

# Analoge und digitale Filmkonservierung

Reto Kromer • AV Preservation by reto.ch

**Analoge und digitale  
Filmkonser**vierung und -restaurierung****  
Hochschule der Künste Bern  
13. November 2025

1

	<b>kurze Zeit benötigt</b>	<b>lange Zeit benötigt</b>
<b>wichtig</b>		
<b>unwichtig</b>		

2

	<b>kurze Zeit benötigt</b>	<b>lange Zeit benötigt</b>
<b>wichtig</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>unwichtig</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

3

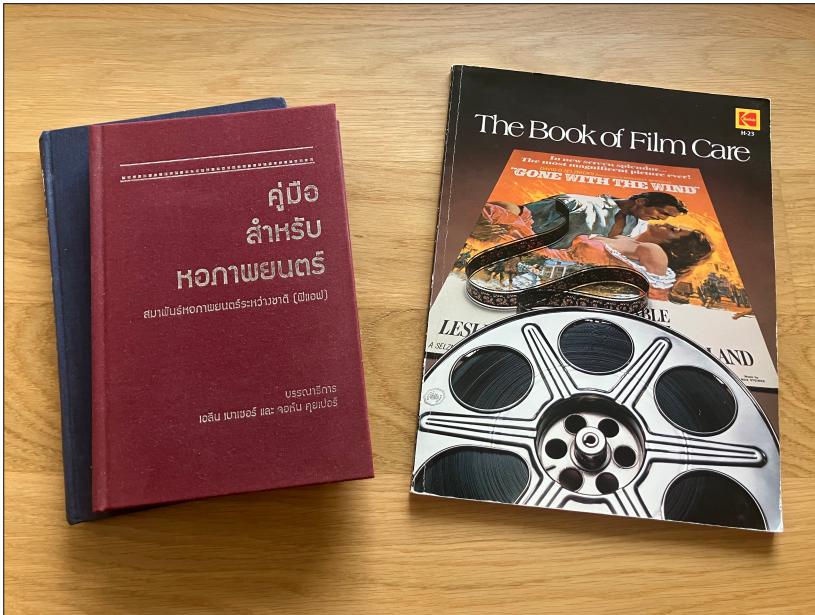
## Inhalt

- analoge Filmkonser**vierung**
- analoge und digitale Filmkonser**vierung**
- digitale Filmkonser**vierung**

4

# analog

5



7

## 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

## Bibliografie

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

→ [www.imagepermanenceinstitute.org](http://www.imagepermanenceinstitute.org)

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

→ [www.dpcalc.org](http://www.dpcalc.org)

8

# Strategie

9

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

11

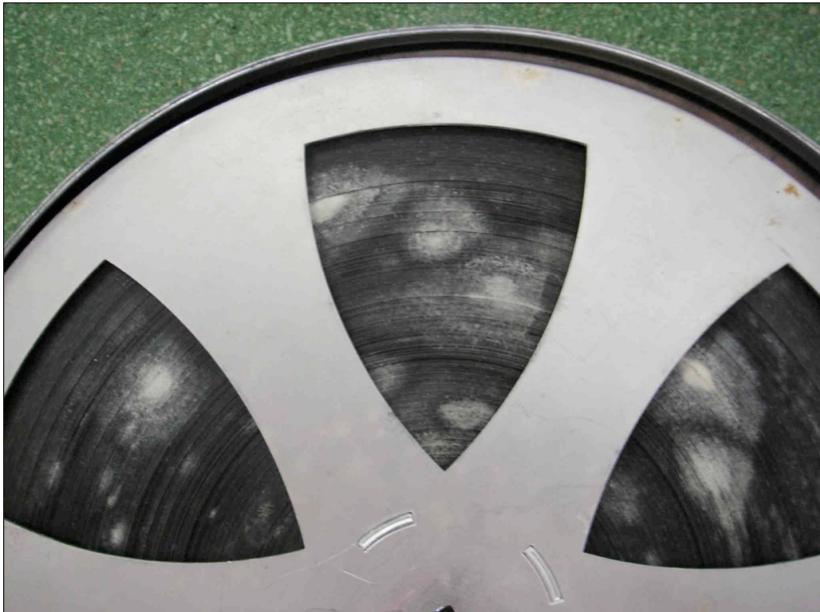
## Eine Strategie erarbeiten

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



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

**$80\% \pm 5\%$**

ermittelt.

14

## Prinzip

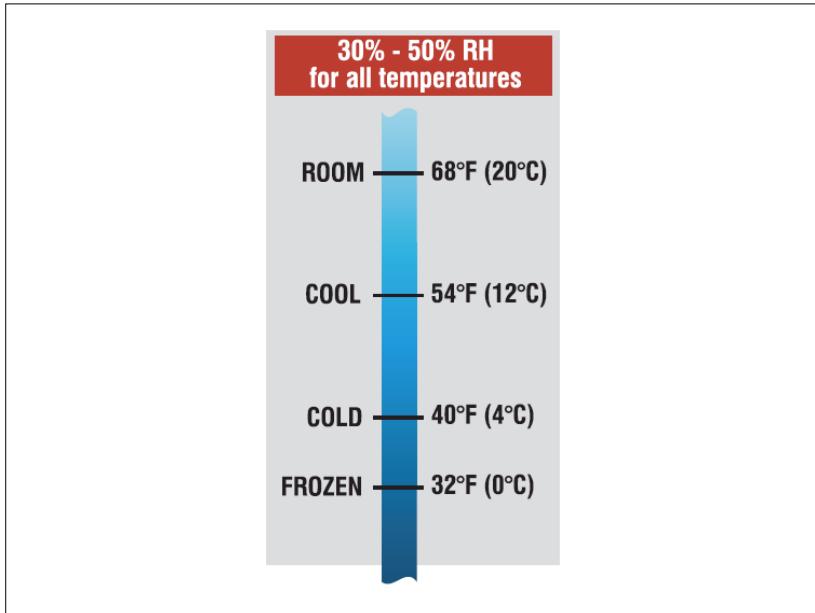
Um die Konservierung garantieren zu können,  
muss man den **Zustand** der Filmrollen kennen  
**und** die **Klimawerte** im Lagerraum:

- 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. <sup>12</sup>
VERY GOOD	Will provide an extended lifetime.

18

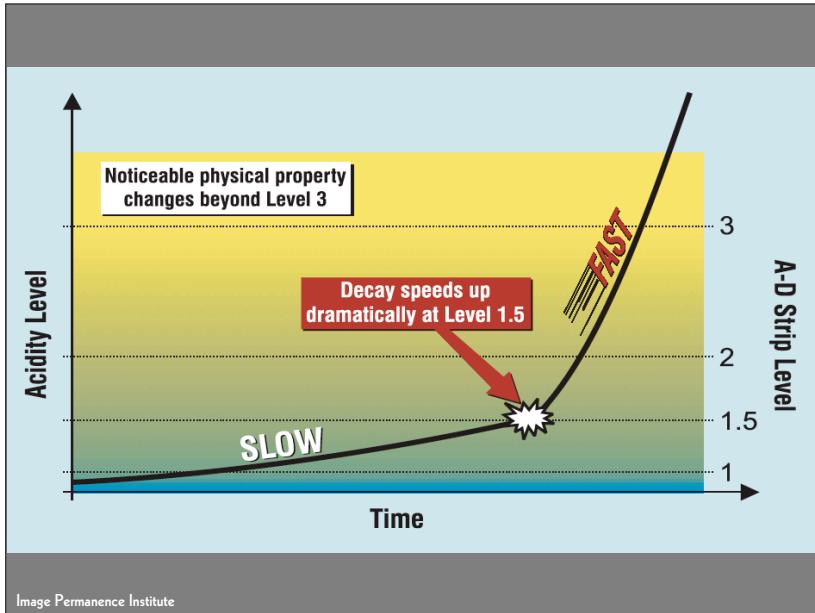
Storage Conditions	Glass Plates	Nitrate	Acetate		Polyester		Photo Prints		Ink Jet Prints	Magnetic Tape Acetate	Magnetic Tape Polyester	CDs DVDs
			B&W	Color	B&W	Color	B&W	Color				
ROOM	Fair	No	No	No	Good	No	Good	No	Fair	No	No	Fair
COOL	Good	No	No	No	Good	No	Good	No	Fair	Fair	Good	Good
COLD	Very Good	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
<b>Arbeit</b>	<b><math>20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}</math></b>	<b><math>50\% \pm 5\%</math></b>
<b>kühl</b>	<b><math>16^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}</math></b>	<b><math>35\% \pm 5\%</math></b>
<b>kalt</b>	<b><math>4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}</math></b>	<b><math>45\% \pm 5\%</math></b>
<b>gefroren</b>	<b><math>-8^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}</math></b>	<b>Mikroklima</b>

20



21

## Lebenserwartung

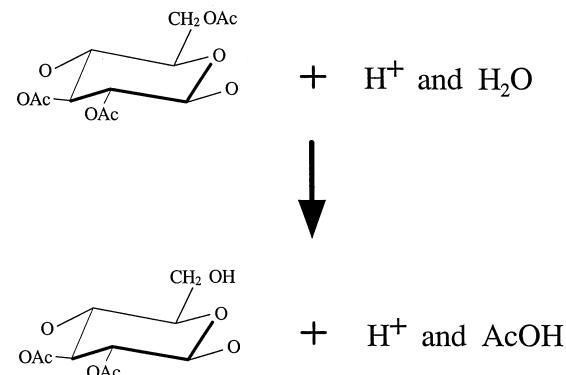
	T	rF	t
<b>Arbeit</b>	20 °C	50%	100%
<b>kühl</b>	16 °C	35%	250%
<b>kalt</b>	4 °C	45%	941%
<b>gefroren</b>	-8 °C	50%	4593%

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

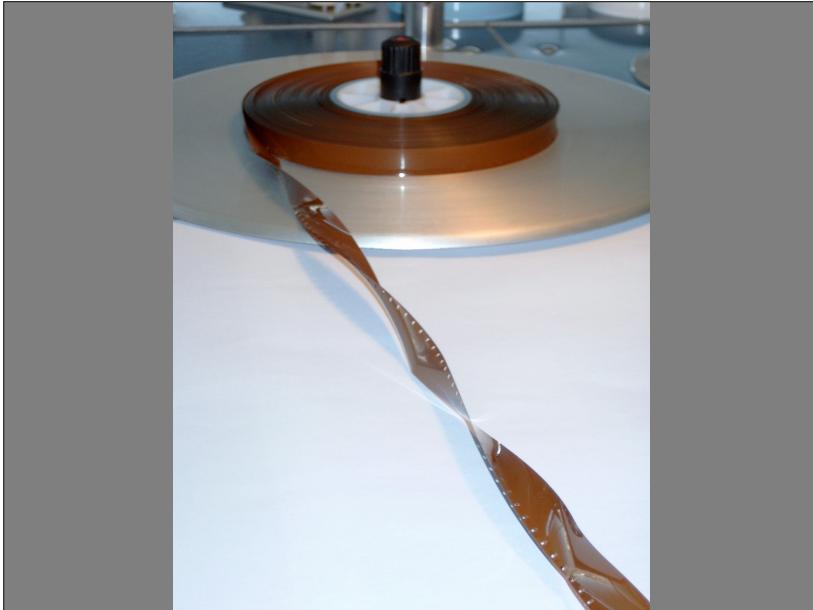
## Bis zur Autokatalyse (CA)

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

28

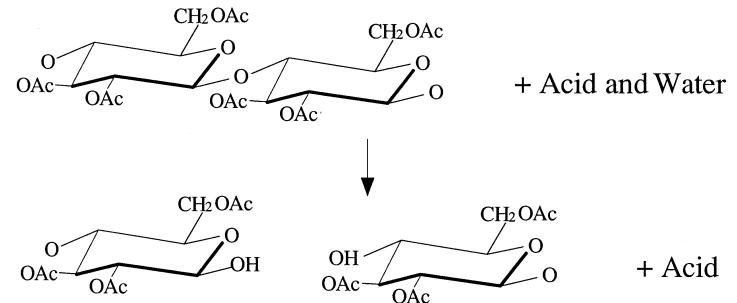
## 2. Kalt

29



31

## Bindungen brechen



30

## 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
<b>Arbeit</b>	20 °C	50%	7
<b>kühl</b>	16 °C	35%	18
<b>kalt</b>	4 °C	45%	67
<b>gefroren</b>	-8 °C	50%	322

33

## 3. Gefroren

34

## Notfall (CA)

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

35

## Umsetzung

36

## Drei Lagerzonen

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

37



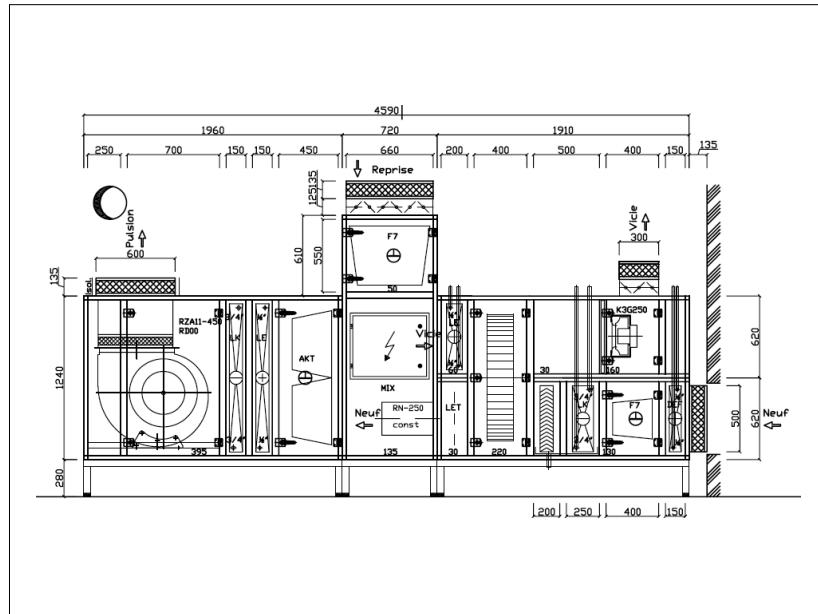
38

## Aktive Massnahmen

### Klimaanlage:

- Kühlen
- Entfeuchten
- Filtern

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
- $\text{MgO}, \text{ZnO}$  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

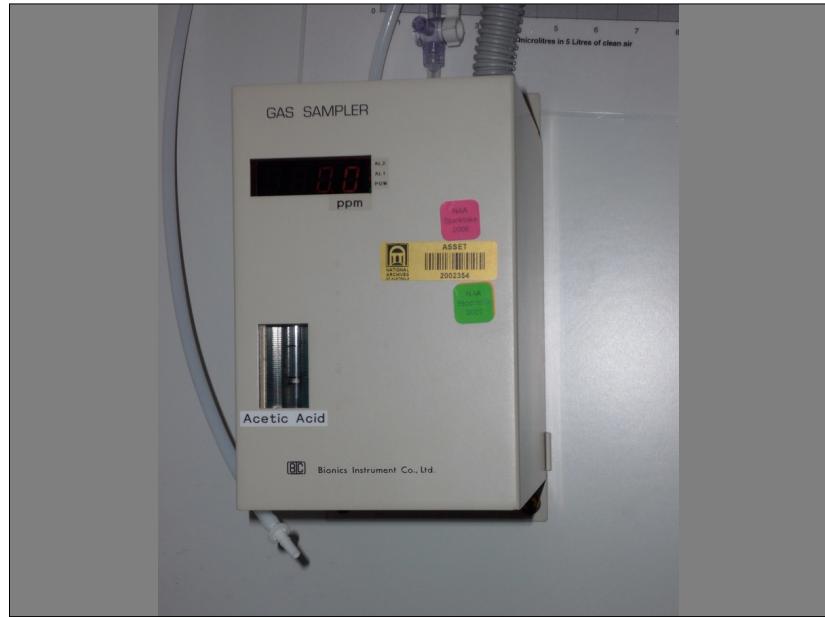
nirgends sollen sich Salpeter- oder Essigsäure stauen können:

- «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 Zugangskopien 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 Filmkonserierung

### Klimaanlage

- Temperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Schadstoffe

58

## Analoge Filmkonserierung

- Chemie
- Klimatisierung
- Umkopierung

59

# analog und digital

60

## Hybride Filmkonservierung

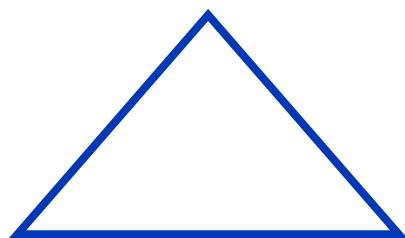
- Digitalisierung
- digitale Restaurierung
- Ausbelichtung auf Filmträger

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

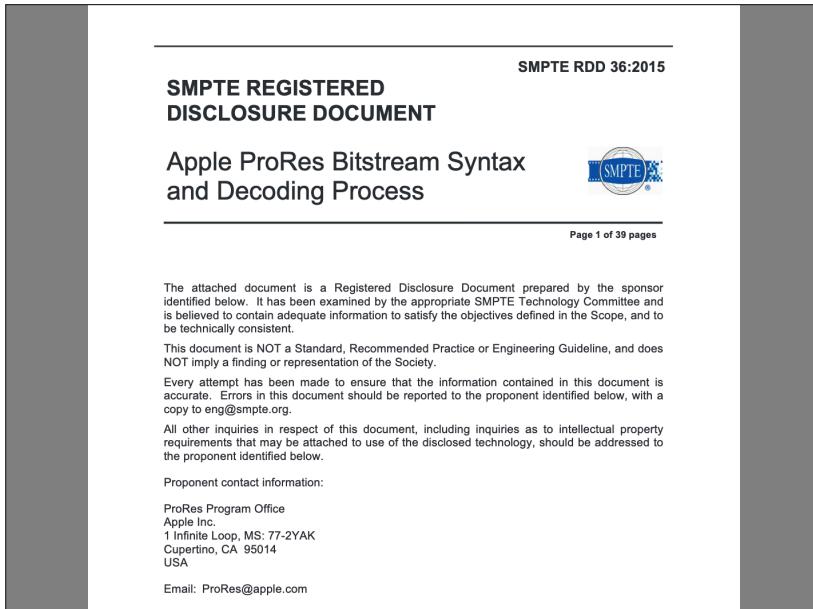
### Datenfluss («Video»)

- Matroska, FFV1, «HD», Y'C<sub>B</sub>C<sub>R</sub> 4:4:4, 12 oder 10 bit

### Ton

- Matroska, FLAC, 192 kHz, 24 bit

65



67

## 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



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

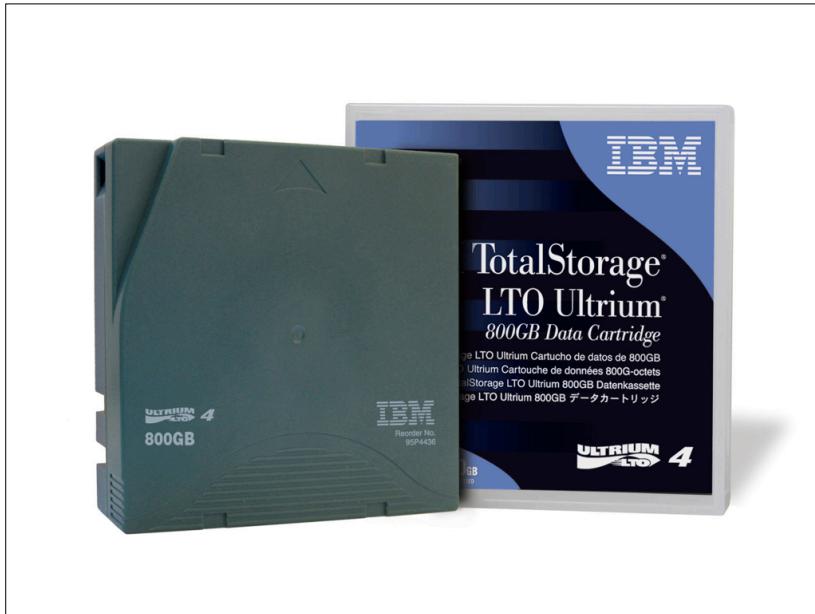
	avantages	disadvantages
<b>TIFF DPX OpenEXR</b>	data easier to process	bigger files
<b>JPEG 2000 FFV1</b>	smaller files	data complexer to process

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

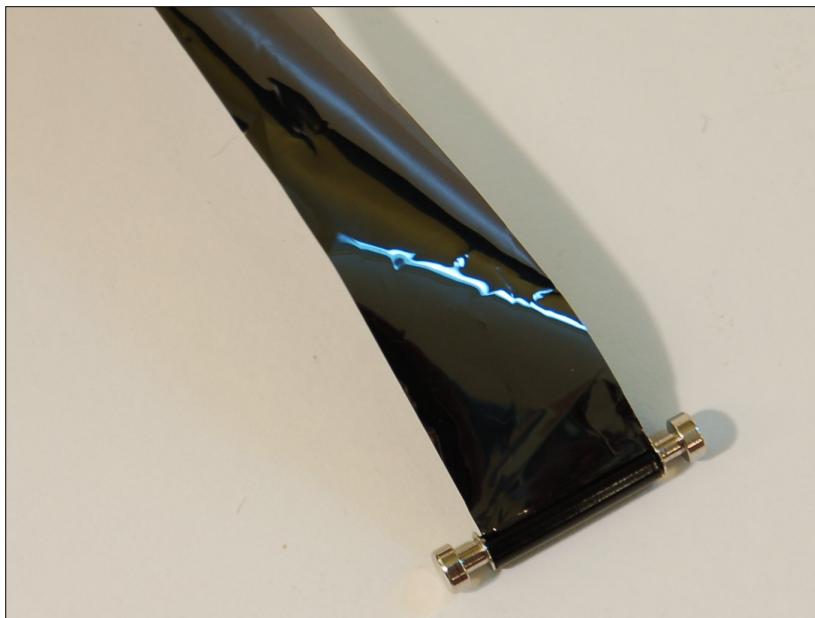
80



81



82



83

## Formatting

### TAR

- from LTO-1 to LTO-4 only possibility
- still possible 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 "mkltfs" common commands
- lossless compression (default) or uncompressed data
- unencrypted (default) or encrypted data

86

## Drive

- internal or external unit
- library

87



88



89

## Software

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

91

## Storage of the Tapes

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

90

## 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](http://retokromer.ch/publications/IASA_49)

96

## read | script | write

script to modify

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

97

## 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

## #1: ProRes-born Content

**from:**

- ProRes stored in a QuickTime (.mov) container

**to:**

- ProRes stored in a Matroska (.mkv) container

98

## #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\_9d5084b5b0a08d5022b3  
9e0e75241d12.mkv

103

AV Preservation by  
**reto.ch**

Sandrainstrasse 3/7  
3007 Bern  
Switzerland

reto.ch  
info@reto.ch



104