

LfU-3/1-4265

Sammlung und Verwertung von Compact Discs (CDs)

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821/9071-0
Fax: 0821/9071-5553

Das Amt gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen Staats-
ministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen

Verfasserin: K. Bayer

Stand: Oktober 2000

Bezug kostenlos

Gedruckt auf Recyclingpapier

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
2 Herstellung und Aufbau einer CD	1
2.1 Pressen	1
2.2 Brennen	3
2.3 Produktionsmengen von CDs	4
3 Verwertung von CDs.....	6
3.1 Verwertungsverfahren.....	6
3.1.1 Chemisches Aufbereitungsverfahren (Bayer AG):.....	6
3.1.2 Mechanisches Aufbereitungsverfahren (Newcycle GmbH):.....	7
3.2 Verwertungsmengen.....	7
4 Bilanz.....	8
5 Möglichkeiten der Erfassung	10
6 Ausblick und Empfehlung	11
7 Anhang.....	13
7.1 Adressen der Sammelsysteme:	13
7.2 Adressen der Verwerter:	13
7.3 Zusätzliche Hinweise	13
7.4 Literaturverzeichnis.....	15

Verwendete Abkürzungen

CD	C ompact D isc
CD-ROM	C ompact D isc R ead O nly M emory
CD-R	C ompact D isc- R ecordable
CD-RW	C ompact D isc- R e W ritable
DVD	D igital V ersatile D isc
PC	P olycarbonat
ABS	A crylnitril- B utadien- S tyrol

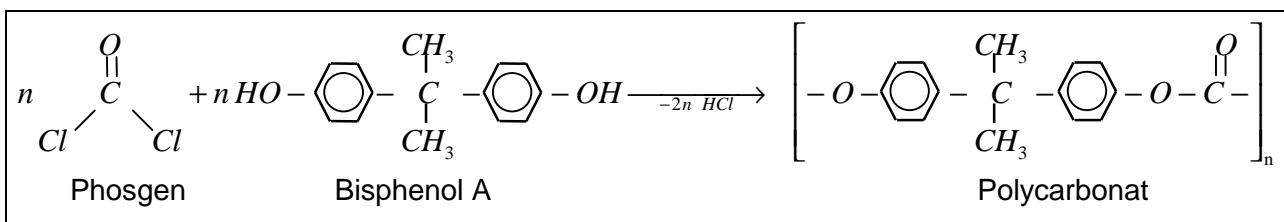
1 Einleitung

CDs verbreiten sich in unserem Alltag immer mehr. Sie haben als Speichermedium von großen Datenmengen die Diskette nahezu abgelöst. Als Beilage zu Zeitschriften, als Testversionen von Programmen u.a. für Internet-Provider, zur Datenablage von Videodaten, Photos und Musik werden CDs verwendet. Jährlich werden weltweit rund 7 Mrd. Stück produziert. Allein in Deutschland waren dies 1998 rund 9600 t. 1999 stieg die Zahl der produzierten CDs bereits auf rund 11 300 t. Neben der stetig steigenden Menge ist die Hochwertigkeit des Hauptbestandteiles Polycarbonat ein weiterer Grund über die Sammlung und Verwertung von gebrauchten CDs nachzudenken.

2 Herstellung und Aufbau einer CD

Eine CD besteht zu rund 99 % aus dem Kunststoff Polycarbonat.

Polycarbonat entsteht durch Polykondensation von Phosgen oder Kohlendäurediester mit Bisphenol A:



Bei der Herstellung der CD gibt es grundsätzlich zwei Verfahren. CDs können gepresst oder gebrannt werden.

2.1 Pressen

Bei der Produktion einer Musik-CD in Presswerken wird die Information in Form von Pits (Einkerbungen auf den Vertiefungen) direkt von der Matrize in das Trägermaterial Polycarbonat geprägt.

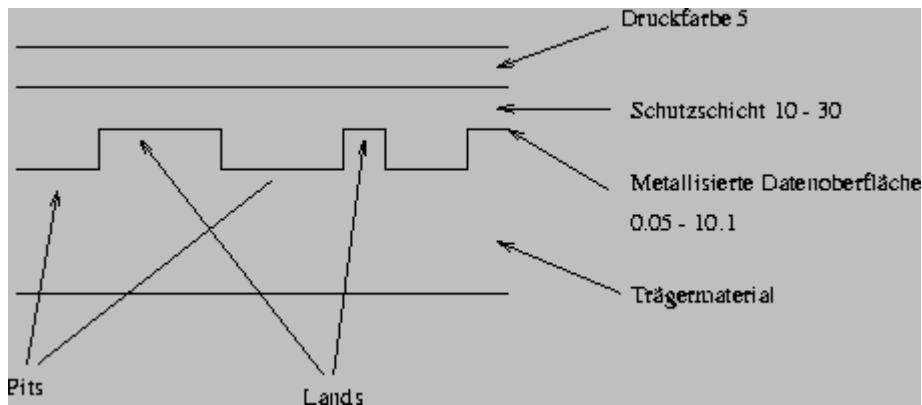


Abbildung 1: Aufbau einer CD (Angaben in μm) [1]

Darauf wird eine reflektierende Metallschicht meist aus Aluminium, aber auch aus Silber oder Gold aufgedampft. Zum Schutz wird die metallisierte Oberfläche mit einer Lack-schicht überzogen, die bedruckt werden kann.

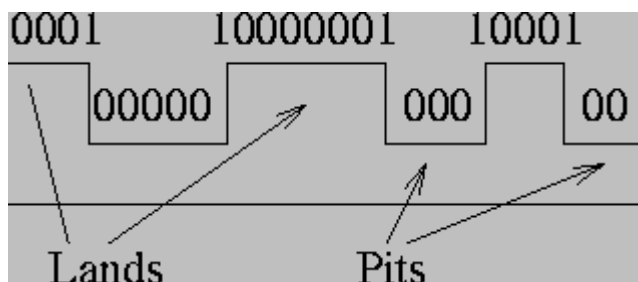


Abbildung 2: Kodierung mit Pits und Lands [1]

Ein Laserstrahl tastet die CD von unten ab. Die Information befindet sich in Form der Pits auf der spiralförmig von innen nach außen laufenden Spur. Die Spur wird von innen nach außen gelesen. Jede Pitkante, gleichgültig ob am Anfang oder am Ende, steht für eine 1, sämtliche Flächen dazwischen entsprechen einer 0. Durch die Aufteilung der Information zwischen die Abschnitte innerhalb der 1en können einzelne Beschädigungen auf der Oberfläche nicht die ganze CD unbrauchbar machen.

Strahlen, die von den Pits und der metallisierten Oberfläche reflektiert werden, führen zu Interferenzen. Die Interferenz bildet die Information, die als Lichtreflektion weitergegeben und im CD-Abspielgerät wieder zu Musik bzw. zu Informationen umgewandelt wird.

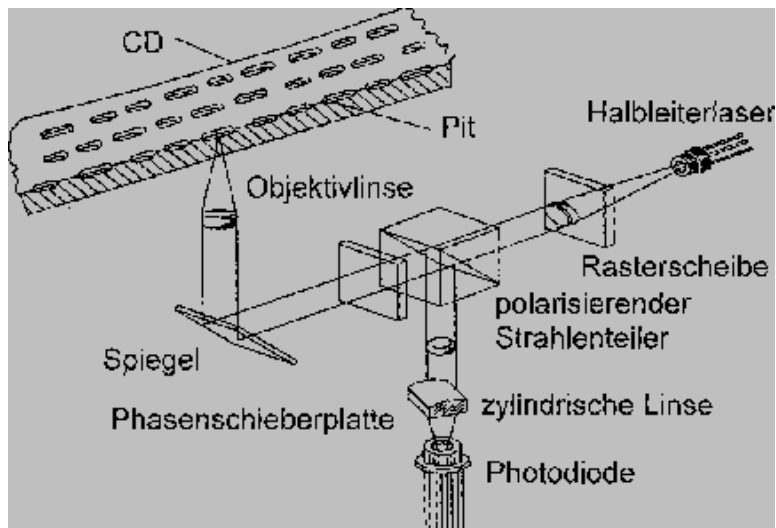


Abbildung 3: Abtasteinheit [1]

2.2 Brennen

Zum Brennen einer CD benötigt man einen CD-Writer und beschreibbare CDs, CD-Rs. Diese CDs sind etwa aufgebaut wie gepresste CDs. Sie bestehen aus Polycarbonat, einer Reflexionsschicht, einer zusätzlichen transparenten Farbstofflackschicht als Speichersubstanz und aus dem Schutzlack auf der bedruckten Seite. Da der Farbstofflack sehr aggressiv ist, ist die Reflexionsschicht bei der CD-R meist aus Silber oder Gold, das beständiger als Aluminium ist. Der transparente Farbstofflack wird beim Schreiben punktuell kurzzeitig erhitzt, wodurch eine chemische Reaktion ausgelöst wird. Die Lichtdurchlässigkeit des Farbstoffs wird verändert und ein Bläschen, das eine kleine Erhebung bildet, wird erzeugt. Diese Markierungen sind wie Pits auf einer gepressten CD und verursachen Phasenverschiebungen, die zu Interferenzen führen [1].

Die DVD hat die gleichen Maße wie eine CD, besteht jedoch aus zwei Halbscheiben mit dazwischen liegender Metallschicht. Die Schreibdichte bei der DVD ist wesentlich höher durch den verringerten Spurbstand ($DVD = 0,74 \mu m$, $CD = 1,6 \mu m$), die kürzeren Pitlängen und das Schreiben in zwei Schichten [2].

Bei einer CD-RW besteht die Speichersubstanz aus einer Mischung aus Silber, Iridium, Antimon und Tellur. Die Pits werden durch einen induzierten Glühvorgang erzeugt, bei

dem die Speichersubstanz längere Zeit einer Temperatur ausgesetzt wird, die zwischen Schmelz- und Kristallisationspunkt liegt und damit reversibel ist [3].

2.3 Produktionsmengen von CDs

Die Zahl der produzierten CDs wird für den CD-Audio- und CD-ROM-Bereich für 1998 weltweit auf rund 7 Mrd. Stück geschätzt [4]. Dieser Bereich der CD-Audio und der CD-ROM weist jedoch geringe Zuwachsraten auf. Der Bundesverband der Phonographischen Wirtschaft gibt die Zahl von abgesetzten Musik-CD für 1998 mit 2.361,9 Mio. Stück weltweit an. Die Produktion von CD-Rs belief sich 1998 weltweit auf 800 Mio. Stück CDs. Bis ins Jahr 2000 wird im Bereich CD-R mit einem Produktionsvolumen von 2 Mrd. Stück gerechnet [4]. Nach diesen Zahlen ergibt sich eine Aufteilung der CD-Mengen weltweit für die einzelnen Medienbereiche im Jahr 1998 wie folgt:

CD-Mengen in den Medienbereichen weltweit		
	t	Mio. Stück
CD Audio	37.790	2.361,9
CD ROM	74.210	4.638,1
CD-R	12.800	800,0
DVD	1.422	88,9
Summe	126.222	7.889

Tabelle 1: CD-Mengen weltweit im Jahr 1998

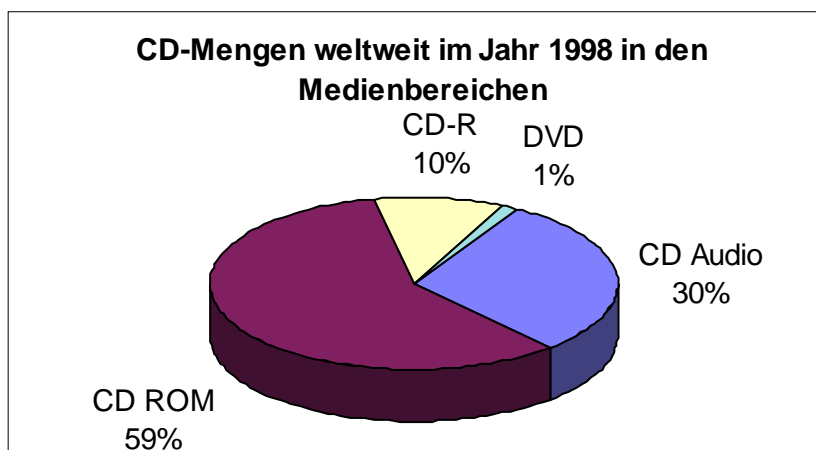


Abbildung 4: CD-Mengen weltweit im Jahr 1998

Für Deutschland gibt das Statistische Bundesamt die Zahl der produzierten CDs in den Jahren 1996 bis 1999 wie folgt an [5]:

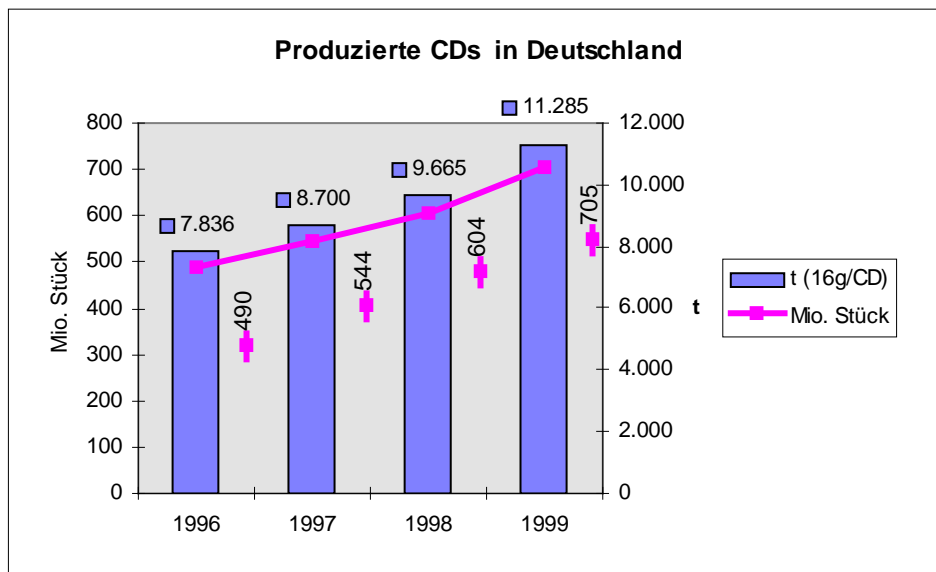


Abbildung 5: Produzierte CDs in Deutschland von 1996-1999

Es zeigt sich der stetiger Anstieg in den Produktionszahlen für den gesamten CD-Bereich. Im Audio-CD Bereich ist jedoch eine Stagnation festzustellen, was folgende Graphik verdeutlicht:

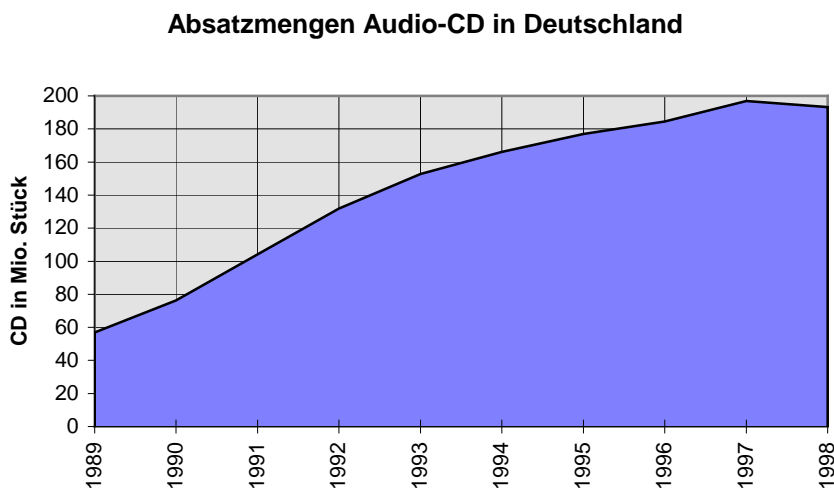


Abbildung 6: Absatzmengen Audio-CD in Deutschland von 1989-1998

3 Verwertung von CDs

3.1 Verwertungsverfahren

Das Ziel der Verwertung von CDs besteht in der Rückgewinnung des Hauptbestandteils Polycarbonat (PC) und der Herstellung neuer Kunststoffprodukte aus dem aufbereiteten Recyclat. Derzeit werden zwei verschiedene Aufbereitungsverfahren eingesetzt:

3.1.1 Chemisches Aufbereitungsverfahren (Bayer AG):

Die CD-Fractionen werden als nichtmetallisierte und metallisierte Fractionen mit Aluminium (CD-Audio, CD-ROM, DVD) und als metallisierte Fraction mit Silber (CD-R, DVD-R) gesammelt.

Die sortenreinen Fractionen werden gemahlen. Das nichtmetallisierte PC-Mahlgut wird zur Herstellung neuer Kunststoffprodukte in der eigenen Produktion wieder eingesetzt oder weiterverkauft.

Die gemahlene, mit Aluminium metallisierte Fraction, die auch Lack und Druckfarbe enthält wird mit Natronlauge behandelt. Das Trägermaterial Polycarbonat wird von den Störschichten befreit.

Die gemahlene, mit Silber metallisierte Fraction wird mit modifizierter Natronlauge unter Reibung behandelt. Vom Trägermaterial Polycarbonat blättern die Störschichten ab. Beide metallisierten Fractionen werden nach der Behandlung neutralisiert und gewaschen. Das entschichtete Polycarbonat enthält noch Verunreinigungen von Metall und Lack und ist daher nicht mehr für die Herstellung neuer CDs geeignet. Aus dem gereinigten PC-Mahlgut wird mit dem Kunststoff ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) PC-ABS-Blend hergestellt. PC-ABS-Blend wird in Computergehäusen und als Kunststoff in der Medizintechnik, der Automobilindustrie oder der Haushaltswarenindustrie eingesetzt. Grundsätzlich könnte das Polycarbonat so aufbereitet werden, dass es wieder zur Herstellung von CDs eingesetzt werden könnte. Dies ist aber technisch schwierig und wirtschaftlich nicht rentabel .

Bei diesem Verfahren entstehen Abwässer, die bei der Fa. Bayer AG in der werkseigenen Kläranlage aufbereitet werden. Die verbleibende Filterfraction (ca. 1 Gewichtsprozent), die aus Metall-, Lackresten und etwas Polycarbonat besteht wird im Werk in Dormagen in der Rückstandsverbrennungsanlage verbrannt [6].

3.1.2 Mechanisches Aufbereitungsverfahren (Newcycle GmbH):

Nach der sortenreinen Trennung durch automatische, optische Verfahren und Verfahren anhand einer Widerstandsvergleichsmessung werden die Fraktionen unterschiedlich weiterbehandelt.

Das Polycarbonat aus nichtmetallisierten CDs wird zermahlen und für die weitere Kunststoffherstellung von PC-ABS-Blend als PC-Mahlgut weiterverkauft.

Metallisierte CDs (Aluminium, Silber und Gold) und metallisierte CDs mit Lack und Druckfarbe werden mit Schälmessern entschichtet und auf ihre vollständige Entschichtung hin kontrolliert. Die Taktzeit pro CD beträgt 1s. Das bedeutet in etwa 17,4 h/t. Danach wird das entschichtete PC gemahlen.

Das PC-Mahlgut wird an die Autoindustrie weiterverkauft und dient zur Compoundierung von PC-ABS-Blend. Der PC-ABS-Blend wird im Auto eingesetzt als Kunststoff-Aufbau im Innenraum für das Schiebedach.

Technisch könnte eine Reinigung des Materials auch in diesem Aufbereitungsverfahren soweit erfolgen, dass erneut eine Herstellung von CDs möglich ist. Diese Reinigung wäre jedoch wieder mit hohem Energie- und Kostenaufwand verbunden. Der Entschichtungsrest aus Metall und Lack wird im Moment thermisch verwertet. Zukünftig werden die Reste wie auch die DVDs in der Staubmühle zermahlen und kommen in der Schuhsohlenindustrie als Beimengung zum Füllstoff zum Einsatz. Die DVD wird aufgrund der geringen Menge sowie aufgrund des Aufbaus aus zwei Scheiben mit der dazwischen liegenden Metallschicht zermahlen. CD-R werden genauso behandelt wie CDs, der Farbstoff wird mit den Metall- und Lackresten verwertet. Die Aufbereitung erfolgt im Werk in Ungarn.

3.2 Verwertungsmengen

Die Mehrzahl der CDs, die derzeit aufbereitet werden, stammen aus Über- und Fehlproduktionen oder nicht verkauften Computerzeitschriften, denen CDs beigelegt sind.

Nur vereinzelt fallen derzeit auch CDs aus Privathaushalten zur Entsorgung an.

Die Anzahl der aufbereiteten CDs werden von den Firmen in Deutschland in folgenden Mengen angegeben:

Firma	Aufbereitete CDs 1998	
	Stück [in Mio]	t
Bayer AG	353	5000
Newcycle GmbH	57	800

Tabelle 2: Aufbereitete CDs in Deutschland 1998

Um eine Doppelzählung zu vermeiden, wurden Sammelzahlen von Firmen, deren Zielsetzung die Datenlöschung für Kunden ist, nicht mit einbezogen. Diese Firmen machen die CDs durch thermische oder mechanische Verfahren unbrauchbar und geben die CDs meist zur Aufbereitung an die Firmen Bayer AG oder Newcycle GmbH weiter.

4 Bilanz

Die Firma Bayer AG operiert weltweit und erhält damit zur Aufbereitung CDs aus Europa und Asien. Weltweit gibt es drei größere Firmen, die CDs aufbereiten: Die Firma Bayer AG, die Firma Nisar, welche den amerikanischen Markt bedient und jährlich rund 3000-4000 t CDs aufbereitet und die Firma Newcycle GmbH;

Wenn man von der Produktionsmenge für das Jahr 1998 von 7 Mrd. Audio-CDs/CD-ROMs und 800 Mio. CD-Rs weltweit ausgeht, dann ergibt sich eine Summe von 7,8 Mrd. CDs bzw. 124 800 t CDs.

Bei einer Gegenüberstellung des aufbereiteten CD-Materials von 9800 t im Jahr 1998 entsteht eine Bilanz mit einer Recyclingquote von rund 7,8 %.

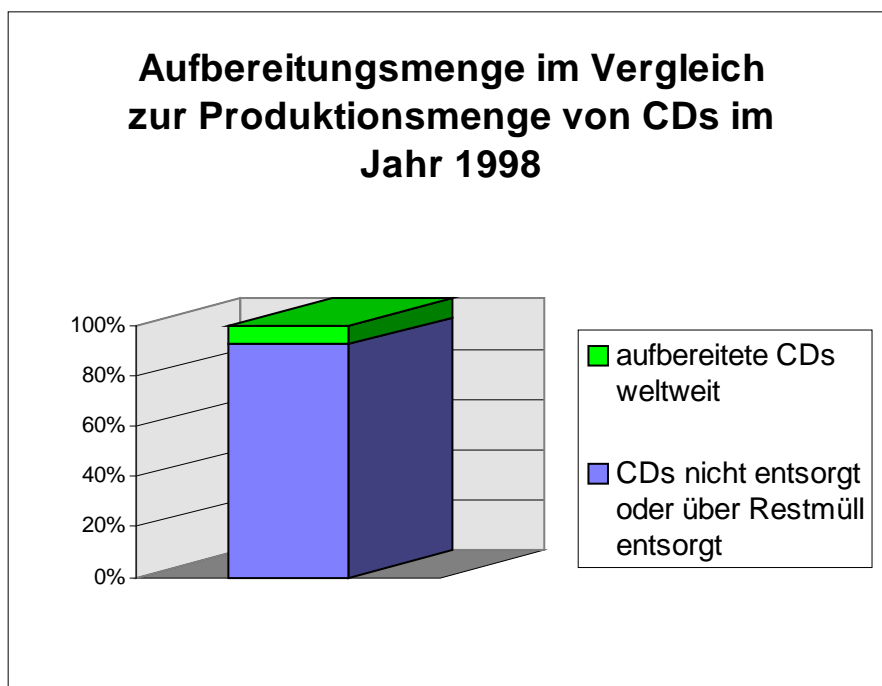


Abbildung 7: Aufbereitungsmenge im Vergleich zur Produktionsmenge im Jahr 1998

Bei der Erstellung von Bilanzen, die einerseits zwar einen sehr informativen Überblick über die zeitbezogenen Recyclingaktivitäten bieten, ist andererseits zu bedenken, dass

sie unter Umständen ein verzerrtes Bild wiedergeben. Die CD, vor allem die Musik-CD, ist kein Verbrauchsgut und stellt einen gewissen Wert dar, der über Jahre behalten wird. Aus diesem Grund werden nicht alle, nicht aufbereiteten CDs über den Abfall entsorgt. Diese Abschätzung der Recyclingaktivitäten ist deshalb mit Hilfe einer Bilanz schwierig aber dennoch hilfreich, um eine Einschätzung für die Größenordnung und die Entwicklung zu bekommen.

Bei einer Gegenüberstellung des Polycarbonatverbrauches jährlich mit 1,2 Mio. t, den produzierten CDs und den weltweit aufbereiteten CDs erhält man folgende Bilanz:

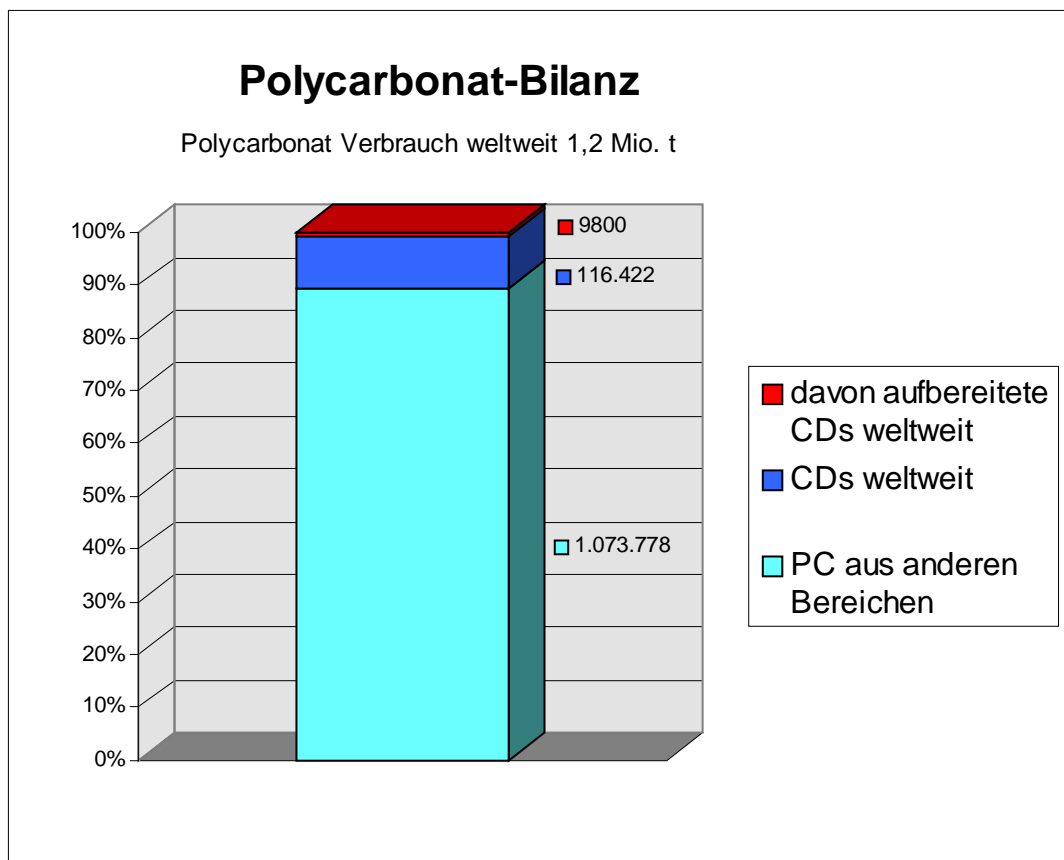


Abbildung 8: Polycarbonat-Bilanz mit geschätzten Werten von der Bayer AG

5 Möglichkeiten der Erfassung

Die Sammelsysteme stellen aufgrund der hohen Logistikkosten für die Aufbereitung den größten Kostenfaktor dar. Bisher wurden unterschiedliche Möglichkeiten geschaffen, kleinere Mengen zu größeren Volumenströmen zusammenzuführen, um diese gemeinsam zu verwerten.

Kleinere Mengen:

Bundesweit erfolgen kostenlose Sammlungen für kleine Mengen über die Initiative CD-Collect/Firma Newcycle GmbH und über die Firma Hetzel-Elektronik-Recycling GmbH.

Das Sammelsystem CD-Collect ermöglicht die Abgabe der CDs bei allen ComTech- und Vobis- Märkten [8]. Zur Firma Hetzel-Elektronik-Recycling GmbH können einzelne CDs gesandt werden.

Vereinzelt können in Städten und Gemeinden CDs an den Wertstoffhöfen abgegeben werden. Die Initiativen zur Sammlung von CDs in den Städten und Gemeinden haben fast alle in diesem Jahres begonnen. Abgabestellen findet man in der Stadt Coburg, im Landkreis Ebersberg, in den Gemeinden Feldkirchen, Haar, Oberschleißheim, Planegg, Pullach, Sauerlach und beim Zweckverband München Südost.

Größere Mengen:

Größere Mengen können bei der Firma Newcycle GmbH und bei der Firma Hetzel-Elektronik-Recycling GmbH angeliefert werden. Die Transportkosten müssen vom Anlieferer getragen werden, die Annahme ist kostenlos.

Die Firma Hetzel-Elektronik-Recycling GmbH leitet die sortierten und gebrochenen CDs weiter an die Firma Bayer AG, die innerhalb der bestehenden Kooperation die Aufgabe des Entschichtens, des Regranulierens und des Vermarktens des Recyclats übernimmt [7].

Die Initiative CD-Collect/Firma Newcycle GmbH bietet außerdem für größere Mengen zur Sammlung auch Gesamtpakete an, die als „Starter-Kit“ oder „Ergänzungskit“ bezeichnet werden und nicht kostenfrei sind. Die „Kits“ beinhalten folgende Produkte und Leistungen:

- „Starter-Kit: – 1 Display mit Kurzerklärung des Sammelsystems,
– 4 Sammelspindeln für je 250 CD´s
– einen Versandkarton,
– 1 vorgedruckter Adreßaufkleber,
– eine Anleitung zum Entwerten der CD´s
– sowie die Versandkosten zu Ihnen hin und zu uns (CD-Collect) zurück
- Ergänzungskit: – jeder weitere Sammelkit“ [8]

Der Starter-Kit kostet zum Stand 20.10.2000 59.- DM zzgl. ges. MwSt. und der Ergänzungskits 49.- DM zzgl. ges. MwSt. [8]. Die Aufbereitung der CDs und die Vermarktung des Recyclats übernimmt die Initiative CD-Collect als Firma Newcycle GmbH selbst.

Außer den genannten Sammelsystemen gibt es einige Firmen wie z.B. Remedia, CD-Recycling GmbH und Rethmann DATA München GmbH, deren Ziel die Datenvernichtung ist. Für diese Leistung wird von den Firmen eine Gebühr verlangt. Diese Systeme sollen hier nicht weiter besprochen werden, da die Zielausrichtung eine andere ist.

6 Ausblick und Empfehlung

Da Spiel- und Computerprogramme sowie Videofilme immer größere Kapazitäten fordern, sind unterschiedliche Technologien zum Teil schon durchgeführt, jedoch auch erst ange-dacht, um den Speicherplatz auf CDs zu erhöhen. Eine Möglichkeit ist das neue Format DVD (Digital Versatile Disc). Ein weiterer neuer Ansatz ist das Speichern von Daten in dreidimensionaler Form mit Hilfe von synthetischen Farbstoffen, die ihre Fluoreszenz ändern können [9]. Diese neuen Techniken können eine unterschiedliche Behandlung in der Verwertung erfordern. Das Beschreiben auf beiden Seiten stellt für das mechanische Ver-fahren eine Umstellung dar. Chemisch anders aufgebaute Speicherschichten können für das chemische Verfahren eine Änderung bedeuten. Dies stellt jetzt schon bei den CD-Rs Unterschiede für die chemische Verwertung dar. CD-RWs werden im chemischen Verfah-ren derzeit nicht verwertet.

Da die CDs aus einem hochwertiger Kunststoff bestehen und Verwertungsmöglichkeiten vorhanden sind, die eine energiearme und ökologisch sinnvolle Aufbereitung ermögli-chen, ist es nun wichtig, den Anreiz und die Möglichkeiten für die Bevölkerung zu schaf-fen, den Wertstoff zu sammeln. Diese Möglichkeiten können in den örtlichen Wertstoffhö-fen gegeben werden.

Viele unterschiedliche Quellen prognostizieren eine Erhöhung der hergestellten Mengen von CDs und DVDs, so dass eine vermehrte Bereitstellung von Sammelmöglichkeiten durchaus erforderlich werden kann.

Im Moment läuft eine Testsammlung für ein Jahr in den Gemeinden Oberschleißheim, Planegg, Pullach, Sauerlach und im Zweckverband München Südost¹ des Landkreises München, um genauere Informationen über Mengen und die Bereitschaft der Bevölkerung zur Sammlung zu erhalten. Stößt diese Testsammlung auf ausreichende Sammelzahlen, dann sollte für den Bürger die Möglichkeit geschaffen werden, CDs in allen Landkreisen zu sammeln.

¹Zusammenschluss der Gemeinden Aying, Brunnthal, Neubiberg, Hohenbrunn, Höhenkirchen-Siegertsbrunn, Putzbrunn

7 Anhang

7.1 Adressen der Sammelsysteme:

- CD-Collect Ost (Einzelsammlung, Gewerbliche Sammlung) Tel.: 08095/ 7 88
Dorfstraße 7 Fax: 08095/20 83
85655 Großhelfendorf
- CD-Collect West (Büro) Tel.: 0208/39 08 32
Reichpräsidentenstraße 21-25 Fax: 0208/39 08 27
45470 Mühlheim/Ruhr
- ComTech-, und Vobis-/Escommärkten (Einzelsammlung)
- Hetzel-Elektronik-Recycling GmbH (Einzelsammlung, Gewerbliche Sammlung)
Maybachstr. 18 Tel.: 0911/424770
90441 Nürnberg Fax: 0911/418375

7.2 Adressen der Verwerter:

- Newcycle Kunststofftechnik GmbH Tel.: 08095/ 7 88
Dorfstraße 7 Fax: 08095/20 83
85655 Großhelfendorf
(entspricht CD-Collect)
- Bayer AG Tel.:0214/30 3637
KU-EU/Recycling Fax:0214/30-31318
51368 Leverkusen
(Zusammenarbeit mit der Firma Hetzel-Elektronik-Recycling GmbH)

7.3 Zusätzliche Hinweise

CDs können bei den Sammelstellen nur ohne Hüllen abgegeben werden. Die Hüllen bestehen aus dem Massenkunststoff Polystyrol. Da die Hersteller keine Gebühr an das Duale System abführen, können diese nicht über den gelben Sack abgeführt werden. Die Hüllen können sonst in Container, die für nicht dem Dualen System zugehörige Kunststoffe vorhanden sind, eingeworfen werden.

Wenn sich auf den CDs noch vertrauliche Daten befinden, sollte die Spur der CD zerstört werden, damit diese unlesbar wird. Dazu ritzt man mit einem spitzen Gegenstand vom Loch innen bis zum Rand der Metallisierung [8].

Sollten sich keine Möglichkeiten ergeben, Sammelstellen aufzusuchen oder die CDs an die angegebenen Stellen zu senden, ist eine Entsorgung mit dem Restmüll unproblematisch, wenn auch nicht wünschenswert.

7.4 Literaturverzeichnis

- [1] Moser, B.: Seminar Multimedia und Electronic Publishing, Internetpublikation Uni Karlsruhe http://i31www.ira.uka.de/docs/mm+ep/10_CDROM/, 22.01.1997
- [2] Sieber, S.: DVD - Digital Versatile Disc- Aufbau und Arbeitsweise, Internetpublikation TU Chemnitz http://www.tu-chemnitz.de/informatik/HomePages/RA/kompendium/vortraege_97/dvd/dvdtext.html, 1997
- [3] Tschritter, N.: Die CD-RW, Internetpublikation FH Lüneburg, Fachbereich Wirtschaft <http://www.FH-Lueneburg.de/fbw/index.html> unter Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Norber Tschritter, 03.1998
- [4] Bayer AG: Makrolon CD- the resin with partnership and technical support- Firmenschrift Bestell-Nr.: KU 18506-0002 e/5477448, Ausgabe 02/2000
- [5] Statistisches Bundesamt, Fachserie 4 Reihe 3.1 1998
- [6] Bayer AG: Recycling von Compact Discs aus Makrolon® von Bayer, 10 Fragen- 10 Antworten, Firmenschrift Bestell-Nr.: KU 40965 d/4462188, Ausgabe 10/97
- [7] Hetzel-Elektronik-Recycling GmbH: Recycling von Compact Disks aus Polycarbonat, Firmenschrift
- [8] Newcycle GmbH: Das innovative Sammelsystem CD-Collect, Internetpublikation <http://www.cd-collect.com/sammelsy.htm>
- [9] Nöldechen, A.: Farbstoffe erhöhen drastisch die Kapazität von CD-ROMs; COMPUTER ZEITUNG, (41):34, oct 1996
- [12] UmweltMagazin: Aktuelles: Ab auf die Spindel, August 1997
- [13] Calowitz B: Die Kunststoffe, Hanser Verlag, München, 1990
- [14] Bottenbruch, L., Anders, S., Bussink J.: Technische Thermoplaste, Hanser Verlag, München, 1990