

Analogue und digitale Filmkonservierung

Reto Kromer • AV Preservation by reto.ch

Analogue und digitale Filmkonservierung und -restauration

Hochschule der Künste Bern

13. November 2025

1

	kurze Zeit benötigt	lange Zeit benötigt
wichtig		
unwichtig		

2

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

3

Inhalt

- analoge Filmkonservierung
- analoge und digitale Filmkonservierung
- digitale Filmkonservierung

4

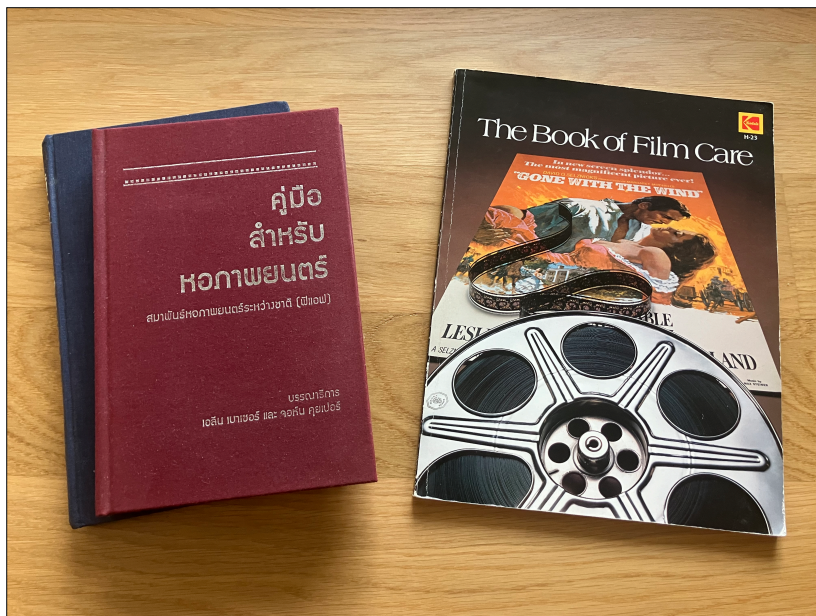
analog

5

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.

6



7

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

8

Strategie

9

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

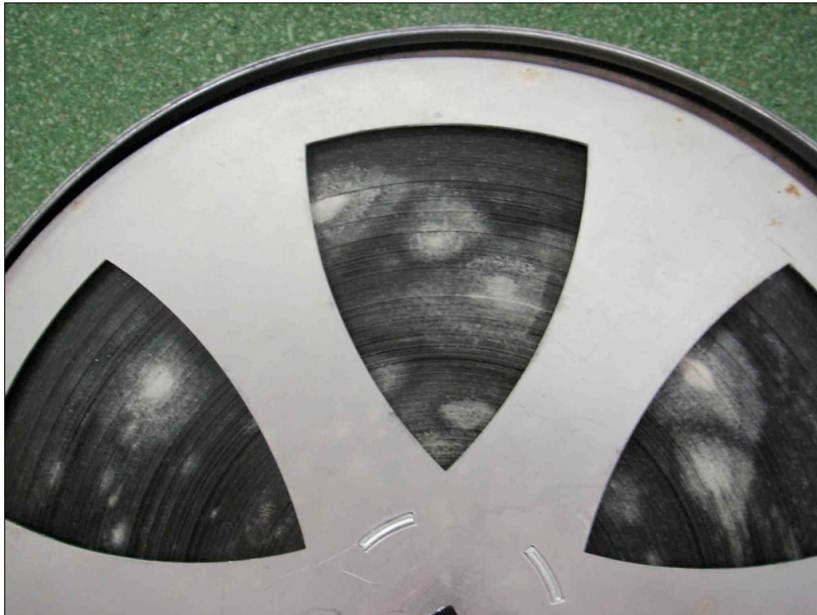
10

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

11



12



13

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.

14

Prinzip

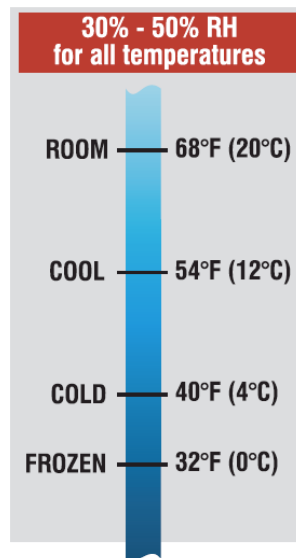
Um die Konservierung garantieren zu können,
muss man den **Zustand** der Filmrollen kennen
und die **Klimawerte** im Lagerraum:

- Temperatur und relative Feuchte
- Resultate der Zustandsanalysen

15

Modell

16



17

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.

18

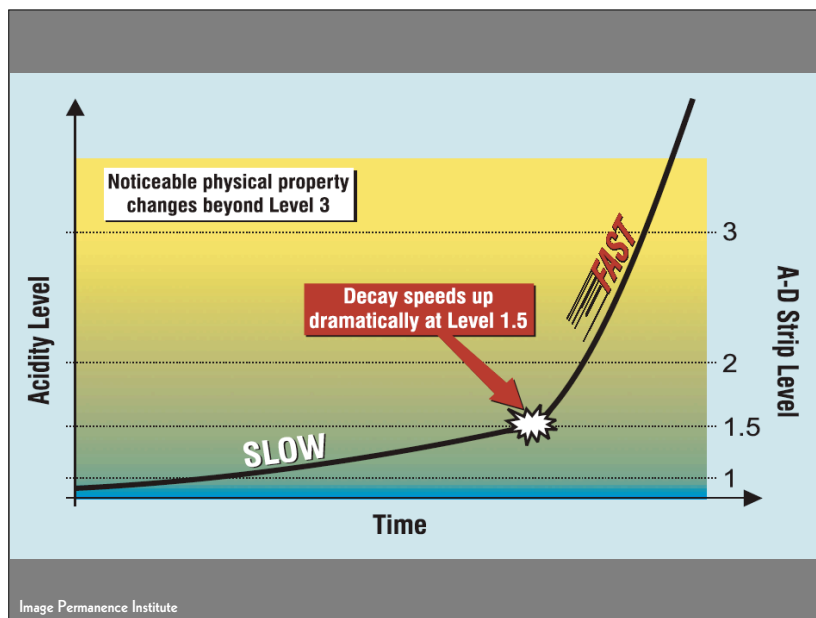
Storage Conditions	Glass Plates	Nitrate	Acetate		Polyester		Photo Prints		Ink Jet Prints	Magnetic Tape		CDs DVDs
			B&W	Color	B&W	Color	B&W	Color		Acetate	Polyester	
ROOM	Fair	No	No	No	Good	No	Good	No	Fair	No	No	Fair
COOL	Good	No	No	No	Good	No	Good	No	Fair	Fair	Good	Good
COLD	Very Good	Good	Good	Good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

19

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

20



21

Lebenserwartung

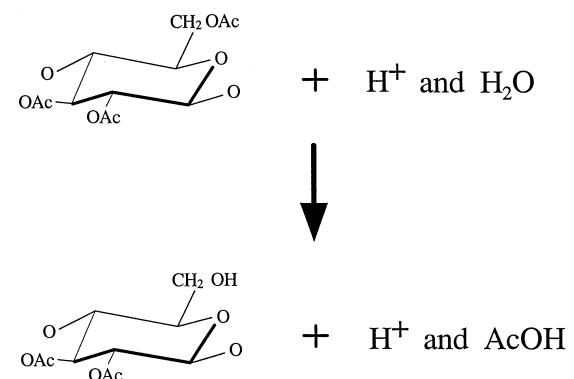
	T	rF	t
Arbeit	20 °C	50%	100%
kühl	16 °C	35%	250%
kalt	4 °C	45%	941%
gefroren	-8 °C	50%	4593%

22

1. Kühl

23

Säure wird freigesetzt



24



25



26

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.

27

Bis zur Autokatalyse (CA)

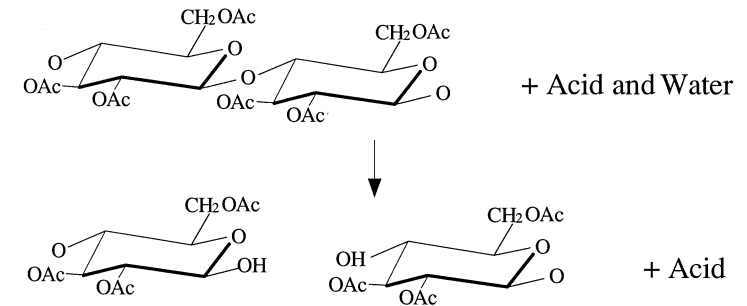
	T	rF	Jahre
Arbeit	20 °C	50%	44
kühl	16 °C	35%	110
kalt	4 °C	45%	414
gefroren	−8 °C	50%	2 021

28

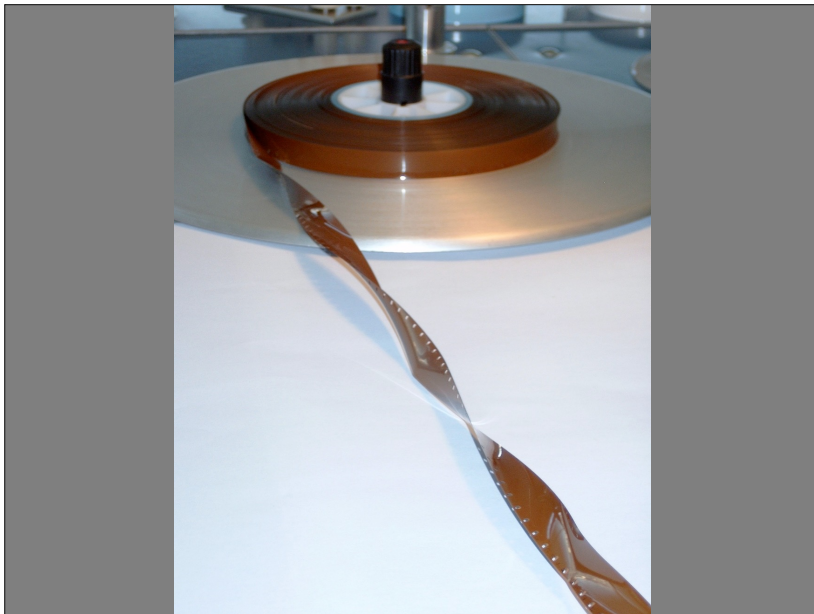
2. Kalt

29

Bindungen brechen



30



31

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.

32

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

33

3. Gefroren

34

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

35

Umsetzung

36

Drei Lagerzonen

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

37



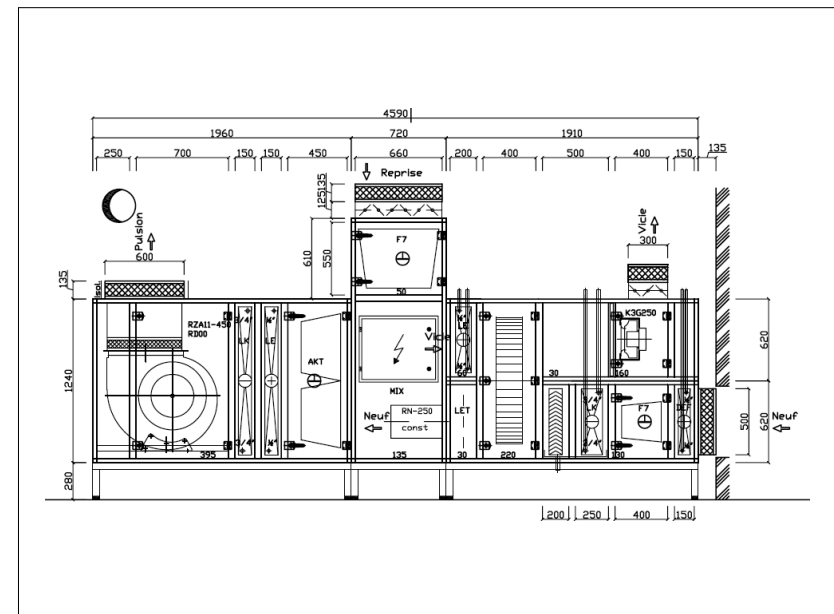
38

Aktive Massnahmen

Klimaanlage:

- Kühlen
- Entfeuchten
- Filtrieren

39



40

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 $< 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$

41

... und «möglichst wenig»

- HCl
- NCHO

- MgO, ZnO et similia

42

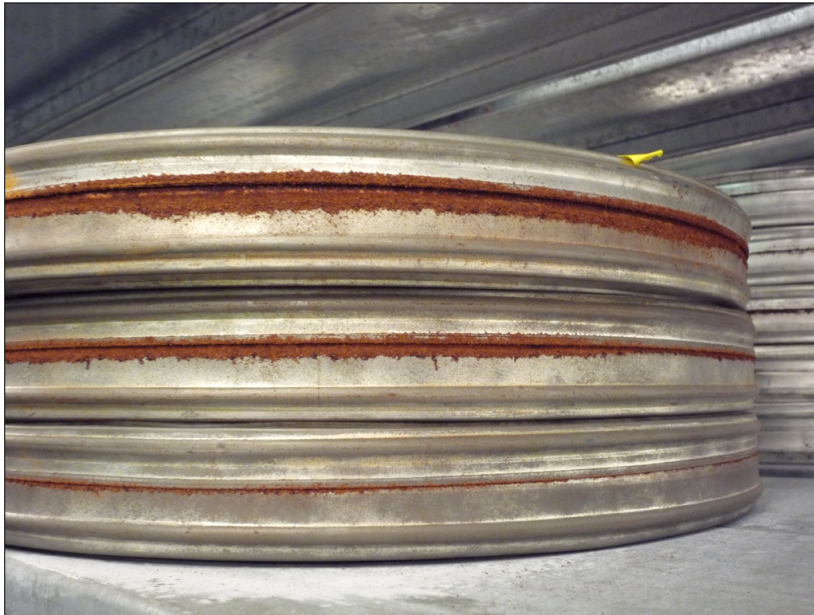
Abgespaltene Säuren

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

43



44



45



46

Zu- und Abluft

abgespaltene Salpeter- oder Essigsäure sind schwere Gase:

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

47

Luftströmung

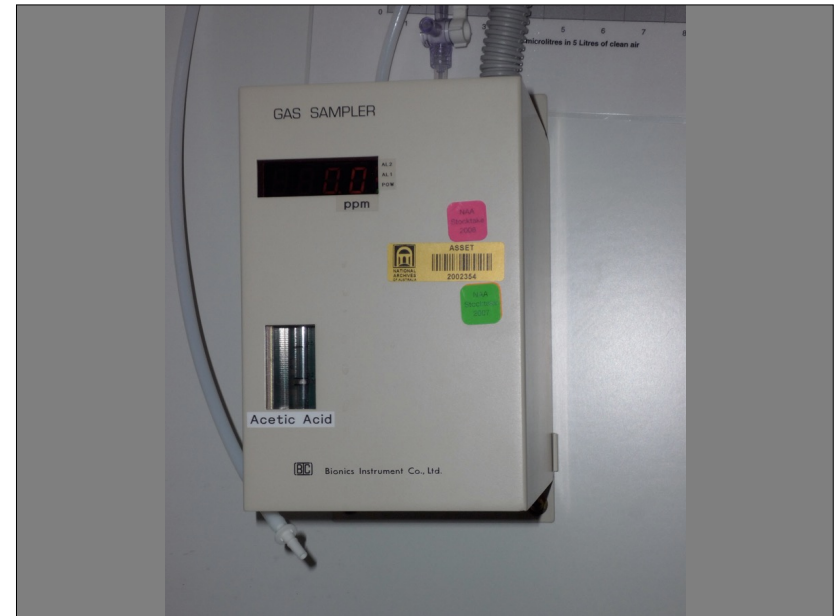
nirgends sollen sich Salpeter- oder Essigsäure stauen können:

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

48



49



50

Passive Massnahmen

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

51

Zusammenspiel

- Klimaanlage
- Isolation
- Architektur
- Materialien

52

Vorteile

bescheidene und übersichtliche Infrastruktur

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

53

Zusammenfassung

54

In der realen Welt leben

Es gibt nur eine effiziente Möglichkeit:

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

55

Übung

56

Temperatur und Luftfeuchte

Ist es sinnvoller, Filmrollen unter

7 °C mit 30 % rF

oder unter

5 °C mit 35 % rF

zu lagern?

57

Analoge Filmkonservierung

Klimaanlage

- Temperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Schadstoffe

58

Analoge Filmkonservierung

- Chemie
- Klimatisierung
- Umkopierung

59

analog und digital

60

Hybride Filmkonservierung

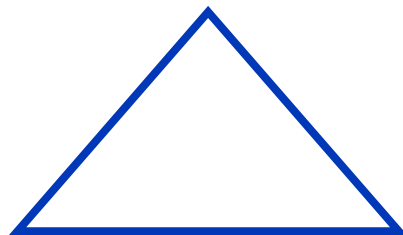
- Digitalisierung
- digitale Restaurierung
- Ausbelichtung auf Filmträger

61

digital

62

Bildqualität



Codierungszeit

Dateigrösse

63

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

64

Archivformate

Einzelbilder («Film»)

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

Datenfluss («Video»)

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

Ton

- Matroska, FLAC, 192 kHz, 24 bit

65

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

66

SMPTE REGISTERED DISCLOSURE DOCUMENT

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

67



Department of Government Efficiency ✓
@DOGE

The @USGSA IT team just saved \$1M per year by converting 14,000 magnetic tapes (70 yr old technology for information storage) to permanent modern digital records.

68

Data Migrations

2014

- our internal archive from LTO-4 to LTO-6 (5.7 PB)

2014–2021

- many migrations for clients

2021

- our internal archive from LTO-6 to LTO-8 (25.2 PB)

69

Magnetic Tape

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

70

Packaging

- open reel
- cassette
- cartridge

71

Recording

- linear or diagonally
- analogue or digital

72

LTO

- Linear Tape-Open
- answer from the IT industry to the bank and insurance sector
- in 2000 LTO-1
- currently LTO-9
- currently the LTO Consortium consists in: Hewlett Packard Enterprise, IBM and Quantum

73

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

74

LTO-9

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

75

LTO-10

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

76

Compression

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

77

container:

- folder
- TAR
- ZIP
- MXF
- Matroska
- AXF

video codec:

- TIFF
- DPX
- JPEG 2000
- FFV1
- OpenEXR
- CineForm RAW
- ProRes RAW
- Blackmagic RAW

78

	advantages	disadvantages
TIFF DPX OpenEXR	data easier to process	bigger files
JPEG 2000 FFV1	smaller files	data complexer to process

79

RAWcooked

- encoding into Matroska (.mkv) using FFV1 video codec and FLAC audio codec
- all metadata preserved
- decoding with bit-by-bit reversibility
- possibility to embed sidecar files (e.g. MD5, LUT, XML)
- compatibility with media players

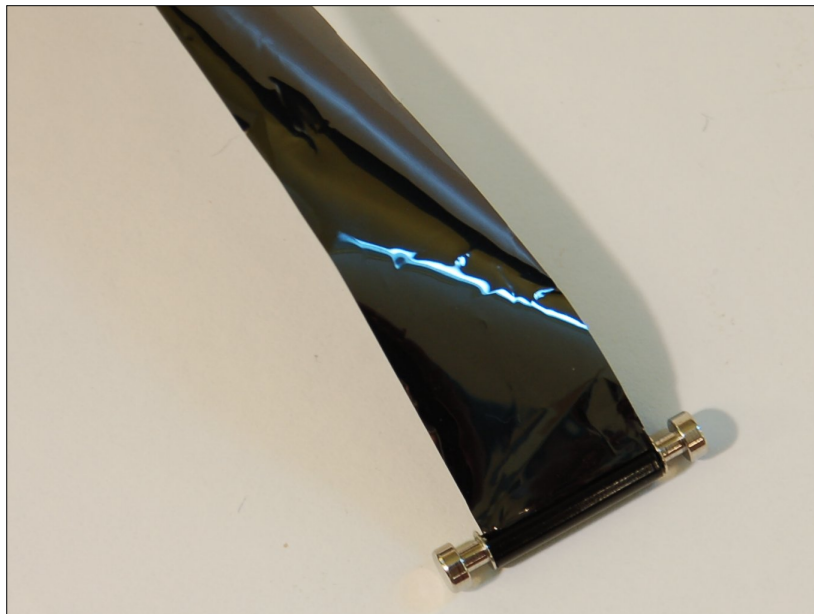
80



81



82



83

Formatting

TAR

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

LTFS

- possible (and recommended) since LTO-5

84

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)

85

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

86

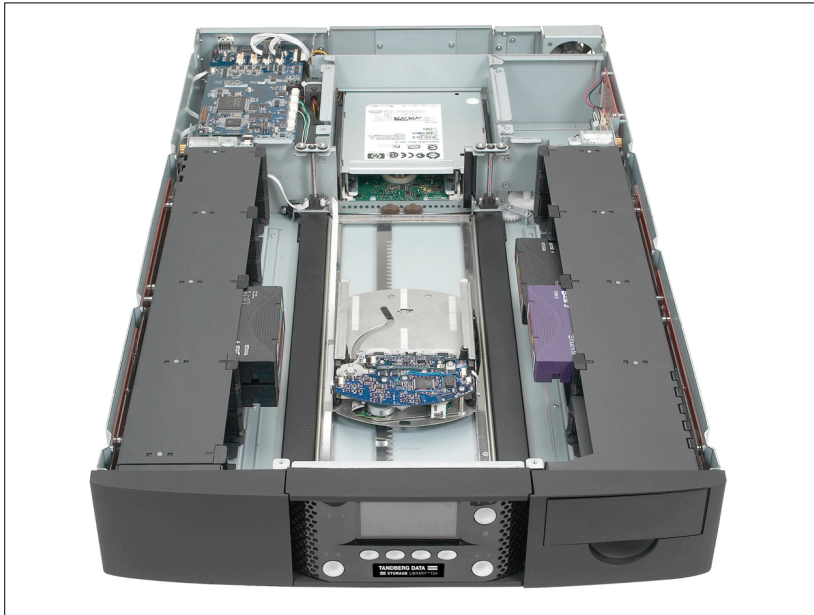
Drive

- internal or external unit
- library

87



88



89

Storage of the Tapes

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

90

Software

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

91

Plan the Next Migration

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

92

#1: Film

FILM

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

93

#2: Video

VIDEO

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

94

Longterm

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

95

Reading

Reto Kromer: **On the Bright Side of Data Migrations**, in «IASA Journal», n. 49 (December 2018), IASA, p. 18–22

→ retokromer.ch/publications/IASA_49

96

read | script | write

script to modify

- container
- codec
- both container and codec
- metadata
- filename

97

#1: ProRes-born Content

from:

- ProRes stored in a QuickTime (.mov) container

to:

- ProRes stored in a Matroska (.mkv) container

98

Update the Container

→ read file from source LTO

→ demultiplex file

- ProRes 422, 10 bit [yuv422p10le]
- ProRes 4444, 10 bit [yuv444p10le or yuva444p10le] or 12 bit [yuv444p12le]

→ multiplex file

→ write file to destination LTO

99

#2: Video

from:

- AVI / 8-bit and 10-bit uncompressed
- MOV / 8-bit and 10-bit uncompressed
- MP4 / 8-bit and 10-bit uncompressed

to:

- Matroska / FFV1

100

Container and Codec (1)

- read file from source LTO
- demultiplex file
- decode file
- $Y'CbCr$, 4:2:2, 8 bit, «raw» [uyvy422]
- encode file
- multiplex file
- write file to destination LTO

101

Container and Codec (2)

- read file from source LTO
- demultiplex file
- decode file
- $Y'CbCr$, 4:2:2, 10 bit, «raw» [yuv422p10le]
- encode file
- multiplex file
- write file to destination LTO

102

#3: Filename

from:

- Title_YUV422.mkv

to:

- Title_YCbCr422_9d5084b5b0a08d5022b39e0e75241d12.mkv

103

AV Preservation by
reto.ch

Sandrainstrasse 3/7
3007 Bern
Switzerland

reto.ch
info@reto.ch



104