

<p style="text-align: center;"><b>T e c h n i s c h e   R i c h t l i n i e</b>  <b>der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten</b>  <b>in der Bundesrepublik Deutschland</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Richtlinie</b>  <b>Nr. 8/1.1</b></p>
<p style="text-align: center;">Bearbeiter dieses Heftes: Fernsehbetriebsleiter-Konferenz  Herausgeber: Institut für Rundfunktechnik</p>	<p style="text-align: center;">1. Auflage</p>
	<p style="text-align: center;">29 Seiten</p>
	<p style="text-align: center;">Datum: Feb. 2014</p>
<p style="text-align: center;"><b>Beschreibung und Messung fernsehtechnischer Systeme</b>  <b>(Fortführung von Pflichtenheft Nr. 8/1.1:</b>  <b>Richtlinien für die Messung der Pflichtenheftsbedingungen an Videogeräten)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Kapitel 6:</b>  <b>Messverfahren und Analyse an File-basierten Produktionssysteme</b></p>	

**Schutzrechte - Hinweis:**

Es kann nicht gewährleistet werden, dass alle in dieser Richtlinie enthaltenen Forderungen, Vorschriften, Richtlinien, Spezifikationen und Normen frei von Schutzrechten Dritter sind. Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Zitierfreiheit des Urheberrechtsgesetzes ist ohne vorherige schriftliche Zustimmung des IRT nicht zulässig.

## Inhaltsverzeichnis

6.1.	Einleitung .....	3
6.2.	Grundlagen .....	3
6.2.1.	Fileformate allgemein .....	3
6.2.2.	File-Austauschformate .....	3
6.2.2.1.	Das MXF-Fileformat .....	4
6.2.2.1.1.	Erzeugung (Wrappen) von MXF-Files .....	7
6.2.2.1.2.	Metadaten .....	11
6.2.2.1.2.1.	Strukturelle (technische) Metadaten.....	11
6.2.2.1.2.2.	Deskriptive (beschreibende) Metadaten.....	12
6.2.2.1.3.	Essence Container Infrastructure .....	14
6.2.2.1.4.	Index Table .....	16
6.2.2.1.4.1.	Random Index Pack.....	16
6.3.	File- und Schnittstellenanalyse.....	16
6.3.1.	Wrapper-/Containeranalyse .....	17
6.3.2.	Bitstromanalyse.....	18
6.3.2.1.	Codec-Analyse (Essenz).....	18
6.3.2.1.1.	Videodaten .....	18
6.3.2.2.	Audiodaten .....	18
6.3.2.3.	Zusatzdaten .....	18
6.3.2.4.	Metadatenanalyse .....	19
6.3.3.	Basisbandanalyse .....	19
6.4.	Analysatoren .....	19
6.4.1.	Einsatz von Fileanalysatoren .....	20
6.4.1.1.	Grundsätzliche Überlegungen zu Einsatzbereichen.....	20
6.4.1.2.	Auswertung von Analyseergebnissen .....	22
6.5.	Relevante Dokumente und Standards .....	23
6.6.	Literaturverzeichnis .....	26
6.7.	Anhang.....	27

## 6.1. Einleitung

Die Rundfunkanstalten haben sich auf ein einheitliches File-Format, das Material Exchange Format (MXF) geeinigt, um Content über netzwerkbasierte Verbindungen auszutauschen.

Aufgrund der modularen Strukturen von MXF-Files und der Vielzahl von optionalen Parametern kann es Inkompatibilitäten geben, auch wenn die entsprechenden Standards eingehalten werden. So können sich z. B. zwei standardkonforme „MXF-OP1a-Files“ in einer Anwendung völlig unterschiedlich verhalten. Aus diesem Grund ist für die Analyse und Interpretation der Messergebnisse eine tiefere Kenntnis der Filestruktur notwendig.

Ziel dieses Dokumentes ist es, die Struktur von MXF-Files zu erklären um eine Interpretation der Analyseergebnisse zu erleichtern. Daher wird in diesem Dokument ein kurzer Überblick über zurzeit gängige File-Formate gegeben und schwerpunktmäßig auf MXF-Files eingegangen.

## 6.2. Grundlagen

### 6.2.1. Fileformate allgemein

Im Nachfolgenden werden aus heutiger Sicht wichtige Fileformate grob beschrieben bzw. referenziert, auf MXF wird als Austauschformat tiefergehend eingegangen.

Durch die Vielzahl von Fileformaten und Codecs kann bei Auftreten von Problemen schwer zwischen korrupten Files und inkompatiblen Codecs unterschieden werden.

Im Anhang sind Fileformate tabellarisch aufgeführt, die ggf. als auch als Quellenformate von Dritten angeboten werden können. Aktuelle Listen diese Fileformate sind auch auf den Internetseiten von Codec-Herstellern zu finden.

### 6.2.2. File-Austauschformate

Derzeit existieren eine Reihe gebräuchlicher Formate und Technologien um A/V-Inhalte innerhalb einer professionellen Studioumgebung auszutauschen. Manche unterstützen dabei nur den Transfer von Essenz, andere dagegen sind reine Metadaten-Austauschformate. Eine Entwicklung hin zu komplexeren Formaten, die sowohl Essenz als auch Metadaten verarbeiten können, ist derzeit deutlich zu erkennen.

Folgende Fileformate wurden bereits im Handbuch der Fernsehsystemtechnik Kapitel 4 beschrieben:

MPEG (MPG):	siehe Kapitel 4.6.1
Audio Video Interleave (AVI):	siehe Kapitel 4.6.2
Quick Time (MOV):	siehe Kapitel 4.6.3
Advanced Authoring Format (AAF):	siehe Kapitel 4.6.5
Material Exchange Format (MXF):	siehe Kapitel 4.6.6
Digital Moving Picture Exchange (DPX):	siehe Kapitel 4.6.7
General Exchange Format (GXF):	siehe Kapitel 4.6.4

GXF unterstützt nach einer Weiterentwicklung inzwischen weitere Audio- und Videoformate, welche in der SMPTE 360M-2004 integriert wurden. Damit können nun auch HD Videoformate und Audio als unkomprimiertes PCM, AC-3 oder Dolby E genutzt werden.

Ergänzend ist noch zu nennen:

Open Media Framework Interchange (OMFI):

Open Media Framework Interchange (OMFI) oder Open Media Framework (OMF) ist ein plattformübergreifendes Fileformat und wurde 1992 von AVID Technologie eingeführt. Neben den Essenzdaten (Audio und Video) können auch Schnitt-, Effekt- und einige Zusatz-Daten übertragen werden. OMFI ist nicht streamingfähig.

Apple, als Eigentümer von OMFI, hat das Fileformat nie von der SMPTE oder einem anderen Gremium standardisieren lassen. Die Spezifikationen wurden nie ganz freigegeben und die Kooperation mit anderen Firmen verlief nur zögerlich.

1996 wurde OMFI modifiziert und vom „OMF Developer's Desk“ die Spezifikationen für OMFI 2 verabschiedet. Obwohl mit der Veröffentlichung eines OMFI Toolkit, ein Software Development Kit (SDK) für Entwickler, eine gemeinsame Ausgangsbasis für alle Hersteller geschaffen wurde, existiert dennoch eine große Grauzone in den Spezifikationen, die unterschiedlichen Herangehensweisen und Interpretationen zulässt. OMFI 1 und OMFI 2 sind nicht in allen Details kompatibel.

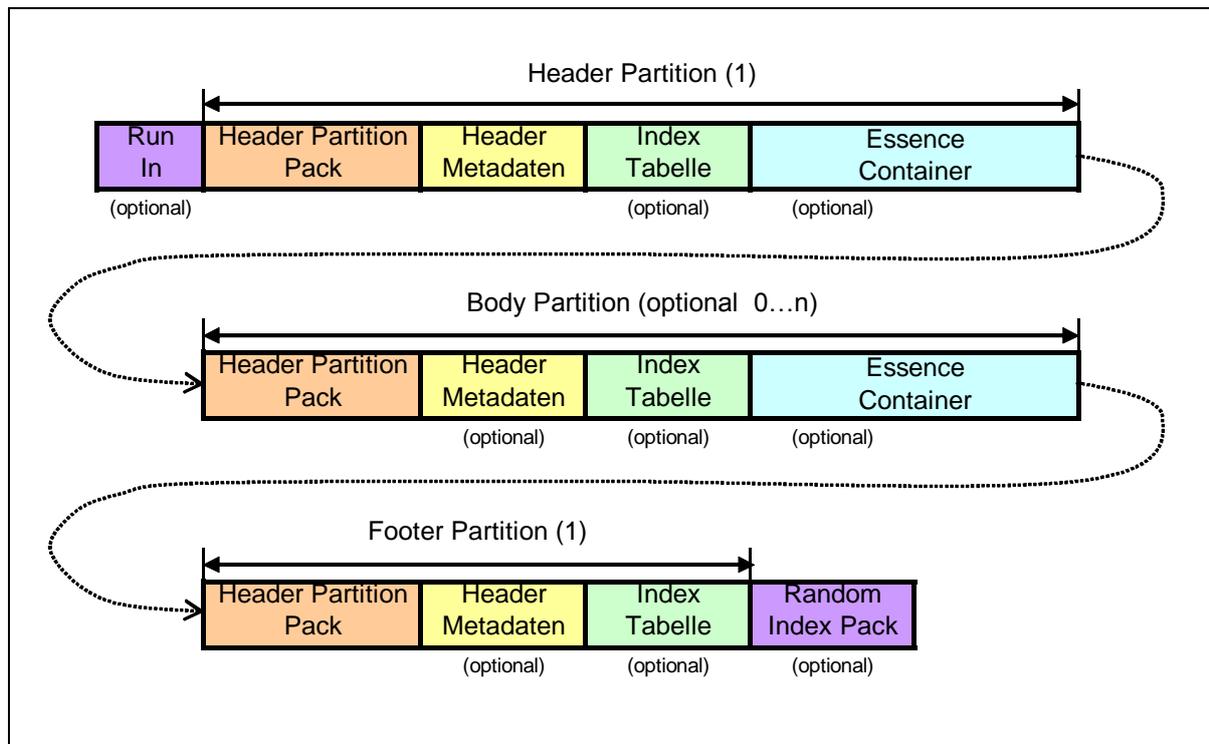
OMFI ist in seiner Komplexität dem AAF vergleichbar.

### **Zusammenfassung**

Einige Fileformate für den Austausch von audiovisuellen Inhalten sind proprietär oder nicht standardisiert, dazu oft schlecht erweiterbar. Meist unterstützen sie nur ein Anwendungsgebiet und sind abhängig von Kompressionssystemen und Bildformaten. Zudem bieten sie nur unzureichende Unterstützung für den Austausch von Metadaten in einer professionellen Broadcast-Umgebung.

#### **6.2.2.1. Das MXF-Fileformat**

Im nachfolgenden wird der typische Aufbau eines MXF-File eingehender beschrieben. Die im Standard SMPTE 377-1 verwendeten Begriffe „File Header“, „File Body“ und „File Footer“ sind theoretische Konstrukte die in der Praxis keine Anwendung finden und werden, um Verwirrungen zu vermeiden, deshalb in diesem Dokument nicht mehr verwendet. Ein MXF-File besteht aus einer „Header Partition“, optional einer oder mehrerer „Body Partitions“ und wird mit einer „Footer Partition“ beendet. Eine Partition beginnt immer mit einem „Partition Pack“ gefolgt von „Header Metadaten“, einer optionalen Indextabelle und einem optionalen „Essence Container“. Innerhalb der „Body Partition“ und der „Footer Partition“ sind die „Header Metadaten“ optional. In der „Footer Partition“ darf kein „Essence Container“ vorkommen. Alle Elemente der MXF-Datei sind KLV-encodiert (**K**ey **L**ength **V**alue) nach SMPTE 336M.



**Bild 1: Erforderliche Reihenfolge der Komponenten in den Partitionen**

Die gesamte „Body Partition“ ist optional und wird z. B. durch die Sony e-VTR nicht erzeugt.

Eine Partition ist ein Bereich von Daten innerhalb eines Files. Jede vorhandene Partition beginnt mit einem Partition Pack das auch den Typ (Header, Body, Footer) angibt.

Jede Partition eines MXF-Files kann folgende Zustände annehmen:

- complete - d.h. alle Eigenschaften vom Status „required“ und „best effort“ in den Header Metadaten sind vorhanden und richtig.
- incomplete - d.h. mindestens ein Header-Metadaten Wert mit dem Status „best effort“ war zum Zeitpunkt des Schreibens unbekannt. Eine „incomplete partition“ kann auch closed sein, wenn alle „required“ Werte vorhanden und korrekt sind (z.B. Streaming).
- open - signalisiert, dass mindestens ein Header-Metadaten Wert mit dem Status „required“ - entweder unvollständig, nicht vorhanden oder noch nicht korrekt ist. Dies erfordert eine entsprechende Aktualisierung der Metadaten in folgenden Partitionen (z.B. Streaming).
- closed - bedeutet, dass alle „required“ Header-Metadaten Werte vorhanden und richtig sind. Etwaige spätere Wiederholungen von Header Metadaten in anderen closed partitions müssen die gleichen Werte besitzen.

Werte mit dem Status „Required“ sind Elemente die zwingend vorhanden sein müssen, wie z. B. des Essence-Containerlabel (CodecTyp D10 50 Mbit)

Werte mit dem Status „best effort“ sind Elemente die idealerweise vorhanden sein sollten, sofern der Encoder sie zum Zeitpunkt der Erstellung des Files kennt, wie z. B. die Duration.

## Header Partition

Die Header Partition steht immer am Anfang eines MXF Files und enthält das Header Partition Pack und die Header Metadata.

Der Partition Pack kennzeichnet den Beginn einer Partition und enthält Angaben über z. B.

- Status (z. B. „closed and complete“)
- Typ (z. B. „Header“)
- Verwendete MXF-Version
- BodySID (Identifizier des enthaltenen Essence Containers).

Die Header Metadata bestehen aus einem Primer-Pack, strukturellen (technischen) Metadaten und optional vorhanden beschreibenden Metadaten. Das Primer-Pack ist die Übersetzungstabelle für 4 Byte lange Local Tags und 16 Byte lange KLV-Keys.

Indextabellen (optional) geben Auskunft über die Position von Essence-Elementen in einem MXF-File. Dadurch vereinfachen und beschleunigen sie das Auffinden bestimmter Essence-Elemente. (Näheres siehe 6.2.2.1.4)

Essence-Container (optional) beinhalten die Audio- Video- und weitere Daten (näheres siehe 6.2.2.1.3).

## Body Partition

Die Struktur der Body Partition ist identisch mit der Header Partition. Hier sind die Header Metadaten jedoch optional (siehe Bild 1). Im Gegensatz zur Header und Footer Partition können Body Partitionen im MXF-File mehrfach vorhanden sein.

## Footer Partition

Die Footer Partition stellt den Abschluss eines MXF-Files dar wenn kein Random Index Pack verwendet wird und signalisiert, dass keine weiteren Essence Container mehr folgen. Sie selbst enthält keine Essence Container, die Header Metadaten und Indextabelle sind auch hier optional. Die einfachste Form einer Footer Partition besteht nur aus einem Footer Partition Pack (siehe Bild 1).

## Random Index Pack

Der „Random Index Pack“ (RIP) ist optional und schließt das File ab. Es enthält Informationen über die Lage aller Partitionen und die darin enthaltenen Essence Containern (siehe Bild 1).

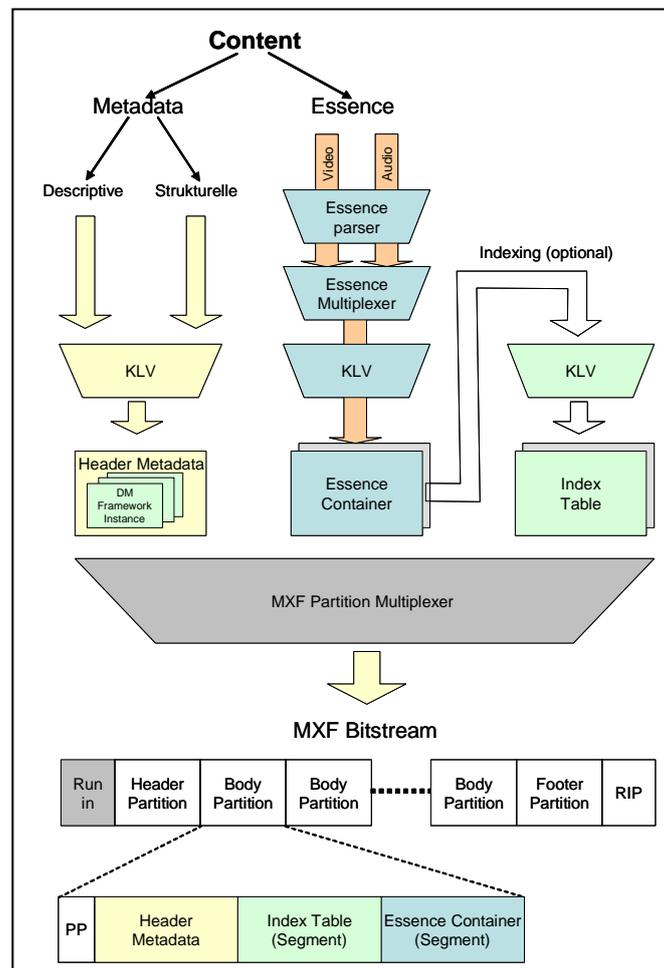
## Run In

Für zukünftige Anwendungsfälle kann dem Header Partition Pack ein „Run In“ vorausgestellt werden. Diese maximal 64 Kilobyte große, nicht KLV-codierte „Einleitung“ darf nicht die ersten 11 Bytes eines „Partition Pack Key“ enthalten. Sie kann dazu benutzt werden, andere File Header der eigentlichen MXF-Datei vorzuschicken und sie damit z.B. als WAV-File zu deklarieren. So kann ein Broadcast WAV Header als „Run In“ dazu führen, dass ein MXF-File von einem WAV-Decoder als WAV-File erkannt wird, wohingegen ein MXF-Decoder diesen „Run In“ ignoriert und dieselbe Datei als MXF-File behandelt. Diese Umdeklarierung kann in speziellen Fällen vorteilhaft sein.

Der „Run In“ findet in der Praxis keine Anwendung, da er in den bisher normierten „Operational Patterns“ OP 1a bis OP 3c und OP-Atom (siehe Bild 5)

### 6.2.2.1.1. Erzeugung (Wrappen) von MXF-Files

Beispielhaft wird anhand des nachfolgenden Bildes die Erzeugung von MXF-Files erläutert.



**Bild 2:** Encodierung eines MXF-Files

Der Content setzt sich aus Essence und Metadaten zusammen. Die Essence wird fertig codiert und als Multiplex angeliefert und inhaltlich nicht mehr verändert. Die Metadaten bestehen aus deskriptiven und strukturellen Metadaten (siehe 6.2.2.1.2 und 6.2.2.1.2.1). Die strukturellen Metadaten können durch die Analyse der Essence und durch weitere Vorgaben der MXF-Fileerzeugung (z.B. Auswahl des Operational Pattern) gewonnen werden. Metadaten, Essence und die daraus abgeleiteten Indextabellen werden KLV-codiert und zu einem MXF-Bitstream im Zeitmultiplexverfahren zusammengeführt.

#### KLV-Codierung der einzelnen Elemente

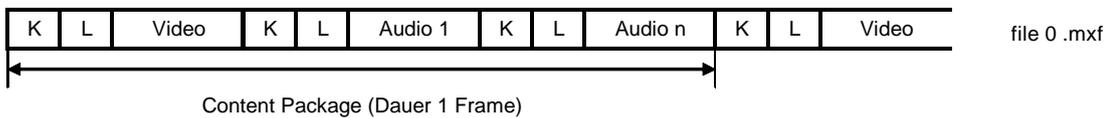
Jedes Element eines MXF-Files ist KLV-codiert. KLV steht für Key Length Value und ist ein von der SMPTE standardisiertes Protokoll zur Daten-Encodierung (SMPTE 336M). Jedes Element beginnt mit einem 16 Byte langen Key, der eine registrierte SMPTE- Nummer enthält und ihn eindeutig identifiziert (z.B. Video D10). Schließlich wird die Länge (Length) der nun folgenden Daten (Value) angegeben. Diese Codierung erlaubt es, Datenströme zu streamen, was bedeutet, dass sie bereits während der Übertragung wiedergegeben werden können.

## Essence Multiplexing

Essence Multiplexing ist fast immer Frame basierend (frame-based wrapping), wobei die benötigten Audio- und Videodaten zu einem Content Package pro Frame zusammengefasst werden. Des Weiteren kann das Essence Multiplexing auch clipweise erfolgen (clip-based wrapping). Beim Frame basierten wrapping können sich im essence container ein oder mehrere Content Packages befinden – im Gegensatz zum clip-based wrapping, wo der gesamte Clip in nur ein Content Package gepackt wird.

### Frame-based wrapping:

Beim Frame-based wrapping wird pro Videoframe ein Content Package generiert. In diesem Fall entspricht ein Content Package der kleinsten editierbaren Einheit (Edit-Unit) mit der Dauer eines Videoframes. Frame-based Wrapping wird typischerweise bei OP-1A angewandt.



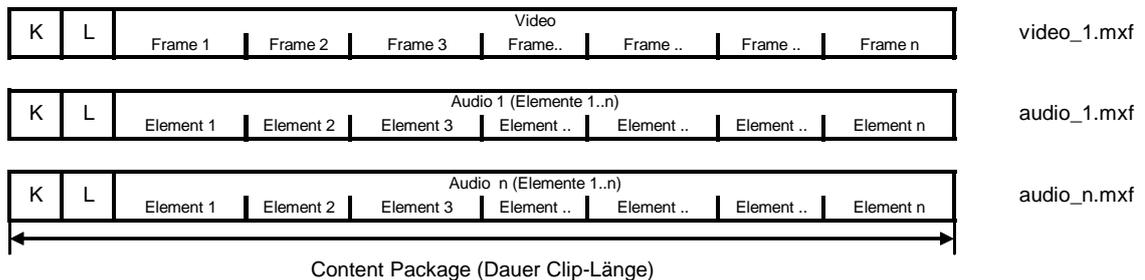
**Bild 3: KLV-Struktur des Frame-based wrapping**

Hierbei gelten folgende Richtlinien:

1. Jedes content package muss eine konstante Anzahl von Elementen enthalten
2. Die Anordnung der Elemente im content package darf sich nicht verändern
3. Jedes essence Element im content package sollte die gleiche Dauer haben

### Clip-based wrapping

Beim Clip-based wrapping wird pro Clip ein Content Package generiert. Der gesamte Video-Content eines Clips wird in genau ein Content Package gepackt. Ebenso wird mit Audio verfahren. Clip-based Wrapping wird typischerweise bei OP-Atom angewandt.



**Bild 4: KLV-Struktur des Clip-based wrapping**

Ein Audio-Element enthält die Anzahl Audio-Samples, die der Länge eines Video-Frames entsprechen.

Hierbei gelten folgende Richtlinien:

1. Jedes einzelne Element (Element Audio / Video-Frame) im content package sollte die gleiche Zeitdauer haben

- Die Essence (Audio/Video) der zueinander gehörigen content packages der einzelnen OP-Atom Files (z.B. video\_1.mxf, audio\_1.mxf, ... audio\_n.mxf) sollte die gleiche Zeitdauer haben.

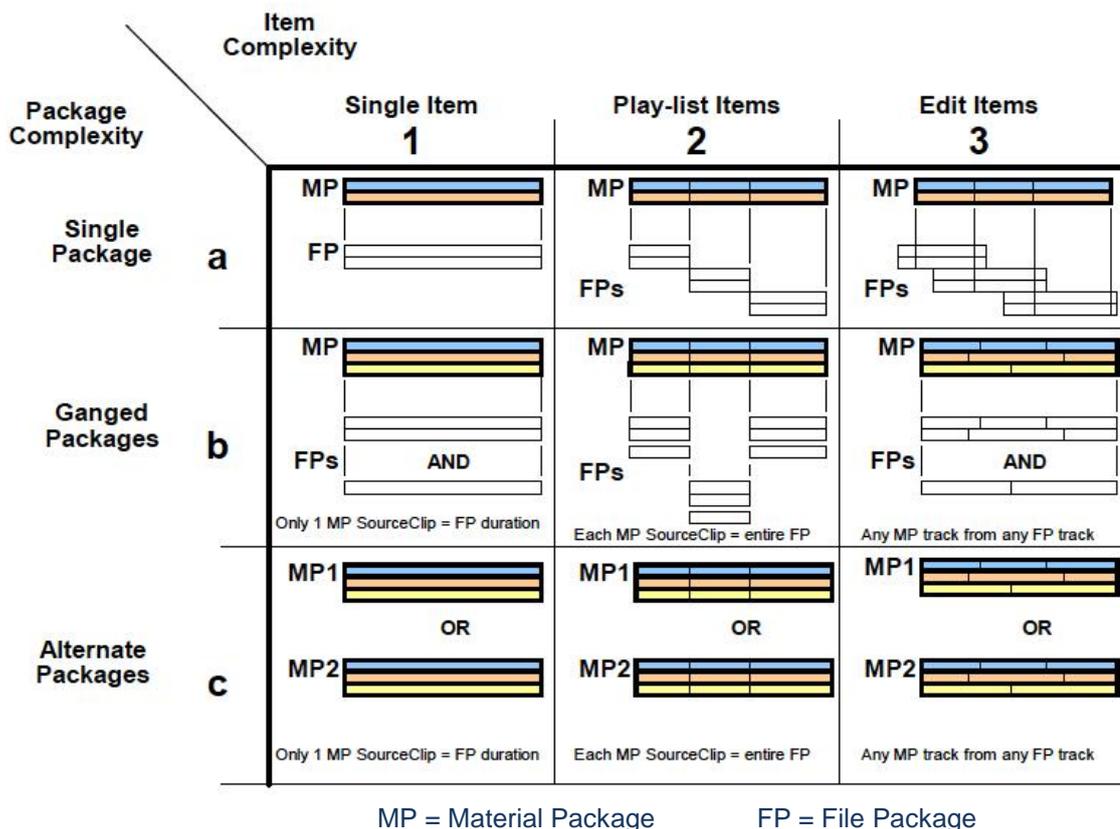
### Custom wrapping

Nach den Standards sind noch weitere wrapping-Methoden (z.B. nach GoP-Struktur oder Zeilen) zulässig, die jedoch in der Praxis noch keine Anwendung finden.

### Operational Pattern (OP)

Je nach Anwendung werden unterschiedliche MXF-Funktionalitäten gefordert und in sogenannten „Operational Pattern“ kategorisiert. Die Operational Pattern enthalten Content in verschiedenen Komplexitätsstufen. In der Praxis haben sich nur OP 1a und OP Atom durchgesetzt.

Die Komplexität der MXF-Files wird über die Anzahl der Output Timelines (Material Packages=MP), der Input Timelines (File Packages =FP) und ggf. der Schnittlisten definiert. In den File Packages ist der eigentliche Content enthalten, die Material Packages entsprechen der Ausspielanweisung des Contents.



**Bild 5: Übersicht der Operational Pattern**

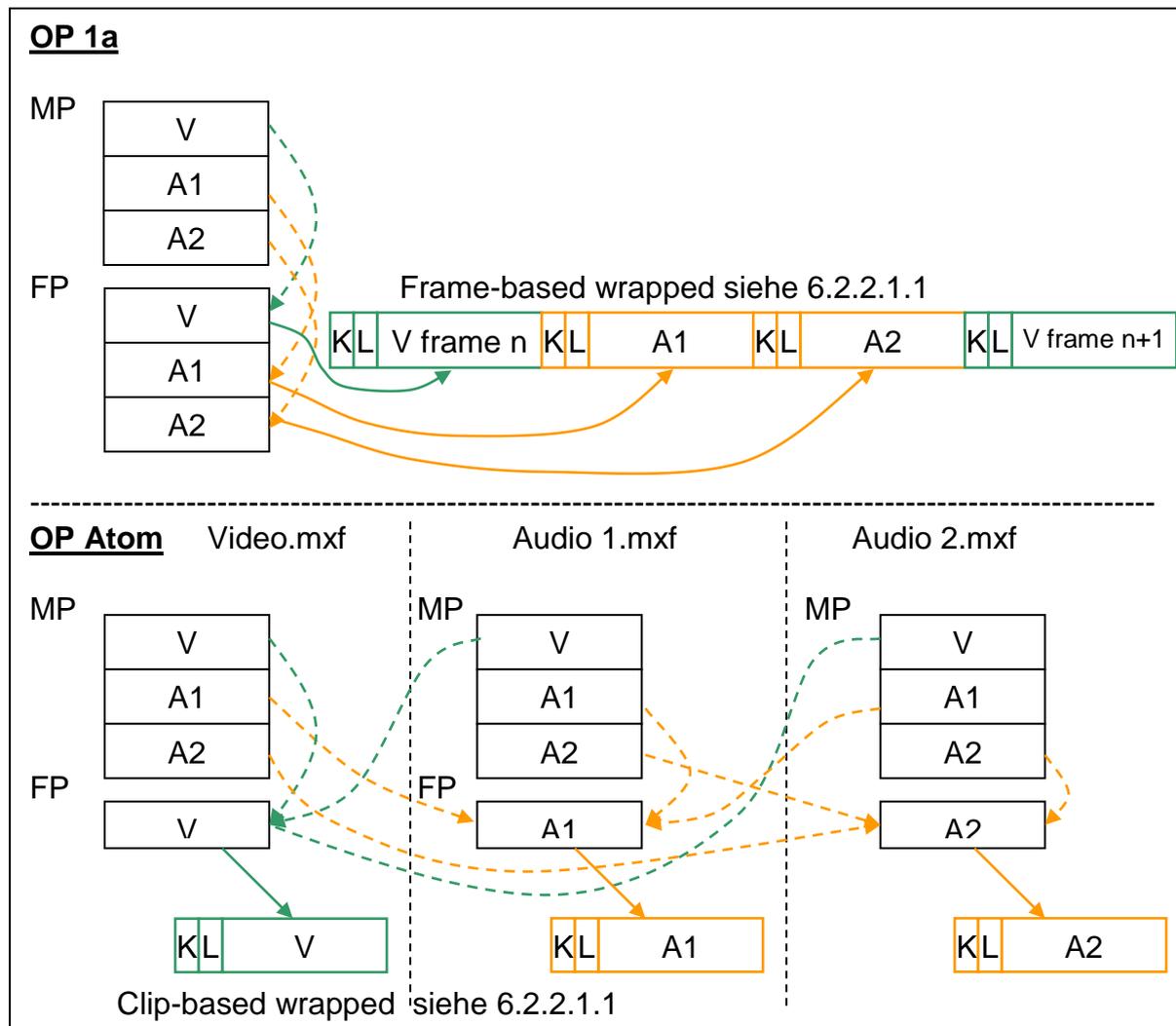
Neben diesen in der Tabelle dargestellten „generalized“ Operational Patterns existiert zusätzlich das „specialized“ Operational Pattern, das OP Atom.

Die Item Komplexität definiert den Zugriff auf die File Packages:

Single Item: Jedes Material Package besitzt ein oder mehrere File Packages die sich über die gesamte Dauer ausdehnen. Die Ausgabe ist vergleichbar mit der Wiedergabe eines Videobandes.

Playlist Items: Das Material Package kann aus mehreren hintereinander liegenden File Packages bestehen. Die Output-Timeline greift auf verschiedene Beiträge zu und spielt diese nacheinander ab.

Edit Items: Das Material Package kann aus unterschiedlichen File Packages editiert werden. In MXF-Files mit OP-3a bis OP-3c kann eine Schnittliste abgespeichert werden.



**Bild 6: Vergleich der File Strukturen von OP 1a und OPAtom**

Die Package Komplexität:

Single Package: Das Material Package kann zu einem bestimmten Zeitpunkt nur auf ein File Package zugreifen.

Ganged Package: Das Material Package kann gleichzeitig auf mehrere File Packages zugreifen. Im File existieren mehrere Essencecontainer, von denen Essence verwendet wird.

Alternated Package: Es existieren mindestens zwei Material Packages, die gleichzeitig auf ein oder mehrere File Packages zugreifen können.

In der Praxis werden nur zwei Operational Pattern verwendet.

1. Operational Pattern OP1 a:

Das Material Package besitzt nur ein File Packages. Typischerweise ist OP 1a „Frame-based wrapped“ mit gemultiplexten Audio- und Videosignal. Op 1a besteht aus nur einem File was es z.B. für Archivanwendungen geeignet macht.

2. Operational Pattern OP Atom:

OP Atom ist ein mono Essence-File mit nur einem Audio oder Video-File. OP Atom ist „Clip-based wrapped“ Die Trennung von Audio und Video in separaten Files ermöglicht einfachere Bearbeitung in Schnittsystemen.

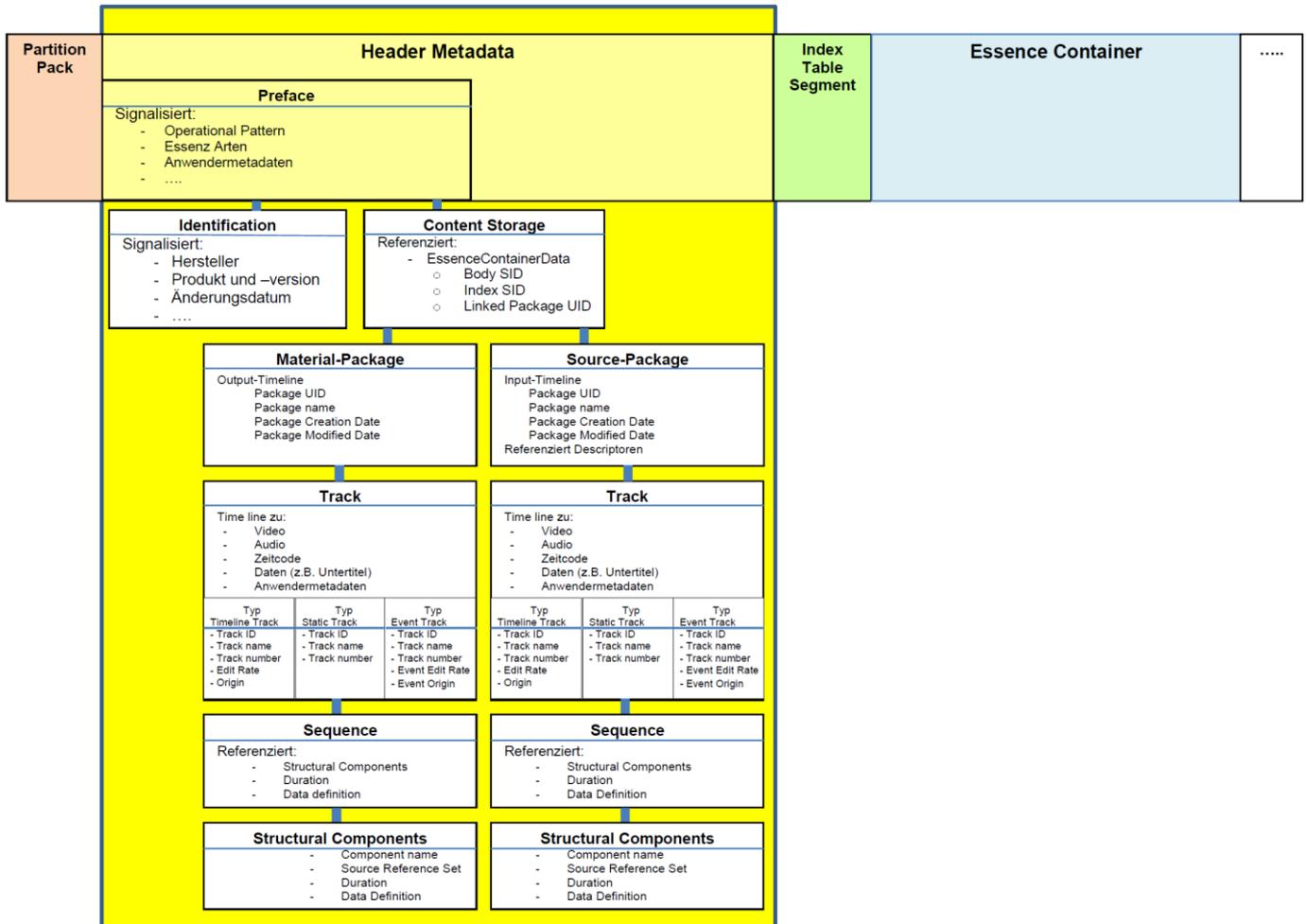
### 6.2.2.1.2. Metadaten

Metadaten können vor, während und nach dem Produktionsprozesses entstehen und unterteilen sich in deskriptive und strukturelle Metadaten. Deskriptive Metadaten sind redaktionelle Anwenderinformationen, wogegen strukturelle Metadaten die technischen Parameter eines MXF-Files beschreiben.

Metadaten bestehen aus einzelnen Elementen die in Sets zusammengefasst werden. Auch diese Sets werden, wie alle Bestandteile eines MXF-Files, KLV- codiert.

#### 6.2.2.1.2.1. Strukturelle (technische) Metadaten

Der strukturelle Teil der Header Metadaten (Structural Metadata) beschreibt den Aufbau und die logische Struktur innerhalb eines MXF-Files. Dabei wird dieser Teil durch eine Sequenz von im File hintereinander positionierten Structural Metadata Sets gebildet. Innerhalb dieser strukturellen Metadaten existiert eine hierarchische Struktur, die ausgehend von einem Root Element (Preface) im Bild 7 dargestellt werden kann.



**Bild 7: Hierarchie der strukturellen Metadaten**

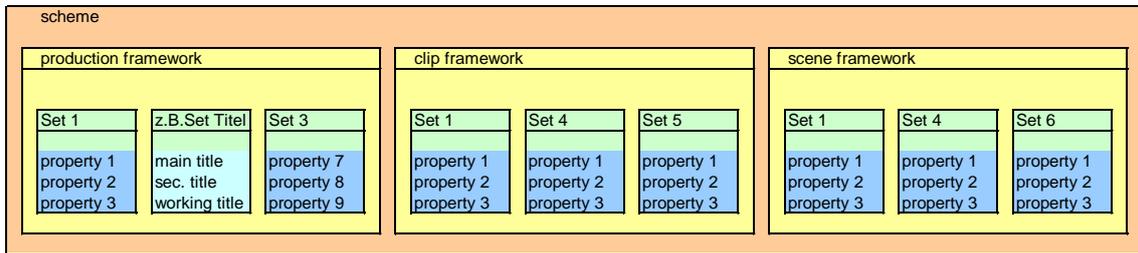
## 6.2.2.1.2.2. Deskriptive (beschreibende) Metadaten

In einer filebasierten Produktionsumgebung muss sämtliches Material eindeutig gekennzeichnet werden, um es auch eindeutig identifizieren zu können. Zudem muss die Möglichkeit gegeben werden Material effizient nutzbar zu machen. Eine Suche nach unterschiedlichen Schlagworten innerhalb eines Media Asset Management (MAM) soll möglich sein. Dies geschieht durch beschreibende Metadaten, die einem File hinzugefügt bzw. die mit einem File verknüpft werden.

Sämtliche deskriptive Metadaten sind „Plug-Ins“. Somit lassen sich ein oder auch mehrere beschreibende Metadatenätze in MXF- Files unterbringen.

Die MXF- Spezifikation bietet die Möglichkeit, deskriptive Metadaten (DM) zu den technischen Metadaten hinzuzufügen, die in den Header Metadaten gespeichert sind. Dieses Schema nennt sich DMS-1, „Descriptive Metadata Scheme-1“. DMS-1 ist als SMPTE 380M standardisiert und kompatibel zu AAF. Mit diesem Schema kann ein Großteil der produktionstechnischen Anforderungen abgedeckt werden. Weitere Informationen zur Nutzung von deskriptiven Metadaten im Zusammenhang mit MXF- Files sind in der Engineering Guideline SMPTE EG42 nachzulesen.

DMS-1 ist in vier hierarchische Ebenen strukturiert: Scheme, Framework, Set und Property.



**Bild 8: Struktur des DMS-1**

Das Schema DMS-1 ist in drei Bereiche, sogenannte Frameworks untergliedert, um die Metadaten inhaltlich zu organisieren: Production Framework, Clip Framework und Scene Framework.

Das Production Framework enthält Daten zur gesamten Produktion – wer ist der zuständige Redakteur, Regisseur oder Kameramann. (siehe Bild 8)

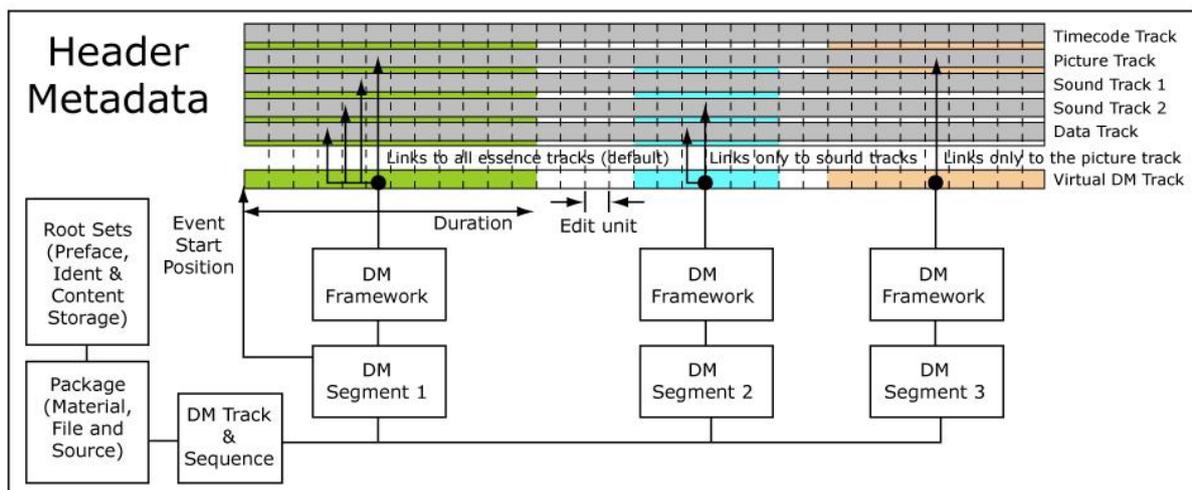
Das Clip Metadata Framework enthält Einträge zu einzelnen Szenen – wie und wo wurde eine Szene erstellt, bzw. gedreht. (siehe Bild 8)

Das Scene Metadata Framework kann mehrmals vorkommen und beinhaltet redaktionelle Informationen zu einzelnen Szenen – wie wird die Szene innerhalb eines Beitrags positioniert. (siehe Bild 8)

Frameworks gruppieren die Metadata Sets logisch die untereinander in Beziehung stehen können. Das Set ist einer Sammlung an Properties. Ein Set „Titel“ kann z.B. aus „Main Title“, „Secondary Title“ oder „Working Title“ bestehen. (siehe Bild 8)

Im Anhang 6.7 sind ausführliche strukturelle Darstellung der einzelnen Frameworks zu finden.

Jedes Framework wird durch ein DM Segment mit der Essence referenziert. Ein DM Segment kann mit allen oder auch nur mit ausgewählten Tracks verknüpft werden. (siehe Bild 8)



Quelle: 2004-02-03-MxfOverview-Wilkinson-1.pdf

**Bild 9:** Referenzierungsmöglichkeiten der deskriptiven Header Metadaten auf die Essence

Es existieren drei verschiedene Arten an Descriptive Metadata (DM) Tracks (vgl. SMPTE S377-1):

- Static DM Tracks beinhalten zeitlich sich nicht verändernde beschreibende Metadaten (z. B. Urheberrechte).
- Timeline DM Tracks repräsentieren eine aneinanderhängende Sequenz von DM Elementen, ohne Überlappungen (z. B. Szenen-Bezeichnung).
- Event DM Tracks beinhalten eine Anzahl an unabhängigen DM Elementen; diese dürfen sich überlappen und es dürfen Unterbrechungen zwischen ihnen vorhanden sein (z. B. zeitlich abhängige Beschreibung des Bildinhaltes).

Ein Production Framework (Angaben zur gesamten Produktion) wird üblicherweise mit allen Tracks einer Timeline verknüpft. Üblicherweise mit einem Material Package.

Ein Clip Framework wird üblicherweise mit einem Essence Track oder einer Kombination aus mehreren Essence Tracks verknüpft und erstreckt sich nicht über die gesamte Länge. Die gespeicherten Informationen sind szenenspezifisch und gelten daher womöglich nicht für die komplette Timeline.

Ein Scene Framework bezieht sich üblicherweise auf eine Auswahl von Essence Tracks mit einer bestimmten Dauer. Scene Frameworks können sich entlang der Timeline durchaus überlappen oder können sogar einzelne Bilder beschreiben. Folglich kann eine Vielzahl an Scene Frameworks in Material-, File- oder Source- Package existieren.

Auch die deskriptiven Metadaten sind, wie alle Bestandteile innerhalb eines MXF- Files, KLV- codiert.

Detailliertere Abbildungen im Anhang geben einen Überblick über die drei Frameworks des DMS-1 mit ihren jeweiligen Sets und Eigenschaften.

Der in DMS-1 gespeicherte Datensatz ist im Produktionsalltag allerdings meist nicht ausreichend. Viele Rundfunkanstalten nutzen daher ein weit umfangreicheres Schema, das Broadcast Metadata Exchange Format (BMF), welches allerdings nicht ins File gemapped, also nur verknüpft wird.

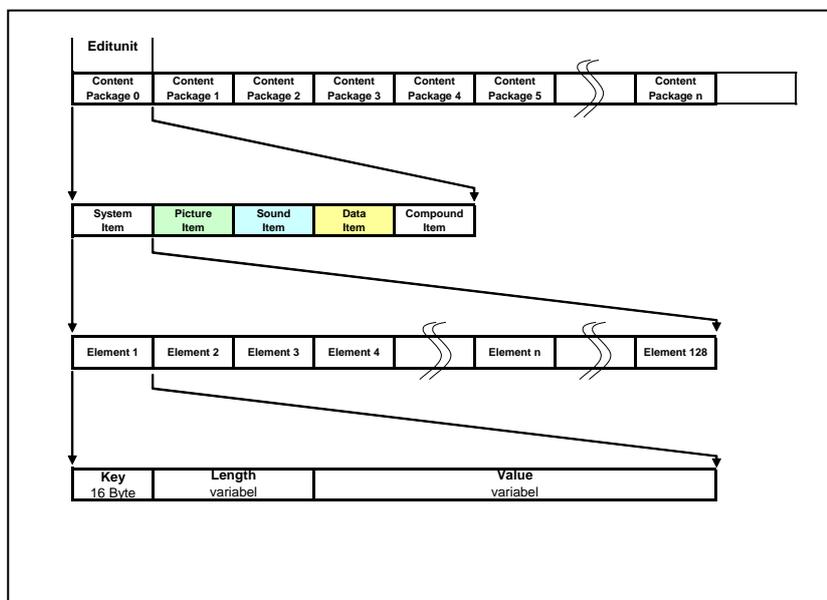
Es existieren noch weitere Konzepte für Metadatenformate mit interoperablem Ansatz. Einige Beispiele lauten: Dublin Core (DC), Resource Description Format (RDF), Platform for Internet Content Selection (PICS), Gateway to Educational Materials (GEM), Warwick-Framework, Instructional Managing System (IMS), IEEE Learning Objects Metadata (LOM)

### 6.2.2.1.3. Essence Container Infrastructure

#### Essence Containers / Generic Container

Ein Essence Container definiert die Struktur von Video, Audio und Zusatzdaten (z. B. Untertitel, Videotext). Der heute standardmäßig zum Einsatz kommende Typ von Essence Container ist der Generic Container nach SMPTE 379-1(-2). Ein Generic Container setzt sich aus einer aufeinanderfolgenden Sequenz von Content Packages zusammen. Jedes Content Package besteht wiederum aus bis zu fünf Typen von Essence Container Items (System Item, Picture Item, Sound Item, Data Item, Compound Item). Ein Essence Container Item besteht aus bis zu 127 einzelnen Elementen. Alle Elemente sind für sich

KLV-codiert (siehe Bild 10). Die Struktur eines Essence Containers kann optional mit einer Index Table beschrieben werden, welcher einen schnellen Zugriff auf die Essence ermöglicht.



**Bild 10:** Struktur des Generic Containers

### Essence Container Items

#### System Item

Die bis zu 127 Elemente des System Items können Metadaten oder Steuerdaten (control data) sein. Die Metadaten-Elemente liefern zusätzliche dynamische Informationen zum Content Package (z.B. Timecode, extended UMID). Die Steuerdaten-Elemente verweisen beispielsweise auf ein vorhergehendes Content Package, um ein rückwärtiges Abspielen zu ermöglichen.

#### Picture Item

Die bis zu 127 Elemente des Picture Items enthalten Bildinhalt was auch den vom Kompressionssystem definierten VBI-Bereich mit umfasst.

#### Sound Item

Die bis zu 127 Elemente des Sound Items enthalten Audiodaten was auch eventuell vorhandene Dolby-E-Zusatzdaten mit umfasst.

#### Data Item

Die bis zu 127 Elemente des Data Items enthalten Dateninhalt. Dies können z. B. Untertitel- und Videotextdaten sein.

#### Compound Item

Die bis zu 127 Elemente des Compound Items enthalten nicht trennbare Inhalte. Dies können z. B. Digital Interface Format (DV-DIF) Daten sein. Im Gegensatz zum DV-Algorithmus sind hier Video, Audio und Synchronisation untrennbar zusammengefasst.

## 6.2.2.1.4. Index Table

Die Index Table beschleunigt das Auffinden von Item Elementen in Essence Containern, ohne dass der MXF-Decoder den Content dekodieren muss.

Beim Frame based Wrapping mit I-Frame codierter Video Essence ist aufgrund der konstanten Datenrate eine Index Table nicht zwingend notwendig, weil die einzelnen Frames durch einfaches Errechnen lokalisiert werden können. Bei variabler Datenrate (long GoP) ist eine Indizierung notwendig, da hier der Time Offset nicht linear zum Byte Offset ist.

Beim Clip based Wrapping ist eine Index Table notwendig, da Audio und Videodaten keine framebasierte KLV-Struktur haben und deshalb das Auffinden einzelner Frames aufwändig ist. Clip based Wrapping findet meist im OP-Atom Anwendung. Dabei sind Audio und Videodaten mit ihren unterschiedlichen Strukturen (Frames und Samples) in separaten Files gespeichert

Die Index Table kann über die MXF-Datei verteilt in Index Table Segments gespeichert werden, um bei noch wachsenden MXF-Dateien bereits einen Zugriff auf die Essence zu ermöglichen. Index Table Segments können in allen Partitionen auftreten.

### 6.2.2.1.4.1. Random Index Pack

Eine weitere Art der Indizierung innerhalb eines MXF-files ist das optionale „Random Index Pack“. Das RIP ist eine Lookup Table am Ende des Files und schließt dieses ab. Es enthält Informationen über die Lage aller Partitionen und die darin enthaltenen Essence Containern. Dadurch wird das Auffinden von Body Partitionen und Essence Containern, die über die gesamte Datei verteilt sein können, beschleunigt und vereinfacht.

## 6.3. File- und Schnittstellenanalyse

Die Fehleranalyse von Files unterscheidet sich wesentlich von der herkömmlichen Messtechnik für analoge und digitale Signale.

Bei einer Fehlersuche ist es unter Umständen notwendig eine sehr umfangreiche Analyse durchzuführen. Die Tiefe der Fileanalyse hängt von Anwendungsfall und Einsatzort ab.

Bei der Fileanalyse müssen die Daten auf drei Ebenen analysiert werden:

1. Analyse der Filestruktur
2. Analyse des Bitstroms
3. Analyse des Basisbandes

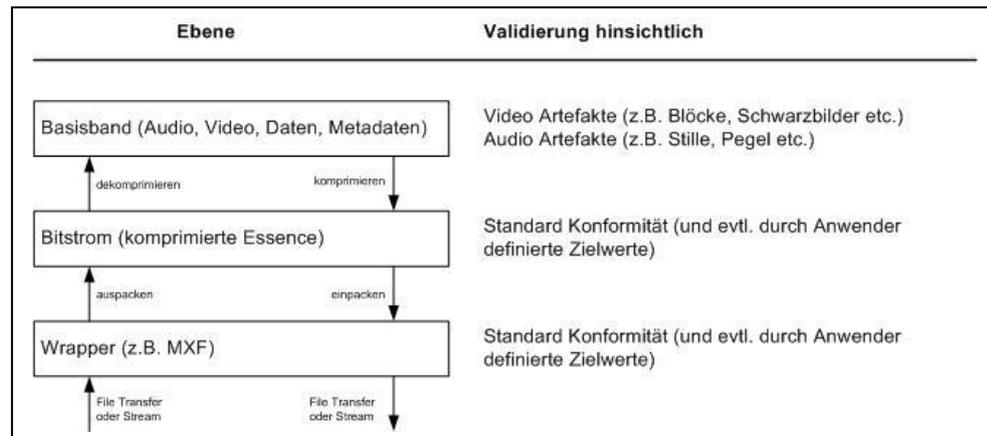


Bild 11: Gliederung einer Fileanalyse

Die Qualitätssicherung in filebasierten Produktionsumgebungen verlangt eine Analyse der erstellten Audio- und Video- Files. Analysensysteme erkennen neben Audio- und visuellen Fehlerereignissen (Mute, Black Frames, Freeze Frames, Blockiness, ...) auch strukturelle Fehler in Dateien.

Bei der Schnittstellenanalyse unterscheidet man folgende Ebenen (vgl. Bild 11):

### 6.3.1. Wrapper-/Containeranalyse

#### Fileanalyse

- Analyse der Standardkonformität

Der Aufbau der Dateien wird nach den Vorgaben der zu Grunde gelegten Standards analysiert. Hierbei werden strukturelle Inkonsistenzen überprüft. Bei Container-Formaten können die Informationen der Header mit dem Content verglichen werden. Der Analyser muss bei der Analyse die Version des verwendeten MXF-Standards berücksichtigen. (Rückwärtskompatibilität)

#### Decodertest

Decoder werden mit Hilfe von Testfiles überprüft. Ziel ist es dabei das Decoderverhalten und die Robustheit zu ermitteln.

- Analyse mit „Golden Files“

Bei „Golden Files“ handelt es sich um MXF-Files, die im vollen Umfang dem MXF-Standard entsprechen und als Referenzdateien zum Testen von Decoderverhalten benutzt werden können.

Spezifische „Golden Files“ sind standardkonforme MXF-Files die für spezielle Anforderungen ausgewählt sind. Ihr Aufbau entspricht exakt der Struktur, die dem „MXF-Hausformat“ einer RFA entspricht (z.B. OP1a, 8 PCM-Audiokanäle, AVC-I).

- Analyse mit „pathologischen Files“

In einem weiteren Schritt können in „Golden Files“ kontrolliert Fehler eingefügt werden. Die somit entstandenen „pathologischen Files“ können zu Stabilitäts- und Robustheitsuntersuchen der Decoder, bis hin zu „Stress-Tests“ verwendet werden.

- Differenzvergleich

Beim Differenzvergleich werden zwei Files miteinander verglichen um strukturelle Unterschiede zu erkennen. Typischerweise vergleicht man das zu prüfende File mit einem (spezifischen) „Golden File“.

Zur Zeit der Erstellung dieser Richtlinie werden im Auftrag der Fachkonferenz Produktion (FK-Produktion) MXF-Profile für den Fileaustausch erstellt. Aktuell werden Profile für folgende Formate entwickelt:

- IMX
- DVCPRO50
- XDCAM HD 1080i25
- AVC-I 100 1080i25
- AVC-I 100 720p50

Die in diesen Profilen definierten Parameter müssen MXF-Dateien beim File-Transfer einhalten um einen reibungslosen File-Austausch zu gewährleisten.

## 6.3.2. Bitstromanalyse

Die Bitstromanalyse prüft die Existenz der Essence-Typen (z.B. Anzahl der Audiospuren) und die Standardkonformität der verwendeten Essence-Codecs.

### 6.3.2.1. Codec-Analyse (Essenz)

#### 6.3.2.1.1. Videodaten

Verbreitete Codecs im SD-Umfeld:

- MPEG2 / D10 (IMX)
- DIF(DVCPRO)

Verbreitete Codecs im HD-Umfeld:

- MPEG 2 long GOP (XDCAM HD)
- AVC-I / H.264
- VC-3 (DNxHD)
- DVCPRO-HD

#### 6.3.2.2. Audiodaten

- WAV / Broadcast WAV (BWA)
- Dolby E

#### 6.3.2.3. Zusatzdaten

Untertitel z.B. STL, EBU-TT oder DFXP-Files  
Active Format Descriptor  
Zusatzdaten zum Audio- bzw. Videocodec

## 6.3.2.4. Metadatenanalyse

Die Metadatenanalyse besteht vor allem in der Überprüfung der strukturellen Metadaten bezüglich der Übereinstimmung mit der im File vorhandenen Essence.

(z. B. Anzahl der Audiokanäle, Bitrate für Audio und Video...) Es wird weiterhin die Existenz von strukturellen und deskriptiven Metadaten geprüft.

## 6.3.3. Basisbandanalyse

Die Analyse im Basisband erfordert eine Decodierung des Audio- und Video-Contents mit anschließender Untersuchung der Artefakte. Sie gliedert sich in die Messung objektiver (technischer) Parameter (z.B. minimaler, maximaler und mittlere Signalpegel für Audio und Video, Clipdauer) und subjektiver Bildqualität (z.B. Bewegungsartefakte, Detailschärfe). Objektive Parameter sind durch die Analyse der Audio- und Videodaten im Basisband detektierbar. Subjektive Parameter erfordern hingegen eine Vergleichsreferenz und eine audio-visuelle Bewertung.

Die Ermittlung eines eventuellen AV-Delays erfordert entweder konkrete Testsequenzen oder bereits, während der File-Erzeugung implementierte Korrelationsmarken.

Die Analyse der im Basisband auftretenden Artefakte erfolgt in Anlehnung an die im Kapitel 4 „Messtechnik für Datenkomprimierte Systeme“ beschriebenen Verfahren. Dazu sind von namhaften Herstellern Analyser verfügbar die Files auch daraufhin untersuchen.

Darüber hinaus müssen noch Fehler betrachtet werden die sowohl das Basisband als auch die darüberliegenden Schichten betreffen. Nachfolgend findet sich eine Auswahl solcher Fehlerquellen:

- Länge eines Clips, framegenau
- Audio-Spurbelegung, konform zum „Hausstandard“
- Falsches Format, Formatkonform zum Hausstandard
- Falsches Bild am Anfang; Farbbalken Erkennung

## 6.4. Analytoren

In diesem Dokument wird nur eine Übersicht von Analysemöglichkeiten gegeben. Es gibt den derzeitigen Stand wieder und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Eine Beurteilung der Qualität der angebotenen Produkte erfolgt nicht. Es empfiehlt sich, vor der Anschaffung/Nutzung mit der aktuellen Softwareversion eine Referenzierung mit definierten, z.B. „Golden Files“ durchzuführen.

Die meisten Fileanalytoren werden als Software-Lösungen für Standard-Hardware angeboten. Prinzipiell kann die Analyse von Files in drei Schritte aufgeteilt werden:

1. Die im MXF-File enthaltenen Informationen (Metadaten) werden ausgelesen und dargestellt.
2. Die ermittelten Daten werden gegenüber dem Standard geprüft.
3. Die ermittelten Daten werden zusätzlich gegenüber den hausinternen Erfordernissen (z.B. mit Hilfe von Referenzfile) geprüft.

Allgemeine Anforderungen an Analytoren:

- Echtzeitfähigkeit
- Skalierbarkeit
- Schnittstelle zum Media Asset Management (Übergabe der Messergebnisse)

- Steuerung über API / Automatisierung
- Konfigurationsfähigkeit der Analysefunktion
- Lauffähigkeit auf Produktionsspeichersystemen
- Geringe Netzwerkbelastung
- Analysefähigkeit von wachsenden Files
- Detaillierte File-Strukturanalyse
- Plausibilitätsprüfung der Metadaten mit der Essence
- Qualitätsanalyse / Messungen im Basisband
- Wiedergabefähigkeit von Problemstellen in den analysierten Files

Zur Wiedergabe der Essence sind am Markt Software Player verfügbar. Dabei muss beachtet werden dass der passende Codec installiert ist. Die Player (z.B. VLC-Player, Windows Mediaplayer ) selbst können schon einige wenige Metadaten anzeigen. So kann der VLC-Player bereits Auskunft über grundlegende Eigenschaften wie z. B. den verwendeten Codec, die Anzahl der Audiospuren, die Auflösung u. a. geben.

## 6.4.1. Einsatz von Fileanalyatoren

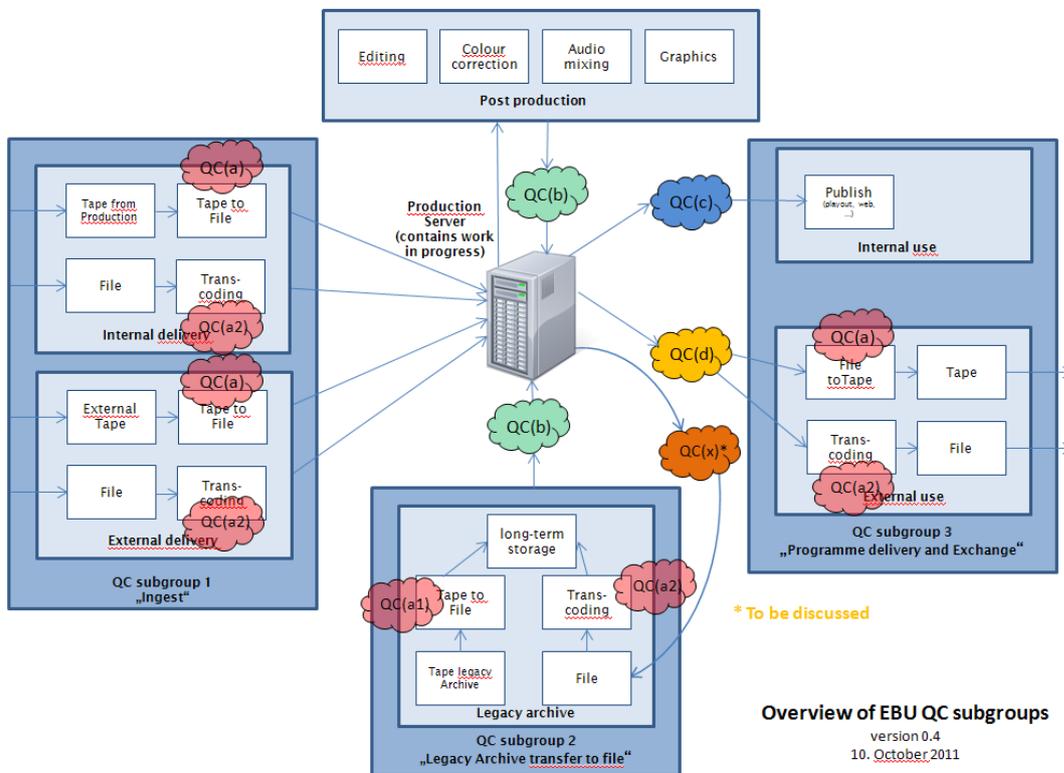
### 6.4.1.1. Grundsätzliche Überlegungen zu Einsatzbereichen

Abhängig von der Position im Workflow muss für den Einzelfall die Analysetiefe definiert werden. So muss die Analysetiefe für Fremdmaterial anders sein als für Material aus „vertrauter“ Umgebung.

Die Analysetiefe ist abhängig von:

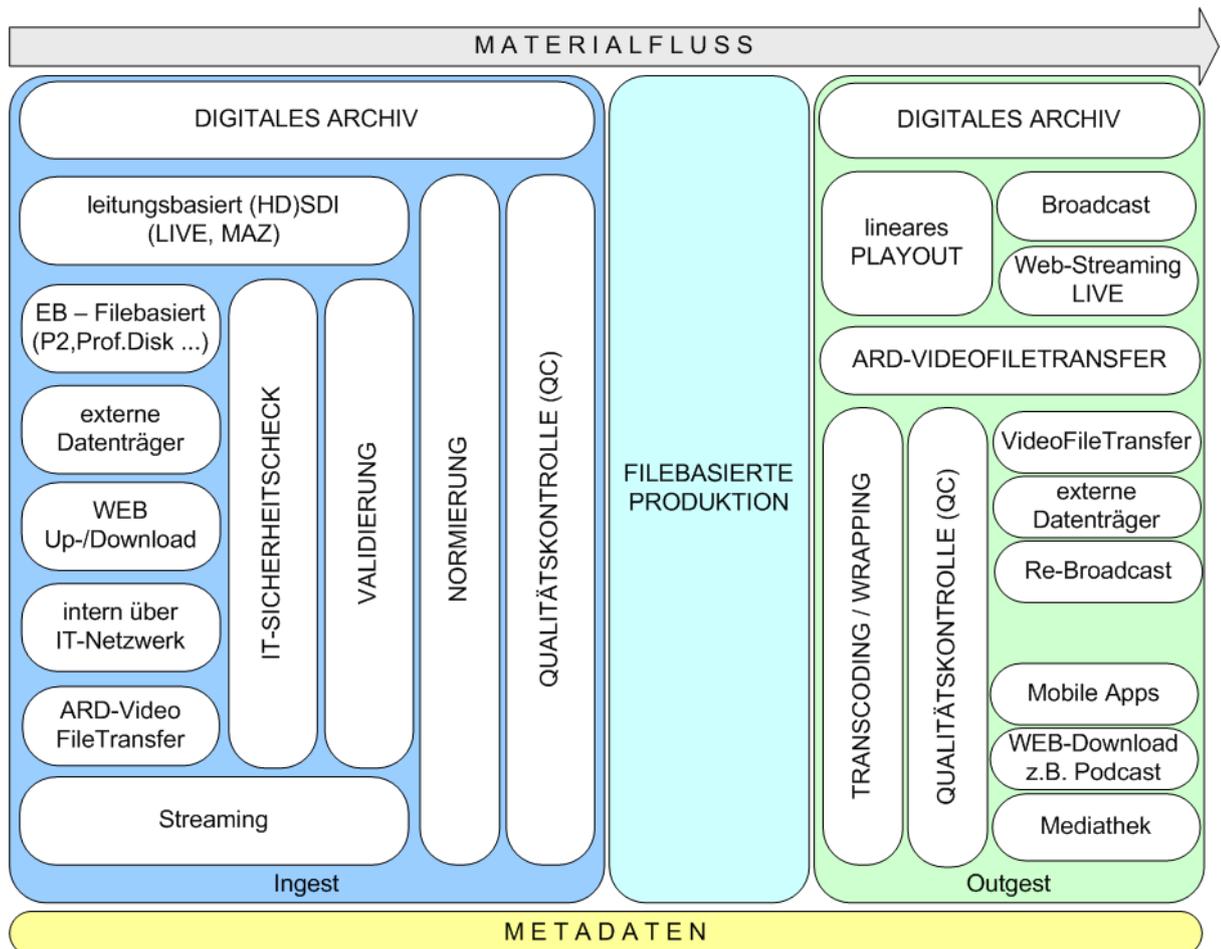
- Ursprungsort (Hausintern, Hausextern)
- Übertragungsweg/en (Weitverkehrsnetz, Produktionsnetz, Satellit,...)
- Übertragungsart (IP-Streaming, Filetransfer,...)
- Produktionsmittel
- Materialart (News, Doku, Show,...)
- Verwendung des Materials

Es ist ein Kompromiss zu finden zwischen Analysetiefe, Zeitaufwand und Kosten. Das nachfolgende Diagramm zeigt beispielhaft den Workflow und die unterschiedlichen Analysetiefen, wobei gleiche Farben gleiche Analysetiefen bedeuten.



**Bild 12: Analysetiefen innerhalb der Produktion**

Das folgende Diagramm zeigt ein Beispiel der beteiligten Module bzw. Prozesse für die Überprüfung von Files, innerhalb einer Rundfunkanstalt.



Diagrammquelle: AG Medien über IP

**Bild 13: Materialfluss bei der Produktion mit MXF-Files**

## 6.4.1.2. Auswertung von Analyseergebnissen

Ein wichtiger Aspekt ist die Bewertung der Analyseergebnisse. Abhängig von der Analysetiefe werden mehr oder weniger umfangreiche Meldungen ausgegeben die eingestuft werden müssen.

Der SMPTE Standard erlaubt verschiedenen Komplexitäten des Fileaufbaus (z.B. Operational Pattern, Codecs), die unter Umständen aufgrund hausinterner Infrastrukturen nicht verarbeitet werden können. Die Prüfung auf Standardkonformität reicht deshalb nicht aus.

Andererseits können Abweichungen vom Standard möglicherweise, ohne Fehler zu verursachen, verarbeitet werden.

Beide Fälle können durch entsprechende Profile (Templates) abgedeckt werden. Das Erstellen dieser Profile kann nur mit Kenntnis der Infrastruktur vorgenommen werden.

Es gilt zu beachten, dass Material, das archiviert werden soll, fehlerfrei sein muss, um bei späterer Nutzung normgerechte Verhältnisse zu haben.

Die Analyseergebnisse werden bevorzugt als XML-Datei anderen Anwendungen zur weiteren Verwendung angeboten. Damit können z.B. im Fehlerfall E-Mails versendet oder Codier-Prozesse erneut angestoßen werden.

Sinnvoll wäre es, die einmal gewonnenen Analyseergebnisse der MXF-Datei bei zu fügen (elektronische „Medienbegleitkarte“).

Hinweis: Derzeit (Frühjahr 2014) arbeitet das „EBU Strategic Programme on Quality Control (QC)“ an einer Empfehlung die sowohl die Nomenklatur als auch die Darstellung der Messergebnisse vereinheitlicht. Außerdem sollen für entsprechende Positionen im Workflow die relevanten Parameter für die Profilierung (Template) von Analysen festgelegt werden. Die Ergebnisse der EBU-Arbeitsgruppe werden nach Erscheinen als Anhang eingearbeitet.

## 6.5. Relevante Dokumente und Standards

### SMPTE ST 377-1

Material Exchange Format (MXF) — File Format Specification

Dieses Dokument definiert die grundsätzliche Datenstruktur des Material Exchange Format (MXF) für den Austausch von audio-visuellem Material.

### SMPTE ST 377-4

Multi-channel Audio Labeling in MXF Files

Dieser Standard definiert die Kennzeichnung von Mehrkanal-Audio in MXF-Files.

Neben dem Standard SMPTE ST 377 existieren sogenannte Engineering Guidelines wie z.B. die SMPTE EG 41 und 42, die den Standard anwendungsbezogen beschreiben.

### SMPTE ST 379

MXF Generic Container (GC)

Dieser Standard spezifiziert den allgemeinen Aufbau des MXF Generic Containers und definiert die Datenstruktur an den Signalschnittstellen von Netzwerken oder Speichermedien. Der Generic Container ist der Essenz Container des MXF-Files, der das audio-visuelle Material enthält.

### SMPTE ST 389

MXF Generic Container Reverse Play System Element

Dieser Standard beschreibt eine MXF-Erweiterung, welche die „Reverse-Play“-Funktion ermöglicht.

### SMPTE ST 394

System Item Scheme 1 for MXF Generic Container

Dieser Standard spezifiziert das Datenformat für das System-Item des MXF Generic Containers, auch System-Scheme 1 genannt. System Items können Metadaten oder Steuerdaten sein die sich auf die im selben Content Package enthaltene Essence beziehen.

SMPTE ST 405  
Elements and Individual Data Items for the System Item Scheme 1

Dieser Standard beschreibt die Elemente und einzelnen Daten, die im MXF- Generic Container System Schema 1 (SMPTE ST 394) verwendet werden können.

SMPTE ST 381/ ST 381-1  
Mapping MPEG Streams into the MXF Generic Container

Der Standard spezifiziert die Einbettung eines MPEG-Datenstroms gemäß ISO 13818 in den MXF Generic Container.

SMPTE ST 381-3  
Mapping AVC Streams into the MXF Generic Container

Der Standard spezifiziert die Einbettung aller AVC-Datenströme gemäß ISO 14496-10 in den MXF Generic Container.

SMPTE ST 382  
Mapping AES3 and Broadcast Wave Audio into the MXF GC

Der Standard spezifiziert die Einbettung von AES3- und Broadcast Wave Audio in den MXF Generic Container.

SMPTE ST 383  
Mapping DV-DIF Data to the MXF Generic Container

Der Standard spezifiziert die Einbettung von DV-DIF-Datenströmen gemäß SMPTE ST 314 und SMPTE ST 370 in den MXF Generic Container.

SMPTE ST 384  
Mapping of Uncompressed Pictures into the Generic Container

Der Standard spezifiziert die Einbettung von unkomprimierten Bilddaten in den MXF Generic Container.

SMPTE ST 385  
Mapping SDTI-CP Essence and Metadata into the MXF GC

Der Standard spezifiziert die Einbettung eines SDTI-CP-Datenstroms gemäß SMPTE ST 326 (Essenz und Metadaten) in den MXF Generic Container.

**SMPTE ST 386**  
Mapping Type D-10 Essence Data to the MXF Generic Container

Der Standard spezifiziert die Einbettung eines D10-Datenstroms (IMX) und bis zu 8 AES3-Datenströmen in den MXF Generic Container.

**SMPTE ST 387**  
Mapping Type D-11 Essence Data to the MXF Generic Container

Der Standard spezifiziert die Einbettung von D11-Datenströmen (HDCAM) und bis zu 8 AES3-Datenströmen in den MXF Generic Container.

**SMPTE ST 422**  
Mapping JPEG 2000 Codestreams into the MXF Generic Container

Der Standard spezifiziert die Einbettung von JPEG 2000 Bildern bzw. Bildsequenzen in den MXF Generic Container.

**SMPTE ST 436**  
MXF Mappings for VBI Lines and Ancillary Data Packets

Dieser Standard spezifiziert die Einbettung von VBI-Daten und allen ANC-Paketen (HANC und VANC) in ein MXF-File. Der Standard unterstützt SDTV und HDTV (8-Bit und 10-Bit-Digital-Komponenten-Systeme).

**SMPTE ST 2019-4**  
Mapping VC-3 Coding Units into the MXF Generic Container

Der Standard spezifiziert die Einbettung von VC-3 codierten Datenströmen (DNxHD) gemäß SMPTE ST 2019-1 in den MXF Generic Container.

**SMPTE 2037**  
Mapping VC-1 into the MXF Generic Container

Der Standard spezifiziert die Einbettung von VC-1 codierten Datenströmen (WMV9) gemäß SMPTE ST 421 in den MXF Generic Container.

**RP 2008**  
Mapping AVC Streams into the MXF Generic Container

Das Dokument beschreibt die Einbettung von AVC codierten Datenströmen in den MXF Generic Container.

**SMPTE ST 410**  
Generic Stream Partition

Dieses Dokument beschreibt eine Erweiterung des MXF-Dateiformats für bestimmte Klassen von Datenströmen in den MXF Body Partitionen.

**SMPTE ST 434**  
XML Encoding for Metadata and File Structure Information

Dieser Standard definiert die Kodierung der Header-Metadaten, Partition Multiplex-Struktur und Index-Tabellen von MXF-Dateien als XML-Dokument.

SMPTE ST 336  
Data Encoding Protocol - Using Key-Length-Value

Dieser Standard definiert ein "octet-level data encoding" Protokoll für die Repräsentation von Datenelementen und Datengruppen.

SMPTE ST 360  
General Exchange Format (GXF)

Dieser Standard spezifiziert ein Austausch Format (Fileformat) welches den Transfer von einfachen Clips und zusammengesetzten Clips zwischen Speichersystemen für Fernsehprogrammmaterial ermöglicht.

SMPTE ST 380  
Material Exchange Format (MXF) - Descriptive Metadata Scheme-1 (Standard, Dynamic)

Dieser Standard definiert die Struktur der DMS-1 Metadaten. Siehe Kapitel 6.2.2.1.2.2

Die folgenden Standards definieren im Einzelnen die Operational Patterns. Eine Übersicht befindet sich im Kapitel 6.2.2.1.1 dieses Dokuments.

SMPTE ST 378 Operational Pattern 1a (Single Item, Single Package)  
SMPTE ST 390 OP "Atom" (Simplified Representation of a Single Item)  
SMPTE ST 391 Operational Pattern 1b (Single Item, Ganged Packages)  
SMPTE ST 392 Operational Pattern 2a (Play-List Items, Single Package)  
SMPTE ST 393 Operational Pattern 2b (Play-List Items, Ganged Packages)  
SMPTE ST 407 Operational Patterns 3a and 3b  
SMPTE ST 408 Operational Patterns 1c, 2c and 3c

## 6.6. Literaturverzeichnis

- Nufer, Christoph: Analyse von MXF Dateien hinsichtlich ihrer Leistungsmerkmale und Standardkonformität.  
Stuttgart, Fachhochschule, Hochschule der Medien, Diplomarbeit, 2003
- Peters, Jens: Grundlagen professioneller Austauschformate und die Untersuchung eines filebasierten Workflows am Beispiel der Hochschule Mittweida (FH).  
Mittweida, Fachhochschule, Diplomarbeit, 2007
- Wells, Nick: The MXF Book – Introduction to the Material eXchange Format.  
Amsterdam/Boston/Heidelberg et al.  
Taylor & Francis Ltd., 2006
- SMPTE-Standards erhältlich unter [www.smpte.org](http://www.smpte.org)

## 6.7. Anhang

Folgende Abbildungen geben einen Überblick über die drei Frameworks mit ihren jeweiligen Sets und Eigenschaften.

