

DVB-H

Digital Video Broadcasting für mobile Endgeräte

Werner Robitza, Universität Wien
werner.robitza@univie.ac.at

1. März 2010

Im folgenden Dokument sollen die für den DVB-H-Standard wichtigsten Technologien erläutert werden sowie eine Übersicht geboten werden, welche zusätzlichen technischen Spezifikationen und Standards DVB-H ergänzen bzw. die Grundlage für diesen bilden. Im ersten Kapitel wird der DVB-H Standard erklärt, im zweiten Kapitel werden die Techniken näher beschrieben, die dieser vorgibt, im darauffolgenden Kapitel dann die Vorgaben für Videoübertragung in DVB-H.

Im vierten Kapitel sollen die Mechanismen für Service Information und der MPEG-2 Transport Stream erklärt werden. Im fünften Kapitel wird die physikalische Schicht, DVB-T, beschrieben, im sechsten Kapitel dann auf die Details zur Implementierung von DVB-H.

Inhaltsverzeichnis

1	Der DVB-H Standard	1
1.1	Einführung	1
1.2	Grundlegende Motivation (nach [4])	1
1.3	Protokollstack	1
1.4	Link Layer Anforderungen	1
1.5	Physical Layer Spezifikationen	2
1.6	Service Information	2
1.7	Zusammenfassung	3
2	Broadcasting von Daten mittels DVB	4
2.1	Multi Protocol Encapsulation	4
2.2	Time Slicing	4
2.3	Fehlerkorrektur mittels MPE-FEC	6
2.4	Real Time Parameter	8
2.5	IP/MAC Notification Table (INT)	8
3	DVB-H und MPEG-4	10
3.1	Parametervorgaben	10
3.2	Kapabilitätsklassen	10
3.3	Streaming des Videos	10
4	Der MPEG Transport Stream und DVB Service Information	12
4.1	Einführung	12
4.2	Modifizierung und Anwendung von SI/PSI	12
4.3	Der MPEG-2 Transport Stream	15
4.4	Program Specific Information Tabellen	15
4.5	Andere Tabellen	16
4.6	Deskriptoren	17
4.7	Zugriff auf einen DVB-H Service	19
4.8	Analyse eines DVB-Datenstroms	20
5	Die physikalische Schicht: DVB-T	22
5.1	Datenaufbereitung	22
5.2	Übertragungsmodi	22
5.3	Die einzelnen Schritte der Datenaufbereitung	22
5.4	Transmission Parameter Signalling	25
6	Performance und Parameter	27
6.1	Mobiles und klassisches Fernsehen	27
6.2	Grundlegende Kriterien	27
6.3	Qualität und Paketverluste	28
6.4	Antenne	29

6.5	Netzwerkplanung	29
-----	---------------------------	----

Abbildungsverzeichnis

1	Protokollstack OSI Schichten 1-3	2
2	Schematischer Aufbau eines DVB-H-Recievers	3
3	Prinzip von Time Slicing	5
4	Verschieben der einzelnen Burstphasen in verschiedenen Zellen [6, S 57, Abb. 8.9]	6
5	Multiplexing von DVB-T und DVB-H auf einem Transportstrom.	6
6	Der Aufbau eines MPE-FEC Frames [6, S. 27, Abb. 5.12]	7
7	PSI und SI Management in DVB [6, S. 26, Abb. 5.10]	13
8	Service Delivery in einem DVB-Netzwerk [1, S. 12, Abb. 1]	13
9	Service Information Tabellen [1, S. 16, Abb. 2]	14
10	Beispiel der Verwendung einer INT	20
11	Signalverarbeitung in DVB-T [2, S. 52, Abb. F.1]	23

Tabellenverzeichnis

1	Profiles und Levels für MPEG-4 AVC in DVB-H	10
2	Tabellen und zugehörige PIDs [1, S. 18, Table 1]	15
3	Stream Content und Component Type Beschreibungen [1, S. 37]	17
4	Parameter für DVB-H OFDM Übertragung bei 8 MHz, nach [13]	25

1 Der DVB-H Standard

Zugrunde liegender Standard: ETSI EN 302 304

1.1 Einführung

DVB-H ist eine Erweiterung des DVB-T-Standards. Es handelt sich dabei um eine Technologie, die zur Übertragung von Inhalt an mobile Empfänger eingesetzt wird. Dieser Inhalt kann vielseitig gestaltet sein, in den meisten Anwendungsfällen handelt es sich hierbei aber um Video und Audiodaten. Die Arbeit an diesem Standard wurde 2002 begonnen und 2004 von ETSI, dem *European Telecommunications Standards Institute*, veröffentlicht.

1.2 Grundlegende Motivation (nach [4])

- Die DVB-H-Empfänger sind mobil, das bedeutet: Sie sind leicht, klein und batteriegetrieben. Der Sender muss das Signal also so ausstrahlen, dass ein batteriegetriebener Empfänger die Möglichkeit hat, sich wiederholt abzuschalten, um so Energie zu sparen.
- Da von mobilem Empfang ausgegangen wird, muss die Übertragung sichergestellt werden, wenn der Benutzer sich von einer Zelle zur nächsten bewegt. Besonders in städtischen Gebieten mit höherer Zelldichte muss ein nahtloser "Handover" ermöglicht werden.
- Der Empfang muss auch bei verschiedenen Bewegungsgeschwindigkeiten des Empfängers möglich sein. So ist davon auszugehen, dass sich der Empfänger nicht nur in Schrittgeschwindigkeit bewegt, sondern auch in Autos, Zügen, etc.
- Das Signal muss in mehreren Bändern verfügbar sein sowie Optionen für Bandbreiten von 5,6,7 und 8 MHz bieten.

1.3 Protokollstack

In DVB-H werden Anwendungsdaten mittels Streaming-Techniken via Internet Protocol übertragen. DVB-H unterscheidet sich hiermit von anderen Übertragungsstandards, da es IP-basiert ist. Die Anwendungsdaten werden beispielsweise mittels RTP und UDP gestreamed, mittels MPE verkapselt und dann in einen MPEG-2 Transport Stream mit anderen Streams gemultiplext. Die Übertragung auf physikalischer Ebene erfolgt mittels DVB-S, DVB-C oder DVB-T, wobei in diesem Artikel nur auf DVB-T eingegangen werden soll.

1.4 Link Layer Anforderungen

- **Multi Protocol Encapsulation:** MPE ist definiert in [3, S.14 ff]. Es handelt sich dabei um eine Technik, die Datagramme der darüberliegenden Schicht verkapselt. Im Falle von DVB-H werden IP-Datagramme mittels MPE verkapselt. MPE ist jedoch allen DVB-Standards gemeinsam und daher keine Besonderheit von DVB-H. In diesem Artikel wird MPE unter 2.1 erläutert.

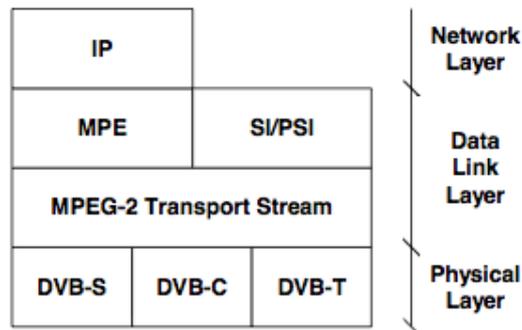


Abbildung 1: Protokollstack OSI Schichten 1-3

- **Time-Slicing:** Time Slicing wird spezifiziert in [3, S. 40-45]. Diese Technik bietet dem Empfänger die Möglichkeit, sich auszuschalten, wenn zu einem bestimmten Zeitpunkt keine für ihn relevanten Bursts (also Pakete) ankommen. Time Slicing in DVB-H zwingend vorhanden sein. Es wird in diesem Artikel unter 2.2 näher beschrieben.
- **Forward Error Correction (MPE-FEC):** Definiert in [3, S. 45-50]. MPE-FEC bietet eine auf Reed-Solomon-Codes basierende Lösung für Übertragung in Netzen mit hoher Wahrscheinlichkeit eines Paketverlustes. MPE-FEC soll in DVB-H eingesetzt werden, ist jedoch rückwärtskompatibel, sodass Empfänger, die kein MPE-FEC "verstehen" die zusätzlich übertragenen Daten ignorieren können. MPE-FEC wird unter 2.3 beschrieben.

1.5 Physical Layer Spezifikationen

DVB-H baut auf der physikalischen Schicht komplett auf DVB-T auf (siehe [2]). Es gibt lediglich ein paar Erweiterungen:

- Der so genannte TPS Channel soll DVB-H signalisieren, um ein schnelleres Erkennen und Erfassen eines DVB-H-Netzes zu ermöglichen. Dies ermöglicht auch einen besseren Handover. Im TPS Channel werden übertragungsspezifische Parameter gesendet. Es wird unter 5.4 und [4, S. 8] beschrieben.
- Außerdem wird der so genannte 4k-Mode in DVB-T eingeführt, welcher wiederum einen positiven Einfluss auf die Signalstärke haben soll und es erlaubt, mit einer einzigen Antenne in einem Netzwerk guten Empfang sicherzustellen, auch bei hohen Bewegungsgeschwindigkeiten.
- Die Tiefe des Interleavers wurde erhöht, sodass ein In-Depth-Interleaver für den 4k Mode zum Einsatz kommt.

1.6 Service Information

Service Information wird in [1] spezifiziert. Es wird in diesem Standard definiert, wie innerhalb eines DVB-Netzwerkes der ausgestrahlte Content und das Netz selbst mittels MPEG-2 TS Me-

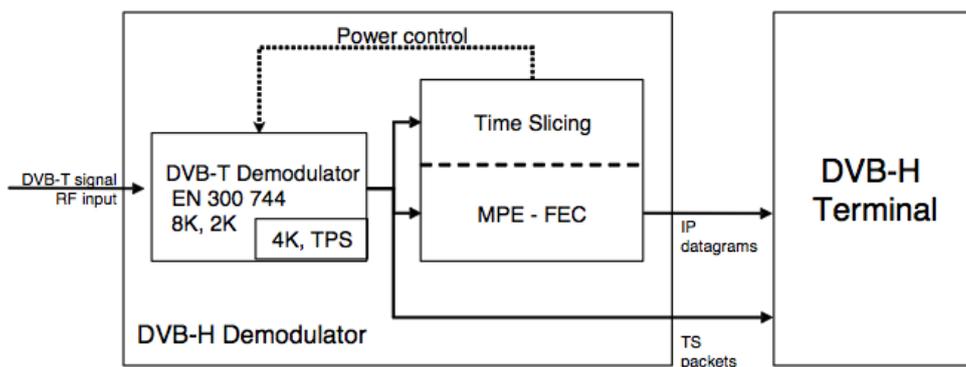


Abbildung 2: Schematischer Aufbau eines DVB-H-Recievers

chanismen beschrieben werden müssen, sodass der Empfänger die Möglichkeit bekommt, aus allen empfangenen Signalen verschiedene Streams und Programme anzuwählen und diese zu verfolgen. Dieser Teil wird in diesem Dokument unter Kapitel 4 näher beschrieben.

1.7 Zusammenfassung

Insgesamt ist der DVB-H Standard sehr kurz gefasst, da er sehr viele andere bereits vorhandene Standards und Technical Recommendations referenziert.

2 Broadcasting von Daten mittels DVB

Zugrunde liegender Standard: ETSI EN 301 192

Dieser Standard beschreibt im genaueren, wie die zu versendenden Daten verkapselt werden, sowie welche Techniken dafür im Link Layer eingesetzt werden. Die dadurch entstandenen Datagramme werden in weiterer Verarbeitung zum Payload für den MPEG-2 Transport Stream.

Die Verwendung dieser speziellen Techniken muss für den Empfänger signalisiert werden, dafür kommt die NIT (siehe 4) zum Einsatz. Sie muss nun einen Time Slice und FEC Descriptor enthalten (dieser kann auch in der INT enthalten sein, siehe ebenfalls 4). Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, kann auch das TPS dafür verwendet werden (siehe 5.4).

2.1 Multi Protocol Encapsulation

Die Beschreibung von MPE ist zu finden in [3, S. 14ff]. Die IP-Datagramme, die von der darüber liegenden Schicht erzeugt werden, müssen mittels Multi Protocol Encapsulation verkapselt werden. Ein oder mehrere IP-Datagramme werden hierzu in eine MPE-Datagram Section eingefügt. Die Länge dieser Section ist nicht fixiert, eine MPE-Section kann daher mehrere Datagramme umfassen, idealerweise jedoch genau eines.

Wie die Datagramme bzw. die verkapselten Daten gestaltet sein müssen, ist hier nicht genauer beschrieben. Dies hängt von der jeweiligen Implementation ab. Im allgemeinen Fall ist jedoch davon auszugehen, dass es sich dabei um einen IP-Stream handelt. Das Abbilden der MPE-Pakete auf den MPEG-2 Transport Stream in der nächsten Schicht darunter wird in [9] bzw. in diesem Dokument näher beschrieben.

2.2 Time Slicing

In DVB-H werden die Daten in Bursts übertragen, d.h. es werden mehrere MPE-Sections nacheinander gesendet, dann tritt eine Pause auf, in der zum Beispiel die Daten anderer Streams gesendet werden. Es handelt sich dabei um eine Form des *Time Division Multiplexing*. Die Verwendung von Time Slicing kann bis zu 90% an Energieverbrauch sparen [13], insbesondere wenn mehrere Streams gemultiplext werden.

2.2.1 Technik

Die beim Time Slicing verwendete Technik ist folgende: Es wird bei jeder MPE-Section im Header der Abstand ΔT zum Beginn des nächsten MPE Bursts mitgesendet [3, S. 40ff]. Der Empfänger kann also zwischen zwei für ihn relevanten Bursts in einen Offline-Modus schalten und somit Akkulaufzeit sparen. Dieser Abstand ΔT ist relativ angegeben, sodass Sender und Empfänger nicht zeitlich synchronisiert werden müssen.

Die Daten der einzelnen Bursts ergeben zusammengesetzt den Elementary Stream, welchen der Empfänger dann decodieren kann, nachdem er die MPE-Verkapselung aufgehoben hat. Dabei

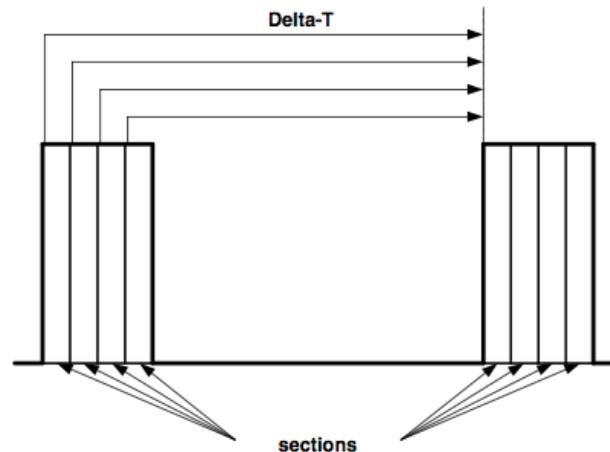


Abbildung 3: Prinzip von Time Slicing

ist zu beachten, dass die Daten in einem Burst ausreichen müssen, um die Off-Periode zu überbrücken. Die Burst-Bitrate muss also wesentlich höher sein, als die durchschnittliche Service-Bitrate. Die Dauer eines Bursts liegt durchschnittlich zwischen mehreren zehn oder hundert Millisekunden, die der Off-Periode bei mehreren Sekunden [13].

Die ΔT -Informationen werden bei jeder MPE-Section im Burst mitgeschickt, falls eine dieser Sections verloren wird und der Empfänger neu synchronisieren muss. Es werden in [3, S. 42] genauere Metriken beschrieben, u.a. auch über ΔT -Jitter und die Verwendung von Buffer. Außerdem ist es sehr wichtig, dass der Empfänger akkurat und schnell den Betriebsmodus wechseln kann, da es sich bei den Abständen der einzelnen Bursts um sehr geringe Zeiten handelt. Hier ist Raum für Optimierung in der Praxis vorhanden.

2.2.2 Handover und Multiplexing

Um nahtlos zwischen Zellen umzuschalten (sog. *Handover*), ohne aber den Service zu unterbrechen, kann der Empfänger zwischen den Bursts die Nachbarzellen scannen und deren Streams bzw. Informations-Tabellen untersuchen. Der Service Provider sollte daher vom Inhalt gleiche Streams in benachbarten Zellen zu *unterschiedlichen* Zeitpunkten senden (siehe auch Abbildung 4). Findet der Empfänger einen Stream mit der selben Programm-ID, jedoch in einer Zelle mit besserer Sendequalität, so kann er im laufenden Betrieb auf diesen umschalten, wobei sich die Zeiten dabei im Sekundenbereich aufhalten.

DVB-H-Streams können ohne Probleme mit DVB-T-Streams gleichzeitig auf einem Multiplex übertragen werden, selbst wenn die MPE-Streams wiederum zeitlich gemultiplext sind. Dieses Prinzip wird in Abbildung 5 schematisch dargestellt.

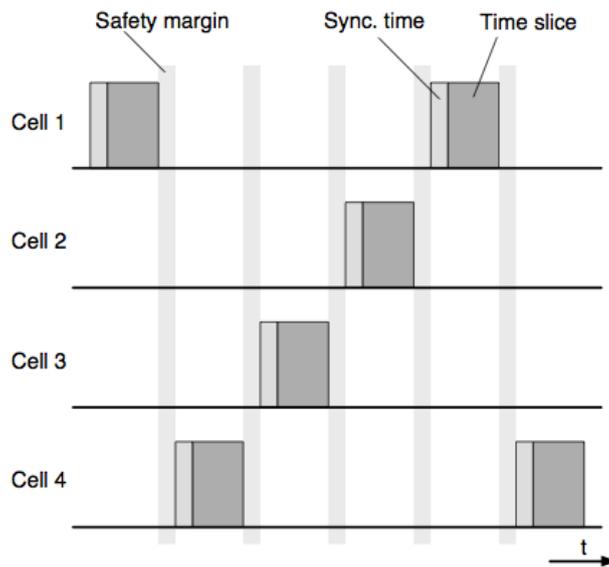


Abbildung 4: Verschieben der einzelnen Burstphasen in verschiedenen Zellen [6, S 57, Abb. 8.9]

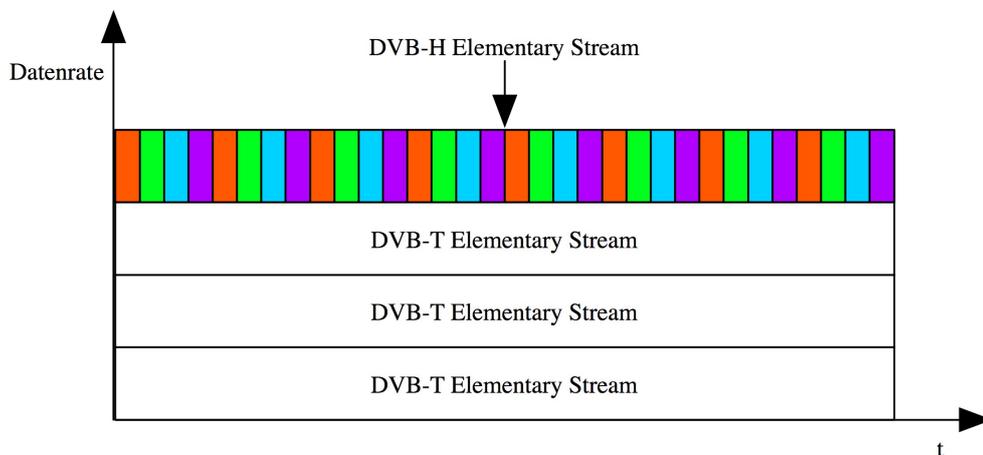


Abbildung 5: Multiplexing von DVB-T und DVB-H auf einem Transportstrom.

2.3 Fehlerkorrektur mittels MPE-FEC

MPE-FEC steht für *Multi Protocol Encapsulation Forward Error Correction* [3, S. 45ff] und beschreibt ein Verfahren, bei dem - zusätzlich zu den beiden in DVB-T eingesetzten Fehlerkorrekturverfahren - eine weitere Vorwärtsfehlerkorrektur eingesetzt wird. Circa 25% der Daten des Streams finden als Paritäts-Overhead Verwendung. Die Verwendung von MPE-FEC ermöglicht es, die maximale Bewegungsgeschwindigkeit des Empfängers zu erhöhen.

2.3.1 Technik

Die Daten, die durch Anwendung von MPE-FEC entstehen, sind in Frames aufgeteilt. Ein Frame ist eine Matrix aus 255 Spalten und einer flexiblen Anzahl an Zeilen. Ein MPE-FEC-Frame kann mit maximal 1024 Zeilen 2 Mbits groß sein. Die Anwendungsdaten im Frame befinden sich in der *Application data table*. Dabei handelt es sich um die IP Datagramme. Diese werden - beginnend mit der ersten Spalte - von oben nach unten in den Frame gefüllt. Ist die erste Spalte voll, so wird die zweite begonnen. Ein IP-Datagramm kann also auch über mehrere Spalten verteilt sein.

Die Paritätsdaten befinden sich in der *Reed Solomon data table*. Sie werden mittels eines Reed Solomon (255,191)-Codes zeilenweise berechnet und wie die IP-Daten in die Tabelle aufgefüllt. Erst nach der Berechnung der Paritäten werden die IP Datagramme mit MPE spaltenweise verkapselt (siehe oben), sowie die Reed-Solomon Daten als MPE-FEC Pakete, ebenfalls spaltenweise.

Dadurch, dass die Daten zeilenweise eingetragen, jedoch spaltenweise verkapselt werden, entsteht neben der Reed-Solomon-Fehlerkorrektur auch ein Interleaving-Effekt.

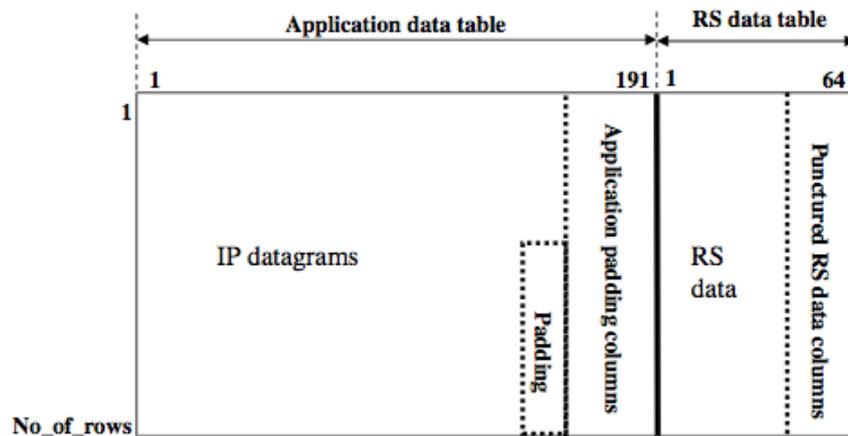


Abbildung 6: Der Aufbau eines MPE-FEC Frames [6, S. 27, Abb. 5.12]

2.3.2 Dekodieren und Verwendung von Time-Slicing

Das Dekodieren von MPE-FEC-Frames wird in [3, S. 48ff] beschrieben. Der Empfänger kann Übertragungsfehler dank Reed-Solomon-Verfahren in einer gewissen Grenze genau lokalisieren und ausbessern, auch ein Verlust von Paketeilen kann korrigiert werden. Dadurch, dass die Daten interleaved sind, wirkt sich der Verlust eines Paketeiles nicht so stark aus. Zusammen mit dem Interleaving der Daten auf dem Physical Layer (durch inneres und äußeres Interleaving) und der Anwendung eines weiteren Reed-Solomon-Codes durch DVB-T kann der Verlust von Informationen sehr gering gehalten werden.

In der Praxis wird pro Time-Slice Periode genau ein MPE-FEC Frame übertragen. Dies entspricht also einer maximalen Burst-Bitrate von 2 Mbit pro Burst. MPE-FEC ist rückwärtskompatibel zu

Empfängern, die diese Technologie nicht integrieren, da die Overhead-Daten beim Dekodieren übersprungen werden können.

2.4 Real Time Parameter

Eine MPE-Section bietet zusätzliche Header für den darin enthaltenen Payload. Die Felder für MAC-Adressen 1 bis 4 werden - entgegen ihrer ursprünglichen Verwendung - für Real Time Parameter verwendet [3, S. 55ff]. Diese Real Time Parameter lauten:

- "delta.t": der Burst-Abstand für Time Slicing, siehe 2.2.
- "table.boundary": gibt das Ende der Application Data in einem MPE-FEC-Frame an.
- "frame.boundary": um das Ende eines MPE-FEC-Frames oder eines Time Slice Bursts anzuzeigen.
- "address"

Letzteres Adress-Feld gibt in einer MPE-Section an, an welcher Adresse des dazugehörigen MPE-FEC-Frames die nächsten Anwendungsdaten zu finden sind. Das bedeutet, es gibt genau eine MPE-Section, bei der diese Adresse 0 ist, nämlich die erste Section innerhalb eines Frames. Weiters gibt es auch genau eine MPE-FEC-Section, bei der diese Adresse ebenfalls 0 ist, da dies den Beginn der Reed-Solomon-Daten anzeigt.

2.5 IP/MAC Notification Table (INT)

Die IP/MAC Notification Table (INT) [3, S. 18ff] enthält Informationen über die vorhandenen IP-Streams innerhalb eines DVB-Netzwerkes bzw. genauer: innerhalb eines gemultiplexten MPEG-2 Transport Streams. Die Verwendung der INT ist **optional**, da es auch über andere SI/PSI-Methoden möglich ist, DVB-H-Streams zu finden, jedoch nicht so schnell. Sie bietet daher eine flexible Möglichkeit für Empfänger, Streams zu lokalisieren.

2.5.1 Allgemeines

Es werden folgende Begriffe definiert [3, S. 18]:

- **IP/MAC platform**: Eine Plattform ist ein Satz aus mehreren IP/MAC Streams und Empfängergeräten von einer bestimmten Organisation. Diese Plattform erhält eine eindeutige ID. Innerhalb der Plattform soll ein Adressbereich definiert werden, sodass IP-Adressen eindeutig sind. Auf einem Transport Stream können ohne Probleme mehrere Plattformen nebeneinander existieren, eine Plattform kann sich auch über mehrere TS oder mehrere DVB-Netze ausdehnen.
- **IP/MAC stream**: Ein Datenstrom, der einen Adressheader enthält. Als Beispiel wäre ein IP Multicast Stream zu nennen, der in MPE Sections verkapselt ist. Die Multicast-Adresse gehört zu einer bestimmten Plattform.

2.5.2 Auffinden der INT im Netzwerk

Die INT selbst wird auf einem Elementary Stream übertragen, daher muss sie mittels herkömmlicher Methoden (PSI/SI, siehe 4) angezeigt werden. Der *Linkage Descriptor* (siehe 4.6.11) mit dem Typ 0x0B verweist auf einen Transport Stream und einen darin enthaltenen Service, der eine INT enthält. Dieser wird unbedingt benötigt, um dem Empfänger zu ermöglichen, einen IP-Service anzuwählen.

Dieser Linkage Descriptor kann mehrmals (aber mindestens einmal) innerhalb eines gesamten Netzwerkes platziert sein, wenn die INT z.B. auf mehreren Streams übertragen wird. Ein anderer Linkage Descriptor mit dem Typ 0x0C kann auch zunächst auf eine IP/MAC Notification BAT verweisen, die wiederum in ihrer NIT einen 0x0B-Link enthält. Der Typ 0x0C dient also als Zeiger.

2.5.3 Signalisierung der INT auf einem Stream

Die INT wird nun auf einem Transportstream als Elementarstream übertragen und muss daher auch in der PAT und PMT signalisiert werden. Dafür wird der Data Broadcast ID Descriptor verwendet (siehe 4.6.6). Hat dieser "normalerweise" den Wert 0x0005, der MPE-Daten signalisiert, beträgt der Wert hier 0x000B und verweist auf eine INT.

2.5.4 Inhalt der INT

Der Inhalt der INT (also die Deskriptoren) werden ab [3, S. 29ff] beschrieben. Die INT ist aufgebaut wie alle anderen PSI/SI-Tabellen, siehe 4. Sie besitzt eine eigene ID und enthält für jede IP Plattform, die sie beschreibt, eine "INT sub_table". Wichtig ist die Platform ID, die eine Plattform identifiziert, zu der diese Sub-Table gehört.

Zusätzlich enthält die INT eine Schleife von Deskriptoren, die wichtigsten sind:

- In den **Platform Descriptors** sind Informationen über die Plattform enthalten, also z.B. der Name. Für jede Plattform kommt so ein Deskriptor vor.
- In den **Target Descriptors** sind Informationen z.B. über Ziel-IP-Adressen in dieser Plattform beschrieben. Diese sind letztendlich ausschlaggebend für den Empfänger, da dieser an Hand der dort angegebenen IP/MAC-Adressen auslesen kann, ob ein Stream für ihn geeignet ist. Pro Plattform können mehrere dieser Deskriptoren auftreten.
- Im **Stream Location Descriptor** wird auf genau eine Komponente eines Service hingewiesen (durch Network ID, Transport Stream ID, Service ID und Component Tag, siehe auch 4). Dies sind die so genannten *Access Parameter*.

Diese Deskriptoren werden vom Empfänger verarbeitet, er kann daraufhin mittels Access Parametern einen IP-Stream laden, siehe auch 4.7.

3 DVB-H und MPEG-4

Da DVB-H innerhalb des MPEG-2-TS MPE-Pakete enthält, die wiederum aus IP-Datagrammen bestehen, kann der Inhalts-Stream vielfach gestaltet sein. Meistens ist dies ein IP-Multicast oder Broadcast, auf dem RTP über UDP aufsetzt. Auf Schicht 4 (Transportschicht) und darüberliegenden Schichten gibt es eine Vielfalt von Möglichkeiten zur Gestaltung des Inhalts, welcher nicht unbedingt Video sein muss, sondern z.B. auch Download-Services [4, S. 10].

Für Videoübertragung in DVB-H ist die Verwendung H.264 / MPEG-4 AVC empfohlen.

3.1 Parametervorgaben

In [7] sind Parameter (Profiles und Levels) zur Videokodierung definiert. Ab [7, S. 44] werden genauere Informationen zu MPEG-4 angeführt. Ab [7, S. 47] werden SDTV-Eigenschaften definiert, ab [7, S. 52] dann HDTV-Eigenschaften, die zur Enkodierung des gesendeten Materials verwendet werden sollen.

	Profile	Level	Aspect Ratio
SDTV	Main Profile	3	4:3 oder 16:9
HDTV	High Profile	4	16:9

Tabelle 1: Profiles und Levels für MPEG-4 AVC in DVB-H

Die Profiles und Levels, die in der TS referenziert wurden, finden sich in [10, S. 220 ff]. Sie geben bestimmte Codierungsparameter vor, an die sich die Implementation halten muss. Dies soll eine einheitliche Empfangsqualität ermöglichen und sicher stellen, dass alle Empfänger das Material dekodieren können.

3.2 Kapabilitätsklassen

DVB-H führt weiters so genannte *Capability Classes* ein, die bestimmte Bitraten und Videoparameter vorgeben.

Kapabilität	Frame Size (Pixel)	Frame Rate (fps)	Bitrate (kbit/s)
A	176x144	15	128
B	352x288	15,2	384
C	352x288	30	2000

3.3 Streaming des Videos

Für DVB-H muss das kodierte MPEG-4 AVC Video nun gestreamt werden. Dafür bietet sich der Network Abstraction Layer (NAL) an, welcher neben dem Video Coding Layer (VCL) existiert. Ein Video wird vom VCL kodiert und dann in NAL Units (NALU) übertragen, wobei eine solche Unit unterschiedlichen Inhalt tragen kann. Dieser ist in den meisten Fällen ein Slice des kodierten

Videos, es kann sich aber auch z.B. um ein Parameter Set handeln.

Diese NALUs werden nun auf ein Transportprotokoll (in diesem Fall RTP) gemappt, sodass die enthaltenen Slices unabhängig voneinander übertragen werden können. Der streamende Server kann die NALUs versenden, ohne den Inhalt analysieren zu müssen.

Für den Payload des RTP lassen sich folgende Einschränkungen ableiten (nach [15, S. 7]):

1. Der Inhalt soll möglichst wenig Overhead enthalten
2. Wichtige Pakete sollen von weniger wichtigen unterschieden werden können
3. Es soll möglich sein, bei Verlust eines Paketes auch andere dadurch unbrauchbar gewordene Pakete zu erkennen
4. NALUs sollen auf mehrere RTP-Pakete verteilt werden können
5. Mehr als eine NALU soll in einem RTP-Paket enthalten sein können

Im einfachsten Fall wird eine NALU auf genau ein RTP-Paket gemappt, aber eben auch letzere Fälle (4 und 5) sind möglich. Da die maximale Größe eines IP-Paketes 65 Kilobyte beträgt, sollte eine NALU niemals größer sein, da sonst die Sicherheitsmechanismen im Falle eines Paketverlustes nicht mehr funktionieren.

4 Der MPEG Transport Stream und DVB Service Information

Zugrunde liegender Standard: ETSI EN 300 468

4.1 Einführung

DVB Service Information wird in [1] beschrieben. Eine Einführung findet man weiters in [1, Abb. 1, S. 12]. Prinzipiell wird in diesem Standard beschrieben, wie *Program Specific Information* (kurz: PSI) und *Service Information* (SI) kodiert werden, die dem Empfänger es ermöglichen, in einem gemultiplexten Transport Stream einzelne Programme (bzw. genauer: Services oder Plattformen) zu lokalisieren, zu demultiplexen und zu decodieren. Andererseits muss ein Empfänger auch die Möglichkeit haben, Informationen über andere Transport Streams zu erhalten, sowie deren Inhalt zu erfahren.

Dazu werden eine große Zahl an Informationstabellen mitgesendet - siehe [1, S. 14-15] und Abbildung 9. Diese Tabellen sind der Payload eines Transport Streams, können also neben tatsächlichen Videodaten auftreten. Sie sind untereinander über IDs referenziert und damit verbunden. Eine Tabelle enthält meistens einen oder mehrere Deskriptoren, die immer wieder auftreten. Wie später noch genauer erläutert wird, finden sich viele Tabellen ausschließlich im DVB-Standard wieder und gehören nicht zum ursprünglichen Standard, der den MPEG Transport Stream spezifiziert.

4.2 Modifizierung und Anwendung von SI/PSI

In einem DVB-Netz muss immer wieder SI/PSI erstellt und verändert werden, und zwar zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Zunächst wird z.B. ein Video mittels IP gestreamed, und mit MPE und Timeslicing verkapselt. Spätestens wenn dieser Stream mit anderen Streams (nicht DVB-H) gemultiplext wird, müssen PSI und SI erstellt oder verändert werden. So sollte einerseits der Inhalt des Streams angegeben werden, andererseits auch sicher gestellt werden, dass IDs innerhalb des Netzwerkes tatsächlich eindeutig bleiben.

Ebenfalls muss der Stream Informationen über das gesamte Netz sowie den Transport Stream erhalten. Es ist daher notwendig, diese PSI/SI im laufenden Betrieb abzugleichen und gegebenenfalls zu ändern. Diese Aufgabe hat der Multiplexer, er muss also in der Lage sein, DVB-H neben anderen Streams zu multiplexen und auch für DVB-H eine Bandbreite zu reservieren.

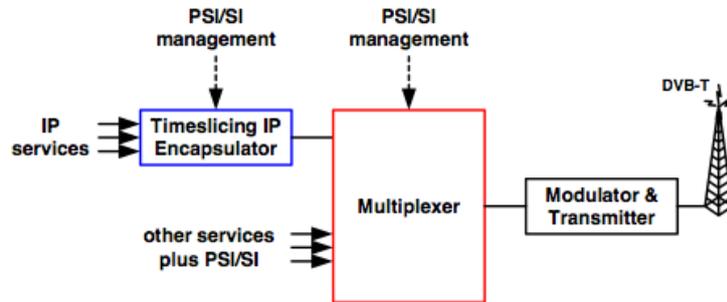


Abbildung 7: PSI und SI Management in DVB [6, S. 26, Abb. 5.10]

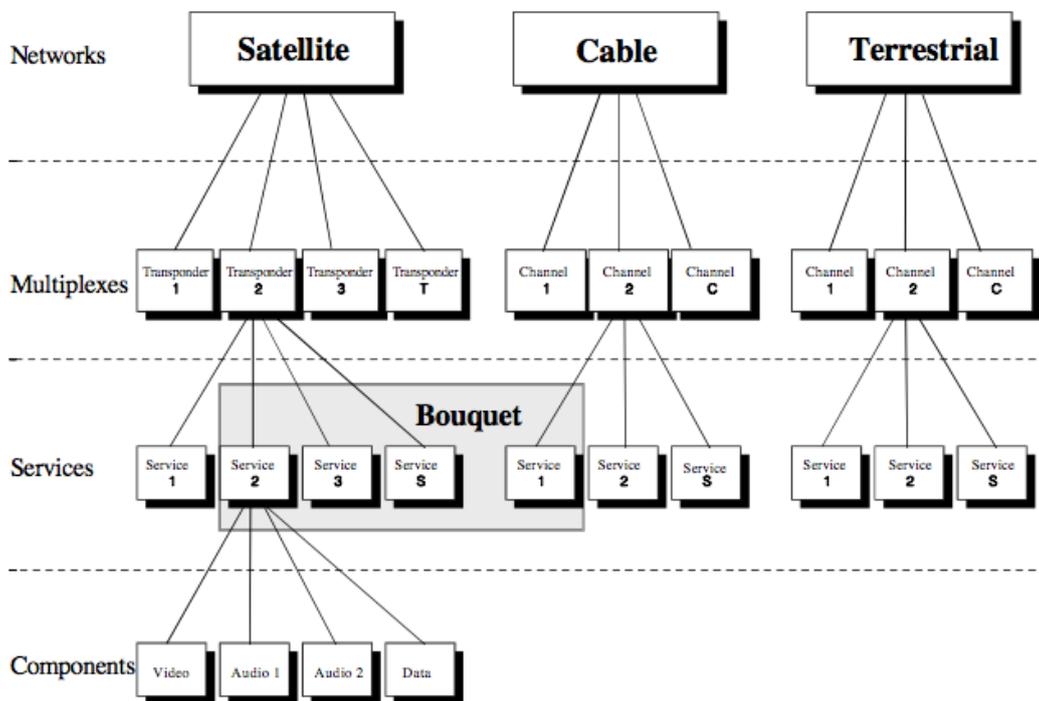


Abbildung 8: Service Delivery in einem DVB-Netzwerk [1, S. 12, Abb. 1]

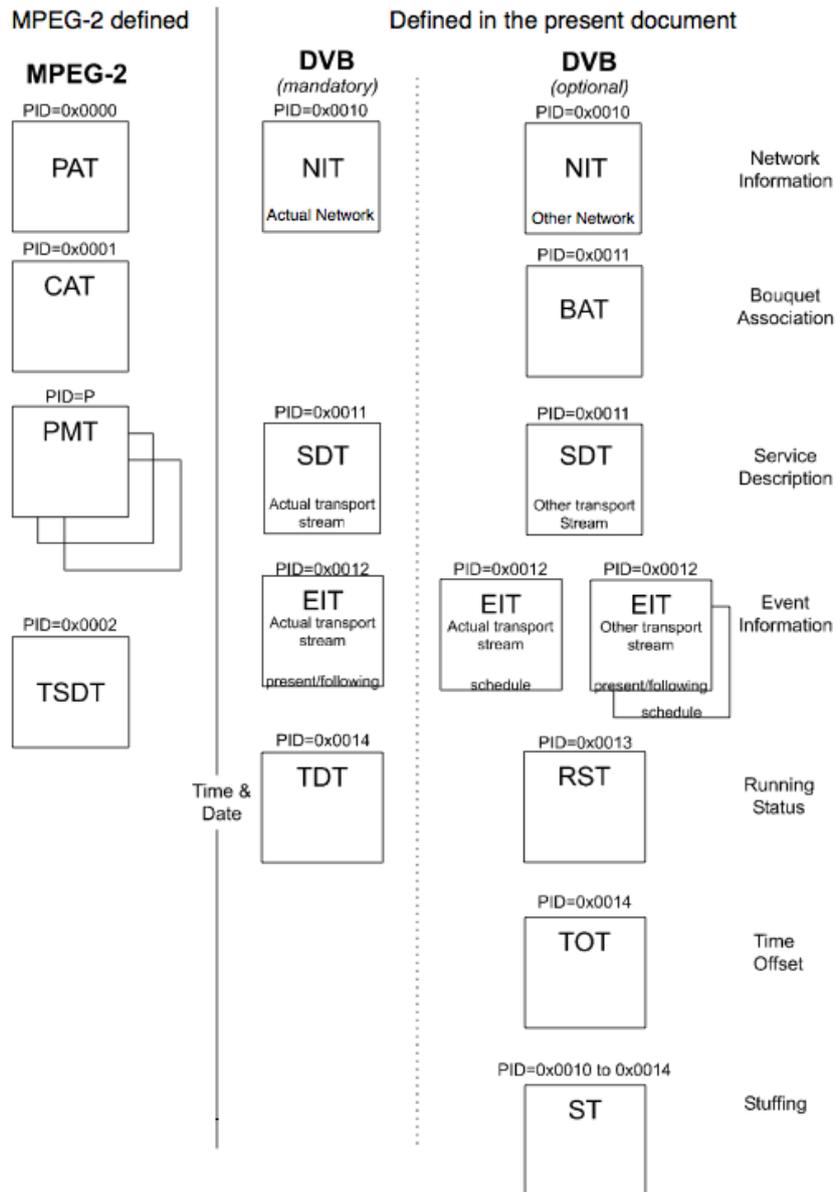


Abbildung 9: Service Information Tabellen [1, S. 16, Abb. 2]

4.3 Der MPEG-2 Transport Stream

Die in 2 entstandenen MPE-Pakete mit den Videodaten als IP-Stream werden nun zum Payload für den MPEG-2 Transport Stream. Dieser Transport Stream ist essentiell für DVB. Der Aufbau eines Transport Stream Paketes ist in [11, S. 18 ff.] beschrieben. Ein TS-Paket besteht unter anderem aus einem Sync-Byte, einer PID, sowie den tatsächlichen Daten, dem Payload. Die PID gibt die Art der Daten an, siehe auch [11, S. 19].

Nun müssen also neben den reinen Videodaten (also klassische DVB-Streams) und den MPE-Datagrammen (DVB-H-Daten) auch SI/PSI-Daten übertragen werden, die ebenfalls als ein MPEG TS Paket gesendet werden und über eine PID abrufbar sind.

Table	PID value
PAT	0x0000
CAT	0x0001
TSDT	0x0002
reserved	0x0003 to 0x000F
NIT, ST	0x0010
SDT, BAT, ST	0x0011
EIT, ST CIT (TS 102 323)	0x0012
RST, ST	0x0013
TDT, TOT, ST	0x0014
network synchronization	0x0015
RNT (TS 102 323)	0x0016
reserved for future use	0x0017 to 0x001B
inband signalling	0x001C
measurement	0x001D
DIT	0x001E
SIT	0x001F

Tabelle 2: Tabellen und zugehörige PIDs [1, S. 18, Table 1]

4.4 Program Specific Information Tabellen

4.4.1 Program Association Table, PAT

Die PAT hat immer die PID 0x0000. Für jeden Service im MPEG-2 TS Multiplex werden hier die Program Map Table (PMT) und die darüberliegende Network Information Table (NIT) angegeben. Die PAT enthält also eine Liste aller Streams im Multiplex sowie eine Information über das Netzwerk selbst und soll daher immer wieder gesendet werden. Änderungen im Stream werden auch hier bekannt gegeben.

4.4.2 Program Map Table, PMT

Enthält Informationen über ein Programm. Die PMT definiert einen Service anhand dessen Stream, also z.B. ein Video, und enthält zusätzlich Informationen darüber. Sie ist im MPEG-Standard für den Transport Stream genauer definiert.

4.4.3 Conditional Access Table

Die Informationen hier sind nicht genauer definiert.

4.5 Andere Tabellen

Diese Tabellen geben Informationen an, die nicht nur den aktuellen Transport Stream betreffen, sondern auch für ein oder mehrere Netzwerke relevant sein können, die aus mehreren Multiplexen bestehen.

4.5.1 Network Information Table, NIT

Die allgemeine NIT [1, S. 19ff] enthält Informationen über das Netzwerk selbst sowie die enthaltenen Transport Streams bzw. Multiplexe. Das Netzwerk erhält eine eindeutige ID (*network_id*). Die ID des Netzwerkes und die ID des Transport-Streams ergeben eine eindeutige Kombination. Die NIT trägt immer die *original_network_id* mit sich. Sollte die NIT also von ihrem eigenen Netz gesendet werden, ist der Wert dieser beiden IDs gleich.

Referenziert: Transport Streams + Netzwerk

4.5.2 Bouquet Association Table, BAT

Die BAT [1, S. 21] enthält Informationen zu einem *Bouquet*, welches netzwerkübergreifend sein kann und mehrere Services verbindet.

Referenziert: Transport Streams + Netzwerk

4.5.3 Service Description Table, SDT

Die SDT [1, S. 22ff] beschreibt Services innerhalb eines Transportstreams, sowie den Namen des Service Provider und welchen Status der Stream hat (Not running, pausing, running, ...). Ein Service ist eindeutig referenziert durch Transport Stream ID, Original Network ID und Service ID.

4.5.4 Event Information Table, EIT

Die EIT [1, S. 24ff] beschreibt die Events, die chronologisch innerhalb eines Streams auftreten, mit ihrer Startzeit, ihrer Dauer, etc. Der Stream wird durch die Transport Stream ID und Original Network ID angegeben. Ein Event ist eindeutig referenziert durch Transport Stream ID, Original Network ID, Service ID und Event ID.

4.5.5 Weitere Tabellen

- **Time and Date Table (TDT):** Enthält UTC Zeit und Datum
- **Time Offset Table (TOT):** Enthält die Zeitverschiebung

- **Running Status Table (RST):** Die RST aktualisiert den Status eines Events, z.B. wenn dieser früher startet.
- **Stuffing Table (ST):** Invalidiert bestehende Sections.

4.6 Deskriptoren

Ab Seite 29. Hier werden die einzelnen Deskriptoren definiert, die innerhalb bestimmter Tabellen Verwendung finden. Wichtige sind:

4.6.1 Announcement support descriptor

Seite 32. Enthalten in: SDT. Gibt an, welche "Announcements" ein Service unterstützt, also z.B. Road Traffic Flash, Warning Message, News Flash, Weather Flash, etc.

4.6.2 Cell frequency link descriptor

Seite 34. Enthalten in: NIT. Gibt eine komplette Liste an Zellen sowie deren Frequenzen an.

4.6.3 Cell list descriptor

Seite 35. Enthalten in: NIT. Beschreibt ein terrestrisches Netzwerk anhand einer Liste der Zellen mit deren geographischen Daten (Koordinaten).

4.6.4 Component descriptor

Seite 37. Enthalten in: SDT, EIT. Beschreibt den Typ von Stream (stream_content), also Video, Audio und dessen Sprache, sowie den Inhalt genauer (component_type). Ausführliche Tabelle der möglichen Kombinationen dieser Types ab Seite 37. Einige Beispiele:

Content	Component	Description
0x05	0x01	H.264/AVC standard definition video, 4:3 aspect ratio, 25 Hz
0x05	0x0B	H.264/AVC high definition video, 16:9 aspect ratio, 25 Hz (see note 2)

Tabelle 3: Stream Content und Component Type Beschreibungen [1, S. 37]

4.6.5 Content descriptor

Ab Seite 38. Enthalten in: EIT. Beschreibt den möglichen Content eines Events (von Sport bis Drama, etc) anhand zweier Levels (sog. "nibbles").

4.6.6 Data broadcast descriptor

Ab Seite 42. Enthalten in: SDT, EIT. Mit der Data Broadcast ID wird der Typ der Datenkomponente angegeben. Die Werte und ihre Bedeutung finden sich in [5]. Der Wert 0x0005 bezeichnet *Multi Protocol Encapsulation* und somit einen DVB-H Service. Weiters wird das "selector_byte" hier verwendet, um eine so genannte "multiprotocol_encapsulation_info" Struktur einzubinden.

Diese gibt unter anderem den MAC-Adressbereich an, der im Service zur Unterscheidung der Receiver verwendet wird.

Der Data Broadcast ID Descriptor ist eine verkürzte Variante davon und wird in der PMT angegeben.

4.6.7 Terrestrial delivery system descriptor

Ab Seite 47. Enthalten in: NIT. Definiert die Center-Frequenz eines Streams, dessen Bandbreite, sowie einen Indikator, der anzeigt, ob Time Slicing und MPE-FEC verwendet werden. Weiters werden Details zur Übertragung und Modulation angegeben.

Neben dem Terrestrial delivery system descriptor existieren auch andere Deskriptoren für kabelgebundene oder Satelliten-Übertragung.

4.6.8 Extended event descriptor

Ab Seite 49. Enthalten in: EIT. Hier kann für einen bestimmten Event zusätzliche Information übertragen werden, wobei die Information in zwei Spalten übertragen wird: Name und Beschreibung. Hier stehen also viele Möglichkeiten offen, z.B. "Produzent" und der Name des Produzenten.

4.6.9 Frequency list descriptor

Ab Seite 51. Enthalten in: NIT. Dieser Descriptor kann für ein Netzwerk zusätzliche Frequenzen anführen.

4.6.10 FTA content management descriptor

Ab Seite 52. Enthalten in: NIT, BAT, SDT. Hier wird das Content Management beschrieben, also dem Empfänger mitgeteilt, wie mit dem Inhalt verfahren wird. Es gibt 4 grundlegende *Restrictions*, in denen definiert wird, inwieweit der Content angesehen, kopiert, verschoben, und auf den Inhalt von anderen Geräten zugegriffen werden kann.

Dieser Descriptor kann in NIT, SDTs, oder auch in BATs eingesetzt werden und bietet einen Scope an, in dem er gültig ist. Dieser Scope kann durch "größere" überschrieben werden. Ist also ein FTA Descriptor in der NIT enthalten, aber auch in einer SDT, so gilt der Descriptor der SDT.

4.6.11 Linkage descriptor

Ab Seite 54. Enthalten in: NIT, BAT, SDT, EIT. Der Linkage Descriptor wird verwendet, um auf einen anderen Service zu "verlinken", bzw. mehr Information bereitzustellen. Wird der Linkage Descriptor z.B. in der NIT platziert, soll er mehr Informationen für das Netzwerk bieten, indem er auf den passenden Service "zeigt".

Das Feld mit dem Namen "linkage_type" bezeichnet den Typ des Links. Darunter befinden sich: Information Service, EPG Service, Service Replacement Service, Mobile Handover. Der Linkage

Descriptor wird ebenfalls verwendet, um eine INT anzugeben oder einen Transport-Stream zu referenzieren, der diese enthält.

4.6.12 Mosaic descriptor

Ab Seite 58. Enthalten in: SDT, PMT. Ermöglicht das Zusammensetzen eines Video-Streams aus mehreren Videos, die dann am Bildschirm nebeneinander angezeigt werden können (ähnlich wie *Picture in Picture*) und in einer einfachen Tabelle (mit Spalten und Zeilen) aufgeteilt werden.

4.6.13 Near Video On Demand (NVOD) reference descriptor

Ab Seite 63. Enthalten in: SDT. Beschreibt einen Mechanismus, bei dem Services beschrieben werden, die die selben Events zeigen, jedoch zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Dies ermöglicht Near Video On Demand. Dieser Deskriptor verweist nur auf die Services, die wiederum durch *Time shifted event descriptor* und *Time shifted service descriptor* definiert werden.

4.6.14 Service Descriptor

Ab Seite 66. Enthalten in: SDT. Hier wird ein Service genauer beschrieben, inklusive Namen des Service Providers und dessen Typ (z.B. Teletext, Mosaic, MPEG-2 HD, ...).

4.7 Zugriff auf einen DVB-H Service

Mit SI/PSI-Informationen und der Hilfe einer INT (siehe 2.5) ist der Ablauf beim Empfänger, um einen IP-Service zu laden, nach [6, S. 49] folgendermaßen:

1. **Select one of the available transport streams:** Der Empfänger kann hier bereits Streams filtern, die kein Time Slicing und MPE-FEC bieten. Dies wird im TPS (siehe 5.4) angezeigt.
2. **Select one of the available IP platforms:** Hier wird zunächst die NIT nach einer INT durchsucht, es wird eine Platform ID und Service ID für jede INT sub_table angegeben.
3. **Receive the INT sub_table of the IP platform:** Der Empfänger liest die INT sub_table aus. Anhand der Deskriptoren kann er für sich relevante IP-Streams finden.
4. **Select an IP service (IP datagram stream).**
5. **Filter for an IP stream carrying the selected IP datagram stream:** Die Access Parameter geben dem Empfänger einen Service und die Komponente an.

In Abbildung 10 wird beispielsweise die INT auf einem anderen Transportstream übertragen als der gewählte IP-Stream. Die INT wiederum wird von einer NIT auf einem anderen Stream referenziert. Der Zugriff auf die einzelnen Services (INT, IP-Stream) geschieht immer über PAT und PMT der einzelnen Streams.

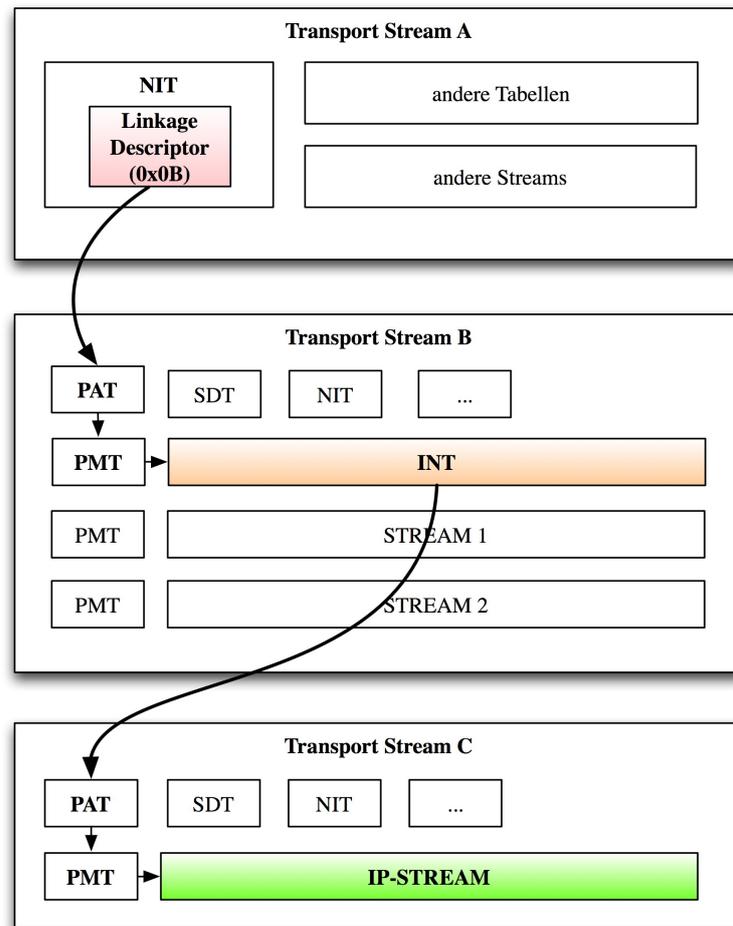


Abbildung 10: Beispiel der Verwendung einer INT

4.8 Analyse eines DVB-Datenstroms

Zur Analyse des Inhalts eines Transportstroms können diverse Tools verwendet werden, eines davon nennt sich *dvbsnoop* und ist ein für Linux erhältliches Kommandozeilentool, welches unter der GNU GPL veröffentlicht ist.

Mit dessen Hilfe kann ein DVB-Datenstrom bis auf den Inhalt komplett analysiert werden. Dies trägt zum Verständnis der Inhaltszusammenhänge wesentlich bei, da MPEG-2 und DVB viele Möglichkeiten bieten, den Inhalt zusammenzustellen. Letztlich liegt dieser Schritt aber beim Content oder Service-Provider.

4.8.1 Analyseablauf

Die Analyse liest also zunächst die einzelnen Transportstrompakete aus, die durch ein Sync-Byte voneinander getrennt sind. Dann wird anhand der PID-Werte der Inhalt der Pakete bestimmt

(primäre Unterscheidung: Content und PSI/SI), dieser dann ausgelesen. Dafür finden die standardisierten Tabellenvorlagen Verwendung. Die darin enthaltenen Bitwerte können von *dvbsnoop* auch in ihre Entsprechungen nach ETSI bzw. ISO-Standards umgewandelt werden. So wird die Center-Frequenz eines Netzwerks von `0x047e8340` (hexadezimal) automatisch in `754000.000` kHz (dezimal) umgewandelt. *dvbsnoop* kann alle gängigen Tabellen auslesen.

4.8.2 Spezielle Analysen

Für die Praxis können andere Analysemethoden auch von Nutzen sein, so zum Beispiel kann anhand der PID die Bandbreite, die der Elementary Stream braucht, ausgelesen werden. Weiters kann die Signalstärke überprüft werden, wenn das Programm "live" Daten von einem DVB-Receiver empfängt.

5 Die physikalische Schicht: DVB-T

Zugrunde liegender Standard: ETSI EN 300 744

Grundlegende Techniken zur Übertragung von DVB-T werden in [2] beschrieben. Prinzipiell wird ein gemultiplexter MPEG-2 Transport Stream zu einem terrestrischen Signal umgewandelt. Die Voraussetzungen dafür sind nur, dass ein Paket aus 188 Bytes besteht (also MPEG-2 konform ist).

5.1 Datenaufbereitung

Um die Daten aufzubereiten, werden folgende Schritte durchgeführt [2, S. 9]:

- transport multiplex adaptation and randomization for energy dispersal
- outer coding (i.e. Reed-Solomon code)
- outer interleaving (i.e. convolutional interleaving)
- inner coding (i.e. punctured convolutional code)
- inner interleaving (either native or in-depth)
- mapping and modulation
- Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) transmission

5.2 Übertragungsmodi

Es existieren drei Übertragungsmodi (nach [2, S. 10]), die sich durch verschiedene Parameter in der Datenaufbereitung unterscheiden. Diese werden später noch voneinander differenziert.

Two modes of operation, a "2K mode" and an "8K mode", are defined for DVB-T and DVB-H transmissions. The "2K mode" is suitable for single transmitter operation and for small SFN networks with limited transmitter distances. The "8K mode" can be used both for single transmitter operation and for small and large SFN networks.

Exclusively for use in DVB-H systems, a third transmission mode the "4K mode" is defined in annex F, addressing the specific needs of Handheld terminals. The "4K mode" aims to offer an additional trade-off between transmission cell size and mobile reception capabilities, providing an additional degree of flexibility for DVB-H network planning.

5.3 Die einzelnen Schritte der Datenaufbereitung

Prinzipiell sind zwei Modi zu unterscheiden: Der Non-hierarchical Mode und der Hierarchical Mode. Letzterer arbeitet mit zwei Streams, bei denen der zweite eine nicht so hohe Priorität besitzt, so wäre in diesem Fall DVB-H der erste, DVB-T der zweite Stream - es findet kein Multiplexing der beiden statt. Folgende Beschreibungen beziehen sich jedoch nur auf den Non-hierarchical Mode.

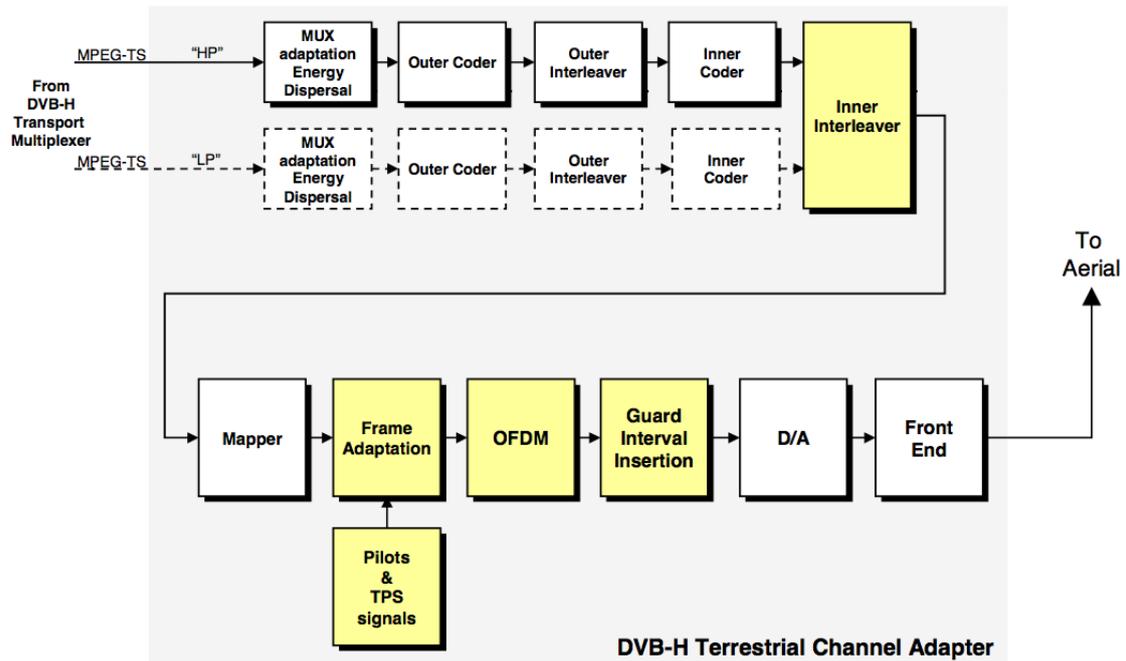


Abbildung 11: Signalverarbeitung in DVB-T [2, S. 52, Abb. F.1]

5.3.1 Multiplex Adaptierung und Randomisierung

Die vom MPEG-2 Multiplexer kommenden Pakete werden zunächst randomisiert bzw. "scrambled". Dafür wird ein genau definiertes Muster verwendet [2, S. 11]. Die Bedingung dafür ist, dass die eingehenden Pakete genau 188 Byte lang sind (MPEG-2 TS), da das Sync Byte zwar in seinem Wert umgekehrt wird, die Reihenfolge jedoch beibehalten wird. Die Randomisierung erfolgt alle 8 Pakete mit neuen Werten, sodass ein umgekehrtes Sync Byte den Start der neuen Gruppe anzeigt.

5.3.2 Äußere Codierung und Interleaving

Zu jedem Paket wird nun ein Reed-Solomon-Code mit $RS(204,188, t=8)$ berechnet, welcher das Paket auf 204 Byte vergrößert und es ermöglicht, bis zu 8 fehlerhafte Bytes zu erkennen. Diese Pakete werden nun interleaved.

Interleaving der Daten wird verwendet, um Fehler in burstartigen Übertragungen klein zu halten. Es werden alle zusammenhängenden Daten aufgeteilt und getrennt gesendet. Stellt man sich die Übertragung zeilenweise vor, so werden diese nach dem Interleaving z.B. spaltenweise übertragen, sodass ein Bitfehler so wenig andere Bits wie möglich unbrauchbar macht. Das Interleaving wird blockweise angewendet, also für ganze Pakete, wobei das Sync Byte an seiner Stelle bleibt.

5.3.3 Inneres Codieren

Es wird zur inneren Codierung ein so genannter *Punctured Convolutional Code* eingesetzt, welcher aus einem Input zwei Outputstreams liefert. Dabei werden die eingehenden Bits auf ein Codewort abgebildet, welches länger ist als der Input. Die Daten werden also "gespreizt" - dadurch wird eine Redundanz erreicht. Das *Puncturing* bezieht sich darauf, dass von diesen Outputstreams nur bestimmte Bits übertragen werden, wobei die Aufteilung (welches Bit verlässt welchen Output) durch die Coderate bestimmt ist.

Diese zwei parallelen Outputs können nun hierarchisch versandt werden, werden aber meistens wieder serialisiert. Ein Beispiel findet sich auf [2, S. 14]. Die Coderate für den *Punctured Convolutional Code* muss zum Dekodieren in den Parametern mitgesendet werden. Optimalerweise ist diese $1/2$ oder $2/3$, je höher, desto weniger Fehlerkorrekturleistung ergibt der Code jedoch. Das Dekodieren selbst ist aufwändiger, es kommt in den meisten Fällen ein *Viterbi-Decoder* zum Einsatz.

5.3.4 Inneres Interleaving

Wie bereits beim äußeren Interleaving, bei dem ganze Pakete (204 Bytes groß) interleaved wurden, findet hier das Interleaving innerhalb der Pakete statt, also bitweise. Je nach verwendeter Modulationsart (QPSK, 16-QAM, 64-QAM) wird der Bistream in mehrere Substreams unterteilt. Bei QPSK sind dies 2, bei 16-QAM 4 und bei 64-QAM 6 Streams. Dann wird jeder Substream in einem eigenen Interleaver nach einer genauen Formel auf Bitebene bearbeitet, wobei jeder Interleaver wiederum seine eigene Permutationsfunktion verwendet.

Die Blockgröße beträgt hier 126 Bit. Für jedes OFDM-Symbol muss daher im 2k-Mode der Interleave-Prozess 12-mal wiederholt werden, im 4k-Mode 24-mal, sowie im 8k-Mode 48-mal. Der speziell für DVB-H spezifizierte *In-Depth-Interleaver* ermöglicht es, im 4k-Mode zweimal 24×126 Bits zu interleaven; im 2k-Mode viermal 12×126 Bits (siehe [2, S. 52ff]). Dieser muss zur korrekten Dekodierung auch signalisiert werden.

Die Substreams dienen als Input für den *Symbol Interleaver*. Je nach Übertragungsart (siehe 5.2) sollen hier eine bestimmte Anzahl von Bits auf ein OFDM-Symbol gemappt werden, wobei so ein Symbol wiederum aus Carriern besteht. Der 2k-Mode besitzt eine Blockgröße von 1512 Carriern, der 4k-Mode 3024, der 8k-Mode 6048. Auch hier wird eine Permutationsfunktion verwendet, wobei diese ebenfalls generiert wird.

5.3.5 Modulationsverfahren

Nun werden die Modulationsverfahren angewendet. Alle Carrier in einem OFDM-Frame sind auf eine der folgenden Arten moduliert. Es ergeben sich je nach Modulationsart so genannte "Konstellationen" für die Bitanordnung.

- QPSK
- 16-QAM (wird in Technical Recommendations empfohlen)

- 64-QAM
- non-uniform 16-QAM
- non-uniform 64-QAM

Der Parameter für diese Modulation ist im Falle einer hierarchischen Übertragung α . Dieser kann die Werte 1, 2 und 4 annehmen und wird z.B. auch im TPS Channel übertragen. α berechnet sich aus dem Abstand zweier Konstellationspunkte mit verschiedenen High-Priority-Values dividiert durch den Mindestabstand zweier beliebiger Konstellationspunkte. Wie die Werte gemappt werden, ist ab [2, S. 21] ersichtlich.

5.3.6 Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDM überträgt die Daten auf zueinander orthogonal stehenden Frequenzen, sodass diese Träger einander nicht übersprechen und somit die Übertragungsqualität besser wird. Die Daten sind in Frames organisiert, wobei ein Frame 68 Symbole trägt. 4 Frames ergeben einen Super-Frame. Ein Symbol wiederum besteht aus Carriern und beinhaltet einen "useful Part" sowie ein "Guard Interval", welches festgelegt wird. Die Anzahl der Carrier hängt vom Modus ab.

Zusätzlich zu den Daten werden in den Frames auch *Pilot Cells* übertragen, die zur Synchronisierung verwendet werden. *Scattered Pilot Cells* treten dabei verteilt auf den Carriern auf, wohingegen *Continual Pilot Cells* auf allen Symbolen eingesetzt werden. Diese erhalten zur Übertragung eine höhere Amplitude. Weiters werden TPS Carrier übertragen, die die Informationen des TPS Channels tragen.

ODFM Parameter	2k	4k	8k
Anzahl der Carrier	2048	4096	8192
Anzahl der modulierten Carrier	1705	3409	6817
Anzahl der Datencarrier	1512	3024	6048
OFDM Symbol Dauer (μ s)	224	448	896
Guard Intervall Dauer (μ s)	7,14,28,56	14,28,56,112	28,56,112,224
Carrier Spacing (Hz)	4464	2232	1116
Transmitter Distanz (km)	17	33	67

Tabelle 4: Parameter für DVB-H OFDM Übertragung bei 8 MHz, nach [13]

Das Signal berechnet sich schlussendlich aus diesen Carriern

5.4 Transmission Parameter Signalling

Im TPS wird beschrieben, welche Parameter für die Codierung des OFDM-Signals verwendet wurden. Es enthält so:

- den Parameter α der Modulierung
- das Guard Interval
- die Code Raten der Inneren Codierung

- den Transmission Mode (2k, 4k, 8k) sowie die hierarchischen Informationen
- die Framenummer innerhalb eines Superframes
- die Identifizierung der Zelle

Der TPS Channel wird in eigenen Carriern parallel zu den Nutzdaten in OFDM übertragen. Ein TPS Block streckt sich über 68 Bit. Speziell für DVB-H existiert ein Annex im Standard, welcher die zusätzlichen Signalisierungsoptionen im TPS für DVB-H angibt [2, S. 57ff]. Auch die TPS-Daten sind fehlergeschützt und moduliert (mittels DBPSK).

6 Performance und Parameter

6.1 Mobiles und klassisches Fernsehen

Mobiles Fernsehen unterscheidet sich in seinem Konsumverhalten stark vom dem klassischen TV. Klassische Fernsehprogramme werden zuhause normalerweise passiv angesehen. Die Fernbedienung ist das wichtigste Werkzeug zum "Zappen". Der Zuseher ist von klassischem Fernsehen folgende Eigenschaften gewohnt (nach [12]):

- **Sofortiges Einschalten:** Der Inhalt wird sofort nach dem Einschalten des Fernsehers wiedergegeben.
- **Kontinuierlicher Inhalt:** Nach dem Ende eines Inhalts beginnt ein neues Programm. Es gibt keine "Sendepausen".
- **Sofortiges Umschalten:** Das Wechseln von einem Kanal zum anderen sollte in kürzester Zeit stattfinden, also in Sekundenbruchteilen.
- **Verlässlicher Service:** TV-Programme sind nach der Einrichtung des Fernsehers *immer* verfügbar.

Diese Eigenschaften (und einige weitere) werden von DVB-H nicht erfüllt. So liegt die so genannte *Tune In Time*, also die Zeit, die ein Empfänger braucht, um ein Video anzuzeigen, oft im Sekundenbereich. Zwar ist der Inhalt der selbe wie im klassischen TV, da die selben Kanäle ausgestrahlt werden, doch dauert auch das Kanalschalten wesentlich länger als beim herkömmlichen Fernsehen. Außerdem ist der Mobile TV Service niemals verlässlich verfügbar. Je nach Geschwindigkeit und Positionierung des Empfängers kann sich das Signal (und damit das Bild) verschlechtern oder auch ganz ausfallen. In manchen Gegenden ist Mobile TV auf Grund der mangelnden Netzabdeckung überhaupt nicht verfügbar.

6.2 Grundlegende Kriterien

Um dem Zuseher rasches Zapping (zwischen 1,5 und 3 Sekunden) zu ermöglichen und allgemein eine gute Qualität zu bieten, müssen bestimmte Vorgaben eingehalten werden. Es sei jedoch erwähnt, dass es hier kein "Optimum" gibt. So muss immer ein gewisser Tradeoff zwischen zwei Parametern gefunden werden. Diese sind unter anderem:

- Die **Länge der Off-Periode**, in der kein Burst auftritt sollte natürlich klein gehalten werden (Time Slice OFF Period). Je länger die Burstperioden sind, umso länger dauert jedoch der Zugriff auf einen Service und auch das Wechseln von Kanälen. Ohne Time Slicing würde der Kanalwechsel einen kompletten Signalscan benötigen und somit sehr lange dauern, es sei denn, der Empfänger besitzt zwei voneinander unabhängige Empfangseinheiten. Andererseits hängt diese Zeit mit dem stromsparenden Effekt stark zusammen. Ein einfaches Modell: Arbeitet der Empfänger z.B. nur 10% der Zeit und kann die verbleibenden 90% abgeschaltet werden, so werden bis zu 90% Energie gespart.
- Der **Stromverbrauch** sollte die Grenze von 100 mW nicht überschreiten, da die Benutzer ihr mobiles Endgerät auch zur weiteren Kommunikation verwenden müssen und das Gerät

somit nicht verwendet wird, bis der Akku leer ist. Ein wesentliches Kriterium dafür ist die Bitrate der Bursts: Diese sollte normalerweise beim zehnfachen der Bitrate des Streams liegen, also bei einem 400 kBit/s Stream ca. 4 MBit/s. Weiters benötigt die Verwendung von MPE-FEC zusätzliche Energie.

- Je höher die **Bitrate der Elementary Streams**, umso mehr Services können angeboten werden, dies erhöht auch die Zapping-Geschwindigkeit, sollte das Programm am selben ES liegen. Es sollte also versucht werden, möglichst viele Programme innerhalb eines ES zu streamen und die Bitrate dieses so groß wie möglich zu halten. Dafür bietet sich das Einrichten eines eigenen DVB-H Multiplexes an, der keinen DVB-T Stream enthält.
- Die **Synchronisationszeit** des Empfängers sollte möglichst gering sein. Je früher DVB-H Parameter übertragen werden (z.B. durch TPS), umso schneller ist das Empfangen möglich.
- Die Zeit, um eine der **wichtigen Tabellen (NIT, INT)** korrekt zu empfangen, sollte ebenfalls gering sein. Da diese nicht so stark fehlergeschützt sind, ist erst ab ca. 2 Sekunden mit 85% Wahrscheinlichkeit zu rechnen, diese fehlerfrei zu erhalten.

6.3 Qualität und Paketverluste

Es ist nicht einfach, ein bestimmtes Maß für Qualität in mobiler Übertragung zu finden. So kommen zum Beispiel die Paketverlustrate in Frage, dieses Kriterium kann jedoch nur auf höheren Schichten gemessen werden. Paketverluste treten jedoch erst dann auf, wenn innerhalb eines Paketes so viele Bitfehler entstehen, dass diese nicht mehr durch den Fehlerschutz korrigiert werden können (z.B. MPE-FEC).

Wie viele Bitfehler entstehen, ist letztlich abhängig von der **Carrier To Noise Ratio**, auch als C/N bekannt. Änderungen in der C/N-Ratio bewirken Fehler in den darüber liegenden MPE-FEC Bursts.

Wird ein MPE-FEC Frame verloren (durch zu viele Bitfehler), so fallen die Daten eines gesamten Bursts aus. Man spricht hier von der **MPE-FEC Frame Error Rate**. Diese wird berechnet durch [6, S. 76]:

$$\text{MFER} = \frac{\text{Anzahl der fehlerhaften Frames} \cdot 100}{\text{Anzahl der Frames}}$$

Die Technical Recommendations zu DVB-H gehen davon aus, dass der so genannte Degradation Point von DVB-H bei ca. 5% MFER liegt, weiters soll eine Erhöhung der Carrierstärke um 0,5 bis 1 dB die MFER auf ca. 1% senken [6, S. 76]. Der IP-Stream sollte bei einer MPE-FEC Paketverlustrate bis zu 10% fehlerfrei wiedergegeben werden können [6, S. 18], jedoch versucht man in der Praxis immer, diese 5% MFER zu erreichen - auch für Tests wird dieser Wert angenommen.

Es ist nicht einfach, die Auswirkungen eines Paketfehlers auf das Video abzuschätzen. Wichtiger als festzustellen, welche Fehler genau eintreten, ist aber herauszufinden, ab wann die Qualität des Videos nicht mehr akzeptabel ist. Letztlich hängt dies aber auch vom Decoder ab, da es hier

einerseits sehr primitive Varianten gibt, andererseits auch sehr fortgeschrittene Methoden, Fehler zu verstecken. Diese sollten jedoch zunächst außer Betracht gezogen werden.

6.4 Antenne

Die Antenne stellt ein weiteres Problem dar. Mobile Empfänger benötigen auf Grund der Größenanforderungen sehr kleine Antennen. Insbesondere der menschliche Körper kann das Signal entweder absorbieren oder reflektieren und somit Empfangsfehler verursachen. Je nach verwendeter Frequenz finden unterschiedliche Gain-Einstellungen statt [6, S. 77].

6.5 Netzwerkplanung

Da mobile Endgeräte im Unterschied zu fest installierten Empfängern bzw. deren Antennen meistens einer Bewegung ausgesetzt sind, ist ein durchgängig guter Empfang nicht einfach zu realisieren. Dazu kommt die geringe Größe der Antennen. Mit dem 2k-Mode wird ein guter Empfang bei Bewegung sichergestellt, doch dieser ist nicht effektiv zu implementieren, da er die geringste Zellgröße bietet und somit keine weiten Bereiche mit einer Frequenz abdecken kann.

Da bei dessen Verwendung der Empfang bei Bewegung sehr schlecht ist, stellt der 8k-Mode keine Alternative dar, auch wenn er größere Zellen ermöglichen würde. Hier ist eine maximale Geschwindigkeit von 65 bis 86 km/h möglich [6, S. 62].

Der 4k-Mode von DVB-H bietet also den besten Kompromiss aus beiden bereits existierenden Modi. Es sei an dieser Stelle erwähnt dass die Parameter auf physikalischer Ebene kaum die Qualität des zu übertragenden Videos bessern können, lediglich die Netzwerke vergrößern und ihre Kapazität steigern.

Netzklassen In den Technical Recommendations werden vier Netzklassen beschrieben, die sich in der Empfangssituation voneinander unterscheiden [6, S. 80]. Class A und B gehen von so genannter "portable Reception" aus, also kaum Bewegung, wohingegen Class C und D "mobile Reception" implizieren, also schnelle Geschwindigkeiten:

- **Class A:** Empfang außerhalb von Gebäuden in weniger als 1,5 Meter Bodenhöhe mit sehr geringer oder keiner vorhandenen Bewegung.
- **Class B:** Empfang innerhalb von Gebäuden, mit einem Fenster in einer Wand, ebenfalls in 1,5 Meter Bodenhöhe.
- **Class C:** Empfang außerhalb von Gebäuden bei Bewegung
- **Class D:** Empfang innerhalb sich bewegender Objekte (Autos, Zug, etc.)

Empfängerkategorien Weiters werden drei Kategorien von Terminals unterschieden. Diese sind:

- **Kategorie 1:** Terminals, die in Autos integriert sind, deren Antenne also fixer Bestandteil der Karosserie ist.

- **Kategorie 2:** Tragbare TV-Sets, die schlussendlich stationär verwendet werden (Kategorie 2a) oder auch während des Empfanges bewegt werden (Kategorie 2b). Die Antenne befindet sich dabei außerhalb und wird an das Terminal angeschlossen.
- **Kategorie 3:** Tragbare Terminals, die die Antenne bereits integrieren. Dabei wird meist von Mobiltelefonen ausgegangen, die auch andere Services wie GSM, GPRS und UMTS unterstützen.

Literatur

- [1] ETSI EN 300 468 V1.9.1, *Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for Service Information (SI) in DVB systems*, Final Draft, November 2008
- [2] ETSI EN 300 744 V1.6.1, *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television*, Jänner 2009
- [3] ETSI EN 301 192 V1.4.2, *Digital Video Broadcasting (DVB); DVB specification for data broadcasting*, April 2008
- [4] ETSI EN 302 304 V1.1.1, *Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)*, November 2004
- [5] ETSI TR 101 162 V1.2.1, *Digital Video Broadcasting (DVB); Allocation of Service Information (SI) and Data Broadcasting Codes codes for Digital Video Broadcasting (DVB) systems*, Jänner 2001
- [6] ETSI TR 102 377 V1.2.1, *Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H Implementation Guidelines*, November 2005
- [7] ETSI TS 101 154 V1.8.1, *Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 Transport Stream*, Juli 2007
- [8] Himmanen et al., *Objectives for New Error Criteria for Mobile Broadcasting of Streaming Audio-visual Services*, in: EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Volume 2008
- [9] ISO/IEC 13818-1, *Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems*, 2007
- [10] ISO/IEC 14496-10, *Information technology — Coding of audio-visual objects — Part 10: Advanced Video Coding*, Second Edition, 01. Oktober 2004
- [11] ITU-T Rec. H.222.0 (2000E), Februar 2000
- [12] Knoche, Hendrik and McCarthy, John D. *Design requirements for mobile TV*, in: Proceedings of the 7th international conference on Human computer interaction with mobile devices & services, 2005
- [13] Kornfeld and May. *DVB-H and IP Datacast - Broadcast to Handheld Devices*, in: IEEE Transactions on Broadcasting, 2007
- [14] Pereira, Fernando and Touradj Ebrahimi. *The Mpeg-4 Book*. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2002.
- [15] Wenger, Stephan. *H.264/ACV Over IP*, in: IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13, No. 7, Juli 2003