

Analoge und digitale Filmkonservierung

Reto Kromer • AV Preservation by reto.ch

Medienkunst: Technologie und Erhaltungsstrategien III

Akademie der bildenden Künste
Wien, 27. und 28. Mai 2026

1

	kurze Zeit benötigt	lange Zeit benötigt
wichtig	1	2
unwichtig	3	4

2

Inhalt

- analoge Filmkonservierung
- analoge und digitale Filmkonservierung
- digitale Filmkonservierung

3

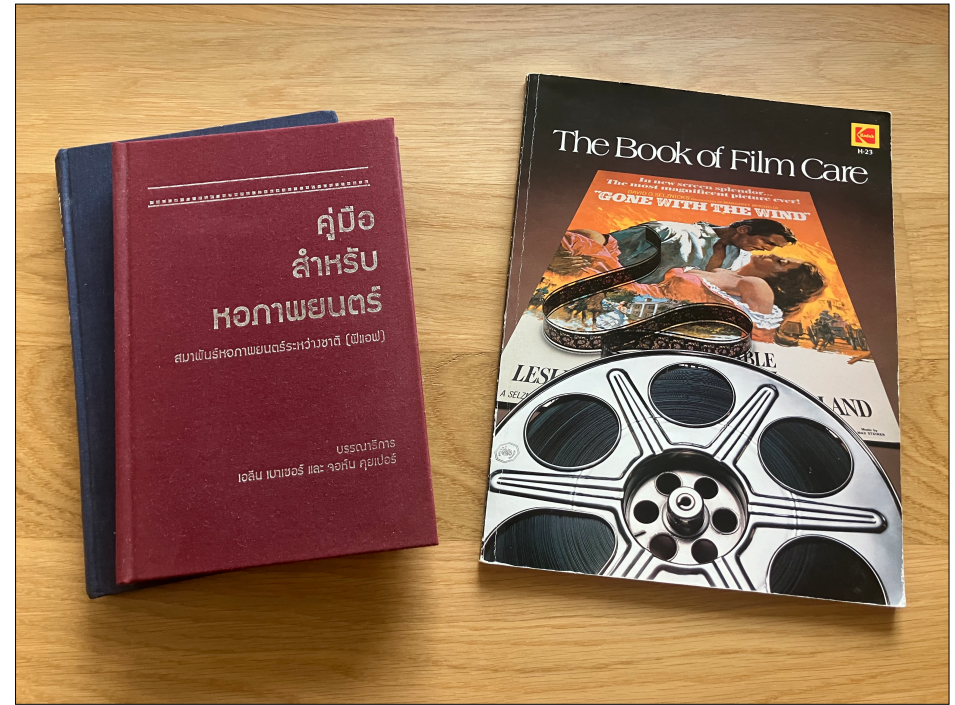
analog

4

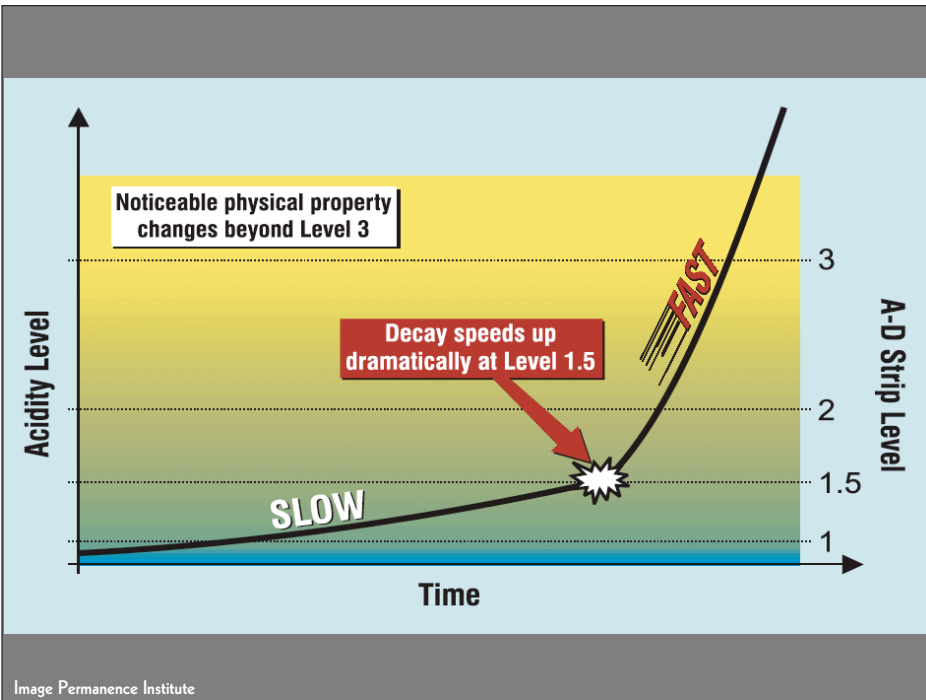
Konservierung

Unter dem Begriff der Konservierung sind alle Tätigkeiten zur Pflege eines Objekts zusammengefasst, die dessen **weiteren Verfall verzögern** und gewährleisten, dass es für die Zukunft in möglichst unversehrtem Zustand erhalten bleibt.

5



6



7

TYPE of DECAY	MEDIA	RECOMMENDED ENVIRONMENT
SILVER IMAGE DECAY	Photographic glass plates Black-and-white film Black-and-white photographic prints	30% to 50% RH
COLOR IMAGE DECAY	Color film Color photographic prints Ink jet prints	Low temperature 30% to 50% RH
COLOR BLEEDING	Ink jet prints	30% to 50% RH
YELLOWING, STAINING	Color photographic prints Inkjet prints	Low temperature 30% to 50% RH
BINDER DEGRADATION	Magnetic tapes	Low temperature 30% to 50% RH
NITRATE DECAY	Nitrate-base film	Low temperature 30% to 50% RH
ACETATE DECAY	Acetate-base black-and-white film Acetate-base color film Acetate-base magnetic tape	Low temperature 30% to 50% RH
GLASS DETERIORATION	Photographic glass plates	30% to 50% RH
LAYER SEPARATION	Photographic glass plates CDs and DVDs	Minimal temperature and RH fluctuations 30% to 50% RH
MOLD	All media	30% to 50% RH

Image Permanence Institute

8

Prinzip

Um die Konservierung garantieren zu können, muss man den **Zustand** der Filmrollen kennen **und** die **Klimawerte** im Lagerraum:

- Temperatur und relative Feuchte
- Resultate der Zustandsanalysen

9

Statistische Methode

Mit der Analyse einer zufallsmässig ausgewählte Untermenge von

164 Rollen

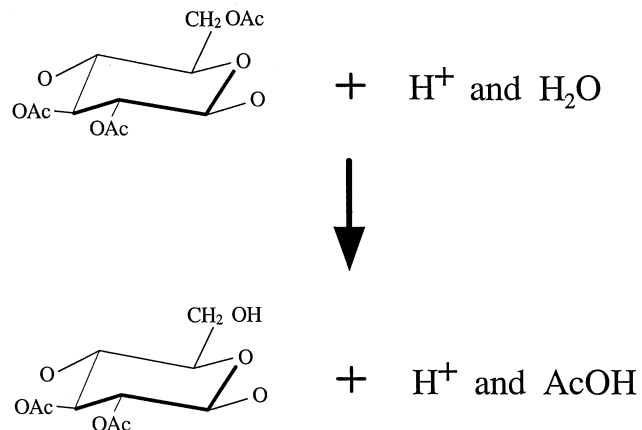
von jedem Typ und in jedem Raum kann der Zustand des gesamten Bestandes mit einer Genauigkeit von

80 % ± 5 %

ermittelt werden.

10

Säure wird freigesetzt



11

Bibliografie

Peter Z. Adelstein: **IPI Media Storage Quick Reference**. 2nd Edition. Image Permanence Institute, Rochester NY 2009

→ www.imagepermanenceinstitute.org

Dew Point Calculator. Image Permanence Institute, Rochester NY [2008]

→ www.dpcalc.org

12

Strategie

13

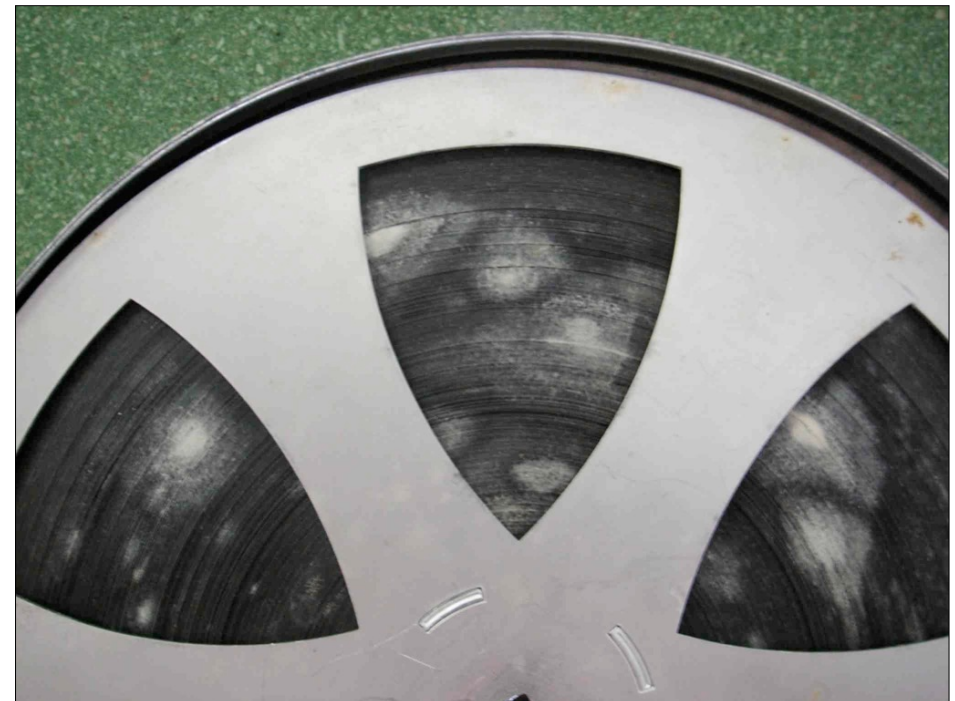
Eine Strategie erarbeiten

1. die ISO-Normen für jedes Medium auflisten, das in der Sammlung vertreten ist
2. die Klimawerte in den Lagerräumen mindestens ein Jahr lang erheben
3. den Zustand des Bestandes bestimmen
4. die Resultate analysieren, um die Schwachstellen zu identifizieren
5. die Lagerbedingungen verbessern

14



15



16

Statistische Methode

Mit der Analyse einer zufallsmässig ausgewählte Untermenge von

164 Rollen

von jedem Typ und in jedem Raum wird der Zustand des gesamten Bestandes mit einer Genauigkeit von

80 % ± 5 %

ermittelt.

17

Prinzip

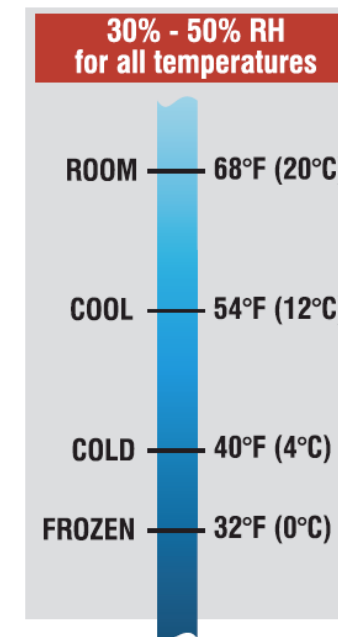
Um die Konservierung garantieren zu können, muss man den **Zustand** der Filmrollen kennen **und** die **Klimawerte** im Lagerraum:

- Temperatur und relative Feuchte
- Resultate der Zustandsanalysen

18

Modell

19



20

QUALITATIVE RATING SYSTEM

NO	Likely to cause significant damage.
FAIR	Does not meet ISO recommendations but may be satisfactory for extended periods.
GOOD	Comparable to ISO recommendations. ¹²
VERY GOOD	Will provide an extended lifetime.

21

Vier Klimazonen

	T	rF
Arbeit	20 °C ± 2 °C	50% ± 5%
kühl	16 °C ± 2 °C	35% ± 5%
kalt	4 °C ± 2 °C	45% ± 5%
gefroren	-8 °C ± 2 °C	Mikroklima

23

Storage Conditions	Glass Plates	Nitrate	Acetate		Polyester		Photo Prints		Ink Jet Prints	Magnetic Tape		CDs DVDs
			B&W	Color	B&W	Color	B&W	Color		Acetate	Polyester	
ROOM	Fair	No	No	No	Good	No	Good	No	Fair	No	No	Fair
COOL	Good	No	No	No	Good	No	Good	No	Fair	Fair	Good	Good
COLD	Very Good	Good	Good	Good	Very Good	Good	Very Good	Good	Good	Good	Good	Good
FROZEN	Very Good	Very Good	Very Good	Very Good	Very Good	Very Good	Very Good	Very Good	Very Good	Good	Good	No

22

Lebenserwartung

	T	rF	t
Arbeit	20 °C	50%	100%
kühl	16 °C	35%	250%
kalt	4 °C	45%	941%
gefroren	-8 °C	50%	4593%

24

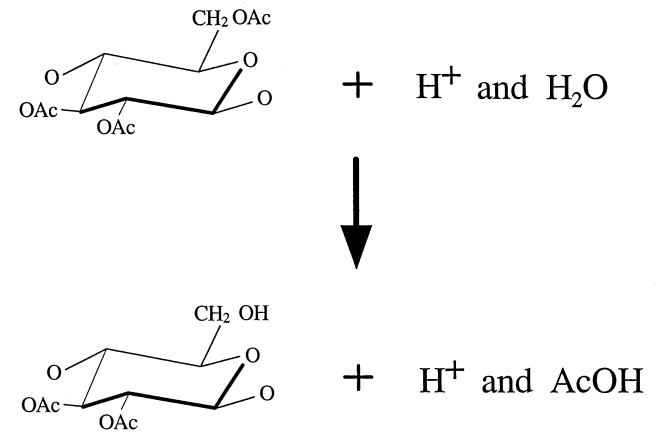
1. Kühl

25



27

Säure wird freigesetzt



26



28

Konservierung

Unter dem Begriff der Konservierung sind alle Tätigkeiten zur Pflege eines Objekts zusammengefasst, die dessen **weiteren Verfall verzögern** und gewährleisten, dass es für die Zukunft in möglichst unversehrtem Zustand erhalten bleibt.

29

Bis zur Autokatalyse (CA)

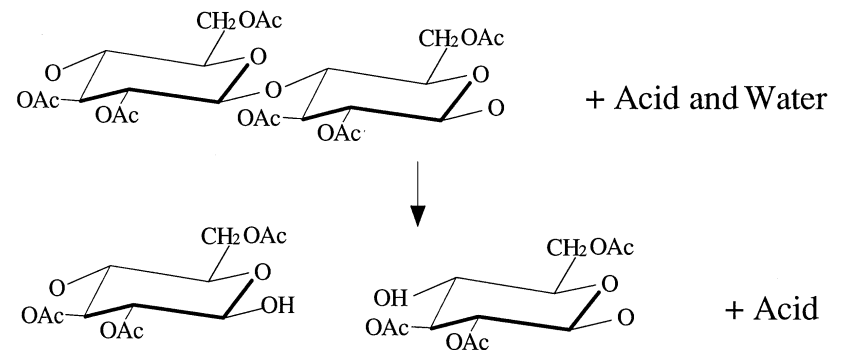
	T	rF	Jahre
Arbeit	20 °C	50%	44
kühl	16 °C	35%	110
kalt	4 °C	45%	414
gefroren	-8 °C	50%	2 021

30

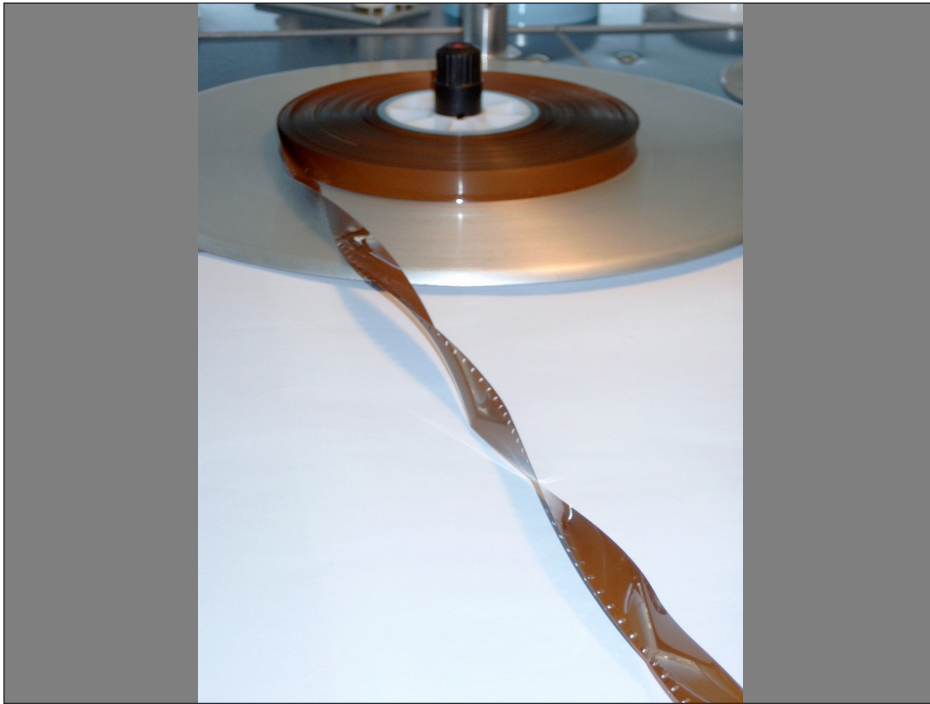
2. Kalt

31

Bindungen brechen



32



33

Restaurierung

Die Restaurierung schliesst alle Eingriffe und Behandlungen ein, die der **Wiederherstellung eines bestimmten historischen Zustands** dienen und die zur Lesbarkeit, zur ästhetischen Integrität oder **zur erneuten Verwendung** eines Objekts beitragen.

Restauratorische Eingriffe sind irreversibel und verlangen grösste Sorgfalt bei der Planung, Begründung, Ausführung und Dokumentation.

34

Nach der Autokatalyse (CA)

	T	rF	Jahre
Arbeit	20 °C	50%	7
kühl	16 °C	35%	18
kalt	4 °C	45%	67
gefroren	-8 °C	50%	322

35

3. Gefroren

36

Notfall (CA)

	T	rF	Jahre
Arbeit	20 °C	50%	1/2
kühl	16 °C	35%	1
kalt	4 °C	45%	5
gefroren	-8 °C	50%	23

37

Umsetzung

38

Drei Lagerzonen

	T	rF	Jahre
Arbeit	20 °C	50%	—
kühl	16 °C	35%	110
kalt	4 °C	45%	67
gefroren	-8 °C	50%	23

39



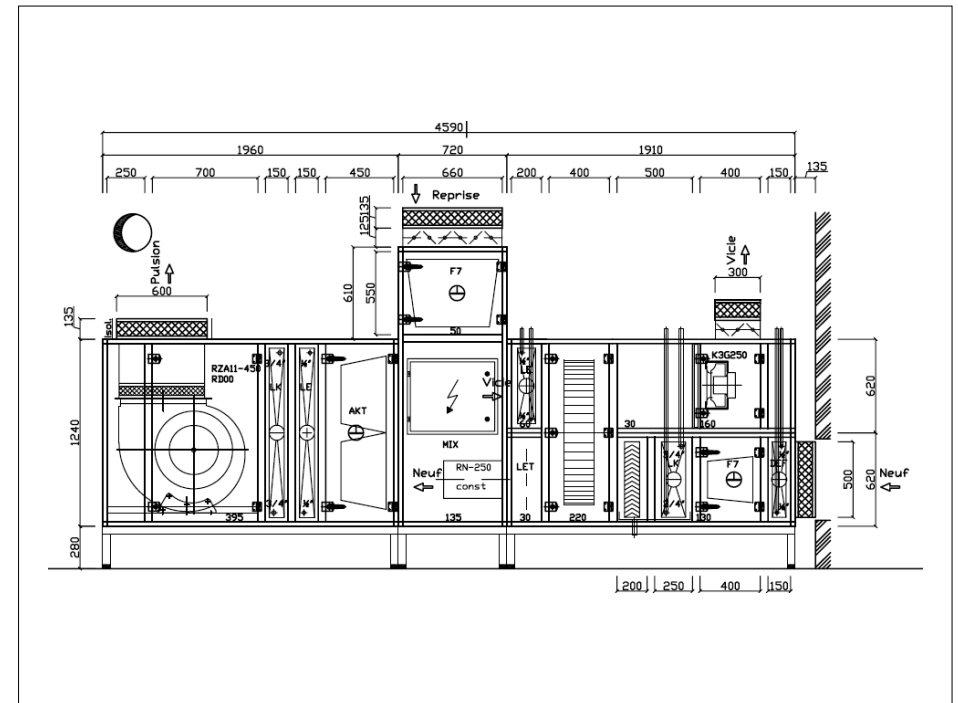
40

Aktive Massnahmen

Klimaanlage:

- Kühlen
- Entfeuchten
- Filtrieren

41



42

Schadstoffe in der Luft...

- $\text{SO}_2 < 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $\text{NO}_x < 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $\text{O}_3 < 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- $\text{CO}_2 < 4,5 \text{ g}/\text{m}^3$
- Feinstaub $< 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$

43

... und «möglichst wenig»

- HCl
- NCHO
- MgO , ZnO et similia

44

Abgespaltene Säuren

- $\text{CH}_3\text{COOH} < 1 \text{ ppm}$
- $\text{HNO}_3 < 1 \text{ ppm}$

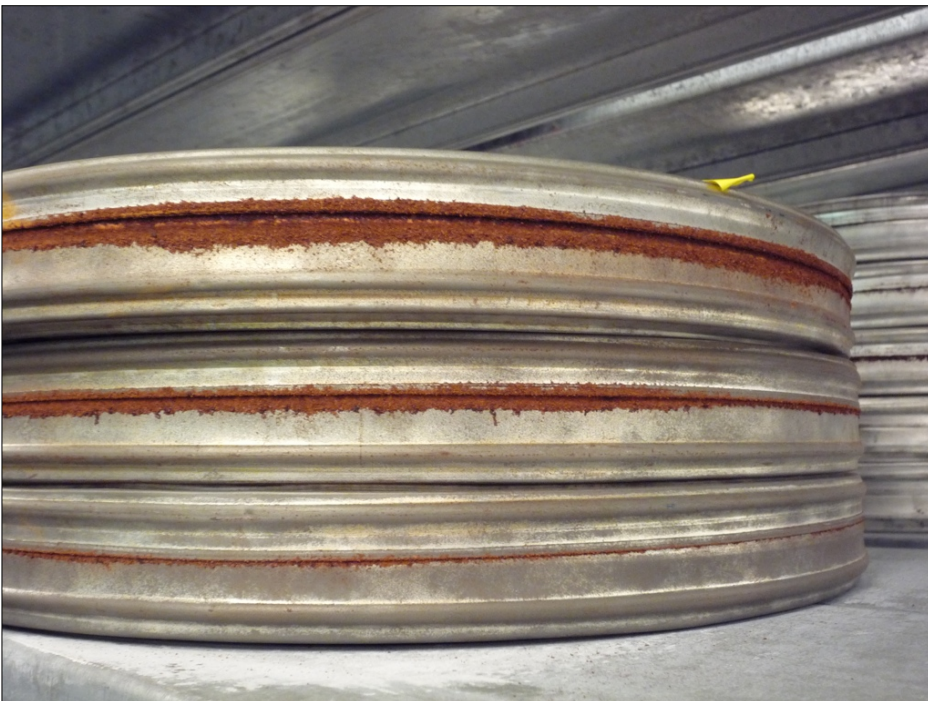


46



48

45



47

Zu- und Abluft

abgespaltene Salpeter- oder Essigsäure sind schwere Gase:

- Luftzufuhr an der Decke einer Wand
- Luftabfuhr am Boden der entgegengesetzten Wand

49



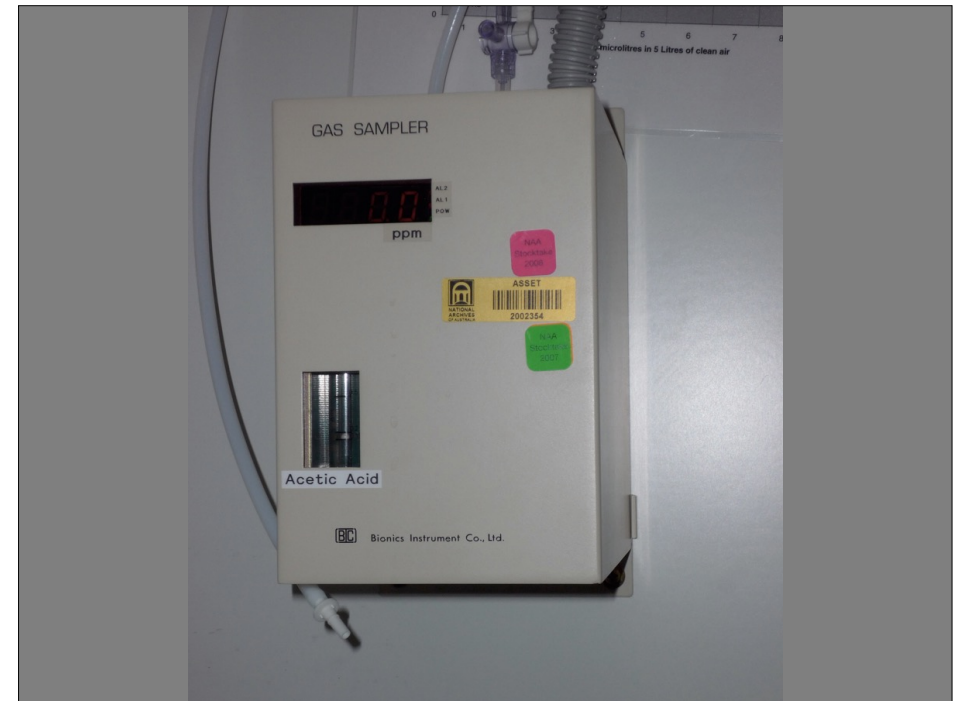
51

Luftströmung

nirgends sollen sich Salpeter- oder Essigsäure stauen können:

- «belüftete» Dosen
- fixe und offene Regale
- Zu- und Abluft an der ganzen Länge der entgegengesetzten Wände

50



52

Passive Massnahmen

- Standort
- Ausrichtung
- Aussenanstrich
- Schatten
- Isolation
- Dampfsperre
- Öffnungen

53

Zusammenspiel

- Klimaanlage
- Isolation
- Architektur
- Materialien

54

Vorteile

bescheidene und übersichtliche Infrastruktur

- kleinere Klimaanlage
- geringere Energiekosten
- weniger Unterhalt
- beschränkter Materialbedarf

55

Zusammenfassung

56

In der realen Welt leben

Es gibt nur eine effiziente Möglichkeit:

- «Originale» aufbewahren
- mehr Prävention:
 - bessere Isolation
 - effizientere Klimaanlage
- weniger Handhabung der «Originale»
- digitale Zugangskopien herstellen und verbreiten

57

Übung

58

Temperatur und Luftfeuchte

Ist es sinnvoller, Filmrollen unter

7 °C mit 30 % rF

oder unter

5 °C mit 35 % rF

zu lagern?

59

Analoge Filmkonservierung

- die chemischen Prozesse verlangsamen
- gute Klimatisierung
- fotochemische Umkopierung

60

analog und digital

61

Hybride Filmkonservierung

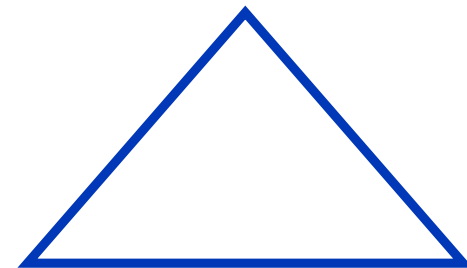
- Digitalisierung
- digitale Restaurierung
- Ausbelichtung auf Filmträger

62

digital

63

Bildqualität



Codierungszeit

Dateigrösse

64

Digitalisierung

- keine höhere Qualität als die des analogen Ausgangselements wählen, ausser in seltenen Ausnahmefällen, die in der Dokumentation begründet werden
- die Bittiefe ist wichtiger als die Auflösung

65

Archivformate

Einzelbilder («Film»)

- Matroska, FFV1, 4K oder 2K, R'G'B', 12 bit

Datenfluss («Video»)

- Matroska, FFV1, «HD», Y'CbCr 4:4:4, 12 oder 10 bit

Ton

- Matroska, FLAC, 192 kHz, 24 bit

66

Konservierung

- die beste Qualität wählen, die das Archiv langfristig gewährleisten kann, d. h. eine Qualität, die das Archiv auch bei künftigen Mittelkürzungen aufrechterhalten kann
- möglichst das native Format konservieren
- nicht in ein «höheres» Format konvertieren
- natives ProRes kann archiviert werden

67

SMPTE REGISTERED DISCLOSURE DOCUMENT

SMPTE RDD 36:2015

Apple ProRes Bitstream Syntax and Decoding Process



Page 1 of 39 pages

The attached document is a Registered Disclosure Document prepared by the sponsor identified below. It has been examined by the appropriate SMPTE Technology Committee and is believed to contain adequate information to satisfy the objectives defined in the Scope, and to be technically consistent.

This document is NOT a Standard, Recommended Practice or Engineering Guideline, and does NOT imply a finding or representation of the Society.

Every attempt has been made to ensure that the information contained in this document is accurate. Errors in this document should be reported to the proponent identified below, with a copy to eng@smpte.org.

All other inquiries in respect of this document, including inquiries as to intellectual property requirements that may be attached to use of the disclosed technology, should be addressed to the proponent identified below.

Proponent contact information:

ProRes Program Office
Apple Inc.
1 Infinite Loop, MS: 77-2YAK
Cupertino, CA 95014
USA

Email: ProRes@apple.com

68

Magnetic Tape

- in use since the 1950s by IT
- cartridges are always on polyester base (old open reels can be on triacetate base)

69

Packaging

- open reel
- cassette
- cartridge

70

Recording

- linear or diagonally
- analogue or digital

71

LTO

- Linear Tape-Open
- answer from the IT industry to the bank and insurance sector
- in 2000 LTO-1
- currently LTO-10
- currently the LTO Consortium consists in: Hewlett Packard Enterprise, IBM and Quantum

72

LTO-8

- only one-generation backward reading capabilities
- format M8 = LTO-7 cartridges formatted as LTO-8
- M8 can be used on LTO-8 drives only

73

LTO-9

- LTO-9 drives manufactured by IBM only
- LTO-9 cartridges manufactured by Fujifilm and Sony Group only
- two-generation backward reading capabilities
- only 50% capacity increase
- backward reading capabilities for regular LTO-8 (L8), but not M8

74

LTO-10

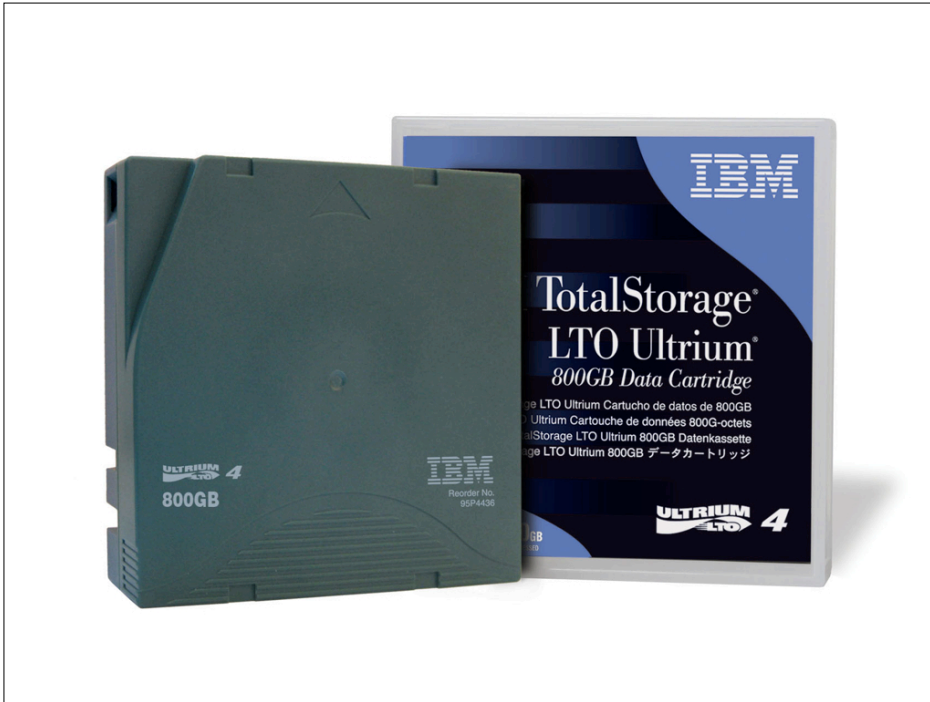
- no backward reading capabilities
- content difficult to handle with LTFS
- released in summer 2025

75

Compression

- uncompressed
- lossless compression
- lossy compression
- chroma subsampling
- born compressed

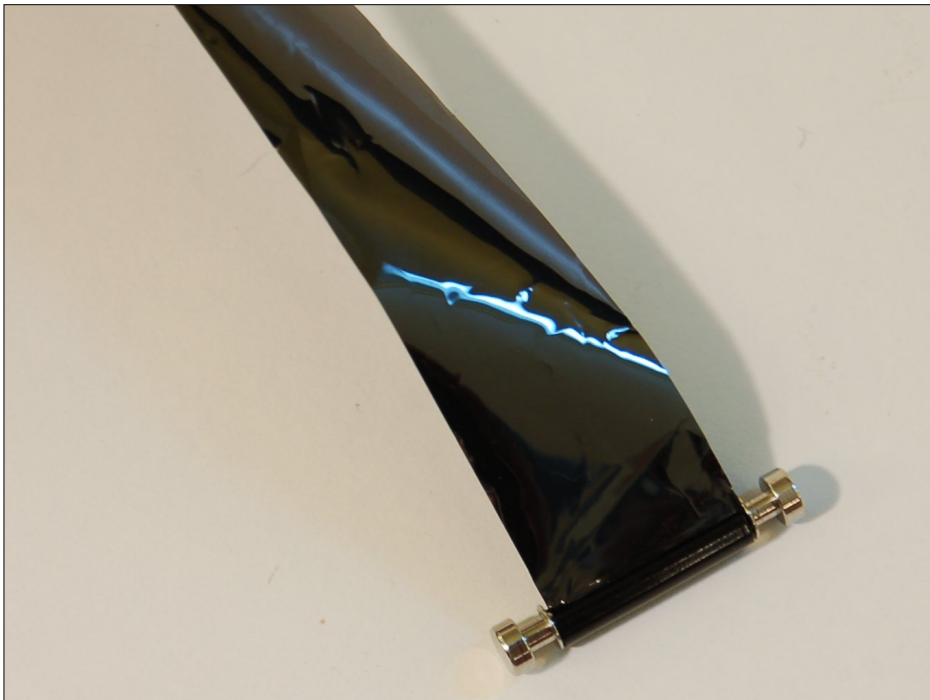
76



77



78



79

Formatting

TAR

- from LTO-1 to LTO-4 only possibility
- still possible possible today

LTFS

- possible (and recommended) since LTO-5

80

TAR

- standard TAR
 - bloc size
 - number of archives per cartridge
 - archives needing more than one cartridge
- TAR with a proprietary data encoding (e.g. BRU, Retrospect)

81

LTFS

- different versions
- almost one implementation per vendor, but...
 - ... "ltfs" and "mklts" common commands
- lossless compression (default) or uncompressed data
- unencrypted (default) or encrypted data

82

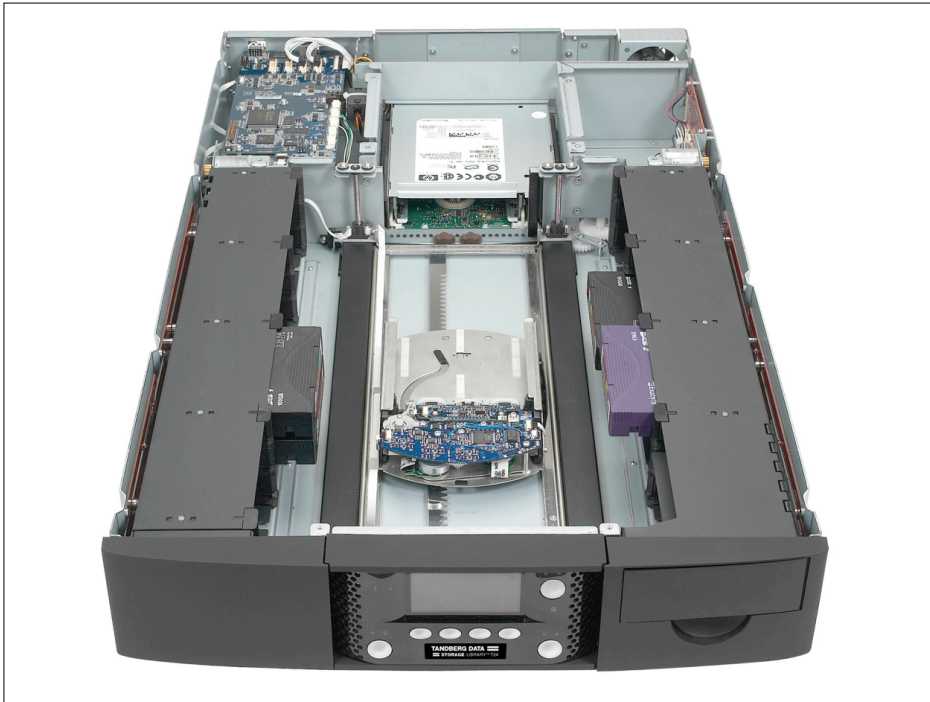
Drive

- internal or external unit
- library

83



84



85

Storage of the Tapes

- in a tape library
- on a shelf
- in a fire-proved cabinet

86

Software

- proprietary or open source
- graphical user interface (GUI) and/or command-line interface (CLI)

87

Plan the Next Migration

- file naming
- barcodes
- checksums
- write the full index to the cartridge
- technical metadata
- code to retrieve the files

88

#1: Film

FILM

- FILM_DPX/Film_nnnnnn.dpx
- Film_PCM.wav
- Film_ProRes.mov
- Film_H264.mp4

89

#2: Video

VIDEO

- Video_YCbCr422.mkv
- Video_ProRes.mov
- Video_H264.mp4

90

Longterm

- storage of the cartridges
- three copies...
... in geographically distant locations
- data integrity check
- data migration
- availability of LTO desks

91

AV Preservation by
reto.ch

Sandrainstrasse 3/7
3007 Bern
Switzerland

reto.ch
info@reto.ch



92