

Analyse und Bewertung von Kopierschutzverfahren für Audio-CDs

Dipl. Wirtsch.-Inf. Thomas Wöhner
Technische Universität Ilmenau
Fachgebiet Informations- und Wissensmanagement
Postfach 100565
98684 Ilmenau

Abstract: Durch den andauernden Preisverfall von CD-Rohlingen und CD-Brennern bzw. durch die zunehmende Verbreitung von Internettauschbörsen sah sich die Musikindustrie gezwungen, effektive Kopierschutzverfahren für Audio-CDs zu entwickeln. Auf der einen Seite stellen sich nun Urheber die Frage nach der Wirksamkeit der Verfahren. Auf der anderen Seite befürchten Käufer eine Einschränkung der legalen Nutzungsmöglichkeiten. Im vorliegenden Beitrag werden die Kopierschutzverfahren in drei Klassen unterteilt. Da sich die Verfahren einer Klasse hinsichtlich der Funktionsweise kaum unterscheiden, wird jeweils ein Vertreter repräsentativ ausgewählt und detailliert erörtert; im Einzelnen sind dies: Key2Audio, Cactus Data Shield 200 und MediaMax CD3. Anschließend erfolgt eine Bewertung sowohl aus Sicht der Käufer, als auch aus Sicht der Urheber. Um eine umfassende Bewertung sicherzustellen, werden neben den bereits genannten Kopierschutzverfahren zusätzlich die gegenwärtig verbreiteten Verfahren Cactus Data Shield 100, Alpha-Audio S-Type, Alpha-Audio M2-Type sowie DOClloc berücksichtigt.

1 Einleitung

Digitale Güter speichern Informationen in Form von Binärdaten und sind daher beliebig oft ohne Qualitätsverlust kopierbar. Die leichte Reproduzierbarkeit ist zwar in einigen Anwendungsfällen von Vorteil, wenn es aber um die Gewährleistung von Urheberrechten geht, kann die Möglichkeit der einfachen Vervielfältigung als Nachteil gesehen werden. Zur Wahrung des Urheberrechts eignen sich Technologien wie digitale Wasserzeichen [KP00], [D99] oder Digital Rights Management (DRM) - Systeme [BBGR03]. Im vorliegenden Beitrag werden Möglichkeiten zum Schutz von digitalen Gütern am Beispiel von Kopierschutzverfahren für Audio-CDs erläutert.

Ursprünglich wurden im Compact Disc - Digital Audio (CD-DA)-Standard [DINEN99] keine Kopierschutzmaßnahmen aufgeführt. Bedingt durch den andauernden Preisverfall von CD-Rohlingen und CD-Brennern bzw. durch die zunehmende Verbreitung von Internettauschbörsen sah sich die Musikindustrie jedoch gezwungen, effektive Kopierschutzverfahren für Audio-CDs zu entwickeln [I04]. Die Verfahren werden jedoch in der Literatur zumeist nur oberflächlich beschrieben. Dies lässt sich dadurch begründen, dass Hersteller keine Informationen über die Funktionsweise verbreiten, um die Umgehung des Kopierschutzes zu erschweren. Einerseits besteht daher für die Urheber das Problem, dass sie die Effektivität der Kopierschutzverfahren nur schwer beurteilen können. Andererseits können Käufer kaum abschätzen, inwieweit legale Nutzungsmöglichkeiten, wie das Abspielen auf dem PC, eingeschränkt werden. Im vorliegenden Beitrag werden deshalb Kopierschutzverfahren für Audio-CDs untersucht und bewertet.

Im Abschnitt 2 werden zunächst Eigenschaften der Compact Disc - Digital Audio (CD-DA) [DINEN99] dargestellt, die für das Verständnis der Kopierschutzverfahren notwendig sind.

Abschnitt 3 beschreibt einleitend die grundsätzliche Funktionsweise von Kopierschutzverfahren von Audio-CDs. In diesem Beitrag werden drei verschiedene Klassen von Kopierschutzverfahren unterschieden. Die Kopierschutzverfahren einer Klassen ähneln sich hinsichtlich ihrer Funktionsweise. Es werden deshalb die Kopierschutzverfahren Key2Audio, Cactus Data Shield 200 (CDS200) sowie MediaMax CD3, welche jeweils eine Klasse repräsentieren, ausführlich erläutert. Zur Analyse wurden relevante Literaturquellen ausgewertet sowie eine Untersuchung von kopiergeschützten Audio-CDs mit Hilfe des Tools „Exact Audio Copy“ durchgeführt. Des Weiteren wurden Informationen aus den Patenten der Kopierschutzentwickler entnommen.

Im Anschluss an die Beschreibung erfolgt im vierten Abschnitt eine Bewertung sowohl aus Sicht der Käufer, als auch aus Sicht der Urheber. Um eine umfassende Bewertung sicherzustellen, werden neben den bereits genannten Kopierschutzverfahren zusätzlich die gegenwärtig verbreiteten Verfahren CDS100, Alpha-Audio S-Type, Alpha-Audio M2-Type sowie DOCloc berücksichtigt. Zur Bewertung werden die Ergebnisse einer praktischen Untersuchung von kopiergeschützten Audio-CDs ausgewertet.

2 Relevante Eigenschaften der CD-DA

Eine CD ist in die Bereiche: Einlaufbereich (Lead-In), Programmbereich und Auslaufbereich (Lead-Out) eingeteilt. Das Lead-In beinhaltet das Inhaltsverzeichnis, auch als Table of Content (TOC) bezeichnet, welches die Startzeiten der einzelnen Tracks auflistet und damit die Navigation auf der CD ermöglicht. Der Programmbereich enthält die Nutzdaten, während das Lead-Out das Ende der CD ankündigt. Die Daten sind in Frames und Sektoren strukturiert. Ein Frame besteht aus folgenden Datenbereichen: Synchronisationswort, Kontrollinformation (1 Byte), Nutzdaten (24 Byte), Fehlerkorrektur (8 Byte). Das Synchronisationswort markiert den Anfang eines Frames. Auf die Bedeutung der Kontrollinformation wird im Folgenden näher eingegangen. Die Nutzdaten einer CD-DA enthalten im Programmbereich die digitalen Audiodaten, im Ein- und Auslaufbereich ist dieses Feld mit 0 belegt.

Jeweils 98 Frames zusammengefasst bilden einen Sektor. Dies ist die kleinste adressierbare Einheit einer CD. Die Länge beträgt $1/75$ Sekunde. Am Anfang eines Sektors wird in den Kontrollbytes der ersten beiden Frames ein weiteres Synchronisationswort gespeichert, um den Start des Sektors zu markieren. Die einzelnen Bits des Kontrollbytes bezeichnet man durch die Buchstaben P bis W. Fasst man diese sektorweise zusammen, spricht man von einem Subkanal. Die jeweils ersten Bits eines Kontrollbytes werden als P-Kanal bezeichnet, die jeweils zweiten als Q-Kanal, die übrigen Subkanäle bilden zusammen den R-Thru-W-Kanal. Im letztgenannten können Zusatzinformationen, Grafiken o.Ä. gespeichert werden. Bei gegenwärtig vermarkteten Audio-CDs sind darin aber nur CD-Text-Informationen abgelegt. Der P-Kanal kennzeichnet den Start der Audiotracks. Ein P-Bit = 1 signalisiert eine Pause auf der CD. Ein P-Bit = 0 bedeutet, dass Audiodaten gespeichert sind und diese durch das jeweilige Abspielgerät wiedergegeben werden sollen. Am Anfang und am Ende des Programmbereichs wird eine Pause von zwei bis drei Sekunden kodiert. Die prinzipielle Struktur der 98 Bits des Q-Kanals ist in Abbildung 1 verdeutlicht.

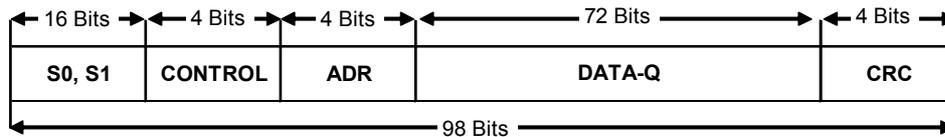


Abbildung 1: Aufbau des Q-Kanals

Die Bits S0 und S1 sind Teil des Synchronisationswortes zur Markierung des Anfangs eines Sektors. Das Control-Feld definiert die Art der Information des Tracks (z. B. Zweikanalaudio, CD-ROM-Daten, usw.). Im CRC-Feld sind Informationen zur Fehlerkorrektur enthalten. Das ADR-Feld gibt Auskunft über die Struktur und Bedeutung des DATA-Q-Feldes. Es werden im CD-DA-Standard die Modi 0 bis 4 (ADR = ‚0000‘ bis ‚0100‘) definiert. Zum Verständnis der Kopierschutzmaßnahmen ist besonders Mode 1 (ADR=‚0001‘) interessant. Abbildung 2 stellt die Struktur des DATA-Q-Feldes bei einem solchen ADR-Eintrag im Einlaufbereich und Abbildung 3 im Programmbereich dar.

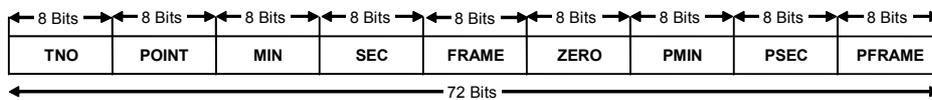


Abbildung 2: Aufbau des DATA-Q-Feldes im Lead-In bei ADR = ‚0001‘

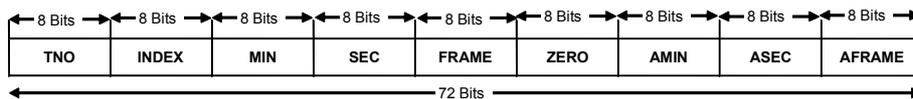


Abbildung 3: Aufbau des DATA-Q-Feldes im Programmbereich bei ADR = ‚0001‘

Das TNO-Feld gibt die aktuelle Tracknummer an. Im Einlaufbereich ist der Wert des Feldes mit ‚0000 0000‘ und im Auslaufbereich mit ‚1010 1010‘ festgelegt. Die Felder MIN, SEC und FRAME geben die relative Laufzeit innerhalb eines Tracks sowie innerhalb des Ein- und Auslaufbereiches an. Im Feld MIN sind die Minuten, im Feld SEC die Sekunden und im Feld FRAME die Sektoren eingetragen. Zusammengefasst werden die Felder als TIME bezeichnet. Deren Wert wird in der Form: ‚Minuten: Sekunden: Sektoren‘ angegeben. Die Felder AMIN, ASEC und AFRAME, zusammengefasst als ATIME bezeichnet, beschreiben in gleicher Weise die absolute Laufzeit der gesamten CD. Im Einlaufbereich werden diese Felder mit PMIN, PSEC und PFRAME, gemeinsam als PTIME, bezeichnet. Deren Bedeutung wird im Folgenden erläutert. Das Point-Feld klassifiziert die Einträge der TOC. Bei einem Point-Feld = ‚1010 0000‘ wird im Feld PMIN die Nummer des ersten Audiotracks angegeben, die Felder PSEC und PFRAME sind mit dem Wert 0 belegt. In analoger Weise wird bei dem Eintrag Point = ‚1010 0001‘ der letzte Audiotrack der CD markiert. Enthält das Point-Feld die Belegung ‚1010 0010‘, gibt die PTIME den Beginn des Auslaufbereiches an. Ansonsten wird dem Point-Feld eine Tracknummer zugeordnet und in PMIN, PSEC und PFRAME die Startzeit des jeweiligen Audiotracks eingetragen. Eine CD, welche sich aus mehreren Sessions zusammensetzt, wird als Multisession-CD bezeichnet [P95]. Eine Session besteht jeweils aus einem Lead-In, einem Programm- und Auslaufbereich. Zur Realisierung einer Multisession-CD wurde der Eintrag ‚1101 0000‘ des Point-Feldes

definiert. Bei einem solchen Eintrag gibt das Feld TIME den Beginn des Programm-
bereichs der nächsten Session und das Feld PTIME den Start des letzten Lead-Out auf der
CD an.

3 Funktionsweise von Kopierschutzverfahren für Audio-CDs

3.1 Allgemeine Funktionsweise

Es lassen sich drei Klassen von Kopierschutzverfahren unterscheiden:

- Klasse 1:** eine Nutzung der Audio-CD soll auf dem PC unterbunden werden
(z.B.: Key2Audio, CDS100, Alpha-Audio S-Type, DOCloc)
- Klasse 2:** zumindest eine Wiedergabe auf dem PC ist durch einen auf der Audio-
CD gespeicherten Media-Player möglich
(z.B.: CDS200, Alpha-Audio M2-Type)
- Klasse 3:** Kopien sind eingeschränkt ermöglicht
(z.B. MediaMax CD3, MediaMax M4)

Die Kopierschutzverfahren einer Klasse ähneln sich in der Funktionsweise. Im Folgen-
den wird deshalb pro Klasse jeweils ein konkretes Verfahren beispielhaft erläutert.

Die beiden erstgenannten Klassen realisieren den Kopierschutz durch Manipulationen in
der Datenstruktur einer Audio-CD. Dabei wird eine vom CD-DA-Standard und zumeist
auch von anderen Standards abweichende CD hergestellt. Ziel dabei ist es, dass CD-
Player die Audio-CD wie gewünscht abspielen, während Computerlaufwerke durch die
eingebauten Manipulationen verwirrt werden und deshalb entweder gar nicht oder nur
beschränkt auf die CD-Inhalte zugreifen können [VB03]. Die Vorgehensweise zur Realis-
ierung des Kopierschutzes beruht auf der Tatsache, dass CD-Player gegenüber Compu-
terlaufwerken ein anderes Ausleseverhalten aufweisen, da letztgenannte neben dem CD-
DA-Standard weitere CD-Formate unterstützen [MS03]. Die Manipulationen werden in
Bereichen der Audio-CD eingearbeitet, die von CD-Playern ignoriert, hingegen durch
Computerlaufwerke ausgelesen werden. Nahezu alle Kopierschutzverfahren nutzen
beispielsweise eine Multisession-CD. Die erste Session enthält die Audiodaten, während
die übrigen Sessions dem Kopierschutz dienen. Da im CD-DA-Standard nur eine Sessi-
on vorgesehen ist, vernachlässigen CD-Player die weiteren Sessions. Computerlaufwer-
ke hingegen greifen auf diese zu und ein korrektes Auslesen der Audio-CD-
Informationen ist aufgrund der dort eingebauten Manipulationen eventuell nicht möglich
[MS03]. Das Ausleseverhalten wird jedoch bei allen Geräten durch die individuell ges-
taltete Firmware gesteuert. Allgemeine Aussagen bezüglich der Wirkung einer Manipu-
lation sind daher nicht möglich. Kopierschutzverfahren der Klasse 3 verfolgen ein ande-
res Konzept und versuchen, den Kopierschutz durch den Einsatz von Softwaretools
umzusetzen.

3.2 Key2Audio

Key2audio wurde von Sony DADC Austria AG entwickelt. Derartig geschützte Audio-
CDs bestehen aus drei Sessions. Die erste Session enthält die Audiotracks, die beiden
übrigen dienen nur dem Kopierschutz und beinhalten keine nutzbaren Daten. Wie bereits
zuvor erläutert, greifen die meisten CD-Player nur auf die erste Session zu.

1. Session:

Die Pause vor dem ersten Titel, der Pregap, ist auf zehn Sekunden ausgedehnt, obwohl im CD-DA-Standard eine Pause von zwei bis drei Sekunden definiert ist [DINEN99]. CD-Player ignorieren im Allgemeinen durch die Interpretation des P-Bits diesen Bereich. In den ersten beiden Sekunden sind in den entsprechenden Sektoren CD-ROM-Daten gespeichert, wobei deren Wert mit 0 festgeschrieben ist. Das Control-Feld weist die Daten allerdings als Zweikanalaudio aus [VB03]. Zweck dieser Kopierschutzmaßnahme könnte es sein, dass Computerlaufwerke die Audio-CD fälschlicherweise als CD-ROM erkennen und deshalb Kopierprogramme die Extrahierung verweigern. Durch die Markierung der Sektoren als Zweikanalaudio soll möglicherweise sichergestellt werden, dass CD-Player die Audio-CD abspielen. Bei einigen Varianten von Key2Audio ist ferner im Pregap bei den Sektoren ‚00:02:14‘ bis ‚00:07:74‘ die ATIME fehlerhaft. Sie wird in diesem Bereich mit ‚00:00:00‘ angegeben [VB03]. Damit ein Computerlaufwerk die Daten korrekt dekodieren kann, muss die Drehzahl der CD an die auszulesende Position, welche durch die ATIME beschrieben wird [S95], angepasst werden. Deshalb verlieren möglicherweise Computerlaufwerke beim Zugriff auf die Bereiche mit manipulierter ATIME die korrekte Taktung und dekodieren deshalb die Daten der Audio-CD falsch.

2. Session:

In der TOC der zweiten Session befindet sich ein Eintrag, bei dem das ADR-Feld den Wert ‚0110‘ belegt, was in keinem Standard vorgesehen ist [VB03]. Des Weiteren müssen in der TOC die Einträge dreimal wiederholt werden [DINEN99]. Die Einträge mit dem fehlerhaften ADR-Feld enthalten jedoch bei jeder Wiederholung unterschiedliche Werte. Im Programmbereich sind CD-ROM-Daten gespeichert, die alle den Wert 0 beinhalten [VB03]. Möglicherweise können auch die Manipulationen der zweiten Session aufgrund der fehlerhaften Datenstrukturen bei einigen Computerlaufwerken zum Abbruch des Lesevorgangs führen.

3. Session:

In der dritten Session sind ebenfalls CD-ROM-Daten mit dem Wert 0 abgelegt. Bei einigen Varianten werden in der TOC, widersprüchlich zu den Vorgaben des CD-DA-Standards, die Titel aus den ersten beiden Sessions erneut aufgelistet. Alle Einträge verweisen auf den Datentrack der dritten Session. Hierdurch wird bei Computerlaufwerken die erste Session verdeckt, da deren TOC-Einträge ignoriert werden. Versuchen irritierte Computerlaufwerke auf die Audiotracks zuzugreifen, springen diese an die Stelle des Datentracks der dritten Session [VB03]. Des Weiteren befindet sich in der TOC der dritten Session ein Eintrag, bei dem das Point-Feld mit dem Wert ‚1011 0000‘ belegt ist. Der Eintrag müsste dementsprechend die Startzeit des ersten Tracks der nächsten Session beinhalten. Eine vierte Session ist jedoch nicht vorhanden. Außerdem verweist der Zeiger auf die Startzeit des Datentracks der dritten Session. Es handelt sich damit um einen rekursiven Zeiger, der dazu führen kann, dass Computerlaufwerke in eine Endlosschleife versetzt werden [WP00]. Ferner endet der Programmbereich bei Key2Audio-geschützten Audio-CDs nach zwei Sekunden und 15 Sektoren. Dabei sind die beiden ersten Sekunden durch das P-Bit als Pause markiert [VB03]. Laut ECMA 119 [ECMA87], welche die Dateistruktur einer CD-ROM beschreibt, beginnt der Datenbereich allerdings erst nach 16 Sekunden. Da in der dritten Session bei Key2Audio das

Lead-Out fehlt, ist es möglich, dass Computerlaufwerke versuchen, den nicht beschriebenen Bereich auszulesen und dadurch den Lesevorgang abbrechen und den Zugriff auf die Audio-CD verweigern.

3.3 CDS 200

CDS 200 wird von Macrovision vermarktet. Das Verfahren erlaubt es, die Audiotitel zumindest in komprimierter Form und damit in geminderter Klangqualität durch einen auf der Audio-CD gespeicherten Media-Player auf Windows- und Apple Macintosh-Systemen abzuspielen [M03]. Die Audio-CD unterteilt sich in zwei Sessions. Die erste enthält die Audiotracks. Im Unterschied zu dem zuvor erläuterten Kopierschutzverfahren, dient die zweite Session bei CDS 200 nicht ausschließlich zur Verwirrung der Computerlaufwerke, sondern soll die Wiedergabe der Audiotitel auf dem PC ermöglichen.

1. Session:

Laut Multisessionspezifikation ignorieren Computerlaufwerke die Sessions, bei denen ein Ausleseversuch scheiterte [P95]. Durch Manipulationen in der ersten Session, soll deshalb versucht werden, Computerlaufwerke am Auslesen der Audiotracks zu hindern. Bei einigen CDS200-geschützten Audio-CDs wird im Inhaltsverzeichnis ein unzulässiger Eintrag verwendet, bei dem das ADR-Feld mit dem nicht definierten Wert ,1100' belegt ist. Dies kann Computerlaufwerke veranlassen, den Zugriff auf die erste Session zu verweigern [VB03]. Ferner ist der Programmbereich manipuliert. Der erste Titel beginnt bereits bei Sektor ,00:01:74'. Um die absolute Zeit vom Pregap zu bereinigen, subtrahieren viele Computerlaufwerke von der ausgelesenen ATIME zwei Sekunden. An der Stelle ,00:01:74' führt dies allerdings zu einem negativen Ergebnis, was eventuell einen Abbruch des Lesevorgangs nach sich zieht oder eine Wiedergabe bzw. das Auslesen des ersten Audiotitels verhindert. Die meisten CD-Player führen eine solche Bereinigung nicht durch [H02]. Teilweise wird bei CDS200 eine Unregelmäßigkeit bezüglich der Synchronisationsbitfolge eingesetzt, welche den Anfang eines Sektors markiert. Im Bereich ,00:09:35' bis ,00:09:39' befindet sich diese zusätzlich in der Mitte des Sektors [VB03]. Die Kopierschutzmaßnahme kann zu einem Verlust der Synchronisation führen, wodurch eine korrekte Dekodierung der ausgelesenen Daten unmöglich ist. Der verfälschte Bereich wird auch von CD-Playern ausgelesen. Es ist deshalb fraglich, weshalb diese die Kopierschutzmaßnahme ignorieren und die Audio-CD korrekt abspielen. Es wird vermutet, dass CD-Player entweder während der Wiedergabe keine Synchronisation durchführen oder dass die kurzzeitig verlorene Synchronisation keine deutlich hörbaren Störungen hervorruft. Bei CDS200 werden des Weiteren in den Audiodaten irreparable Fehler künstlich eingebaut. Dadurch sollen Kopien unbrauchbar gemacht werden. Unkorrigierbare Fehler werden laut CD-DA-Standard verdeckt, indem an den Digital/Analog-Wandler Audiodaten gesendet werden, die aus einer Interpolation der benachbarten korrekten Audiodaten berechnet wurden. Die Vorgehensweise zur Generierung der fehlerhaften Bereiche wurde aus [SSA01] entnommen. Zunächst werden Stellen gesucht, an denen die interpolierten Werte in etwa den Originaldaten entsprechen. Die ursprünglichen Audiodaten werden anschließend durch Störsignale ersetzt. Dadurch passen die Prüfsummen nicht zu den gespeicherten Störsignalen. CD-Player erkennen somit unkorrigierbare Fehler, interpolieren die benachbarten korrekten Audiodaten und leiten die interpolierten Werte an den Digital/Analog-Wandler weiter. Da sich die inter-

polierten Werte von den Originaldaten kaum unterscheiden, ist die Manipulation kaum hörbar. Einige Kopiertools führen eine solche Berechnung nicht durch, sondern übernehmen auch an fehlerhaften Stellen die Daten direkt. Im Anschluss werden die Prüfsummen angepasst, so dass die Vervielfältigung scheinbar keine Fehler enthält. Dadurch sind bei der Kopie die Störgeräusche zu hören.

2. Session:

Um die Nutzung der Audio-CD auf dem PC zu ermöglichen, muss sichergestellt werden, dass die zweite Session fehlerfrei ausgelesen werden kann. Es finden jedoch Manipulationen Anwendung, welche die Audiotracks der ersten Session verbergen sollen. Um dies zu gewährleisten, wird die TOC der zweiten Session verfälscht. Wie bei Key2Audio werden auch bei CDS200 die Audiotracks der ersten Session erneut aufgelistet und dabei falsche Startzeiten zugewiesen. Die Startzeit für den Datentrack der zweiten Session ist korrekt. Dieser wird zudem als erster und letzter Track der Session ausgewiesen. Durch die beschriebene TOC können Computerlaufwerke in der Regel lediglich auf den Datentrack zugreifen, welcher die komprimierten Audiodaten sowie einen zur Wiedergabe notwendigen Media-Player beinhaltet [VB03]. Abhängig von der Audio-CD sind die Musikstücke mit 48, 64 und 128 kbit/s kodiert, was zu einer Minderung der Klangqualität führt. Die Pointereinträge, die auf den ersten und letzten Track verweisen, sind jedoch fehlerhaft. Das Control-Feld ist auf ‚0000‘ gesetzt, was den Track fälschlicherweise als Audiotrack kennzeichnet [VB03]. Da die Wiedergabe auf dem PC ermöglicht werden soll, kann es nicht Ziel dieser Manipulation sein, den Zugriff auf die zweite Session zu unterbinden. Es wird deshalb vermutet, dass die widersprüchliche TOC veranlassen soll, dass Kopierprogramme das Anfertigen einer Kopie verweigern. Die letzten zwei bis drei Sekunden einer CD-DA müssen als Pause markiert sein und sollten damit keine Daten enthalten [DINEN99]. Bei CDS200-geschützten Audio-CDs trifft dies nur teilweise zu. Die letzten zwei Sekunden sind zwar durch das P-Bit als Pause markiert, jedoch sind bei drei von vier Sektoren Daten ungleich 0 vorhanden. In den gleichen Sektoren sind ebenfalls im Zerofeld, welches laut CD-DA-Standard nur mit dem Wert 0 belegt ist, Werte ungleich 0 abgespeichert [VB03]. Es wird vermutet, dass in den besagten Bereichen, wie im Patent angekündigt, Teile der komprimierten Audiodaten gespeichert sind [ASS00]. Dadurch wird sichergestellt, dass nur durch den gespeicherten Media-Player die Audiotracks abspielbar sind, da andere Media-Player auf diese Bereiche nicht zugreifen. Ferner verhindert die Kopierschutzmaßnahme, dass die Daten beispielsweise durch den Windows-Explorer auf die Festplatte kopiert werden können.

3.4 MediaMax CD3

MediaMax CD3 wurde vom amerikanischen Unternehmen SunnComm Technologies entworfen, welches sich ausschließlich auf die Entwicklung von Kopierschutztechnologien spezialisiert hat [S04]. Gegenüber Key2Audio, CDS200 schränkt MediaMax CD3 die Nutzungsmöglichkeiten geschützter Audio-CDs weitaus weniger ein, da der Kopierschutz ausschließlich durch Software und nicht durch Manipulationen realisiert wird [H04]. MediaMax CD3-geschützte Audio-CDs bestehen aus zwei Sessions. Die erste Session entspricht bis auf den Verweis auf die zweite Session ohne Abweichungen dem CD-DA-Standard. Dadurch wird sichergestellt, dass auf CD-Playern keine Abspielprobleme auftreten. Bei der zweiten Session handelt es sich um eine nach den Anforderungen

der CD-ROM-Spezifikation gestaltete Datensession [H04]. Der darin enthaltene Datentrack beinhaltet die Musikstücke im WMA-Format, welche durch das Windows Media Digital Rights Management (WMDRM) geschützt sind sowie die Anwendung ‚LaunchCD.exe‘ [VB03]. Diese wird beim Einlegen der Audio-CD automatisch ausgeführt und dadurch der Treiber ‚SbcpHid‘ installiert, welcher auch nach dem Neustart des Systems aktiv bleibt. Dies ist jedoch abhängig vom verwendeten Betriebssystem. Damit die Anwendung automatisch ausgeführt wird, muss eine CD-Autostartfunktion aktiviert sein. [H04] Der Treiber erkennt geschützte Audio-CDs. Werden hiervon Audiotracks kopiert, wird der Kopiervorgang gestört. Dadurch werden so erstellte Vervielfältigungen durch Aussetzer oder Knackgeräusche unbrauchbar [H04]. Ferner können in Abhängigkeit von der Audio-CD in der zweiten Session weitere Zusatzmaterialien wie digitale Bilder, Musikvideos, Liedtexte o.Ä. gespeichert werden. Die Rechte des WMDRM sind so gesetzt, dass die Musikstücke auf WMDRM-kompatible Mp3-Player, auf die Festplatte und bis zu dreimal auf beschreibbare CDs kopiert werden können. Des Weiteren ist ein versenden per Email erlaubt. Dabei sind aber die Rechte so gesetzt, dass ein Abspielen nur innerhalb der folgenden zehn Tage erlaubt ist [S04].

4 Bewertung von Kopierschutzverfahren für Audio-CDs

Urheber stellen an Kopierschutzverfahren den Anspruch, dass das Anfertigen illegaler Kopien verhindert wird. Um diese Eigenschaft zu überprüfen, wurde eine praktische Untersuchung durchgeführt. Hierfür wurden die in Tabelle 1 dargestellten Audio-CDs auf den in Tabelle 2 aufgeführten Computerlaufwerken getestet.

Die Untersuchung wurde im Test-Labor der Zeitschrift „PC Professionell“ durchgeführt. Die getroffene Auswahl richtete sich deshalb nach den dort vorhandenen Test-CDs bzw. Test-Laufwerken.

Typ	Kopierschutzverfahren	Interpret	Titel	
Typ 1	Alpha S-Type	Test-CD	Alpha Audio S-Type	
	CDS 100	Peter Mafay	Tabaluga	
		Verschiedene	Gute Zeiten 33 - CD1	
		Hanne Haller	Mitten im Licht	
		De/Vision	Remixed	
	Doc Loc	Helium Vola	Helium Vola	
		Wolfsheim	Casting Shadows	
	Key2Audio	Heather Nova	South	
		Nsync	Celebrity	
		Racoon	Here we go, Stereo!	
	Typ 2	Alpha M2-Type	Marla Glen	Friends
			Test-CD	Alpha Audio M2-Type
CDS 200		Bangles	Doll Revolution	
		Grönemeyer	Mensch	
		Verschiedene	Bravo Hits 35 - CD1	
		Verschiedene	Bravo Hits 41-CD1	
		Alexander	Take me tonight	

Tabelle 1: verwendete Test-CDs

Laufwerkstyp	Hersteller	Computerlaufwerk
DVD-Brenner	Liteon	DVD-RW LDW 811S
	Philips	DVD-R 824P
	Nu	DDW 061
	Benq	DW 800a
	NEC	DVDRW ND1300a
DVD-ROM	Matshita	SR 8588
	HL-DT-ST	GDR8162E
	ASUS	DVD- E616
CD-Brenner	Yamaha	CRW-F1
	Artec	WRR-52x
	Plextor	PXW 4012TA
	Liteon	LTR 52246s
Combo-Laufwerk	Samsung	SM332
	Philips	CD-RW DVD 3210
CD-ROM	TEAC	CD 540E

Tabelle 2: verwendete Computerlaufwerke

Betrachtet man, beispielsweise mit dem Windows-Explorer, eine nichtkopiergeschützte CD-DA, so wird jeder Audiotrack durch eine Datei des Typs „cda“ repräsentiert. Diese enthält keine Audioinformationen, sondern beinhaltet lediglich einen Verweis auf den Start- und Endsektor des Titels. Bei der Untersuchung wurde deshalb wie folgt vorgegangen:

Zunächst wurde überprüft, ob auch bei den kopiergeschützten Audio-CDs die cda-Dateien im Windows-Explorer zu sehen sind. Im Erfolgsfall wurden die cda-Dateien mit dem Windows-Media-Player gestartet. Ließen sich die Audiotracks fehlerfrei abspielen, kann man von der Richtigkeit der Verweise ausgehen. In diesem Fall lässt sich erwartungsgemäß durch ein beliebiges Kopierprogramm eine digitale Kopie anfertigen. Anschließend wurde überprüft, ob sich durch einen Angriff eine brauchbare Kopie erstellen lässt. Unter einem Angriff wird im Rahmen dieses Beitrags der Versuch verstanden, den Kopierschutz zu umgehen, indem ein spezielles Kopierprogramm verwendet wird, welches Funktionen integriert, die geeignet sind, den Kopierschutz zu umgehen. Die entsprechenden Tools werden im Folgenden als Angriffstools bezeichnet. Da es urheberrechtlich untersagt ist, Methoden zur Umgehung von Kopierschutzverfahren zu veröffentlichen [Hi03], wird auf die verwendeten Tools und auf die jeweilige Konfiguration nicht näher eingegangen. Das Ergebnis der Untersuchung kann der Abbildung 3 entnommen werden.

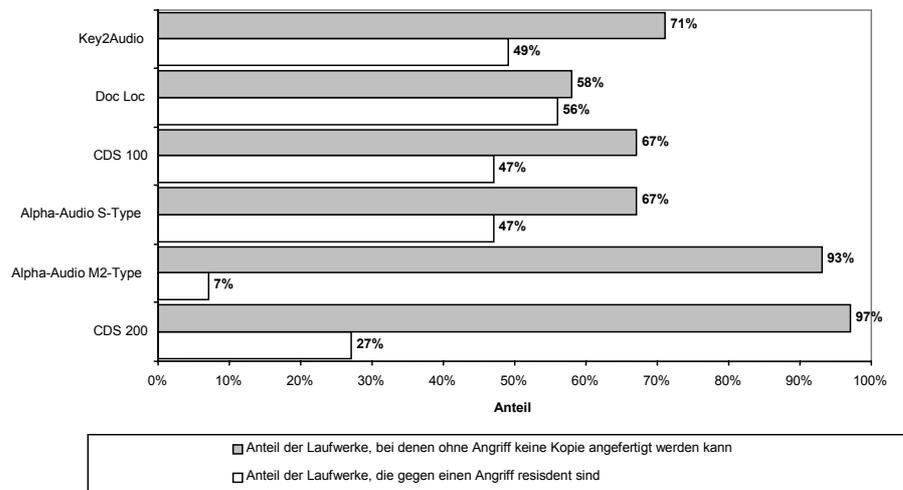


Abbildung 4: Effektivität der Kopierschutzverfahren

Die in der Abbildung dargestellten Prozentsätze ergaben sich wie folgt:

Im ersten Schritt wurden für jede Test-CD die entsprechenden Anteile wie zuvor erläutert ermittelt. Um die Anteile für die Kopierschutzverfahren zu berechnen, wurde ein Durchschnittswert aus den Anteilen aller Test-CDs gebildet, die das jeweils untersuchte Kopierschutzverfahren repräsentieren.

Im Ergebnis der Untersuchung zeigt sich, dass kein Kopierschutzverfahren den Ansprüchen der Urheber gerecht wird, da kein Verfahren das Anfertigen von Vervielfältigungen effektiv verhindert. Es sind zwei Tendenzen feststellbar:

- Bei Kopierschutzverfahren der Klasse 1 (eine Nutzung auf dem PC soll unterbunden werden) kann unter Verwendung eines Angriffstools eine brauchbare Kopie in durchschnittlich 50% der Testfälle angefertigt werden. Die Kopierschutzmaßnahmen sind in durchschnittlich 35% der Testfälle wirkungslos.
- Kopierschutzverfahren der Klasse 2 (Wiedergabe auf dem PC ist mit einem auf der Audio-CD gespeicherten Media-Player möglich) verhindern bei nahezu allen Computerlaufwerken die Anfertigung von brauchbaren Kopien, wenn kein Angriff auf den Kopierschutz erfolgt. Unter Nutzung von Angriffstools lässt sich der Kopierschutz aber meistens umgehen.

Der Vertreter der Klasse 3 (das Anfertigen von Kopien ist eingeschränkt möglich) MediaMax CD3 wurde nicht in die Untersuchung mit einbezogen, da dessen Wirksamkeit unabhängig vom verwendeten Computerlaufwerk ist. Aus Sicht des Urhebers muss das Verfahren jedoch besonders negativ bewertet werden, da bei entsprechender Kenntnis eine brauchbare Kopie angefertigt werden kann. Auf die Vorgehensweise zur Umgehung des Kopierschutzes wird aufgrund der urheberrechtlichen Bestimmungen [Hi03] nicht eingegangen.

Aus Sicht des Käufers sollen alle legalen Nutzungsmöglichkeiten, die nichtkopiergeschützte Audio-CDs bieten, trotz Kopierschutzmaßnahmen möglich sein. Da §53 UrhG auch das Anfertigen von Sicherheitskopien zulässt [Hi03], können folgende Nutzungsmöglichkeiten genannt werden:

- Abspielen auf herkömmlichen CD-Playern und auf DVD-Playern
- Abspielen auf dem PC
- Anfertigen von legalen Sicherheitskopien, wie 1:1-Kopien, Kopien auf der Festplatte sowie Kopie auf Mp3-Playern

Diesem Anspruch wird aber nur MediaMax CD3, wie im Abschnitt 3.3 erläutert, gerecht. Bei Kopierschutzverfahren der Klassen 1 und 2 werden Vervielfältigungen jeglicher Art unterbunden. Klasse 2 erlaubt zumindest eine Wiedergabe in geminderter Qualität auf dem PC. Sehr bedenklich ist die Tatsache, dass die Abspielbarkeit auf herkömmlichen CD-Playern oder DVD-Playern bei den Klassen 1 und 2 keinesfalls garantiert ist. Durch die Manipulationen, insbesondere in der ersten Session, können unter Umständen auch herkömmliche CD-Player bzw. DVD-Player verwirrt werden, weshalb eine Wiedergabe entweder gar nicht oder nur fehlerhaft möglich ist. Besonders trifft dies auf CD-Player zu, die Dateien im Mp3-Format wiedergeben können [H03].

5 Fazit

Im vorliegenden Dokument wurden drei Klassen von Kopierschutzverfahren für Audio-CDs unterschieden. Bei Klasse 1 soll eine Nutzung der Audio-CD auf dem PC unterbunden werden, Klasse 2 ermöglicht zumindest die Wiedergabe durch einen auf der CD gespeicherten Media-Player. Bei Klasse 3 ist das Anfertigen von Kopien eingeschränkt möglich. Es wurde stellvertretend für jede Klasse ein konkretes Verfahren erläutert. Die Kopierschutzverfahren der Klassen 1 und 2 realisieren den Kopierschutz durch Manipulationen in der Datenstruktur. Beispielsweise wird das Inhaltsverzeichnis der jeweils letzten Session verfälscht. Darin werden die Audiotracks der ersten Session erneut, allerdings mit falschen Startzeiten, aufgelistet. Im Ergebnis können einige Computerlaufwerke nicht auf die Musikstücke zugreifen. CD-Player lesen nur die erste Session aus, da im CD-DA-Standard nur eine Session vorgesehen ist. Das verfälschte Inhaltsverzeichnis wird deshalb ignoriert. Kopierschutzverfahren der Klasse 3 versuchen den Schutz mit Hilfe von Software sicherzustellen.

Im Rahmen einer praktischen Untersuchung wurde festgestellt, dass aus Sicht der Urheber kein Verfahren einen sicheren Kopierschutz gewährleistet. Bei Verfahren der Klasse 1 und 2 kann zumeist der Kopierschutz durch die Verwendung von speziellen Kopierprogrammen umgangen werden. Bei Kopierschutzverfahren der Klasse 3 lassen sich ebenfalls bei entsprechender Kenntnis brauchbare Vervielfältigungen anfertigen.

Aus Sicht des Käufers stellt lediglich Klasse 3 eine akzeptable Lösung dar. Die Verfahren erlauben es beispielsweise Kopien auf beschreibbaren CDs und auf der Festplatte anzufertigen. Kopierschutzverfahren der Klassen 1 und 2 lassen keine Kopien zu. Sogar die Wiedergabe auf herkömmlichen CD-Playern ist durch die eingebauten Manipulationen gefährdet.

Es stellt sich deshalb die Frage, inwieweit gegenwärtige Lösungen zu einer Umsatzsteigerung in der Musikindustrie beitragen. Einerseits werden potentielle Käufer durch die

Einschränkung der legalen Nutzungsmöglichkeiten vom Kauf abgehalten. Andererseits verhindern die Verfahren nicht effektiv das Anfertigen von illegalen Vervielfältigungen.

6 Ausblick

Neben den Kopierschutzverfahren für Audio-CDs werden in der Literatur weitere Methoden zur Wahrung der Urheberrechte, wie digitale Wasserzeichen [KP00][D00], DRM-Systeme, Content Scrambling System (CSS) [T01] oder Content Protection for prerecorded Media (CPPM) [T01], betrachtet. Die letztgenannten Verfahren verwenden im Unterschied zu Kopierschutzverfahren für Audio-CDs kryptografische Algorithmen. Deren Sicherheit ist damit von der Geheimhaltung des kryptografischen Schlüssels abhängig. Die Sicherheit der Kopierschutzverfahren für Audio-CDs beruht jedoch auf der Geheimhaltung der Kopierschutzmaßnahmen, da durch eine geeignete Gestaltung der Firmware die eingebauten Manipulationen umgangen werden können.

Aus dem Kerckhoff-Prinzip geht jedoch hervor, dass solche Methoden als unsicher einzustufen sind, da es nicht möglich ist, den Algorithmus eines Verfahrens auf Dauer geheim zu halten [S96]. Dieses Prinzip wurde durch die durchgeführte Untersuchung bestätigt. Besonders auf neueren Computerlaufwerken konnte der Kopierschutz umgangen werden. Dies deutet darauf hin, dass Hersteller von Computerlaufwerken allmählich Kenntnisse über die Funktionsweisen der Kopierschutzverfahren erlangen. Aufgrund des Kerckhoff-Prinzips wird erwartet, dass es auch in Zukunft nicht möglich ist, einen sicheren Kopierschutz ohne die Verwendung von kryptografischen Algorithmen zu entwickeln. Die Anwendung kryptografischer Verfahren bei der Audio-CD erfordert jedoch eine Umgestaltung der gegenwärtig eingesetzten Wiedergabegeräte. Derartige geschützte Audio-CDs sind deshalb nur schwer zu vermarkten.

Da wie zuvor erläutert Kopierschutzmaßnahmen einerseits zu einer Einschränkung der Nutzungsmöglichkeiten führen und andererseits die Entwicklung eines sicheren Kopierschutzverfahren für unwahrscheinlich erachtet wird, kann die Vorteilhaftigkeit von Kopierschutzverfahren bei der Audio-CD generell in Frage gestellt werden. Andere Strategien, wie beispielsweise eine veränderte Preispolitik, sind möglicherweise geeigneter, die Umsätze in der Musikindustrie zu sichern.

Literatur

- [ASS00] Ran Alcalay, Patrice Sinquin, Philippe Selve: Prevention of CD-Audio Piracy using Sub-Code Channels, Patent WO 01/80546 A2. World Intellectual Property Organization, Tel Aviv 2000
- [B01] Stanley Babowicz: Apparatus and Method for digital Content Concealment, Patent WO 02/075735 A1. World Intellectual Property Organization, Phoenix 2001
- [BBGR] Eberhard Becker, Willms Buhse, Dirk Günnewig, Niels Rump (Hrsg.): Digital Rights Management - Technological, Economic, Legal and Political Aspects. Lecture Notes in Computer Science 2770. Berlin - Heidelberg 2003
- [D99] Jana Dittmann: Sicherheit in Medienströmen: Digitale Wasserzeichen. Dissertation vorgelegt an der Fakultät Informatik der Technischen Universität zu Darmstadt. Darmstadt 1999
- [DINEN99] DIN EN (Hrsg.): Digital-Audio-System Compact Disc. DIN EN 60908. Berlin 1999
- [ECMA87] ECMA (Hrsg.): Volume and File Structure of CDROM for Information Interchange. ECMA 119. Genf 1987
- [H02] John A. Halderman: Evaluating New Copy-Prevention Techniques for Audio CDs. In: Joan Feigenbaum (Hrsg.) Digital rights management: ACM CCS-9 workshop, DRM 2002. Washington DC, S.101-117
- [H03] Sven Hansen: CD-Schutz kontra Verbraucherschutz - Mit dem c't-CD-Register mehr Überblick beim CD-Kauf. In: c't magazin für computertechnik. Nr. 7, 2003, S. 136-138
- [Hi03] Hans Peter Hilling (Hrsg.): Urheber- und Verlagsrecht : Urheberrechtsgesetz, Verlagsgesetz, Recht der urheberrechtlichen Verwertungsgesellschaften, Internationales Urheberrecht ; [mit UrhG-Novelle 2003]. 10. Auflage, München 2003
- [H04] John A. Halderman: Analysis of the MediaMax CD3 Copy-Prevention System. <http://www.cs.princeton.edu/~jhalderm/cd3/>, Abruf am 2004-04-27
- [I04] International Federation of the Phonographic Industry (Hrsg.): Musikkopien. <http://www.ifpi.de/jb/2004/musikkopien.pdf>, Abruf am 2004-04-26

- [KP00] Stefan Katzenbeisser, Fabien A. P. Petitcolas: Information Hiding – techniques for steganography and digital watermarking (Hrsg.). Boston - London 2000
- [MS03] Manuel Masiero, Oliver Schwede: Hörgenuss mit Hindernissen. In: PC Professionell. Nr. 8, 2003, S. 92-101
- [M03] Macrovision: Music CD Copy Protection - FAQ. http://www.macrovision.com/pdfs/CDS_FAQ.pdf, Abruf am 2003-11-23
- [P95] Philips (Hrsg.): Multisession-CD Specification. Version 1.0, 1995
- [S95] Georg Scheder: Die CD-ROM: Technik. Herstellung. Anwendung. Bonn u.a. 1995
- [S96] Bruce Schneier: Angewandte Kryptographie - Protokolle, Algorithmen und Sourcecode in C, Bonn u.a. 1996
- [SSA99] Patrice Siquin, Philippe Selve, Ran Alcalay: Prevention of Disk Piracy, Patent US 6,425,098 B1. United States Patent, Tel Aviv 1999
- [S04] SunnComm (Hrsg.): SunnComm Technologies, Inc. <http://www.sunncomm.com>, Abruf am 2004-04-27
- [T01] Jim Taylor: DVD Demystified. 2. Auflage, New York u.a. 2001
- [VB03] Francesco P. Volpe, David Bär: Die Un-CDs: So arbeiten Abspielsperren für Audio-CDs. In: c't magazin für computertechnik. Nr.7, 2003, 144-149
- [WP00] Andreas Winter, Stefan Podhajski: Optical Disc Copy Prevention System, Patent WO 01/78074 A1. World Intellectual Property Organization, Niederalm 2000