

Java- basierte Entwicklung einer  
Lernsoftwarekomponente über die grundlegende  
Fehlererkennung / - korrektur der Compact Disc

Studienarbeit

vorgelegt am  
Lehrstuhl Praktische Informatik IV  
Prof. Dr. W. Effelsberg  
Fakultät für Mathematik und Informatik  
Universität Mannheim

Juli 2003

von  
Barbara Herzog  
aus Kleinkahl

Betreuer: Dipl.-Ing. Ref. Jur. Hans Christian Liebig



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation .....	1
1.2	Ziele .....	2
<b>2</b>	<b>E-Learning</b>	<b>3</b>
2.1	Klassifikation von E- Learning Systemen .....	3
2.2	Instruktionsdesign .....	5
2.3	Vor- und Nachteile des E-Learning .....	7
2.4	Usability im Applet .....	8
<b>3</b>	<b>Die CD- Standards</b>	<b>8</b>
3.1	Red Book .....	9
3.2	Yellow Book .....	9
3.3	Green Book .....	10
3.4	White Book .....	10
3.5	Orange Book .....	10
3.6	Blue Book .....	11
<b>4</b>	<b>Aufbau einer Compact Disc</b>	<b>11</b>
4.1	Physikalischer Aufbau .....	11
4.2	Logischer Aufbau .....	12

<b>5 Fehlerkorrekturcodes</b>	<b>15</b>
5.1 Mathematische Grundlagen .....	15
5.1.1 Reed Solomon Code .....	15
5.1.2 Galoisfelder .....	16
5.1.3 Generatorpolynom .....	17
5.2 Cross Interleaved Reed Solomon Code .....	18
5.3 CRC und RSPC .....	20
<b>6 Architektur des Applets</b>	<b>21</b>
6.1 Framework CATS .....	21
6.2 Instruktionsdesign .....	22
6.2.1 CIRC .....	22
6.2.2 Onlinehilfe .....	23
6.3 Technisches Design .....	32
6.3.1 CIRC- Encoding .....	32
6.3.2 CIRC- Decoding .....	34
<b>7 Implementation des Applets</b>	<b>34</b>
7.1 Klassendiagramm .....	35
7.2 Die Klasse Status .....	35
7.3 Die Klassen des Cross Interleaved Reed Solomon Codes .....	36
7.4 Die Klassen des CRC und des RSPC .....	38
<b>8 Zusammenfassung &amp; Ausblick</b>	<b>39</b>
8.1 Zusammenfassung .....	39
8.2 Ausblick .....	39

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prinzip eines tutoriellen Systems	5
Abbildung 2:	Aufbau der Compact Disc	12
Abbildung 3:	Sektoraufteilung der CD-DA	13
Abbildung 4:	Sektoraufteilung der CD-ROM Mode 2	14
Abbildung 5:	Sektoraufteilung der CD-ROM Mode 2	14
Abbildung 6:	Sektoraufteilung der CD-ROM Mode 2 Form 1/CD-I	14
Abbildung 7:	Sektoraufteilung der CD-ROM Mode 2 Form 2/ CD-I	15
Abbildung 8:	Systematisches Reed Solomon Codewort	16
Abbildung 9:	Encoding des CIRC	18
Abbildung 10:	Decoding des CIRC	20
Abbildung 11:	Client- Server Framework CATS	21
Abbildung 12:	Screenshot "Overview"	24
Abbildung 13:	Screenshot "CIRC"	25
Abbildung 14:	Screenshot "Delay"	26
Abbildung 15:	Screenshot "Q-Parity"	27
Abbildung 16:	Screenshot "GF(2 <sup>4</sup> )"	28
Abbildung 17:	Screenshot "Interleaving"	30
Abbildung 18:	Klassendiagramm	35

# Abkürzungsverzeichnis

CIRC	Cross Interleaved Reed Solomon Code
CD	Compact Disc
CD-ROM	Compact Disc Read Only Memory
CD-DA	Compact Disc – Digital Audio
CD-ROM/XA	Compact Disc- Read Only Memory/ Extended Architecture
CATS	Communication and Tutoring System
EDC	Error Detection Layer
ECC	Error Correction Layer
RSPC	Reed Solomon Product- like Code
CRC	Cyclic Redundancy Code
CLV	Constant Linear Velocity

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Heute ist es üblich, dass jeder Computer ein CD-ROM Laufwerk besitzt, und in nahezu jedem Haushalt ein CD- Player existiert. Die Compact Disc ist mittlerweile ein beliebtes Speichermedium, was vor allem daran liegt, dass man sie relativ kostengünstig selbst beschreiben kann. Beim täglichen Gebrauch bleibt sie jedoch nicht vor Schmutz, Staub und Kratzern verschont. Dies kann dazu führen, dass Daten nicht mehr korrekt ausgelesen werden können. Durch Speicherung zusätzlicher Paritätsbits ist es möglich die fehlerhaften Bits zu rekonstruieren. Dies hat zwar keine Qualitätseinbußen zur Folge, aber es wird Speicherplatz auf der CD benötigt und schmälert somit den Platz der Nutzdaten. Diese Paritätsbits werden durch sogenannte Fehlerkorrekturcodes berechnet.

Es ist jedoch nicht immer möglich, Fehler zu verbessern. Nicht korrigierbare Fehler, wie zum Beispiel tiefe, lange Kratzer werden auf verschiedene Art und Weise behandelt. Bei einer Audio- CD werden durch Stummschalten die fehlerbeinhalteten Bits nicht ausgelesen, das heißt, dass kurzfristig beim Abspielen der Musik kein Ton zu hören ist. Bei kleineren Fehlern, die auch nicht korrigierbar sind, besteht die Möglichkeit, durch Interpolation den verfälschten oder fehlenden Wert mit Hilfe von Nachbarwerten zu ermitteln.

CD-ROM's haben sogar eine zusätzliche Fehlererkennungs- und teilweise auch eine zusätzliche Fehlerkorrekturebene. Der Hintergrund liegt darin, dass der Verlust von Computerdaten wesentlich kritischer ist und deshalb müssen diese Daten besser geschützt werden müssen.

Der einfache Fehlerkorrekturmechanismus, der sogenannte *Cross Interleaved Reed Solomon Code* (CIRC), ist hardwaremäßig in CD- ROM Laufwerken und CD-Playern implementiert und decodiert die codierten Daten. Durch diese Fehlerkorrektur erreicht der CIRC eine Bitfehlerrate von  $10^{-8}$ . Die zusätzlich Korrektorebene der CD-ROM wird vom CD-ROM Treiber unterstützt. Hier lässt sich eine Bitfehlerrate von  $10^{-12}$  erreichen.<sup>1</sup> Diese Fehlerraten genügen, um die Langlebigkeit einer Compact Disc zu sichern.

---

<sup>1</sup> Steinbrink, B.: Compact mit Format, in c't Heft 2/93 ( Seite 178 )

## 1.2 Ziele

Diese Studienarbeit soll nun Studenten und natürlich auch Interessierten einen kleinen Einblick in die Mächtigkeit der verschiedenen Codierungstheorien ermöglichen, die bei den Compact Discs verwendet werden.

Ein kritischer Punkt war, wie man einem Interessierten die Thematik näher bringen konnte, ohne dass er nach kurzem Überfliegen das Programm beendet, weil er wegen komplizierter Algorithmen den Überblick verloren hat. Das Problem wurde gelöst, indem ein höheres Abstraktionsniveau verwendet wurde, um somit die Aufgaben zu vereinfachen. Die Arbeit trifft trotzdem den Kern der Codierungstheorien und bringt einem auf spielerische Art und Weise das näher, was eigentlich jeden schon immer mal interessiert hat.

In diesem Übungsapplet kann man die verschiedenen Berechnungen der Codes erlernen. Mit zahlreichen Übersichten und Berechnungshilfen wurde dafür gesorgt, dass man stets den Überblick bewahrt und trotzdem einen Blick hinter diese interessanten Codes werfen kann.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut:

In Kapitel 2 wird erläutert, warum diese Art von Onlinelernen eingesetzt wird, welche Vor- und Nachteile es besitzt und wie, basierend auf diesem Hintergrund, das Applet zu bewerten ist.

Kapitel 3 beschreibt die Standards der einzelnen CD- Formate, in denen alle Details der Formate festgehalten wurden. So natürlich auch die Fehlersicherung.

Im nächsten Kapitel werden die physischen und technischen Daten einer CD erläutert.

Mit Kapitel 5 beginnt die Einführung der mathematischen Hintergründe der Codierungstechniken und wie sie speziell bei der CD benutzt werden.

Im weiteren wird die Instruktion und die Architektur des erstellten Übungsapplet näher erläutert. Insbesondere wird der Zusammenhang mit dem System CATS dargelegt.

In Kapitel 7 werden die Programme, die ihm Rahmen dieser Studienarbeit erstellt wurden, besprochen.

Abschließend gibt Kapitel 8 eine kurze Zusammenfassung. Überdies wird die Entwicklung von Datenspeichern aufgezeigt und auf die ständig steigende Datenflut aufmerksam gemacht.



## 2 E-Learning

„E-Learning sind Systeme, die zeit- und ortsunabhängig Lerninhalte mittels digitaler Medien an Gruppen und Individuen vermitteln.“<sup>2</sup>

Trotz vieler verschiedener Definitionen des E- Learning ist der Kerngedanke nahezu überall enthalten. Es ist ein Lernsystem, das ein Anwender an jedem beliebigen Ort und zu jeder beliebigen Zeit bearbeiten kann, sofern er die technischen Mittel besitzt. Es sollen Lerninhalte vermittelt werden, die theoretisch unendlich viele Lernende gleichzeitig erlernen können, ohne dass sie zusammen in einem Raum sitzen müssen.

Es existieren verschiedene Ausprägungen des E- Learning, von denen im weiteren einige näher untersucht werden.

### 2.1 Klassifikation von E- Learning Systemen

Betrachtet man E- Learning Systeme hinsichtlich technischer Aspekte, ist als grundlegende Komponente die Art des Datenträgers zu nennen. Es existieren sowohl Systeme, die online zur Verfügung stehen als auch solche, die für die Offline- Bearbeitung erstellt wurden. Offline Systeme sind zum Beispiel auf CD oder DVD gebrannt oder können aus dem Internet heruntergeladen werden, um sie anschließend offline zu bearbeiten. Online Systeme kann man direkt online bearbeiten.

Der wesentlichste Unterschied zwischen Online und Offline Systemen ist jedoch die Art der Kommunikation zu anderen Usern oder zum Softwareentwickler. Während man bei Online- Systemen direkt über einen Chat oder ähnliches mit anderen Usern, die auch online sind, Kontakt herstellen kann, ist dies bei Offline Systemen etwas aufwendiger bzw. asynchron. Wenn man eine E- Mail an den Entwickler oder andere User schreibt, besteht die Möglichkeit, dass erst nach Stunden oder sogar Tagen eine Rückmeldung kommt.

Es existieren drei große Lerntheorien, auf denen die Grundtypen des E- Learning aufbauen.

**Behavioristischer Ansatz** In diesem Ansatz wird davon ausgegangen, dass sich das Verhalten des Lernenden durch äußere Reize leiten lässt. Es existiert eine Stimuli- Response- Verbindung. Die Informationen, die der Lernende erhält, sind Hinweisreize, die ihn zu einem bestimmten Verhalten anregen sollen. Er muss deshalb zu jedem Zeitpunkt wissen, ob er sich

---

<sup>2</sup> E- Learning- was ist das, Html- Dokument,

URL: [http://mail.phgraz.at/~wakoch/lernen/e\\_learning/elearning\\_definition.htm](http://mail.phgraz.at/~wakoch/lernen/e_learning/elearning_definition.htm)

richtig verhält, deshalb wird seine Verhaltensweise durch das System bekräftigt indem er Rückmeldungen von diesem bekommt.<sup>3</sup>

Die Lehrstrategien in diesem Ansatz werden zum Beispiel durch multiple choice Aufgaben oder durch festgelegte Abläufe (sogenannte guided tours ) realisiert.

**Kognitivismus** Die kognitive Lerntheorie beruht auf den Theorien von Piaget (1977 ) und Bruner (1966 ). Der Lernende wird hier als Individuum gesehen und ist nicht durch äußere Reize steuerbar. Vielmehr soll er die Reize selbstständig aufnehmen und verarbeiten. Das bedeutet, dass er hauptsächlich durch seine Erfahrungen lernt. Die Struktur des Kognitivismus ist so aufgebaut, dass der Lernende die Aufgabe wahrnehmen, sie verstehen und verarbeiten muss. Das angeeignete Wissen soll ein Abbild der externen Realität darstellen.<sup>3</sup>

**Konstruktivismus** Noch stärker als beim Kognitivismus steht die Aktivität des Lernenden im Vordergrund. Er soll die äußeren Reize aktiv verarbeiten und wird nicht mehr gesteuert. Er muss sich den Lernprozess selbstständig erarbeiten und auch die zur Verfügung stehenden Lernmaterialien dienen nur noch zur Unterstützung. Das Verhalten des Lernenden, welches er sich selbst in einem Erkenntnisprozess angeeignet hat, ist rein subjektiv zu sehen.<sup>3</sup>

Die Auswahl der Grundtypen des E- Learning ist nicht nur streng nach den Gesichtspunkten der Lerntheorien zu unterteilen. Vielmehr müssen unter anderem auch die technische Machbarkeit oder die Entwicklungskosten berücksichtigt werden. Im weiteren werden zwei wichtige Systeme vorgestellt.<sup>3</sup>

**Tutorielle Systeme** Tutorielle Systeme, häufig auch *Computer Based Training* genannt, haben eine feste Instruktionsreihenfolge. Der Lernende wird durch das Programm geführt und kann den Ablauf nicht selbst bestimmen. Das System ist ein linear organisiertes Programm und läßt kaum eine Art von Interaktivität zu. Das System orientiert sich an der behavioristischen Sichtweise. Es enthält nur die zu bearbeitenden Übungskomponenten und gibt dem User keine Informationen mit auf den Weg. Die Instruktionssequenz eines tutoriellen Systems zeigt die folgende Abbildung.

---

<sup>3</sup> Kammerl, R.: Computerunterstütztes Lernen- Eine Einführung, in: Computergestütztes Lernen, München: Oldenbourg Verlag, 2000 (S.7-22)

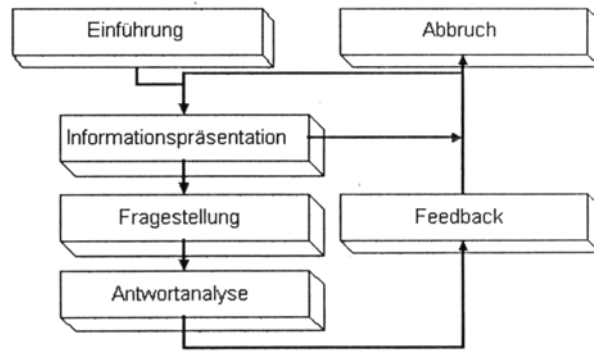


Abbildung 1: Prinzip eines tutoriellen Systems

Über eine kurze Einführung gelangt der User zu der Informationspräsentation. Hat er die Informationen verarbeitet, gelangt er zur eigentlichen Aufgabe ( Fragestellung ). In der Antwortanalyse wird überprüft, ob seine Antwort korrekt ist und darüber erhält er eine Rückmeldung ( Feedback ). Bei falscher Antwort kommt er wieder zurück zur Informationspräsentation, während er bei einer richtigen Antwort zur nächsten Informationspräsentation gelangt. In komplexeren Systemen werden die Aufgaben algorithmisch, per Zufall oder unter Berücksichtigung des Schwierigkeitsgrades gestellt.

Das tutorielle System ist eines der ältesten E- Learning Systeme. Sein Vorteil liegt in der kostengünstigen Entwicklung. Nachteilig ist anzumerken, dass der Lernende keine aktive Rolle besitzt.<sup>4</sup>

**Adaptive Systeme/ Intelligente Tutorielle Systeme** Adaptivität von Lernprogrammen soll das individuelle Lernen fördern. Hierzu ist es nötig, dass das System den Lernenden unterstützen kann, ihm jedoch einen Handlungsspielraum einräumt. Intelligente tutorielle Systeme sind eine Erweiterung zu den normalen tutoriellen Systemen. Diese intelligenten Systeme sollen durch Anpassungen des Schwierigkeitsgrades den Anwender fordern, aber nicht überfordern.<sup>4</sup>

## 2.2 Instruktionsdesign

„ Interaktivität scheint das <<Zauberwort>> des Lernens mit neuen Medien zu sein“<sup>5</sup>

Unter Interaktivität eines Programms versteht man die dialogähnliche Kommunikation mit dem User. Durch die bereits oben erwähnte Adaptivität ist eine solche Kommunikation mög-

<sup>4</sup> Kammerl, R.: Computerunterstütztes Lernen- Eine Einführung, in: Computergestütztes Lernen, München: Oldenbourg Verlag, 2000 (S.7-22)

<sup>5</sup> Niegemann, H.: Neue Lernmedien: konzipieren, entwickeln, einsetzen, 1. Auflage, Bern: Hans Huber Verlag; 2001 ( S.119 )

lich, indem die Lernumgebung sich an Voraussetzungen und an das Vorwissen des Users anpasst.

Als wichtige Funktion der Interaktivität wird unter anderem die Förderung der Motivation genannt. Das heißt, dass der Selbstwert des Lernenden positiv beeinflusst werden muss. Weiterhin soll Interaktion Informationen liefern. Man muss dem Anwender jederzeit vermitteln können, was er richtig gemacht hat und was nicht. Nicht zu vergessen ist auch die Hilfestellung, die für den Lernenden notwendig ist. Der Anwender muss die Möglichkeit haben, Fragen zu stellen, um die gegebenen Informationen zu verstehen. Die Förderung des Langzeitgedächtnisses ist ebenfalls eine wichtige Funktion. Überdies soll mit Hilfe der Interaktivität noch der Transfer gefördert und der Lernprozess reguliert werden. Die Förderung des Transfers ist möglich durch das Aufzeigen von praxisnahen Beispielen, die man sich im Programm anzeigen lassen kann. Reguliert wird der Lernprozess durch anschauliche Übersichten, Rückmeldungen und Lernhilfen.<sup>6</sup>

Im weiteren werden die instruktionstechnologischen Aspekte eines E-Learning Systems erläutert. Die Lehrinhalte sollten vom Anwender selbst ausgewählt werden können. Er sollte über ein Inhaltsverzeichnis oder über eine Übersicht zu den einzelnen Aufgaben gelangen. Eventuell sollten PopUp Fenster nicht selbsterklärende Überschriften erläutern.

Entscheidet man sich für die Bearbeitung eines bestimmten Themas, sollte sich der Anwender auf einer vordefinierten Route befinden, die man jederzeit verlassen kann, oder es muss die Möglichkeit bestehen, Aufgaben zu überspringen. Während einer Aufgabenberechnung sollte der User sich immer orientieren können. Zu jedem Zeitpunkt muss ersichtlich sein, in welchem Abschnitt man sich befindet. Schwierigkeitsstufen passen sich dem Lernniveau individuell an und dürfen aber keine Überforderung schaffen.

Als ein wichtiges Kriterium einer computerunterstützten Lernsoftware ist noch die Art der Antworteingabe zu nennen. Durch spielerische Art und Weise wird der Lernende Gefallen an der Beantwortung der Fragen finden. Drag`n Drop Listen oder Checkboxen zum Anklicken sollen diese Beantwortung erleichtern und die Aufmerksamkeit des Anwenders fördern.

---

<sup>6</sup> Niegemann, H.: Neue Lernmedien: konzipieren, entwickeln, einsetzen, 1. Auflage, Bern: Hans Huber Verlag; 2001 ( S.119 )

## 2.3 Vor- und Nachteile des E- Learning

E- Learning Systeme weisen eine ganze Reihe von Vorteilen auf, um das Lernen zu verbessern.

Ein Vorteil ist die Individualisierung. Während an einem Tutorium oder in einer Vorlesung immer eine größere Gruppe von Studenten gleichzeitig teilnehmen, ist es möglich, dass diese ein differenziertes Lernniveau aufweisen und somit keine Homogenität in der Gruppe hergestellt werden kann. In einem Online System kann das Niveau individuell angepasst werden. Weiterhin besteht eine gewisse Plattformunabhängigkeit. Ob in der Uni oder zu Hause, sobald ein PC zur Verfügung steht ist es möglich die Aufgaben mit der entsprechenden Software zu bearbeiten. Aus diesem Vorteil heraus ist auch der Punkt des *Just in time* Lernens anzuführen. Ein weiterer Vorteil ist die Streuung. Durch ein weit verbreitetes, plattformunabhängiges System besteht die Möglichkeit, unbegrenzt viele Lernende gleichzeitig zu bedienen. Zudem ist es möglich, sich mit das System parallel nutzenden Anwendern auszutauschen, sei es via Chat oder dafür vorgesehene Foren. In einem Offline System hat man die Möglichkeit, E-Mails an User oder Entwickler zu schreiben.

Ein letzter, sehr wichtiger Vorteil ist die Ausübung des aktiven Lernens. Bauer und Philippi stellen dies präzise und kurz dar: „Interaktivität von E- Learning Produkten zwingt den Benutzer sich aktiv am Lernprozess zu beteiligen“.<sup>7</sup> Durch Kommunikation mit anderen Lernenden- sei es dass man Fragen stellt oder Frage beantworten soll- wird das aktive Lernen erheblich gefördert.<sup>8</sup>

Trotz dieser Reihe von Vorteilen sind die Nachteile eines E- Learning Systems nicht zu vernachlässigen. Da keine festen Veranstaltungstermine existieren, ist eine große Eigeninitiative nötig, um den aufgestellten Lernplan einzuhalten.

Weiterhin verliert man bei dieser Menge an Informationen schnell den Überblick über wichtige und unwichtigere Themengebiete. In einer Vorlesung ist immer noch der Professor anwesend, der den Studenten Tipps gibt.

Die Anonymität bei der Online Kommunikation kann sich auch negativ auswirken, indem das Forum für Beleidigungen und Ähnliches missbraucht wird. Somit ist eventuell ein Betreuer für das Forum nötig.

---

<sup>7</sup> Bauer, R./ Philippi, T.: Einstieg ins E- Learning, Nürnberg: BW Bildung und Wissen Verlag und Software GmbH, 2001 ( S. 149 )

<sup>8</sup> Bauer, R./ Philippi, T.: Einstieg ins E- Learning, Nürnberg: BW Bildung und Wissen Verlag und Software GmbH, 2001

Ein letzter gravierender Nachteil ist sicher auch die technische Ausstattung, die man benötigt. Ohne das nötige Equipment ist der Lernende wieder stark an Öffnungszeiten von Rechenzentren oder dergleichen gebunden.<sup>9</sup>

## 2.4 Usability im Applet

Bei der Implementierung des Applets wurden verschiedene Komponenten des Instruktionsdesigns aufgegriffen und im Applet verarbeitet. Der User bekommt durch die *Haken* und *Kreuze*, über das Anzeigen der Lösung eine Rückmeldung über die Berechnung, die er gemacht hat.

Weiterhin ist es möglich, die Inhalte, die man bearbeiten möchte, selbst auszuwählen. Über den „Baum“ am Anfang, der eine Übersicht darstellt, kann der User sich für die einzelnen Fehlerkorrekturaufgaben selbst entscheiden. Es ist zwar möglich, durch einen vordefinierten Pfad die speziellen Aufgaben zu berechnen, jedoch kann man diesen Pfad jederzeit verlassen und eine Aufgabe überspringen. Die Übersicht des „CIRC- Bild“, dass bei jeder Berechnung des CIRC mitläuft, soll dem User die Übersicht geben, in welcher Stufe er sich gerade befindet.

Gibt der User eine richtige Antwort, wird er automatisch eine Schwierigkeitsstufe nach oben gesetzt. Die Schwierigkeit wird seinem Lernniveau angepasst. Als letzter wichtiger Punkt, der im Applet aufgegriffen wurde, ist die Onlinehilfe zu nennen. In jedem Berechnungsschritt ist es möglich, direkt zur jeweiligen Onlinehilfe zu springen, in der die Abläufe genau beschrieben werden und immer mit einem Beispiel versehen sind.

## 3 Die CD- Standards

Sony und Philips sind die Erfinder der CD-ROM Technik und haben mit ihren „Bunten Büchern“ eine Vielzahl verschiedener Normen herausgebracht.

Die Namensgebung der Bücher hat ihren Ursprung in den Farben der Einbände. Daraus folgend hat das Red Book also einen roten Einband. Analog ist die Erklärung aller weiteren Bücher.

Viele dieser herstellerepezifischen CD- Formate sind heute bereits internationale Standards ( ISO, IEC...) . Zusätzlich existieren noch andere normenähnliche Übereinkünfte (z.B. Frankfurt Proposal oder High Sierra), die auf den Bunten Büchern aufbauen.

---

<sup>9</sup> Bauer R./ Philippi, T.: Einstieg ins E- Learning, Nürnberg: BW Bildung und Wissen Verlag und Software GmbH, 2001

Im folgenden werden die „Bunten Bücher nun näher erläutert, um die wesentlichen Unterschiede der CD- Formate kennen zu lernen.<sup>10</sup>

### **3.1 Red Book**

Das Red Book wurde 1982 von Sony und Philips entwickelt und beinhaltet den Standard der CD-DA, die auch unter dem Namen Audio- CD bekannt ist. In diesem Standard wird die primäre Organisation der Daten festgehalten. Dazu zählt zum Beispiel die physikalische und logische Struktur der Daten. Außerdem wird hier die Fehlersicherung des Cross-Interleaved-Reed- Solomon Codes beschrieben, der die CD vor verschiedenen Arten von Beschädigungen und Verschmutzungen schützen soll. Es ist das erste der Bunten Bücher und ist somit als der grundlegende Standard, auf dem alle Folgenden aufbauen.<sup>11,12</sup>

### **3.2 Yellow Book**

1984 wurde von den gleichen Herstellern das Yellow Book verabschiedet. Hier wird der ANSI- Standard für die CD- ROM's ( Compact Disc Read Only Memory) beschrieben. Es war nun zusätzlich möglich Datenspuren auf einer Compact Disc zu speichern. Das Yellow Book unterscheidet zwei Sektor- Typen, den Mode 1 und den Mode 2. Im Mode 1 ist die Speicherung von Computerdaten möglich und der Mode 2 steht für Audio-, Video- und Bild- daten zur Verfügung.

Für die Speicherung von Computerdaten wurde ein zusätzlicher Fehlererkennungs- und Fehlerkorrekturcode eingeführt. Jedoch war es noch nicht möglich, Audio und Computerdaten zusammen in einer Spur zu speichern.

Dies wurde erst in der Erweiterung des Yellow Book ermöglicht. Der Mode 2 wurde weiter unterteilt in eine Form 1 und eine Form 2. Form 1 diente der Speicherung der Computerdaten und Form 2 ist der Sektor für die Speicherung der Audio-, Video- und Bilddaten.

Form 1 beinhaltet neben dem Fehlerschutzcode CIRC nur einen zusätzlichen Fehlererkennungscode, während im Mode 2 Form 2 auch der zusätzliche Fehlerkorrekturmechanismus RSPC wie im Mode 1 seine Anwendung findet.

Auf dieser sogenannten CD\_ROM/XA können beide Formen des Mode 2 in einer Spur gespeichert werden, d.h. es war möglich, Daten multimedial darzustellen.

---

<sup>10</sup> Hartmann/Meister/Strass: Das CD-ROM Handbuch, Poing: Franzis Verlag, 1994

<sup>11</sup> Hintergrundwissen über CD- Formate, Html- Dokument,  
URL: <http://www.lrz-muenchen.de/services/peripherie/cd-formate/>

<sup>12</sup> Nagel, A.: Html- Dokument, URL: [http://home.t-online.de/home/Andreas\\_Nagel](http://home.t-online.de/home/Andreas_Nagel)

Die Erweiterung dieses Standards entstand aus dem Green Book.<sup>13, 14</sup>

### **3.3 Green Book**

Im Green Book wird die CD-I (Compact Disc- Interactive) spezifiziert, die für die Speicherung multimedialer Daten entwickelt wurde. Da dieser Standard jedoch die Hardware und das Betriebssystem mit einschließt, kann die CD-I nicht von CD-ROM Laufwerken gelesen werden. Wie bereits erwähnt, entstand aus diesem Standard heraus die CD- ROM/XA des Yellow Book.<sup>13</sup>

### **3.4 White Book**

Die Veröffentlichung des White Book erfolgte 1993 von Philips und JVC. Die hier beschriebene Video- CD oder auch Bridge Disc besitzt die Vorteile der CD's der vorherigen Standards und damit die Möglichkeit, dass man von jedem Laufwerk den Inhalt der Video- CD lesen kann.

Die Formate CD-DA und die Formen der CD-ROM/XA Mode 2 können auch auf einer Bridge-Disc gespeichert werden.<sup>14</sup>

### **3.5 Orange Book**

Im ersten Teil des Orange Book wird die CD-MO ( Compact Disc Magneto- Optical ) spezifiziert. Auf einer CD- MO ist es möglich, Daten zu schreiben, sie zu löschen und die CD erneut zu beschreiben.

Im zweiten Teil des Standards wird die CD-WO ( Compact Disc- Write Once ) behandelt, die jedoch nicht wiederbeschreibbar ist. Bei der Hybrid-CD-WO können Daten auf eine bereits beschriebenes Medium hinzugefügt werden ( Multisession CD's). Die Daten müssen entweder fixiert oder die CD muss abgeschlossen sein, damit ein CD-ROM Laufwerk die Daten einer Multisession CD lesen kann.

Während bei den herkömmlichen, nicht beschreibbaren CD's die Daten durch die Reflexion des Lichts in den Pits und Lands ausgelesen werden können, verändert der Laser des CD-

---

<sup>13</sup> Hintergrundwissen über CD- Formate, Html- Dokument,  
URL: <http://www.lrz-muenchen.de/services/peripherie/cd-formate/>

<sup>14</sup> Nagel, A.: Html- Dokument, URL: [http:// home.t-online.de/home/Andreas\\_Nagel](http://home.t-online.de/home/Andreas_Nagel) ;



Brenners bei einer CD-WO die Reflexionseigenschaften der Schicht, auf der die Daten gespeichert werden, mit Hilfe eines organischen Farbstoffs.<sup>15</sup>

### **3.6 Blue Book**

Das letzte und somit jüngste der Bunten Bücher wurde 1995 verabschiedet und beinhaltet das Format der CD-Extra. Die CD- Extra ist zu vergleichen mit einer Mixed Mode CD, auf der Audio- und Computerdaten gespeichert werden können. Der wesentliche Unterschied und Fortschritt zu anderen Mixed Mode CD`s ist, dass die Daten in verschiedenen Spuren gespeichert werden und somit keine Gefahr mehr besteht, dass ein CD- Player auf die Computerdaten zugreifen kann und diese dadurch eventuell zerstört oder beschädigt wird.<sup>16</sup>

## **4 Aufbau einer Compact Disc**

Der Aufbau einer Compact Disc lässt sich unterteilen in den physikalischen Aufbau und den logischen Aufbau. Beide finden in diesem Kapitel nähere Betrachtung.

### **4.1 Physikalischer Aufbau**

Eine Compact Disc ist aus mehreren Schichten aufgebaut. Die unterste Schicht nennt sich Substratschicht. Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, beinhaltet die Substratschicht Pits und Lands. Diese stellen die Informationen in Bits dar und sind spiralförmig von innen nach außen über die ganze CD angeordnet. Über dieser Schicht ist noch eine Reflexionsschicht aus Aluminium, die durch eine Schutzschicht gesichert ist. An der Oberfläche befindet sich das sogenannte Label.

---

<sup>15</sup> Hintergrundwissen über CD- Formate, Html- Dokument,  
URL: <http://www.lrz-muenchen.de/services/peripherie/cd-formate/>

<sup>16</sup> Nagel, A.: Html- Dokument, URL: [http:// home.t-online.de/home/Andreas\\_Nagel](http://home.t-online.de/home/Andreas_Nagel) ;

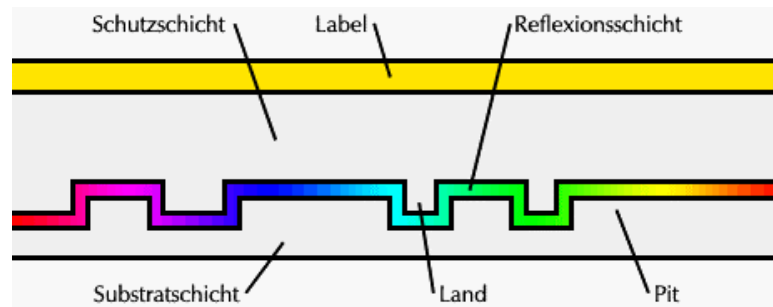


Abbildung 2: Aufbau der Compact Disc <sup>17</sup>

Um die Daten einer Compact Disc auszulesen, rotiert sie im Uhrzeigersinn und wird von einem Laser abgetastet. Ein Übergang von Pits zu Lands oder umgekehrt wird als logische „Eins“ ein gleichbleibendes Signal als logische „Null“ interpretiert. Durch Reflexion des Laserlichtes lassen sich die Daten auslesen. Da die Bahngeschwindigkeit immer gleich bleiben muss (CLV), um gleich viele Daten pro Zeiteinheit auszulesen, erhöht sich die Rotationsgeschwindigkeit von innen nach außen.

Eine Compact Disc misst einen Durchmesser von 120 mm und hat eine Dicke von 1,2 mm. Die Spur, auf der die Pits und Lands angeordnet sind, ist insgesamt ca. 6 km lang.<sup>17</sup>

## 4.2 Logischer Aufbau

Wie bereits erwähnt, enthält eine CD Spuren auf der die Pits und Lands verteilt sind. Eine CD kann aus maximal 99 Spuren bestehen. Jede Spur ist unterteilt in Sektoren. Diese Sektoren sind die kleinsten adressierbaren Einheiten auf einer CD. Ein physikalischer Sektor umfasst 3234 Bytes. Die Größe des logischen Sektors, der die Nutzdaten beinhaltet, ist abhängig von den verschiedenen CD-Formaten. Der Aufbau der Sektoren ist Gegenstand dieses Kapitels.<sup>18</sup>

Es werden nur die Formate näher untersucht, die auch im Übungsapplet zur Auswahl stehen, da sie zum einen die wichtigsten Formate darstellen und zum anderen für weitere Formate keine neuen Fehlerprüfungsmechanismen entwickelt wurden.

**CD-DA** Der physikalische Sektor der CD-DA umfasst 3234 Bytes. 2352 Bytes davon werden von den Nutzdaten belegt. 784 Bytes sind für die Fehlerkorrekturbits des CIRC reserviert und weitere 96 Bytes gehören dem Subcode an, der hier nicht näher erläutert wird.

<sup>17</sup> Ackermann, M. R./ Grawert, K.v.: Die Mathematik der Audio-CD, Html-Dokument, URL: [http://www-math.upb.de/~mathkit/Documents/Seminar\\_SS02\\_MK/i10.html](http://www-math.upb.de/~mathkit/Documents/Seminar_SS02_MK/i10.html)

<sup>18</sup> Nagel, A.: Html-Dokument, URL: [http://home.t-online.de/home/Andreas\\_Nagel](http://home.t-online.de/home/Andreas_Nagel)

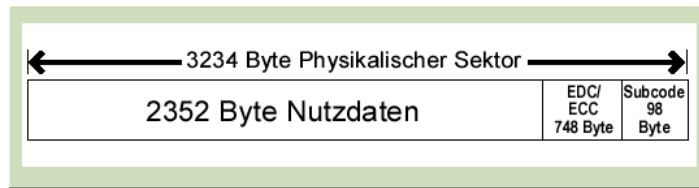


Abbildung 3: Sektoraufteilung der CD-DA<sup>19</sup>

Die Sektoren werden durch eine Zeitangabe von Minuten und Sekunden und einer zusätzlichen Information bezüglich der Sektoren adressiert. Der CD-Player oder das CD-Laufwerk lesen 75 Sektoren pro Sekunde aus. Eine CD-DA kann bis zu 74 Minuten aufnehmen und umfasst 780 MByte .<sup>19</sup>

**CD-ROM** Aufbauend auf die im Red Book spezifizierte CD-DA wurde die CD-ROM entwickelt. Sie hat zwei verschiedenen Modi – Modus 1 und Modus 2.

In beiden Modi stehen zwölf Bytes für die Synchronisation zur Verfügung. Anders als bei der CD-DA ist der Zugriff auf die Sektoren differenzierter. Die *Sync-Bytes* werden benötigt, um die Sektoren, die physisch aneinander hängen, zu trennen. Die nächsten vier Bytes sind für den Header reserviert. Drei, um den Sektor zu identifizieren und ein weiteres Byte speichert den Modus der CD.

Weiterhin reservieren beide Modi die 784 Bytes für den CIRC. Die CD-ROM hat eine Speicherkapazität zwischen 600 und 700 MBytes.

Zusätzlich zum CIRC werden im Mode 1 weitere Bytes für eine zusätzliche Fehlererkennung und -korrektur belegt. Der EDC ( Error Detection Layer ) benötigt 4 Byte, um die Paritätsbits zu speichern, die mit dem CRC ( Cyclic Redundancy Code ) berechnet wurden. Weitere 276 Bytes werden für den Korrekturmechanismus RSPC ( Reed Solomon Product like Code ) freigehalten. Acht Bytes die zwischen den zusätzlichen Paritätsbits liegen bleiben ungenutzt. Schlussendlich stehen noch 2048 Bytes zur Speicherung der eigentlichen Nutzdaten zur Verfügung. Durch diese zusätzliche Fehlerkorrektur liegt die Fehlerwahrscheinlichkeit nur noch bei ca. 0,1 %. Die Datenübertragungsrate im Mode 1 misst 1,22 MBits/s.<sup>20</sup>

<sup>19</sup> CD-ROM-Formate im Überblick, Html- Dokument,  
URL: <http://people.freenet.de/PeeDec041180/CD-Formate.html>

<sup>20</sup> Steinbrink, B.: Compact mit Format, in: c't 2/93 ( S. 181 )

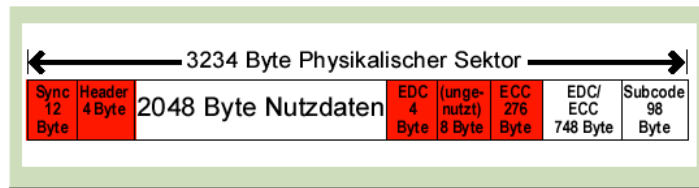


Abbildung 4: Sektoraufteilung der CD-ROM Mode 1 <sup>21</sup>

Im Mode 2 existiert dagegen keine zusätzliche Fehlerkorrekturebene. Aus diesem Grund können die Nutzdaten 2336 Bytes belegen. Die Datenübertragungsrate im Mode 2 ist etwas höher und liegt bei 1,4 MBits /s. <sup>22</sup>



Abbildung 5: Sektoraufteilung der CD-ROM Mode 2 <sup>21</sup>

**CD-ROM/XA** Die CD-ROM/XA ist eine Erweiterung der CD-ROM Mode 2. Es existieren zwei Ausprägungen. Zunächst die Form 1, die für die Speicherung von Computerdaten zur Verfügung steht und die Form 2, die das Aufzeichnen von Audio-, Video- und Grafikdaten ermöglicht. Zusätzlich zu der CD-ROM Mode 2 wurde für beide Formate ein zusätzlicher Subheader eingebaut. Hierfür werden die acht, im CD-ROM Mode 1, ungenutzten Bytes eingesetzt. Für Dateinummer, Datenkanal, Submode und Codierungsinformationen werden je ein Byte benutzt und zur Datensicherheit diese vier Bytes nochmals dupliziert. <sup>21</sup> Die Form 1 benutzt ebenfalls die Codierung des CIRC, des CRC und des RSPC.

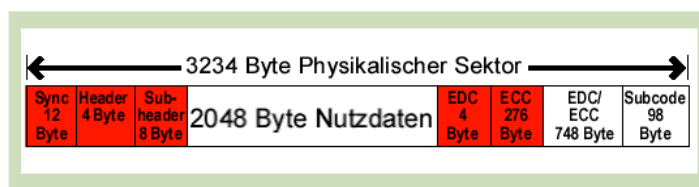


Abbildung 6: Sektoraufteilung der CD-ROM Mode 2 Form 1/CD-I <sup>21</sup>

<sup>21</sup> CD-ROM-Formate im Überblick, Html- Dokument,  
URL: [http:// people.freenet.de/PeeDee041180/CD-Formate.html](http://people.freenet.de/PeeDee041180/CD-Formate.html)

<sup>22</sup> Steinbrink, B.: Compact mit Format, in: c` t 2/93 ( S. 181 )

In der Form 2 wird nur der RSPC als Fehlererkennungscode zusätzlich zum CIRC eingesetzt. Die Sektoraufteilungen einer CD-I ist analog zur Form 1 und Form 2, abhängig davon, welche Daten auf der CD-I gespeichert werden sollen.



Abbildung 7: Sektoraufteilung der CD-ROM Mode 2 Form 2/ CD-I<sup>23</sup>

## 5 Fehlerkorrekturcodes

### 5.1 Mathematische Grundlagen

Um die Fehler auf einer Compact Disc zu erkennen und eventuell zu beheben, ist ein effizientes Codierungsverfahren nötig. Dieser hierzu verwendete Code nennt sich Reed Solomon Code.

#### 5.1.1 Reed Solomon Code

Irving S. Reed und Gustav Solomon entwickelten den nach ihnen benannten Reed Solomon Code, über den sie 1959 erstmals ein Paper mit dem Titel „Polynomial Codes over certain Finite Fields“ geschrieben haben, welches 1960 veröffentlicht wurde.<sup>24</sup>

Der Reed-Solomon Code findet seine Anwendung in verschiedensten Systemen. Er dient der Fehlerkorrektur in der Satellitenkommunikation, in der mobilen und schnurlosen Kommunikation, beim Digitalen Fernsehen oder auch bei high-speed Modems.<sup>25</sup> Überdies wird der Reed Solomon Code ( RS-Codes ) zusätzlich in der Fehlererkennung und -korrektur bei Compact Discs eingesetzt. Der große Vorteil dieses Codes liegt darin, dass er nicht nur Einzelfehler, sondern auch Bündelfehler korrigieren kann.

<sup>23</sup> CD-ROM-Formate im Überblick, Html- Dokument,

URL: <http://people.freenet.de/PeeDee041180/CD-Formate.html>

<sup>24</sup> Wicker, S. B/ Bhargava, V. K.: An Introduction to Reed-Solomon Codes, in: Reed-Solomon Codes and their applications, Herausgeber: Wicker, S.B. / Bhargava, V.K.; IEEE Press 1994

<sup>25</sup> Riley, M./ Richardson, I.: Reed- Solomon Codes, Html- Dokument,  
URL: [http://www.4i2i.com/reed\\_solomon\\_codes.htm](http://www.4i2i.com/reed_solomon_codes.htm)

RS- Codes zählen zu den zyklischen Codes, die eine Untergruppe der linearen Blockcodes sind. Hier werden die Nachrichten in Blöcke gespalten, die Korrekturbits separat berechnet und an die Datenbits angehängt.

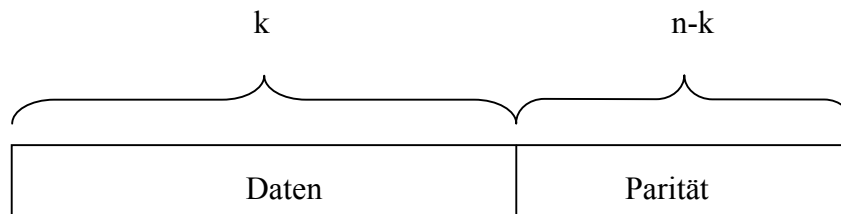


Abbildung 8: Systematisches Reed Solomon Codewort<sup>26</sup>

Die Anzahl der Fehler, die korrigierbar sind, hängt von der Art des RS- Codes ab.

Die Schreibweise lautet üblicherweise  $(n,k)$ - RS-Code oder nur  $(n,k)$ - Code.

Dies bedeutet, dass für  $k$  Datensymbole der Länge  $s$  Bits  $n$  Codewörter ebenfalls der Länge  $s$  Bit existieren, wobei  $(n-k)$  Prüfstellen berechnet werden. Dies bedeutet, dass man, um  $t$  Fehler korrigieren zu können,  $n-k$  Prüfbits benötigt.

Wenn das Galoisfeld feststeht, ist die Codelänge  $n$  automatisch bestimmt. Den Aufbau und die Bedeutung des Galoisfeldes wird später erläutert.

Die Minimaldistanz eines Fehlercodes der  $t$  Fehler korrigieren kann lautet:  $d_{\min} = 2t+1$ .

Das bedeutet, dass sich die Datensymbole um  $2t+1$  Bits unterscheiden müssen, damit eine Korrektur von  $t$  Fehlern überhaupt möglich ist.<sup>26</sup>

Die Berechnung der redundanten Daten erfolgt mit Hilfe eines Generatorpolynoms, dessen Aufbau im Unterkapitel 5.1.3 nähere Betrachtung findet.

## 5.1.2 Galoisfelder

Ein Galoisfeld ist ein algebraischer Körper der Länge  $p$ , wobei  $p$  eine Primzahl sein muss, um den Axiomen eines Körpers gerecht zu werden. Dieser sogenannte Primkörper besteht aus den Elementen  $\{0,1,2,\dots,p-1\}$ . Alle Berechnungen, die im Rahmen des Reed Solomon Codes durchgeführt werden, beruhen auf dem Körper  $GF(2^4)$ . Dies bedeutet, dass die Berechnungen im Binärsystem ausgeführt werden, da der Erweiterungskörper  $GF(2^4)$  auf dem Basiskörper  $GF(2)$  beruht, und dieser die Elemente „0“ und „1“ enthält. Eine Modulo-2 Addition, wie sie hier verwendet wird, stellt im Binärsystem eine XOR- Verknüpfung dar. Die Hochzahl „4“ gibt an, dass jedes Element aus vier Bits besteht. Bedingt durch primitive Polynome, auf die

<sup>26</sup> Riley, M./ Richardson, I.: Reed- Solomon Codes, Html- Dokument,  
URL: [http://www.4i2i.com/reed\\_solomon\\_codes.htm](http://www.4i2i.com/reed_solomon_codes.htm)

im nächsten Kapitel eingegangen wird, wird ein neues Element im Körper  $GF(2^4)$  eingeführt, das „ $\beta$ “. Der Grund hierfür ist, dass primitive Polynome keine Nullstellen besitzen. Das Galoisfeld  $GF(2^4)$  verfügt also über  $2^4 = 16$  Stellen, die wie folgt dargestellt werden:

0	$\beta^0$	$\beta^1$	$\beta^2$	$\beta^3$	$\beta^4$	$\beta^5$	$\beta^6$	$\beta^7$	$\beta^8$	$\beta^9$	$\beta^{10}$	$\beta^{11}$	$\beta^{12}$	$\beta^{13}$	$\beta^{14}$
0000	0001	0010	0100	1000	0011	0110	1100	1011	0101	1010	0111	1110	1111	1101	1001

Die Binärzahlen entstehen, indem man alle 16 Symbole in das primitive Polynom  $g(x) = x^4 + x + 1$  einsetzt. Alle weiteren Symbole, deren Hochzahl größer als 14 ist lassen sich auf diese 16 Grundelemente zurückführen. Mit dem Beispiel  $\beta^{21}$  sähe das wie folgt aus:  
 $\beta^{21 \bmod (16-1)} = \beta^6$ .

Die Subtraktion in einem Binärsystem gleicht der Addition. Da bereits erwähnt wurde, dass ein Modulo-2 Addition im Binärsystem einer XOR Verknüpfung entspricht, ist es leichter die Symbole in Binärzahlen umzuwandeln, eine XOR Operation durchzuführen und die Binärzahl wieder in ein Symbol umzuwandeln.

$$\text{Beispiel: } \beta^{12} - \beta^6 = \beta^4 \quad \left. \begin{array}{l} \beta^{12} = 1111 \\ \beta^6 = 1100 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 1111 \\ \text{XOR } \underline{1100} \\ 0011 = \beta^4 \end{array}$$

Eine Division erfolgt durch die Subtraktion der Exponenten der Symbole.<sup>27</sup>

### 5.1.3 Generatorpolynom

Die wichtigsten Eigenschaften eines Polynoms sind der Grad, der Zahlenkörper, aus dem die Koeffizienten stammen, die Zerlegbarkeit der Polynome in Teilpolynome und die Nullstellen des Polynoms. Die Teilpolynome, in die man ein Polynom zerlegen kann, müssen in endlichen Körpern irreduzibel sein. Das heißt, dass diese Teilpolynome nicht weiter zerlegbar sein dürfen. Da die Eigenschaft „irreduzibel“ vergleichbar ist mit den Eigenschaften einer Primzahl, werden solche Polynome auch primitive Polynome genannt. Irreduzible Polynome besitzen keine Nullstellen, deshalb muss ein Element eingeführt werden, mit dessen Hilfe man Nullstellen darstellen kann. Im Galoisfeld ist dieses Element, wie bereits erwähnt, das „ $\beta$ “.

<sup>27</sup> Löser, M.: Untersuchungen zur Übertragung von Echtzeitsignalen mit variabler Bitrate über ATM-Netze (STM-4) am Beispiel von verlustfrei codierten TV-Studiosignalen (SDI) unter Einsatz einer geeigneten ATM-Adaptionsschicht (z.B. AAL5 und/oder AALx), PDF-Dokument, URL: <http://www.irt.de/IRT/referate/eoe/Diplomarbeit-Loeser.pdf>, Ilmenau/ München, 1999

Generatorpolynome von zyklischen Codes werden mit Hilfe von primitiven Polynomen gebildet.

Ein Generatorpolynom, das im  $GF(2^4)$  drei Fehler korrigieren kann, sieht also wie folgt aus:

$$g(x) = (x - \beta) * (x - \beta^2) * (x - \beta^3) * (x - \beta^4) * (x - \beta^5) * (x - \beta^6)$$

$$g(x) = x^6 + \beta^{10}x^5 + \beta^{14}x^4 + \beta^4x^3 + \beta^6x^2 + \beta^9x^1 + \beta^6$$

Der Rest, der beim Dividieren des Informationswortes mit dem Generatorpolynom gebildet wird, stellt die Paritätswörter dar.<sup>28</sup>

## 5.2 Cross Interleaved Reed Solomon Code

Der CIRC ist das Codierungsverfahren, das auf der CD verwendet wird, um Fehler zu erkennen und zu korrigieren. Die Idee des CIRC basiert auf der Verwendung zweier RS-Codes, die durch das Interleaving so miteinander verknüpft wurden, dass die Fehlerrate gesenkt werden kann. Eine einfache Verknüpfung der beiden Codes wäre nicht wirkungsvoll, da sogenannte Burst-Fehler sonst nicht korrigierbar wären. Burst-Fehler sind solche Fehler, die sich über mehrere Bytes erstrecken können. Da die Codes nur eine gewisse Anzahl von Fehlern korrigieren können, was bereits in Abschnitt 5.1.3 erläutert wurde, müssen die Bytes mit einem bestimmten Verfahren über die Platte verteilt werden.

Die Abbildung 9 zeigt den Ablauf des CIRC-Encoding, welches jetzt nähere Betrachtung findet.

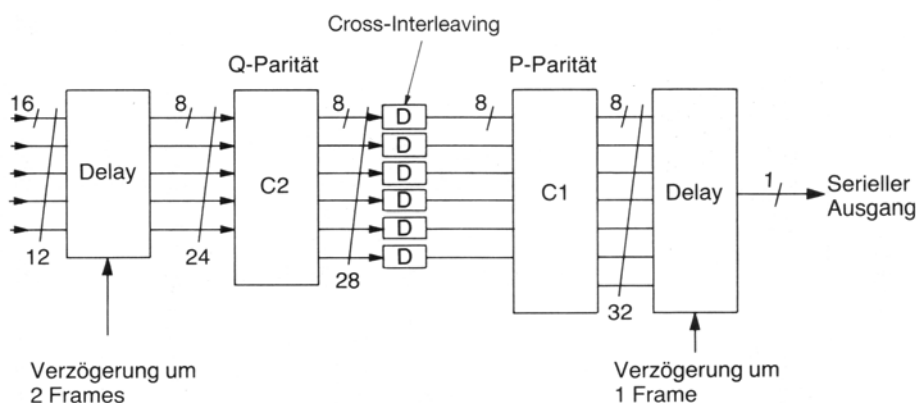


Abbildung 9: Encoding des CIRC<sup>29</sup>

<sup>28</sup> Dankmeier, W.: Codierung, 2. Auflage, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2001

<sup>29</sup> Biaisch- Wiebke, C.: CD- Player und R- DAT- Recorder, 2. Auflage, Würzburg : VOGEL Buchverlag, 1989



Der CIRC beruht auf dem Galoisfeld  $2^8$ , das heißt, es können 256 Symbole dargestellt werden. Als erstes müssen die 16-Bit Informationswörter, die in einem 16-Bit Analog/Digital Wandler digitalisiert werden, in 8-Bit Wörter aufgespaltet werden, da der C2 Code sie sonst nicht verarbeiten kann. Hierfür werden je sechs Werte aus dem linken und dem rechten Stereokanal abgetastet, die einen Abtastframe bilden. Aus 12 16-Bit Wörtern entstehen dann also 24 8-Bit Wörter. Jedes 8-Bit Wort bzw. Byte Wort wird als Symbol dargestellt. Auf das Delay, also die Verzögerung der Wörter wird hier nicht näher eingegangen, da die Berechnung in Kapitel 6.2.4 erläutert wird. Der C2- Encoder ist ein  $(28,24)_{256}$ -RS-Code. Das heißt er verarbeitet 24 Byte Wörter, aus denen er 28 Symbole berechnet. Die vier zusätzlichen Symbole sind sogenannte Paritätswörter. Aus technischen Gründen werden diese Paritätssymbole zwischen die Informationswörter geschoben. Wie auch beim Delay wird bezüglich der Berechnung auf Kapitel 6.2.4 verwiesen. Diese 28 Bytes werden nun mit den anderen Byte-Wörtern auf der Platte verschachtelt, wobei sie nicht zu weit auseinander liegen dürfen, da der Laser sie sonst nicht zeitnah lesen kann.<sup>30</sup>

Das Interleaving Prinzip wurde aus dem Buch Kanalcodierung von Bernd Friedrichs<sup>31</sup> entnommen und wird wie auch die oberen Bearbeitungsschritte in Kapitel 6.2.4 erläutert. Der C1- Encoder ist ein  $(32,28)_{256}$ - RS- Code. Er berechnet weitere vier Paritätssymbole. Diese werden nicht wie oben zwischen die Bytes geschoben, sondern an das Ende des Codewortes angehängt. Durch ein weiteres Delay werden die Daten noch mal um einen Frame verschoben. Ein Frame ist die Blockanordnung der Informationswörter und der Q- und P- Paritätswörter.

Diese 32 8-Bit Wörter werden zum Abschluss noch mit Hilfe der EFM ( Eight to fourteen Modulation ) in 14-Bit Wörter umgewandelt. Diese Anwendung soll zu einer zusätzlichen Verringerung der Fehler führen. Diese Bits werden dann mit der Hilfe von Pits und Lands auf die CD geschrieben.<sup>32</sup>

Das Decoding ist analogem dem Ablauf des Encoding, aber natürlich in umgekehrter Reihenfolge. Dieser Ablauf ist in Abbildung 10 dargestellt.

---

<sup>30</sup> Ackermann, M. R./ Grawert, K.v.: Die Mathematik der Audio- CD, Html- Dokument:  
URL: [http://www-math.upb.de/~mathkit/Documents/Seminar\\_SS02\\_MK/i10.html](http://www-math.upb.de/~mathkit/Documents/Seminar_SS02_MK/i10.html)

<sup>31</sup> Friedrichs, B.: Kanalcodierung, Berlin /Heidelberg :Springer Verlag, 1996 ( S. 368 )

<sup>32</sup> Kuhn, K. J.: Audio Compact Disc\_ Writing and Reading the data EE498, Html- Dokument,  
URL: <http://www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/cdaudio2/95x7.htm>

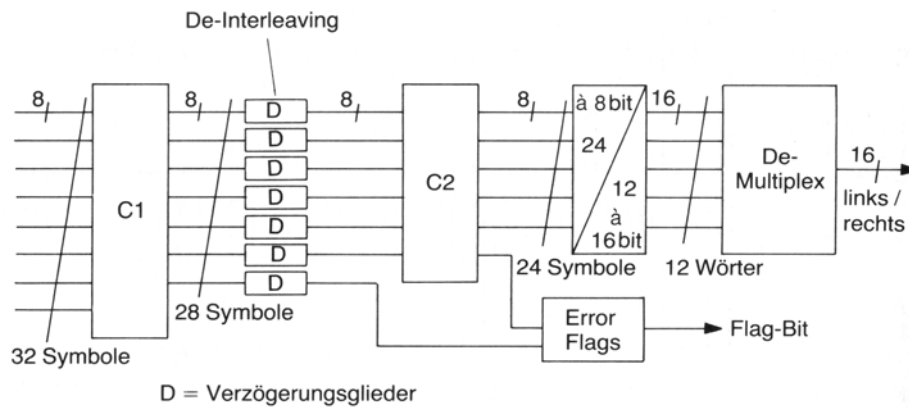


Abbildung 10: Decoding des CIRC<sup>33</sup>

Kann der C1 einen Fehler nicht korrigieren, ist es noch möglich, dass der C2 die Fehler erkennt und beheben kann. Zwischen den Codes werden die Wörter natürlich noch „de-interleaved“. Alle weiteren Details, wie zum Beispiel die Error Flags sollen hier vernachlässigt werden, da sie für das Verständnis der Codierungsabläufe keine wesentliche Rolle spielen.

Für die Implementierung des Applets wurden die Wörter zu 4-Bit Wörtern verkürzt. Das Galoisfeld ist also nur vom Typ  $2^4$ . Weiterhin wurden auch nicht so viele Symbole zum Berechnen der Paritäten benutzt, da die Berechnung mit so vielen Wörtern sehr aufwendig ist, und dies nicht zum Verständnis beitragen würde.

### 5.3 CRC und RSPC

Zu Erläuterung des erweiterten Fehlerkorrekturmechanismus CRC wird auf die Studienarbeit „Java-basierte Entwicklung einer Lernsoftwarekomponente über die erweiterte Fehlererkennung-/korrektur der Compact Disc“ von Manuela Mnich (2003) verwiesen. Auch der RSPC wird in dieser Studienarbeit erläutert. Er ist aber kein Fehlerkorrekturcode sondern ein Fehlererkennungscode, der seine Anwendung in Kombination mit dem CRC findet.

<sup>33</sup> Biaisch- Wiebke, C.: CD- Player und R- DAT- Recorder, 2. Auflage, Würzburg : VOGEL Buchverlag, 1989

## 6 Architektur des Applets

### 6.1 Framework CATS

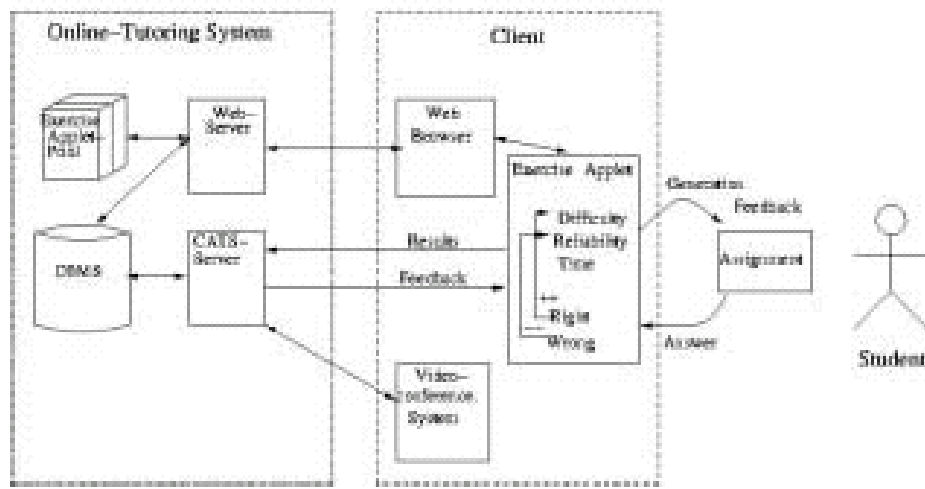


Abbildung 11: Client- Server Framework CATS <sup>34</sup>

CATS ( Communication and Tutoring System) ist ein Client-Server System, das an der Universität Mannheim entwickelt wurde. Studenten haben jederzeit Zugriff darauf, um dort bestimmte Aufgaben zu bearbeiten, die in Form von Applets implementiert und initialisiert sind. CATS beinhaltet einen Pool, in dem die Applets verwaltet werden. Außerdem existiert eine relationale Datenbank, in der alle wichtigen Daten gespeichert werden, wie zum Beispiel der Name eines Users, seine erzielten Ergebnisse und das Ranking, das er erreicht hat. Der CATS- Server kontaktiert die Datenbank über eine JDBC Anbindung. Über den Web- Server bzw. den Web- Browser beim Client werden die Applets geladen. Mit Hilfe eines Video-Konferenz System ist es möglich jederzeit Kontakt zu anderen Teilnehmern aufzunehmen, die ebenfalls gerade online sind und Aufgaben bearbeiten. Das im Rahmen dieser Arbeit erstellte Applet ist ein Exercise Applet, wie es in der obigen Abbildung zu sehen ist. Der Nutzer kann eine Aufgabe beliebig oft starten und bearbeiten und nach Beendigung der Übung, besteht die Möglichkeit, seine Daten an den Server zu schicken, der ein Feedback über die abgegebenen Leistungen sendet. Neben der errechneten Lösung werden noch drei weitere Parameter an den Server geschickt:

<sup>34</sup> Liebig, H.C./ Effelsberg, W.: Seamless Integration of Group Communication into an Online Exercise System, PDF- Dokument,  
URL: <http://www.informatik.uni-mannheim.de/informatik/pi4/publications/library/Liebig2003a.pdf> , 2001

- „proficiency“ : Übermittelt den Schwierigkeitsgrad der Aufgabe,
- „reliability“ : Speichert die Zuverlässigkeit der Lösungen, das heißt wie oft der Benutzer seine Lösung getestet hat, bevor er sie abgeschickt hat,
- „time“ : Gibt an, wie viel Zeit der User für die Bearbeitung der Aufgabe benötigt hat.

Mit Hilfe dieser Daten erstellt der Server ein Ranking, das angibt, wie erfolgreich der User die Aufgaben im Vergleich zu andere Anwendern gelöst hat. Wie bereits erwähnt ist das entwickelte Applet ein Exercise Applet, dass in CATS integriert werden soll.<sup>35</sup>

## 6.2 Instruktionsdesign

### 6.2.3 CIRC

„Der Baum“<sup>36</sup>, der beim Starten des Applets auf der ersten Oberfläche zu sehen ist, zeigt die Abhängigkeit der CD- Formate. Es wurden zwar nicht alle namentlich genannt, aber da dieser Baum alle Variationen und Kombinationen der vorhandenen Fehlerkorrekturcodes enthält, ist er in dieser Hinsicht vollständig. Außerdem zeigt der Baum die Abhängigkeiten aller Bücher vom Red Book, welches als erstes entwickelt wurde und auf das die anderen Bücher aufbauen.

Ein weiteres wichtiges Feature auf dieser Oberfläche ist die Option das Applet über das Menü- File neu zu initialisieren. Somit ist es nicht nötig, dieses neu zu starten, wenn man alle berechneten Werte löschen will.

Wird die Oberfläche zur Berechnung des CIRC- Encoding geöffnet, sieht man, dass rechts neben dem eigentlichen Frame ein Bildchen erscheint, das den Ablauf des CIRC- Encoding darstellt. Der rote Rahmen zeigt dem User immer, welchen Teil des CIRC er gerade berechnet. So behält er immer den Überblick. Das Interleaving wurde mittels einer Drag `n Drop Liste realisiert. Das Erlernen der Funktionsweise des Interleaving wird auf spielerische Art und Weise erreicht, indem man Labels über den Frame ziehen kann. Außerdem besitzt diese Oberfläche noch einen „Reset“-Knopf, über den man den Frame in seinen Ursprungszustand versetzen kann, ohne dass die Werte verändert werden.

---

<sup>35</sup> Liebig, H.C./ Effelsberg, W.: Seamless Integration of Group Communication into an Online Exercise System, PDF- Dokument, URL: <http://www.informatik.uni-mannheim.de/informatik/pi4/publications/library/Liebig2003a.pdf> , 2001

<sup>36</sup> Paukstadt, R.: Verbund technischer Systeme unter besonderer Berücksichtigung informationstechnologischer Aspekte, PDF- Dokument, URL: [http://www.uni-essen.de/~kte010/dat3\\_pdf/cdhtml.pdf](http://www.uni-essen.de/~kte010/dat3_pdf/cdhtml.pdf)

Zur Berechnung der P- Parität ist zu sagen, dass sie analog zu der der Q- Parität abläuft. Um aber die Übersicht zu bewahren, wurde der Frame trotzdem mit hinzugenommen, weil er ein wichtiger Bestandteil des CIRC ist. Eigentlich werden die Q- Paritätsbits im CIRC nicht an die Informationswörter angehängt, sondern mit ihnen verschachtelt, worauf im Applet jedoch verzichtet wurde. Im Decoding wurde die Aufgabe stark abstrahiert, weil die Berechnung des Decoding sehr aufwendig ist und nicht dem Zweck dient, die Fehlerkorrekturmechanismen kennen zu lernen.

Ebenfalls der Übersicht dienen sollen die einzelnen Zwischenframes, die eingebaut wurden. Entschidet man sich im Frame „Overview“ für ein bestimmtes Format, gelangt man zunächst auf eine Oberfläche, die die auf diesem auf diesem Format verwendeten Fehlerprüfmechanismen beinhaltet. Im weiteren Verlauf gelangt man direkt zu den Aufgaben. Durch die Navigationsleiste am unteren Ende des Frames ist es jederzeit möglich Aufgaben zu überspringen, oder zurück zu einer anderen Aufgabe zu gelangen. Die berechneten Werte der vorherigen Aufgabe bleiben während der Bearbeitung des ganzen Applet gespeichert.

Alles in allem wurde stark darauf geachtet, dass der User immer den Überblick behält, da das Thema sehr komplex ist und man ohne diese besonderen Features den Lernenden wahrscheinlich verschrecken würde.

#### **6.2.4 Onlinehilfe**

Seit 1982 existiert der erste CD- Standard, das Red Book, der die Audio- CD beschreibt, die jeder kennt und täglich verwendet. Im Laufe der Jahre haben sich weitere Standards etabliert, die den ständig steigenden Anforderungen an ein optisches Speichermedium gerecht wurden und immer noch werden. Diese sich ständig neu entwickelten Standards waren nun auch in der Lage, nicht nur Audiodaten, sondern auch weitaus sensiblere Daten zu speichern. Dies wurde unter anderem ermöglicht, indem zusätzlich zu dem bereits bestehenden "CIRC", neue Fehlerprüfmechanismen implementiert wurden.

In diesem Applet werden die wichtigsten Standards und ihre Fehlerprüfung behandelt.

**Overview** Der Frame "Overview" zeigt die beiden Standards Red Book und Yellow Book. Wobei das Yellow Book durch die Entwicklung der CD-ROM/ XA erweitert wurde. Die einzelnen Knoten führen zu den jeweiligen Fehlerkorrekturcodes der einzelnen Formate.

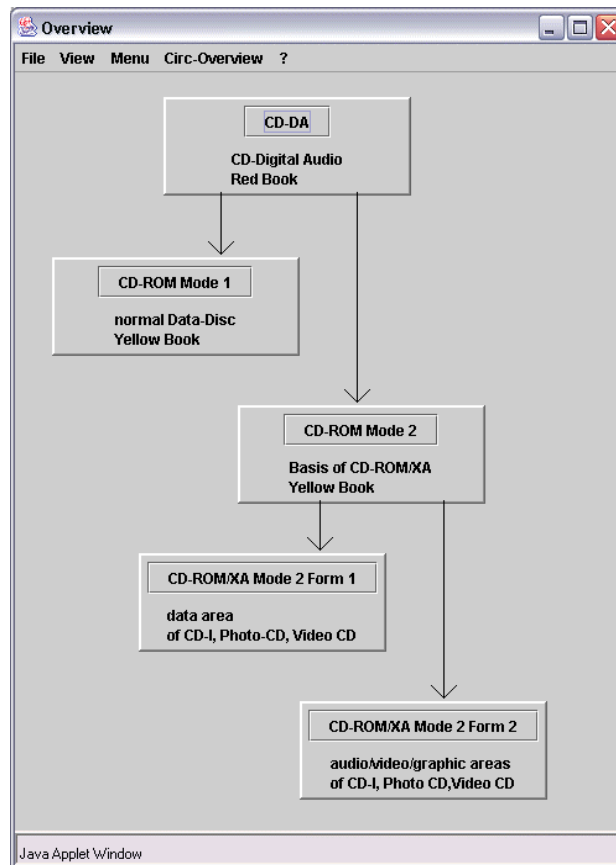
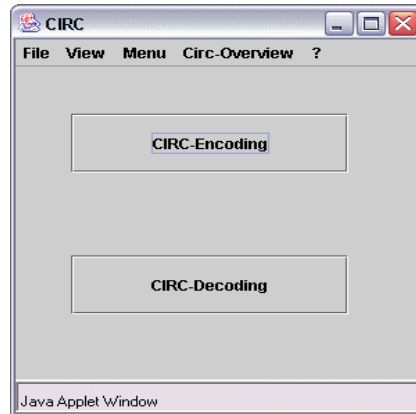


Abbildung 12: Screenshot "Overview"<sup>37</sup>

<sup>37</sup> Paukstadt, R.: Verbund technischer Systeme unter besonderer Berücksichtigung informationstechnologischer Aspekte, PDF- Dokument, URL: [http://www.uni-essen.de/~kte010/dat3\\_pdf/cdhtml.pdf](http://www.uni-essen.de/~kte010/dat3_pdf/cdhtml.pdf)

**Overview-CIRC** Der Knoten der CD- DA führt uns zum Fehlerkorrekturmechanismus CIRC. Hier hat man die Wahl, die Berechnung des Encoding oder des Decoding kennen zu lernen.



*Abbildung 13: Screenshot "CIRC"*

**CIRC- Encoding** Das CIRC- Encoding ist grob in vier Schritte gegliedert, die man schrittweise kennen lernen und bearbeiten kann. Hierbei ist anzumerken, dass dies wirklich nur eine Grobgliederung ist, da unmöglich alle Details berücksichtigen werden können.

**Delay** Im ersten Schritt werden die ankommenden Daten getrennt und verschachtelt. Gegeben sind vier 8-Bit Wörter die so anzuordnen sind, dass der Encoder sie richtig verarbeiten kann. Die Verzögerungen bewirken folgende Verschiebung der Wörter.

L1 R1 L2 R2 L3 R3 L4 R4

Im Beispiel:

- |    |                 |                     |         |           |         |           |       |
|----|-----------------|---------------------|---------|-----------|---------|-----------|-------|
| 1. | 1 1 0 0 0 0 1   | => ungerades Signal | 1 1 0 0 | => links; | 0 0 0 1 | => rechts | L1 R1 |
| 2. | 0 0 1 0 1 0 1 0 | => gerades Signal   | 0 0 1 0 | => links; | 1 0 1 0 | => rechts | L2 R2 |
| 3. | 1 0 1 0 1 0 0 0 | => ungerades Signal | 1 0 1 0 | => links; | 1 0 0 0 | => rechts | L3 R3 |
| 4. | 0 0 0 1 1 0 1 0 | => gerades Signal   | 0 0 0 1 | => links; | 1 0 1 0 | => rechts | L4 R4 |

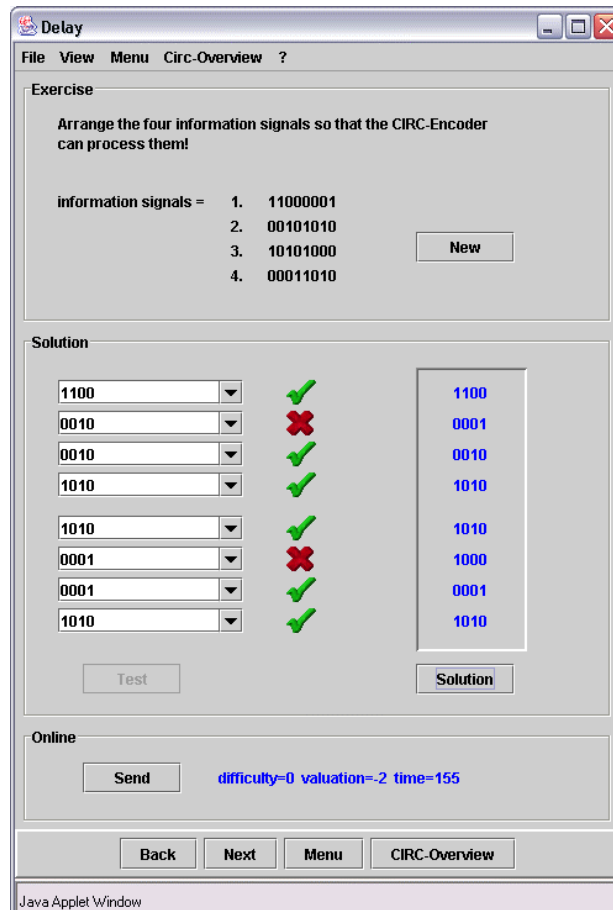


Abbildung 14: Screenshot "Delay"



**Q-Parity** Nach dem die Daten richtig angeordnet wurden, wird die erste Parität ( s.g. „Q-Parity“) mittels dem C2- Encoder ermittelt.

Gegeben sind ein Generatorpolynom, mit dessen Hilfe man die Paritätswörter berechnen kann, und die zu codierenden Informationswörter:

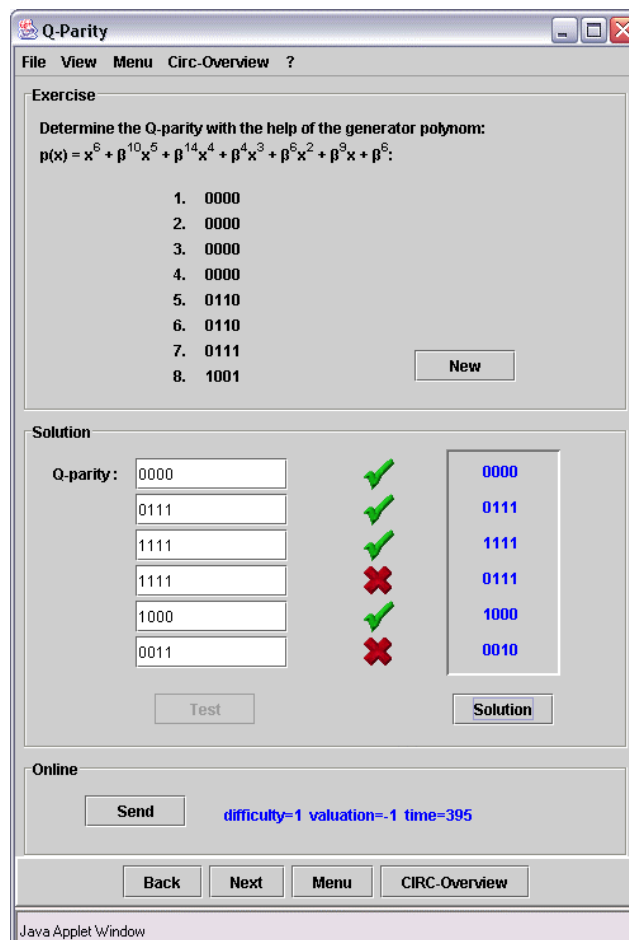


Abbildung 15: Screenshot "Q-Parity"

Als erstes müssen die Informationswörter mit Hilfe des Galoisfeldes ( $2^4$ ) in Symbole umgewandelt werden.

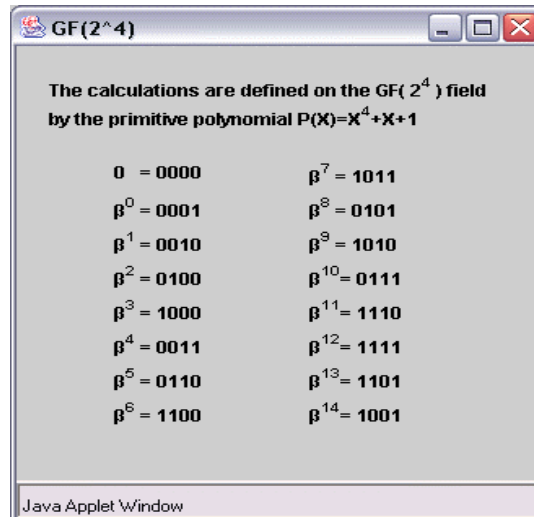


Abbildung 16: Screenshot "GF(2<sup>4</sup>)"

### Beispiel:

0000 => 0  
 0000 => 0  
 0000 => 0  
 0000 => 0  
 0110 => b<sup>5</sup>  
 0110 => b<sup>5</sup>  
 0111 => b<sup>10</sup>  
 1001 => b<sup>4</sup>

Die „Betas“ werden hier als b`s dargestellt.

### Modulo- Division:

Die korrekte Form sieht wie folgt aus, aber es ist einfacher nicht in der Polynomialdarstellung zur rechnen:

$$0x^{13} + 0x^{12} + 0x^{11} + 0x^{10} + b^5x^9 + b^5x^8 + b^{10}x^7 + b^{14}x^6 + 0x^5 + 0x^4 + 0x^3 + 0x^2 + 0x^1 + 0x^0 / x^6 + b^{10}x^5 + b^{14}x^4 + b^4x^3 + b^4x^2 + b^4x + b = \dots$$

$$\begin{array}{r}
b^5 \ b^5 \ b^{10} \ b^{14} \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ / \ 1 \ b^{10} \ b^{14} \ b^4 \ b^6 \ b^9 \ b^6 = b^5 \ b^{10} \ b^1 \ b^{10} \\
b^5 \ b^0 \ b^4 \ b^9 \ b^{11} \ b^{14} \ b^{11} \\
\hline
- \ b^{10} \ b^2 \ b^4 \ b^{11} \ b^{14} \ b^{11} \ 0 \\
\ \ b^{10} \ b^5 \ b^9 \ b \ b^1 \ b^4 \ b^1 \\
\hline
- \ b^1 \ b^{14} \ b^{10} \ b^7 \ b^{13} \ b^1 \ 0 \\
\ \ b^1 \ b^{11} \ b^0 \ b^5 \ b^7 \ b^{10} \ b^7 \\
\hline
- \ b^{10} \ b^5 \ b^{13} \ b^5 \ b^8 \ b^7 \ 0 \\
\ \ b^{10} \ b^5 \ b^9 \ b^{14} \ b^1 \ b^4 \ b^1 \\
\hline
- \ 0 \ b^{10} \ b^2 \ b^{10} \ b^3 \ b^1 \Rightarrow \text{Paritätswörter}
\end{array}$$

Die Paritätswörter werden in Bitstrings umgewandelt, um sie an das Informationswort anzuhängen :

- 0  $\Rightarrow$  0000
- $b^{10}$   $\Rightarrow$  0111
- $b^{12}$   $\Rightarrow$  1111
- $b^{10}$   $\Rightarrow$  0111
- $b^3$   $\Rightarrow$  1000
- $b^1$   $\Rightarrow$  0010

Algorithmus zur Berechnung der Paritätswörter:

1. Das Generatorpolynom ist vom Grad r. Daher müssen r 0-bits an das Informationswort gehängt werden.
2. Dividiere das erste Symbol des Informationswortes durch das erste Symbol des Generatorpolynoms.
3. Dieses Ergebnis muß mit allen Symbolen des Generatorpolynoms multipliziert werden.
4. Schreibe diese Symbole unter die Informationswörter und wandele sie mit Hilfe des Generatorpolynoms in die entsprechenden Bitstrings um.
5. Die Bitstrings werden mit einer XOR- Verknüpfung miteinander verrechnet.



Die Informationswörter aus der Drag Liste werden wie folgt in die Drop Liste eingefügt.

Beispiel aus dem Frame: 1001 0100 1101 0111 0110 1110 1111 1011

1001 => a

0100 => b

1101 => c

0111 => d

0110 => e

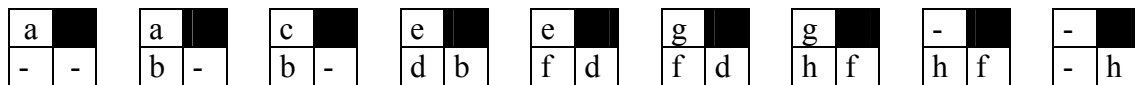
1110 => f

1111 => g

1011 => h

Zur Vereinfachung werden anstatt der Bitstrings Buchstaben verwendet.

Die folgenden Schritte zeigen, wie die Wörter in eine Matrix geschrieben werden und ausgelesen werden, so dass sie danach verschachtelt dem C1- Encoder weitergereicht werden.



Abwechselnd werden die oberen und die unteren Zeilen einer unteren Dreiecksmatrix gefüllt. Ist eine Zeile voll, wird das Wort aus der Matrix herausgeschrieben. Das erste Wort, das aus der Matrix geschrieben wurde, steht in der Drop Liste ganz oben, das zweite an der zweiten Stelle usw.

Lösung: a c b e d g f h

**P- Parität** Im C2- Encoder werden die P- Paritätswörter berechnet. Die Berechnung ist dieselbe wie die beim C1- Encoder, deshalb wird hier nicht näher auf die P- Paritätswörter eingegangen.

**CRC, RSPC** Bezüglich der Erklärungen der Frames zum CRC und zum RSPC wird auf die Studienarbeit „Java- basierte Entwicklung einer Lernsoftwarekomponente über die erweiterte Fehlererkennung-/ korrektur der Compact Disc“ von Manuela Mnich ( 2003 ) verwiesen.

## **6.3 Technisches Design**

Wird das Applet online genutzt muss sich der User zuerst einloggen, damit er mit dem Applet arbeiten kann. Nach erfolgreichem Einloggen kommt man auf die „Übersicht“ des Übungsapplet. Diese beinhaltet einen Baum, dessen Knoten die einzelnen CD-Formate darstellen. Von jedem Knoten aus kommt man auf die entsprechenden Fehlersicherungsarten.

### **6.3.1 CIRC- Encoding**

Gelangt man zu der Oberfläche des CIRC, hat man die Wahl, zuerst das Encoding oder das Decoding kennen zu lernen.

Fällt die Entscheidung auf das Encoding, gelangt man zum ersten der vier Frames, die den Ablauf des CIRC- Encoding darstellen. In den einzelnen Stufen läuft jeweils ein Bild des CIRC- Encoding mit. Diese soll der Übersicht dienen, damit der User immer weiß, welche Stufe des Encoding er gerade bearbeitet.

Dieser erste Frame, genannt Delay, ist unterteilt in einen Exercise-, einen Solution- und einen Online-Teil.

Im Exercise- Teil steht die Aufgabenstellung und die zu verschachtelten Informationsbits. Mittels „New“ kann man sich jederzeit neu Werte geben lassen.

Im Solution- Teil muss der User nun die richtige Aufteilung und Verschachtelung der Bits angeben.

Über den Button „Test“ kann er seine Lösung überprüfen lassen. Richtige Lösungen werden mit einem Haken, falsche Lösungen werden mit einem Kreuz gekennzeichnet. Durch das Auswählen der Solution- Option wird die richtige Lösung angezeigt. Alle Ergebnisse werden verworfen, sobald man den „New“ Button aktiviert.

Im letzten Feld, dem Online- Teil, hat man die Möglichkeit seine errechneten und eingegeben Daten an einen Server zu schicken, um seine Fähigkeiten mit anderen Anwendern zu vergleichen. Beim Auswählen von „Test“ erscheinen die Parameter, die übermittelt werden, wenn die Aufgabenlösung versendet wird. Diese Parameter beinhalten die Zeit, die für die Bearbeitung der Aufgabe benötigt wurde, den Schwierigkeitsgrad der Aufgabe und die Valuation, die, abhängig von der Häufigkeit, wie oft der Anwender einen Lösungsvorschlag angibt, abhängt.

Am oberen Rand des Frames befindet sich eine Menübar. Die wichtigste Funktion in dieser Leiste ist die Hilfefunktion, die direkt die Onlinehilfe startet.

Weiterhin besteht sie aus den Menüteilen File, View, Menu und CIRC- Overview.

Im Unterpunkt „File“ ist es möglich neue Werte generieren zu lassen. Über den Item „Quit“ kann das Applet geschlossen werden. In „View“ gibt es die Möglichkeit, zum vorherigen oder zum nächsten Frame zu springen. In „CIRC- Overview“ stellt das Übersichtsbild des CIRC dar, dass neben dem Frame angezeigt werden kann, falls es beim Starten nicht erschienen ist oder es unbeabsichtigt geschlossen wurde. Über den Item Menü kommt man wieder auf den Anfang des Applets, den Baum.

Die Navigationsleiste am unteren Rand des Frames beinhaltet die Optionen, die vorherigen Frames oder den nachfolgenden Frame zu öffnen. Analog wie in der Menübar kommt man zur CIRC Übersicht und zum Menü.

Im nächsten Frame, der über „Next“ erreicht wird, ist die Q-Parität zu berechnen.

Die Aufteilung erfolgt analog wie beim Frame „Delay“. Im Exercise- Teil steht wieder die Aufgabenstellung und die Informationsbits, mit deren Hilfe man die Paritätsbits berechnen muss. Über die Auswahl „New“ lassen sich neue Werte generieren. Der wesentliche Unterschied zu vorhin ist jedoch, dass bei einer neuen Auswahl das Informationswort, abhängig vom internen Schwierigkeitsgrad, schwerer wird. Beim automatischen Generieren sind, je nach Schwierigkeitsgrad, eventuell einige Wörter der Form „0000“ gegeben. Dies erleichtert die Berechnung der Paritäten.

Im Solution- Teil können die errechneten Lösungen in die dafür vorgesehenen Textfelder eingetragen werden. „Test“ überprüft nun wieder die bereitgestellten Lösungen mit den tatsächlichen. Ob die eingegeben Paritätswörter richtig sind, wird mittels einem Haken, oder, wenn sie falsch sind, mit einem Kreuz, dargestellt.

Der Button „Solution“ zeigt die richtige Lösung in blauer Schrift rechts neben den Textfeldern an.

Bei erneuter Generierung der Informationswörter verschwindet die Lösung wieder.

Der Online- Teil ist in jedem Frame analog, ebenso die Menüleiste und die Navigationsleiste, daher werden sie bei den weiteren Beschreibungen der Frames nicht mehr erwähnt.

Im weiteren Verlauf gelangt man zu dem Frame des Interleaving. Es besteht aus zwei bzw. drei Listen. Diese sind im Exercise- Teil zu sehen. Der Solution- Teil wurde hier in den Exercise- Teil integriert. In der ersten Liste sind die Informationswörter gegeben, die verschachtelt

werden müssen. Die Wörter können per Mausklick in die zweite Liste eingefügt werden. Der Button „New“ erzeugt neue Informationswörter und mittels „Test“ lässt sich überprüfen, ob die Verschachtelung, die der User errechnet hat, richtig ist. Über die Auswahl „Reset“ wird die Drag Liste mit den zuletzt erzeugten Werten gefüllt. Über die Buttons „up“ und „down“ kann man die Werte innerhalb der Drop Liste verschieben. Hier erscheint ebenfalls wieder ein Haken oder ein Kreuz, je nachdem, ob das Interleaving der Wörter richtig oder falsch ist. Die dritte Liste wird nur angezeigt, wenn man „Solution“ auswählt. In dieser steht die richtige Anordnung der Wörter.

Der letzte Frame des CIRC- Encoding ist die P- Parität. Der Aufbau und die Funktionsweise dieses Frames sind dieselben wie bei der Berechnung der Q- Parität.

### **6.3.2 CIRC- Decoding**

Im Decoding werden die codierten Wörter in einem Textfeld dargestellt. Mit Hilfe des angegebenen Generatorpolynoms muss errechnet werden, ob das Codewort korrekt übertragen wurde. Über „New“ lassen sich neue Werte generieren. Diese Angaben stehen wieder im Exercise- Teil. Die Lösung ist in diesem Frame durch Anklicken der Radiobuttons anzugeben. Diese befinden sich in dem schon mehrfach erwähnten Solution- Teil.

Über ein Kreuz oder einen Haken, die beim Testen erscheinen wird dem Anwender mitgeteilt, ob die gegebene Antwort richtig war. Über „Solution“ ist es möglich sich die richtige Antwort anzeigen zu lassen.

## **7 Implementation des Applets**

Die Entwicklung eines Übungsapplet in solchem Umfang verlangt eine gewisse Struktur der Programmierung, daher wurde für fast jeden Frame ein eigener Hintergrundcode implementiert.



## 7.1 Klassendiagramm

Das hier dargestellte Klassendiagramm zeigt, wie die einzelnen Klassen alle von der Klasse *Status* abhängen.

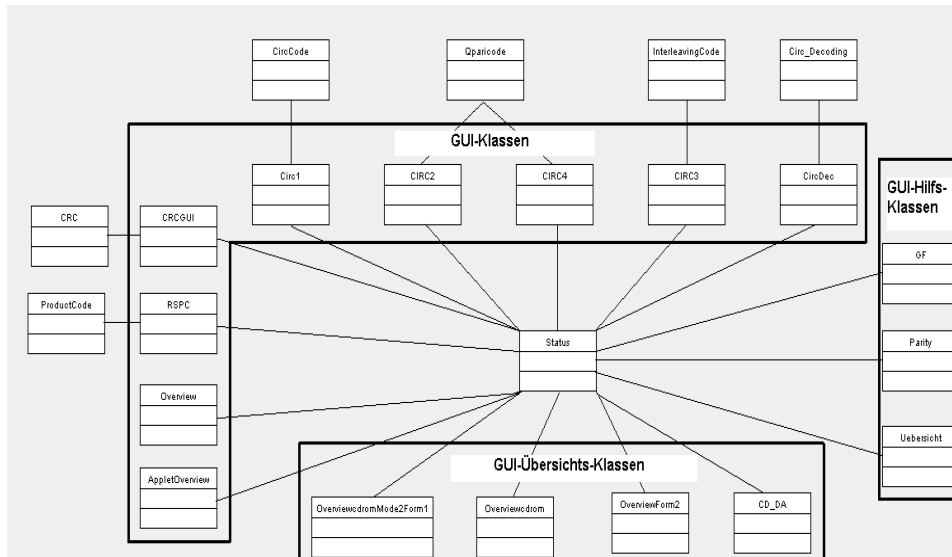


Abbildung 18: "Klassendiagramm"

## 7.2 Die Klasse *Status*

Die Klasse *Status* ist die Klasse auf der alle anderen Klassen, insbesondere die Klassen der Frames aufbauen.

In „*Status*“ wird den Frames ihre Größe zugewiesen und die Reihenfolge der Frames wird bestimmt. Jeder Frame hat seine eigene ID, die über einen String realisiert wurde.

In der Methode *getObject(String s)* werden die Objekte der jeweiligen Frames erzeugt. Welches Objekt nun erzeugt werden muss, wird über die ID gesteuert.

Über die Buttons „next“ und „back“, die bereits erläutert wurden, kann man auf den nächsten Frame oder auf den vorhergehenden Frame springen.

Diese Koordination wird in den Methoden *nextState(String akt, String next)* und *lastState(String akt)* vorgenommen. Der String „akt“ speichert immer die ID des aktuell sichtbaren Frames. Im String „next“ ist die ID des nächsten Frames gespeichert. Wählt man den Button next aus, wird ein Objekt des neuen Frames erzeugt ( mit Hilfe der ID next ) und der aktuelle Frame wird unsichtbar. Das Objekt wird jedoch nicht zerstört. Analog ist die Vorgehensweise wenn man die Auswahl „back“ trifft. Über das Array *state[state\_zaeher]* kann man auf die ID des vorherigen Frames zugreifen. Weiterhin werden in diesen Methoden immer die

Hilfsframes, bzw. deren Methoden aufgerufen, je nach dem ob sie für diesen speziellen Frame sichtbar sein sollen oder nicht.

Die Methode „*showHelp*“ sorgt dafür, dass man beim Aufruf der Hilfefunktion immer an die richtige Stelle in der Onlinehilfe springt. Wird zum Beispiel im Frame *Q-Parity* die Onlinehilfe aufgerufen, sieht der Anwender dort auch den entsprechenden Teil der Hilfe.

Zum Senden der eigenen Benutzerdaten stehen die Methoden „*setValuation(String akt,int value)*“, „*setDifficulty(String akt,int encDec)*“, „*setTime(String akt,String time)*“ zur Verfügung. Diese Benutzerdaten werden durch die Methode „*send()*“ an den CATS- Server übermittelt

### 7.3 Die Klassen des Cross Interleaved Reed Solomon Codes

Die Klassen *Circ1*, *CIRC2*, *CIRC3* und *CIRC4* stellen die Oberflächen zur Berechnung des CIRC- Encoding, die Klasse *CircDec* die Oberfläche zur Berechnung des CIRC- Decoding dar.

**Circ1.java** In der Klasse *Circ1* ist der Aufbau des Delay implementiert. Mit Hilfe von Checkboxen soll der User die Informationswörter in die richtige Reihenfolge bringen Die zur Berechnung benötigten Informationswörter, die Berechnung der richtigen Lösung und das Testen der errechneten Lösung des Users beinhaltet die Klasse „*CircCode.java*“

In der Methode „*test(String[] words)*“ der Klasse *CircCode* wird überprüft ob die vom User angegebene Lösung richtig oder falsch ist. Das Ergebnis des Tests wird in einem Boolean Array gespeichert und an die Oberfläche zurückgegeben. Die Erzeugung neuer Werte und die Berechnung der Lösung wurden in der Methode „*newValues()*“ programmiert. Es werden acht Informationswörter mit je acht Bits per Zufall erzeugt. Dies ist zugleich die richtige Lösung der Aufgabe. In einem zweiten Schritt werden die Werte zu vier Informationswörter mit der Länge von 16 Bits zusammengesetzt. Diese stellen die Werte dar, die der User beim Öffnen des Frames erhält, bzw. die immer neu generiert werden können.

Die Methode „*getTime()*“ berechnet die Zeit, die der User zur Bearbeitung der Aufgabe benötigt.

**CIRC2.java** Die Klasse *CIRC2* zeigt die Oberfläche in der man die Q- Parität berechnen kann. Den dazugehörigen Hintergrundcode wurde in der Klasse „*Qparicode.java*“ entwickelt.

Die Binärdarstellung des Galoisfeldes und die des Generatorpolynom sind in je einem zweidimensionalen Array gespeichert. Die dazugehörige  $\beta$ -Werte stehen in je einem eindimensionalen Array. Die Zuordnung der „Betas“ zu den entsprechenden Binärwerten erfolgt mit Hilfe der Methode „*Divisor\_beta2()*“.

Die Generierung der zu codierenden Werte hängt vom Schwierigkeitsgrad ab. Der Methode „*Werte()*“ wird daher ein Parameter „*diff*“ übergeben, der den internen Schwierigkeitsgrad ausdrückt.

Ist der interne Schwierigkeitsgrad „0“ sind die ersten vier Informationswörter der Form „0000“. Nur die letzten vier werden per Zufall erzeugt. Dies erleichtert die Berechnung der Paritätsbits.

Bei einem internen Schwierigkeitsgrad von „1“ werden nur noch die ersten zwei Informationswörter „0000“ gesetzt. Und in der höchsten Stufe werden alle Wörter zufällig erzeugt.

Die eigentliche Berechnung findet in den Methoden „*Compute\_betas()*“ und „*Add()*“ statt. In „*Compute\_betas()*“ wird die Multiplikation der „Betas“ durchgeführt und in der Methode „*Add()*“ werden die Binärwörter mit einer XOR- Verknüpfung verrechnet.

In allen weiteren Methoden werden die „Betas“ in Binärdarstellung umgewandelt und umgekehrt. Außerdem werden noch Funktionen ausgeführt, die für die Division nötig sind.

**CIRC3.java** In der Klasse CIRC3 wurde eine Drag `n Drop Liste entwickelt, mit deren Hilfe man die Informationswörter interleaven kann.

Die wichtigsten Methoden des Drag `n Drop Vorgangs sind

„*dragGestureRecognized(DragGestureEvent e)*“, „*dragEnter(DropTargetDragEvent e)*“ und „*drop(DropTargetDropEvent e)*“. In der erstgenannten Methode wird das Element aus der Drag Liste entnommen. Des Weiteren wird überprüft, ob dieses auch in der Lösung an der entsprechenden Stelle steht, an der es in der Drop Liste abgelegt wird.

Die Methode „*dragEnter(DropTargetDragEvent e)*“ sorgt dafür, dass man das ausgewählte Element über die Oberfläche ziehen kann. Für das Ablegen des selektierten Elementes ist die Methode „*drop(DropTargetDropEvent e)*“ zuständig. Außerdem wird hier noch das „gedragte“ Element aus der Drag Liste entfernt.

```
public void drop(DropTargetDropEvent e) {
    try{
        if(e.isDataFlavorSupported(DataFlavor.stringFlavor)){
            Transferable tr = e.getTransferable();
            e.acceptDrop (DnDConstants.ACTION_MOVE);
            String transfer = (String)tr.getTransferData (DataFlavor.stringFlavor);
            if (k == 8) return;
            else model.removeElementAt(selectedIndex);
        }
    }
}
```

```

        e.dropComplete(true);
        dropList.setModel(model2);
        model2.addElement(transfer);
        index2[k]=indexhelp;
        k++;
    }else{
        e.rejectDrop();
    }

}catch(IOException io) {
    io.printStackTrace();
    e.rejectDrop();
}catch (UnsupportedFlavorException ufe) {
    ufe.printStackTrace();
    e.rejectDrop();
}catch(ArrayIndexOutOfBoundsException el){
    el.printStackTrace();
}
}
}

```

Im Hintergrundcode „*InterleavingCode.java*“ werden die Informationswörter in Anlehnung an die Berechnungsvorschrift entsprechend „interleaved“ und in ein neues Array geschrieben.

**CIRC4.java** Der letzte Frame des Circ- Encoding stellt die Berechnung der P- Parität dar. Der Hintergrundcode ist analog zu dem der Q- Parität. Daher wird auf die Erläuterungen zur Berechnung der Q- Parität verwiesen.

**CIRC\_Decoding.java** Neben der Berechnung des Encoding existiert natürlich auch ein Frame um das Decoding des CIRC kennen zu lernen. Im Hintergrundcode *CircDec.java* werden die Informationswörter und die errechneten Paritätsbits aus dem *Qparicode.java* in einem Array gespeichert. Außerdem werden per Zufall Fehler in die Wörter eingebaut.

## 7.4 Die Klassen des CRC und des RSPC

Zur näheren Erläuterung der Klassen CRC, RSPC verweise ich auf die Studienarbeit „Java-basierte Entwicklung einer Lernsoftwarekomponente über die erweiterte Fehlererkennung-/korrektur der Compact Disc“ von Manuela Mnich (2003 ) von Manuela Mnich, da sie diesen Teil der Arbeit entwickelt und implementiert hat.

## **8 Zusammenfassung & Ausblick**

### **8.1 Zusammenfassung**

Ziel dieser Arbeit war die Implementation eines Übungsapplets, das die Berechnungen der verschiedenen Fehlerprüfmechanismen einer Compact Disc darstellt. Dabei wurden verschiedenen E- Learning Komponenten berücksichtigt. Die Aufgabenstellungen wurde auf einem höheren Abstraktionsniveau entwickelt, um den User nicht mit der aufwendigen Art dieser Codierungstechniken zu überfordern oder abzuschrecken. Die Ausarbeitung gibt einen Einblick in das E- Learning sowie in die Historie, die Entwicklung und den Aufbau der Compact Disc, die den Leser zum eigentlichen Inhalt, die Fehlerprüfverfahren bei einer CD, führen soll. Darüber hinaus wurde noch die Entwicklung und die Anwendung des entwickelten Applet erläutert. Zum Abschluss wird noch ein kurzer Ausblick in die Weiterentwicklung der Compact Disc gegeben.

### **8.2 Ausblick**

Da auch die Compact Disc im Bezug auf ihre Speicherkapazität an ihre Grenzen gelangt, wurde ein neues Medium entwickelt, dass je nach Variante bis zu 17 GB aufnehmen kann .

Dieses Medium nennt sich Digital Versatile Disc, kurz DVD. Das äußere Erscheinungsbild der DVD unterscheidet sich nicht von dem einer CD. Ebenso sind auch die Vorteile einer CD bei der DVD wiederzufinden. Unter anderen wäre hier zu nennen, dass bei häufigem Abspielen der CD bzw. DVD keine Qualitätsverluste entstehen, da die Speicherplatten nur mit einem Laser abgetastet und nicht physikalisch abgenutzt werden.

Der wesentliche Unterschied ist der bereits erwähnte Speicherplatz. Die große Kapazität der DVD wird erreicht durch eine Verkleinerung und ein näheres Beieinanderliegen der Pits, da der Spurbstand zwischen der Spiralspur enger ist. Außerdem wird die Datenrate einer CD um circa ein achtfaches übertroffen.<sup>38</sup>

Bezogen auf die Fehlerkorrekturmechanismus ist noch anzumerken, dass die DVD mit dem verbesserten RSPC arbeitet, der sich ja schon als zusätzlicher Code bei diversen CD-Formaten bewährt hat.

Da die Informationsflut in der heutigen Zeit nicht abnimmt sondern steigt, ist es sicher nur noch eine Frage der Zeit, bis auch die DVD ihren Gegner gefunden hat.

---

<sup>38</sup> Nagel, A.: DVD, Html- Dokument, URL: [http:// home.t-online.de/home/Andreas\\_Nagel](http://home.t-online.de/home/Andreas_Nagel)

## Literaturverzeichnis

Ackermann, M. R./Grawert, K. v: Die Mathematik der Audio-CD, Html-Dokument,  
URL: [http://www-math.upb.de/~mathkit/Documents/Seminar\\_SS02\\_MK/i10.html](http://www-math.upb.de/~mathkit/Documents/Seminar_SS02_MK/i10.html), 2002,  
letzter Besuch der Seite: 13. Juli2003

Bauer, R./ Philippi, T.: Einstieg ins E-Learning, Nürnberg: Bildung und Wissen Verlag und  
Software GmbH, 2001

Biaesch- Wiebke, C.: CD- Player und R- DAT- Recorder, 2.Azflage, Würzburg: VOGEL  
Buchverlag, 1989

CD-ROM-Formate im Überblick, Html- Dokument,  
URL: [http://people.freenet.de/PeeDee041180/CD\\_Formate.htm](http://people.freenet.de/PeeDee041180/CD_Formate.htm) , letzter Besuch der Seite:  
13. Juli 2003

Dankmeier, W.: Codierung, 2.Auflage, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg Verlag, 2001

E- Learning-was ist das, Html- Dokument,  
URL: [http://mail.phgraz.at/~wakoch/lernen/e\\_learning/elearning\\_definition.htm](http://mail.phgraz.at/~wakoch/lernen/e_learning/elearning_definition.htm) ,  
letzter Besuch der Seite: 13. Juli 2003

Friedrichs,B.: Kanalcodierung, 1.Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg,1995,

Hartmann/Meister/Strass: Das CD-ROM Handbuch, Poing: Franzis Verlag, 1994

Hintergrundwissen über CD-Formate, Html- Dokument,  
URL: [http:// www.lrz-muenchen.de/services/peripherie/cd-formate/](http://www.lrz-muenchen.de/services/peripherie/cd-formate/) ,  
letzter Besuch der Seite: 13. Juli 2003

Kammerl, R.: Computerunterstütztes Lernen- Eine Einführung, in: Computergestütztes  
Lernen ,München: Oldenbourg Verlag, 2000 (S. 7-22)

Kuhn, K.J.: Audio Compact Disc-Writing and Reading the data EE498, Html- Dokument,  
URL: <http://www.ee.washington.edu/conselec/CE/kuhn/cdaudio2/95x7.htm> ,  
Letzter Besuch der Seite: 13. Juli 2003

Liebig, C. H./ Effelsberg W.: Seamless Integration of Group Communication into an Adaptive  
Online Exercise System, PDF-Dokument, URL: <http://www.informatik.uni-mannheim.de/informatik/pi4/publications/library/Liebig2003a.pdf> , 2003,  
Letzter Besuch der Seite: 1. Juli 2003

Löser, M: Untersuchungen zur Übertragung von Echtzeitsignalen mit variabler Bitrate über  
ATM- Netzte (STM-4) am Beispiel von verlustfrei codierten TV- Signalen (SDI) unter Ein-  
satz einer geeigneten ATM-Adaptionsschicht (z.B. AAL5 und/oder AALx),  
PDF- Dokument, URL: <http://www.irt.referate/eoe/Diplomarbeit-Loeser.pdf> ,  
Ilmenau/München, 1999, Download des Dokuments: April 2003

Nagel, A.: Html- Dokument, URL: [http://www.t-online.de/home/Andreas\\_Nagel](http://www.t-online.de/home/Andreas_Nagel) ,  
letzter Besuch der Seite: 13. Juli 2003

Niegemann, H. M: Neue Lernmedien: konzipieren, entwickeln, einsetzen, 1.Auflage, Bern:  
Hans Huber Verlag, 2001

Paukstadt, R.:Verbundtechnischer Systeme unter besonderer Berücksichtigung informations-  
technologischer Aspekte, PDF-Dokument,  
URL: [www.uni-essen.de/~kte010/dat3\\_pdf/cdhtml.pdf](http://www.uni-essen.de/~kte010/dat3_pdf/cdhtml.pdf) , Download des Dokuments: Juli 2003

Riley, M./Richardson,I.: Reed- Solomon Codes, Html- Dokument,  
URL: [http://www.4i2i.com/reed\\_solomon\\_codes.htm](http://www.4i2i.com/reed_solomon_codes.htm) , letzter Besuch der Seite: 13. Juli 2003

Steinbrink, B.: Compact mit Format,- in: c't, Heft 2/93

Wicker, S.B./Bhargava, V.K.: An introduction to Reed- Solomon Codes and their  
applications, Herausgeber: Wicker, S.B./ Bhargava, V.K., IEEE Press 1994