

Christoph Meinel

Schadensbilder und Schadensmanagement bei audiovisuellen Datenträgern

**Überblick und Leitfaden,
entwickelt im Rahmen einer Tätigkeit
im Stadtarchiv Bamberg**

Bamberg 2007

Kontakt zum Autor:

Christoph Meinel, M.A.
Wildensorger Hauptstraße 56
96049 Bamberg
Tel. (0951) 251 48 60
E-Mail: christoph_meinel@yahoo.de

Abstract

Weltweit stehen viele Archive und Sammlungen einer Bedrohung gegenüber, die einen nicht unwesentlichen Teil des Kulturerbes der Menschheit bedroht: Dem schleichenden Zerfall von Datenträgern, auf denen Informationen in analoger oder digitaler Form gespeichert sind. Stellen sich Archive und ähnliche mit der Langzeitarchivierung beauftragte Einrichtungen dieser Problematik, muss in den meisten Fällen ein Kompromiss zwischen der besten Methode der Langzeitarchivierung und den verfügbaren Finanzmitteln gefunden werden.

Problematisch bzgl. der Haltbarkeit sind alle Datenträger, die aus einem Materialgemisch bestehen. Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die wichtigsten Speichermedien und ihren physischen Aufbau, den man kennen muss, um die vielfältigen physikalischen, chemischen und teilweise auch biologischen Abbauprozesse verstehen zu können, die ebenfalls beschrieben werden. Weiterhin werden praxisnahe Informationen zu den wichtigsten Inspektions- und Restaurierungsmaßnahmen gegeben. Je sachgerechter mit einem Datenträger umgegangen wird, desto höher ist ihre Lebenserwartung. Empfehlungen zum Umgang mit Archivalien und zu deren Lagerung werden ebenso gegeben wie nützliche Informationen zur Planung und Durchführung von Migrationsmaßnahmen. Denn um unwiederbringliche Informationen dauerhaft zu bewahren, müssen sie früher oder später auf neue Datenträger umkopiert werden. Weil die vorliegende Arbeit wegen des weiten Feldes, das sie abdeckt, lediglich einen groben Überblick geben kann, enthält der Anhang u.a. umfangreiche Literaturhinweise sowie eine Auflistung von nationalen und internationalen Organisationen, die sich mit der beschriebenen Problematik befassen.

Vorwort

Unter audiovisuellen [AV-] Datenträgern sollen in dieser Arbeit all jene Speichermedien verstanden werden, auf denen in irgendeiner Art und Weise Informationen gespeichert sind bzw. werden können, deren Auslesen ein Ton- oder Videosignal entstehen lässt, das wiederum mit einem Ausgabegerät wiedergegeben wird. Zu den audiovisuellen Datenträgern zählen Filme, analoge und digitale Magnetbänder, Schallplatten und optische Discs aller Art.

Fast alle in der vorliegenden Abhandlung verarbeiteten Informationen entstammen dem Internet und wurden mit Sorgfalt ausgewählt und verarbeitet. Angaben zu den verwendeten Informationsquellen im Text werden noch eingefügt.

Bilder mit Datenträgern, die Unterformate von Datenträger-Typen repräsentieren, wurden aus Platzgründen nur exemplarisch und bei weniger bekannten Formaten eingefügt.

Die Kapitel zu den Inspektionsmaßnahmen enthalten kaum Informationen über die Symptome, weil diese schon bei den jeweiligen Kapiteln zu den auftretenden Schäden am Datenträger aufgeführt sind.

Der Vollständigkeit halber werden auch diejenigen Restaurierungsmaßnahmen erwähnt, die umstritten sind und daher nicht für Archivalien empfohlen werden können. Maßnahmen, die der Reinigung von Datenträgern dienen, gehören streng genommen zwar nicht zu den Restaurierungsmaßnahmen, wurden aber dennoch in die entsprechenden Kapitel eingeordnet, weil sie zur Verbesserung des Zustands der audiovisuellen Speichermedien beitragen.

Alle Links wurden am 10. Dezember 2007 auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft. Zwischenräume innerhalb der Links sind keine Leerzeichen, sondern Unterstriche.

Bamberg, den 28. Dezember 2007

Christoph Meinel

Inhaltsverzeichnis

Abstract	S. 2
Vorwort	S. 2
1 FILME	S. 7
1.1 Aufbau von Filmen	S. 7
1.1.1 Überzug	S. 7
1.1.2 Emulsionsschicht	S. 7
1.1.3 Aufageschicht	S. 7
1.1.4 Trägerschicht	S. 7
1.1.5 Rückbeschichtung	S. 8
1.1.6 Film-Formate	S. 8
1.2 Mögliche Schäden an Filmen	S. 8
1.2.1 Überblick	S. 8
1.2.2 Physische Schäden	S. 9
1.2.2.1 Schrumpfung der Trägerschicht	S. 9
1.2.2.2 Deformation	S. 10
1.2.2.3 Physische Kontamination	S. 10
1.2.2.4 Kratzer	S. 10
1.2.2.5 Faltungen	S. 11
1.2.2.6 Risse in der Perforation (Krähenfüße)	S. 11
1.2.2.7 Filmriss	S. 11
1.2.3 Chemische Schäden	S. 12
1.2.3.1 Abbau des Zellulosenitrats	S. 12
1.2.3.2 Abbau des Zelluloseazetats (Essigsäure-Syndrom)	S. 12
1.2.3.3 Verlust des Weichmachers	S. 13
1.2.3.4 Versprödung der Klebestellen	S. 13
1.2.3.5 Dehydrierung der Emulsionsschicht	S. 13
1.2.3.6 Ausbleichung bei Farbfilmen	S. 14
1.2.4 Biologische Kontamination	S. 14
1.2.4.1 Pilzbefall	S. 14
1.2.4.2 Bakterienbefall	S. 15
1.2.4.3 Insektenbefall	S. 15
1.3 Inspektion von Filmen	S. 15
1.4 Restaurierungsmaßnahmen bei Filmen	S. 17
1.4.1 Reinigungsmaßnahmen	S. 17
1.4.2 Restaurierung von Klebestellen und Filmrissen	S. 18
1.4.3 Restaurierung der Perforation	S. 19
1.4.4 Aufweichen	S. 19
1.4.5 Auftragen einer Schutzschicht	S. 19
1.4.6 Etikettierung	S. 19
2 MAGNETBÄNDER	S. 20
2.1 Aufbau von Magnetbändern	S. 20
2.1.1 Trägerschicht	S. 20
2.1.2 Emulsionsschicht	S. 20
2.1.2.1 Magnetpartikel	S. 21
2.1.2.2 Bindemittel	S. 21

2.1.3	Rückbeschichtung	S. 21
2.1.4	Magnetband-Formate	S. 22
2.2	Mögliche Schäden an Magnetbändern	S. 22
2.2.1	Überblick	S. 22
2.2.2	Physische Schäden	S. 23
2.2.2.1	Instabilität der Magnetpartikel	S. 23
2.2.2.2	Kontraktion und Deformation	S. 24
2.2.2.3	Physische Kontamination	S. 25
2.2.2.4	Einprägungen und Kopiereffekt	S. 26
2.2.2.5	Kratzer und Faltungen	S. 26
2.2.2.6	Beschädigungen am Magnetbandrand	S. 27
2.2.2.7	Bandriss	S. 27
2.2.3	Chemische Schäden	S. 27
2.2.3.1	Überblick	S. 27
2.2.3.2	Hydrolyse des Bindemittels (<i>Sticky Shed Syndrome</i>)	S. 28
2.2.3.3	Verlust des Gleitmittels	S. 29
2.2.3.4	Versprödung des Trägermaterials	S. 29
2.2.3.5	Abbau des Zelluloseazetats (Essigsäure-Syndrom)	S. 29
2.2.4	Pilzbefall	S. 29
2.3	Inspektion von Magnetbändern	S. 30
2.3.1	Vorbereitung der Inspektion	S. 30
2.3.2	Inspektion des Behältnisses	S. 30
2.3.3	Inspektion des Magnetbands	S. 31
2.3.4	Messung der Fehlerrate bei digitalen Magnetbändern	S. 31
2.3.5	Die siebenstufige Inspektion	S. 32
2.3.6	Labortests	S. 33
2.3.6.1	Reibungstest	S. 33
2.3.6.2	Säuretest	S. 33
2.3.6.3	Azeton-Extraktion	S. 34
2.4	Restaurierungsmaßnahmen bei Magnetbändern	S. 35
2.4.1	Reinigungsmaßnahmen	S. 35
2.4.2	Trocknen	S. 35
2.4.3	Backen	S. 36
2.4.4	Erneuerung von Binde- und Gleitmittel	S. 36
2.4.5	Etikettierung	S. 36
3	VINYL-SCHALLPLATTEN	S. 37
3.1	Aufbau von Vinyl-Schallplatten	S. 37
3.1.1	Überblick	S. 37
3.1.2	Vinyl-Schallplatten-Formate	S. 37
3.2	Mögliche Schäden an Vinyl-Schallplatten	S. 38
3.2.1	Überblick	S. 38
3.2.2	Physische Schäden	S. 39
3.2.2.1	Deformation	S. 39
3.2.2.2	Physische Kontamination	S. 39
3.2.2.3	Kratzer	S. 39
3.2.2.4	Abnutzung der Tonrille	S. 39
3.2.2.5	Statische Aufladung	S. 39
3.2.3	Chemische Schäden	S. 40

3.2.3.1	Abbau des Polyvinylchlorids	S. 40
3.2.3.2	Versprödung	S. 40
3.2.4	Pilzbefall	S. 40
3.3	Inspektion von Vinyl-Schallplatten	S. 41
3.4	Restaurierungsmaßnahmen bei Vinyl-Schallplatten	S. 41
3.4.1	Reinigungsmaßnahmen	S. 41
3.4.2	Wiederherstellung der ursprünglichen Form	S. 41
3.4.3	Etikettierung	S. 41
4.	OPTISCHE DISCS	S. 42
4.1	Aufbau von optischen Discs	S. 42
4.1.1	Polykarbonat-Trägerschicht	S. 42
4.1.2	Datenschicht	S. 42
4.1.3	Reflektierende Metallschicht	S. 43
4.1.4	Lackschicht	S. 43
4.1.5	Klebmittelschicht	S. 43
4.1.6	Optionale Druckschicht	S. 43
4.1.7	Formate optischer Discs	S. 43
4.1.7.1	Überblick	S. 43
4.1.7.2	ROM-Discs	S. 44
4.1.7.3	WORM-Discs	S. 45
4.1.7.4	RW- und RAM-Discs	S. 45
4.2	Mögliche Schäden an optischen Discs	S. 45
4.2.1	Überblick	S. 45
4.2.2	Physische Schäden	S. 46
4.2.2.1	Deformation	S. 46
4.2.2.2	Physische Kontamination	S. 47
4.2.2.3	Kratzer auf der Leseseite von optischen Discs	S. 47
4.2.2.4	Kratzer auf der etikettierten Seite von CDs	S. 47
4.2.2.5	Kratzer auf der etikettierten Seite von einseitigen DVDs	S. 47
4.2.2.6	Abnutzung von RW- und RAM-Discs	S. 48
4.2.3	Chemische Schäden	S. 48
4.2.3.1	Abbau des Klebe-Etiketts	S. 48
4.2.3.2	Abbau der Lackschicht	S. 48
4.2.3.3	Abbau der Aluminiumschicht bei ROM-Discs	S. 48
4.2.3.4	Abbau des organischen Farbstoffs bei WORM-Discs	S. 49
4.2.3.5	Abbau der Metall-Legierung bei RW- und RAM-Discs	S. 49
4.2.3.6	Abbau des Polykarbonats	S. 50
4.3	Inspektion von optischen Discs	S. 50
4.3.1	Oberflächenprüfung	S. 50
4.3.2	Messung der Fehlerrate	S. 50
4.4	Restaurierungsmaßnahmen bei optischen Discs	S. 51
4.4.1	Reinigungsmaßnahmen	S. 51
4.4.2	Polieren	S. 51
4.4.3	Markierung	S. 52
4.4.3.1	Beschriftung	S. 52
4.4.3.2	Etikettierung	S. 52
4.4.3.3	Bedrucken	S. 52
4.4.4	Wiederherstellung der Daten	S. 52

5	EMPFEHLUNGEN ZUM UMGANG MIT AV-ARCHIVALIEN	S. 53
5.1	Beschaffenheit des Magazins	S. 53
5.2	Lagerung im Regal	S. 53
5.2.1	Lagerung von Filmen	S. 53
5.2.2	Lagerung von Magnetbändern	S. 54
5.2.3	Lagerung von Vinyl-Schallplatten	S. 54
5.2.4	Lagerung von optischen Discs	S. 54
5.3	Temperatur und Luftfeuchtigkeit	S. 54
5.4	Akklimatisierung	S. 56
5.5	Abspielgeräte	S. 56
5.5.1	Überblick	S. 56
5.5.2	Videorekorder	S. 57
5.5.3	Vinyl-Schallplattenspieler	S. 57
5.6	Abspielvorgang	S. 57
5.6.1	Abspielen von Filmen	S. 57
5.6.2	Abspielen von Magnetbändern	S. 58
5.6.3	Abspielen von Vinyl-Schallplatten	S. 58
5.6.4	Abspielen von optischen Discs	S. 59
5.7	Transport von Magnetbändern	S. 59
6	STRATEGIEN ZUR LANGARCHIVIERUNG VON AV-ARCHIVALIEN	S. 60
6.1	Digitale Langzeitarchivierung	S. 60
6.2	Probleme bei der Langzeitarchivierung	S. 61
6.2.1	Zerfall des Original-Datenträgers	S. 61
6.2.2	Obsoleszenz der Datenformate	S. 61
6.3	Migration	S. 62
6.3.1	Überblick	S. 62
6.3.2	Geeignete Speichermedien	S. 63
6.3.3	Offene Standards für Datenformate	S. 63
6.3.4	Digitalisierungsvorgang	S. 64
6.3.4.1	Digitalisierung von Filmen	S. 64
6.3.4.2	Digitalisierung von analogen Magnetbändern	S. 65
6.3.4.3	Digitalisierung von Vinyl-Schallplatten	S. 66
7	APPENDIX	S. 67
7.1	Standards	S. 67
7.2	Weiterführende Literatur	S. 68
7.3	Auswahl nationaler und internationaler Organisationen	S. 83
7.4	Auswahl spezialisierter Service-Firmen in Deutschland	S. 84
	Danksagung	S. 85

1 Filme

1.1 Aufbau von Filmen

Bild 1 verdeutlicht den Schichtaufbau von Filmen.

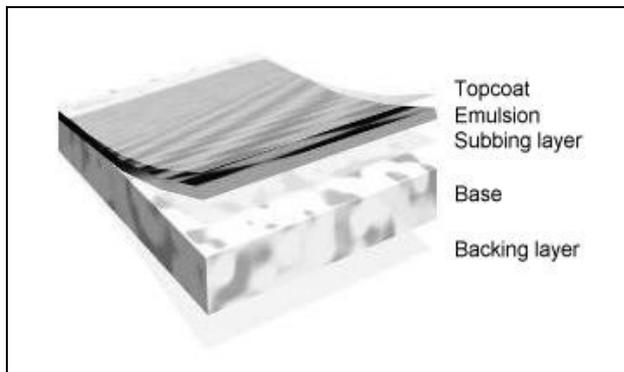


Bild 1: Aufbau eines Films¹

1.1.1 Überzug

Die oberste Schicht eines Films besteht aus einer etwas festeren Gelatine-Schicht, die bessere optische Eigenschaften aufweist als die weichere Gelatine der Emulsion und die bewirkt, dass der Film gleichmäßig auf die Spule aufgerollt wird.

1.1.2 Emulsionsschicht

Die Emulsionsschicht von Filmen liegt auf der Trägerschicht, ist sehr dünn und lichtempfindlich, besteht aus Gelatine und enthält die optisch wahrnehmbaren Informationen. Bei Schwarzweiß-Filmen bestehen sie aus lediglich zwei Schichten mit winzigen Silberpartikeln, welche den stabilsten Bestandteil der Emulsion bilden. Bei Farb-Filmen besteht die Emulsion aus drei oder mehr verschiedenen Schichten organischer Farbstoffe, die das Bild formen. Die Oberfläche der Emulsionsschicht von Farbfilmen erscheint matt.

1.1.3 Auflageschicht

Zwischen der Emulsion und der Trägerschicht befindet sich die Auflageschicht (*subbing layer*). Diese Schicht bewirkt, dass die Emulsion besser am Trägermaterial haftet und besteht aus einem Gemisch von Zelluloseazetat, Zellulosenitrat und Gelatine. Das genaue Mischverhältnis wird von den jeweiligen Film-Herstellern geheim gehalten.

1.1.4 Trägerschicht

Die Trägerschicht eines Films muss im Wesentlichen drei Ansprüchen genügen: Sie muss transparent, reißfest und flexibel sein.

Die meisten Filme, die vor 1940 hergestellt wurden, besitzen eine Trägerschicht aus Zellulosenitrat. Dieses entsteht, wenn Zellulose mit Nitriersäure reagiert. Die umgangssprachlich (chemisch nicht korrekt) als Nitrozellulose-Filme bezeichneten Filme sind sehr leicht entflammbar.

Ab den 1920er Jahren kamen die sog. Sicherheitsfilme (*safety films*) auf. Diese Filme auf Zelluloseazetat-Basis waren weit weniger gefährlich und verdrängten zunehmend die Filme auf Zellulosenitrat-Basis. Bis in die 1940er Jahre hinein verwendete man Zellulosediazetat, später dann Zellulosetriazetat als Trägermaterial. Die Azetatfilme beherrschten den Markt zwischen 1950 und 1965 vor allem als 8-mm-Format, aber auch als 16-mm- und 35-mm-Format (letzteres ab ca. 1951) und wurden bis in die späten 1980er Jahre hinein produziert. Die Trägerschicht von Zellulosetriazetat-Filmen besteht zu ca. 12 bis 15 % aus dem Weichmacher und

¹ Quelle: http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/film_construction.html

Flammenschutzmittel TPP (Triphenylphosphat). Bis heute besteht das Trägermaterial von Spielfilmen in den meisten Fällen nach wie vor aus Zellulosetriazetat.

Seit den 1960er Jahren wird meist Polyester als Trägermaterial verwendet. Da Polyester reißfester und widerstandsfähiger ist, ist die Trägerschicht bei Filmen auf Polyesterbasis dünner als bei Sicherheitsfilmen. Ihre Oberfläche erscheint glänzend. Diese Filme auf Polyester-Basis werden zuweilen ebenfalls als Sicherheitsfilme bezeichnet, da sie ebenso wenig entflammbar sind wie Zellulosetriazetat-Filme.

1.1.5 Rückbeschichtung

Die meisten Filme besitzen eine Rückbeschichtung auf der Unterseite der Trägerschicht, die zumeist aus Gelatine, seltener aus Polyvinylazetat besteht. Sie dient dazu, Wellungstendenzen des Filmstreifens auszugleichen, die auftreten können, wenn sich die Emulsionsschicht ausdehnt oder schrumpft.

1.1.6 Film-Formate

Aufgeführt sind nur die Filmformate, die im Stadtarchiv Bamberg als Archivalien vertreten sind. Bild 2 zeigt diese Film-Formate in Originalgröße.

- **Normal 8:** seit 1932; 8 mm breit; breite Perforation mit kleineren Perforationslöchern als bei Super 8, etwa 50 % kleineres Bild als Super 8; offene Spule oder eingebaut in eine Movex-Kassette (selten)
- **Super 8:** seit 1965; 8 mm breit; schmale, mittige Perforation; oft mit einer oder zwei zusätzlichen Magnetband-Audiospuren; Aufbewahrung in einer Kassette (siehe Bild 3)
- **16 mm:** einseitig (manchmal mit Lichtton- oder Magnetton-Spur) oder doppelseitig perforiert; schlechtere Qualität als 35-mm-Film
- **35 mm:** verschiedene Varianten existent



Bild 2: 35 mm, 16 mm, Super 8 und Normal 8 in Originalgröße² Bild 3: Super-8-Kassette³

1.2 Mögliche Schäden an Filmen

1.2.1 Überblick

Bild 4 gibt einen vereinfachten schematischen Überblick über die Schäden, die bei Filmen auftreten können.

² Quelle: http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/film_identification.html

³ Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Super_8

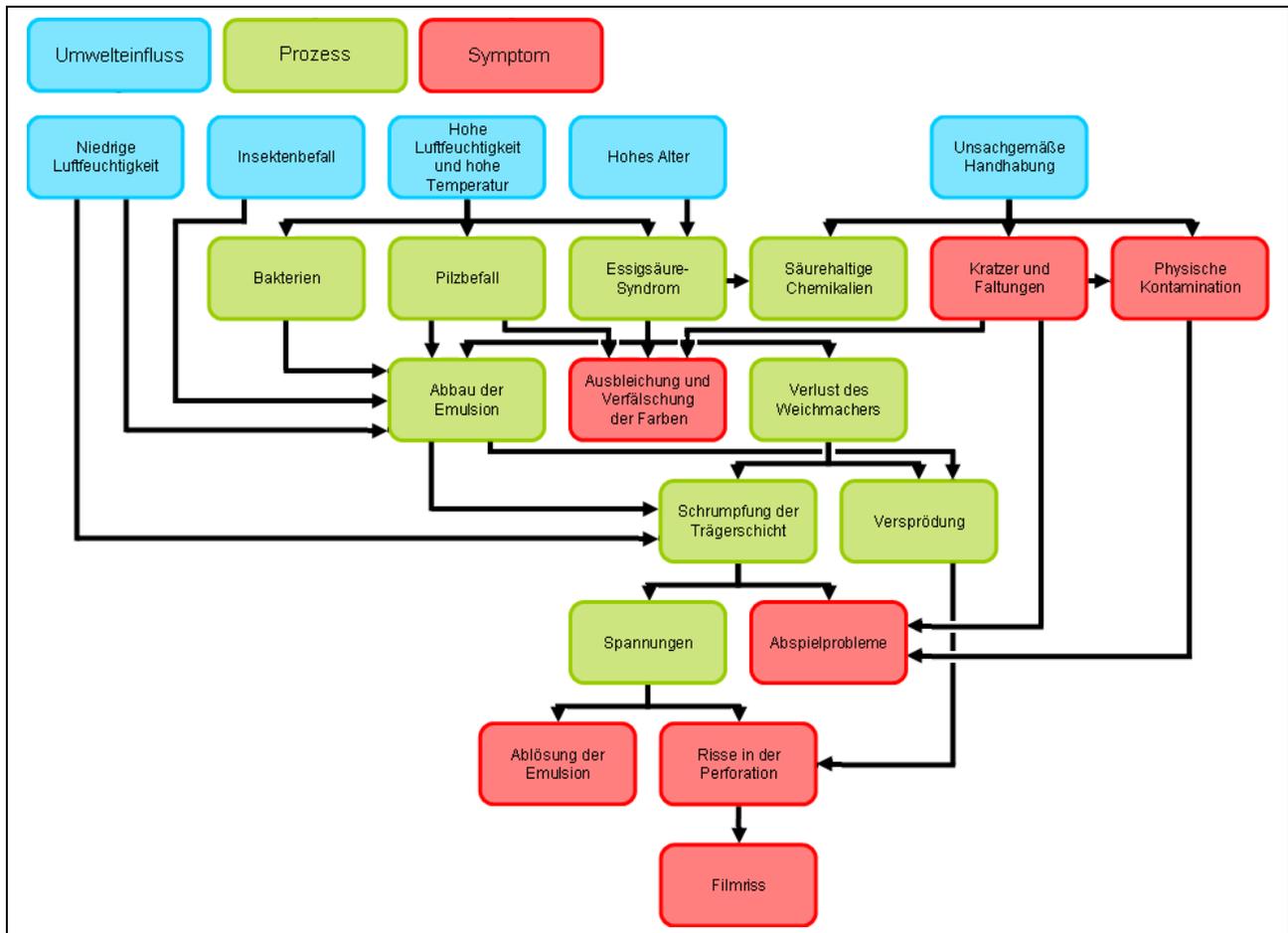


Bild 4: vereinfachter schematischer Überblick über mögliche Schadensverläufe bei Filmen⁴

1.2.2 Physische Schäden

1.2.2.1 Schrumpfung der Trägerschicht

Mögliche Ursachen:

- niedrige Luftfeuchtigkeit
- chemische Abbauprozesse (insbesondere Essigsäure-Syndrom)
- Verlust des Weichmachers

Wirkungsweise: Mit den Jahren verdunsten Reste von Lösungsmitteln, die beim Produktionsprozess im organischen Material des Films verblieben sind, wobei Reaktionsprodukte entstehen und freigesetzt werden. Dies bewirkt, dass sich der Film und damit auch der Perforationsrand zusammenzieht und sowohl schmaler als auch kürzer wird. Schon eine Schrumpfung um 1,5 % kann Abspielprobleme verursachen. Je stärker die Schrumpfung, desto weniger stark haften Emulsion und Auftragschicht bzw. Auftragschicht und Trägerschicht aneinander, und desto risikoreicher ist der Versuch, den Film abzuspielen. Eine Schrumpfung des Films kann Spannungen verursachen und dazu führen, dass die Perforation zusätzlich beschädigt wird. (siehe Kapitel 1.2.2.2 und 1.2.2.6).

Symptome:

- Ritzelzähne des Projektors greifen beim Abspielen nicht mehr in die Perforation
- Ablösung der Emulsionsschicht

Schadensbehebung:

- Bei Schrumpfungen von geringem Ausmaß ist es möglich, Abspielgeräte so zu modifizieren, dass ein Abspielen möglich ist. Man kann den Abstand der Ritzel oder den Bandlauf verändern, was die Längsschrumpfung ausgleicht.
- Aufweichen (siehe Kapitel 1.4.4)

1.2.2.2 Deformation

⁴ eigene Systematisierung

Mögliche Ursachen:

- Spannungen
- unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Die Spannungen, die sich durch Schrumpfungsprozesse oder unsachgemäßes Spulen im Bandwickel einer Filmrolle aufbauen, können sehr groß werden und die Form der ganzen Spule verändern (*spoking*). Spannungen können auch abgebaut werden, indem sich der Film wölbt, eindellt oder wellt. Sind die Spannungen so groß, dass sie nicht mehr von der Emulsionsschicht kompensiert werden können, löst diese sich von der Trägerschicht ab (*emulsion lift* bzw. *channelling*).

Symptome:

- Wölbung bzw. Wellung (*cupping*, siehe Bild 5)
- Eindellung bzw. anderweitige Deformation der Filmrolle (*spoking*, siehe Bild 6)

Schadensbehebung: nicht möglich



Bild 5: gewellter Film⁵

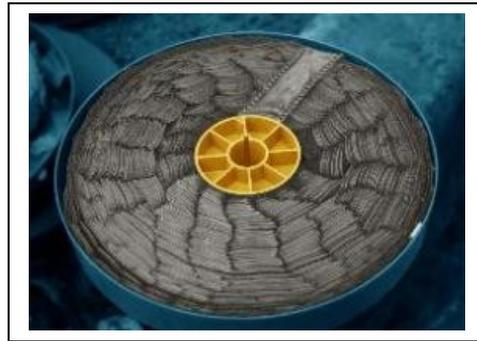


Bild 6: verformte Filmrolle⁶

1.2.2.3 Physische Kontamination

Mögliche Ursachen:

- Staub und andere Schmutzpartikel
- Rost

Wirkungsweise: Kleine Partikel aus der Umgebung, die sich auf der Filmoberfläche festsetzen, können chemische Reaktionen in der Emulsion in Gang setzen oder sich fest in das Trägermaterial integrieren.

Symptome:

- Verunreinigungen auf der Oberfläche
- Ausbleichung

Schadensbehebung: Reinigung der Oberfläche (siehe Kapitel 1.4.1)

1.2.2.4 Kratzer

Ursache: unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Kratzer auf der Filmoberfläche bzw. in der Emulsion sind die häufigste Form physischer Schäden an Filmen und ziehen zusätzlich Schmutzpartikel an. Sie können entstehen, wenn der Film z.B. beim Abspielen im Projektor mit Schmutzpartikeln in Berührung kommt. Diese Kratzer können sehr lang werden und in Einzelfällen auch wellenförmig verlaufen. Abgenutzte Walzen im Projektor erhöhen das Risiko.

Wenn ein nur lose aufgewickelter Film unsachgemäß abgespielt wird, reiben sich die Wickellagen in der Filmrolle aneinander. Dadurch erhöht sich der Druck in der Filmrolle, und dann können jegliche Schmutzpartikel Kratzer verursachen, die parallel zum Film verlaufen. Befinden sich Kratzer im Bereich der Emulsion, führt dies zu mehr oder weniger gravierenden Informationsverlusten. Kratzer können auch sehr leicht entstehen, wenn man das Ende der Filmrolle festzieht.

Symptome:

⁵ Quelle: <http://www.filmforever.org/chap3.html>

⁶ Quelle: http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/shrinkage.html

- Kratzer auf der Oberfläche
- Verfälschung der Farben (bei Farbfilmen)
- verwaschtes projiziertes Bild (bei leichten Verkratzungen)
- störende Linien im projizierten Bild (bei Kratzern auf der Trägerschicht)
- verblasstes projiziertes Bild mit Störstreifen (bei Kratzern in der Emulsion)

Schadensbehebung:

- Aufweichen (siehe Kapitel 1.4.4)
- Auftragen einer Schutzschicht (siehe Kapitel 1.4.5)

1.2.2.5 Faltungen

Ursache: unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Eine zu zaghafte oder zu ruppige Bedienung der mechanisch gekoppelten Laufwerksfunktionen des Projektors kann zur Bildung von Bandschleifen führen, welche dann bei erneutem Anziehen den kürzesten Weg suchen. Dies führt zu Faltungen im Filmstreifen. An den geknickten Stellen ist mit Totalausfall des Bildes beim Abspielen zu rechnen.

Symptome:

- Knick im Filmstreifen
- völliger Bildausfall

Schadensbehebung: korrekte und sorgfältige Aufwicklung des Films

1.2.2.6 Risse in der Perforation (Krähenfüße)

Ursache: unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Die Perforation ist besonders schadensanfällig und beim Abspielen großen Kräften durch die Ritzel des Projektors ausgesetzt. Unsachgemäße Handhabung von Filmen kann zur Folge haben, dass die Perforation einreißt. Kleine Risse am Rand der Perforation nennt man Krähenfüße. Sie treten sehr oft am Anfang, am Ende oder an einer schadhaften Klebestelle des Films auf. Krähenfüße bewirken, dass der Film beim Abspielen instabil durch den Projektor läuft und können sich dadurch noch vergrößern. Bei zu hoher Beanspruchung kommt es zum Filmriss (siehe Kapitel 1.2.2.7).

Symptom: vom Rand ausgehende Einrisse in der Perforation

Schadensbehebung: Restaurierung der Perforation (siehe Kapitel 1.4.3)

Bild 7 zeigt einen Film mit schadhafter Perforation.

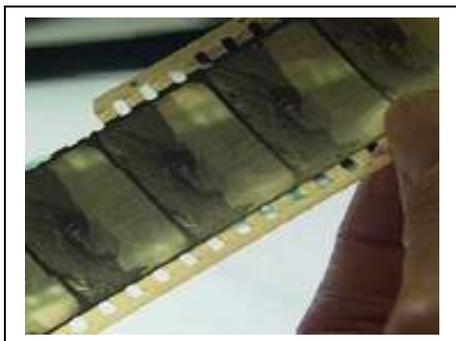


Bild 7: Film mit schadhafter Perforation⁷

1.2.2.7 Filmriss

Mögliche Ursachen:

- spröde Klebestellen
- unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Neben Kratzern sind Filmrisse die häufigste Form physischer Schäden an Filmen. Besonders gefährdet sind ältere Filme, die fast alle auf Zellulose basieren. Filme reißen besonders leicht an Klebestellen und an Stellen mit bereits eingerissener Perforation.

⁷ Quelle: <http://www.wdr.de/tv/q21/1057.0.phtml>

Filme auf Polyesterbasis weisen eine hohe Reißfestigkeit auf, können aber trotzdem reißen, wenn die Perforation beschädigt wird (z.B. durch ein scharfes Ritzel oder ein defektes Bauteil im Projektor).

Symptom: zwei oder mehr Einzelteile des ursprünglichen Films

Schadensbehebung: Verkleben der Einzelteile (siehe Kapitel 1.4.2)

1.2.3 Chemische Schäden

1.2.3.1 Abbau des Zellulosenitrats

Mögliche Ursachen:

- hohe Luftfeuchtigkeit (bzw. Wasserschaden), insbesondere in Kombination mit hoher Temperatur
- sauer wirkende Chemikalien

Wirkungsweise: Die Zersetzung des Zellulosenitrats funktioniert ähnlich wie die des Zelluloseazetats.

Symptome: Die Symptome des Fortschritts des Nitrat-Abbaus bei Zellulosenitrat-Filmen werden in fünf Stadien gegliedert:

1. Stadium: bernsteinfarbener Farbstich, verblasstes Bild, sich bildender Rostring in Metall-Filmlosen, leicht schädlicher Geruch
2. Stadium: klebrige Emulsion, Tendenz zum Zusammenkleben beim Abwickeln des Films, leicht schädlicher Geruch
3. Stadium: vereinzelt weiche Filmabschnitte mit Gasblasen, schädlicher Geruch
4. Stadium: weicher Film (quasi ein klebriger Klumpen), zähflüssiger Schaum auf der Oberfläche, penetranter, schädlicher Geruch
5. Stadium: partielle oder völlige Auflösung der Filmmasse in ein ätzendes bräunliches Pulver

Schadensbehebung: Eine gängige Restaurierungsmaßnahme ist das Aufweichen des Films mit einem Weichmacher (siehe Kapitel 1.4.4). Sollte die Hydrolyse wieder einsetzen, kann diese Behandlung bedenkenlos wiederholt werden.

1.2.3.2 Abbau des Zelluloseazetats (Essigsäure-Syndrom)

Mögliche Ursachen:

- vor allem hohe Luftfeuchtigkeit (bzw. Wasserschaden), insbesondere in Kombination mit hoher Temperatur
- sauer wirkende Chemikalien
- hohes Alter

Wirkungsweise: Das Essigsäure-Syndrom ist der am häufigsten auftretende Zersetzungsprozess von Filmmaterial, dessen Trägerschicht aus Zellulosediazetat oder -triazetat besteht. Werden Triazetat-Filme unter optimalen Lagerungsbedingungen aufbewahrt, setzt der Prozess erst ca. 70 bis 90 Jahre nach deren Produktion ein.

Hohe Temperaturen in Kombination mit hoher Luftfeuchtigkeit bewirken, dass im Substrat des Films eine Hydrolyse-Reaktion ausgelöst wird: Die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit reagiert mit der Zellulose und dem Azetat des Films. Am meisten betroffen ist die Schicht zwischen Emulsions- und Trägerschicht, und genau hier kann sich als Folge des Produktionsprozesses des Substratmaterials auch Essigsäure einlagern. Als Reaktionsprodukt der Hydrolyse entsteht u.a. Essigsäure, deren Dämpfe sich durch die Emulsion fressen und mikroskopisch kleine Löcher in selbiger hinterlassen, wenn sie in die Luft aufsteigen. Diese Dämpfe sind für den typischen Geruch nach Essig verantwortlich. Hat das Essigsäuresyndrom einmal eingesetzt, zerfällt das Band deutlich schneller (insbesondere ab einem pH-Wert von 5,5 [?] (autokatalytischer Punkt)), da die Hydrolyse autokatalytisch (sich selbst verstärkend) ist. Betroffene Filme können in wenigen Monaten so stark zerfallen, dass sie unbrauchbar sind. Das Essigsäure-Syndrom zieht weitreichende chemische und physische Folgen nach sich, die bei den Symptomen angeführt sind.

Symptome:

- brüchige oder sich ablösende Emulsionsschicht
- Deformation der Filmrolle (durch Schrumpfung der Trägerschicht)
- Wellung beim Abwickeln
- Ritzelzähne des Projektors greifen beim Abspielen nicht mehr in die Perforation
- Ausbleichung des Bildes oder unregelmäßige Bildmuster; Blasen
- süßlicher oder essigartiger Geruch
- Verfärbung des Essigsäure-Teststreifens

Schadensbehebung:

- Bei jeglichen Anzeichen des Essigsäure-Syndroms sollte man von den betroffenen Filmen unbedingt eine Sicherungskopie anfertigen und sie gesondert lagern, weil sich die Zersetzungsprozesse sehr schnell in benachbarten Filmen fortsetzen. Zusätzlich sollte man betroffene Filme digitalisieren.
- Eine Stabilisierung des Films ist zwar ein Anfang, aber nur eine kurzfristige und nicht selten teure Lösung. Hierzu lagert man den Film in einem Kühl- oder Gefrierschrank mit kontrollierbarer Luftfeuchtigkeit. Zusätzlich kann ein im Fachhandel erhältliches Molekularsieb in die Filmdose gegeben werden. Verpackungsmaterialien von Azetatfilmen, die vom Essigsäure-Syndrom betroffen sind, sollten nicht wiederverwendet werden.
- Eine gängige Restaurierungsmaßnahme ist das Aufweichen des Films mit einem Weichmacher (siehe Kapitel 1.4.4). Sollte die Hydrolyse wieder einsetzen, kann diese Behandlung bedenkenlos wiederholt werden.

1.2.3.3 Verlust des Weichmachers

Ursache: sauer wirkende Chemikalien

Wirkungsweise: Sicherheitsfilme auf Zellulosetriazetat-Basis enthalten meist den Weichmacher TPP. Mit zunehmendem Säuregehalt im Film migriert der Weichmacher durch die Trägerschicht und verflüchtigt sich. Da TPP einen nicht unwesentlichen Teil des Trägermaterials ausmacht (12 bis 15 %), führt dies auf Dauer zu einer Versprödung und Schrumpfung des Films.

Symptome:

- weißes Pulver auf der Perforation
- brüchige oder sich ablösende Emulsionsschicht
- starker Geruch nach Naphthalin (wie Mottenkugeln)
- Ritzelzähne des Projektors greifen beim Abspielen nicht mehr in die Perforation

Schadensbehebung: Aufweichen des Trägermaterials (siehe Kapitel 1.4.4)

1.2.3.4 Versprödung der Klebestellen

Ursache: Verlust des Weichmachers

Wirkungsweise: Die Filmabschnitte, die sich an und um Klebestellen befinden, trocknen mit der Zeit aus und verspröden, da sich der Weichmacher verflüchtigt. Der Zusammenhalt an den Klebestellen des Films schwächt sich ab. Die Klebestelle muss nicht auf der ganzen Breite spröde sein. Wird der Film abgespielt oder gespult, können spröde Klebestellen einreißen (siehe Kapitel 1.2.2.6) und im Extremfall einen Filmriss verursachen (siehe Kapitel 1.2.2.7).

Symptom: brüchige oder sich ablösende Klebestellen

Schadensbehebung: Restaurierung der Klebestellen (siehe Kapitel 1.4.2)

1.2.3.5 Dehydrierung der Emulsionsschicht

Ursache: niedrige Luftfeuchtigkeit

Wirkungsweise: Ist die Luftfeuchtigkeit zu niedrig, wird der Emulsion unwiederbringlich Wasser entzogen (Dehydrierung), womit sie brüchig wird.

Symptom: brüchige oder sich ablösende Emulsionsschicht

Schadensbehebung: Aufweichen (siehe Kapitel 1.4.4)

1.2.3.6 Ausbleichung bei Farbfilmen

Mögliche Ursachen:

- hohe Luftfeuchtigkeit (bzw. Wasserschaden), insbesondere in Kombination mit hoher Temperatur
- Einwirkung von Licht (z.B. beim Abspielen)

Wirkungsweise: Wird ein Farbfilm bei hoher Temperatur, in Kombination mit hoher Luftfeuchtigkeit gelagert, zerfallen die Makro-Moleküle der organischen Farbstoffe in kleinere Molekül-Bruchstücke, die bewirken, dass das Bild in anderen als den Original-Farben erscheint. Beschleunigt wird dieser Zerfallsprozess durch Einwirkung von Licht. Besonders betroffen sind Filme, die vor 1980 produziert wurden. In den 1980er Jahren wurde die Zusammensetzung der in Filmen verwendeten organischen Farbstoffe erheblich verbessert, sodass diese weniger anfällig für Ausbleichungsprozesse sind.

Symptom: Verfärbung oder Ausbleichung des Bilds (siehe Bild 8)

Schadensbehebung: Will man die Farben eines Films mit einer chemischen Methode wiederherstellen, muss man gezielt die Bindungen zwischen den Molekülen der organischen Farbstoffe wiederherstellen, die aufgebrochen sind. Dieses Verfahren ist jedoch äußerst aufwändig und wird deshalb kaum angewandt.



Bild 8: fortschreitende Ausbleichung eines Farbfilms⁸

1.2.4 Biologische Kontamination

Die Gelatine der Emulsionsschicht von Filmen ist als hervorragende Nahrungsquelle für eine Reihe von Mikro- und Makro-Organismen bekannt. Zellulose-Ester werden auch gern „gegessen“.

1.2.4.1 Pilzbefall

Mögliche Ursachen:

- vor allem hohe Luftfeuchtigkeit (bzw. Wasserschaden), insbesondere in Kombination mit hoher Temperatur
- stehende Luft

Wirkungsweise: Schimmel, Mehltau und andere Pilze können der Emulsionsschicht eines Films großen Schaden zufügen. Da sie sich am Rand der Filmrolle festsetzen, erreichen sie relativ schnell alle Bereiche der Filmrolle. Pilze breiten sich nach dem Zufallsprinzip, aber vorrangig auf der Oberfläche der Gelatinemasse aus.

Pilze ernähren sich von den Nährstoffen der Gelatine, die in der Emulsionsschicht enthalten ist. Sie scheiden Säuren und Enzyme aus, die die Polymerketten der benachbarten Gelatine in chemisch einfachere Moleküle umwandeln, sodass sie leichter aufgenommen werden kann. Wo die Gelatine konsumiert wurde, bleiben Rillen und Kanäle zurück.

Symptome:

- trockenes weißes oder braunes Pulver (tote Schimmelpilze)
- weiße oder braune Fäden bzw. Ausfransungen (lebende Schimmelpilze, Schmierspuren bei Berührung)
- verästelte Rillen und Kanäle
- Ausbleichung (bei Schwarzweiß-Filmen) bzw. Verfärbung (bei Farb-Filmen)

⁸ Quelle: http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/chromogenic_dye.html

- giftige Gase

Schadensbehebung: Ein Film, auf dem sich aktiver Schimmel befindet, darf nicht gereinigt werden, sondern muss sofort isoliert und unter trockenen Bedingungen aufbewahrt werden, bis der Schimmel abgestorben ist. Danach kann er einer gründlichen Reinigung unterzogen werden (siehe Kapitel 1.4.1). Bild 9 zeigt einen von Schimmel überzogenen Film.

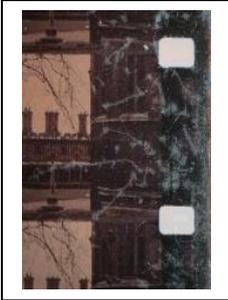


Bild 9: von Schimmel überzogener Film⁹

1.2.4.2 Bakterienbefall

Ursache: hohe Luftfeuchtigkeit (bzw. Wasserschaden), insbesondere in Kombination mit hoher Temperatur

Wirkungsweise: Bakterien verändern die Struktur der Gelatine. Am deutlichsten sind durch Bakterien verursachte Schäden am Film zu erkennen, wenn er sich vorher mit Wasser vollgesogen hatte (Wasserschaden) und über längere Zeit ohne Trocknungsmaßnahmen gelagert wurde. Im schlimmsten Fall kann der durch die Bakterien verursachte Schaden bewirken, dass die Filmrolle fest zusammenklebt.

Symptome:

- kleine Blasen mit einer schwarzen, teerartigen Substanz an den Rändern der Filmrolle
- fest zusammenklebende Filmrolle (im Extremfall)

Schadensbehebung: im Extremfall nicht mehr möglich

1.2.4.3 Insektenbefall

Mögliche Ursachen:

- Schaben
- Silberfischchen
- Käfer (als Larven und ausgewachsen)

Wirkungsweise: Insekten wie Schaben und Käfer können sich von der in der Emulsionsschicht verwendeten Gelatine ernähren.

Symptom: Anzeichen für einen vorliegenden Insektenfraß sind unregelmäßige Löcher und Kanäle in der Emulsion, die in der Regel größer sind und unregelmäßigere Ränder haben als durch Schimmel verursachte Schäden.

Schadensbehebung: Durch Insektenfraß vernichtete Teile der Emulsion sind nicht ersetzbar.

1.3 Inspektion von Filmen

Um festzustellen, ob man einen Film auf Azetat- oder Polyester-Basis vor sich hat, kann man verschiedene Methoden anwenden. Die einfachste Methode besteht darin, die Filmrolle gegen eine Lichtquelle zu halten. Dringt dieses seitlich durch, handelt es sich um einen Film auf Polyester-Basis; dringt es nicht durch, ist es ein Film auf Azetat-Basis. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Tatsache, dass Azetat-Filme stärker dazu tendieren, sich der Rollrichtung anzupassen – sich also leichter wellen als Polyester-Filme. Weiterhin reißen Azetat-Filme weitaus leichter als Polyester-Filme. Man sollte Archivalien allerdings keinem Reißtest unterziehen.

Wenn unklar ist, ob der Film geschrumpft ist, kann man dessen Perforation mit der Perforation eines vergleichbaren neuen Films vergleichen. Wenn der Film um ein Loch kürzer ist, ist er um 1

⁹ Quelle: http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/biological_damage.html

% und damit schon zu stark geschrumpft, um ihn abspielen zu können. Ob ein Film deformiert ist, kann man feststellen, indem man den Film langsam vorspult und dabei mit den Fingern (in dünnen Handschuhen) an den Rändern des Films entlang fühlt. Alle Klebestellen können auf Stabilität überprüft werden, indem man sie vorsichtig auseinanderzieht.

Wenn ein Film mit einer Magnetspur in einer feuchten Umgebung gelagert wurde, muss man ihn extrem langsam spulen. Der Magnetstreifen kann sich sonst ablösen und am benachbarten Bandwickel festkleben. Spult man zu schnell, kann es passieren, dass der Film sich längs in zwei Hälften teilt.

Ein einfaches, objektives und probates Mittel zum Feststellen des Vorhandenseins bzw. Ausmaßes des Essigsäuresyndroms ist der Essigsäure-Teststreifen (auch „A-D-Streifen“ – *acid detection strip*). Er besteht aus Papier und indiziert den pH-Wert, indem er sich bei Kontakt mit säurehaltigen Dämpfen verfärbt. Um den Säuregehalt eines Films herauszufinden, sollte man einen Essigsäure-Teststreifen mindestens 24 Stunden lang in der Filmdose lassen. Ist ein Film befallen, ist Vorsicht geboten, denn die Dämpfe sind giftig und reizen Augen, Haut und Schleimhäute. Farbfilme aus den 1970er Jahren sind besonders anfällig für Ausbleichungen.

Filme mit Schimmelpilzen bilden giftige Gase und sollten sehr vorsichtig (mit Mundschutz und Handschuhen) gehandhabt werden. Bei Pilzbefall sollte man den Film von den anderen Filmen isolieren und einen Restaurator hinzuziehen. Alle bei der Inspektion ermittelten Angaben sollten in einem Protokoll erfasst werden. Wie ein solches aussehen kann, zeigt das NFSA¹⁰ (siehe Bild 10).

Date of arrival _____ (acceptance)	
Last date inspected _____	
Inspected by _____	
Date this inspection _____	
Description of the item	
Title _____	
I.D. number _____	Accession number _____
Can number _____	Gauge 16mm 35mm Other _____
Original neg _____	Colour Black & White _____
Production date _____	Duplicate positive Duplicate negative Release print Sound _____
Length _____ ft _____ frames	Original laboratory _____
Condition	
Can	Plastic Mould Plastic bag Metal Deformed Cardboard box None Rust Metal shipper
Core	Plastic Spool Plastic Metal Metal None None
Base type	Acetate Polyester Nitrate
Wind	Tight Spoked Preservation Loose
Shrinkage	0% 0-1.5% 1.5-3% 3% <small>AT RISK OF DAMAGE ON MACHINERY</small>
Condition Level	
All factors must have a condition level entered against them	
0 = None	
1 = Light	
2 = Moderate	
3 = Heavy	
Emulsion scratches	Continuous Horizontal Vertical
Base scratches	Continuous Horizontal Vertical
Film	Brittle Soft
Image Fade	Black & White Colour
Vinegar Syndrome	Blocked Moist
Physical Damage	Emulsion loss Crystals Buckle & wave Broken Splices Broken Perforations Tears Sprocket Damage Image burnt Folds Delamination
Water Damage	Emulsion loss Ferrotyping Anti-ferrotyping Mould Staining
Foreign Matter	Crystals Emulsion particles Grease/oil Insects Rust stains Dust/dirt Adhesive residue
Paper marks	Buckle & wave Broken Splices Broken Perforations
Recan	Rewind Rewash Unblock (Solvent) (Aquasol)
Redimension	Repair Dispose
Copy	Film Video Clean Dry dustback Wet dustback Ultrasonic
Other	

Treatments Carried Out	
Comments _____	

Recommended next inspection	
Signed _____	Date _____

Bild 10: Inspektionsprotokoll für Filme¹¹

1.4 Restaurierungsmaßnahmen bei Filmen

¹⁰ australisches *National Film and Sound Archive*, siehe Kapitel 7.3

¹¹ Quelle: http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/condition_report_form.html

1.4.1 Reinigungsmaßnahmen

Die Reinigung von Filmen darf nur nach einer Inspektion durchgeführt werden. Wenn die Perforation nicht beschädigt ist, kann der Film vorsichtig von Hand gereinigt werden. Entfernt werden sollten jegliche Fremdpartikel wie z.B. archivuntaugliche Klebebänder, Papier, Heftklammern und Staub. Zu beachten ist, dass eine Behandlung mit wässrigen Lösungen dazu führen kann, dass Filme mit anfälligen Emulsionen und Trägermaterialien beschädigt werden.

Eine erprobte und oft angewandte Filmreinigungsmethode ist die Nassreinigung mit einem Lösungsmittel. Diese kann von Hand (mit einem fusselfreien Baumwolltuch) oder automatisiert (worauf im Folgenden noch eingegangen wird) durchgeführt werden. Auf dem Markt sind verschiedene Lösungsmittel erhältlich, die mehr oder weniger für eine Filmreinigung geeignet sind – je nach Umweltschädlichkeit, Effizienz oder Beinhaltung von u.U. für den Film schädlichen Chemikalien. Als sehr effizient gelten (laut Kodak) folgende Lösungsmittel¹²:

- Hydrocarbon Type Film Cleaner 40 (wasserbehandeltes Waschbenzin, Signal Inc.)
- Isopar® G Naptha (Exxon Chemical)
- Exxsol® D3135 Naptha (Exxon Chemical)
- Soltrol® 100 (Phillips Chemical)

Eine einfache Reinigungsmethode für nur leicht verschmutzte Filme ist die Trockenreinigung mit einem weichen Samttuch. Hierbei führt man den Film langsam durch das gefaltete und fest von den Fingern zusammengepresste Tuch (siehe Bild 11), wobei man sehr vorsichtig sein muss, um den Film nicht zu zerkratzen. Das Reinigungstuch ist zu säubern oder zu ersetzen, sobald sich eine signifikante Schmutzmenge darauf festgesetzt hat.

Schmutzpartikel können auch punktuell entfernt werden. Dies kann mit einem Wattestäbchen und mit einem Filmreiniger geschehen. Hierbei sollte man sich vom Rand der Verunreinigung hin zur Mitte arbeiten (siehe Bild 12).

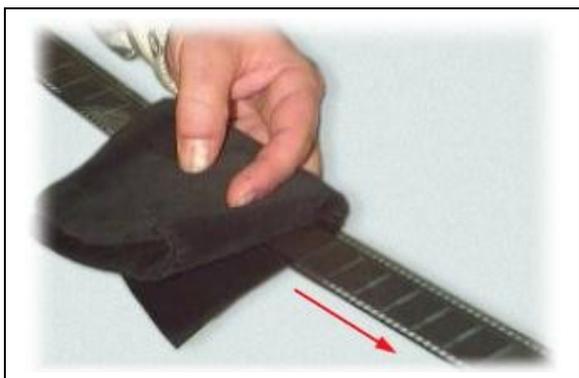


Bild 11: Trockenreinigung eines Films¹³

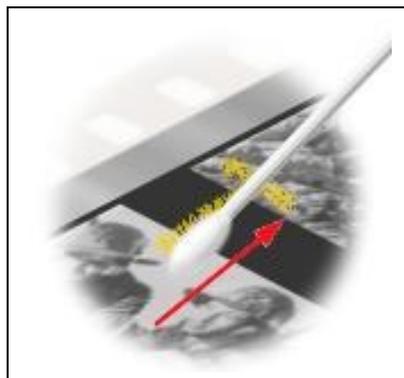


Bild 12: punktuelle Reinigung eines Films¹⁴

Filme mit leichteren Verschmutzungen (lose Schmutzpartikel oder auch ölige Substanzen) können mit Ultraschall gereinigt werden. Hierbei wird der Film durch einen Tank mit einer leicht erhitzten Lösung gezogen. An der Außenseite des Tanks ist ein Ultraschall-Signalgeber angebracht, der den Tank mit 20-kHz-Tönen beschallt. Dies bewirkt, dass sich Luftblasen in der Flüssigkeit bilden, die wachsen und wieder implodieren, wodurch Erschütterungen entstehen. Diese Erschütterungen verursachen Schockwellen, deren Intensität ausreicht, um Verschmutzungen auf der Filmoberfläche zu lösen. Das Reinigungsgerät sollte regelmäßig gewartet und die Lösung regelmäßig ersetzt werden, um Schäden am Film zu verhindern.

Filme, deren Emulsion nicht verklebt ist, können auch mit speziellen Polyurethan-Walzen (*particle transfer rollers, PTRs*) gereinigt werden. Diese sind einzeln erhältlich oder in einige Apparate (wie z.B. 35-mm-Projektoren) eingebaut. Die Walzen besitzen einen leicht klebrigen Überzug, an dem bei Kontakt mit der Filmoberfläche lose Staub- und Schmutzpartikel haften bleiben (nicht jedoch ölige Substanzen). Für den Reinigungsprozess sind mindestens zwei Walzen (für jede Filmseite eine) erforderlich; meist werden vier verwendet (siehe Bild 13). Polyurethan-Walzen können mit Wasser und Seife gereinigt, getrocknet und danach wieder verwendet werden.

¹² Quelle: http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/solvents.html

¹³ Quelle: http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/dry_dust_back.html

¹⁴ Quelle: http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/spot_cleaning.html

Sie sind relativ teuer, weshalb sich ihre Anschaffung für Archive mit kleineren Filmbeständen nicht lohnt.

Eine weitere Methode ist die Reinigung mit Pufferwalzen (*buffer roller cleaning*). Diese ist auch für Filme mit leicht verklebten Schmutzpartikeln geeignet. Der Filmstreifen durchläuft vier Walzen mit relativ weicher Oberfläche, wobei mit zwei Sprühvorrichtungen kontinuierlich Lösungsmittel auf den Film gesprüht wird (siehe Bild 14). Bevor man die Walzen einsetzt, sollte man einen Kratztest mit einem Testfilmstreifen durchführen, um sicherzustellen, dass die zu reinigenden Filme nicht zerkratzt werden. Auch sollten die Walzen regelmäßig auf Schmutzrückstände untersucht und ggf. gereinigt werden.

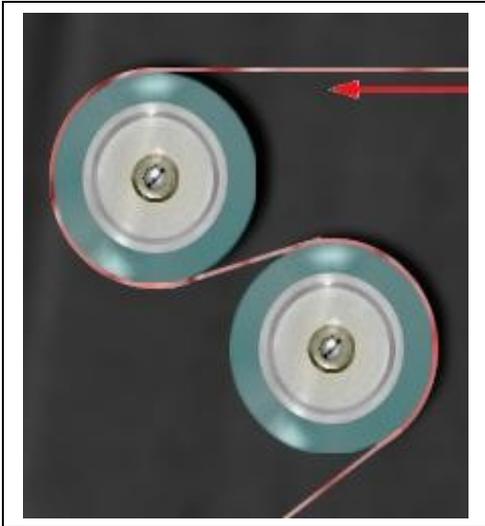


Bild 13: Filmreinigung mit PTRs¹⁵

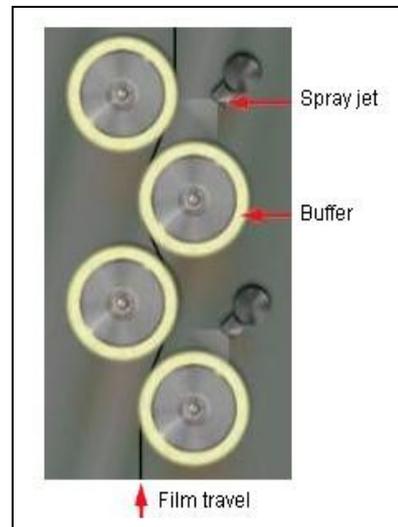


Bild 14: Filmreinigung mit Pufferwalzen¹⁶

1.4.2 Restaurierung von Klebestellen und Filmrissen

Spröde und beschädigte Klebestellen sowie Filmriss-Stellen müssen mit einem Klebemittel geklebt bzw. durch neue Klebestreifen ersetzt werden. Klebeband, bei dem unsicher ist, ob es aus professioneller Produktion stammt, sollte ebenfalls ersetzt werden. Das Entfernen von alten Klebebändern kann manchmal schwierig sein; dann hilft ein Filmreiniger, der mit einem fusselfreien Baumwolltuch oder -tupfer aufgetragen werden muss, um das Band zu lockern. Bei schadhafte Zement-Klebestellen muss der getrocknete Zement vorsichtig mit einem Skalpell abgekratzt werden, bevor man ein neues Klebeband anbringen kann.

Das zu verwendende Klebeband sollte aus dem Fachhandel stammen und neu sein. An den Enden sollte es sauber mit einer Schere oder einem Rasiermesser abgeschnitten werden. Dann kann es längsseitig und auf beiden Seiten des Films angebracht werden, wobei die Perforationsflächen frei bleiben müssen. Wird diese Maßnahme korrekt durchgeführt, entstehen keine Informationsverluste. Filme auf Azetat-Basis können auch mit Zement zusammengeklebt werden. Vorher sollte man allerdings die Auflageschicht an der entsprechenden Stelle des Films komplett entfernen, weil selbige sonst zu stark am Zement haftet.

Ist ein Film gerissen, kann man den Riss zusammenfügen, indem man folgendermaßen vorgeht: Man befestigt die beiden Filmenden im korrekten Abstand und so auf der Arbeitsfläche, dass sich die Emulsion oben befindet. Dann überklebt man den Riss vorsichtig mit Filmklebeband. Bilden sich dabei Luftblasen, sollte man diese entfernen, indem man vorsichtig mit einem Wattestäbchen über das Klebeband streicht. Ist das Klebeband angebracht, schneidet man es am Perforationsrand ab und stellt sicher, dass die beiden Ränder des Films keine Unebenheiten aufweisen.

1.4.3 Restaurierung der Perforation

Risse in der Perforation können mit Perforationsstücken ausgebessert werden, die im Fachhandel erhältlich sind. Die Einzelteile sollten auf einem Lichttisch angeordnet und einfach

¹⁵ Quelle: http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/particle_transfer_rollers.html

¹⁶ Quelle: http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/buffer_roller_cleaners.html

zusammengeklebt werden. Danach können die Perforationslöcher mit einer Filmklebemaschine ausgestanzt werden (so sie noch nicht vorhanden sind). Bei 16-mm- und 35-mm-Filmen kann man auch vorperforiertes Klebeband verwenden, dessen Löcher dieselbe Größe wie der Film haben. Die Restaurierung der Perforation von Filmen erfordert allerdings eine geschickte Hand. Ist ein Film geschrumpft, dann ist es nicht empfehlenswert, beschädigte Stellen mit Perforationsstücken auszubessern, die sich über eine Länge von mehr als vier Perforationslöchern erstrecken.

Sind bei geschrumpften Filmen längere Perforationsabschnitte beschädigt, empfiehlt sich eine Überbrückung (*bridging*) genannte Methode: Man entfernt die Reste der noch vorhandenen Perforation, sucht einen nicht mehr benötigten Film mit ähnlichem Schrumpfungsausmaß und bedient sich dessen Perforation, um die beschädigten Stellen am Originalfilm auszubessern. Das Ausbesserungsstück sollte an beiden Enden je zwei oder drei Perforationslöcher länger sein als die auszubessernde Stelle, damit man es überlappend und mit Zement anbringen kann. Abschließend entfernt man noch die Emulsionsreste des nicht benötigten Films am neuen Perforationsstück mit einem Skalpell.

1.4.4 Aufweichen

Eine mögliche Restaurierungsmaßnahme ist es, die Trägerschicht mit einem flüssigen Weichmacher zu behandeln, der als Füllmasse fungiert, vom Trägermaterial absorbiert wird und dieses somit aufweicht, auffüllt und ausdehnt. Es gibt Weichmacher, die zusätzlich Wirkstoffe enthalten, die die Geruchsentwicklung des Films eindämmen. Die Wirkung des Aufweichens eines Films kann je nach Film unterschiedlich lang anhalten (Monate oder Jahre).

Weicht man einen Film mit flüssigen Substanzen auf, sollte man bedenken, dass die Polymeren des Trägermaterials auch nach dem Trocknen des Films noch einen Flüssigkeitsanteil (bzgl. Gewicht) von bis zu 6 % (bei Zelluloseazetat) bzw. bis zu 2 % (bei Polyester) aufweisen können. Man sollte bedenken, dass dieser restliche Flüssigkeitsanteil ein Faktor für weitere Zersetzungsprozesse und Schimmelbildung sein kann.

Wird ein Film zwecks Migration abgespielt, können Kratzer auf dem Trägermaterial temporär unschädlich gemacht werden, indem der Film durch eine wässrige Azeton- oder Glycerin-Lösung gezogen wird, die die Untiefen der Kratzer quasi auffüllt (*wet gate method*). Diese Maßnahme sollte in einem Labor geschehen, zeigt nur kurz Wirkung und darf nur angewandt werden, um den Film zu migrieren. Nicht anwendbar ist diese Methode auf Filme, deren Zersetzung zu weit fortgeschritten ist, da die Gelatine-Emulsion dabei zu weich werden würde.

1.4.5 Auftragen einer Schutzschicht

Man kann Kratzer auf der Oberfläche zwar unschädlich machen, indem man den Film mit einer Schutz- oder Lackschicht überzieht. Die Zusammensetzung dieser Schutzschicht sollte aber bekannt sein und darf keine schädlichen Chemikalien enthalten.

1.4.6 Etikettierung

Eine gute Etikettierung jedes einzelnen Films stellt eine klare und eindeutige Identifikation sicher und schützt sie somit vor unnützer Handhabung. Idealerweise sollte sich an beiden Enden des Films ein unkoloriertes Endstück mit den wichtigsten für die Identifikation der Archivalie relevanten Informationen befinden.

2 Magnetbänder

2.1 Aufbau von Magnetbändern

Bild 15 zeigt eine schematische Darstellung des Aufbaus eines Magnetbands.

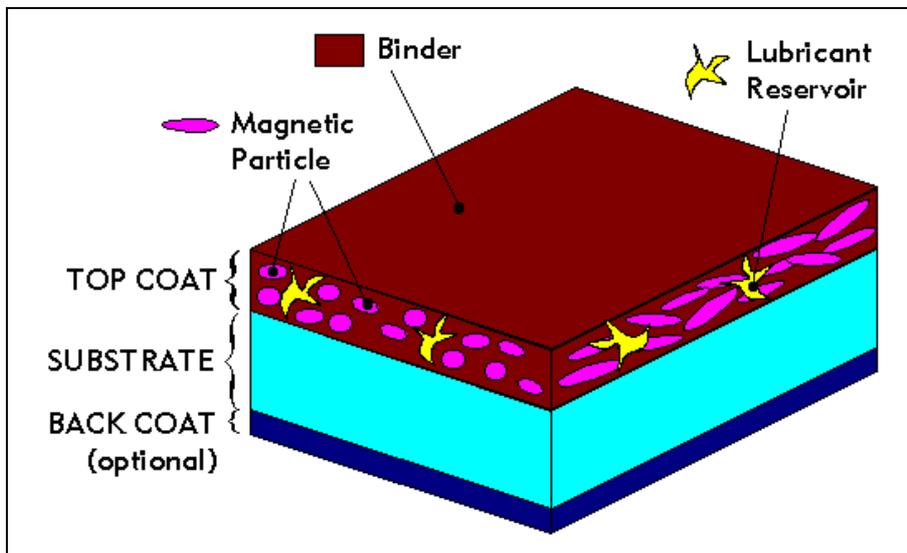


Bild 15: Aufbau eines Magnetbands¹⁷

2.1.1 Trägerschicht

Früher wurde Papier als Trägermaterial verwendet, chronologisch gefolgt von PVC (Polyvinylchlorid), Zelluloseazetat (für Audiobänder in den 1940er und 1950er Jahren), PET (Polyethylenterephthalat, bei analogen Bändern seit den 1960ern) und schließlich PEN (Polyethylenaphthalat, bei vielen dünnen digitalen Videobändern).

PVC weist eine relativ hohe Reißfestigkeit auf und ist weitgehend unempfindlich gegen Feuchtigkeit, hat dafür aber einen niedrigen Erweichungspunkt, der bei ca. 60 bis 70 °C liegt.

PET ist eine chemisch äußerst stabile Verbindung. Die Feuchtigkeitsempfindlichkeit ist mit der von PVC vergleichbar. Der Erweichungspunkt liegt bei 220 °C. Durch einen ganz speziellen Reckprozess können die mechanischen Festigkeitswerte gesteigert werden, sodass sie mit unvergütetem Stahl vergleichbar werden. Dabei bleibt der Kunststoff aber schmiegsam und wird nicht etwa spröde oder steif. PET-Trägerfolien sind ca. 20 µm dünn, heutzutage verwendete Trägerschichten ca. 12,5 µm. Bei Aufbewahrung unter Archivbedingungen wird für Filme mit einer PET-Trägerschicht von einer Lebensdauer von mehreren hundert Jahren ausgegangen.

2.1.2 Emulsionsschicht

Wie eine Farb- oder Lackschicht liegt die ca. 5 µm dünne Emulsionsschicht auf der Trägerfolie. Die Emulsionsschicht von Videobändern ist sehr viel dünner als die von Audiobändern. Die Emulsion ist eine Mischung aus Magnetpartikeln, Bindemitteln, Gleitmitteln, Video- bzw. Tonkopfreinigern, Kohlschwarz, Tensiden, Fungiziden, Stabilisatoren (gegen Oxidation, Hydrolyse etc.) und anderen speziellen Chemikalien. Die Herstellung von synthetischen Polymeren und das gezielte Hinzufügen von ausgewählten Additiven ist ein komplizierter Vorgang, der von den Löslichkeitseigenschaften der verwendeten Chemikalien abhängt.

Gleitmittel dienen dazu, Reibungen beim Abspielen zu reduzieren, wodurch sich das Band nicht so stark abnutzt. Beim Abspielen des Bands steigt es durch Poren an die Oberfläche. Der Tonkopfreiniger sorgt dafür, dass der Tonkopf sauber bleibt und keine *Dropouts* verursacht. Das Kohlschwarz dient dazu, elektrostatische Aufladungen zu verhindern, die Ablagerungen auf dem Band verursachen können.

¹⁷ Quelle: Bogart 1995, S. 4

Jeder Hersteller verwendet eine eigene geheime Zusammensetzung für die Emulsion. Manchmal bleiben die verwendeten Formeln über mehrere Produktionsjahre hinweg gleich, oft werden sie jedoch auch im Lauf der Marktpräsenz eines Produktes mehrfach modifiziert. Die Vielzahl von Variablen innerhalb der Zusammensetzung der Emulsionen macht die genaue Bestimmung der Lebensdauer einer bestimmten Magnetband-Marke unmöglich.

2.1.2.1 Magnetpartikel

Allgemein machen die Magnetpartikel selbst etwa 40 % des Volumens der Emulsionsschicht aus. Sie sind ca. 0,25 bis 0,5 µm lang.

Bei der Beschichtung mit Materialien, die metallisch leitfähig sind, gab es diverse Stufen der Entwicklung. Ganz am Anfang war es reines Eisen (bei Quadruplex-Bändern), doch das rostete munter weiter. Dann kamen die Ingenieure auf „vorgerostetes“ Eisenoxid (Fe_2O_3). 1969/1970 wurde erstmals Chromdioxid (CrO_2) als Magnetmaterial verwendet. Diese Partikel erlauben ein stärkeres Signal, sind aber nicht so stabil wie Eisenoxid-Partikel.

Eine andere Art der Beschichtung findet beim ME-Band (*metal-evaporated*) Verwendung, das häufig für 8-mm-Bänder verwendet wurde: Eine genau bestimmte Menge der Magnetpartikel wird als Legierung auf das Trägermaterial aufgedampft. Um eine maximale Magnetisierbarkeit zu erreichen, sind die Partikel sehr klein sowie homogen und eng in derselben Ausrichtung angeordnet. ME-Bänder leiden stark unter häufigem Abspielen. Ihre Archivtauglichkeit ist umstritten.

Für handelsübliche Magnetbänder werden heute Eisenoxid, Chromdioxid, Bariumferrit oder Reinmetallpartikel als Pigmente verwendet. Am häufigsten kommen Eisenoxide zum Einsatz. Heute wird fast ausnahmslos das braune $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, früher aber auch das schwarze Magnetit (Fe_3O_4) eingesetzt. In den elektroakustischen Eigenschaften sind die braunen Eisenoxide dem schwarzen Magnetit überlegen.

Bei hochwertigen analogen und bei digitalen Audio- und Videoformaten werden seit 1987 Metall-Partikel verwendet. Bänder mit Metall-Partikeln nennt man MP-Bänder (*metal particle*). Ursprünglich waren die Metall-Partikel noch nicht mit einer Schutzbeschichtung gegen Rost versehen, was ihnen einen schlechten Ruf einbrachte. Glaubt man einigen Studien, haben MP-Bänder eine hohe Lebenserwartung.

Ein Hauptunterschied zwischen den Magnetbändern ist ihre Partikeldichte. Informationen werden als Pigmente gespeichert. Wie stark das gespeicherte Signal ist, hängt direkt vom Restmagnetismus der Pigmente ab. Die Koerzitivkraft gibt an, wie gut ein Pigment einem Magnetfeld widerstehen kann. Je höher die Koerzitivkraft, desto dichter können Informationen gespeichert werden, und desto schwieriger ist es, sie zu löschen. Die frühen Quadruplex-Bänder besitzen eine eher niedrige Sättigungskoerzitivkraft (Magnetfeldstärke) von 23.880 A/m. Bänder mit einem Kobalt-Anteil im Eisenoxid (sog. Type-C-Bänder) weisen eine Koerzitivkraft von ca. 47.760 bis 63.680 A/m auf. MP-Bänder, wie sie für digitale Formate und Hi 8 verwendet werden, besitzen eine Koerzitivkraft von 119.400 A/m.

2.1.2.2 Bindemittel

Das Bindemittel, das der Emulsion beigefügt wird, dient dazu, deren Bestandteile zusammenzuhalten und die Magnetpartikel auf der Trägerfolie festzuhalten. Außerdem sorgt es für eine glatte Oberfläche, was beim Abspielen des Magnetbands von Vorteil ist. Ohne das Bindemittel wäre die Oberfläche so rau wie Sandpapier.

Bindemittel sind Polymeren und basieren meist auf Polyester-Polyurethan. ME-Bänder kommen ohne sie aus. Abhängig von den Monomeren, die in Polymeren enthalten sind, sind einige Bindemittel anfällig für Hydrolyse-Prozesse. Ihre Zusammensetzung kann je nach Hersteller und Produkt sehr stark variieren.

2.1.3 Optionale Rückbeschichtung

Seit Ende der 60er Jahre werden die meisten Bänder mit einer dünnen Rückbeschichtung aus synthetischen Kohlenstoffpartikeln (Rückseitenmattierung) versehen, die dem Band mehr Stabilität (insbesondere beim Spulen) gibt und dafür sorgt, dass beim Spulen keine statische Elektrizität

entsteht. Ferner verhindert die Rückbeschichtung, dass sich die einzelnen Schichten des Magnetbands beim Transport gegeneinander verschieben.

2.1.4 Magnetband-Formate

Im Folgenden sind die bekanntesten Magnetbandformate aufgeführt:

- MC: Musik-Cassette. Analog und weit verbreitet
- Digital 8: Nachfolger von Video 8 und Hi 8. MP-Band.
- Hi 8: Nachfolger von Video 8 und Vorgänger von Digital 8. Analoges, dünnes 8-mm-Band (ME oder MP). Hi-8-Kassetten sind fragil und haben keine hohe Lebenserwartung, wobei die kurzen Bänder (30 und 60 Minuten) langlebiger sind als die längeren. Bild 16 zeigt eine Hi-8-Kassette des ME-Typs.
- Mini DV: Digitales 1/4-Zoll-Band in strapazierfähiger Plastikkassette (66 mm x 48 mm x 12 mm).
- Quadruplex: 2-Zoll-Band. Trägerschicht 37,5 µm dünn.
- SVHS: Analoges 1/2-Zoll-Band. Kassette wie VHS, aber mit einem zusätzlichen Loch auf der Rückseite.
- VCR: Analoges 1/2-Zoll-Band in Kassette (125 mm x 145 mm x 40 mm). Mono- oder Stereo-Ton, keine Farbrauschreduktion und somit keine Farbausbleichung mit der Zeit.
- VHS: Analoges 1/2-Zoll-Band. Kassette aus Plastik, mit Sichtfenster für die Bandwickel. Das Farbsignal wird auf einer niedrigeren Frequenz als das Helligkeitssignal aufgezeichnet (*color under*).
- Video 8: Vorgänger von Hi 8 und Digital 8. Analoges, dünnes 8-mm-Band. Stabile Plastik-Kassette (93 mm x 61 mm x 13 mm). Im Gegensatz zu den meisten Formaten braucht Video 8 keine Synchron- oder Tonköpfe, da FM-Ton verwendet wird. Das Farbsignal wird auf einer niedrigeren Frequenz als das Helligkeitssignal aufgezeichnet. Video-8-Kassetten sind fragil und haben keine hohe Lebenserwartung, wobei die kurzen Bänder (30 und 60 Minuten) langlebiger sind als die längeren.
- Video 2000: Weiterentwicklung des VCR-Systems. 1/2-Zoll-Band mit 2 Spuren und Ton als Längsspur (Stereo). Beidseitig bespielbare Kassette. Bild 17 zeigt eine Video-2000-Kassette.



Bild 16: Hi-8-Kassette des ME-Typs¹⁸



Bild 17: Video-2000-Kassette¹⁹

2.2 Mögliche Schäden an Magnetbändern

2.2.1 Überblick

Bild 18 gibt einen vereinfachten schematischen Überblick über die Schäden, die bei Magnetbändern auftreten können.

¹⁸ Quelle: <http://www.arts.state.tx.us/video/id/vid8.asp>

¹⁹ Quelle: <http://www.sps-wagner.de/Betamax/kassetten.html>

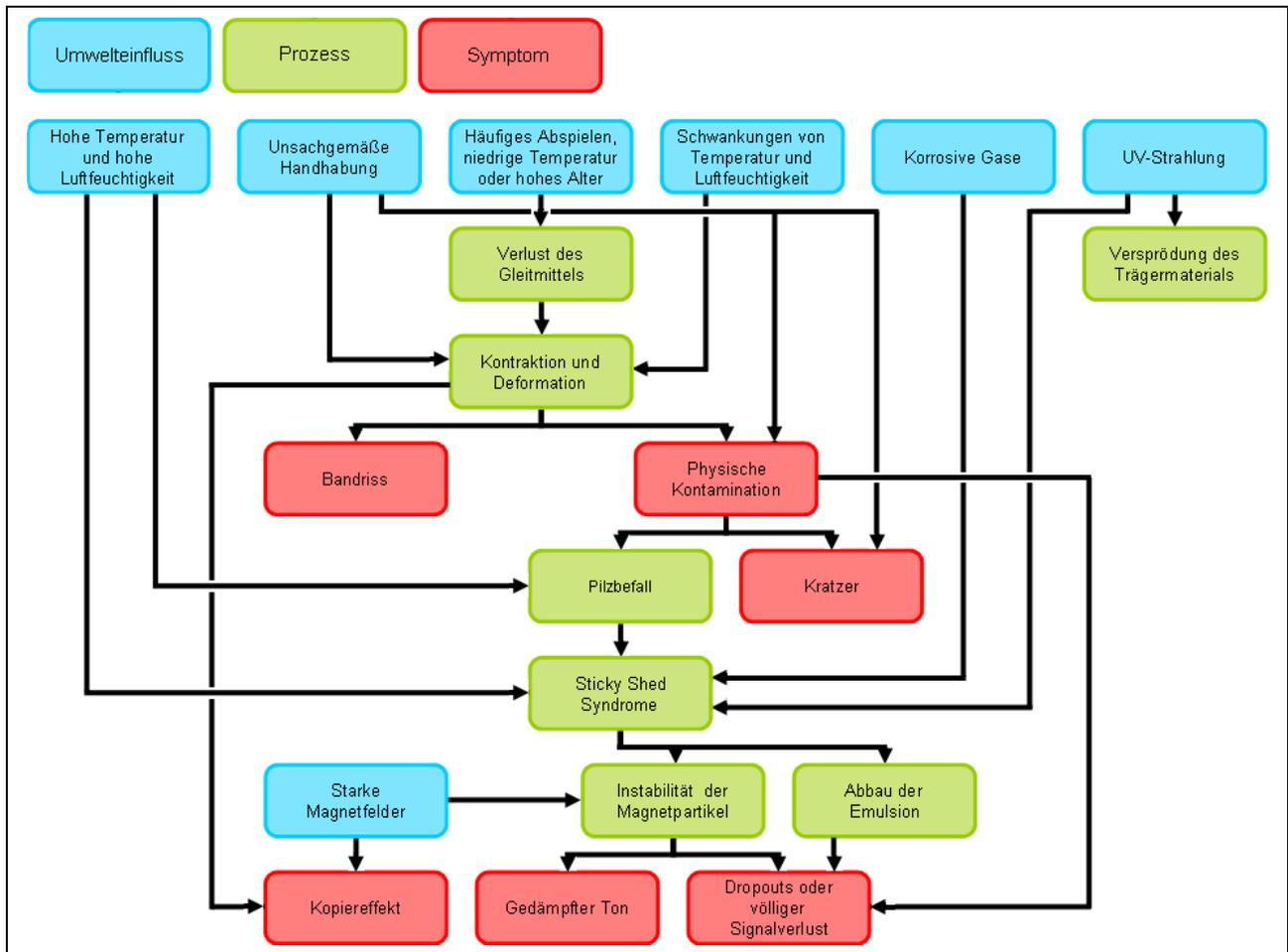


Bild 18: vereinfachter schematischer Überblick über mögliche Schadensverläufe bei Magnetbändern²⁰

2.2.2 Physische Schäden

2.2.2.1 *Instabilität der Magnetpartikel*

Mögliche Ursachen:

- Gleichstrom-Magnetfelder über 4 kA/m
- externe Wechselstrom-Magnetfelder über 800 kA/m
- zu hohe Temperaturen über längere Zeit
- Nebenprodukte der Hydrolyse und korrosive Gase
- ferner hohe Luftfeuchtigkeit

Hinsichtlich der Schäden durch Magnetfelder sind alle elektrischen Geräte unbedenklich, deren Motoren bzw. Transformatoren gut abgeschirmt sind (z.B. Aufzüge, Rolltreppen, Fernseher, Lautsprecher, Mikrophone und Hausverkabelung). Gefährlich werden können dagegen magnetische Schranktürverschlüsse, magnetisierte Werkzeuge, Hochspannungsleitungen und Blitzableiter. Magnetbänder können einem Magnetfeld widerstehen, dessen Koerzitivkraft bis zu einem Zehntel derjenigen ihres eigenen Magnetfeldes beträgt.

Wirkungsweise: Wenn einige oder alle Magnetpartikel anders ausgerichtet werden oder wenn ihre Anzahl sich mit der Zeit verringert, kann das zur Abschwächung oder zum völligen Verlust des Signals führen. Je nach Hersteller schwankt die Stabilität der Magnetpartikel. Am stabilsten sind Eisenoxid-Pigmente. Weniger stabil sind Metall- und Chromdioxid-Partikel; trotzdem ist der Signalverlust über die Zeit aber geringer als bei Eisenoxid-Bändern. Quadruplex-Bänder sind am meisten gefährdet, da ihre Koerzitivkraft sehr niedrig ist (23.880 A/m).

Die Zersetzung und Versprödung der Emulsion durch Hydrolyseprozesse führt zur Veränderung des Reibungsverhaltens. Das Magnetband nutzt sich beim Abspielen stärker ab, was im Extremfall zur Fragmentierung der Magnetschicht führen und somit die Magnetpartikel destabilisieren kann.

²⁰ eigene Systematisierung

Korrosive Gase in niedriger Konzentration greifen nur MP- und ME-Bänder an und verursachen Rost. Diese Bänder befinden sich jedoch meist in Kassetten, die ausreichend Schutz vor Oxidation bieten.

Symptome:

- gedämpfter Ton beim Abspielen
- *Dropouts* (beim Abspielen von Videobändern)
- blasse Farben (beim Abspielen von Videobändern)
- im Extremfall völliger Signalverlust

Schadensbehebung: Verändert sich die Ausrichtung der Magnetpartikel, ist dies gleichbedeutend mit einem irreparablen Informationsverlust.

2.2.2.2 Kontraktion und Deformation

Mögliche Ursachen:

- starke Schwankungen der Temperatur
- starke Schwankungen der Luftfeuchtigkeit
- Verlust des Gleitmittels
- unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Sind die Temperaturen zu niedrig oder erfährt ein aufgespultes Magnetband einen starken Abfall von Temperatur und/oder Luftfeuchtigkeit, tendiert es dazu, sich zu lockern. Das Trägermaterial dehnt sich disproportional zum Rest des Bands aus (verschiedene Ausdehnungskoeffizienten). Wenn die Spannung zu hoch oder zu niedrig wird, führt das dazu, dass sich die Schichten des Bands gegeneinander verschieben. Das gesamte Band kann in der Kassette verrutschen, die Ränder des Bands können sich partiell verschieben, verbiegen oder anderweitig verformen, was dazu führt, dass das Band nicht mehr gelesen werden kann.

Wiederholt sich der Kontraktionsvorgang zu oft, führt das zur Deformation des Bands und zu Verwerfungen. Erhöhter Druck kann zum „Einstampfen“ loser Schmutzpartikel in die Magnetschicht führen. Der Druck des äußeren Bandwickels presst den inneren Teil zusammen, wodurch ein schmaler Knick entsteht, was sich in speichenförmigen Linien (Seitenansicht) äußert. In schweren Fällen verliert der Bandwickel seine runde Form und wird klumpig.

Je kleiner und dünner das Magnetband (z.B. Mini DV, Video 8, Hi 8) ist, desto stärker wirken Verformungsprozesse.

Bei Videobändern unterscheidet man die trapezförmige Verformung (Magnetspur bleibt linear, aber der Winkel ändert sich) und die schwerwiegendere kurvenförmige Verformung (Rückbeschichtung ist unregelmäßig ausgedehnt, Magnetspur verläuft in Kurven). Ein Videoband, das um mindestens 1 % gestreckt ist, ist nicht mehr abspielbar. Bild 19 verdeutlicht die entstehenden Lesefehler.

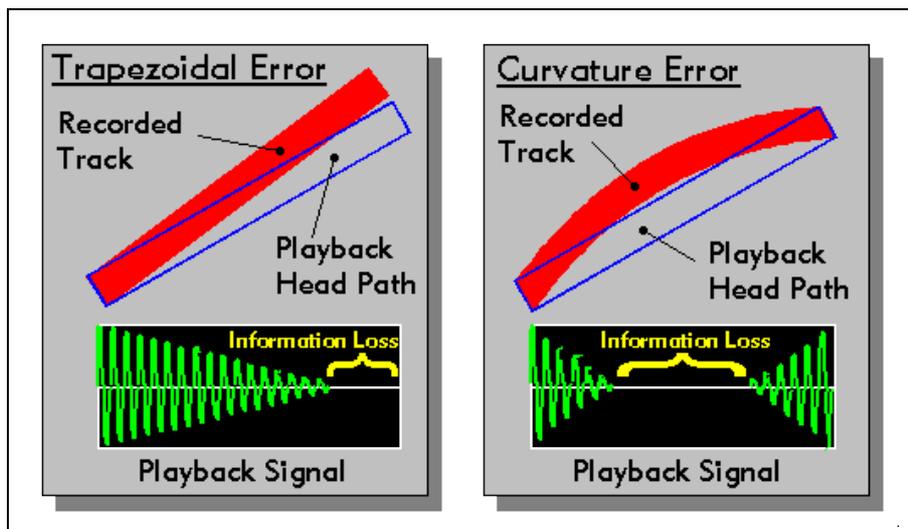


Bild 19: Entstehung von Lesefehlern bei Deformationssymptomen²¹

²¹ Quelle: Bogart 1995, S. 11

Bei Audiobändern kommt es zu einer leichten, kurvenartigen Verformung der Tonspuren, wodurch diese nur noch partiell gelesen werden können. Da diese aber immer parallel zum Rand des Tonbands verlaufen, ist die Deformation von Audiobändern nicht so tragisch wie bei Videobändern.

Symptome:

- radiale Musterung des Bandwickels (höhere Reflektion)
- Bandwickel ragen aus voller Spule, wellige Bandenden (bei einem Spulenkern)
- Verrutschen des Bandwickels in der Kassette (*flange pack*, siehe Bild 20)
- *Dropouts*, Bildflimmern (insbesondere am oberen Bildschirmrand) und im Extremfall diagonale Bildzeilen (beim Abspielen von Videobändern)
- zeitweise gedämpfter Ton, Verzerrungen oder doppelter Ton (beim Abspielen von Audiobändern)
- im Extremfall völliger Signalverlust

Schadensbehebung:

- Wiederherstellung der Umweltbedingungen (Temperatur und Luftfeuchtigkeit), bei denen das Band aufgenommen wurde, und langsames Spulen (ca. 76 cm/s)
- Backen (siehe Kapitel 2.4.3)
- irreparabel, wenn die Temperaturen zu hoch waren

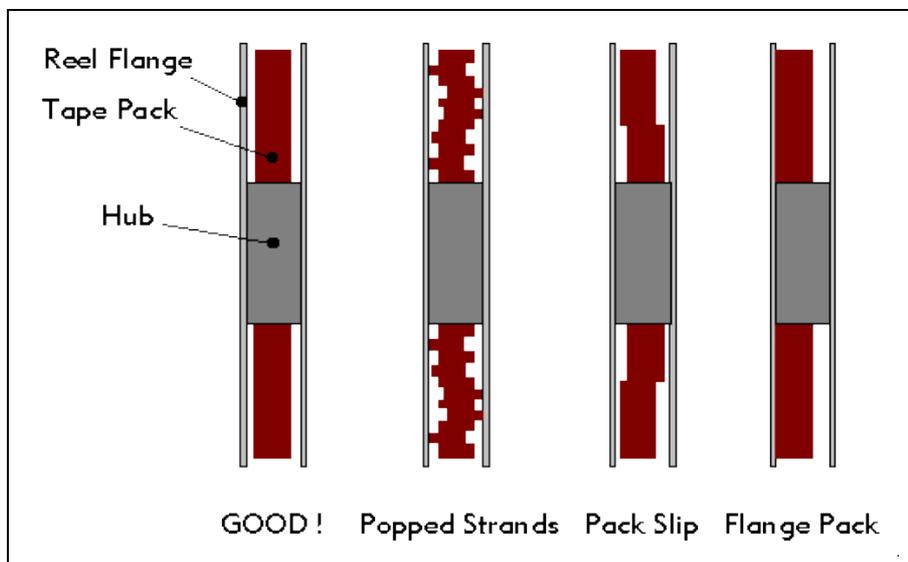


Bild 20: Möglichkeiten des Verrutschens des Bands in der Kassette²²

2.2.2.3 Physische Kontamination

Mögliche Ursachen:

- Staub und andere Schmutzpartikel
- ferner elektrostatische Aufladung

Wirkungsweise: Selbst kleinste Schmutzpartikel führen zum Signalverlust, wenn sie zwischen Lesekopf und Magnetband geraten. Am häufigsten sind Staub und Fingerabdrücke. Der Lesekopf gleitet über die Partikel hinweg, wobei der Abstand zum Band vergrößert wird. Das führt zu Beschädigungen am Lesekopf und beim erneuten Abspielen zum Signalverlust (*Dropouts*). Diese können auch bei relativ kleinen Schmutzpartikeln sehr groß ausfallen – Bild 21 verdeutlicht die Größenverhältnisse. Nahrungsmittelreste, insbesondere solche mit Zuckeranteil, führen zu Verklebungen des Bands.

Symptome:

- Verunreinigungen auf der Oberfläche, verklebtes Band
- häufige *Dropouts*, flackerndes Bild oder zerrissenes Bild beim Abspielen
- im Extremfall völliger Signalverlust

²² Quelle: Bogart 1995, S. 21

Schadensbehebung: Reinigung des Magnetbands (siehe Kapitel 2.4.1) sowie der Bandläufe und/oder des Lesekopfs im Abspielgerät

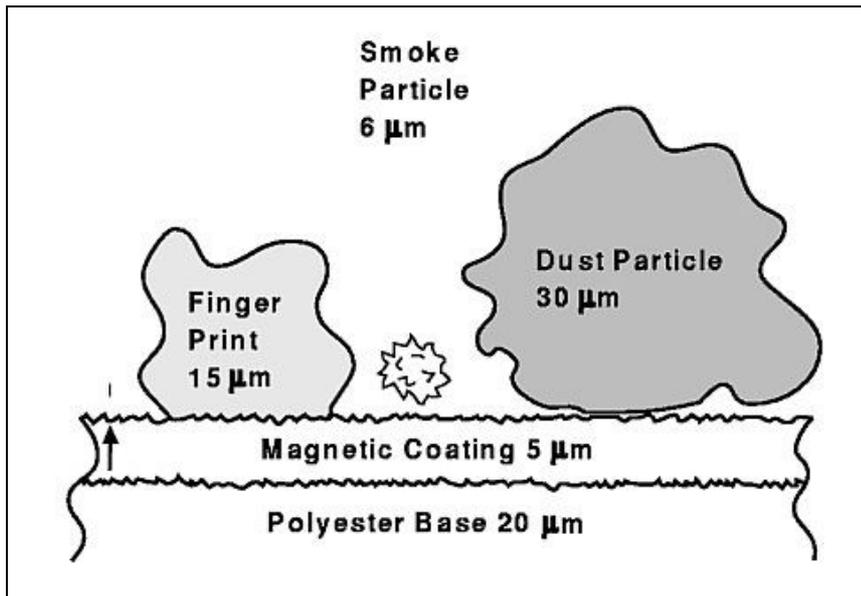


Bild 21: Größenverhältnisse von möglichen Verunreinigungen auf der Magnetband-Oberfläche²³

2.2.2.4 Einprägungen und Kopiereffekt

Mögliche Ursachen:

- unebene Oberfläche des Spulenkerns (z.B. durch Klebestellen oder geknicktes Bandende)
- Wechselstrom-Magnetfelder

Wirkungsweise: Ausbuchtungen oder Dellen im Spulenkern (30 µm oder größer) bewirken, dass der Abstand zwischen Magnetband und Lesekopf periodisch verringert bzw. vergrößert wird. Dadurch entsteht ein Druck, der Einprägungen im Magnetband verursacht, die auch bei kleinen Unebenheiten mehrere Dutzend Meter lang sein können.

Symptome:

- doppelter Ton beim Abspielen
- Störelemente im Bild beim Abspielen

Schadensbehebung: Reinigung des Magnetbands (siehe Kapitel 2.4.1) sowie der Bandläufe und/oder des Lesekopfs im Abspielgerät

2.2.2.5 Kratzer und Faltungen

Ursache: unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Zu hohe Reibung beim Abspielen verursacht Überhitzung. Lose Schmutzpartikel schmelzen, können sich mit dem Lesekopf verbinden und dadurch noch mehr Kratzer verursachen (Teufelskreis). Der Lesekopf ist verschmutzt und arbeitet nicht mehr korrekt.

Laufschrammen können entstehen, wenn ein verschmutztes Magnetband abgespielt wird, da die Schmutzpartikel den Abstand zwischen Lesekopf und Band erhöhen und so Druck auf die Bandoberfläche ausüben.

Symptome:

- Lücken im aufgespulten Bandwickel (weisen auf Faltungen hin)
- länger andauernde Unterbrechungen beim Abspielen (je nach Länge des Kratzers bzw. der Faltung)
- Überhitzung des Abspielgeräts

Schadensbehebung:

- Reinigung des Magnetbands (siehe Kapitel 2.4.1) sowie der Bandläufe und/oder des Lesekopfs im Abspielgerät
- ordnungsgemäßes Aufspulen des Magnetbands

²³ Quelle: Bogart 1995, S. 29

2.2.2.6 Beschädigungen am Magnetbandrand

Ursache: Beschädigungen jeglicher Art am Magnetbandrand

Wirkungsweise: Bei vielen (Video-)Magnetbändern wird der Ton auf einer linearen Magnetspur am Rand des Bands gespeichert. Wird diese beschädigt, dann wird der Ton nicht mehr korrekt wiedergegeben. Auf der gegenüberliegenden Seite befindet sich meist die Kontrollspur, die den Lesekopf dirigiert, sodass dieser nur die Aufzeichnungen und nicht die Bereiche dazwischen liest. Ist diese Spur beschädigt, dann wird der Lesekopf fehlgeleitet.

Symptome:

- gedämpfter oder verzerrter Ton beim Abspielen
- Störstreifen und Bildflimmern (beim Abspielen von Videobändern)

Schadensbehebung: Verändert sich die Ausrichtung der Magnetpartikel, ist dies gleichbedeutend mit einem irreparablen Informationsverlust.

2.2.2.7 Bandriss

Ursache: unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Bei unsachgemäßer Handhabung des Abspielgeräts können die sich aufbauenden Spannungen im Bandwickel so groß werden, dass es zerreißt.

Symptom: zwei oder mehr Einzelteile des ursprünglichen Magnetbands

Schadensbehebung: fachmännisches Zusammenkleben der Einzelteile

2.2.3 Chemische Schäden

2.2.3.1 Überblick

Bild 22 gibt zeigt die relativ komplexen chemischen Abbauprozesse der Emulsion bei Polyurethan-Magnetbändern.

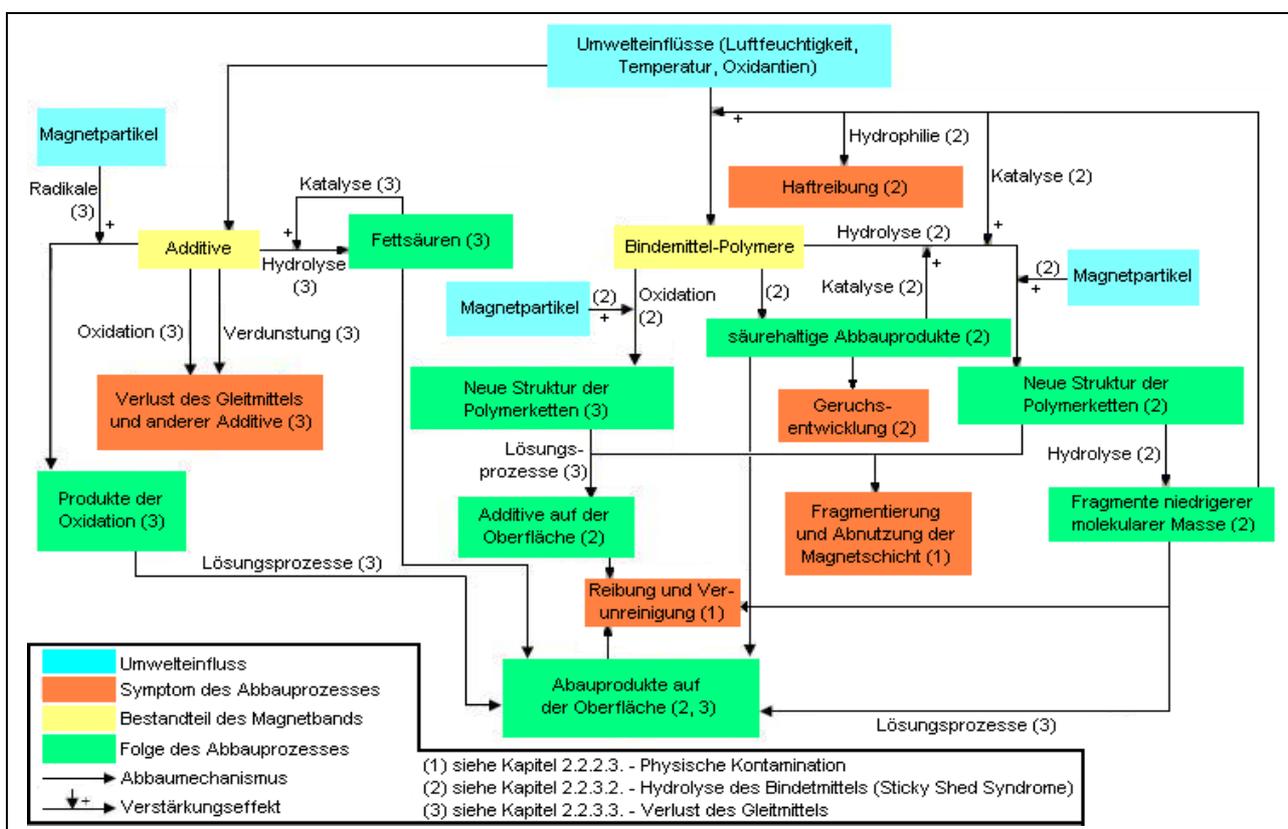


Bild 22: Funktionsschema der chemischen Abbauprozesse der Emulsion von Magnetbändern mit Polyurethan-Bindemitteln²⁴

2.2.3.2 Hydrolyse des Bindemittels (Sticky Shed Syndrome)

²⁴ Quelle: Thiebaut et al. 2006, S. 26; eigene Bearbeitung

Mögliche Ursachen:

- hohe Luftfeuchtigkeit (bzw. Wasserschaden), insbesondere in Kombination mit hoher Temperatur
- Reinigungsmittel, die Ammoniak oder Chlor enthalten
- UV-Strahlung
- Schimmelpilze
- hohes Alter

Wirkungsweise: Der Zerfall der Bindemittelpolymeren ist die größte Gefahr für Magnetbänder. Je höher die Luftfeuchtigkeit ist, desto stärker schreitet die Hydrolyse voran. Sie bewirkt, dass die langen Molekülketten des Polyurethans durch den Einfluss von Wassermolekülen in kürzere Ketten (Alkohole und saure Endgruppen) zerfallen. Diese kürzeren Ketten können sich sehr schnell wieder anderweitig miteinander verbinden, was zu neuen makromolekularen Strukturen führt. Die neuen Polymeren besitzen andere mechanische und chemische Eigenschaften als die Ausgangspolymeren.

Gelangen Reaktionsprodukte an die Oberfläche der Emulsion („Ausschwitzten“), können sie je nach Art und Fortschritt der Hydrolyse lose (pulverförmig) oder haftend (klebrig) vorliegen. „Ausgeschwitzte“ saure Substanzen auf der Magnetband-Oberfläche, die dort nach der Hydrolyse auftreten, führen dazu, dass diese polarisiert wird und es vermehrt zu Säure-Base-Reaktionen kommt. In der Folge haften die Metalloxide (Magnetpartikel) fester am Rest der Emulsion. Flüchtige saure Abbauprodukte können vom Magnetband als Gase abgegeben werden. In einer hermetisch abgeriegelten Umgebung haben diese allerdings einen katalytischen Effekt auf die Hydrolyse, und die Hygroskopizität (Anziehungskraft, die auf Wasser ausgeübt wird) steigt. Als Folge davon kann Feuchtigkeit leichter in die Magnetschicht eindringen und so die Zersetzung beschleunigen. Einige Studien zeigen, dass Chromdioxid-Partikel ebenfalls einen katalytischen Effekt auf die Hydrolyse von Polyurethan haben können.

In den meisten Fällen bewirken die Aufnahme von Feuchtigkeit und der komplexe Aufbau der entstehenden Reaktionsprodukte, dass diese einen dünnen, zähflüssigen und klebrigen Film auf der Oberfläche bilden. Das kann zu einer hohen Haftreibung zwischen Band und Lesekopf des Abspielgeräts führen. Das Abspielen wird somit stark erschwert oder völlig unmöglich gemacht. Beim Abspielen erleidet die Magnetbeschichtung zusätzliche Beschädigungen. In extremen Fällen kann sie sogar gänzlich zerstört und von der Trägerfolie abgelöst werden.

Manchmal wird die Hydrolyse dadurch beendet, dass Abbauprodukte entstehen, die sich nicht weiter zersetzen lassen. Diese kleinen Fragmente sind beweglicher und besitzen eine niedrigere Viskosität als die Ausgangspolymeren. Sie können an die Oberfläche und somit auf den Lesekopf des Abspielgerätes gelangen, sind aber (in organischen Lösungsmitteln) leicht löslich. Je nach Hersteller sind die Bindemittel in der Emulsion unterschiedlich stark anfällig für Hydrolyse.

Symptome:

- klebriges, manchmal brüchiges Band
- Verfärbungen und Pulverablagerungen auf der Bandoberfläche
- leicht saurer Geruch
- *Dropouts* beim Abspielen
- Quietschen beim Abspielen (schnelles Haften und Lösen des Lesekopfes im Wechsel)
- im Extremfall völliger Signalverlust

Schadensbehebung:

- Hydrolyseprozesse können theoretisch rückgängig gemacht werden, wenn man die Hydrolyseprodukte miteinander reagieren lässt und dadurch eine neue Polyester-Verbindung mit Wasser als Nebenprodukt entsteht. In der Praxis allerdings lässt sich eine stark zerfallene Bindemittelschicht kaum in ihre ursprüngliche Form zurückbringen, auch dann nicht, wenn das Magnetband unter extrem trockenen Bedingungen aufbewahrt wird.
- Reinigung des Magnetbands (siehe Kapitel 2.4.1)
- Trocknen (siehe Kapitel 2.4.2)
- Erneuerung des Bindemittels (siehe Kapitel 2.4.4)

2.2.3.3 Verlust des Gleitmittels

Mögliche Ursachen:

- Abbauprodukte der Hydrolyse
- häufiges Abspielen
- ferner niedrige Temperatur

Wirkungsweise: Gleitmittel sind Bestandteil der Emulsion und flüchtige, ölige Ester-Substanzen. Sie werden beim Abspielen verbraucht, können verdunsten, verringern die Reibung beim Abspielen und sind anfällig für Hydrolyse-Prozesse. Die Abbauprodukte der Hydrolyse von Gleitmitteln wiederum sind organische Fettsäuren. Diese haben andere Eigenschaften als Gleitmittel und können wegen ihres Säuregrades katalytisch auf ihre Entstehungsprozesse wirken. Bei den meisten korrosiven chemischen Reaktionsabläufen sind sehr reaktionsfreudige radikale Komponenten beteiligt. Deren Erzeugung wird durch Metalloxid-Partikel begünstigt. Bei der korrosiven Zersetzung der Polymeren des Gleitmittels durch Oxidation werden wahrscheinlich auch andere Additive verbraucht. Die Oxidation führt zu einer Veränderung der chemischen und mechanischen Eigenschaften der Polymeren.

Einige Gleitmittel tendieren dazu, am Lesekopf hängen zu bleiben. Bei zu niedrigen Temperaturen können sich die Gleitmittel vom Bindemittel lösen, was Dehnungen und Deformationen im Band oder Überhitzung beim Abspielen verursachen kann. Der Verlust von Gleitmitteln durch diverse Mechanismen wird zuweilen als „LOL-Syndrom“ (*Loss Of Lubricant Syndrome*) bezeichnet und führt zur Versprödung der Emulsion.

Symptome:

- brüchige Bandoberfläche
- Quietschen beim Abspielen (schnelles Haften und Lösen des Lesekopfes im Wechsel)

Schadensbehebung: In manchen Fällen ist die Erneuerung des Gleitmittels möglich (siehe Kapitel 2.4.4).

2.2.3.4 Versprödung des Trägermaterials

Mögliche Ursachen:

- Verlust des Gleitmittels
- UV-Strahlung

Wirkungsweise: UV-Strahlung, die längere Zeit auf Magnetbänder mit PET-Trägermaterial einwirkt, regt die Bindungselektronen der langen Molekülketten des PETs an. Die UV-Strahlung spaltet die chemischen Bindungen, wobei Radikale entstehen, die sofort mit den schon vorhandenen Radikalen im PET reagieren. Das bewirkt, dass das Trägermaterial versprödet.

Symptome: brüchiges Band

Schadensbehebung: Erneuerung des Gleitmittels (siehe Kapitel 2.2.4)

2.2.3.5 Abbau des Zelluloseazetats (Essigsäure-Syndrom)

Magnetbänder, deren Trägerschicht aus Zelluloseazetat besteht (vor allem Audio- und Datenbänder aus den 1940er und 1950er Jahren), sind – wie Filme auf Azetat-Basis auch – vom Essigsäure-Syndrom bedroht. Da die Ursachen, chemischen Abbaumechanismen, Symptome und Schadensbegrenzungsmaßnahmen identisch sind, sei hier auf Kapitel 1.2.3.2 verwiesen.

2.2.4 Pilzbefall

Mögliche Ursachen:

- vor allem hohe Luftfeuchtigkeit (bzw. Wasserschaden), insbesondere in Kombination mit hoher Temperatur
- stehende Luft
- organische Partikel

Wirkungsweise: Schimmelpilze können sich bilden, wenn Pilzsporen auf die Bandoberfläche gelangen und kleine Lufteinschlüsse in den Bandwindungen oder Kassetten bestehen und so für ein Mikroklima sorgen. Sie sind die am häufigsten auftretenden biologischen Schädlinge und ernähren sich von der Emulsion oder von anderen organischen Partikeln auf dem Magnetband.

Sich zersetzende Nahrungsmittelreste können das Pilzwachstum fördern. Der Lesekopf des Abspielgeräts erhält dann nur ein abgeschwächtes oder verfälschtes Signal.

Symptome:

- trockenes weißes oder braunes Pulver (tote Schimmelpilze)
- weiße oder braune Fäden bzw. Ausfransungen und giftige Gase (lebende Schimmelpilze, Schmier Spuren bei Berührung)
- *Dropouts* beim Abspielen

Schadensbehebung: Ein Band, auf dem sich aktiver Schimmel befindet, muss sofort isoliert und darf nicht gereinigt werden, sondern muss unter trockenen Bedingungen aufbewahrt werden, bis der Schimmel abgestorben ist. Danach kann er einer gründlichen Reinigung unterzogen werden (siehe Kapitel 2.4.1).

2.3 Inspektion von Magnetbändern

Es sei vorweg genommen, dass es derzeit kein Diagnosewerkzeug für den Fortschritt des Zerfalls von Magnetbändern (wie z.B. den A-D-Streifen für Azetatfilme) gibt, das universell einsetzbar ist. Die besten Indikatoren für Zersetzungsprozesse sind die Oberflächeneigenschaften (Oberflächenspannung und Säuregehalt) und die mechanischen Eigenschaften (Reibung und Haltbarkeit). In Zukunft könnten auch chemische Indikatoren herangezogen werden, nämlich die chemische Analyse der Abbauprodukte (flüchtige Verbindungen) und der löslichen Stoffe. In der Praxis basiert eine Schadenserhebung auf Sichtkontrolle und vor allem auf Erfahrung des Inspektors.

Da Art und Umfang der chemischen Zersetzungsprozesse stark von der Herstellungsart der Magnetbänder abhängen, ist das *Centre de Recherches sur la Conservation des Documents Graphiques* (CRCDG) dabei, eine Magnetband-Datenbank einzurichten, die als Referenz für Werkstoffidentifikation, Gefährdung und Abspielbarkeit dienen kann.

Am aussichtsreichsten scheint die Entwicklung solcher Tools zu sein, die das Reibungsverhalten als Parameter nutzen, da hierzu so gut wie keine komplexen chemischen Untersuchungen durchgeführt werden müssen. Solche Tools erlauben jedoch keine langfristigen Vorhersagen; hierfür müssen chemische Diagnosetools entwickelt werden, die Abbauprodukte und Lösungsmittel quantifizieren.

2.3.1 Vorbereitung der Inspektion

Eine Schadenserhebung sollte immer vor und nach dem Transport, vor dem Abspielen, dem Magazinieren und periodisch während der Lagerung durchgeführt werden. Die Inspektionsstandards AES 22-1997 und ISO 18923 sind zu beachten.

Es sollte Klarheit darüber bestehen, wie man die während der Inspektion gewonnenen Informationen festhalten will. Geeignet hierfür ist die Eingabe in ein Datenbanksystem. Erfasst werden sollten zumindest das Inspektionsdatum, die Archivnummer des Datenträgers, Titel, Datenträgerformat, Herstellerfirma, die festgestellten Schäden und der Name des Inspektors.

Der Arbeitsplatz sollte sauber und trocken sein. Nicht fuselnde Baumwoll-Handschuhe schützen Hände und Datenträger und sollten bei Magnetbändern eingesetzt werden, die nicht durch Kassetten geschützt sind. Dabei besteht aber die Gefahr, dass durch das Herumhantieren Schmutzpartikel auf die Bänder übertragen werden. Besondere Vorsicht ist bei offenen Spulen geboten. Das Magnetband selbst sollte nicht berührt werden. Die Hände sollten immer sauber und trocken sein. Gesichtsmasken sollten bereitliegen, falls Pilzbefall festgestellt wird.

2.3.2 Inspektion des Behältnisses

Neben dem eigentlichen Magnetband ist auch sein etwaig vorhandenes Behältnis (meist Kassette) zu inspizieren. Bei offenen Bandspulen sollte man niemals Druck auf die Randscheiben des Spulenkerns ausüben.

Es sollte Folgendes überprüft werden:

- Steckt die Kassette in einer Plastikhülle? Ist diese luftdicht?
- Ist die Kassette beschädigt (siehe Bild 23)?

- Welches Datenträgerformat liegt vor und von welcher Herstellerfirma (Anhaltspunkte für Alter und Zustand)?
- Stimmen die Etiketten auf Kassette und Hülle überein?
- Ist das Etikett unbeschädigt, und haftet es noch korrekt auf der Kassette?
- Ist die Kassette vor Aufnahme geschützt (fehlende Lasche, siehe Bild 24)?
- Ist die Kassette verschmutzt? Ist die Kassette äußerlich oder innerlich verschmutzt, sollte sie mit einem fusselfreien Lappen oder mit Druckluft gereinigt werden.
- Gibt es Hinweise auf einen Wasserschaden? Wenn dies der Fall ist, sollte die Kassette auf Wasserflecken und Schimmelpilze untersucht werden.
- Sind im Inneren des Gehäuses dünne braune oder schwarze Oxid-Beläge zu sehen? Wenn dies der Fall ist, sollte ein Restaurator hinzugezogen werden. Viele Schäden sind mit bloßem Auge nicht zu sehen. Kassetten dürfen nicht von Laien geöffnet oder am Klappmechanismus berührt werden.



Bild 23: deformierte VHS-Kassette²⁵



Bild 24: VHS-Kassette im gesicherten Modus²⁶

2.3.3 Inspektion des Magnetbands

Verdächtige Bänder sollten zuerst nur auf Armlänge begutachtet werden. Wenn sie einen verdächtigen Geruch ausströmen (Wedeltest), sollte man mit Mundschutz und Handschuhen arbeiten.

Bevor man das Band in die Hand nimmt, sollte man es auf Pilze untersuchen. Magnetbänder mit Schimmelpilzen bilden giftige Gase und sollten sehr vorsichtig (mit Mundschutz und Handschuhen) gehandhabt werden. Bei Pilzbefall sollte man das Band von den anderen isolieren und einen Restaurator hinzuziehen.

Ältere Bänder verströmen oft einen beißenden Geruch nach Essig, was auf das *Sticky Shed Syndrome* hindeutet. Diese Bänder sollten vom Restbestand isoliert und auf weißes Pulver und kristalline Rückstände am Rand sowie auf Fingerabdrücke, Staub und andere Schmutzpartikel untersucht werden.

Bei Kassetten kann man die Spulen in entgegengesetzte Richtungen drehen und registrieren, ob das Band dabei stark verrutscht. Verzerrte oder lose aufgewickelte Bänder sollte man zurückspulen. Bei Einzelspulen sollte man überprüfen, ob das Band zu lose auf die Spulen gewickelt ist, ob einzelne Wickellagen hervorstecken, und ob das Bandende ausreichend gesichert ist (durch spezielles Befestigungsband). Dreht sich die Spule, wenn man am Bandende zieht, ist es zu lose aufgewickelt. Hat sich das Band gelockert oder gelöst, kann man es vorsichtig wieder aufwickeln. Zwischenräume im Bandwickel deuten ebenfalls auf eine zu lockere Aufwicklung hin. Verspannungen bestehen, wenn es speichenförmige Deformationen im Bandwickel gibt.

Werden Schäden oder Verunreinigungen bei einem Magnetband festgestellt, darf das Band nicht abgespielt werden, sondern es sollte eine spezialisierte Institution kontaktiert werden. Bei einwandfreiem Aussehen des Bands darf es in einem passenden, gut gewarteten Abspielgerät abgespielt werden, um die Qualität der Wiedergabe zu überprüfen.

2.3.4 Messung der Fehlerrate bei digitalen Magnetbändern

Den Zustand digitaler Magnetbänder (z.B. von DAT-Kassetten) kann man mittels Messung der Fehlerrate (Abweichung der Rohdaten) mit einem qualitativ hochwertigen, professionellen digitalen Bandaufnahmegerät ermitteln. Dieser Test dauert nur ein paar Minuten und sollte routinemäßig in

²⁵ Quelle: <http://www.arts.state.tx.us/video/risks.asp>

²⁶ Quelle: <http://www.arts.state.tx.us/video/id/vhs.asp>

einem gewissen Intervall wiederholt werden, wobei die Fehlerraten verglichen werden. Eine niedrige Fehlerzahl ist normal und kann mit einer ausgeklügelten Fehlerkorrekturmaßnahme berichtet werden. Nach einigen Jahren kann die Fehlerrate aber ansteigen, und wenn sie ein gewisses Niveau erreicht, kommt die Fehlerverschleierung (*error concealment*) ins Spiel. Das ist ein Vorgang, bei dem das Gerät nicht lesbare bzw. wieder herstellbare Informationen einfach schätzt.

Digitale Magnetbänder sollten kopiert werden, bevor die Fehlerverschleierung beim Abspielen nötig wird. Informationen darüber, wie hoch die Fehlerrate sein darf, bevor die Fehlerverschleierung vom Gerät eingesetzt wird, sind beim jeweiligen Band-Hersteller erhältlich.

2.3.5 Die siebenstufige physische Inspektion

Die folgende siebenstufige physische Inspektion von Magnetbändern ist ISO-genormt (ISO 18923) und sollte in dieser Reihenfolge durchgeführt werden. Sie stellt das Minimum dar, da sie nicht alle Mängel aufdecken kann.

1. Das Behältnis (Dose, Hülle oder Kassette) sollte auf Schäden untersucht werden, die die bewahrende Funktion des Behältnisses beeinträchtigen können. Wenn das Behältnis beschädigt ist, hat das Magnetband mit einiger Wahrscheinlichkeit ebenfalls Schaden erlitten. Stellen Sie Beschädigungen an der Hülle oder der Kassette fest, lassen Sie das Band drin.

2. Es ist ein Geruchstest durchzuführen. Wird ein Modergeruch festgestellt, sollte die Inspektion beendet werden, da hier wahrscheinlich Schimmelbefall vorliegt. Die Hydrolyse des Polyurethan-Bindemittels produziert Ester, die unverwechselbar riechen, aber sich schnell verflüchtigen. Die am häufigsten auftretenden Gerüche kann man als wachsig, „nach schmutzigen Socken riechend“, sauer oder stechend charakterisieren, je nach Bindemittel. Diese Bänder sollten nicht abgespielt werden, da sie sich dabei verhaken oder verkleben können. Dadurch kann zusätzlicher Schaden entstehen, weil beim Abspielen die mechanische Beanspruchung der einzelnen Schichten um ein Vielfaches steigt. Frühe Bänder, deren Trägerfolie teilweise aus Azetaten besteht, setzen einen essigartigen Geruch frei, wenn sie vom Essigsäuresyndrom befallen sind.

3. Das Behältnis und die Ränder des Magnetbands sollten auf senffarbene, schwarze, braune oder pilzfarbene Verunreinigungen sowie auf flaumigen oder fadenartigen Bewuchs untersucht werden. Dies deutet auf Pilzbefall hin. Von Schimmel befallene Bänder sollten isoliert in versiegelten Plastik-Behältnissen aufbewahrt und schnellstmöglich von Fachleuten behandelt werden. Schimmel, egal ob lebendig oder abgestorben, stellt eine Gesundheitsgefährdung der Atemwege dar.

4. Mit einer Lichtquelle schräg oben hinter dem Inspekteur sollte das Band auf lose Bandwickel, verrutschtes Band, Schäden am Bandrand und andere Deformationen untersucht werden. Dabei hält man das sichtbare Magnetband im 45°-Winkel zur Lichtquelle. Werden Deformationen festgestellt, sollte der Zustand des Bands dokumentiert und ein Restaurator konsultiert werden.

5. Das Behältnis und die Bandränder sollten auf Schmutzpartikel und Flecken untersucht werden. Letztere deuten auf den Kontakt mit einer Flüssigkeit hin.

6. Die Bandränder sollten auf weißen, pulverförmigen Abrieb und kristallförmige Ablagerungen untersucht werden. Das Innere des Behältnisses sollte keine dünne Schicht aus schwarzen oder braunen Oxiden aufweisen. Treten diese Symptome auf, befindet sich das Band im Zersetzungsprozess. Dann sollte man einen Restaurator konsultieren (Backen).

7. Bei offenen, aufgespulten Bändern muss ein Stück Band locker senkrecht gehalten werden und auf Verschmutzungen der Bandoberfläche, Zerknitterung oder Bindemittelprobleme untersucht werden. Physische Schäden, die von fehlerhafter Bandspannung verursacht werden, treten meist an den Rändern in Form von Knicken oder Wellungen auf. Bandabschnitte, die eine andere Farbe aufweisen als der Rest des Bands, deuten auf Bindemittelversagen hin. An diesen Stellen hat sich die Magnetbeschichtung von der Trägerfolie gelöst. Das Band ist grundsätzlich nicht ohne (Baumwoll-)Handschuhe anzufassen. Dabei ist zu bedenken, dass damit eine Spule weniger sicher gehalten werden kann. Es ist zu berücksichtigen, dass der erste halbe oder ganze Meter eines Bands vom Einfädeln, Anfassen etc. zusätzliche Spuren aufweist, die unter Umständen nichts mit altersbedingten Verfallserscheinungen zu tun haben. Andererseits sollte das Band nicht soweit abgewickelt werden, dass mit Informationen beschriebene Abschnitte erreicht werden.

2.3.6 Labortests

Labortests sind Teil der Bestrebungen, eine Material schonende Inspektionsmethode zu entwickeln. Es sei erwähnt, dass es neben den drei im Folgenden näher beschriebenen Labortests noch weitere Testverfahren gibt, die allerdings hauptsächlich Forschungszwecken dienen – derzeit wird (u.a. im Rahmen des EU-Projekts „PrestoSpace“) intensiv an der Entwicklung einfach zu handhabender Diagnosetools gearbeitet. Dabei stehen ein Verfahren zur Ermittlung der Veränderung der Kohäsionskräfte in der Emulsion sowie ein Verfahren zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit von Lesekopfverschmutzung im Mittelpunkt.

2.3.6.1 Reibungstest

Je mehr ein Magnetband vom *Sticky Shed Syndrome* befallen ist, desto schwieriger wird es, das Band abzuspielen, da die Oberfläche zunehmend verklebt. Schon vor 30 Jahren wurde ein Reibungstest entwickelt, der das Material nicht zerstört und deshalb auch auf Archivalien anwendbar ist. Heute ist er ISO-genormt. Dieses Verfahren ist allerdings nicht dazu geeignet, den Grad der Hydrolyse des Bindemittels messen.

Für diesen Test wird ein spezielles Reibungstest-Gerät (entwickelt von CRCDG in Kooperation mit INA, siehe Bild 25) benötigt, das folgendermaßen funktioniert: Ein Abschnitt des Bands wird auf eine abschüssige Fläche gelegt. Oberhalb befindet sich ein Abnehmer, der punktuellen Kontakt zum Magnetband hat. Die abschüssige Fläche wird angehoben, bis der Abnehmer abgleitet. Je ausgeprägter die Zersetzungsprozesse sind, desto klebriger ist das Band und desto weiter wird die Fläche angehoben, bis der Abnehmer sich bewegt. Der Reibungskoeffizient wird über den Tangens der angehobenen Fläche und der Horizontale bestimmt. Bei problematischen Bändern beträgt er etwa 3,5 bis 4,5.

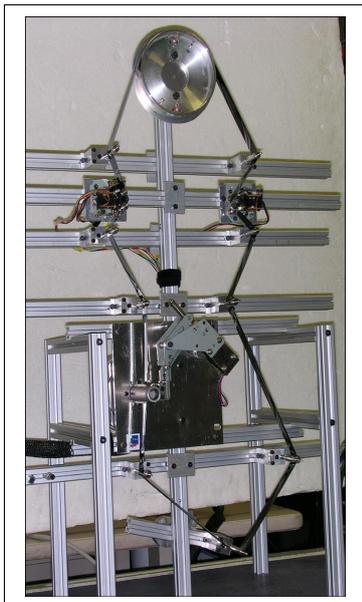


Bild 25: Reibungstest-Gerät des CRCDG²⁷

2.3.6.2 Säuretest

Während des Abbaus des Bindemittels werden Karbonsäuren gebildet, was die Bestimmung des Säuregehalts zu einem veritablen Test des Zerfallsfortschritts macht. Dieser Test besteht in der Bestimmung des pH-Werts bzw. im Verfahren der Titration (Volumetrie). Damit kann man aber nur die wasserlöslichen säurehaltigen Abbauprodukte messen, also bei weitem nicht alle organischen Säuren, die in der Magnetschicht enthalten sind. Die Abbauprodukte eines Magnetbands unterscheiden sich signifikant von denen eines Azetatfilms.

Etwas problematisch ist der Säuretest aus folgenden Gründen: Während der Azetat-Abbau kleine Säuremoleküle produziert, kann das Bindemittel auch in größere Molekülketten zerfallen, die

²⁷ Quelle: Thiebaut et al. 2006, S. 21

wasserlöslich sein können oder auch nicht. Außerdem ist es unklar, ob der für Azetatfilme verwendete Säureindikator Metakresol auch zur Titration der Karbonsäuren verwendet werden kann, die beim Zerfall von Magnetbändern entstehen können. Letzteres Problem kann man lösen, indem man den pH-Wert während der Titration misst.

Für die Ermittlung des pH-Werts durch Titration wurde das folgende Testverfahren von der IPI entwickelt. Es funktioniert mittels Wasserentzug und dient dazu, den Fortschritt des Abbaus von azetathaltigem Filmmaterial zu bestimmen. Es wirkt destruktiv und darf nicht auf Archivalien angewendet werden:

1. Probe-Entnahme aus dem Film, abhängig von dessen Größe (Gewicht ca. 1g)
2. Zerschneiden dieser Probe in kleine Stücke und Einbringen in entionisiertes Wasser
3. Wasserentzug (mindestens 24-stündiges Einweichen der Probe in Wasser bei 38 °C und ständigem Umrühren)
4. Filtrieren der Lösung zum Entfernen der Probestücke
5. Hinzufügen von lilafarbenem Metakresol-Indikator
6. Titration mit 0,1 N Natriumhydroxidlösung und Durchführung einer weiteren Titration, ebenfalls mit entionisiertem Wasser. Die zweimalige Titration dient zur Bestimmung von ionischen Tensiden in wässriger Lösung. Der Endpunkt ist der Farbumschlag einer Farbstoffmischung in der organisch-chlorierten Phase.
7. Berechnung des Säuregehalts. Das Ergebnis liegt in Millilitern von 0,1 N Natriumhydroxid pro Gramm Magnetband vor.

Dieser Test wird mit insgesamt vier Proben wiederholt. Der Durchschnittswert des Säuregehalts gilt dann als Referenz für ein konkretes Magnetband. Der lilafarbene Metakresol-Indikator erweist sich als brauchbar, um schwache Säuren (z.B. Essigsäure) mit einer starken Base (z.B. Natriumhydroxid) zu titrieren (pH-Werte von 7,4 (gelb) bis 9,0 (lila)). Bei problematischen Bändern beträgt der Säuregehalt ca. 0,15 bis 0,35 ml/g.

Die Messung des Säuregehalts kann in Zukunft nützliche Informationen in der Magnetbandforschung liefern, ist aber als Indikator des Zersetzungsfortschritts von Magnetbändern nur bedingt geeignet. Das o.a. Testverfahren wurde ursprünglich bei Azetatfilmen angewandt und kann auf Magnetbänder übertragen werden. Bei weitergehenden Forschungen ist es möglich, dass dieses Testverfahren in zukünftigen einfachen Diagnosewerkzeugen zur Anwendung kommt.

2.3.6.3 Azeton-Extraktion

Dieser Test ist am besten geeignet, um den Fortschritt von Zersetzungsprozessen festzustellen. Er kann nur bei azetonhaltigen Magnetbändern angewendet werden und ist aufgrund seiner destruktiven Wirkung unter keinen Umständen bei Archivalien anzuwenden. Die Abbauprodukte des Polyurethan-Binders sind in Azeton löslich. Der Gewichtsanteil dieser Abbauprodukte dient als Maß dafür, wie stark die Hydrolyse vorangeschritten ist und erlaubt Rückschlüsse auf die Stabilität des Polyurethan-Bindemittels.

Der Gewichtsanteil der herauslösbaren Abbauprodukte hängt von vielen Faktoren ab. Andere Bestandteile wie z.B. Gleitmittel sind ebenfalls in Azeton löslich, die Hersteller verwenden verschiedene Zusammensetzungen, es gibt verschiedene Bandformate, und nicht zuletzt ist die Dauer der Extraktion von entscheidender Bedeutung. Bewährt hat sich eine Extraktionsdauer von 30 Minuten.

Beim Azeton-Extraktionstest (nach IPI) müssen folgende Schritte befolgt werden:

1. Vorbereitung der Proben (Probe-Entnahme aus dem Magnetband, abhängig von der Größe)
2. Akklimatisierung (1 Stunde lang bei 21 °C und 50 % Luftfeuchtigkeit)
3. Wiegen (in einer Wiegeflasche mit 0,1 mg Genauigkeit)
4. Extraktion mit Azeton (Zusammenfaltung der Probe und halbstündiges Eintauchen in 30 ml Azeton)
5. Trocknen (Probe wird entnommen, noch einmal durchtränkt, zum Trocknen und Verdunsten des Azetons 15 Minuten lang auf Filterpapier abgelegt und schließlich noch 15 Minuten bei 50 °C im Ofen getrocknet)
6. Akklimatisierung (1 Stunde lang bei 21 °C und 50 % Luftfeuchtigkeit)
7. Erneutes Wiegen (in einer Wiegeflasche mit 0,1 mg Genauigkeit)
8. Berechnung des Gewichtsanteils der gelösten Bestandteile der Probe über den Gewichtsverlust

Dieser Test wird mit insgesamt vier Proben wiederholt. Der Durchschnittswert des Gewichtsanteils gilt als Referenz für das getestete Magnetband. Bei problematischen Bändern rangieren die Werte bei ca. 1,5 bis 4,1 %.

2.4 Restaurierungsmaßnahmen bei Magnetbändern

Die Prioritäten für Restaurierungsarbeiten ergeben sich aus dem Alter, dem Zustand, der Signifikanz und dem Wert des Magnetbands. Eine Restaurierung des ursprünglichen Trägermediums kann für die Anfertigung von Archiv- und Arbeitskopien des ursprünglichen Originals notwendig sein.

Die Restaurierung des Trägermediums umfasst die Maßnahmen, die notwendig sind, um ein beschädigtes oder abgenutztes Band wieder in einen Zustand zu bringen, der dem Originalzustand so ähnlich wie möglich ist.

2.4.1 Reinigungsmaßnahmen

Bänder müssen gereinigt werden, wenn sie klebrige oder pulverförmige Ablagerungen aufweisen. Reinigen sollte man das Band auch, wenn das Abspielgerät stockt oder quietscht. Eine regelmäßige prophylaktische Reinigung ist nicht nötig, wenn das Band gut gelagert wird.

Eine Bandreinigung sollte nicht ohne entsprechende Ausbildung und Ausrüstung durchgeführt werden. Ein Band darf nur abgewischt werden, wenn die Schmutzpartikel trocken sind. Ist die Oberfläche feucht oder klebrig, darf das Band nicht abgespielt oder gereinigt werden, bis es von einem Experten behandelt wurde. Ist ein Magnetband von Schimmel befallen, muss selbiger abgetötet werden, bevor man das Band reinigen kann. Eine oberflächliche Beseitigung von Schimmel tötet den Pilz nicht ab. Nach jeder Bandreinigung sind die Säuberungsgeräte zu dekontaminieren.

Die beste Methode der Reinigung von Hand ist das Benutzen eines langfasrigen, fusselfreien, weichen Wischtuchs („Pellon“), das bei auf Archive spezialisierten Händlern erhältlich ist. Beide Seiten des Magnetbands müssen gesäubert werden. Es ist sehr wichtig, dass der beim Abwischen aufgesammelte Schmutz nicht wieder zurück auf die Bandoberfläche gelangt.

Von Hydrolyse betroffene Stellen auf dem Magnetband können mit einem Baumwolltupfer und einer Reinigungsflüssigkeit gesäubert werden. Allerdings wird der Gebrauch von Reinigungsflüssigkeiten grundsätzlich nicht empfohlen. Eine effektive Reinigungslösung ist eine einprozentige Cetrimoniumbromid-Lösung in destilliertem Wasser. Nach deren Verwendung sollte man das Band mit einem weichen Tuch wässern und trocknen.

Man kann die Bandoberfläche auch mit einem kleinen Sauggerät reinigen. Rasierklingen, Abspielköpfe und andere scheuernde Materialien dürfen nicht zur Reinigung verwendet werden.

Zur Reinigung von Magnetbändern mit Pulver auf der Oberfläche und um den Säuberungseffekt der Reinigung von Hand noch zu verbessern, kann die Bandoberfläche auch poliert werden. Dabei dürfen aber nur für Magnetbänder eingerichtete Poliermaschinen verwendet werden. Für Kassetten gibt es spezielle Reinigungsgeräte. Diese sind eine Kombination aus Polyester-Gleitrollen, Vakuum-Kammer und Poliermittel. Einige Reinigungsmaschinen besitzen eine rasiermesserscharfe Klinge. Diese muss sauber gehalten werden, um Schäden am Band zu vermeiden. Bänder mit Klebestellen (eher selten, meist Audiobänder) dürfen nicht mit einem solchen Gerät gereinigt werden.

2.4.2 Trocknung

Ziel der Trocknung ist das befristete Ermöglichen des Abspielvorgangs. Dabei werden Feuchtigkeitsreste konsequent beseitigt. Wenn die Anleitung gewissenhaft befolgt wird, nimmt das Magnetband keinen Schaden. Der Vorgang ist über Jahre hinweg wiederholbar, aber nicht auf Bänder mit Wasserschaden anzuwenden – diese müssen gereinigt, ausgespült und bei Raumtemperatur getrocknet werden. Bei der Trocknung von Magnetbändern ist folgendermaßen vorzugehen:

1. einen verschließbaren Raum mit sauberen Regalen benutzen
2. Hygrothermograph im Raum platzieren (zum Aufzeichnen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit)

3. ggf. einen tragbaren Lufttrocknungsapparat im Raum platzieren (zum Erhalt von 30 % relativer Luftfeuchtigkeit)
4. Band aus dem Behältnis nehmen und jegliche kondensierte Feuchtigkeit und andere Verschmutzungen aus dem Behältnis entfernen
5. Band und zugehöriges Behältnis senkrecht ins Regal stellen. Eine vertikale Position ist wichtig, damit die trockene Luft gleichmäßig um und in das Band zirkulieren kann.
6. Band in dieser sauberen, trockenen Umgebung lagern, bis der Behandlungsprozess abgeschlossen ist. Dabei Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf Veränderungen hin kontrollieren.
7. Die benötigten Trocknungszeiten hängen von verschiedenen unbekanntem Faktoren ab. Eine Woche stellt das Minimum dar, in einigen Fällen ist ein Monat nötig.
8. Um den Fortschritt der Trocknung festzustellen, nimmt man das Band aus dem Kühlschrank bzw. Kühlraum, lässt es ein bis zwei Tage lang akklimatisieren und versucht es dann abzuspielen. Wenn es immer noch nachweisliche Abspielprobleme gibt, sollte es noch einige weitere Wochen im Kühlschrank bzw. Kühlraum lagern. Diesen Schritt kann man wiederholen, bis keine Abspielprobleme mehr auftreten.
9. Nach Beendigung des Trocknungsverfahrens sollte man das Band einmal vor- und zurückspulen. Dabei sollte der Raum, in dem das Spulgerät steht, kühl und trocken sein. Dann kann man es zurück in sein Behältnis geben und magazinieren.

2.4.3 Backen

Das Backen ist umstritten und darf nur von Fachleuten durchgeführt werden (bei Audiobändern und bei digitalen Bändern, die zwei Spulen besitzen). Es bewirkt eine temporäre Verbesserung der Bindungseigenschaften des Bindemittels. Innerhalb von ein bis zwei Wochen nach dem Backen müssen die Daten des gebackenen Magnetbandes migriert werden. Bei Videobändern und Bändern mit nur einer Spule ist vom Backen abzuraten. Bänder mit Pilzbefall dürfen nicht gebacken werden, bis der Pilz entfernt worden ist.

Beim Backen von Magnetbändern ist folgendermaßen vorzugehen:

1. Band einmal vor- und einmal zurückspulen
2. Band bis zum Bandende abspielen. Wird das Band nicht korrekt (flach) aufgewickelt, muss es zurückgespult werden und auf einem anderen Spulgerät erneut versucht werden. Bei einer korrekten Aufwicklung auf die zweite Spule ist Backen möglich.
3. Mehrere Stunden bei 43 bis 49 °C (AMPEX-Empfehlung: 50 °C) in einem Backgerät backen.
4. Nach dem Abkühlen das Band zurückspulen und noch einmal abspielen.

2.4.4 Erneuerung von Binde- und Gleitmittel

Eine Erneuerung der fehlenden Binde- und Gleitmittel in der Emulsion kann heutzutage von spezialisierten Servicefirmen durchgeführt werden – zumindest soweit, dass das Band abspielbar ist. Wenn zuviel Gleitmittel zugefügt wird, wirkt die überflüssige Menge als Verunreinigung auf der Bandoberfläche, was beim Abspielen zu *Dropouts* und Signalverlusten führt.

2.4.5 Etikettierung

Lösen sich Etiketten ab oder werden sie unleserlich, kann es nötig sein, neue Etiketten anzubringen. Die Etiketten sollten mit Tinte (auf keinen Fall Bleistift) beschriftet werden. Etiketten sollten nicht am Magnetband selbst, sondern immer an dessen Schutzhülle angebracht werden. Wurde das Etikett an der Kassette angebracht, sollte es im Nachhinein nicht nochmals beschriftet werden.

3 Vinyl-Schallplatten

Vorab sei gesagt, dass die im frühen 20. Jahrhundert weit verbreiteten Schellack-Platten auch Schallplatten sind. Weil im Stadtarchiv Bamberg aber keine Schellack-Platten vorhanden sind, werden im Folgenden nur die allgemein als Langspielplatten (LPs) bekannten Vinyl-Schallplatten abgehandelt.

3.1 Aufbau von Vinyl-Schallplatten

3.1.1 Überblick

Eine Vinyl-Schallplatte ist eine runde, meist schwarze Scheibe, auf der Töne analog aufgezeichnet sind. Schallplatten können auf drei verschiedene Arten hergestellt werden: Industrielle Pressung, Spritzgussverfahren und Einzelschnitt.

Als Rohstoff für die gepressten Schallplatten wird Polyvinylchlorid (PVC) verwendet, dem zu etwa 20 % Polyvinylazetat (PVAc) und weitere Additive zugesetzt werden. Der eigentliche Rohstoff ist milchig-transparent und kann durch Zusatz von Farbstoffen eingefärbt werden. Die früher notwendige Beimischung von Ruß ist heute nicht mehr erforderlich. Die genaue Zusammensetzung des Materials kann zwischen unterschiedlichen Presswerken variieren.

Für die Herstellung von 7-Zoll- oder kleineren Formaten kann auch ein Spritzgussverfahren angewendet werden. Hierbei wird Polykarbonat verwendet.

Bei sehr kleinen Stückzahlen wird das Tonmaterial direkt in einen Rohling eingeschnitten. Ursprünglich bestanden diese Rohlinge aus einer mit Polyvinylazetat beschichteten Aluminiumplatte und hatten nur eine geringe Lebenserwartung. Mittlerweile gibt es auch langlebigere Vinyl-Rohlinge (Gemisch aus PVC und PVAc), die sich bei fachgerechter Herstellung nicht von den handelsüblichen gepressten Vinylplatten unterscheiden.

Die Schallspeicherung erfolgt mechanisch durch Aufzeichnen des Schalls in einer spiralförmig zum Mittelpunkt der Platte verlaufenden Rille und gehört zu den Nadeltonverfahren. Die heutzutage allgemein verwendete Mikrorille hat unmoduliert eine Breite von 40 µm, der Rillengrund ist dabei mit einem Radius von 8 µm verrundet. Der Rillenabstand beträgt bei linearem Vorschub ohne Verwendung von Füllschrift etwa 70 µm. Die Rillenwand ist entsprechend der Amplitude des Schallsignals ausgelenkt. Üblicherweise wird sowohl auf der Vorder- als auch auf der Rückseite der Schallplatte aufgezeichnet.

Zur Wiedergabe können unterschiedliche mechanische oder elektrische Tonabnehmersysteme verwendet werden. Bei der Aufzeichnung werden aus physikalischen Gründen die Höhen angehoben und die Tiefen abgeschwächt; bei der Wiedergabe wird der Frequenzgang wieder entzerrt.

3.1.2 Vinyl-Schallplatten-Formate

Die technische Ausführung der Schallplatte ist während ihrer Entwicklung ständig verändert worden, um Spieldauer, Frequenzgang und Haltbarkeit weiter zu verbessern. Neuere Formate besitzen eine niedrigere Drehzahl und kleinere Tonrillen. Die Vinyl-Schallplatte erlebt nicht zuletzt wegen ihrer Verwendung im Disc-Jockey-Bereich eine kleine Renaissance. Für heutige Präzessionspressungen werden Rohlinge mit einem Gewicht von 180 g verwendet. Diese sind stabiler als frühere Pressungen, qualitativ hochwertig und erfreuen sich reger Nachfrage. Neben diversen Sonderformaten haben sich im Lauf der Zeit einige Formate als Standard etablieren können:

- 7-Zoll-Single: Durchmesser 17,78 cm; Mittelloch 38,1 mm oder 7 mm; Abspieldrehzahl meist 45 U/min, seltener $33\frac{1}{3}$ U/min; Spieldauer bei 45 U/min etwa vier bis fünf Minuten pro Seite.
- 10-Zoll-Single: Durchmesser 25,4 cm; Mittelloch 7 mm; Abspieldrehzahl meist 45 U/min, seltener $33\frac{1}{3}$ U/min oder 78 U/min (Schellackplatte).
- Maxi-Single: Durchmesser 12 Zoll (30,48 cm); Mittelloch 7 mm; Abspieldrehzahl 45 U/min; Spieldauer bis etwa 16 Minuten pro Seite.
- Extended Play (EP): Durchmesser 7 Zoll (17,78 cm) oder 12 Zoll (30,48 cm); Mittellöcher wie Single oder Maxi-Single; Abspieldrehzahl 45 U/min oder $33\frac{1}{3}$ U/min; Spieldauer fünf

bis acht (12 Zoll: bis zu 15) Minuten pro Seite. Die EP stellt ein Zwischenformat zwischen Single und Langspielplatte dar.

- Langspielplatte (LP): Durchmesser 12 Zoll (30,48 cm), früher auch 10 Zoll (25,4 cm); Mittelloch 7 mm; Abspieldrehzahl $33\frac{1}{3}$ U/min, seltener 45 U/min; Spieldauer etwa 20 bis 25 Minuten pro Seite.

3.2 Mögliche Schäden an Vinyl-Schallplatten

3.2.1 Überblick

Der *Goldmine Grading Guide* ist weltweit als Klassifikationssystem des Erhaltungszustands von Schallplatten anerkannt. Es werden folgende Zustände unterschieden (absteigend nach Qualität):

- *mint* (M): perfekt in jeder Hinsicht
- *near mint* (NM oder M-): keine offensichtlichen Abnutzungserscheinungen
- *very good plus* (VG+): leichte Abnutzungserscheinungen, die die Wiedergabe nicht beeinträchtigen
- *very good* (VG): Klebe-Etiketten, leichte Abnutzungserscheinungen oder merkliche Störgeräusche beim Abspielen
- *good* (G) und *good plus* (G+): sichtbare mittelstarke Abnutzungserscheinungen, Verunreinigungen und Störgeräusche beim Abspielen
- *poor* (P) und *fair* (F): Plattenbruch, Deformation, unvermeidbares Überspringen der Nadel beim Abspielen oder stark beschädigte Hülle(n)
- *still sealed* (SS): originalversiegelt

Bild 26 gibt einen vereinfachten schematischen Überblick über die Schäden, die bei Schallplatten auftreten können.

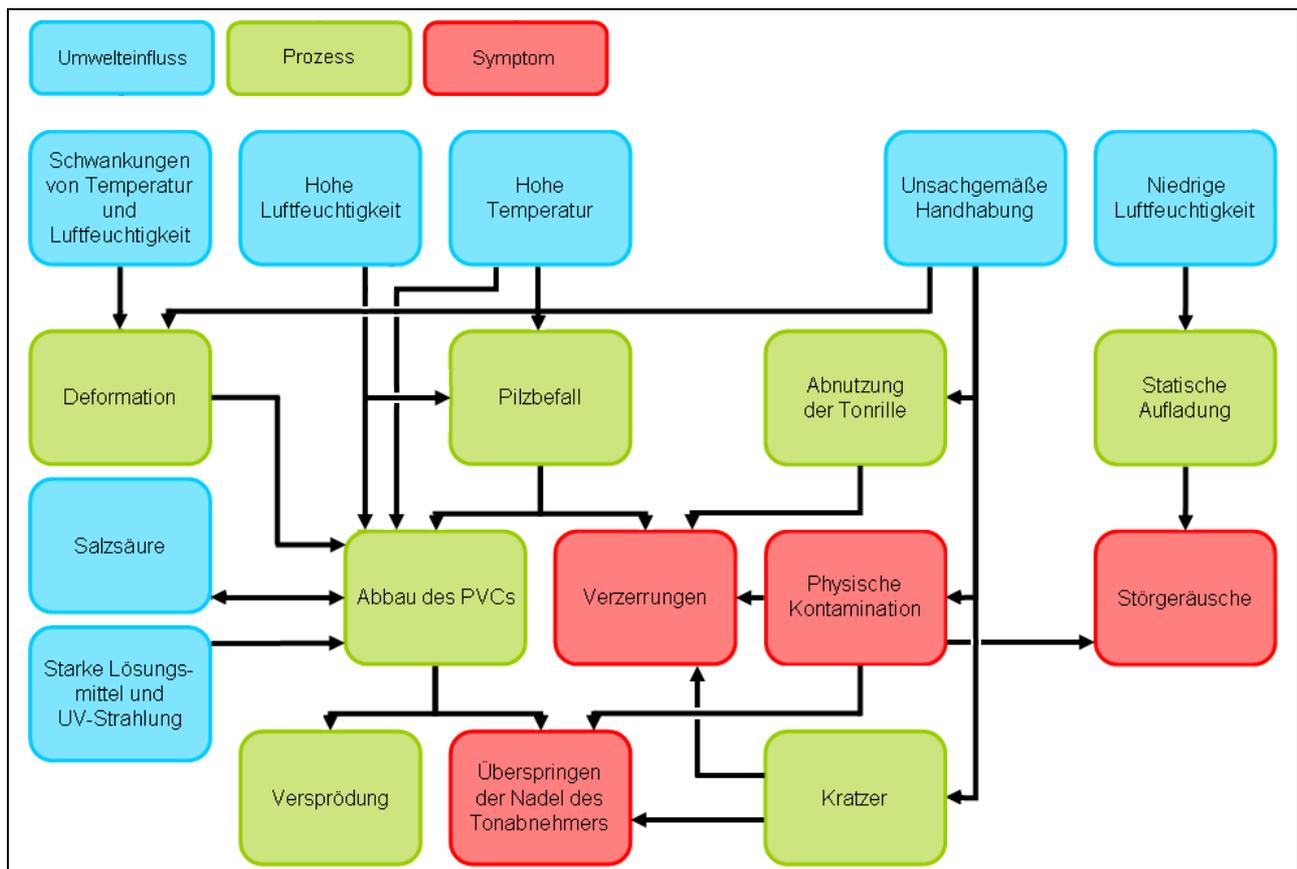


Bild 26: vereinfachter schematischer Überblick über mögliche Schadensverläufe bei Schallplatten²⁸

²⁸ eigene Systematisierung

3.2.2 Physische Schäden

3.2.2.1 Deformation

Mögliche Ursachen:

- Schwankungen der Luftfeuchtigkeit
- Schwankungen der Temperatur
- horizontale Lagerung, insbesondere in Kombination mit hoher Temperatur
- unsachgemäße Handhabung
- Schrumpfung der Einschweißfolie

Wirkungsweise: Strapazierung und Deformierung (Wellung) der Schallplatte, was den Zerfall des PVCs beschleunigt

Symptom: mehr oder weniger starke Wellung der Schallplatte

Schadensbehebung: Wiederherstellung der ursprünglichen Form (siehe Kapitel 3.4.2)

3.2.2.2 Physische Kontamination

Ursache: Staub und andere Schmutzpartikel

Wirkungsweise: Staub und Schmutzpartikel in der Tonrille oder am Tonabnehmer verhindern, dass der Tonabnehmer die gespeicherten Daten korrekt lesen kann.

Symptome:

- Verunreinigungen auf der Oberfläche
- gedämpfter Ton und Verzerrungen beim Abspielen
- Überspringen der Nadel des Tonabnehmers auf die Nachbarrille beim Abspielen

Schadensbehebung: Reinigung der Oberfläche (siehe Kapitel 3.4.1)

3.2.2.3 Kratzer

Ursache: unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Das Abspielen von Schallplatten auf einem schlecht gewarteten Schallplattenspieler kann bewirken, dass die Nadel des Tonabnehmers die Rillenstruktur auf der Oberfläche der Schallplatte zerkratzt. Dabei werden kleine Mengen des PVCs abgehobelt, was bewirkt, dass das Tonsignal nicht mehr einwandfrei gelesen werden kann.

Symptome:

- Verzerrungen beim Abspielen
- Überspringen der Nadel des Tonabnehmers auf die Nachbarrille beim Abspielen

Schadensbehebung: nicht möglich

3.2.2.4 Abnutzung der Tonrille

Mögliche Ursachen:

- häufiges Abspielen
- unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Wenn die Nadel des Tonabnehmers Kontakt zur Tonrille hat, hobelt sie stets sehr kleine Mengen von PVC ab. Beim Abspielen einer Schallplatte wirkt die sog. „Skating-Kraft“, welche den Tonarm zur Plattentellermitte hin zieht. Dadurch kommt es zu einer stärkeren Belastung der inneren Rillenflanke. Je häufiger man eine Schallplatte abspielt, desto ausgeprägter sind die Abnutzungserscheinungen.

Symptom: Verzerrungen beim Abspielen (bei geringer Abnutzung nur von hohen Tönen)

Schadensbehebung: nicht möglich

3.2.2.5 Statische Aufladung

Mögliche Ursachen:

- Reibungsvorgänge
- niedrige Luftfeuchtigkeit

Wirkungsweise: Schallplatten können sich durch Reibung elektrisch aufladen, sodass bei der Wiedergabe meist ein Knistern oder Knacken durch die Entladung hörbar wird.

Symptom: Knistern und Knacken beim Abspielen

Schadensbehebung: Entladung der Schallplatte durch antistatische Hilfsmittel (z.B. zweireihige Karbonbürste mit beweglichem Bügel)

3.2.3 Chemische Schäden

3.2.3.1 Abbau des Polyvinylchlorids

Mögliche Ursachen:

- hohe Luftfeuchtigkeit (bzw. Wasserschaden)
- hohe Temperatur
- reaktionsfreudige Lösungsmittel (z.B. von schadhafte Einschweißfolien oder Klebe-Etiketten)

Wirkungsweise: Vergällter Alkohol (Spiritus) und starke Lösungsmittel, die in Klebstoffen enthalten sein können, lösen Weichmacher und Gleitmittel aus der PVC-Oberfläche heraus. Die stabilisierenden Bestandteile des PVCs verflüchtigen sich, was den weiteren Abbau des PVCs begünstigt. Als Abbauprodukt entsteht Salzsäure, die den Zersetzungsprozess beschleunigt.

Symptome:

- kleine, durchsichtige Flecken auf der Oberfläche
- beschädigtes Etikett
- Überspringen der Nadel des Tonabnehmers auf die Nachbarrille beim Abspielen

Schadensbehebung: nicht möglich

3.2.3.2 Versprödung

Ursache: UV-Strahlung

Wirkungsweise: UV-Strahlen, die längere Zeit auf Schallplatten einwirken, spalten die chemischen Bindungen der PVC-Moleküle. Dies bewirkt, dass sich die im PVC enthaltenen Weichmacher verflüchtigen und die Schallplatte versprödet.

Symptome: brüchige Schallplatte

Schadensbehebung: nicht möglich

3.2.4 Pilzbefall

Mögliche Ursachen:

- vor allem hohe Luftfeuchtigkeit (bzw. Wasserschaden), insbesondere in Kombination mit hoher Temperatur
- stehende Luft
- organische Partikel

Wirkungsweise: Schimmelpilze können bei ausreichend hoher Feuchtigkeit die Papierhülle der Schallplatte als Nahrungsquelle für sich entdecken. Ist der Pilzwuchs sehr weit fortgeschritten, können sich Pilzsporen auch in der Tonrille einnisten.

Symptome:

- Pilzsporen in der Tonrille
- trockenes weißes oder braunes Pulver (tote Schimmelpilze)
- weiße oder braune Fäden bzw. Ausfransungen (lebende Schimmelpilze, Schmier Spuren bei Berührung)
- giftige Gase
- Verzerrungen beim Abspielen

Schadensbehebung: Eine Schallplatte, auf der sich aktiver Schimmel befindet, muss sofort isoliert, darf nicht gereinigt und muss unter trockenen Bedingungen aufbewahrt werden, bis der Schimmel abgestorben ist. Danach kann sie gereinigt werden (siehe Kapitel 3.4.1).

3.3 Inspektion von Vinyl-Schallplatten

Eine Inspektion von Schallplatten besteht im Wesentlichen aus einer Sichtkontrolle der Oberfläche, vorzugsweise mit einer Lupe. Hierbei können Verunreinigungen und Flecken jeglicher Art festgestellt werden.

Schallplatten bzw. deren Hüllen, die von Schimmel befallen sind, bilden giftige Gase und sollten sehr vorsichtig (mit Mundschutz und Handschuhen) gehandhabt werden. Bei Pilzbefall sollte man die betroffene Schallplatte von den anderen isolieren und einen Restaurator hinzuziehen.

Ferner ist es möglich, Schäden an der Schallplatte auch durch Abspielen festzustellen. Dies ist jedoch relativ zeitaufwändig, und die dabei festgestellten Symptome können verschiedene Ursachen haben. Bei Archivalien sollte von dieser Inspektionsmethode abgesehen werden, da sich das Abspielen einer Schallplatte stets nachteilhaft auf ihre Haltbarkeit auswirkt.

3.4 Restaurierungsmaßnahmen bei Vinyl-Schallplatten

3.4.1 Reinigungsmaßnahmen

Gereinigt werden müssen Schallplatten immer vor dem Abspielen und vor dem Magazinieren. Bei der Säuberung sollten alle Verunreinigungen wie Staub, Fingerabdrücke oder bei der Fertigung entstandene Pressrückstände entfernt werden. Grundsätzlich gibt es drei Möglichkeiten Schallplatten zu reinigen (aufsteigend geordnet nach Gründlichkeit):

Oberflächliche Trockenreinigung: Schallplatten, die nur leicht verschmutzt sind (z.B. durch Staub), können von Hand mit einer weichen, antistatischen Bürste (z.B. aus chinesischem Ziegenhaar für Staub) gereinigt werden. Für LPs und Singles sollten verschiedenartige (die jeweils geeigneten) Bürsten benutzt werden. Kohlefaserbürsten werden wegen der Gefahr statischer Aufladung nicht empfohlen. Die Bewegungen beim Abbürsten sollten immer der Tonrille folgen – spiralförmig von der Mitte aus zum Rand.

Nassreinigung (Waschen): Stärker verschmutzte Schallplatten können mit einem Schwamm und einer sehr milden Reinigungsflüssigkeit (Lösung mit destilliertem Wasser, z.B. Isopropanol-Lösung) in Kombination mit einem Netzmittel (zum Befeuchten der Oberfläche) gewaschen werden. Sind Fettablagerungen vorhanden, hilft ein alkoholhaltiges Reinigungsmittel. Das Etikett darf nicht nass werden. Nach dem Einwirken der Reinigungsflüssigkeit sollten die Reste derselben mit einem speziellen Absauggerät abgesaugt werden, um keine Rückstände auf der Oberfläche zu hinterlassen. Diese Waschvorgänge werden heute im Normalfall automatisch von Schallplatten-Waschmaschinen durchgeführt, weil dies effektiver ist. Gewaschen werden sollte immer nur eine Seite, am besten die obere, damit man den Vorgang überwachen kann.

Ultraschallreinigung: Eine dritte Möglichkeit ist die Reinigung mit Ultraschall. Diese Methode darf nur bei ansonsten unbeschädigten Schallplatten angewandt werden, weil es sonst zu Beschädigungen kommen kann. Hierzu ist ein spezieller Behälter mit destilliertem Wasser nötig, in dem die Schallplatte rotieren kann. Die Schallplatte kann dann bei Raumtemperatur trocknen oder mit einem Luftstrahl getrocknet werden.

3.4.2 Wiederherstellung der ursprünglichen Form

Leichte Verwellungen kann man kurzfristig beseitigen durch Anwendung einer Plattenklemme, eines Stahlringes (zum Beschweren des Schallplatten-Außenrands) oder Ansaugung durch Unterdruck (mit speziellem Gerät). Da diese Maßnahmen die Schallplatte aber physisch sehr stark beanspruchen, sind sie umstritten und werden nicht für die Anwendung auf Archivalien empfohlen.

3.4.3 Etikettierung

Die Schallplatten selbst sollten grundsätzlich nicht mit Etiketten versehen werden, sondern stattdessen die Schutzhüllen.

4 Optische Discs

4.1 Aufbau von optischen Discs

Grundsätzlich gibt es drei verschiedene Klassen von optischen Discs: ROM (*Read Only Memory*), WORM (*Write Once, Read Many*) und RW bzw. RAM (*Rewritable*) und zwei grundsätzlich verschiedene Arten (CD und DVD). Alle optischen Discs bestehen aus mehreren Schichten verschiedener Materialien. Für CDs gibt es offizielle Fertigungsstandards – die sog. *Rainbow Books*, deren Erwerb kostenpflichtig ist. Ein solcher Standard fehlt allerdings für DVDs. Es besteht lediglich eine Übereinkunft eines Herstellerkonsortiums, dem man aber angehören muss, um die darin definierten Vorgaben zu erfahren.

4.1.1 Polykarbonat-Trägerschicht

Alle optischen Discs besitzen eine stabilisierende Basis aus Polykarbonat auf den Seiten, die vom Laser des Laufwerks gelesen werden. Diese Basisschicht macht den Großteil der Disc aus und gewährleistet einen gleichbleibenden Abstand zwischen Daten und dem sie lesenden Laser. Polykarbonat ist ein relativ weicher und durchsichtiger Kunststoff. Häufig verwendet wird der Typus Makrolon® von Bayer. Bei der Herstellung von ROM-Discs stampt eine Maschine Vertiefungen und Erhöhungen in die Polykarbonat-Oberfläche. Diese Unebenheiten sind die Bits und Nicht-Bits; somit ist die Polykarbonatschicht bei ROM-Discs gleichzeitig die Datenschicht.

4.1.2 Datenschicht

Wie der Name schon sagt, enthält die Datenschicht von optischen Discs die Daten. Sie befindet sich bei CDs knapp unter der Oberfläche der etikettierten Seite. Bei DVDs liegt die Datenschicht in der Mitte. Bei jedem der drei Basistypen von CD und DVD besteht die Datenschicht aus einem anderen Material.

Um eine Lesbarkeit auch bei Beschädigungen der Disc bis zu einem gewissen Grad noch gewährleisten zu können, liegen die Informationsblöcke nicht direkt nebeneinander, sondern in bestimmten Abständen zueinander. Den Informationsblöcken sind Codes zugeordnet, die das Laufwerk abrufen muss, um auf sie zuzugreifen.

ROM-Discs: Bei ROM-Discs wird die Datenschicht von Einstanzungen im Polykarbonat-Substrat gebildet, die bei der industriellen Fertigung entstehen (siehe Kapitel 4.1.1).

WORM-Discs: WORM-Discs besitzen eine lichtempfindliche Datenschicht aus einem organischen Farbstoff, in die der Laserstrahl die Bits schreibt, wobei er den organischen Farbstoff chemisch verändert. Welche organischen Farbstoffe jeweils zum Einsatz kommen, ist herstellerabhängig. Eingesetzt werden u.a. Phthalocyanin, Cyanine oder Azo-Farbstoffe. Die organischen Farbstoffe, die in DVDs verwendet werden, sind vom Hersteller patentiert, differieren aber kaum von denen, die in CDs verwendet werden. Tabelle 1 zeigt die sichtbaren Farben bei den möglichen Kombinationen von Farbstoff und Metall.

Farbstoff	Farbe auf der vom Laser gelesenen Seite von WORM-Discs		
	Farbe des Farbstoffs	...auf Gold-Metall	...auf Silber-Metall
Phthalocyanin	grün oder hellgrün	gold oder grüngold	silberfarben
Cyanine	blau	grün	blau
Azo-Farbstoffe	dunkelblau oder tiefblau	dunkelgrün	dunkelblau oder tiefblau

Tabelle 1: Farben auf der vom Laser gelesenen Seite von WORM-Discs²⁹

RW- und RAM-Discs: Wieder beschreibbare Discs besitzen eine Datenschicht aus einer sog. phasen-verändernden Metall-Legierung (*phase-changing metal alloy*). Man nutzt den Übergang der kristallinen Speicherphase dieser Metall-Legierung in eine amorphe Phase, wozu die kristalline Schicht durch Laserimpulse aufgeschmolzen und bei schneller Abkühlung als amorphe Phase eingefroren wird. Die schnelle Abkühlung der Datenschicht wird durch dielektrische Beschichtungen auf beiden Seiten ermöglicht. Gelöscht werden können die Bits wieder, indem die Datenschicht auf eine bestimmte Temperatur über der kristallinen Phase, aber unter der amorphen

²⁹ Quelle: Byers 2003, S. 8

Phase erhitzt wird, was bewirkt, dass die Metall-Legierung sich rekristallisiert und dabei die Bits löscht. Lösch- und Schreibvorgang können gleichzeitig ablaufen. Brauchbare Legierungen für die Datenschicht sind die klassischen Halbleiter-Legierungen Galliumantimonid (GaSb) und Indiumantimonid (InSb), neuerdings auch Mehrkomponenten-Legierungen wie das Tellurid Ag-In-Sb-Te.

4.1.3 Reflektierende Metallschicht

Bei der Produktion wird ein Metall auf das gegossene Substrat verstäubt, es bildet dann die reflektierende Metallschicht. Im Bereich von Erhöhungen in der Datenschicht reflektiert sie das Licht des Laserstrahls zurück zum Fotosensor, wodurch dieser ein Bit liest. Bei CDs liegt die Metallschicht sehr dicht unter Oberfläche (der etikettierten Seite), während sie sich bei DVDs in der Mitte der Scheibe befindet. Abhängig von der Art der Discs werden unterschiedliche Metalle verwendet.

Grundsätzlich werden bei optischen Discs drei Arten von reflektierenden Metallen eingesetzt: Aluminium, Gold oder Silber bzw. eine Silberlegierung. Gold ist nicht korrosiv und sehr stabil, jedoch bedeutend teurer als Silber. Silber besitzt eine etwas bessere Reflexionsfähigkeit als Gold, kann diese aber bei Kontakt mit der Umwelt schnell verlieren. Um der Korrosion des Silbers vorzubeugen, benutzen viele Hersteller von WORM-Discs Silber-Legierungen. Aluminium wird nicht für WORM-Discs verwendet, da es mit dem organischen Farbstoff der Aufnahmeschicht reagieren kann. In ROM-, RW- und RAM-Discs besteht die Metallschicht im Normalfall aus Aluminium – hauptsächlich deshalb, weil es billig und leicht aufzutragen ist.

4.1.4 Lackschicht

Um die etikettierte Seite von CDs besser zu schützen, sind manche CDs mit einer zusätzlichen Schicht versehen. Im Normalfall ist dies eine sehr dünne Lackschicht, die die Metallschicht vor Umwelteinflüssen schützt. Sie schützt sie beschränktem Maße auch vor Beschädigungen durch Beschriftung oder Etikettierung. Eine besonders effektive Neuerung war die Versiegelung des Disc-Rands mit der Lackschicht. Es ist sicherlich genauso wichtig, den Rand einer CD zu schützen, wie deren Oberflächen. DVDs besitzen keine solche Lackschicht, da sich die sensiblen Schichten in der Mitte der Disc befinden.

4.1.5 Klebemittelschicht

In allen DVDs werden Klebemittel verwendet, damit die zwei Hälften aneinander haften. Ihre Inhaltsstoffe variieren je nach Hersteller; einige Klebemittel basieren auf Acrylharz. Sie sind chemisch weitaus stabiler als die restlichen Bestandteile der DVD, zudem liegt die Klebeschicht in der Mitte der DVD und ist somit vor Abbauprozessen geschützt.

4.1.6 Optionale Druckschicht

Ein weiterer Grund für eine zusätzliche Schicht ist das Bereitstellen einer Oberfläche zum Bedrucken mit Text oder Logos. Hierbei gibt es vier Oberflächentypen: Thermo-bedruckbar, tinten-bedruckbar, siebdruck-bedruckbar und eine Oberfläche, die verschiedene Druckarten erlaubt. Bei CDs liegt die Druckschicht über der Lackschicht, bei einseitigen DVDs liegt sie über der Polykarbonat-Schicht.

4.1.7 Formate optischer Discs

4.1.7.1 Überblick

Tabelle 2 bietet eine Übersicht über die Bestandteile der verschiedenen Typen optischer Discs. Bei allen Disc-Formaten ist das Substrat aus Polykarbonat. Es existieren zahlreiche verschiedene Unterformate, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll.

Format	Lack-schicht	Datenschicht	Reflektierende Metallschicht	Semireflekt. Metallschicht	Klebe-mittel	Standard
CD-ROM	ja	vorgeformtes Polykarbonat	Aluminium	nein	nein	Yellow Book
DVD-ROM (1 Datenschicht)	nein	vorgeformtes Polykarbonat	Aluminium	nein	ja	-
DVD-ROM (2 Datenschichten)	nein	vorgeformtes Polykarbonat	Aluminium	Gold, Silber oder Silizium	ja	-
CD-R	ja	organischer Farbstoff	Gold, Silber oder Silber-Legierung	nein	nein	Orange Book
DVD-R, DVD+R	nein	organischer Farbstoff	Gold, Silber oder Silber-Legierung	nein	ja	-
CD-RW	ja	Metall-Legierung	Aluminium	nein	nein	Orange Book
DVD-RW, DVD+RW, DVD-RAM	nein	Metall-Legierung	Aluminium	nein	ja	-

Tabelle 2: Bestandteile der verschiedenen Typen optischer Discs³⁰

4.1.7.2 ROM-Discs

Folgende Haupttypen von ROM-Discs werden unterschieden:

CD-ROM: Etikett (optional) – Lackschicht – Metallschicht aus Aluminium – Datenschicht (siehe Bild 27)

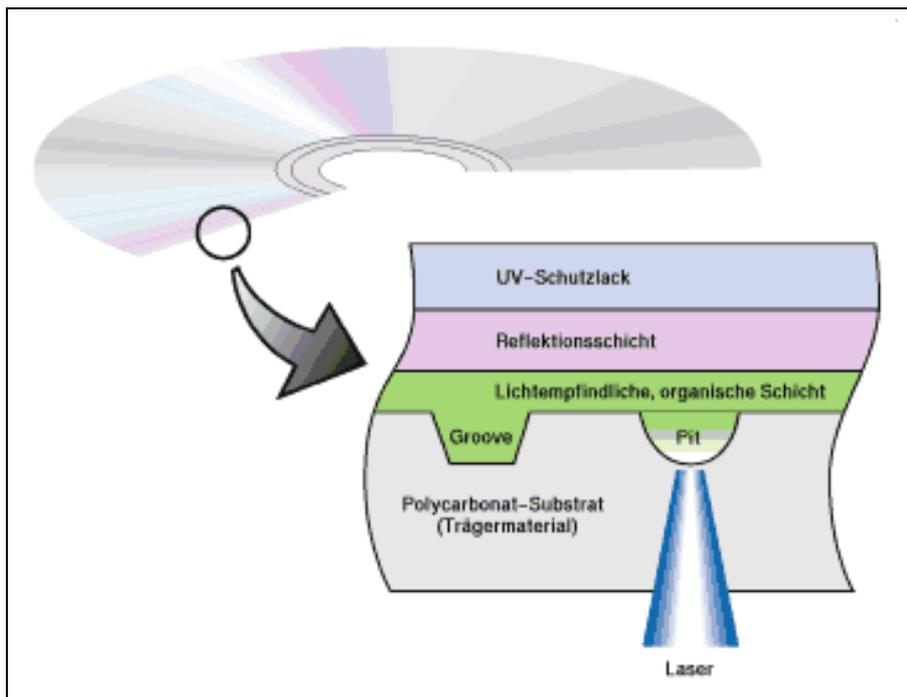


Bild 27: Aufbau einer CD-ROM³¹

DVD-ROM (einseitig, 1 Datenschicht): Etikett (optional) – Datenschicht – Klebstoff – Metallschicht aus Aluminium – Datenschicht (siehe Bild 28)

DVD-ROM (einseitig, 2 Datenschichten): Etikett (optional) – Datenschicht – Reflektierende Metallschicht aus Aluminium – Klebstoff – Semireflektierende Metallschicht aus Gold, Silberlegierung oder Silizium – Datenschicht (siehe Bild 29)

DVD-ROM (doppelseitig, 1 Datenschicht pro Seite): Datenschicht – Metallschicht aus Aluminium – Klebstoff – Metallschicht aus Aluminium – Datenschicht

³⁰ Grundlage: Byers 2003, S. 5 und 6

³¹ Quelle: <http://www.hoerspielland.de/hl-11.1.20-11.2.0.html>

DVD-ROM (doppelseitig, 2 Datenschichten pro Seite): Datenschicht – Semireflektierende Metallschicht aus Gold, Silberlegierung oder Silizium – Klebstoff – Reflektierende Metallschicht aus Aluminium – Klebstoff – Reflektierende Metallschicht aus Aluminium – Klebstoff – Semireflektierende Metallschicht aus Gold, Silberlegierung oder Silizium – Datenschicht.

DVD-ROMs mit zwei Datenschichten pro Seite erlauben es dem Laserstrahl, zwei Datenschichten von einer Seite aus zu lesen. Möglich wird dies durch zwei Metallschichten, von denen die obere semireflektierend ist, sodass die untere ebenfalls noch reflektieren kann. Die Kapazität dieser DVD-ROMs ist bis zu viermal größer als die von DVD-ROMs mit nur einer Datenschicht.

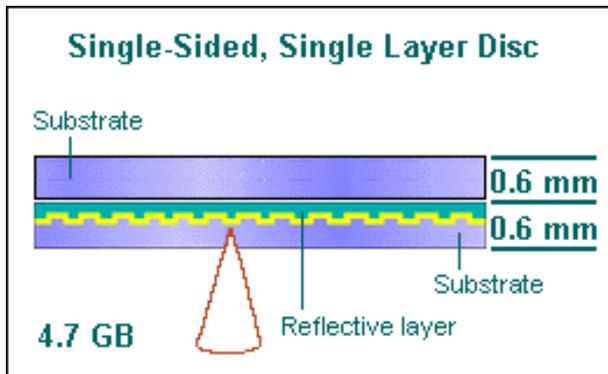


Bild 28: Aufbau einer einseitigen DVD-ROM mit einer Datenschicht³²

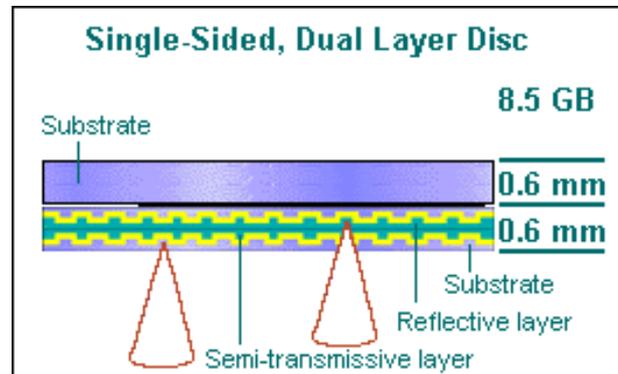


Bild 29: Aufbau einer einseitigen DVD-ROM mit zwei Datenschichten³³

4.1.7.3 WORM-Discs

Folgende Haupttypen von WORM-Discs werden unterschieden:

CD-R: Etikett (optional) – Lackschicht – Metallschicht aus Gold, Silber oder Silberlegierung – Aufnahmeschicht aus organischem Farbstoff – Datenschicht

DVD-R, DVD+R (einseitig): Etikett (optional) – Datenschicht – Klebstoff – Metallschicht aus Gold, Silber oder Silberlegierung – Aufnahmeschicht aus organischem Farbstoff – Datenschicht

DVD-R, DVD+R (doppelseitig): Datenschicht – Aufnahmeschicht aus organischem Farbstoff – Metallschicht aus Gold, Silber oder Silberlegierung – Klebstoff – Metallschicht aus Gold, Silber oder Silberlegierung – Aufnahmeschicht aus organischem Farbstoff – Datenschicht

4.1.7.4 RW- und RAM-Discs

Folgende Haupttypen von wieder beschreibbaren Discs werden unterschieden:

CD-RW: Etikett (optional) – Lackschicht – Metallschicht aus Aluminium – Aufnahmeschicht aus phasen-verändernder Metall-Legierung – Datenschicht

DVD-RW, DVD+RW, DVD-RAM (einseitig): Etikett (optional) – Datenschicht – Klebstoff – Metallschicht aus Aluminium – Aufnahmeschicht aus phasen-verändernder Metall-Legierung – Datenschicht

DVD-RW, DVD+RW, DVD-RAM (doppelseitig): Datenschicht – Aufnahmeschicht aus phasen-verändernder Metall-Legierung – Metallschicht aus Aluminium – Klebstoff – Metallschicht aus Aluminium – Aufnahmeschicht aus phasen-verändernder Metall-Legierung – Datenschicht

4.2 Mögliche Schäden an optischen Discs

4.2.1 Überblick

Wie leicht optische Discs Schaden nehmen, hängt von ihrem Aufbau ab. Da sie (insbesondere DVDs) eine sehr hohe Datendichte aufweisen, können schon sehr kleine Beschädigungen der Datenschicht einen starken Informationsverlust bedeuten. Bild 30 gibt einen vereinfachten schematischen Überblick über die Schäden, die bei optischen Discs auftreten können.

³² Quelle: <http://www.teamsolutions.co.uk/tsdvd.html>

³³ Quelle: <http://www.teamsolutions.co.uk/tsdvd.html>

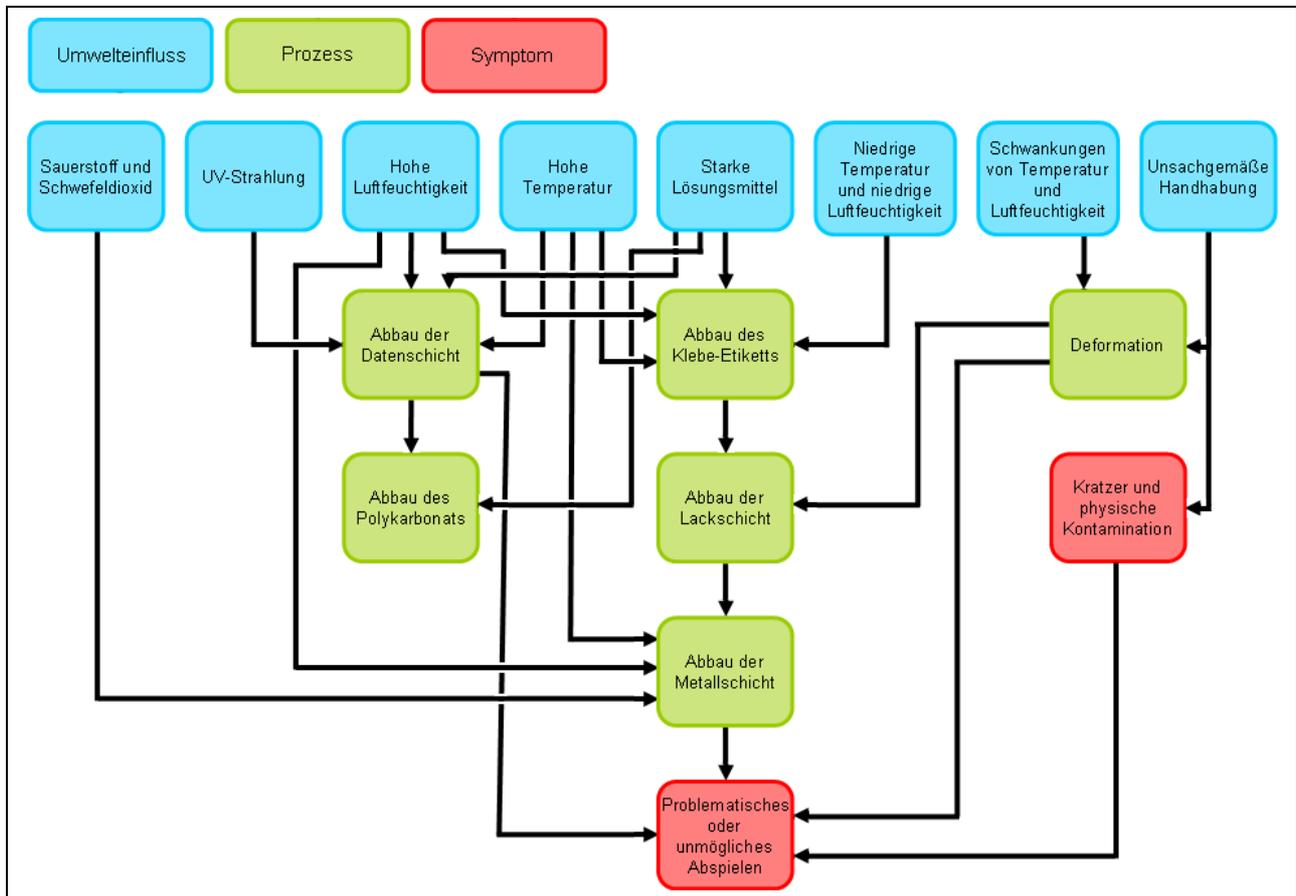


Bild 30: vereinfachter schematischer Überblick über mögliche Schadensverläufe bei optischen Discs³⁴

4.2.2 Physische Schäden

4.2.2.1 Deformation

Mögliche Ursachen:

- starke Schwankungen der Temperatur
- sehr hohe oder sehr niedrige Temperatur
- horizontale Lagerung, insbesondere in Stapeln
- unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Da sich alle Stoffe bei Erhitzung ausdehnen und bei Abkühlung zusammenziehen und optische Discs aus Materialien mit verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten bestehen, führen starke Temperaturschwankungen dazu, dass sich die Discs deformieren. Der Druck, der durch Stapelung von optischen Discs auf die unteren Discs wirkt, längere waagerechte Lagerung (insbesondere bei hohen Temperaturen) oder auch unsachgemäße Handhabung (Verbiegen) führen zu Spannungen in und Deformationen der Polycarbonat-Schicht, die dauerhaft bestehen bleiben können. Wird zuviel punktueller Druck (insbesondere auf die etikettierte Seite) der Disc ausgeübt, kann das sehr leicht die knapp darunterliegende Metallschicht beschädigen. Eine weitere Folge von Deformation sind Haarrisse in der Lackschicht.

Symptom: problematisches oder unmögliches Abspielen

Schadensbehebung: nicht möglich

³⁴ eigene Systematisierung

4.2.2.2 Physische Kontamination

Ursache: Staub und andere Schmutzpartikel

Wirkungsweise: Je nach Verschmutzungsgrad kann eine Disc nur noch teilweise oder gar nicht mehr gelesen werden, da die Verunreinigungen (Fingerabdrücke, Flecken, Schmutzpartikel, Staub) den Laser am Lesen der Bits hindern. Schmutzpartikel und Staub schwächen das Laserlicht ab, blockieren es oder leiten es fehl. Im Extremfall ist die Autokorrektur des Laufwerks überfordert, und die Bits können nicht mehr gelesen werden. Versucht man, verschmutzte Discs abzuspielen, können Schmutzpartikel im Laufwerk weggeschleudert und der Laserkopf sowie andere Komponenten des Laufwerks verschmutzt werden. Fingerabdrücke und Schmutzflecken, insbesondere sehr viele auf kleinem Raum, beeinträchtigen die Lesbarkeit der Disc stärker als Kratzer.

Symptome:

- Verunreinigungen auf der Oberfläche
- problematisches oder unmögliches Abspielen

Schadensbehebung: Reinigung der Oberfläche (siehe Kapitel 4.4.1)

4.2.2.3 Kratzer auf der Leseseite von optischen Discs

Ursache: unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Kleine oder vereinzelte Kratzer sind normalerweise unbedenklich, da die Datenschicht, auf die der Laser fokussiert ist, weit von der Oberfläche entfernt ist. Tiefe, breite oder sehr viele Kratzer auf kleinem Raum können allerdings dazu führen, dass die Fehlerkorrektur des Laufwerks überfordert und die Lesefähigkeit nicht mehr gewährleistet ist. Kratzer, die so tief sind, dass sie sogar die Daten- oder Metallschicht beschädigt haben, haben zur Folge, dass die Daten nicht mehr gelesen oder wiederhergestellt werden können. Ein Kratzer mit radialer Ausrichtung verursacht weit weniger Schaden als einer mit konzentrischer Ausrichtung, da die Aufnahmespur spiralförmig verläuft.

Symptome:

- Kratzer auf der Oberfläche
- problematisches oder unmögliches Abspielen

Schadensbehebung: Polieren (siehe Kapitel 4.4.2)

4.2.2.4 Kratzer auf der etikettierten Seite von CDs

Ursache: unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Da die reflektierende Metallschicht und die Datenschicht bei CDs knapp unter der Oberfläche liegen, sind Kratzer auf der Oberseite stets eine Gefahr für die Lesbarkeit. CDs mit Klebe-Etiketten oder einer bedruckbaren Speziialschicht sind nicht ganz so empfindlich. Kleine und nicht sehr tiefe Kratzer sind normalerweise unbedenklich, da sie von der Fehlerkorrektur des Laufwerks erkannt und korrigiert werden. Nichtsdestoweniger sind sie eine Beschädigung der Lackschicht, die die darunter liegende Metallschicht Umwelteinflüssen aussetzt. Schon kleine Dellen und Kratzer können aber die Reflexionsfähigkeit des Metalls zerstören, was einen irreparablen Schaden darstellt.

Symptome:

- Kratzer auf der Oberfläche
- problematisches oder unmögliches Abspielen

Schadensbehebung: nicht möglich

4.2.2.5 Kratzer auf der etikettierten Seite von einseitigen DVDs

Ursache: unsachgemäße Handhabung

Wirkungsweise: Oberflächliche Kratzer auf der etikettierten Seite von einseitigen DVDs stellen keine Gefahr dar, da die Datenschicht in der Mitte der DVD liegt. Sind die Kratzer jedoch so tief, dass sie die Mitte der DVD erreichen, führt dies zu Abspielproblemen.

Symptome:

- Kratzer auf der Oberfläche
- problematisches oder unmögliches Abspielen

Schadensbehebung: Polieren (siehe 4.4.2)

4.2.2.6 Abnutzung von RW- und RAM-Discs

Ursache: häufiges Wiederbeschreiben

Wirkungsweise: RW- und RAM-Discs können „verschleiben“ und sollten daher nicht als Archivalien genutzt werden. Sie sind dafür ausgelegt, bis zu 1.000 Mal wieder beschrieben zu werden (DVD-RAM-Discs: bis zu 100.000 Mal). Die maximal mögliche Anzahl der Wiedergabevorgänge ist unbekannt, sie reduziert sich jedoch mit jedem Brennvorgang. RW- und RAM-Discs, die nach dem ersten Beschreiben magaziniert wurden, haben eine höhere Lebenserwartung als solche, die mehrfach beschrieben wurden.

Symptom: problematisches oder unmögliches Abspielen

Schadensbehebung: nicht möglich

4.2.3 Chemische Schäden

4.2.3.1 Abbau des Klebe-Etiketts

Mögliche Ursachen:

- sehr hohe oder sehr niedrige Temperatur
- sehr hohe oder sehr niedrige Luftfeuchtigkeit
- reaktionsfreudige Lösungsmittel (z.B. von Klebe-Etiketten)

Wirkungsweise: Klebe-Etiketten zersetzen sich mit der Zeit und beeinflussen den Abspielvorgang der Disc im Laufwerk. Einige Klebstoffe, die in Etiketten aus der Anfangszeit der CD-Ära verwendet wurden, sind bekannt dafür, dass sie mit der Oberfläche der Lackschicht reagieren. Klebe-Etiketten sind Umwelteinflüssen schutzlos ausgeliefert – sie leiden, mehr noch als die Disc selbst, unter Hitze und Kälte, können austrocknen, Feuchtigkeit absorbieren oder mit Lösungsmitteln wie z.B. Isopropanol oder Methanol reagieren. Dies alles führt dazu, dass sie sich zersetzen.

Symptom: beschädigtes Etikett

Schadensbehebung: Es wird nicht empfohlen, das Etikett zu entfernen, weil dies noch mehr Schaden verursachen kann.

4.2.3.2 Abbau der Lackschicht

Mögliche Ursachen:

- Deformation
- reaktionsfreudige Lösungsmittel (z.B. von Klebe-Etiketten oder Fingerabdrücken)
- Alkohol

Wirkungsweise: Deformiert sich eine Disc, führt dies zu Spannungen im Material, die zu Haarrissen in der Lackschicht führen können. Flüchtiger Kontakt mit Lösungsmitteln wie Isopropanol oder Methanol stellt keine Gefahr für die Lackschicht dar, da sie schnell verdunsten.

O.g. Stoffe greifen die relativ dünne Lackschicht jedoch an und zersetzen diese. Dies bewirkt, dass die Metallschicht nun schutzlos Umwelteinflüssen ausgesetzt ist. Alkoholische Lösungen sind grundsätzlich weniger schadhaft als Xylol und Toluol; diese beiden Stoffe sind in vielen aromatisch basierten Lösungsmitteln, wie sie in Markern verwendet werden, enthalten.

Symptom: Flecken oder durchscheinendes Metall auf der Oberseite der Disc

Schadensbehebung: Theoretisch kann die Disc mit einer neuen Lackschicht überzogen werden. Es ist jedoch weitaus einfacher, die Daten rechtzeitig auf einen anderen Datenträger zu migrieren.

4.2.3.3 Abbau der Aluminiumschicht bei ROM-Discs

Mögliche Ursachen:

- beschädigte Lackschicht
- hohe Luftfeuchtigkeit (bzw. Wasserschaden), insbesondere in Kombination mit hoher Temperatur, Schwefeldioxid oder zuviel Papier in der Hülle
- reaktionsfreudige Lösungsmittel (z.B. von Klebe-Etiketten)

Wirkungsweise: Der Abbau der Aluminiumschicht stellt die Hauptursache des Zerfalls von CD-ROMs durch Umwelteinflüsse dar. Ist die Lackschicht einer ROM-Disc beschädigt, kann das Aluminium mit Sauerstoff zu Aluminiumhydroxid reagieren. Insbesondere die Ränder einer Disc sind gefährdet. Beschleunigt wird der Abbauprozess durch hohe Luftfeuchtigkeit in Kombination mit hoher Temperatur. Das Reaktionsprodukt Aluminiumhydroxid ist farblos und reflektiert den Laserstrahl des Laufwerks nicht, wodurch die CD nicht mehr gelesen werden kann. Lösungsmittel und Druckertinte sind nur dann eine Gefahr, wenn sie sich durch alle darüber liegenden Schichten bis zur Metall-Legierung „durchfressen“ und mit dieser reagieren.

Wird Papiermaterial zusammen mit der Disc in der Hülle aufbewahrt, kann dieses theoretisch Feuchtigkeit anziehen und an die Disc weitergeben; der Feuchtigkeitsgehalt in der Hülle steigt. Je mehr Papiermaterial sich in der Hülle befindet und je höher die Luftfeuchtigkeit der Umgebung ist, desto mehr Feuchtigkeit kann gebunden werden.

Symptome:

- Eintrübung der Oberfläche
- problematisches oder unmögliches Abspielen

Schadensbehebung: Da die Metallschicht zum Lesen der Disc vorhanden sein muss, sollte man die Daten rechtzeitig migrieren. Grundsätzlich ist eine Datenrettung durch darauf spezialisierte Firmen aber möglich.

4.2.3.4 Abbau des organischen Farbstoffs bei WORM-Discs

Ursache: hohe Temperatur, insbesondere in Kombination mit UV-Strahlung oder hoher Luftfeuchtigkeit

Wirkungsweise: Die organischen Farbstoffe, die bei WORM-Discs die Aufnahmeschicht bilden, zersetzen sich mit der Zeit. Beschleunigt wird dieser Prozess durch hohe Temperaturen, die einen Hitzestau in der Disc bewirken. Dieser wird begünstigt durch die CD-Hülle und dunkle Etiketten bzw. Bedruckung, die das Sonnenlicht absorbieren. Kommen zu den hohen Temperaturen noch UV-Strahlung oder hohe Luftfeuchtigkeit, wird der Zersetzungsprozess beschleunigt. Die Photonen der UV-Strahlung besitzen genug Energie, um eine photochemische Reaktion des organischen Farbstoffs zu erzeugen, welche die optischen Eigenschaften seiner Moleküle verändert. Ist dieser Prozess zu weit fortgeschritten, kann die Disc nicht mehr gelesen werden. Im Extremfall genügen dafür wenige Tage mit sehr ungünstigen Lagerungsbedingungen.

Symptome:

- Verfärbungen auf der Leseseite der Disc
- problematisches oder unmögliches Abspielen

Schadensbehebung: Grundsätzlich ist eine Rettung der restlichen Daten durch darauf spezialisierte Firmen möglich.

4.2.3.5 Abbau der Metall-Legierung bei RW- und RAM-Discs

Mögliche Ursachen:

- hohe Temperatur, insbesondere in Kombination mit hoher Luftfeuchtigkeit oder UV-Strahlung
- reaktionsfreudige Lösungsmittel

Wirkungsweise: Die größte Gefahr für RW- und RAM-Discs geht von der chemischen Zersetzung der phasen-verändernden Metall-Legierung aus, da dies ein natürlicher Prozess ist, der schneller abläuft als das Aluminium der Metallschicht oxidiert. Die phasen-verändernde Metall-Legierung wird vor allem durch hohe Temperaturen angegriffen. Diese entstehen durch direkte Sonneneinstrahlung und vor allem beim Schreibvorgang durch den Laser und bewirken einen Hitzestau in der Disc. Die CD-Hülle bietet keinen ausreichenden Schutz vor Hitze-Einwirkung. Kommen zu den hohen Temperaturen noch UV-Strahlung oder hohe Luftfeuchtigkeit, wird der Zersetzungsprozess beschleunigt. Ist dieser zu weit fortgeschritten, was im Extremfall innerhalb weniger Tage der Fall sein kann, kann die Disc nicht mehr gelesen werden. Lösungsmittel sind nur dann eine Gefahr, wenn sie sich durch alle darüber liegenden Schichten bis zur Metall-Legierung „durchfressen“, die sich in der Mitte der DVD befindet.

Symptom: problematisches oder unmögliches Abspielen

Schadensbehebung: Grundsätzlich ist eine Rettung der restlichen Daten durch darauf spezialisierte Firmen möglich.

4.2.3.6 Abbau des Polykarbonats

Mögliche Ursachen:

- hohe Luftfeuchtigkeit (bzw. Wasserschaden)
- reaktionsfreudige organische Lösungsmittel
- UV-Strahlung

Wirkungsweise: Das Polykarbonat-Substrat ist der stabilste Bestandteil optischer Discs und hält sich weitaus länger als die Datenschicht. Die Polykarbonat-Schicht tendiert aber mit der Zeit dazu, zu „fließen“ – sie verändert ihre Form. Ist eine Disc über längere Zeit Feuchtigkeit ausgesetzt (durch hohe Luftfeuchtigkeit oder Kontakt mit Wasser), kann Wasser von der Disc absorbiert werden. Organische Lösungsmittel wie Azeton oder Benzol lösen das Polykarbonat. Oberflächliche Ablagerungen wie z.B. Fingerabdrücke können die Polykarbonatschicht ätzen.

Es sei darauf hingewiesen, dass jahrzehntelange Einwirkung von Sonnen- bzw. UV-Licht dazu führen kann, dass sich das Polykarbonat eintrübt. Dieser Effekt hat jedoch keinen Einfluss auf die Abspielfähigkeit und kann deshalb vernachlässigt werden.

Symptom: Eintrübung bzw. Flecken auf der Oberfläche

Schadensbehebung:

- Bei Feuchtigkeit als Ursache kann man die Discs bei Raumtemperatur in einer trockenen Umgebung lagern, bis die Feuchtigkeit verdunstet ist. Farbstoffe und andere gelöste Mineralstoffe können aber zurückbleiben.
- Wenn die Einstanzungen (bei ROM-Discs) betroffen sind, ist eine Rettung der restlichen Daten durch darauf spezialisierte Firmen grundsätzlich möglich.

4.3 Inspektion

4.3.1 Oberflächenprüfung

Eine einfache Sichtung des Verschmutzungsgrades der Oberfläche einer Disc kann ohne viel Aufwand durchgeführt werden. Ist die Oberfläche verunreinigt, sollte sie gesäubert werden.

4.3.2 Messung der Fehlerrate

Zersetzungsprozesse im Frühstadium können bei optischen Discs ohne spezielle Messtechnik nicht erkannt werden, da alle Laufwerke eine eingebaute Fehlerkorrektur-Automatik besitzen, die beim Abspielen automatisch Korrekturen vornimmt, wenn Bits nicht lesbar sind. Erst wenn diese Automatik überfordert ist, weil die Disc zu schadhaft ist, kann ein Schaden ohne Messtechnik festgestellt werden, doch dann ist es oft zu spät. Fehler, die vom Laufwerk nicht mehr korrigiert werden können (weil der Code keinem Informationsblock mehr zugeordnet werden kann), heißen E32-Fehler (bei CDs) bzw. PO-Fehler (bei DVDs).

Bei der Messung der Lesefehlerrate wird die Zahl derjenigen Lesefehler ermittelt, die nicht von der Fehlerberichtigungsautomatik des Lesegeräts korrigiert werden. Je höher die ermittelte Fehlerrate ist, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass die Disc später gar nicht mehr gelesen werden kann. Wenn die Fehlerrate ein bestimmtes Niveau überschreitet, ist die Gefahr, dass die Disc nicht mehr gelesen werden kann, zu groß, und somit besteht dringend Handlungsbedarf. Eine genaue Grenze, ab welcher Fehlerrate eine Disc nur noch schlecht oder gar nicht mehr gelesen werden kann, kann man allerdings nicht ziehen, weil das davon abhängig ist, wie viele Fehler nach der Fehlerkorrektur im Laufwerk noch übrig bleiben, und davon, wie diese verteilt sind.

Speziell für die Hersteller optischer Discs (CD, DVD) wurden handgefertigte Hightech-Messgeräte entwickelt. Diese prüfen die Scheiben in Echtzeit auf alle möglichen Parameter (und natürlich auch auf E32- bzw. PO-Fehler). Die Anschaffung solcher Geräte schlägt mit Summen im fünfstelligen Bereich zu Buche. Die entstehenden Zusatzkosten sind ebenfalls erheblich: Umgehung von Kopierschutz-Systemen, Lizenzen, neue Hardware-Module (die nicht immer verfügbar sind) und Trainingsmaßnahmen.

Eine preiswerte Alternative zur Ermittlung der Lesefehlerrate bei optischen Discs ist das Software-Paket PlexTools³⁵.

³⁵ <http://www.plextools.com>

Um die Geschwindigkeit des Zerfalls von optischen Discs zu ermitteln, sollte man den Test auf Lesefehler nach ein paar Jahren mit demselben Datenträger, demselben Gerät und derselben Methode wiederholen. Hierbei muss sichergestellt sein, dass sich das Messgerät bei beiden Testläufen in demselben einwandfreien Zustand befindet.

Wie dringlich die Problematik des fortschreitenden Zerfalls von CDs in Archiven ist, wurde im Deutschen Musikarchiv Berlin festgestellt: 1995 wurde die Lesefehlerrate von 150 CDs überprüft. Nach ein paar Jahren wurden dieselben CDs mit demselben Messgerät und derselben Methode erneut geprüft. Es wurde festgestellt, dass sich der Zustand der meisten CDs um eine, der mancher CDs sogar um zwei Qualitätsstufen verschlechtert hatte. Für die nähere Zukunft ist ein zweijähriger Testlauf mit repräsentativer Stichprobenziehung und statistischer Analyse geplant.³⁶

4.4 Restaurierungsmaßnahmen

4.4.1 Reinigungsmaßnahmen

Optische Discs müssen nicht routinemäßig gereinigt werden, sondern nur bei sichtbar verschmutzter Oberfläche und insbesondere:

- vor dem Magazinieren
- vor dem Abspielen
- wenn sie nicht korrekt gelesen werden können

Trockenreinigung: Wenn die Disc stark verschmutzt ist, kann man sie mit Wasser spülen. Leicht verschmutzte und verkratzte Discs können mit einer sehr weichen Bürste abgebürstet oder mit einem sauberen, trockenen, fusselfreien, nicht scheuernden Tuch aus Baumwolle oder Leder abgewischt werden, und zwar in geraden, radialen Linien (von der Mitte nach außen). Die Disc sollte dabei auf einem weichen Tuch liegen, das auf einer harten Unterlage liegt. Alternativ kann man auch Druckluft verwenden. Auf keinen Fall sollte die Disc mit Papierprodukten oder scheuernden Materialien gereinigt werden.

Nassreinigung: Bei widerstandsfähigem Schmutz oder öligen Rückständen (z.B. Fingerabdrücke) sollte ein spezielles, leicht basisches CD-/DVD-Reinigungsmittel auf Wasserbasis (z.B. Fotolinsen-Reiniger) oder aber ein schwaches Lösungsmittel mit Isopropanol oder Methanol zur Säuberung verwendet werden. Diese Lösungsmittel verdunsten relativ schnell und greifen das Polykarbonat der Disc nicht an. Auf keinen Fall dürfen organische Lösungsmittel wie z.B. Azeton und Benzol verwendet werden, da diese das Polykarbonat der Disc angreifen. Die Lösung sollte sparsam auf der Disc-Oberfläche verteilt und mit einem Tuch in radialen Bewegungen aufgetragen und abgewischt werden. Dabei ist vorsichtig vorzugehen, da man die Oberfläche (insbesondere die etikettierte) leicht zerkratzen kann.

Ultraschallreinigung: Ähnlich wie bei der Ultraschallreinigung von Vinyl-Schallplatten ist für diese Methode ein spezieller Behälter mit destilliertem Wasser nötig, in dem die Disc rotieren kann, während sie mit Ultraschall-Signalen bestrahlt wird. Angewandt werden darf diese Methode allerdings nur bei optischen Discs, die keinerlei Mikrofaserrisse aufweisen, da es sonst zu Beschädigungen kommen kann.

4.4.2 Polieren

Leicht verkratzte Discs können mit einem sauberen, trockenen, fusselfreien, nicht scheuernden Tuch aus Baumwolle oder Leder poliert werden, und zwar in geraden, radialen Linien. Die Disc sollte dabei auf einem weichen Tuch liegen, das auf einer harten Unterlage liegt.

Sind die Kratzer tief, sollte man wie folgt vorgehen: Mit Nassschleifpapier (Körnung 1.000) wird die oberste Schicht mit sehr leichtem Druck in geraden, radialen Linien abgetragen. Dabei muss Wasser verwendet werden. Danach wird die Disc abgespült, poliert wie oben beschrieben und schließlich gereinigt (siehe Kapitel 4.4.1). Poliermaßnahmen sind allerdings mit Vorsicht vorzunehmen, da es bei unvorsichtiger Durchführung leicht zu irreparablen Schäden kommen kann.

³⁶ Informationsbesuch des Autors am 14. Dezember 2007 im Deutschen Musikarchiv Berlin

4.4.3 Markierung

4.4.3.1 Beschriftung

Zur Beschriftung ist ein lösungsmittelfreier oder ein wasserbasierter Filzstift-Marker zu verwenden. Kugelschreiber, Bleistifte oder lösungsmittelhaltige Stifte dürfen nicht benutzt werden. Im Handel sind spezielle CD-Marker erhältlich, deren Tinte je nach Hersteller in der chemischen Zusammensetzung variiert. Je nach verwendetem Lösungsmittel unterscheidet man grundsätzlich drei Arten von Tinten: wasserbasiert, alkoholbasiert und basierend auf einem aromatischen Lösungsmittel. CD-Marker kann man bedenkenlos auch für DVDs verwenden. Beschriften sollte man optische Discs nach Möglichkeit auf der Nabe, da hier keine Daten gespeichert sind.

4.4.3.2 Etikettierung

Klebe-Etiketten sollten grundsätzlich weder aufgeklebt noch entfernt werden.

Wenn man die Disc doch mit einem Etikett versehen will, sollte man nur speziell für CDs und DVDs hergestellte Etiketten verwenden. Für das Aufkleben ist ein geeignetes Gerät zu verwenden, mit dem man das Etikett zentral anbringt, damit die Rotationsfähigkeit möglichst wenig beeinflusst wird.

Versuche, ein Klebe-Etikett von einer CD zu entfernen, können ihre Lack- und Metallschicht beschädigen. Das Entfernen von Klebe-Etiketten auf DVDs beschädigt sie zwar nicht, jedoch wird dadurch die Rotationsfähigkeit im Laufwerk beeinflusst, da Etikettenreste auf der Oberfläche zusätzliches Gewicht bedeuten. Dies kann u. U. dazu führen, dass die DVD nicht mehr gelesen werden kann.

4.4.3.3 Bedrucken

Im Handel sind bedruckbare CDs und einseitige DVDs (meist WORM-Discs) erhältlich, die eine spezielle Druckoberfläche besitzen. Doppelseitige DVDs können nur in der Mitte bedruckt werden.

Da aufgedruckte Tinte die Rotationsfähigkeit von Discs, insbesondere DVDs, beeinflusst, ist das Bedrucken der gesamten Oberfläche nicht die beste Lösung, weil die Tinte dabei normalerweise nicht gleichmäßig verteilt wird. Jedoch ist dies allemal einem partiellen Bedrucken der Oberfläche vorzuziehen.

Thermodruck: Der Druckkopf in sog. Thermodruckern erhitzt die Rückseite eines Tinten-Farbbands, dessen Vorderseite in direktem Kontakt mit der bedruckbaren Oberfläche der Disc steht. Die Tinte schmilzt und verbindet sich mit der Druckoberfläche.

Tintenstrahldruck: Beim Tintenstrahldruck wird die Tinte tröpfchenweise auf eine spezielle bedruckbare Schicht versprüht. Ihre Oberfläche ist so beschaffen, dass sie die Tröpfchen fixiert und die flüssigen Bestandteile der Tinte absorbiert.

Siebdruck: Beim Siebdruck-Verfahren wird UV-gehärtete Druckerfarbe benutzt, was eine Vermischung der Tintenfarben verhindert. Diese Druckerfarbe enthält weder chemisch aktiven Substanzen noch scheuernde Partikel, die die Disc angreifen könnten.

4.4.4 Wiederherstellung der Daten

Spezialfirmen bieten gegen gute Bezahlung die Möglichkeit, Daten von nicht mehr lesbaren optischen Discs aller gängigen Formate durch ein aufwändiges Verfahren ganz oder teilweise wiederherzustellen. Eine kleine Auslistung von spezialisierten Servicefirmen in Deutschland ist in Kapitel 7.4 zu finden.

5 Empfehlungen zum Umgang mit AV-Archivalien

5.1 Beschaffenheit des Magazins

Da für alle beschriebenen Arten von AV-Datenträgern in etwa die gleichen Lagerungsbedingungen gelten, werden diese im Folgenden zusammengefasst aufgelistet. Ein Magazin, das Ton- und Video-Datenträger enthält, sollte folgendermaßen beschaffen sein:

- Magnetfeld-Schutz: maximale Koerzitivkraft etwaig vorhandener magnetischer Felder von 1/10, besser noch 1/20 der Koerzitivkraft des empfindlichsten Magnet-Datenträgers
- Feuer-Schutz: feuerfeste Materialien, Brandschutztüren, Alarmanlage (z.B. VESDA - *Very Early Smoke Detection Alarm*)
- Wasser-Schutz: Magazin nicht unter dem Grundwasserspiegel, CO₂-Löschanlage statt Wasser-Löschanlage, gefliester und mit ausreichend großer Abflussrinne versehener Boden
- UV-Schutz: UV-Strahlung unter 75 µW/Lumen; Leuchtstoffröhren mit UV-Filter als Lichtquelle, keine Fenster; bei vorhandenen Fenstern Abdunkelung mit Rollläden
- Diebstahl-Schutz: einbruchsichere Türen, Fenster und Wände, Alarmanlage mit automatischer Benachrichtigung der Polizei
- Wände, Böden und Decken des Magazins aus staubfreiem, Feuchtigkeit abweisendem, leicht zu reinigendem und gut isolierendem Material
- antistatische Fußmatte im Eingangsbereich
- Sauberkeit der Klasse 10.000 (weniger als 10.000 0,5-µm-Partikel pro Quadratfuß)
- HEPA-Filter mit einem Rückhaltevermögen von 99,5 % zur Reinigung der zuströmenden Außenluft, insbesondere in urbanen Gebieten
- keine Schmutzpartikel produzierenden Materialien und Geräte (unversiegelte Isolation, faserige Tapeten und Möbel, Teppiche, Vorhänge, Holzmöbel, Verpackungsmaterialien, Drucker, Schredder, Nahrungsmittel, Zigaretten usw.)
- regelmäßige Magazin-Reinigung, entweder mit Wasserstaubsauger, Staubsauger mit Abluftschlauch oder mit Staubsauger, der über einen HEPA-Filter der Klasse 11 (Rückhaltevermögen 95 %) oder höher verfügt
- robuste, offene, geerdete, beschichtete Metall-Regale mit kleinen Abtrennungen ca. alle 10 bis 15 cm und Abtropfvorrichtung (damit bei Feuer Geschmolzenes nicht auf die tiefer stehenden Archivalien tropft)
- getrennte Lagerung von vom Essigsäure-Syndrom betroffenen Beständen
- je nach Finanzlage Lagerung von Sicherheitskopien in einem anderen Trakt bzw. Gebäude

5.2 Lagerung im Regal

5.2.1 Lagerung von Filmen

- korrosionsfreie Metall Dosen (Aluminium, Stahl) ohne anderen Inhalt (insbesondere ohne Papier)
- Dosen aus Kunststoffen, die den sog. PAT (*photographic activity test*) bestanden haben (Polyester (vorzugsweise Polyethylenterephthalat), Polyethylen oder Polypropylen)
- bei optimalen klimatischen Bedingungen und einwandfreiem Filmmaterial luftdurchlässige Verpackungen
- bei weniger guten klimatischen Bedingungen und befallenem Filmmaterial luftundurchlässige Verpackungen
- bei hoher Luftfeuchtigkeit Säureabsorbentien mit in das Behältnis geben (regelmäßige Überwachung und Ersetzung)
- befestigtes Filmende
- getrennte Lagerung von Zellulosenitrat-, Zelluloseazetat- und Polyester-Filmen
- keine vertikale (siehe Bild 31), sondern horizontale Lagerung

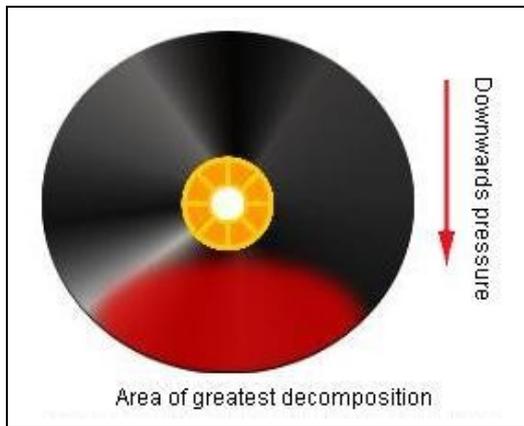


Bild 31: erhöhter Druck bei vertikaler Lagerung³⁷

5.2.2 Lagerung von Magnetbändern

- Sicherung aller Magnetbänder (je nach Format) gegen Überspielen
- Saubere Hüllen aus nichtmagnetischem Material (Vinyl oder vorzugsweise Polypropylen) mit ausreichenden Halterungen für die Kassette
- keine versiegelten Plastiktüten und keine Hüllen aus Papier oder Pappe
- möglichst keine Papiermaterialien (außer den Etiketten) in der Kassettenhülle
- senkrechte Lagerung, voller Spulenkern unten
- zurückgespult (alle Bänder außer analogen Audiobändern)
- Lagerung so, dass sich das Band auf der aufnehmenden Spule befindet (*tails out*, nur bei analogen Audiobändern)
- Hinzufügen von Essigsäure-Absorbentien bei fortgeschrittener Zersetzung

5.2.3 Lagerung von Vinyl-Schallplatten

- säurefreie, antistatische Innenhüllen aus Papier (kein Plastik wegen Verklebungsgefahr durch Verlust des Weichmachers)
- unversiegelte Außenhüllen aus Pappe
- senkrechte Lagerung, Vermeidung von Druck
- keine Lagerung von Schallplatten verschiedener Größen in derselben Hülle

5.2.4 Lagerung von optischen Discs

- stabile, qualitativ hochwertige *Jewel Cases* aus neutralem Plastik (Polyethylen, Polypropylen oder Tyvek [Abart von Polyethylen])
- keine einfachen Hüllen aus Papier oder Plastik und keine *Jewel Cases* aus Polystyrol
- senkrechte Lagerung
- idealer Weise Entfernung aller Papiermaterialien (z.B. Booklet) aus dem *Jewel Case* und Befestigung außen am *Jewel Case* in einer Extrahülle

5.3 Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Bei deutlich höherer bzw. niedrigerer Außentemperatur ist die Temperatur im Magazin leicht erhöht bzw. erniedrigt (tägliche und saisonale Schwankungen). Je weiter ein Platz im Magazin vom Thermostat entfernt ist, desto größer ist auch die Abweichung von der Magazinnorm. Größere Abweichungen treten auch auf, je mehr Außenwände das Magazin besitzt, und wenn die Klimaanlage für die Größe des Magazins unzureichend ist. Temperatur und Luftfeuchtigkeit sollten mehrmals am Tag kontrolliert werden, am besten automatisch durch elektronische Sensoren. Die Luftfeuchtigkeit kann kontrolliert werden, indem ein Luftentfeuchter in die Klimaanlage eingebaut wird. Je besser das Magazin isoliert ist, desto kleiner darf der Luftentfeuchter sein. Bei einem

³⁷ Quelle: http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/storage_orientation.html

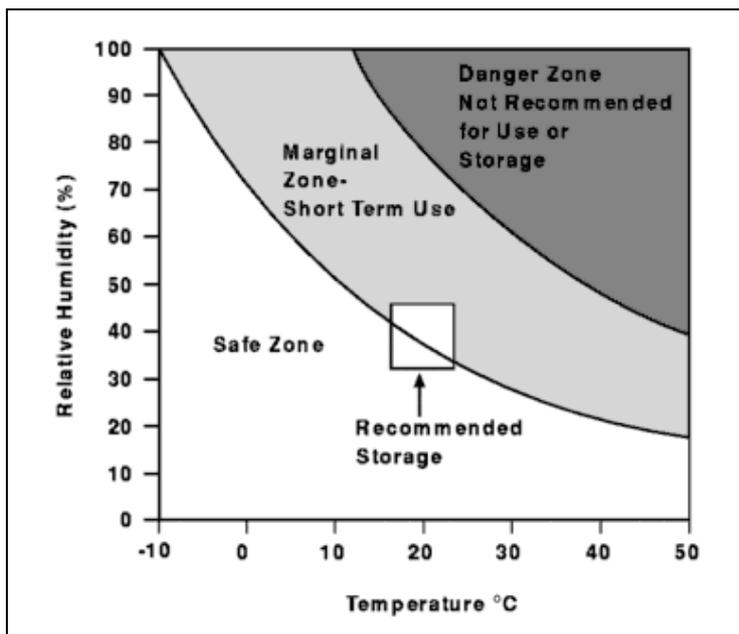
Stromausfall sollte die Klimaanlage in der Lage sein, die Konditionen zwei Tage lang aufrecht zu erhalten.

Tabelle 3 zeigt die für jeden AV-Datenträgertyp empfehlenswertesten Lagerungsbedingungen. Die Amplitude gibt an, bei welchen Temperaturen bzw. Luftfeuchtigkeiten eine Lagerung denkbar wäre; die Empfehlungen für die Lagerung von AV-Datenträgern sind in den anderen beiden Spalten („Schwankung“ und „Optimum“) zu finden. Bei AV-Datenträgern, zu denen differierende Empfehlungen recherchiert wurden, ist jeweils die restriktivste angegeben.

Bild 32 veranschaulicht die von Temperatur und Luftfeuchtigkeit abhängige Güte der Lagerungsbedingungen für Magnetbänder.

Datenträgertyp	Temperatur (in °C bzw. K)			relative Luftfeuchtigkeit (in %)		
	Amplitude	Schwankung	Optimum	Amplitude	Schwankung	Optimum
Zellulosenitrat-Film	?-10	minimal	4	40-50	minimal	50
Schwarzweiß-Film auf Zelluloseazetat-Basis	?-10	minimal	bis 7	20-50	minimal	25
Farb-Film auf Zelluloseazetat-Basis	-10-2	minimal	2	20-30	minimal	25
			-3	20-40		25
			-10	20-50		35
Farb-Film auf Polyester-Basis	-10-2	minimal	2	25-30	minimal	25
Magnetband allgemein	4-22	±2/d; ±4	8	20-60	±5/d; ±10	25
			15			20
Magnetband mit Polyester als Trägermaterial	4-16	minimal	10	20-50	minimal	35-45
			15			35
digitales Magnetband	18-22	minimal	?	35-45	minimal	?
Schallplatte	5-20	minimal	5-10	30-45	minimal	30
CD allgemein	15-20	±1,2/d	18	25-40	±5/d	40
CD-ROM	5-20	±2	?	30-50	±5	?
CD-R	10-15	±2	?	30-50	±5	?
DVD allgemein	8-20	±1,2/d	18	20-50	±5/d	40
DVD-ROM	-20-50	±7,5/h	?	5-90	±5/h	?
DVD-R	-20-50	±7,5/h	?	5-90	±5/h	?
DVD+RW	-10-55	±7,5/h	?	3-90	±5/h	?
DVD-RAM	-10-50	±5/h	?	3-85	±5/h	?

Tabelle 3: Empfohlene Lagerungsbedingungen für audiovisuelle Datenträger³⁸



³⁸ eigene Zusammenstellung

5.4 Akklimatisierung

Wird ein AV-Datenträger aus dem Magazin ausgehoben, sollte er akklimatisiert werden, bis er die Temperatur des Abspielgeräts erreicht hat, bevor er abgespielt wird. Unsachgemäße Akklimatisierungsversuche können zur Kondensation von Feuchtigkeit und dazu führen, dass der Datenträger beschädigt oder fehlerhaft abgespielt wird.

Bei optischen Discs reicht es meist, sie einfach eine Weile in der Hülle zu lassen, damit keine Feuchtigkeit auf der Oberfläche kondensiert.

Bei Temperaturunterschieden von über 8 K zwischen Magazin und Abspiel-Ort sollte Filmen und Magnetbändern eine Akklimatisierungsmöglichkeit gegeben werden, sonst kann es zu Kondensation von Feuchtigkeit auf der Datenträgeroberfläche oder zu Abspielschwierigkeiten wegen Spurfehlern oder unsauberen Aufspulens kommen. Voraussetzung für einen Akklimatisierungsvorgang ist eine abgeschlossene Umgebung mit kontrollierbarer Klimatisierung, wie z.B. ein kleiner, verschließbarer Raum, dessen Mikroklima den Bedingungen am Verwendungs-Ort des Datenträgers ähnelt. Auch wenn die Temperaturunterschiede klein sind, empfiehlt es sich, einen AV-Datenträger einige Zeit vor dem Gebrauch im Abspielraum stehen zu lassen. Ist die Temperatur im Magazin wesentlich niedriger als am Abspiel-Ort, kann es nötig werden, die Akklimatisierung in mehreren Schritten (bzw. Räumen) durchzuführen. Je breiter ein Magnetband bzw. ein Film ist, desto mehr Zeit wird zu seiner Akklimatisierung benötigt. Ein Film bzw. Band mit der doppelten Breite braucht viermal soviel Zeit zum Akklimatisieren wie ein Film bzw. Band mit der einfachen Breite.

Für Filme empfiehlt sich – je nach Behältnis und Filmlänge – eine thermische Akklimatisierungszeit von einer halben Stunde bis zu vier Stunden.

Tabelle 4 zeigt empfohlene Akklimatisierungszeiten für verschiedene Typen von Magnetbändern. Eine weniger genaue Empfehlung besagt, dass man Magnetbänder pro 10 K Temperaturunterschied zwischen Magazin und Abspiel-Ort sich vier Stunden lang akklimatisieren lassen sollte.

Magnetbandtyp	Akklimatisierungszeit (Temperatur)	Akklimatisierungszeit (Luftfeuchtigkeit)
MC	1 Stunde	6 Stunden
Quadruplex	16 Stunden	50 Tage
U-matic	4 Stunden	8 Tage
Betamax, VCR, VHS, SVHS, Video 2000	2 Stunden	4 Tage
Video 8, Hi 8, Digital 8	1 Stunde	2 Tage
Mini DV	1 Stunde	1 Tag

Tabelle 4: empfohlene Akklimatisierungszeiten für verschiedene Magnetbandtypen⁴⁰

5.5 Abspielgeräte

5.5.1 Überblick

Sämtliche Geräte, auf denen AV-Datenträger abgespielt oder aufgenommen werden können, müssen kalibriert sein und sich in einem sauberem und einwandfreiem Zustand befinden, um mögliche mechanische Schäden beim Abspielen zu minimieren. Ist kein qualitativ hochwertiges Abspielgerät verfügbar, sollte eines erworben und an einem kühlen, trockenen Ort gelagert werden. Die Aufnahmefunktion der Abspielgeräte sollte deaktiviert sein. Abspielgeräte müssen regelmäßig und gemäß den Empfehlungen des Herstellers gereinigt und gewartet werden. Regelmäßige Wartung ist wichtig, da ein schlecht gewartetes, unsauberes Gerät schweren Schaden anrichten kann. Wird ein Abspielgerät sehr oft benutzt, sollte man es wöchentlich reinigen und jährlich von einem Fachmann justieren lassen. Wenn es nur gelegentlich in Gebrauch ist, sollte man es monatlich reinigen. Säubern sollte man es auch, nachdem man einen verschmutzten Datenträger abgespielt hat.

³⁹ Quelle: Bogart 1995, S. 20

⁴⁰ eigene Zusammenstellung

5.5.2 Videorekorder

Es sollte ein Gerät mit Direktantrieb-Motoren ohne Gummiriemen vorhanden sein. Mindestens ein paar Mal im Jahr sollte der Videorekorder verwendet werden, um die Gummibauteile zu bewegen und die Gleitfähigkeit beizubehalten. Ferner sollten Ersatzteile in ausreichender Stückzahl gekauft werden, da die Abspielgeräte von Magnetbändern Gefahr laufen, schnell zu veralten.

Für Kassettengeräte können Reinigungskassetten gemäß deren Gebrauchsanleitung verwendet werden. Reinigungskassetten mit einem weißen oder grünen, langfasrigen Papiermaterial (Pellon) sind am besten geeignet. Schmutzteile, die verkrustet oder zwischen Bandlaufteilen verkeilt sind, werden durch Reinigungskassetten nicht entfernt. Solche Verschmutzungen müssen mit Hilfe eines Watte- oder Hirschlederstäbchens und des in der Bedienungsanleitung des Gerätes angegebenen chemischen Reinigers entfernt werden. Bei einer manuellen Reinigung von Videorekordern können Präzisionsbauteile wie beispielsweise die Köpfe beschädigt werden. Daher sollten derartige Reinigungsarbeiten ausschließlich von ausgebildetem Personal durchgeführt werden, das über Erfahrung mit dem Gerät, mit den sachgemäßen Vorgehensweisen und mit den möglicherweise auftretenden Problemen verfügt. Gleiches gilt für das Kalibrieren des Geräts, das auch regelmäßig durchgeführt werden sollte. Steht kein ausgebildetes Personal zur Verfügung, so sollte mit den regelmäßigen Wartungsarbeiten ein entsprechend qualifizierter Betrieb beauftragt werden.

Jedes Mal, wenn eine Magnetband-Kassette in ein Abspielgerät gelangt, zieht ein Mechanismus am Band. Wenn die Führungsstifte des Videorekorders nicht korrekt ausgerichtet sind, kann das Band beschädigt werden. Wenn das Abspielgerät die Kassette wieder freigibt, muss das Band korrekt auf die Spule zurückgezogen werden, sonst wird es beschädigt, wenn sich die Kassettenklappe schließt, was in einem „Bandsalat“ resultieren kann. Wegen dieser Gefahr ist es sehr wichtig, Kassetten nur an den Stellen im Magnetband einzuführen bzw. auszuwerfen, die keine wichtigen Informationen enthalten. Deshalb sollte man Bänder nach dem Gebrauch immer zurückspulen.

5.5.3 Vinyl-Schallplattenspieler

Zum Ermitteln der Werte der wichtigsten Gütekriterien eines Schallplattenspielers können DIN-genormte Mess-Schallplatten mit Testtönen verwendet werden. Ein qualitativ hochwertiger Schallplattenspieler zeichnet sich u.a. durch folgende Merkmale aus:

- Tonabnehmer-Nadel aus Diamant
- Drehtonarm mit „Antiskating“-Einrichtung
- Übertragungsbereich von 30 Hz bis 15 kHz und Toleranz von ± 2 dB von 40 Hz bis 12,5 kHz
- geringe Abweichung von der Nennzahl (Schwankungsfrequenz unter 0,55 Hz bei 33 1/3 U/min)
- geringe nichtlineare Verzerrungen (Frequenz-Intermodulation von unter 0,5 %)
- geringe Vibration des Antriebs (Rumpelfremdspannungsabstand über 40 dB und Rumpelgeräuschabstand über 60 dB)

Zum Abspielen von Single-Schallplatten ist ein spezieller Adapter (Puck) erforderlich.

5.6 Abspielvorgang

5.6.1 Abspielen von Filmen

Filme sind empfindlich und sollten immer mit Sorgfalt behandelt werden. Anfassen sollte man sie immer am Rand; auf keinen Fall sollte die Emulsion berührt werden, da diese die Daten enthält und leicht beschädigt werden kann. Filme, die geschrumpft oder spröde sind, dürfen nicht abgespielt werden. Vor dem Abspielvorgang sollte der Film ein Mal mit moderater Spannung gespult werden. Wird ein Film nicht benutzt, sollte er unverzüglich und in sauberem Zustand in seine Verpackung zurückgelegt werden.

Bevor ein Film magaziniert wird, sollte er mit moderater Spannung auf den Spulenkern aufgewickelt werden. Dafür sind die meisten Projektoren ungeeignet, da sie den Film zu sehr beanspruchen. Die ideale Spannung herrscht dann, wenn ein Film von selbst auf einer Spule hält,

aber noch „atmen“ kann. Ist ein Film zu lose aufgewickelt, erkennt man das daran, dass die inneren Lagen der Filmrolle „durchhängen“, wenn man die Filmrolle horizontal hält.

5.6.2 Abspielen von Magnetbändern

Das Abspielen älterer Magnetbänder kann zu Folgeschäden führen, insbesondere dann, wenn sie nicht akklimatisiert wurden, feucht sind oder kontaminiert sind. Abgespielt werden sollten Magnetbänder idealer Weise nur nach einer bestandenen Inspektion und auf hochwertigen, gut gewarteten, sauberen, kalibrierten und funktionierenden Abspielgeräten. Man sollte darauf achten, dass das Kassettenformat vom Gerät auch abgespielt werden kann. Beispielsweise können VHS-Kassetten auf SVHS-Geräten abgespielt werden, aber nicht umgekehrt. Mini-DV-Kassetten können in den meisten DVCAM-Geräten abgespielt werden, aber nicht umgekehrt. Video-8-Kassetten können in Hi-8-Rekordern abgespielt werden, aber nicht umgekehrt.

Abgespielt werden sollten Magnetbänder bei ca. 18 bis 25 °C und einer Luftfeuchtigkeit von 15 bis 50 %. Der Raum sollte möglichst Magazinbedingungen aufweisen. Bevor man ein Band abspielt, sollte man sich vergewissern, dass es korrekt im Abspielgerät sitzt. Niemals darf man eine Kassette mit Gewalt in ein Gerät einführen.

Während des Abspielvorgangs sollte man den Pause-Modus (Standbild) möglichst nur kurz oder gar nicht verwenden, da dieser das Band stark beansprucht. Ebenso sollte man vom Vorspulen nicht direkt zum Rückspulen übergehen, sondern die Stopp-Taste drücken. Nach dem Abspielen sollte das Band bis zum Ende vor- und dann wieder zurückgespult werden. Dadurch wird es mit der richtigen Spannung aufgewickelt. Niemals darf man ein Magnetband über längere Zeit im Abspielgerät lassen oder in der Mitte auswerfen.

In alten Ratgebern zum Umgang mit Magnetbändern findet man oft den Hinweis, dass die Kassetten ca. alle zwei bis drei Jahre umgespult werden müssen, damit Spannungen im Bandwickel abgebaut werden. SMPTE empfiehlt, dass Magnetbänder mindestens alle 10 Jahre auf einem gut gewarteten Gerät vor- und zurückgespult werden müssen, vorzugsweise während der physischen Inspektion. Heute gehen die meisten Experten aber davon aus, dass das Umspulen bei einer sachgemäßen Lagerung nicht nötig ist und dass damit im Gegenteil sogar Schaden angerichtet werden kann (bei Spulgeräten mit schlechter Spulkontrolle). Billige Spulgeräte werden nicht empfohlen, da sie die Bänder zu sehr beanspruchen. Wenn ein Band unter Spannung aufgespult wird, zieht das zusätzliche Spannungen im Bandwickel nach sich.

Nach langen Transporten, vor Gebrauch oder vor der langfristigen Einlagerung hingegen ist es empfehlenswert, die Bänder vor- und zurückzuspulen, damit das Band wieder fest und korrekt auf der Spule sitzt.

Eine nominale Wickelspannung von ca. 2,2 N ist für ein 25,4 mm breites Band mit einer nominalen Dicke von 25 µm akzeptabel. Für andere Bandbreiten und -dicken gelten die proportionalen Werte. Bei niedrigen Spulgeschwindigkeiten von unter 381 mm/s wird nur sehr wenig Luft im Bandwickel gefangen; den Effekt der Luftschmierung kann man dabei vernachlässigen.

Heute gibt es verschiedene Systeme, die die Wickelspannung kontrollieren. Die meisten fabrikneuen Magnetbänder wurden mit einem konstanten Drehmoment aufgewickelt, und viele Recorder spulen mit konstanter Spannung. Für die normale Anwendung und auch die Lagerung sind sowohl Systeme mit konstanter Spannung als auch Systeme mit konstantem Drehmoment akzeptabel.

5.6.3 Abspielen von Vinyl-Schallplatten

Schallplatten sollten mit Vorsicht gehandhabt werden und dürfen nicht geworfen oder fallen gelassen werden. Berühren kann man sie am Rand sowie am Mittelloch und am Etikett. Vorzugsweise sollte man dabei fusselreie Baumwollhandschuhe tragen.

Um die Lebensdauer von Schallplatten zu verlängern, sollte man sie in sauberem Zustand und nur auf gut gewarteten und kalibrierten Schallplattenspielern abspielen. Für eine optimale Wiedergabe müssen die einzelnen Baugruppen (insbesondere Laufwerk, Tonarm und Tonabnehmersystem) exakt aufeinander abgestimmt werden. Die Kraft, mit der die Abtastnadel des Tonabnehmers auf den Rillenflanken der Schallplatte lastet, sollte möglichst klein sein, um den Abrieb zu minimieren. Deswegen ist es besser, den Tonabnehmer automatisch aufsetzen zu

lassen, als ihn von Hand auf die Tonrille zu setzen. Ist der Abspielvorgang beendet, muss die Schallplatte wieder in ihre Hülle gesteckt werden.

5.6.4 Abspielen von optischen Discs

Optische Discs sollten vorzugsweise mit fusselreien Baumwollhandschuhen und am äußeren Rand bzw. im Mittelloch berührt werden. Niemals sollten sie an der Oberfläche angefasst oder gebogen werden. Man sollte sie dem *Jewel Case* entnehmen, indem man sie am Rand anfasst und auf die Halterung in der Mitte drückt. Hört man ein Rattern beim Abspielen, deutet dies entweder auf ein defektes Laufwerk oder eine defekte Disc hin, oder die Disc wurde nicht korrekt eingelegt. Sofort nach dem Entnehmen aus dem Laufwerk sollte man Discs wieder in ihre Hülle legen.

5.7 Transport von Magnetbändern

Magnetbänder sind beim Transport ganz besonders schadensanfällig. Zu den zentralen Risiken gehören magnetische, mechanische und kinetische Auswirkungen auf die Gehäuse der Bänder, nicht kontrollierbare klimatische Bedingungen sowie Diebstahl oder Verlust. Korrekt aufgespulte Bänder können stärkeren Schwankungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit besser widerstehen als fehlerhaft aufgewickelte.

Handwagen, die im Archiv benutzt werden, sollten so beschaffen sein, dass Magnetbänder senkrecht stehen und nicht verrutschen oder hinunterfallen können. Sie sollten solide gebaut sein, um so viel Ladegewicht wie möglich zu kompensieren. Die Räder sollten frei beweglich und nicht zu klein sein, damit der Handwagen leichtgängig über Fußbodenbeläge und Unebenheiten gleiten kann.

Magnetbänder von dauerhaftem archivarischem Wert dürfen nicht ausgeliehen oder versandt werden, ohne dass gewährleistet ist, dass sowohl während des Transports als auch nach Erhalt durch den Empfänger ein sachgemäßer Umgang mit den Bändern garantiert werden kann. Nach Möglichkeit sollte statt des Originals eine Kopie versandt werden. Für den Transport großer Mengen von Magnetbändern sollte eine darauf spezialisierte Firma engagiert werden, vorzugsweise die sicherste und schnellste. Die Bänder dürfen keinen Temperaturen unter 8 und über 43 °C ausgesetzt sein. Auch starke Schwankungen von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit sind zu vermeiden. Ein Versand mitten im Winter wie auch im Hochsommer ist zu unterlassen bzw. nur bei entsprechend passenden Wetterverhältnissen vorzunehmen.

Die gegen Temperaturschocks isolierten Transportbehälter müssen stabil und wasser-, staub- und schockabweisend sein und so verschlossen werden, dass während des Transports keine Verunreinigungen eindringen können. Die Unterseiten der Behälter sollten auf Makellosigkeit und Stabilität hin kontrolliert werden. Die Transportkisten sollten richtig gekennzeichnet sein und der Transport mit geeigneten Fahrzeugen durchgeführt werden.

Die Bänder sollten senkrecht, mit dem vollen Spulenkern unten und eng aneinander eingepackt werden. Die Behälter sollten an allen sechs Seiten gut (mindestens 25, besser noch 50 mm dick) gepolstert sein (z.B. mit Luftpolsterfolie). Schockabweisende Verpackungsmaterialien haben oft auch eine gute Isolationsfähigkeit. Faserhaltiges Verpackungsmaterial und Styroporkugeln dürfen bei der Verpackung von Magnetbändern grundsätzlich nicht verwendet werden. Werden die Bänder in einem sehr feuchten Klima verschifft, sollten die Bänder in Plastiktüten mit Trockenmittel transportiert werden. Bei offenen Bandrollen sollte der äußere Bandwickel mit persistentem Befestigungsband oder speziellen, extra für diesen Zweck hergestellten Gurten befestigt werden. Kassetten ohne interne Mechanismen, die die Spulenkern am Verrutschen hindern, sollten in speziellen Behältern transportiert werden, die das Verrutschen der Spulenkern verhindern.

6 Strategien zur Langzeitarchivierung von AV-Archivalien

6.1 Digitale Langzeitarchivierung

Die digitale Langzeitsicherung kann definiert werden als die Abfolge von kontrollierten Arbeitsabläufen, die nötig sind, um einen fortwährenden Zugriff auf digitale Daten zu gewährleisten, unabhängig von defekten Datenträgern und technologischen Veränderungen. Diese Definition beinhaltet die zwei wichtigsten Aspekte: Gewährleistung des Zugriffs auf die Daten und Gewährleistung, dass die Daten unabhängig von Datenträger und technologischen Veränderungen auch in Zukunft noch gelesen werden können.

Der digitalen Langzeitarchivierung liegen folgende Prinzipien zugrunde:

- Jede digitale Archivkopie ist mit den importierten Daten durch „Verifikation“ zu vergleichen, muss frei von unkorrigierbaren Fehlern sein und sollte die geringst mögliche Anzahl korrigierbarer Fehler aufweisen. Ein Fehlerstatusbericht ist anzulegen und für künftige Kontrollen aufzubewahren. In das Archiv von außen eingebrachte, digitale Aufnahmen könnten jedoch unkorrigierbare Fehler beinhalten. Auch hier muss ein Fehlerstatusbericht angelegt und die Position derartiger Fehler festgestellt und aufgezeichnet werden.
- Jeder Datenträger mit digitalen Aufnahmen ist regelmäßig auf seine Datenintegrität hin zu überprüfen.
- Die digitalen Inhalte sind auf einen neuen Datenträger zu übertragen, sobald die Zahl der Fehler signifikant ansteigt, jedenfalls aber bevor unkorrigierbare Fehler auftreten.
- Die digitalen Inhalte sind zu kopieren, bevor die alten Datenträger, die Formate und/oder die Hardware obsolet werden (Migration).
- Es ist unerlässlich, wenigstens zwei digitale Archivkopien sowie zusätzliche Benutzerkopien in der benötigten Anzahl aufzubewahren. Die Archivkopien sind, wenn irgend möglich, an verschiedenen Orten zu lagern.

Voraussetzung für die langfristige Verfügbarkeit elektronischer Informationen ist die Einhaltung von Standards. Zu berücksichtigen sind Datenträgerformat, Dateiformat und Metadaten. International ist die Funktionalität und der Umfang von elektronischen Archiven in der ISO-Norm 14721 („OAIS“, „Open Archival Information System“) und von sog. Datenmanagement-Systemen in der ISO-Norm 15489 („Records Management“) definiert. In Deutschland kann unter dem Aspekt der Sicherheit und Prüfung von Archivsystemen das BSI-Grundschriftbuch (hrsg. vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik) herangezogen werden. Rechtliche Grundlagen für die revisionssichere langfristige Speicherung von Daten geben das Handelsgesetzbuch (HGB) und die Abgabenordnung (AO) vor.

Sobald die Instabilität und/oder die Obsoleszenz eines Datenträgers oder Datenformats den Zugang zur Primärinformation nur mehr über eine Kopie ermöglicht, steigt die Wichtigkeit einer adäquaten sekundären Information. Archive müssen daher in systematischer Weise die relevanten Sekundärinformationen eines Originaldokuments festhalten und diese Informationen zusammen mit der Primärinformation zugänglich erhalten. Nur dadurch haben künftige Benutzer Gewissheit über die Authentizität der ursprünglichen Daten.

Bevor eine bestimmte Strategie der digitalen Langzeitsicherung auf ein bestimmtes Archiv angewendet wird, ist es wichtig, dass der Archivar Antworten auf die folgenden Fragen erhält:

- Ist die Migration auf neue Datenträger ohne Informationsverlust möglich?
- Wie hoch ist der Prozentsatz an Daten, der jährlich in n Jahren verloren gehen wird?
- Wie sieht die statistische Verteilung der Wahrscheinlichkeit, dass Daten verloren gehen, aus? Es ist z.B. nicht ratsam, in eine Langzeitsicherungsstrategie mit einem projizierten Datenverlust von 1 % zu investieren, bei dem die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Prozentsatz zehnmal höher liegt, 50 % beträgt.
- Wie variieren die Wahrscheinlichkeiten des Datenverlusts über die Zeit? Eine Langzeitsicherungsstrategie kann sich kurzfristig als sehr vorteilhaft erweisen, aber sich nach längerer Zeit als zu risikoreich oder zu teuer erweisen.
- Wie variieren die Wahrscheinlichkeiten des Datenverlusts in Abhängigkeit von den Kosten? Je kleiner die Wahrscheinlichkeit eines Datenverlusts, desto höher sind in der Regel die Kosten. Leider gibt es hierzu derzeit noch keine ausreichenden Informationen seitens der Industrie.

Zurzeit existieren mehrere Projekte und Netzwerke, die sich mit dem Problem der langfristigen (!) Sicherung und Nutzbarkeit digitaler Daten widmen. Die zwei wichtigsten sind NESTOR⁴¹ (Kompetenznetzwerk Langzeitarchivierung) und KOPAL⁴² (Kooperativer Aufbau eines Langzeitarchivs digitaler Informationen). Derzeit wird intensiv daran gearbeitet, eine praktikable Lösung für das Problem der digitalen Langzeitarchivierung zu finden. Bis eine solche Strategie entwickelt ist, werden Archive und ähnliche Einrichtungen damit vorliebnehmen müssen, digitale Daten quasi „zwischenzuspeichern“, d.h. in periodischen Abständen (je nach Haltbarkeit des alten und Verfügbarkeit eines neuen Speichermediums) von einem Datenträger auf den nächsten umzukopieren. In welchem Umfang und in welcher Qualität dies geschehen kann, ist abhängig von den jeweiligen Organisationsformen und den verfügbaren Finanzen der mit der Langzeitarchivierung beauftragten Einrichtungen.

6.2 Probleme bei der Langzeitarchivierung

6.2.1 Zerfall des Original-Datenträgers

Sind noch keine Sicherungskopien einer AV-Archivalie vorhanden, sollte man spätestens beim ersten Anzeichen von Zerfall eine solche anfertigen, um einem völligen Verlust der Originaldaten vorzubeugen.

6.2.2 Obsoleszenz der Datenträgerformate

Da sich der Markt für Datenträger und Zubehör ständig weiterentwickelt, sind ältere Datenträgerformate in der Form bedroht, dass keine genügende Nachfrage mehr besteht und deren Produktion eingestellt wird. Das Format ist dann zunehmend vom „Aussterben“ bedroht. Format-Obsoleszenz führt zu einem raschen Verschwinden von entsprechenden Abspiel- und Testgeräten sowie Zubehör. Schon heute gibt es weltweit nur noch vier oder fünf Firmen, die CD-Player herstellen. Insbesondere hochwertige Geräte, wie sie für archivarische Zwecke verwendet werden sollten, sind nach einiger Zeit nur noch sehr schwer zu bekommen. Wiedergabegeräte, die kaum elektronische Bauteile enthalten, können von geschickten Technikern notfalls selber nachgebaut werden. Was bei Schallplattenspielern noch funktioniert, ist schon bei CD-Playern allerdings unmöglich. Es wird daher dringend empfohlen, Sofortmaßnahmen zu ergreifen, um die für einen optimalen Transfer der gefährdeten Archivalien nötigen Hilfsmittel sicher zu stellen.

Daten, die nur auf obsoleten Datenträgerformaten vorliegen, sind unabhängig von ihrem Zustand schnellstmöglich durch Migration für die Zukunft zu sichern. Die meisten analogen Datenformate sind inzwischen von Obsoleszenz bedroht, beispielsweise das VCR-Format. Es gibt meist nur wenig oder keine Unterstützung vom Hersteller der Kassetten. Ebenfalls bedroht sind die Formate Video 8 und Hi 8, die chronologisch durch das Digital-8-Format abgelöst werden. Je seltener Datenträgerformate und dazugehörige Abspielgeräte auf dem Markt werden, desto dringender müssen Informationen migriert werden, die auf einem solchen Speichermedium vorliegen, weil die Gefahr besteht, die Informationen eines Tages mangels vorhandener Technik nicht mehr auslesen zu können.

Derzeit wird die Methode der Emulation stark diskutiert. Beim Verfahren der Emulation werden die Eigenschaften eines obsoleten Datensystems so simuliert, dass Daten, die in diesem obsoleten Format vorliegen, mit neueren Computern und Betriebssystemen ausgelesen werden können. Diese Lösungsstrategie wird im Bereich der langfristigen Datenspeicherung aber noch nicht in größerem Ausmaß eingesetzt. Nachteile dieser Methode sind, dass der Aufwand künftiger Emulationsschritte nicht planbar ist und eines Tages eine Emulation vielleicht gar nicht mehr durchführbar ist.

⁴¹ <http://www.langzeitarchivierung.de>, vgl. Neuroth et al. 2007

⁴² <http://kopal.langzeitarchivierung.de/>

6.3 Migration

6.3.1 Überblick

Grundsätzlich stellt sich die Frage, auf welches Ziel-Datenträgerformat die Daten eines von Zerfall oder Format-Obsoleszenz bedrohten AV-Datenträgers migriert werden sollen. Bei Filmen empfiehlt es sich, als Zielformat modernes Filmmaterial zu verwenden und von einer Digitalisierung abzusehen. Bei Magnetbändern und Schallplatten stellt sich die Frage, ob man ein analoges oder ein digitales Datenträgerformat als Zielformat wählt.

Ein analoges Zielformat ist die authentischere, aber auch mit zwangsweise mit Datenverlust einhergehende Wahl. Problematisch ist hierbei auch, für wie lange noch Abspielgeräte für dieses Format zur Verfügung stehen werden – das Zeitalter der Digitalisierung hat längst begonnen.

Ein digitales Zielformat hingegen ist ebenfalls nicht unproblematisch, da sich allgemeingültige Standards für Datenformate (siehe Kapitel 6.3.3) sehr schnell ändern können, was die Gefahr birgt, dass ein heute aktuelles Datenformat in ein paar Dekaden nicht mehr ausgelesen werden kann. Somit ist dann ein periodisches Umkopieren der digitalen Daten in andere Formate fast schon ein Muss. Dies kann allerdings – im Gegensatz zum Umkopieren bei analogen Datenformaten – ohne Informationsverlust geschehen.

Das gesamte Verfahren der Migration muss geschlossen und sicher sein. Dies geht über die Frage der Datenträger und -medien hinaus und bezieht auch die organisatorischen Prozesse mit ein.

Eine Methode zur Sicherstellung der langfristigen Verfügbarkeit von auf AV-Datenträgern gespeicherten Daten ist die Migration von Information in eine neue Systemumgebung. Sie stellt unter Umständen ein Risiko dar – nämlich dann, wenn die Informationen nicht nachweislich unverändert, vollständig und weiterhin uneingeschränkt wieder findbar von einer Systemlösung auf eine andere migriert werden. Originalität und Authentizität können durch eine Migration in Frage gestellt werden. Andererseits zwingt der technologische Wandel die Anwender auf neue Speicher- und Verwaltungskomponenten rechtzeitig zu wechseln, um die Information verfügbar zu halten.

Eine Migration muss, um erfolgreich zu sein, mindestens den folgenden Anforderungen gerecht werden:

- Garantie der Fehlerfreiheit der Originalinformationen (problematisch bei optischen Discs, da die Fehlerkorrektur des Laufwerks kleinere Fehler beim Lesen unmerklich korrigiert)
- Garantie eines ununterbrochenen, sicheren, zuverlässigen Betriebs.
- Vornehmen so vieler Änderungen, wie es notwendig erscheint, um aktuelle und zukünftig erwartete Anforderungen abzudecken. Hierdurch wird erreicht, dass das neue System nicht bereits kurz nach Vollendung der Migration angepasst werden muss und unter Umständen eine weitere Migration ansteht.
- Durchführung so weniger Änderungen wie möglich, den Umfang und das Risiko der Migration zu verringern. Je komplexer eine Migration ist, desto höher ist auch die Fehlergefahr. Die Komplexität einer Migration steigt mit der Anzahl der durchgeführten Änderungen.
- Abänderung des originalen Datencodes so gering wie möglich halten. Solange der Datencode funktioniert und keine neue Funktionalität notwendig ist, sollte er übernommen werden, wie er ist, bzw. nur minimale Änderungen durchgeführt werden, da Änderungen zwangsweise auch Fehler in der Implementierung nach sich ziehen.
- Abänderung des originalen Datencodes soweit, dass er die Migration unterstützt.
- Einbau möglichst großer Flexibilität, um zukünftige Änderungen zu erleichtern, beispielsweise durch die Kapselung der Funktionen.
- Minimierung möglicher negativer Auswirkungen der Änderungen. Bei allen Änderungen am System sollte geprüft werden, ob diese Änderungen noch mit dem System verträglich sind, um hierdurch bereits frühzeitig Fehlentwicklungen vorzubeugen.
- Maximierung des Nutzens moderner Technologien und Methoden. Hierdurch werden zukünftige Anpassungen erleichtert.

6.3.2 Geeignete Speichermedien

Das „richtige“ Speichermedium gibt es nicht. Folgende Datenträger können derzeit für Archivierungszwecke empfohlen werden:

- **Filme** mit PET als Trägermaterial sind reißfest, bis zu 500 Jahre lang haltbar und speichern die Informationen unverschlüsselt (optisch). Daher sind sie für die Speicherung von Filmen geeignet.
- **WORM-Bänder** sind Magnetbänder, die durch mehrere kombinierte Eigenschaften die Anforderungen an ein herkömmliches WORM-Medium (z.B. CD-R) erfüllen. Hierzu gehören spezielle Bandmedien sowie geschützte Kassetten und besondere Laufwerke, die die Einmalbeschreibbarkeit sicherstellen. Die dazugehörige Steuersoftware kann nötig werdende Kopier- und Sicherungsvorgänge bei Bedarf automatisieren.
- **Flash-Speichermodule** können bedingt nur empfohlen werden. Ihr Vorteil ist, dass sie wieder beschreibbar sind und keine beweglichen Teile enthalten. Sie bestehen allerdings aus einem Materialgemisch, was ihre Haltbarkeit beeinträchtigen dürfte.
- **CAS** (*Content Addressed Storage*) sind Festplattensysteme, die durch spezielle Software die gleichen Eigenschaften wie ein herkömmliches WORM-Medium besitzen. Ein Überschreiben oder Ändern der Information auf dem Speichersystem wird durch die Kodierung bei der Speicherung und die spezielle Adressierung verhindert.
- **DMSS** (digitale Massenspeicher-Systeme) erlauben die automatische Durchführung der Überprüfung der Datenintegrität mit einem minimalen Aufwand an menschlicher Arbeitskraft. Wegen der erheblichen Kosten für derartige Systeme können sich Archive mit eher geringem Budget ein solches System (noch) nicht leisten. Mit dem ständigen Sinken der Hardware-Preise werden jedoch kleine, skalierbare DMSS erschwinglich. Es ist vorhersehbar, dass auch die Software-Preise entsprechend sinken und damit eine automatische digitale Archivierung für eine große Zahl von Archiven erschwinglich machen werden.

Die Verwendung von DMSS ist die momentan wohl beste, allerdings auch teuerste Methode, um digitale Daten mittelfristig verfügbar und nutzbar zu halten. Zu den hohen Anschaffungskosten kommen laufende Kosten, die sich für die Periode von fünf Jahren auf ca. ein Drittel der Anschaffungskosten belaufen. Zudem sollten die Festplatten alle fünf Jahre ausgetauscht werden, da die darin verbauten mechanischen Bestandteile durch ständigen Gebrauch verschleißeln. Vorreiter in Deutschland bei der Verwendung von DMSS ist das Deutsche Rundfunkarchiv.⁴³

Opto-elektronische Datenträger (CDs, DVDs, Blu-ray- und HD-Discs) sind nicht archivtauglich und werden in absehbarer Zukunft wohl „aussterben“ und durch andere Speichermedien ersetzt werden. Werden diese Datenträger dennoch (z.B. aus Kostengründen oder als Zweitkopie) zum Archivieren verwendet, sollte man darauf achten, Rohlinge der Marke zu verwenden, die vom Hersteller des Brenners (den man verwendet) auf Grundlage eines von diesem Hersteller durchgeführten Tests empfohlen werden. Derzeit (2007) können die Brenner und auch die Brenner-Software von Plextron⁴⁴ wegen ihrer erstklassigen Qualität für archivatorische Zwecke empfohlen werden.

Eine kostengünstige Alternative für kleinere Archive kann die Auslagerung von PC-relevanten Tätigkeiten und Funktionen in ein örtliches Rechenzentrum sein. Beispielsweise können Zweitkopien und Metadaten von Archivalien als Digitalisate mit Garantieanspruch im Rechenzentrum gespeichert werden. Vorreiter auf diesem Gebiet sind Banken und Versicherungen, deren Verwaltungsdaten mit hundertprozentiger Garantie korrekt und verfügbar sein müssen.

6.3.3 Offene Standards für Datenformate

Langfristig lesbare Datenformate sollten bei einer Migration als Zielformat unbedingt bevorzugt verwendet werden. Eigenschaften eines solchen Formats sollten eine weite Verbreitung, eine offene Spezifikation (Norm) oder die spezielle Entwicklung als Format zur langfristigen Datenspeicherung sein. Ein allgemein akzeptiertes Prinzip bei der Wahl eines digitalen Zielformats

⁴³ <http://www.dra.de>

⁴⁴ <http://www.plextron.com>

für analoge Originale oder lineare Digitalaufnahmen ist die Vermeidung des Einsatzes von Datenkompression.

Es fehlt ein internationaler digitaler Standard, so wie der Film ein analoger Standard war. Jedes Wandeln in ein anderes Digitalformat bringt eine Verfälschung des Originals mit sich; mit jedem digitalen Formatwechsel gehen ggf. Informationen unwiederbringlich verloren.

Folgende beiden Datenformate sind heute als offene Standards anerkannt und werden für die Archivierung von Audio- bzw. Videodaten empfohlen:

Für Audio-Daten: WAV (*Waveform Audio File Format*; 44,1 kHz, 16 Bit, 88,2 KB/s, verlustfrei)

Für Video-Daten: AVI (*Audio Video Interleave*; benutzt *RIFF header* und *chunks*)

Die Speicherung von Video-Daten geht immer mit einer gewissen Kompressionsmethode, verbunden mit einem gewissen Kompressionsgrad, einher. Die IEC (*International Electrotechnical Commission*) der ISO hat den internationalen Kompressionsstandard MPEG (mit den Unterarten MPEG-1, MPEG-2 und MPEG-4) entwickelt, dessen Anwendung aber mit Informationsverlusten einhergeht und nicht für archivarische Migrationsmaßnahmen empfohlen werden kann.

6.3.4 Digitalisierungsvorgang

Die Digitalisierung analoger Datenträger ist immer mit einem gewissen Qualitätsverlust verbunden, weil die digitale Kopie sowohl aus messtechnischen Gründen als auch aus Gründen der Speicherplatzökonomie nicht beliebig genau sein kann. Eine digitale Kopie kann jedoch in vielen Fällen so genau sein, dass sie für einen Großteil der möglichen Anwendungen ausreicht. Wenn diese Qualität durch eine digitale Kopie erreicht wird, spricht man von der „Digitalisierung zur Erhaltung“ (*preservation digitisation*). Dieser Begriff verkennt jedoch, dass nicht alle möglichen zukünftigen Anwendungen bekannt sein können.

Die Umwandlung analoger Daten in digitale Formate ist ein schwieriger Vorgang, der viel Erfahrung, eine hohe Beanspruchung des Materials und spezielle Ausrüstung erfordert. Das Management solcher Projekte ist komplex und umfasst u.a. eine Inspektion der analogen Datenträger vor dem Migrationsvorgang, deren Säuberung und eine ständige Kontrolle des Materials während des Kopierprozesses. Bei der Digitalisierung von analogen Signalen werden erst eine Abtastung des Originals und danach die Quantifikation des Abtastwertes vorgenommen. Auflösung und Abtastrate bestimmen u.a., mit welcher Genauigkeit das analoge Signal digital gespeichert wird.

Als Beispiel für eine sehr professionelle Vorgehensweise bei der Digitalisierung analoger Audiodaten sei das Procedere des Deutschen Rundfunkarchivs erwähnt: Zuerst wird ein unbearbeitetes Digitalisat (inkl. Störgeräusche etc.) angefertigt, danach ein audiorestauriertes. Die Audiorestaurierung geschieht mit dem professionellen Programm *CEDAR Cambridge System* und wird von hauseigenen Toningenieuren durchgeführt, da externe Firmen damit überfordert wären. Die Restaurierung genügt zwar höchsten Ansprüchen, ist aber extrem zeitaufwändig (Verhältnis von Audiodateilänge zu Bearbeitungszeit von 1:8 bei Vinyl-Schallplatten und ca. 1:3 bei Tonbändern).

In manchen Fällen mag es empfehlenswert sein, einen schon einmal digitalisierten, analogen Datenträger nach ein paar Jahren erneut zu digitalisieren, weil sich mit modernerer Technik oft eine bessere Qualität des Digitalisats erzielen lässt.

6.3.4.1 Digitalisierung von Filmen

Das System Film ist momentan durch kein digitales Speichersystem zu ersetzen. Deshalb werden restaurierte Streifen auch weiterhin analog gesichert – umkopiert auf hochmodernes Filmmaterial, dessen Trägermaterial aus Polyester besteht, reißfest und bis zu 500 Jahre lang haltbar ist. Für das Anfertigen von Benutzerkopien oder das Aufbereiten eines beschädigten Films kann es allerdings trotzdem praktikabel sein, Filme zu digitalisieren.

Da Filmprojektoren keinen Ausgang haben, der sich an einen Computer, Videorekorder oder ähnliches anschließen ließe, muss man das Filmmaterial abfilmen. Für die Digitalisierung von Schmalfilmen gibt es verschiedenen Verfahren. Alle Verfahren setzen professionelle Ausstattung und Kenntnisse voraus. Für Archive mit kleineren Beständen lohnt es sich meist nicht, das Abfilmen im eigenen Haus durchzuführen, da die dafür nötige Ausrüstung sehr teuer ist. Wenn es um die Digitalisierung von Filmen geht, sollte man vor der Auftragsvergabe nach der verwendeten

Technik fragen. Manche Anbieter filmen nämlich einfach von einer Leinwand ab. Dieses Verfahren führt jedoch häufig zu einem unbefriedigenden Ergebnis.

Für eine Umwandlung des Filmmaterials in Videosignale ist ein sog. Abtaster („Telecine“) erforderlich. Moderne Abtaster sind häufig für diverse Filmformate und Bildauflösungen geeignet. Einige können auch für Super-8-Filme verwendet werden. Im Bereich des Abtastfensters wird der Film durch eine Flüssigkeit transportiert, welche die gleichen optischen Brechungseigenschaften gegenüber dem Licht oder dem Elektronenstrahl hat wie das Filmmaterial selbst. Dort wo sich Kratzer oder Schrammen auf dem Film befinden, füllt die Flüssigkeit diese aus und macht sie damit unsichtbar.

Eines der größten Probleme bei der Digitalisierung von Filmen ist die Synchronisation der verschiedenen Bildraten (18 bzw. 24 Bilder pro Sekunde) zu einer Video-Bildrate von 50 Halbbildern pro Sekunde. Diese Unterschiede führen im entstehenden digitalen Video zu einem unerwünschten „Bildpumpen“ oder zu schwarzen Balken. Diese Effekte können nachträglich und mit spezieller Software am Computer eliminiert werden.

Welches Verfahren auch verwendet wird, während der Abtastung oder im Anschluss daran müssen die einzelnen Einstellungen noch farbkorrigiert werden (*color matching*), da die Farben im erstellten Video meist nicht authentisch sind und blass erscheinen. Dies kann mit spezieller Filter-Software geschehen.

Nicht unproblematisch ist die Abtastung von Super-8-Filmen, die aus verschiedenen Super-8-Materialien zusammengeschnitten wurden. Jede Sorte hat eine andere Gradation. Hier sollte im Idealfall eine computergesteuerte oder eine ausgleichende manuelle (vom Videotechniker ausgeführte) Umstellung der Grundwerte des Abtasters erfolgen. Die Wiedergabe der Magnettonspur(en) ist ebenfalls problembehaftet. Oft ist die vom Aufnahmegerät abweichende Spurlage der Grund für eine mangelhafte Höhenwiedergabe. Hier muss ggf. nachjustiert werden.

6.3.4.2 Digitalisierung von analogen Magnetbändern

Um analoge Magnetbänder zu digitalisieren, muss man sie abspielen und dabei von einem Computer aufnehmen lassen. Dabei wird der analoge Input aus dem Abspielgerät in digitaler Form auf der Festplatte gespeichert. Diesen Vorgang nennt man *capturing*.

Voraussetzungen:

- passendes Abspielgerät für das Magnetband
- Computer mit schnellem Prozessor, viel Arbeitsspeicher, großer oder mehreren Festplatte(n) und gut konfiguriertem Betriebssystem
- gute Grafikkarte mit analogem Video-Eingang (S-Video oder Composite)
- hochwertiger SCART-Adapter
- Audio-Verbindungskabel (zwei Cinch auf Stereo-Klinke)
- Video-Verbindungskabel (einadrige Composite- oder SVHS-Kabel; Cinch auf Cinch, Mono)
- Aufnahme-Software, z.B. VirtualDub (Freeware, nicht kompatibel mit WDM-Treibern), VirtualVCR (Freeware, kompatibel mit WDM-Treibern), AVI_IO, iuVCR oder ReelCap

Durchführung: Zuerst muss man das Aufnahmegerät mit dem Computer verbinden. Man nehme das einadrige Composite- bzw. SVHS-Kabel und verbinde den Video-Ausgang des Abspielgeräts („Video-Out“) mit dem Video-Eingang der Grafikkarte („Video-In“). Mit dem Audio-Verbindungskabel muss der Audio-Ausgang des Abspielgeräts („Line Out“) mit dem Audio-Eingang der Soundkarte bzw. des Motherboards („Line-In“) verbunden werden. Scart-Adapter zum Umschalten, die am Videorekorder angeschlossen sind, müssen während der Aufnahme auf „Out“ gestellt sein.

Hat man Abspielgerät und Computer verbunden, optimiert man die Einstellungen im Betriebssystem und in der Aufnahmesoftware. Benutzt man Windows, sollte sichergestellt werden, dass AVI-Dateien nicht größer als 2 GB werden. Bei den Sound-Einstellungen sollte man wegen Verzerrungsgefahr den Aufnahmepegel eher im unteren als im oberen Bereich fixieren. Hat man alle Einstellungen vorgenommen, kann man eine Probe-Aufnahme starten und die Einstellungen danach ggf. anpassen.

Schließlich kann das *capturing* durchgeführt werden. Die Daten werden auf Festplatte gespeichert und stehen nach Beendigung der Aufnahme für die Nachbearbeitung und

Speicherung auf einem neuen Datenträger zur Verfügung. Eine unkomprimierte Speicherung der Daten ist mit dem Huffyuv-Codec möglich.

Gute Aufnahme-Software informiert den Benutzer nach der Aufnahme über etwaig vorhandene *dropped frames*. Dies sind Einzelbilder, die vom PC nicht erfasst wurden. Mögliche Ursachen dafür sind eine überlastete CPU, asynchrones Arbeiten von Grafik- und Soundchip oder ein nicht optimiertes Betriebssystem.

Möchte man ein Magnetband im VCR-Format digitalisieren, muss das VCR-Abspielgerät einen Cinch- oder SVHS-Ausgang haben. In der Regel haben diese aber nur einen SCART-Ausgang.

6.3.4.3 Digitalisierung von Vinyl-Schallplatten

Voraussetzungen:

- mit den vorhandenen Formaten kompatibler, qualitativ hochwertiger Schallplattenspieler
- leistungsstarker, gut konfigurierter Computer mit schnellem Zweikern-Prozessor und guter Soundkarte
- Vorverstärker
- dreiadriges Verbindungskabel (3,5-Zoll-Stecker für den Line-In-Ausgang des PCs, am anderen Ende zwei Gegenstecker der Bauart, die bei einer Hifi-Anlage das Kassettendeck mit dem Verstärker verbinden)
- spezielle, professionelle Software zum Aufzeichnen von Analog-Signalen

Durchführung:

1. Schallplattenspieler justieren
2. Schallplattenspieler mit Computer und Vorverstärker verbinden
3. Schallplatte waschen und Reinigungsflüssigkeit absaugen
4. in der Windows-Lautstärkeregelung „Line-In“ ganz nach oben und alle anderen Schieberegler ganz nach unten schieben
5. Software starten und optimal konfigurieren (z.B. Aufnahmepegel einstellen)
6. Schallplatte einlegen und aufnehmen, dabei auf möglichst hohe Aussteuerung achten
7. Audiodatei im WAV-Format auf Festplatte speichern
8. Audiodatei mit professioneller Software nachbearbeiten (Störgeräusche entfernen etc.)
9. WAV-Datei schneiden (bei mehreren Titeln auf einer Schallplatte)
10. Audiodatei auf einem anderen, geeigneten Datenträger (z.B. CD-R) speichern

7 Appendix

7.1 Standards

Standard-Nummer	Beschreibung	Jahr
AES22-1997	AES Recommended Practice for Audio Preservation and Restoration: Storage of Polyester-Base Magnetic Tape	1997
AES28-1997	AES Standard for Audio Preservation and Restoration: Method for Estimating Life Expectancy of Compact Discs (CD-ROM), Based on Effect of Temperature and Relative Humidity	1997
ANSI IT9.21-1996	Life Expectancy of Compact Discs (CD-ROM): Method for Estimating, Based on Effect of Temperature and Relative Humidity	1996
ANSI IT9.23-1997	Base Magnetic Tape: Storage	1997
ANSI IT9.25-1997	Optical Disc Media: Storage	1997
ANSI IT9.26-1997	Life Expectancy of Magneto-Optical (MO) Disks: Method for Estimating, Based on Effect of Temperature and Relative Humidity	1997
ANSI/EIA RS-338-1967	Unrecorded Magnetic Tape for Reel-to-Reel Instrumentation Applications	1967
ANSI/EIA 518-1986	Tape Recorder Measurement Standard	1986
ISO 10356	Cinematography: Storage and Handling of Nitrate Base Motion-Picture Films	1996
ISO 12606	Cinematography: Care and Preservation of Magnetic Audio Recordings for Motion-Pictures and Television	1997
ISO 18901	Photography: Processed Silver-Gelatine Type Black and White Film – Specifications for Stability	2001
ISO 18904	Imaging Materials: Processed Films — Method for Determining Lubrication	2000
ISO 18921	Imaging Materials: Compact Discs (CD-ROM) — Method for Estimating the Life Expectancy Based on the Effects of Temperature and Relative Humidity	2002
ISO 18923	Imaging Materials: Polyester-base Magnetic Tape — Storage Practices	2000
ISO 18925	Imaging Materials: Optical Disc Media — Storage Practices	2002
ISO 18927	Imaging Materials: Recordable Compact Disc Systems — Method for Estimating the Life Expectancy Based on the Effects of Temperature and Relative Humidity	2001
ISO 18933	Imaging Materials: Magnetic Tape — Care and Handling Practices for Extended Usage	2006
ISO/AWI 18938	Imaging Materials: Optical Discs — Care and Handling Practices for Extended Usage	2006

Tabelle 5: Übersicht über die wichtigsten relevanten Standards⁴⁵

⁴⁵ eigene Zusammenstellung

7.2 Weiterführende Literatur

Abbott, S. G. und N. Brumpton

1981 „The Effect of Moisture on Polyurethane Adhesives“. *Journal of Adhesion* 13:41-51.

Adelstein, Peter Z.

1999 „Permanence of Digital Information. Access to Information Preservation Issues“. *Proceedings of XXXIV International Conference of the Round Table on Archives (CITRA 1999)*. Budapest: International Council on Archives.

2004 *IPI Media Storage Quick Reference*. Rochester, NY: Image Permanence Institute.

Adelstein, Peter Z. und J. L. McCrea

1981 „Stability of Processed Polyester Base Photographic Films“. *Journal of Applied Photographic Engineering* 7:160-7.

Adelstein, Peter Z. et al.

1970 „Preservation of Motion-Picture Color Films Having Permanent Value“. *Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers* 7:1011-8.

1992 „Stability of Cellulose Ester Base Photographic Film. Part I: Laboratory Testing Procedures“. *SMPTE Journal* 101(5):336-46.

1992 „Stability of Cellulose Ester Base Photographic Film. Part II: Practical Storage Considerations“. *SMPTE Journal* 101(5):346-353.

Akhavan, F. und T. Milster

1999 *CD-R and CD-RW. Optical Disk Characterization in Response to Intense Light Sources*. SPIE Conference on Recent Advances in Metrology, Denver, Colorado, USA.

Allen, N. S. et al.

1990 „Initiation of the Degradation of Cellulose Triacetate Base Motion Picture Film“. *Journal of Photographic Science* 38:54-9.

1988 „Degradation of Historic Cellulose Triacetate Cinematographic Film. Influence of Various Film Parameters and Prediction of Archival Life“. *Journal of Photographic Science* 36:194-8.

Altrichter, E. et al.

1972 *Grundlagen der magnetischen Signalspeicherung*. Berlin: Akademie-Verlag.

Ambekar, Paritosh P. und Bharat Bhushan

2003 „Effect of Magnetic Tape Thickness on Friction and Wear in a Linear Tape Drive“. *Wear* 255:1323-33.

2003 „Effect of Operating Environment on Head-tape Interface in a Linear Tape Drive“. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 261:277-94.

Anglim, Chris

1997 „Preserving the CD-ROM“. *Technical Services Law Librarian* 22(4):?.

<http://www.aallnet.org/sis/tssis/tssl/22-04/presrv.htm>

Anvelt, T. et al.

1971 „Processed Film Lubrication. Measurement by Paper-clip Friction Test and Improvement of Projection Life“. *Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers* 80(9):734-9.

Arps, M.

1993 „CD-ROM: Archival Considerations“. In: *Preservation of Electronic Formats and Electronic Formats for Preservation*. Mohlhenrich, J. (Hg.). Fort Atkinson, WI: Highsmith Press.

Aubert, M. und R. Billeaud (Hg.)

2000 *The Challenge of the 3rd Millennium*. Paris: JTS.

Bailer, Werner et al.

2005 *Audiovisual Defect & Quality Description Schemes and Descriptors*. [s.l.]: PrestoSpace.
http://www.prestospace.org/project/deliverables/D8-3_RST3.pdf

Baker, Mary T.

1995 „Lifetime Prediction for Polyurethane-based Recording Media Binders. Determination of the „Shelf-Life of Videotape Collections““. In: *SSCR's 2nd Resins Conference Proceedings, University of Aberdeen, 1995-09-13*. Edinburgh: Scottish Society for Conservation and Restoration, 106-10.

Banik, Gerhard und Sebastian Dobruskin

1990 *Aufbewahren von Archiv-, Bibliotheks- und Museumsgut*. Wien: Österreichische Nationalbibliothek, Institut für Restaurierung.

Bate, G.

1981 „Recent Developments in Magnetic Recording Materials“. *Journal of Applied Physics* 52:2447-52.

Bennett, H.

2003 *Understanding CD-R and CD-RW*. Cupertino, CA: Optical Storage Technology Association.

2004 *Understanding Recordable and Rewritable DVD*. Cupertino, CA: Optical Storage Technology Association.

Bergtold, F.

1959 *Moderne Schallplattentechnik*. München: Franzis-Verlag.

Bertram, H. Neal und Edward F. Cuddihy

1982 „Kinetics of the Humid Aging of Magnetic Recording Tape“. *IEEE Transactions on Magnetism* 5:993-9.

http://home.flash.net/~mrltapes/bertram_humid-aging.pdf

Bertram, H. Neal und A. Eshel

1979 *Recording Media Archival Attributes (Magnetic)*. Redwood City, CA: Ampex Corporation.

Bertram, H. Neal und R. Niedermeyer

1982 „The Effect of Spacing on Demagnetization in Magnetic Recording“. *IEEE Transactions on Magnetism* 18:1206-8.

Bertram, H. Neal und Michael K. Stafford

1980 „The Print-through Phenomena“. *Journal of the Audio Engineering Society* 28:10.

Bhushan, Bharat

1996 *Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Devices*. New York: Springer Verlag. [2. Auflage]

2000 *Mechanics and Reliability of Flexible Magnetic Media*. New York: Springer Verlag. [2. Auflage]

Bhushan, Bharat et al.

1983 „Friction in Magnetic Tapes I. Assessment of Relevant Theory“. *ASLE Transactions* 27:33-44.

1986 „Frictional Properties as a Function of Physical and Chemical Changes in Magnetic Tapes during Wear“. *ASLE Transactions* 29:402-13.

Bigourdan, Jean-Louis et al.

2006 *The Preservation of Magnetic Tape Collections: A Perspective*. Rochester, NY: Image Permanence Institute und Rochester Institute of Technology.

http://www.imagepermanenceinstitute.org/shtml_sub/NEHTapeFinalReport.pdf

Blackwell, J. und K. H. Gardner

1979 „Structure of the Hard Segments in Polyurethane Elastomers“. *Polymer* 20:13-7.

Bogart, John van

1995 *Magnetic Tape Storage and Handling. A Guide for Libraries and Archives*. Washington, DC und St. Paul, MN: Commission on Preservation and Access und National Media Laboratory.

http://www.imation.com/government/nml/pdfs/AP_NMLdoc_magtape_S_H.pdf

Bradley, Kevin (Hg.)

2004 *Guidelines on the Production and Preservation of Digital Objects*. [s.l.]: IASA Technical Committee. [Standards, Recommended Practices and Strategies IASA-TC 04]

Bradley, Kevin

2001 *CD-R. Case Study of an Interim Media*. Singapur: IASA/SEAPAAVA Conference.

2006 *Risks Associated with the Use of Recordable CDs and DVDs as Reliable Storage Media in Archival Collections. Strategies and Alternatives*. Paris: UNESCO. [Memory of the World Programme]

<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001477/147782E.pdf>

Bradshaw, Richard L. et al.

1983 „Friction in Magnetic Tapes III. Role of Chemical Properties“. *ASLE Transactions* 27:207-19.

1986 „Chemical and Mechanical Performance of Flexible Magnetic Tape Containing Chromium Dioxide“. *IBM Journal of Research and Development* 2:203-16.

<http://www.research.ibm.com/journal/rd/302/ibmrd3002H.pdf>

Brandes, Harald

1996 „Bestandserhaltung von Filmen, Video- und Tonmaterialien“. *Archiv und Wirtschaft* 29:178-82.

Brems, K. A. H.

1987 *Archiving the Audio-visual Heritage. A Joint Technical Symposium*. Berlin: s.p.

1988 „The Archival Quality of Film Bases“. *Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers* 97:991-3.

Brown, Daniel W. et al.

1980 „Kinetics of Hydrolytic Aging of Polyester Urethane Elastomers“. *Macromolecules* 13:248-52.

1983 „Equilibrium Acid Concentration in Hydrolysed Polyesters and Polyester-Polyurethane Elastomers“. *Journal of Applied Polymer Science* 28:3779-92.

1983 *Predictions of Long-term Stability of Polyester-based Recording Media*. Washington, DC: US National Bureau of Standards.

<http://handle.dtic.mil/100.2/ADA305119>

Brunette, C. M. et al.

1982 „Hydrogen-bonding Properties of Hard-segment Model Compounds in Polyurethane Block Copolymers“. *Macromol* 15:71-7.

Brydson, J. A.

1970 *Plastic Materials*. New York: Van Nostrand Reinhold. [2. Auflage]

Bundesministerium des Innern (Hg.)

2003 *Migrationsleitfaden*. Berlin: Bundesministerium des Innern.

http://www.kbst.bund.de/cin_006/nn_836964/Content/Software/Migration/migration_node.html_nn=true

Byers, Fred R.

2003 *Care and Handling of CDs and DVDs. A Guide for Librarians and Archivists*. Washington, DC und Gaithersburg, MD: Council on Library and Information Resources und National Institute of Standards and Technology.

<http://www.clir.org/PUBS/reports/pub121/pub121.pdf>

Calmes, Alan

1990 *New Preservation Concern: Video Recordings*. Washington, DC: Commission on Preservation and Access.

1992 „Preservation of Video Images“. *Journal of Imaging Science and Technology* 36(1):1-3.

Campbell, Daniel R.

2000 *Digital Preservation Strategies. What's Good. What's Bad. What Should You Do?* **ORT**: American Association of Law Libraries.

Camras, Marvin

1988 *Magnetic Recording Handbook*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

Carroll, J. F. und J. M. Calhoun

1955 „Effect of Nitrogen Oxide Gases on Processed Acetate Film“. *Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers* 64:501-7.

Chapman, T. M.

1989 „Models for Polyurethane Hydrolysis under Moderately Acidic Conditions. A Comparative Study of Hydrolysis Rates of Urethanes, Ureas, and Amides. *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry* 6:1993-2005.

Clatterbuck, Tim

1999 „Choose CD-R, CD-RW Media as Though your Data Life Depends on it“. *International Journal of Micrographics & Optical Technology* 17(4):?.

Clifton, P.

2001 „Nonprint Media Update. Longevity and Optical Media“. *DTIC Digest*, ?(1):?.

<http://www.dtic.mil/dtic/digest/digest2001-1/Nonprintmed.html>

Cochrane, Katherine

1998 „Recordable CD and DVD for Archiving“. *Microscopy Today* 98:1-10.

Cook, Ian

1976 „Air Pollution and Aspects of Polymer Degradation“. *ICCM Bulletin* 4:4-20.

Cuddihy, Edward F.

1976 „Hygroscopic Properties of Magnetic Recording Tape“. *IEEE Transactions on Magnetics* 2:126-35.

1980 „Aging of Magnetic Recording Tape“. *IEEE Transactions on Magnetics* 4:558-68.

1988 „Stability and Preservation of Magnetic Tape“. *Proceedings of Conservation in Archives*. International Symposium, Ottawa, Canada, May 10-12, 1988. 191-206.

1994 „Storage, Preservation, and Recovery of Magnetic Recording Tape“. *Environnement et Conservation de l'Écrit, de l'Image et du Son. Actes des Deuxièmes Journées Internationales d'Études de l'ARSAG, Paris, 16-20 Mai 1994*. 182-6.

Dale, Robin et al.

1998 *Audio Preservation. A Selective Annotated Bibliography and Brief Summary of Current Practices*. Chicago: American Library Association.

<https://www.ala.org/ala/alctscontent/alctspubsbucket/webpublications/alctspreservation/audiopresevatio/audiopres.pdf>

Daniel, Eric D. et al.

1999 *Magnetic Recording. The First 100 Years*. New York: IEEE Press.

Daniel, V. und S. Maekawa

1992 „The Moisture Buffering Capability of Museum Cases“. *Materials Research Society Symposium Proceedings* 267:453-8.

Davidson, S. und G. Lukow (Hg.)

1997 *The Administration of Television Newfilm and Videotape Collections. A Curatorial Manual*. Los Angeles, CA: American Film Institute und Louis Wolfson II Media History Center.

Dinkel, Luzius

2007 Schimmelpilze auf einmalig beschreibbaren Compact Discs (CD-R). In: *Arbeitsblätter des Arbeitskreises Nordrhein-Westfälischer Papierrestauratoren* 11: 97–105.

Eastman Kodak Co. (Hg.)

1992 *The Book of Film Care*. Rochester, NY: George Eastman Company.

Edge, M. und J. Whitehead

1995 „The Decay of Polymers in Information Storage Carriers“. *Technology and our Audio-visual Heritage: Technology's Role in Preserving the Memory of the World*. Fourth Joint Technical Symposium, London, January 27-29, 1995. 20-30.

Edge, M. et al.

1988 „The Deterioration Characteristics of Archival Cellulose Triacetate Base Cinematograph Film“. *Journal of Photographic Science* 36:199-203.

1989 „Fundamental Aspects of the Degradation of Cellulose Triacetate Base Cinematograph Film“. *Polymer Degradation and Stability* 25:345-62.

1990 „Mechanisms of Deterioration in Cellulose Nitrate Base Archival Cinematograph Film“. *European Polymer Journal* 26:623-30.

1993 „Deterioration of Magnetic Tape. Binder Oxidation Studies. *European Polymer Journal* 8:1031-5.

1993 „Deterioration of Magnetic Tape. Support and Binder Stability. *Polymer Degradation and Stability* 39:207-14.

Engel, F. K.

1988 „Magnetic Tape. From the Early Days to the Present“. *Journal of the Audio Engineering Society* 36(7/8):606-13.

Fontaine, J.-M.

1984 „Conservation des Enregistrements Sonores sur Bandes Magnétiques. Étude Bibliographique“. In: *Analyse et Conservation des Documents Graphiques et Sonores. Travaux du Centre de Recherches sur la Conservation des Documents Graphiques 1982-1983*. Paris: Editions du CNRS, S. 179-257.

1987 *Degradation de l'Enregistrement Magnétique Audio. Processus de Deterioration de l'Enregistrement Analogique*. [nicht veröffentlicht]

Ford, H.

1984 „Handling and Storage of Tape“. *Studio Sound* 12:?.

Fordyce, C. R.

1976 „Motion Picture Film Support 1889-1976. An Historical Review“. *SMPTE Journal* 85:493-5.

Fox, B.

1990 „Master Tapes Come to a Sticky End“. *New Scientist* 127:31.

Frambourg, D.

2000 „Stratégies pour la Migration vers le Numérique des Programmes de Television Archives dans des Formats Video Analogiques“. In: *Joint Technical Symposium Paris 2000*, S. 196-202.

Friedman, J. B.

1984 *Television Image Quality*. Scarsdale, NY: Society of Motion Picture and Television Engineers.

Garrettson, B. et al.

2000 „Effect of Slot Edge Defects on the Headtape Spacing“. *Tribol Int.* 33:623-8.

Geller, S. B.

1983 *Care and Handling of Computer Magnetic Storage Media*. Washington, DC: Institute for Computer Sciences and Technology, National Bureau of Standards. [NBS Special Publication 500-101]

Gfeller, Johannes

2004 „Pixel und Zeile zu Frame. Baukasten zu einer Theorie der Medienerhaltung“. In: *Visions of a Future. Art and Art History in Changing Contacts*. Heusser, Hans-Jörg und Kornelia Imesch (Hg.). Zürich: Schweizerisches Institut für Kunstwissenschaft, 207-26. [Outlines 1]

Gieselmann, Hartmut

2005 *Gegen das Vergessen. US-Forscher prüfen Lebensdauer von [beschreibbaren] CDs und DVDs*. *c't magazin* 1:44.

http://www.heise.de/kiosk/archiv/ct/2005/1/44_US-Forscher-pruefen-Lebensdauer-von-CDs-und-DVDs

Gilbert, Michael W.

1998 *Digital Media Life Expectancy and Care*. Amherst, MA: University of Massachusetts, Office of Information Technologies.

http://www.oit.umass.edu/publications/at_oit/Archive/fall98/media.html

Gilmour, Ian und Viktor Fumic

1992 „Recent Developments in Decomposition and Preservation of Magnetic Tape“. *Phonographic Bulletin* 61:74-86.

Gruber, Andreas

2003 *Die Erhaltung und Bewahrung von Fotografien, Film und Mikrofilm*. Wien: [s.p.].

http://www.cflr.beniculturali.it/Eventi/Dobbiasco/Atti/Testi/Gruber_td.pdf

Haas, W.

1977 *Das Jahrhundert der Schallplatte*. Bielefeld: Bielefelder Verlagsanstalt.

Hanai, Kazuko und Yutaka Kakuishi

2002 „The Storage Stability of Metal Particle Media. Chemical Analysis and Kinetics of Lubricant and Binder Hydrolysis“. In: *The Goddard Conference on Mass Storage Systems and Technologies Proceedings*. College Park, MD: University of Maryland, 311-5.

<http://citeseer.ist.psu.edu/rd/26270926%2C533839%2C1%2C0.25%2CDownload/http%3AqSqqSqromulus.gsfc.nasa.govqSqmsstqSqconf2002qSqpapersqSq14ap-kha.pdf>

Hartke, Jerome L.

2000 *CD-R Media Survey*. [s.l.]

<http://www.msscience.com/survey.html>

2001 *Recordables. CD-R Longevity Claims: Fact or Fiction?* [s.l.]

<http://www.medialinenews.com/issues/2001/replication/0813/0813.6.html>

Hauptstock, Hans

2005 Die Erhaltung von Filmen und Videobändern. In: *Archiv und Wirtschaft* 38 (2005): 178–182.

Haynes, W.

Cellulose, the Chemical That Grows (New York, Doubleday & Company, 1953).

Hegel, R. F.

1993 „Hygroscopic Effects on Magnetic Tape Friction“. *Tribology Transactions* 1:67-72.

1998 „Tribological Comparison of Particulate Magnetic Tape Coatings in Destructive Wear Testing“. *Tribology International* 8:407-12.

Hemstock, M. S. und J. L. Sullivan

1996 „The Durability and Signal Performance of Metal Evaporated and Metal Particle Tape“. *IEEE Transactions On Magnetics* 32:3723-5.

Hendriks, Klaus B.

1989 „The Stability and Preservation of Recorded Images“. In: *Imaging Processes and Materials*. (8. Auflage) New York und London: Van Nostrand Reinhold, S. 637-84.

1991 „On the Mechanisms of Image Silver Degradation“. In: *Sauvegarde et Conservation des Photographies, Dessins, Imprimés et Manuscrits*. Paris: ARSAG, S. 73-7.

Hess, R. L.

2006 *Tape Degradation Factors and Predicting Tape Life*. Vortrag der 121. Convention of the Audio Engineering Society (AES), October 5-8, 2006. San Francisco, CA: s.p.

Hirota, Kusato und Gentaro Ohbayashi

1997 „Reliability of the Phase Change Optical Disc“. *Japanese Journal of Applied Physics* 36(10):6398-402.

Hoagland, A. S.

1980 „Trends and Projections in Magnetic Recording Storage on Particulate Media“. *IEEE Transactions on Magnetics* 16:26-9.

Höroldt, Ulrike

2006 Eine besondere Herausforderung für Archive und Archivare. Zur Foto-, Film- und Tonträgerüberlieferung im Landeshauptarchiv Sachsen-Anhalt. In: *Archivalische Zeitschrift* 88 (2006): 419 ff.

Horvath, D. G.

1987 *The Acetate Negative Survey*. Louisville, KY: University of Louisville.

Iraci, Joe

2005 „The Relative Stabilities of Optical Disc Formats“. *Restaurator* 2:134-50.

<http://www.uni-muenster.de/Forum-Bestandserhaltung/downloads/iraci.pdf>

Iwasaki, S.

1980 „Perpendicular Magnetic Recording“. *IEEE Transactions on Magnetics* 16:71-6.

Jellinek, H. H. G.

1970 „Chain Scission by Small Concentrations (1-5ppm) of Sulphur Dioxide and Nitrogen Dioxide Respectively in Presence of Air and near Ultraviolet Light“. *Journal of Air Pollution Control Assessment* 10:672.

Jenkinson, Brian

1982 „Long-term Storage of Videotape“. *BKSTS Journal* 3:126-7.

Jorgensen, F.

1980 „Magnetic Tapes and Disks“. In: *The Complete Handbook of Magnetic Recording*. Blue Ridge Summit, PA: TAG Books Inc., S. 185-231.

1981 *The Complete Handbook of Magnetic Recording*. Blue Ridge Summit, PA: TAG Books Inc.

Kahan, P. T.

1970 *A Study of the Eyring Model and its Application to Component Degradation*. New York: IBM Components Division.

Kampffmeyer, Ulrich und Barbara Merkel

1997 *Grundsätze der elektronischen Archivierung in Deutschland. Code of Practice*. Hamburg: Verband Optische Informationssysteme e.V.

Klaus, E. E. und Bharat Bhushan

1985 „Lubricants in Magnetic Media. A Review“. In: *Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Systems. Volume II*. Bhushan, Bharat und N. S. Eiss (Hg.). Park Ridge, IL: ASLE, 7-15.

1988 „A Study of the Stability of Magnetic Tape Lubricants“. In: *Tribology and Mechanics of Magnetic Storage Systems. Volume III*. Bhushan, Bharat und N. S. Eiss (Hg.). Park Ridge, IL: ASLE, 24-30.

1988 „The Effect of Inhibitors and Contaminants on the Stability of Magnetic Tape Lubricants“. *Tribology Transactions* 2:276-81.

Kopperl, D. F. und C. C. Bard

1985 *Freeze / Thaw Cycling of Motion-picture Films*. *SMPTE Journal* 94:826-7.

Kreiselmaier, Kurt W.

1973 „Pigmentation of Magnetic Tapes“. In: *Pigment Handbook*. Patton, T. C. (Hg.). New York: John Wiley and Sons, 315-29.

Krones, F.

1986 *Guidelines for the Conservation of Magnetic Tape Recordings. Preservation and Restoration of Moving Images and Sound*. Paris: FIAF.

Kunej, D.

2001 *Instability and Vulnerability of CD-R Carriers to Sunlight*. AES 20th International Conference: Archiving, Restoration, and New Methods of Recording. Budapest.

Kunstmuseum Wolfsburg (Hg.)

1997 *Wie haltbar ist Videokunst? How Durable is Video Art?* Wolfsburg: Kunstmuseum Wolfsburg.

Kushnier, Ron

[s.a.] *Care and Handling of CD-ROM Discs*. [s.l.]

<http://www.scn.rain.com/pub/cdrom/handling>

Kybett, H.

1978 „Video Tape Recorders“. Indianapolis, IN: Howard W. Sams & Co., Inc.

Lacey, C. und F. E. Talke

1992 „Measurement and Simulation of Partial Contact at the Headtape Interface“. *J. Tribol.* 114:646-52.

Läuppi, Stefan

2007 *Umgang mit audiovisuellem Kulturgut in Schweizer Staatsarchiven. Masterarbeit an der Hochschule für Technik und Wirtschaft*. Chur: HTW Chur.

Lee, A. et al.

2000 „U-matic Preservation“. *Joint Technical Symposium Paris 2000* 177-186.

Lee, D. M.

2001 *Film and Sound Archives in Non-specialist Repositories*. London: Society of Archivists. [Best Practice Guideline VI]

Lee, Kyong-Ho et al.

2002 *The State of Art and Practice in Digital Preservation*. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.

<http://nvl.nist.gov/pub/nistpubs/jres/107/1/j71lee.pdf>

Lersch, Edgar

2008 Aufgaben und Probleme von Editionen audiovisueller Rundfunkdokumente. In: *Info 7-1*: 18–23.

Library of Congress (Hg.)

1997 *Television and Video Preservation 1997. A Report on the Current State of American Television and Video Preservation. Volume 1*. Washington, DC: Library of Congress.

Lindner, J. und G. L. Rosner

2005 „Moving Beyond Manual Media Migration“. In: *IS&T Archiving 2005 Final Program and Proceedings*, S. 193-6.

Littschwager, Thomas

2007 „Daten für die Ewigkeit“. *CHIP* 7(7):76-82.

Lovett, D. und D. Eastop

2004 „The Deterioration of Polyester Polyurethane. Preliminary Study of 1960s Foam-laminated Dresses“. In: *IIC's Twentieth International Congress „Modern Art, New Museums“ Proceedings, Bilbao, 2004-09-13*, S. 100-4.

Lowe, S.

2003 *A Bad Case of DVD Rot Eats into Movie Collections*. [s.l.]

<http://www.smh.com.au/articles/2003/01/31/1043804519345.html>

Lull, W. P. und P. N. Banks

1990 *Conservation Environment Guidelines for Libraries and Archives in New York State*. Albany, NY: New York State Library.

Mallison, J. C.

1969 „Maximum Signal-to-Noise Ratio of a Tape Recorder“. *IEEE Transactions on Magnetics* 5:182-6.

1988 „Magnetic Tape Recording. History, Evolution and Archival Considerations“. *Proceedings of Conservation in Archives, International Symposium, Ottawa, Canada, May 10-12, 1988*, S. 181-90.

1994 „Preservation of Video Recorded Images“. *Environnement et Conservation de l'Écrit, de l'Image et du Son, Actes des Deuxièmes Journées Internationales d'Études de l'ARSAG, Paris, 16-20 Mai 1994*, S. 177-81.

Malloch, David

1981 *Moulds, their Isolation, Cultivation and Identification*. Toronto: University of Toronto Press.

<http://www.botany.utoronto.ca/ResearchLabs/MallochLab/Malloch/Moulds/Moulds.html>

Mann, B. und C. Shahani

2003 *Longevity of CD Media. Research at the Library of Congress*. Washington, DC: Library of Congress.

McCormick-Goodhart, John

1998 „Methods for Creating Cold Storage Environments“. In: *Care of Photographic, Moving Image and Sound Collections*. York: [s.p.], S. 19-23.

Media Matters, LLC (Hg.)

2004 *Digital Video Preservation Reformatting Project. A Report*. Report Presented to The Andrew W. Mellon Foundation. [s.l.]

http://www.danceheritage.org/preservation/Digital_Video_Preservation_Report.doc

Mee, C. Dennis

1964 *The Physics of Magnetic Recording*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.

Mee, C. Dennis und Eric D. Daniel (Hg.)

1990 *Magnetic Recording Handbook. Technology and Applications*. New York: McGraw-Hill.

1995 *Magnetic Recording Technology*. New York: McGraw-Hill.

Mees, C. E. K.

1954 „History of Professional Black-and-white Motion-picture Film“. *Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers* 63:125-40.

1961 *From Dry Plates to Ektachrome Film*. New York: Ziff-Davis.

MEMORIAV (Hg.)

2006 *Die Erhaltung von Videodokumenten*. Bern: MEMORIAV. [MEMORIAV Empfehlungen: Video]

http://de.memoriav.ch/dokument/Empfehlungen/empfehlungen_video_de.pdf

Müftü, S. und D. J. Kaiser

2000 „Measurements and Theoretical Predictions of Headtape Spacing over a Flat-head“. *Tribol Int.* 33:415-30.

Müller, Anna-Maija und Regula Zürcher

2007 „Zelluloseazetat-Filme. Vorprogrammiertes ‚Essig-Syndrom‘ (vinegar syndrome)“. *Der Archivar* 4:346-9.

Narkis, M.

1978 „The Elastic Modulus of Particulate-filled Polymers“. *Journal of Applied Polymer Science* 22:2391-4.

National Film and Sound Archive (Hg.)

2007 *Film Preservation Handbook*. Canberra: s.p.

http://www.nfsa.afc.gov.au/preservation/film_handbook/

National Film Preservation Foundation (Hg.)

2004 *The Film Preservation Guide. The Basics for Archives, Libraries, and Museums*. San Francisco, CA: National Film Preservation Foundation.

National Fire Protection Association (Hg.)

1988 *NFPA 40. Standard for the Storage and Handling of Cellulose Nitrate Motion Picture Film*. Quincy, MA.

National Research Council (Hg.)

1986 *Preservation of Historical Records*. Washington, DC: National Academic Press.

Navale, Vivek

2002 *Longevity of High Density Magnetic Media*. College Park, MD: National Archives and Records Administration.

<http://www.thic.org/pdf/Nov02/nara.vnavale.021106.pdf>

Neely, Tim

2007 *Goldmine Record Album Price Guide. The Ultimate Guide to Valuing Your Vinyl*. Iola, WI: Krause Publications. [5. Auflage]

Neuroth, Heike et al. (Hg.)

2007 *Nestor Handbuch. Eine kleine Enzyklopädie der digitalen Langzeitarchivierung*. Göttingen. [Version 0.1]

http://nestor.sub.uni-goettingen.de/handbuch/nestor-Handbuch_01.pdf

Nikles, D. und J. Wiest

2000 *Accelerated Aging Studies and the Prediction of the Archival Lifetime of Optical Disk Media*. Tuscaloosa, AL: University of Alabama, Center for Materials for Information Technology.

Olson, Nancy B.

1986 „Hanging your Software up to Dry“. *College and Research Library News* 47:10.

Osaki, Hiroyuki

1996 „Tribology of Videotapes“. *Wear* 200:244-51.

Osaki, Hiroyuki et al.

1994 „Mechanisms of Head-clogging by Particulate Magnetic Tapes in Helical Scan Video Tape Recorders“. *IEEE Transactions on Magnetics* 4:1491-8.

Parson, Douglas

1987 „Videotape Conservation and Restoration. Usual Defects, Possible Remedies“. In: *Minutes and Working Papers of the FIAT/IFTA 6th General Assembly, 29th September - 1st October, 1986, Montreal*. Madrid: International Federation of TV Archives (FIAT/IFTA).

Pascoe, M. W.

1988 *Impact of Environmental Pollution on the Preservation of Archives and Records. A Ramp Study*. Paris: UNESCO.

<http://www.unesco.org/webworld/ramp/html/r8818e/r8818e00.htm>

Pickett, A. G. und M. M. Lemcoe

1959 *Preservation and Storage of Sound Recordings*. Washington, DC: Library of Congress.

Podio, F.

1991 *Development of a Testing Methodology to Predict Optical Disk Life Expectancy Values. NIST Special Publication 500-200*. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology.

Pospisil, J. und S. Nespurek

2000 „Highlights in the Inherent Chemical Activity of Polymer Stabilizers“. In: *Handbook of Polymer Deterioration*. Hamid, S. H. (Hg.). New York: Marcel Dekker, 191-276. [2. Auflage]

Protze, Sabine

2004 „Foto-, Film- und Datenträger. Die Sichtung und Konservierung im Staats- und Personenstandsarchiv Detmold“. *Arbeitsblätter der NRW-Papierrestauratoren* 9:15-18.

Ram, A. T.

1990 „Archival Preservation of Photographic Films. A Perspective“. *Polymer Degradation and Stability* 29:3-29.

Ram, A. T. und J. L. McCrea

1988 „Stability of Processed Cellulose Ester Photographic Films“. *Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers* 97:474-83.

Read, Paul und Mark Meyer

2000 *Restoration of Motion Picture Film*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Redman, R. P.

1978 „Developments in Polyurethane Elastomers“. In: *Developments in Polyurethanes I*. Buist, J. M. (Hg.). London: Applied Science Publishers, S. 33-76.

Reilly, James M.

1992 *Preservation Research and Development. Air Pollution Effects on Library Microforms. Seventh Interim Report PS-20273-89*. Rochester, NY: Image Permanence Institute.

1993 *IPI Storage Guide for Acetate Film*. Rochester, NY: Image Permanence Institute.

http://www.imagepermanenceinstitute.org/shtml_sub/acetguid.pdf

Ritter, Norman C.

1985 *Magnetic Recording Media. Part 1: Care and Handling of Magnetic Tape*. St. Paul, MN: 3M Company.

<http://www.vasulka.org/archive/Vasulkas3/RelatedMaterial/MagneticRecordingMedia.pdf>

Roth, Klaus

2007 „Die Chemie der schillernden Scheiben“. *Chemie in unserer Zeit* 4:334-45.

Rothenberg, J.

1995 „Ensuring the Longevity of Digital Documents“. *Scientific American* 272(1):42-7.

Saffady, William

1997 „Stability, Care, and Handling of Microfilms, Magnetic Media and Optical Disks“. *Library Technology Reports* 33(6):709.

Saunders, J. H. und L. C. Frisch

1974 „Polyurethanes. Chemistry and Technology“. In: *High Polymers. Vol. XVI*. New York: Wiley.

Schmitz, J. V.

1965 *Testing of Polymers. Vol. I*. New York: Wiley-Interscience.

Schneider, Sigrid

2005 „Rettet die Bilder!“ Zur Bestandserhaltung von Fotografien. In: *Archiv und Wirtschaft* 38 (2005): 165–177.

Schubert, Hans

2002 *Historie der Schallaufzeichnung*. Frankfurt am Main: Deutsches Rundfunkarchiv.

http://www.dra.de/rundfunkgeschichte/schallaufzeichnung/pdf/historie_der_schallaufzeichnung.pdf

Schüller, Dietrich

1993 „Behandlung, Lagerung und Konservierung von Audio- und Videobändern“. *Das Audiovisuelle Archiv. Informationsblatt der Arbeitsgemeinschaft audiovisueller Archive Österreichs (AGAVA)* 31/32:21-62.

1997 „Preserving Audio and Video Recordings in the Long-term“. *International Preservation News* 14:12.

2006 *Die Bewahrung von Schallaufnahmen. Ethische Aspekte, Prinzipien und Strategien*. [s.l.]: IASA Technical Committee. [Standards, Recommended Practices and Strategies TC 03, Version 3]

http://www.iasa-web.org/IASA_TC03/TC03_German.pdf

Schüller, Dietrich und Leopold Kranner

2001 „Life Expectancy Testing of Magnetic Tapes. A Key to a Successful Strategy in Audio and Video Preservation“. In: *The Proceedings of the AES 20th International Conference, Budapest, 2001-10-5-7*. New York: Audio Engineering Society, 11-4.

Seefried, C. G. et al.

1975 „Thermoplastic Urethane Elastomers 1. Effect of Soft-segment Variations“. *Journal of Applied Polymer Science* 19:2493-502.

1975 „Thermoplastic Urethane Elastomers 2. Effect of Variations in Hard-segment Concentration“. *Journal of Applied Polymer Science* 19:2503-13.

Sharpless, Graham

2003 *CD and DVD Disc Manufacturing*. Southwater: Deluxe Global Media Services, Ltd.
http://www.disctronics.co.uk/downloads/tech_docs/replication.pdf

Sharrock, M. P. und R. E. Bodnar

1985 „Magnetic Materials for Recording. An Overview with Special Emphasis on Particles“. 30th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials. *Journal of Applied Physics* 56:?.

Sharrock, M. P. und D. P. Stubbs

1984 „Perpendicular Magnetic Recording Technology“. *SMPTE Journal* 93:1127-33.

Slattery, O. et al.

2004 „Stability Comparison of Recordable Optical Discs. A Study of Error Rates in Harsh Conditions“. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 5:517-24.
<http://nvl.nist.gov/pub/nistpubs/jres/109/5/j95sla.pdf>

Smith, A.

2004 „The Art and Science of Audio Preservation“. *CLIR ISSUES* 42(11/12):2-3.

Smith, A. et al.

2004 *Survey of the State of Audio Collections in Academic Libraries*. Washington, DC: Council on Library and Information Resources.

Smith, Leslie E.

1991 „Factors Governing the Long-term Stability of Polyester-based Recording Media“. *Restaurator* 12:201-18.

Smith, Leslie E. et al.

1986 *Prediction of the Long-term Stability of Polyester-based Recording Media*. Gaithersburg, MD: National Bureau of Standards and Technology. [Report Nr. NBSIR 86-3474]

Smolian, Steven

1987 „Preservation, Deterioration and Restoration of Recording Tape“. *ARSC Journal* 19:2-3.

SMPTE (Hg.)

1982 *Care and Handling of Magnetic Recording Tape*. White Plains, NY: SMPTE. [SMPTE Recommended Practice RP 103]

St. Laurent, Gilles

1991 „Preservation of Recorded Sound Materials“. *ARSC Journal* 2:425-36.

<http://audio-restoration.com/gilles.php>

1996 *The Care and Handling of Recorded Sound Materials*. Ottawa: National Library of Canada.

<http://palimpsest.stanford.edu/byauth/st-laurent/care.html>

Steinbrink, Bernd

1998 „DVD-Wettstreit“. *c't magazin* 8:160-5.

Stinson, D. et al.

1995 *Lifetime of Kodak Writable CD and Photo CD Media. Digital and Applied Imaging Report*. Rochester, NY: Eastman Kodak Co.

Stub Johnsen, Jesper und Karen Bonde Johansen

2002 *Condition Survey and Preservation Strategies at the Danish Film Archive*. ICOM, 13th Triennial Meeting. Rio de Janeiro: ICOM.

Swartzburg, Susan Garretson (Hg.)

1983 *Conservation in the Library. A Handbook of Use and Care of Traditional and Nontraditional Materials*. Westport, CT: Greenwood Press.

Szycher, Michael

1999 *Szycher's Handbook of Polyurethanes*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Tang, X. und J. Zheng

2002 „High-precision Measurement of Reflectance for Films under Substrates“. *Optical Engineering* 41(12):?.

Taylor, Jim

2006 *DVD Demystified*. New York: McGraw-Hill.

Thiebaut, Benoît et al.

2006 *Report on Video and Audio Tape Deterioration Mechanisms and Considerations about Implementation of a Collection Condition Assessment Method*. [s.l.]: PrestoSpace.

<http://www.prestospace.org/project/deliverables/D6-1.pdf>

Tochihara, S.

1982 „Magnetic Coatings and their Applications in Japan“. *Progress in Organic Coatings* 10:195-204.

Trock, J.

2000 „Permanence of CD-R Media“. In: *The Challenge of the 3rd Millennium*. Aubert, M. und R. Billeaud (Hg.). Paris: JTS, S. ?.

<http://www.images.dk/earkiv.nsf/doc/permanence>

UNESCO (Hg.)

2003 *Survey of Endangered Audiovisual Carriers*. Paris: UNESCO's Information Society Division.

Usai, Paolo Cherchi

1994 *Burning Passions. An Introduction to the Study of Silent Cinema*. London: British Film Institute.

Van Bogart, John W. C.

1995 *Magnetic Tape Storage and Handling*. Washington, DC: Commission on Preservation and Access und St. Paul, MN: National Media Laboratory.

<http://www.clir.org/pubs/reports/pub54/index.html>

1996 *Media Stability Studies. Final Report*. St. Paul, MN: National Media Laboratory.

Varra, J. et al.

2002 *Preservation Technologies for European Broadcast Archives. Video Quality Control System*. [PRESTO-WP6-INA-D6.1.]

http://presto.joanneum.ac.at/Public/D6_1.pdf

Vilmont, Léon-Bavi

2000 *Effet des Polluants Atmosphériques sur les Disques Compacts*. Proceedings of the Joint Technical Symposium Image and Sound Archiving and Access. The Challenges of the 3rd Millennium. Paris: CRCDG.

Vilmont, Léon-Bavi und Nicolas Bouillon

2003 „La Conservation des Bandes Magnétiques“. *Support/Tracé* 3:55-61.

Vos, M. et al.

1994 „Heat and Moisture Diffusion in Magnetic Tape Packs“. *IEEE Transactions on Magnetics* 30(2):237-42.

Waites, J. B.

1982 „Care, Handling, and Management of Magnetic Tape“. In: *Magnetic Tape Recording for the Eighties*. Kalil, Ford (Hg.). Washington, DC: NASA, 45-69. [NASA Reference Publication 1075]

Wallace jr., R. L.

1951 „The Reproduction of Magnetically Recorded Signals“. *Bell System Tech. Journal* 30:1145-73.

Watney, J. P.

1984 „Technical Choices for a Video Recorder“. In: *Television Image Quality*. Friedman, J. B. (Hg.). Scarsdale, NY: Society of Motion Picture and Television Engineers, S. 127-36.

Webb, C.

2003 *UNESCO Guidelines for the Preservation of Digital Heritage*. Paris: UNESCO.

Weisser, Andreas

2006 Audiovisuelle Datenträger – Probleme und Risiken. In: *Arbeitsblätter des Arbeitskreises Nordrhein-Westfälischer Papierrestauratoren* 10: 67–71.

Welz, G.

1987 „On the Problem of Storing Videotapes“. In: *Archiving the Audio-Visual Heritage. A Joint Technical Symposium*. Berlin: FIAF, FIAT, IASA, S. 61-9.

Wessel, Horst A.

2008 Filme in Archiven: Sammeln – Sichern – Sichten. Öffentliche Fachtagung des AK Filmarchivierung NRW am 4. Oktober 2007 in Schwerte. In: *Archiv und Wirtschaft* 41 (2008): 32–34.

Wheatley, P.

2004 *Institutional Repositories in the Context of Digital Preservation*. [s.l.]: Digital Preservation Coalition. DPC Reports.

Wheeler, Jim

1983 „Long-term Storage of Videotape“. *SMPTE Journal* 1:650-4.

1987 „Archiving the Various Audio and Video Tape Formats“. In: *Archiving the Audio-Visual Heritage. A Joint Technical Symposium*. Berlin: FIAF, FIAT und IASA, S. 75.

1988 „Increasing the Life of Your Audio Tape“. *Journal of the Audio Engineering Society* 36:4.

1994 „Videotape preservation“. *Environnement et Conservation de l'Écrit, de l'Image et du Son, Actes des Deuxièmes Journées Internationales d'Études de l'ARSAG. Paris, 16-20 Mai 1994*. 172-6.

2002 *Video Preservation Handbook*. [s.l.]

<http://www.amianet.org/publication/resources/guidelines/WheelerVideo.pdf>

White, D. A. et al.

1955 „Polyester Photographic Film Base“. *Journal of the Society of Motion Picture and Television Engineers* 64:674.

Wilhelm, Henry und Carol Brower

1993 *The Permanence and Care of Color Photographs. Traditional and Digital Color Prints, Color Negatives, Slides and Motion Pictures*. Grinnell, IA: Preservation Publishing Comp.

Wilson, William K. und Edwin J. Parks

1983 „Historical Survey of Research at the National Bureau of Standards in Materials for Archival Records“. *Restaurator* 5:191-241.

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=9312553>

Wonneberg, Frank

2000 *Vinyl-Lexikon. Wahrheit und Legende der Schallplatte. Fachbegriffe, Sammlerlatein und Praxistipps*. Berlin: Schwarzkopf & Schwarzkopf Verlag.

Wright, Richard

2007 *Annual Report on Preservation Issues for European Audiovisual Collections*. [s.l.]: PrestoSpace.

http://prestospace.org/project/deliverables/D22-4_Report_on_Preservation_Issues_2004.pdf

Wu, Y. und F. E. Talke

1996 „The Effect of Surface Roughness on the Head-tape Interface“. *J. Tribol.* 118:376-81.

Yamamoto, K.

1995 „A Kinetic Study of Polyester Elastomer's Hydrolysis in Magnetic Tape“. In: *Proceedings of the 4th Sony Research Forum*, S. 367-72.

Young, C.

1989 *Nitrate Films in the Public Institution*. Nashville, TN: American Association for State and Local History. [AASLH Technical Leaflet 169]

Zhu, J. et al.

2000 „Simultaneous Five-wavelength Interferometry for Head/Tape Spacing Measurement“. *Tribol Int.* 33:409-14.

7.3 Auswahl nationaler und internationaler Organisationen

Organisation	Abkürzung	Hauptsitz ⁴⁶	Homepage
Association for Recorded Sound Collections	ARSC	Annapolis, MD (USA)	http://www.arsc-audio.org/
Audio Engineering Society	AES	New York (USA)	http://www.aes.org/
BKSTS – The Moving Image Society	BKSTS	Bucks (GB)	http://www.bksts.com/
British Library	BL	London (GB)	http://www.bl.uk/
Centre de Recherches sur la Conservation des Collections	CRCC	Paris (F)	http://www.crcdg.culture.fr/
Deutsches Institut für Normung e.V.	DIN	Berlin (D)	http://www.din.de/cmd?level=tpl-home&contextid=din
Deutsches Musikarchiv	-	Berlin (D)	http://www.d-nb.de/wir/ueber_dnb/dma.htm
European Commission on Preservation and Access	ECPA	Amsterdam (NL)	http://www.knaw.nl/ecpa/
Fédération Internationale des Archives du Film	FIAF	Brüssel (B)	http://www.fiafnet.org/
Image Permanence Institute	IPI	Rochester, NY (USA)	http://www.imagepermanenceinstitute.org/index.shtml
Institute of Electrical and Electronic Engineers	IEEE	Piscataway, NJ (USA)	http://www.ieee.org/portal/site
International Association of Sound and Audiovisual Archives	IASA	Amsterdam (NL)	http://www.iasa-web.org/
International Centre for Culture & Management	ICCM	Salzburg (A)	http://www.iccm.at/
InProcess Instruments	IPI	Bremen (D)	http://www.in-process.com/
International Organization for Standardization	ISO	Genf (CH)	http://www.iso.org/iso/home.htm
Library of Congress	LoC	Washington, DC (USA)	http://www.loc.gov/index.html
MEMORIAV Verein zur Erhaltung des audiovisuellen Kulturgutes der Schweiz	MEMORIAV	Bern (CH)	http://de.memoriav.ch/
National Aeronautics and Space Administration	NASA	Washington, DC (USA)	http://www.nasa.gov/
National Film and Sound Archive	NFSA	Canberra (AUS)	http://www.nfsa.afc.gov.au/
National Film Preservation Foundation	NFPF	San Francisco, CA (USA)	http://www.filmpreservation.org/s_m_index.html
National Institute of Standards and Technology	NIST	Gaithersburg, MD (USA)	http://www.nist.gov/
National Library of Australia	-	Canberra (AUS)	http://www.nla.gov.au/
Society of Archivists	-	Taunton (GB)	http://www.archives.org.uk/
Society of Motion Picture and Television Engineers	SMPTE	White Plains, NY (USA)	http://www.smpete.org/home
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	UNESCO	Paris (F)	http://www.archives.org.uk/
Verband Organisations- und Informationssysteme e.V.	VOI	Bonn (D)	http://www.voi.de/

Tabelle 6: Auswahl nationaler und internationaler Organisationen rund um audiovisuelle Datenträger und Kulturgut⁴⁷

⁴⁶ A = Österreich, AUS = Australien, B = Belgien, CH = Schweiz, D = Deutschland, F = Frankreich, GB = Großbritannien, NL = Niederlande, USA = Vereinigte Staaten von Amerika

⁴⁷ eigene Zusammenstellung

7.4 Auswahl spezialisierter Servicefirmen in Deutschland

Firma	Datenträger-Formate	Services ⁴⁸	Preis / €	Homepage	Telefon-Nummer	Bemerkungen
Bormann PC-Systeme	alle Filmformate	D	1,00/min	www.bormannsys.de/e/1747578.htm	(040) 41489170	
	Video 8, Hi 8, VHS	D	0,49/min			
	alle Videoformate	R	individuell			
Daten Phoenix	optische Discs	F, R	individuell	www.datenphoenix.de	(030) 20659454	professionell
Dreyer Media	alle Audioformate	R, D	diverse	www.dreyermedia.de/audio/digitalisierung	(09549) 981491	professionell
FL-electronic GmbH	Schallplatten	R, D	individuell	www.fl-electronic.de	(0531) 342155	
Gerber-Media-Point GmbH	Normal 8, Super 8	D	ab 4,50 + 0,85/min	www.gmp-medienservice.de	(02102) 1351379	
	alle Videoformate	D	0,11/min - 0,18/min			
jetzt-digital.de	Normal 8, Super 8	D	1,45/min - 1,60/min	www.jetzt-digital.de	(09471) 6019366	Sonderangebote; eher für Privatkunden
	Schallplatten	S, R, D	11,60 - 14,50			
	MC	D	9,52-11,90			
	alle Tonbandformate	D	0,14/min - 0,17/min			
	alle Videoformate	D	10,32 - 12,90			
Kroll Ontrack GmbH	optische Discs	F	ab 90,00	www.ontrack.de	(0800) 10121314	groß und professionell
		R	individuell			
MARCON Media Duplication & Services GmbH	MC; VHS; optische Discs	U	Online-Rechner	www.marcon-media.de	(040) 72833-100	Sonderangebote
Pauler Acoustics	Schallplatten	D	individuell	www.pauleracoustics.de/paulerac/pa_dmm_e.html	(05551) 61313	
Scan- und Digitalisierungsservice Digiscan	Normal 8, Super 8, alle Audioformate, alle Videoformate	D	diverse	www.digiscan.de	(09132) 988966	
S.O.D. e.K. Datenrettung	optische Discs	R	ab 40,00	www.sod-datenrettung.de	(02102) 5889660	semiprofessionell
	DAT	R	ab 240,00			
WDE Service GmbH	Normal 8, Super 8	D	ab 4,50 + 0,85/min	www.wdemedia.de	(02102) 1352073	Sonderangebote; semiprofessionell
	Schallplatten	D	4,00-20,00			
	MC	D	8,50-11,50			
	alle Videoformate außer VCR	D	ab 5,50			
Wecom Werbeagentur	Normal 8, Super 8, 16 mm	S, D	ab 16,00 + 1,60/min	www.filmrolle.tv	(02052) 962026	professionelle Filmabstastung
	Hi 8, VHS, SVHS; weitere auf Anfrage	D	ab 21,00			

Tabelle 7: Auswahl von deutschen Firmen, die auf das Umkopieren, Digitalisieren bzw. Restaurieren von Daten(trägern) spezialisiert sind⁴⁹

⁴⁸ D = Digitalisierung, F = Forensik, R = Restaurierung bzw. Datenrettung, S = Säuberungsmaßnahmen, U = Umkopieren

⁴⁹ Stand November 2007, eigene Zusammenstellung

Danksagung

Ich möchte allen Personen danken, die dazu beigetragen haben, dass diese Arbeit entstehen konnte. Dies sind vor allem Herr Dr. Zink, Leiter des Stadtarchivs Bamberg, sowie Herr Dr. Kolasa, Leiter des Deutschen Musikarchivs in Berlin, und Herr Hack, forschungsbeauftragter Mitarbeiter der Abteilung Informationstechnik im Deutschen Musikarchiv.

Bamberg, im Dezember 2007

Christoph Meinel