionelle* Medien übertragen werden wie auf Mikrofilm oder Papier, deren Haltbarkeit untersucht und bekannt ist. Allerdings ergibt sich in diesem Zusammenhang noch ein neues Problem: auch wenn das Papier beispielsweise alterungsbeständig ist, ist keineswegs sicher, daß die durch neue Druckverfahren aufgebrauchte Information ebenfalls beständig ist. Die digitale Technologie hat nämlich in den letzten Jahren die Entwicklung *neuer Verfahren zum Ausdrucken von Daten* auf Papier ausgelöst, über deren Haltbarkeit noch kaum etwas bekannt ist. Dazu gehören Papierdokumente aus Tintenstrahldruckern oder Thermodruckern, wie sie in frühen Faxgeräten benutzt wurden. Einführung und Gebrauch von maschinenlesbaren Dokumenten zieht also die Verpflichtung nach sich, sich gleich mit mehreren ganz verschiedenen Erhaltungsproblemen zu beschäftigen, eine Folgerung, welche die Bestandserhaltung nicht gerade erleichtert.

## Übersichten

In den folgenden Übersichten sind Materialien aufgeführt, die als Informations- und Datenträger verwendet werden. Wie schon früher bemerkt wurde, konnten aus der Vielzahl der existierenden Materialien einige nicht berücksichtigt werden, weil sie entweder selten, veraltet oder notorisch instabil sind. Andere sind so neu, daß praktisch überhaupt keine Erfahrung hinsichtlich ihrer Haltbarkeit vorliegt. Dazu gehören Ausdrücke von Thermodruckern, Tintenstrahldruckern und anderen. Sie werden in der ersten Aufzählung gezeigt. Die dann folgenden vier Übersichten zeigen diejenigen Materialien, die eine bedeutende Rolle als Datenträger oder in der Form historisch wertvoller Dokumente spielen oder gespielt haben. Sie sind in der Reihenfolge abnehmender endogener Haltbarkeit aufgeführt. Die Frage, in welcher Form und auf welchen Materialien eine bestimmte Information am längsten zu erhalten sei, führte zu dieser Anordnung.

Das Pergament - zu Beginn dieses Aufsatzes erwähnt, aber in Klammern gesetzt - erscheint in gleicher Form wieder in der Übersicht der stabilsten Medien. Das hat zwei Gründe: Erstens wird Pergament heute fast nur noch für Prestigedokumente verwendet, daher steht es in Klammern. Zweitens sollte es aber nicht unerwähnt bleiben, da die Erfahrung gezeigt hat, daß es möglicherweise zu den haltbarsten aller Informationsträger zählt. Es gibt großartige Beispiele von 900 Jahre alten Schriften auf Pergament, die sich in ausgezeichnetem Zustand befinden. Dennoch gibt es kaum systematische Untersuchungen über die ihnen eigene Haltbarkeit, obwohl es nicht an Literatur mit Empfehlungen über ihre Lagerung und Restaurierung mangelt.

In den Übersichten zur Haltbarkeit von Archivalien bleiben folgende Dokumente unberücksichtigt:

Historische Verfahren der Fotografie wie Negative auf Papier, Salzpapiere, Fotografien auf Albuminpapier oder Zelloidinpapiere.

Seltene farbfotografische Verfahren wie Bilder nach dem Einsaugverfahren (dye transfer, Technicolor) oder Sofortbilder der Firma Polaroid und anderer Hersteller.

Instabile Materialien wie Zeitungspapier oder Filme aus Nitrozellulose.

Moderne Verfahren zum Ausdrucken von Text und Bildern in Schwarzweiß und Farbe von elektronisch gespeicherten Daten wie Tintenstrahldrucker, Laserdrucker, Thermodrucker oder elektrostatische Druck- und Kopierverfahren.

## *ÜBERSICHT 1:*

### ENDOGENE HALTBARKEIT VON ARCHIVGUT 1

MEDIEN, DIE NUR RELATIV FREIZÜGIGE BEDINGUNGEN ERFORDERN:

SIE ZEICHNEN SICH DURCH HÖCHSTE STABILITÄT AUS UND SIND DAHER SICHERSTE DATENTRÄGER.

*LEBENSERWARTUNG: 500 - 1000 JAHRE*

### **1. PAPIER**

#### **ERFORDERLICHE EIGENSCHAFTEN:**

FASER AUS LEINEN, BAUMWOLLE, HANF  
HOHER D.P. [ $< 2000$ ]  
LIGNINFREI  
FREI VON ALAUN; ALKALISCHER pH  
FREI VON IONEN VON Fe, Cu UND Cl  
MINDESTFESTIGKEITSWERTE

### **2. GELATINE-SILBER FOTOGRAFISCHE AUFZEICHNUNGEN**

#### **ZUSÄTZLICHE BEDINGUNGEN:**

RICHTIGE VERARBEITUNG, EINSCHLIESSLICH TONUNG  
LAGERUNG IN ABWESENHEIT OXIDIERENDER GASE [PEROXIDE; SCHWEFEL- UND STICKOXIDE] REL. LUFTFEUCHTIGKEIT  $< 60 \%$   
2.1 MIKROFILM [SCHWARZWEISS] AUF POLYESTERFILM  
2.2 SCHWARZWEISSABZUG AUF BARYTPAPIER

### **3. [PERGAMENT]**

#### *ÜBERSICHT 2:*

## **ENDOGENE HALTBARKEIT VON ARCHIVGUT 2**

MEDIEN, DIE VERSCHÄRFTE BEDINGUNGEN ERFORDERN:

*LEBENSERWARTUNG: 300 - 500 JAHRE*

### **1. PAPIER AUS CHEMISCH GEWONNENEN HALBSTOFFEN**

[HOLZAUFSCHLUSS UNTER AGGRESSIVEN BEDINGUNGEN]

#### **EIGENSCHAFTEN:**

ALKALISCHER pH  
HOHER D.P.  
LIGNINFREI  
MINIMALE FESTIGKEITSWERTE  
FREI VON IONEN VON Fe, Cu UND Cl

### **2. SCHWARZWEISSFILM AUF ACETYLCELLULOSE SCHWARZWEISSABZUG AUF PE-PAPIER**

### **3. FARBMIKROFILM NACH DEM SILBERFARBSTOFF-BLEICHVERFAHREN**

[FRÜHER: CIBACHROME, HEUTE: ILFOCHROME MICROGRAPHIC FILM]

**ZUSÄTZLICHE BEDINGUNG:**  
UNTER LICHTAUSSCHLUSS AUFBEWAHREN

### *ÜBERSICHT 3:*

## ENDOGENE HALTBARKEIT VON ARCHIVGUT 3

MEDIEN, DIE ZUSÄTZLICH VERSCHÄRFTE BEDINGUNGEN ERFORDERN:

*LEBENSERWARTUNG: 100 - 300 JAHRE*

### **MODERNE FARBFOTOGRAFIEN NACH DEM VERFAHREN DER CHROMOGENEN ENTWICKLUNG:**

FARBNEGATIVE  
FARBFILME [DIAS, KINOFILME]  
FARBABZÜGE [HEUTE NUR NOCH AUF PE-PAPIER]

### **ERFORDERLICHE BEDINGUNGEN:**

RICHTIGE VERARBEITUNG  
LAGERUNG BEI +2 °C BIS -18 °C  
35 % REL. LUFTFEUCHTIGKEIT  
LICHTAUSSCHLUSS  
ANFERTIGUNG VON KOPIEN FÜR HÄUFIGEN GEBRAUCH

### *ÜBERSICHT 4:*

## ENDOGENE HALTBARKEIT VON ARCHIVGUT 4

MEDIEN, DEREN ERHALTUNG HÖCHSTEN AUFWAND ERFORDERT, DER MIT HOHEN KOSTEN VERBUNDEN IST:

*LEBENSERWARTUNG: ANYBODY'S GUESS*

### **MASCHINENLESBARE DOKUMENTE:**

#### **1. MAGNETISCHE AUFZEICHNUNGEN**

- 1.1 TONBÄNDER
- 1.2 VIDEOBÄNDER
- 1.3 COMPUTERMAGNETBÄNDER UND -DISKETTEN

#### **2. OPTISCH-DIGITALE AUFZEICHNUNGEN [CD-TECHNOLOGIE] ANWENDBAR AUF ALLE FORMEN VON INFORMATION:**

TEXT, STANDBILD, TON, BEWEGTE BILDER [VIDEO]

## **ZU IHRER ERHALTUNG IST ERFORDERLICH:**

WAHRUNG DER MASCHINEN [*HARDWARE*]

WAHRUNG DER PROGRAMME [*SOFTWARE*]

ERHALTUNG DER MEDIEN [BÄNDER, PLATTEN]

STÄNDIGES ERNEuern DER PROGRAMME

*DIE EINZIG PRAKTISCHE LÖSUNG IST DIE STÄNDIGE UMSTELLUNG AUF NEUE SYSTEME [MASCHINEN PLUS PROGRAMME; ENGLISCH: CONTINUOUS FILE CONVERSION].*

## Abschließende Bemerkungen

Die vorangehenden Ausführungen über die endogene Haltbarkeit sind vornehmlich von Interesse für Archivare und Bibliothekare. Sie können aber auch Bedeutung auf anderen Gebieten haben. So hat zum Beispiel das skandinavische *Nordic Council of Ministers* die Frage untersucht, in welcher Form Anweisungen für das sichere Lagern von radioaktiven Abfällen verfaßt werden sollten.<sup>28</sup> Das ist wichtig, weil die diesbezügliche Information langfristig überleben muß: als Minimalzeit hierfür werden 1000 Jahre angegeben. Diese Zeitspanne kennzeichnet die Dauer für das Absinken der Giftigkeit hochradioaktiver Abfälle. Das Problem schließt auch die Entscheidung ein, auf welchem Material solche Vorschriften niedergelegt werden sollten und ob in direkt lesbarer oder maschinenlesbarer Form, eine Differenzierung, die hier besonders schwer wiegt.

Zusammenfassend sei festgestellt, daß die Eigenschaften von *direkt lesbaren* Dokumenten hinsichtlich ihrer endogenen Haltbarkeit ausreichend bekannt sind, ein Umstand, der es erlaubt, sie in entsprechender Reihenfolge einzustufen. Verfahren für ihre *Erhaltung* sind ebenfalls ausgearbeitet: es gibt nicht nur Normen für ihre Lagerung, sondern Erkenntnisse und praktische Erfahrung über die klimatischen Bedingungen, die ihrer Erhaltung förderlich sind, unterliegen stetigem Fortschritt. So sind in den letzten Jahren innovative Methoden zur Lagerung von Archivdokumenten entwickelt und angewandt worden. Sie bestehen in der Ausnutzung der natürlichen niedrigen Temperatur im Inneren eines Berges. Hartmut Weber beschrieb die sichere Lagerung von verarbeitetem Mikrofilm im verlassenen Stollen eines Bergwerks im südlichen Schwarzwald.<sup>29</sup> Rolf Dahlø berichtete über die Lagerung von Büchern und anderen Dokumenten der norwegischen Nationalbibliothek in einem für diesen Zweck ausgehöhlten Berg in Mo i Rana, nahe dem Polarkreis.<sup>30</sup> In beiden Orten ist die natürliche Temperatur des Berginneren 7 °C, die relative Luftfeuchtigkeit jedoch nahezu 100 Prozent. Verschiedene Wege wurden an den beiden Orten eingeschlagen, um die relative Luftfeuchtigkeit in der Umgebung der Bücher, Archivalien und Mikrofilme auf 35 Prozent zu reduzieren.

Mark H. McCormick-Goodhart und Mitarbeiter vom Conservation Analytical Laboratory der Smithsonian Institution in Washington D.C. haben die Frage nach den vorteilhaftesten Lagerungsbedingungen für Papier und fotografische Dokumente neu untersucht. Sie fanden, daß zum Beispiel Fotografien in einem relativen Feuchtigkeitsbereich von 35 - 60 Prozent und einem Temperaturbereich von -25 °C bis +25 °C verwahrt werden können.<sup>31</sup> Alle möglichen Kombinationen von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit innerhalb dieser Bereiche sind erlaubt. Von diesen sind Fotografien bei einer Bedingung von 25 °C bei 60 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit chemisch am instabilsten, bei -25 °C bei 25 Prozent chemisch am stabilsten. Als *normales* Lagerungsklima ist 21 °C bei 50 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit anzusehen. Die Bedeutung solcher Studien liegt darin, daß sie erlauben, die Lebenserwartung der so gelagerten Dokumente abzuschätzen, und ferner die Gewißheit liefern, daß kontrollierte Bedingungen eine erhöhte Lebenserwartung schaffen.

Für *maschinenlesbare* Dokumente ist es ebenfalls möglich, von Herstellern und Benutzern

gleichermaßen anerkannte ideale Lagerungsbedingungen anzugeben. Sie belaufen sich zum Beispiel für Magnetbänder auf 18 °C bei 40 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit. Der Unterschied zu direkt lesbaren Dokumenten liegt darin, daß es leichtfertig wäre anzunehmen, daß dadurch das Überleben von Videobändern über längere Zeiträume garantiert sei. Wir haben früher bemerkt, daß die Lebenserwartung solcher Dokumente einhellig auf 30 - 50 Jahre geschätzt wird. Was die langfristige Erhaltung magnetischer Aufzeichnungen angeht, so gibt es zwei grundsätzlich verschiedene Ansichten.

Obwohl Vertreter beider Ansichten anerkennen, daß maschinenlesbare Dokumente mit dem ständigen Wechsel der Herstellerindustrien verbunden und daher von ihnen abhängig sind, vertraut die eine Partei auf die Möglichkeit, Information regelmäßig von veralteten Formaten auf neue Systeme zu transferieren. Das wird routinemäßig von kommerziellen Datenbanken ausgeführt. Dies Vertrauen beruht auf der Annahme, daß die Hersteller von Aufnahme- und Abspielgeräten mit den entsprechenden Medien immer im Geschäft bleiben werden, um die neuen Technologien zu liefern und zu warten. Es wird weiter angenommen, daß die für die fortlaufende Übertragung von Daten notwendigen Gelder stets weiterfließen werden.

Die zweite Partei vertritt die Ansicht, daß Vorsicht im Hinblick auf die obigen Annahmen geboten sei. Solche Vorsicht bezieht sich sowohl auf die Fähigkeit und Bereitschaft der Hersteller, neue Technologien zu entwickeln, als auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit angesichts der nicht unerheblichen Kosten. Folglich befürwortet diese Partei das Ausdrucken maschinenlesbarer Information in eine direkt lesbare Form, vorausgesetzt das Ziel ist die Langzeiterhaltung dieser Information. Das würde zum Beispiel für ein Videoband bedeuten, es auf einen konventionellen Kinofilm zu kopieren.

Diese Ausführungen haben das Überleben von Informations- und Datenträgern überwiegend als Funktion ihrer endogenen Haltbarkeit dargelegt. Für die Langzeiterhaltung maschinenlesbarer Dokumente müßten auch noch die möglichen Schwierigkeiten erwähnt werden, die durch wechselnde Computersoftware verursacht werden können. Dies Problem wurde kürzlich von Jeff Rothenberg in schöner Klarheit diskutiert.<sup>32</sup> Brian Hayes hat die wichtige Frage der Authentizität elektronischer Aufzeichnungen erörtert und auf die einschlägigen Gefahren hingewiesen.<sup>33</sup> Beide Problemstellungen sind Teil der uns gestellten Herausforderung, maschinenlesbare Dokumente irgendwie zu erhalten. Sie müssen daher eingehend berücksichtigt werden. Sie sind ferner Teil der so interessanten wie umfassenden Aufgabe der Bestandserhaltung von Archivgut.

Im Sommer 1995 verbrachte der Verfasser einige Wochen als Gast der Akademie Schloß Solitude bei Stuttgart. Einige grundlegende Gedanken auf den vorangehenden Seiten sind während dieser Zeit entwickelt worden. Ich danke Herrn Akademiedirektor Jean-Baptiste Joly aufs herzlichste für seine Gastfreundschaft. Ferner spreche ich meinen Dank für moralische und materielle Unterstützung an folgende Freunde und Kollegen aus: Professor Dr. Gerhard Banik von der Staatlichen Akademie der bildenden Künste Stuttgart, Professor Dr. Welf Bronger von der Technischen Hochschule Aachen, Professor Dr. Hans-Georg von Schnering vom Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Bunsau und Dr. Hartmut Weber von der Landesarchivdirektion Baden-Württemberg in Stuttgart.

Anmerkungen:

1 W. Herzberg: Papierprüfung. Eine Anleitung zum Untersuchen von Papier. 6. Auflage. Berlin 1927.

2 B.L. Browning: The Nature of Paper. Library Quarterly 40 (1970) S. 18 - 38.

3 H. Staudinger: Über die Zusammenhänge zwischen der Konstitution der Cellulose und

ihren physikalischen Eigenschaften. Der Papier-Fabrikant. 1938. Heft 35: S. 373 - 380; Heft 36: S. 381 - 388; Heft 47: S. 473 - 480.

4 Prof. *Feichtinger*: Über die Ursache der sauren Reaktion mancher Papiersorten. Dinglers Politechnisches Journal 245 (1882) S. 174 - 177.

5 O. *Winkler*: Verhalten der Mineralsäuren im Papier und ihre Wirkung auf die Faserstoffe. Zeitschrift für angewandte Chemie 2 (1903) S. 25 - 27.

6 D.T. *Jarrel*, J.M. *Hankins* und F.P. *Veitch*: The Effect of Inorganic Acids on the Physical Properties of Waterleaf Rag Bond Paper. United States Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 334, September 1932. S. 2 - 16. - Dies.: Deterioration of Book and Record Papers. United States Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 514, November 1936. S. 1 - 20. - Dies.: Deterioration of Paper as Indicated by Gas Chamber Tests. United States Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 605, January 1938. S. 1 - 21.

7 Z. *Zou*, N. *Gurnagul*, T. *Uesaka* und J. *Bouchard*: Accelerated Aging of Papers of Pure Cellulose. Mechanism of Cellulose Degradation and Paper Embrittlement. Polymer Degradation and Stability 43 (1994) S. 393 - 402.

8 F. *Daniel*, F. *Flieder* und F. *Leclerc*: The Effects of Pollution on Deacidified Paper. Restaurator 11 (1995) S. 179 - 207. - E.L. *Williams* und D. *Grosjean*: Exposure of Deacidified Paper to Ambient Levels of Sulfur Dioxide and Nitrogen Dioxide. Journal of the American Institute for Conservation 31 (1992) S. 199.

9 J.A. *Schmidt*, C.S. *Rye* und N. *Gurnagul*: Lignin Inhibits Autoxidative Degradation of Cellulose. Polymer Degradation and Stability 49 (1995) S. 291 - 297.

10 Klaus B. *Hendriks*: Permanence of Paper in Light of Six Centuries of Papermaking in Europe. In: Environnement et Conservation de l'Écrit, de l'Image et du Son. Actes des Deuxièmes Journées Internationales D'Études de l'ARSAG. Paris, 16 au 20 Mai 1994. Association pour la Recherche Scientifique sur les Arts Graphiques. Paris 1994. S. 131 - 137.

11 Joseph Jérôme François *de La Lande*: Die Kunst Papier zu Machen. Münster 1993. [Zuerst veröffentlicht 1762.]

12 S.A. *Rydholm*: Pulping Processes. New York 1965.

13 James P. *Casey*: Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology. New York <sup>1</sup>1951, <sup>2</sup>1960, <sup>3</sup>1980.

14 Wilhelm *Sandermann*: Die Kulturgeschichte des Papiers. Berlin/Heidelberg 1988.

15 Klaus B. *Hendriks*: The Stability and Preservation of Recorded Images. In: Neblette's Handbook of Photography and Reprography. 8. Auflage. Herausgegeben von J.M. *Sturge*, V. *Walworth* und A. *Shepp*. 1989. S. 637 - 684.

16 P.Z. *Adelstein*, J.M. *Reilly*, D.M. *Nishimura* und C.J. *Erbland*: Stability of Cellulose Ester Base Photographic Film: Part I - Laboratory Testing Procedures. Journal of The Society of Motion Picture and Television Engineers. May 1992. S. 336 - 346. - Dies.: Stability of Cellulose Ester Base Photographic Film: Part II - Practical Storage Considerations. Journal of The Society of Motion Picture and Television Engineers. May 1992. S. 347 - 353. - Dies.: Stability of Cellulose Ester Base Photographic Film: Part III - Measurement of Film Degradation. Journal of The Society of Motion Picture and Television Engineers. May 1995. S. 281 - 291. - Dies.: Stability of Cellulose Ester Base Photographic Film: Part IV - Behavior of Nitrate Base Film. Journal of The Society of Motion Picture and



Television Engineers. June 1995. S. 281 - 291. - P.Z. *Adelstein*, J.M. *Reilly*, D.M. *Nishimura*, C.J. *Erbland* und J.L. *Bigourdan*: Stability of Cellulose Ester Base Photographic Film: Part V - Recent Findings. Journal of The Society of Motion Picture and Television Engineers. July 1995. S. 439 - 447.

17 Tulsi A. *Ram*: Archival Preservation of Photographic Films - A Perspective. Polymer Degradation and Stability 29 (1990) S. 3 - 29.

18 Tulsi A. *Ram*, D.F. *Kopperl*, R.C. *Sehlin*, S. *Masaryk-Morris*, J.L. *Vincent* und P. *Miller*: The Effects and Prevention of the Vinegar Syndrome. Journal of Imaging Science and Technology 38 (1994) S. 249 - 261.

19 L.E. *Smith*, D.W. *Brown* und R.E. *Lowry*: Prediction of the Long Term Stability of Polyester-Based Recording Media. National Archives, U.S. National Bureau of Standards. Washington D.C. 1986. NBSIR 86-374.

20 John C. *Mallinson*: Preserving Machine-Readable Archival Records for the Millenia. Archivaria 22 (1986) S. 147 - 152. - Ders.: Magnetic Tape Recording. History, Evolution and Archival Considerations. In: Proceedings on Conservation in Archives. International Symposium. May 10 - 12. Ottawa/Kanada 1988. S. 181 - 190. - Ders.: On the Preservation of Human- and Machine-Readable Records. Information Technology and Library. March 1988. S. 19 - 23.

21 Sandra *Blakeslee*: Lost on Earth. Wealth of Data Found in Space. The New York Times/Science Time. March 20th, 1990.

22 Bernhard *Epping*: Verheerende Altersschwäche. Bild der Wissenschaft 11 (1995) S. 30 - 34.

23 Edward F. *Cuddihy*: Stability and Preservation of Magnetic Tape. In: Proceedings on Conservation in Archives. International Symposium. May 10 - 12. Ottawa/Kanada 1988. S. 191 - 206.

24 Werner *Marx*: Für alle Zeit? Cogito. 1994. S. 20 - 24.

25 John C. *Mallinson*: Preservation of Video Recorded Images. In: Environnement et Conservation de l'Écrit, de l'Image et du Son. Actes des Deuxièmes Journées Internationales D'Études de l'ARSAG. Paris, 16 au 20 Mai 1994. Association pour la Recherche Scientifique sur les Arts Graphiques. Paris 1994. S. 177 - 181.

26 Don W. *Wilson*: Use of Optical Disk Systems to Store Permanent Federal Records. NARA Bulletin 88 - 8 (1988) S. 1 - 3.

27 Strategic Technology Considerations Relative to the Preservation and Storage of Human and Machine Readable Records. National Archives and Records Service (NARS). White Paper by Subcommittee C of the Committee on Preservation. July 1984.

28 Mikael *Jensen*: Conservation and Retrieval of Information. Final Report of the Nordic Nuclear Safety Research Project KAN-1.3. The Nordic Council of Ministers. Copenhagen 1993.

29 Hartmut *Weber*: Filmkonservierung in Technologischen Dimensionen. In: Erhaltung von Photographischem Material - Postprints. Staatliche Akademie der Bildenden Künste. Stuttgart 1994. S.51 - 59.

30 Rolf *Dahlø*: The Building of the National Library of Norway... Some Enterprise that Hath a Stomacke In't. The Institute of Paper Conservation. Conference Papers. Manchester 1992. S. 141 - 145.

31 M.F. *Mecklenburg*, Mark H. *McCormick-Goodhart* und C.S. *Tumosa*: Investigation into the Deterioration of Paintings and Photographs Using Computerized Modeling of Stress Development. *Journal of the American Institute of Conservation* 55 (1994) S. 153 - 170.  
- Mark H. *McCormick-Goodhart*: The Allowable Temperature and Relative Humidity Range for the Safe Use and Storage of Photographic Materials. *The Journal of the Society of Archivists*. [In Vorbereitung für die Ausgabe Frühjahr 1996.]

32 Jeff *Rothenberg*: Ensuring the Longevity of Digital Documents. *Scientific American*. January 1995. S. 24 - 29.

33 Brian *Hayes*: The Electronic Palimpsest. *The Sciences*. September/October 1991. S. 10 - 13.