

IZT

Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
Institute for Futures Studies and Technology Assessment

Display-Märkte im Umbruch

Neuorientierungen für Umweltschutzstrategien

Siegfried Behrendt, Lorenz Erdmann

Werkstattbericht Nr. 63

**Roadmap im Auftrag des
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)**

Entwurf



Berlin, April 2004

ISBN 3-929173-63-8

© 2004 IZT

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

(Werkstattberichte / IZT, Institut für Zukunftsstudien und
Technologiebewertung ; Nr. 63)

ISBN 3-929173-63-8

© 2004 **IZT** by Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung. – Berlin

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Printed in Germany

Fokusgruppe Displays



SONY



Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung
Institute for Futures Studies and Technology Assessment

Ansprechpartner

Siegfried Behrendt

Lorenz Erdmann

IZT

Schopenhauerstr. 26

D-14129 Berlin

Tel.: 030-803088-10

Fax: 030-803088-88

E-Mail: s.behrendt@izt.de

Web: <http://www.izt.de>

Abstract

Wie lassen sich die Entwicklungen zur Informationsgesellschaft mit den Herausforderungen des nachhaltigen Wirtschaftens verknüpfen – sowohl strategisch für die gesamte Branche als auch ganz praktisch im einzelnen Unternehmen? Unter dieser ambitionierten Fragestellung begann im Sommer 2001 ein Dialogprozess zwischen Vertretern aus Wirtschaft, Politik und Forschung. Unter der Bezeichnung NIK („Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik“) wurde von der Bundesregierung über das Bundesministerium für Bildung und Forschung ein Projekt zur Erstellung einer Roadmap für eine nachhaltige Informations- und Kommunikationstechnik initiiert. Die Ergebnisse wurden im November 2003 in Berlin im Rahmen eines Expertenforums vorgestellt.

Zentrale Elemente des Dialogs waren Fokusgruppen, deren Kernaufgabe in der Zielformulierung und der Entwicklung und Abstimmung von Vorschlägen zur Umsetzung von Leitvisionen bestand. Neben den Schwerpunkten Mobilkommunikation und Öffentliches Beschaffungswesen fokussierte die Initiative auf Displays. Für eine Nachhaltigkeitsorientierung der Displaybranche wurden folgende Innovationsfelder verfolgt:

- Schaffung der Voraussetzungen für ein Recycling von Kathodenstrahlbildröhren im industriellen Maßstab
- Proaktive Entwicklung von Recyclingverfahren für Flachbildschirme
- Entwicklung und Produktion neuen Flachdisplaytechnologien
- Entwicklung nachhaltiger Produktnutzungssysteme für elektronisches Papier.

Abstract

How can the trends towards an information society be linked to the challenges of sustainable development – both as a strategy for the ICT sector and practically in single ICT enterprises? Guided by this question a dialogue process among representatives from business, policy and science has been started in summer 2001. Under the term NIK („Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik“ - Sustainability in the Information and Communication Technologies) the Federal Government initiated a project via the Federal Ministry of Education and Science, to develop a roadmap for a sustainable information and communication society. The results were presented in an expert forum, held in November 2003 in Berlin.

Main elements of the dialogue were focal groups, whose key tasks existed in the formulation of goals as well as in the development of and agreement on suggestions to implement lead visions. In addition to the focal subjects Mobile Telecommunication and Public Procurement the initiative focussed on Displays.

To steer the display sector into a more sustainable direction the following innovation areas were identified and promoted:

- Creation of the prerequisites for glass-to-glass recycling of cathodic ray tubes on an industrial scale,
- Proactive development of recycling processes for flat panel displays,
- Development and production of new flat panel display technologies,
- Development of sustainable product use systems for electronic paper.

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung	12
2	Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung	13
3	Trends, Visionen und Herausforderungen	15
3.1	Trends	16
3.1.1	Technologische Trends und Marktentwicklungen	16
3.1.2	Trends bei Umweltaspekten	29
3.1.3	Rechtliche Rahmenbedingungen	38
3.2	Visionen	40
3.2.1	Closed-Loop-Recycling von Kathodenstrahlröhrenglas	41
3.2.2	Ressourcenproduktivität durch LCD-Monitore	44
3.2.3	Schadstofffreie Flachdisplays	48
3.2.4	Europa als Produktionsstandort für neue nachhaltige Displaytechnologien	49
3.2.5	Nachhaltige Produktnutzungssysteme durch E-Paper	50
3.3	Herausforderungen	54
4	Fokusgruppe	55
4.1	Fokusgruppe	55
4.2	Themenschwerpunkte	56
5	Roadmap	57
5.1	Ziele	57
5.2	Maßnahmen	60
5.2.1	Altglaseinsatz in der Schmelze um Faktor 8 erhöhen	60
5.2.2	Open loop Pfade für CRT-Altglas optimieren	61
5.2.3	Ausbau und Optimierung des Zulieferernetzwerkes von CRT-Altglas	61
5.2.4	CRT-Trenntechnik automatisieren – Recyclingbetriebe qualifizieren	62
5.2.5	Rechtlich-politische Rahmenbedingungen für CRT-Recycling überprüfen	62
5.2.6	Quecksilber in LCDs kennzeichnen und reduzieren	65
5.2.7	Proaktiv Recyclingoptionen für LCDs identifizieren	66
5.2.8	Umwelentlastung durch LCD kommunizieren	69
5.2.9	Sensibilisierung von Akteuren im Bereich neuer Flachdisplaytechnologien	70

6	Fazit und Empfehlungen	71
6.1	Fazit	71
6.1.1	Ergebnisse	71
6.1.2	Dialogmodell	73
6.2	Empfehlungen	75
6.2.1	Unternehmen und Unternehmensverbände	76
6.2.2	Umweltpolitik	77
6.2.3	Forschungs- und Entwicklungsförderung	77
6.2.4	Industrie- und Strukturpolitik	78
7	Literaturverzeichnis	79
8	Anhang	82
8.1	Fokusgruppe Displays	82
8.2	Workshops der Fokusgruppe Displays	82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Technologie- und Marktentwicklungen im Überblick	28
Tabelle 3-2: Aktivitäten zur Reduzierung der Umweltbelastungen von CRT-Displays	29
Tabelle 3-3: Eckdaten für das Mengenaufkommen an CRT in Deutschland (2000)	30
Tabelle 3-4: Zusammensetzung eines TFT-LCD-Panels	32
Tabelle 3-5: Ökoeffizienz von TFT-LCD im Vergleich zu CRT für Desktop-Monitore	33
Tabelle 3-6: Life Cycle Assessment LCD/CRT	33
Tabelle 3-7: Ökoeffizienz von LCD-TV im Vergleich zu CRT-TV	34
Tabelle 3-8: Energieverbrauch neuer Flachdisplaytechnologien am Beispiel von Geräten der Firma Philips	36
Tabelle 3-9: Orientierende Grobabschätzung der Umwelteffekte neuer Flachdisplays gegenüber vergleichbaren herkömmlichen Displays	37
Tabelle 3-10: Grobe Abschätzung für Quecksilber in der Hintergrundbeleuchtung von LCD-Desktop-Monitoren	48
Tabelle 4-1: Handlungsfelder des Fokusthemas	56
Tabelle 5-1: Vorschlag zur Priorisierung der Verwertungsoptionen für Bildröhrenaltglas nach LAGA-Richtlinie	63
Tabelle 5-2: Quecksilberfreie LCD-Alternativen	66
Tabelle 5-3: Recyclingoptionen für LCD	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Nachhaltigkeitsdimensionen von Displays	13
Abbildung 3.1: Displaytechnologien	15
Abbildung 3.2: Weltmarkt für Display-Anwendungen	17
Abbildung 3.3: Übersicht Technologien und Märkte	17
Abbildung 3.4: Entwicklung des CRT/FPD-Gesamtweltmarktes in Umsatzzahlen	19
Abbildung 3.5: Entwicklung von LC-Displays im TV-Segment (Weltmarkt)	19
Abbildung 3.6: Produktionsstandorte für CRT-Glas 2003 und Verlagerungstendenzen (2008)	20
Abbildung 3.7: TFT/CRT-Monitore (Weltmarktentwicklung)	22
Abbildung 3.8: Entwicklung des Display-Weltmarktes	22
Abbildung 3.9: Durchschnittliche Größe (Display-Diagonale) von AM-LCD (TFT-LCD) in verschiedenen Anwendungen 2001 – 2007 in Zoll (inch)	23
Abbildung 3.10: Neue Flachdisplaytechnologien	24
Abbildung 3.11: Anteil verschiedener Regionen an der Gesamtproduktion von aktiv Matrix Flüssigkristallanzeigen (AM-LCD/TFT-LCD) 2001 – 2007	25
Abbildung 3.12: CRT-Marktentwicklung und theoretischer Rückfluss in Deutschland	42
Abbildung 3.13: End-of-Life Szenario für CRT-Glas bei Produktion in Deutschland	43
Abbildung 3.14: End-of-Life Szenario für CRT-Glas unter veränderten Weltmarktbedingungen	43
Abbildung 3.15: Displayglasmenge in Notebooks und Desktop-Monitoren in Deutschland	45
Abbildung 3.16: Abfall und Stromverbrauch für die Diffusionsrate von LCD-Monitoren in Deutschland	46
Abbildung 3.17: Kumulierter Primärenergie- und Ressourcenaufwand (nicht erneuerbar) für Desktop-Monitore in Deutschland	47
Abbildung 4.1: Akteurskonstellation der Fokusgruppe	56
Abbildung 5.1: Einsatzmengen von CRT-Altglas bei der Firma Schott Glas bis 2005	58
Abbildung 5.2: Roadmap Displays	60

Abkürzungen

3D: Dreidimensional

BITKOM: Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation u. neue Medien

BVSE: Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung

CAD: Computer Aided Design

CRT: Cathode Ray Tube

DFE: Deutsches Flachdisplay-Forum

DSD: Duales System Deutschland

E-Paper: elektronisches, wiederbeschreibbares Foliendisplay

EU: Europäische Union

FPD: Flat Panel Display

KEA: Kumulierter Primärenergieaufwand

LAGA: Länderarbeitsgemeinschaft Abfall

LCA: Life Cycle Assessment

LCD: Liquid Crystal Display

LED: Light Emitting Diode (Leuchtdiode)

MMS: Multimedia Message System

NE: Nichteisenmetall

OLED: Organic-Light-Emitting-Diode

ORGALIME: Europäischer Verband der Maschinen-, Elektro-, Elektronik- und Metallwarenindustrie

PC: Personal Computer

PDA: Personal Digital Assistant

PRA: Kumulierter Primärressourcenaufwand

ROHS: Restriction of Hazardous Substances (EU-Direktive)

SMS: Short Message System

STN: Super Twisted Nematic

TFT: Thin Film Transistor

W: Watt

WAP: Wireless Application Protokoll

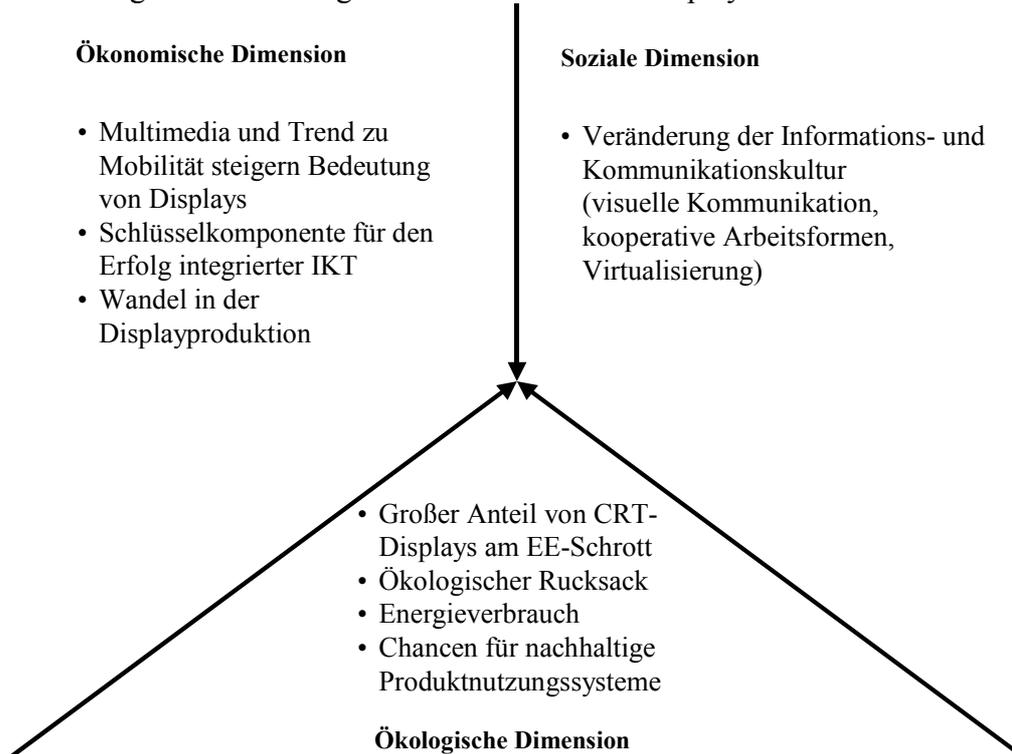
1 Vorbemerkung

Die vorliegende Roadmap für Displays beruht einerseits auf der Kombination von Trendanalyse (Extrapolation) und Szenariotechnik (Retropolation). Andererseits basiert sie auf der Arbeit der Fokusgruppe "Displays", die sich am 16. April 2002 in Berlin im Rahmen der Forschungsinitiative des BMBF "Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik" konstituiert und die Entwicklung der Roadmap begleitet hat. In der Fokusgruppe "Displays" waren neben dem Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), das den Roadmap-Prozess moderiert und wissenschaftlich unterstützt hat, die Firmen Schott Glas, LG Philips Displays, Sharp, Sony und Merck sowie das mittelständische Recyclingunternehmen Griag vertreten. Temporär beteiligt waren der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM), das Deutsche Flachdisplay-Forum (DFF), das Umweltbundesamt sowie die Recyclingfirmen Vicor und Mirec. Die Roadmap gibt den Stand von Juli 2003 wieder, wie er sich der Fokusgruppe zu diesem Zeitpunkt dargestellt hat. Die in der Roadmap genannten Planungszahlen beziehen sich auf das Jahr 2002.

2 Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung

Bei Displays (Bildschirm) handelt es sich um eine Komponente der Informations- und Kommunikationstechnik. Deren Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung ist vor-dergründig nicht offensichtlich, jedoch bestehen in allen drei Dimensionen der Nachhaltigkeit gewichtige Bezüge:

Abbildung 2.1: Nachhaltigkeitsdimensionen von Displays



Quelle: eigene Darstellung

Ökologisch ist bei „Displays“ das hohe Abfallaufkommen von Bildröhren von Bedeutung. Rund ein Drittel des Elektronikschrottes informations- und kommunikationstechnischer Geräte sind Bildröhren. Weiterhin besteht ein großer Ressourcenbedarf für die in Bildschirmen eingesetzten Inhaltsstoffe, darunter Blei, das einen ökologischen Rucksack in der Größenordnung von 250.000 Tonnen pro Jahr hinterlässt. Auch der Stromverbrauch von Bildschirmen trägt in erheblichen Maße zur Umweltrelevanz von Displays bei. Mit Blick auf die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit besteht die Herausforderung, die damit verbundenen Stoff- und Energieströme über die bereits vorhandenen Aktivitäten hinaus weiter zu reduzieren.

Aber beim Thema Displays geht es um weit mehr. Displays sind Schlüsselkomponenten für die Informationsgesellschaft mit hoher *ökonomischer und sozialer Bedeutung*.

Bislang dominiert bei der Bilddarstellung die Kathodenstrahlröhre, jedoch werden seit Jahren alternative Technologien entwickelt. Als Schnittstelle zwischen Mensch und digitaler Welt besitzen Displays zunehmende Bedeutung für die Akzeptanz moderner Informations- und Kommunikationstechnik. Flachdisplays sind als "universelle Mensch-Maschine-Schnittstelle" eine wichtige Komponente der Informationsgesellschaft. Multimedia und der Trend zu Mobilität steigern Bedeutung aber auch Anforderungen an neue Displays, die dadurch zu Schlüsselementen für den Erfolg integrierter Informations- und Kommunikationstechnik werden. Sie sind damit ein Wettbewerbsfaktor sowohl für die Automobil-, Elektro- und Investitionsgüterindustrie als auch für die Display-Zulieferer. Für die Hersteller öffnen sich neue Märkte. Fortschritte in der Ergonomie und in der Präsentationstechnik verbessern die Wahrnehmung der visuellen Kommunikation. Chancen liegen in der Unterstützung kooperativer Arbeitsformen. Auf der Anwenderseite tragen neue Displays zu einer neuen Informations- und Kommunikationskultur bei. Man denke an Head-Mounted Displays, wo Filme über eine Brille betrachtet werden, oder Smart Cards die mit Displays ausgestattet den aktuellen Geldbetrag anzeigen oder elektronisches Papier, das als Alternative zu klassischen Printmedien diskutiert wird. Hier erscheint ein erhebliches Umweltentlastungspotenzial bei gleichzeitiger Verbesserung des Kundennutzens möglich.

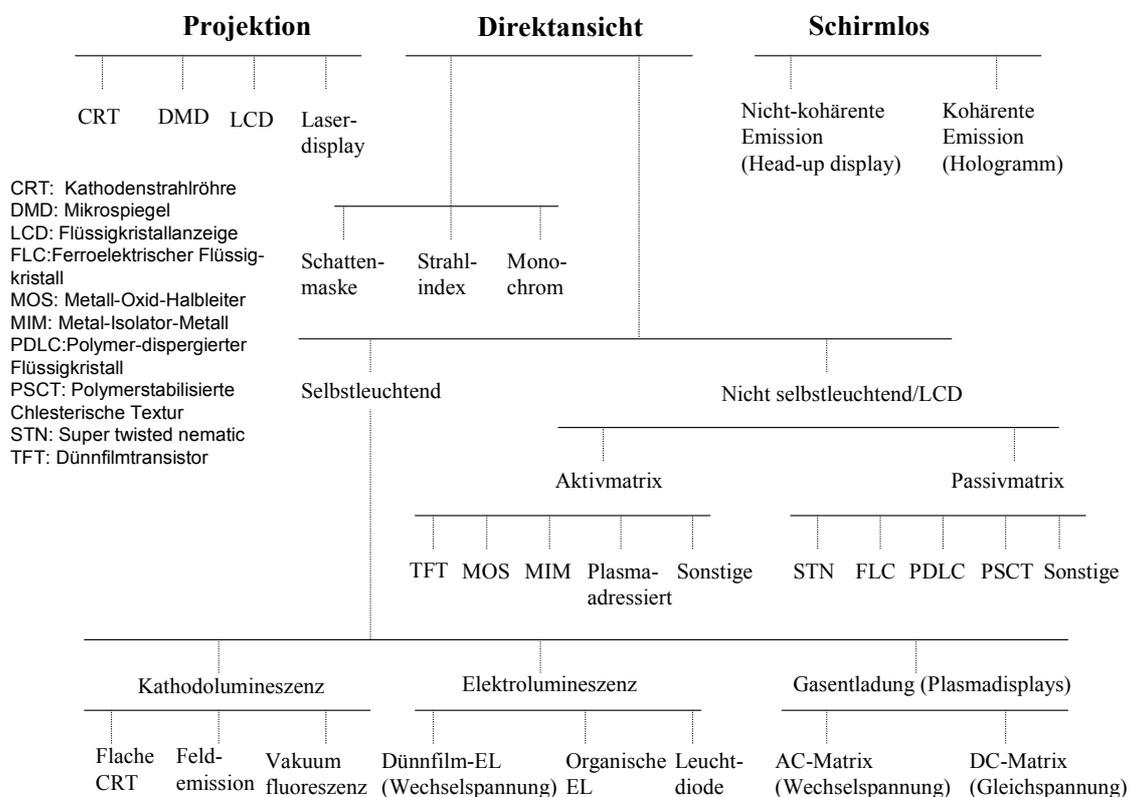
Das Fokusthema greift diese verschiedenen Aspekte und Herausforderungen auf und stellt sie in den Kontext der Nachhaltigkeitsdiskussion.

3 Trends, Visionen und Herausforderungen

Technologisch steht die Displaytechnik in einem tiefen Umbruch. Einerseits entwickeln sich traditionelle Displaytechnologien wie CRT und LCDs nebst den Fertigungstechniken weiter, andererseits treten zahlreiche neue Technologien auf, die teilweise auf anderen physikalischen Prinzipien beruhen.

Einen Überblick über Displaytechnologien gibt die folgende Abbildung.

Abbildung 3.1: Displaytechnologien



Quelle: Theis 2000

Mit Blick auf den Markt ist die Kathodenstrahlbildröhre (CRT) nach wie vor die dominierende Displaytechnologie im Bereich größerer Bildschirmdiagonalen. Zunehmend sind Flachbildschirme in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen -von den Notebooks über Digitalkameras bis hin zu Navigationshilfen im Auto- im Einsatz, wobei Flüssigkristalldisplays (LCD) derzeit den Markt der Flachdisplays beherrschen. LCDs haben zunächst durch die Einsatzmöglichkeit im mobilen Bereich (Laptops u.a.) eine große Verbreitung gefunden, inzwischen lösen sie auf breiter Front Monitore für Desktopcomputer ab.

Insgesamt entwickelt sich der Markt für Displays in mehrfacher Hinsicht sehr dynamisch:

- Ausweitung des Gesamtmarktes
- Verschiebung von Marktanteilen
- Entwicklung neuer Technologien und Märkte
- Verlagerung von Produktionsstandorten

Diese Entwicklungen verändern die Umweltauswirkungen. Gleichzeitig beeinflussen neue Technologien die Anwendung von IKT und eröffnen neue Anwendungsfelder. Im folgenden werden Trends (Technologie und Markt sowie Umwelt) mögliche Visionen nachhaltiger Entwicklung gegenübergestellt, um daraus Herausforderungen für Unternehmen abzuleiten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der ökologischen Dimension, (ohne die anderen Dimensionen in Frage zu stellen).

3.1 Trends

3.1.1 Technologische Trends und Marktentwicklungen

Displays sind ein dynamischer Wachstumsmarkt im Bereich der IKT. Wichtige Triebkräfte für die Mengenausweitung sowohl im globalen als auch im nationalen Maßstab liegen in der Deregulierung und Liberalisierung mit verstärktem Wettbewerb zwischen den Anbietern von Displaytechnologien und gesellschaftlichen Veränderungen. IKT, und mit ihnen auch die Displays als visuelle Schnittstellen, durchdringen unseren Alltag auf allen Ebenen. Die jüngere Generation hat die nötige Medienkompetenz erworben, um mit IKT verschiedenster Art umgehen zu können. Trends zum mobilen und digitalen Büro sind weitere wesentliche Triebkräfte für die Displayentwicklung. Der Trend zum Pervasive Computing äußert sich im Display-Bereich schon heute darin, dass zum einen in eine steigende Anzahl von Elektronikgeräten kleinere Displays integriert werden, zum anderen sind Displays auch im öffentlichen Bereich (Bahnhöfe, Infosäulen, etc.) zur Information und Unterhaltung auf dem Vormarsch. Im globalen Maßstab wird das Bevölkerungswachstum und im nationalen Maßstab die steigende Anzahl an Haushalten zu einer demografisch bedingten Nachfrageausweitung führen.

Abbildung 3.2: Weltmarkt für Display-Anwendungen

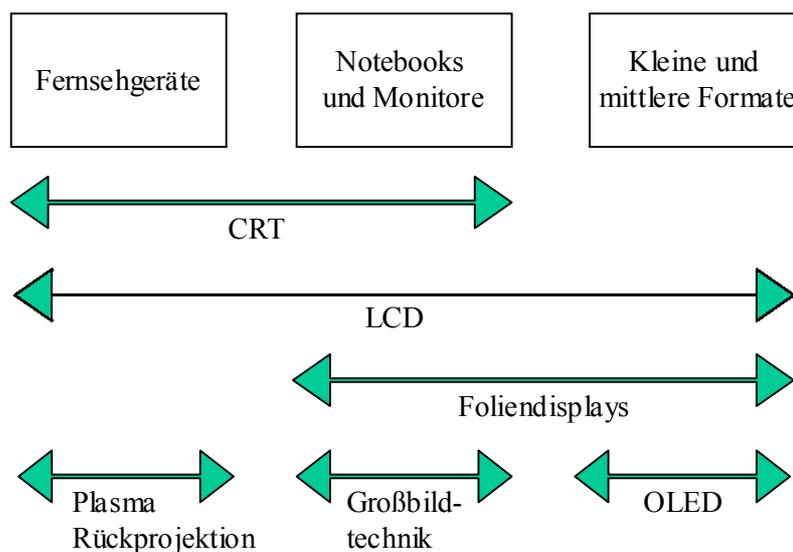


Umsatzzahlen 2002 (oben) und 2007 (unten)

Quelle: DisplaySearch, SID 2003 Conference nach DFF 2003

Die Märkte für Display-Basistechnologien sind über die Nachfrage nach Display-Komponenten mit den Märkten für Endgeräte verknüpft. Eine gängige Einteilung des Endgerätemarktes unterscheidet die Einsatzbereiche Fernsehgeräte, Notebooks und Monitore sowie kleine und mittlere Bildschirmdiagonalen (vgl. u.a. Theis 2000). In diesen Einsatzbereichen für Displays gibt es spezifische Entwicklungen bei den Märkten, Basistechnologien und Produktionsstrukturen. Die wichtigsten marktnahen Technologien und schwerpunktmäßigen Einsatzbereiche sind in folgender Abbildung zusammengefasst:

Abbildung 3.3: Übersicht Technologien und Märkte



Quelle: eigene Darstellung des IZT

Fernsehgeräte

a) Endgeräte

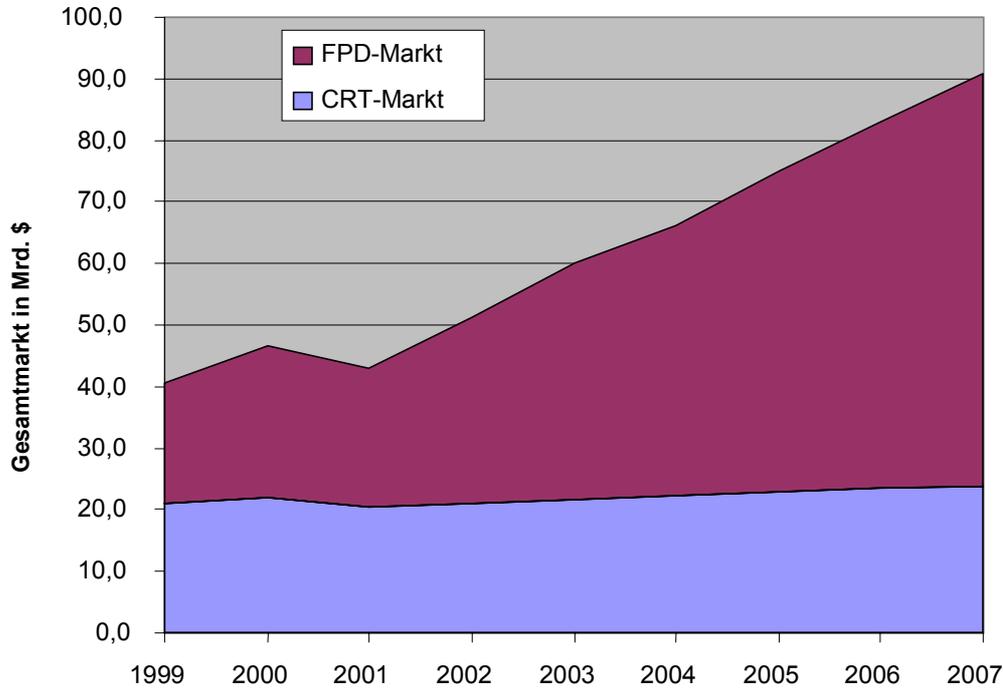
Die einschlägigen Weltmarktprognosen von Display-Search und Stanford Resources gehen in den nächsten fünf Jahren von einer leicht wachsenden Nachfrage nach Fernsehgeräten mit CRT-Bildröhren in Stückzahlen aus. Wesentliche Ursachen dafür sind zum einen wachsender Wohlstand für einzelne Bevölkerungsschichten in Schwellenländern wie China, der die Erstanschaffung eines Fernsehgerätes ermöglicht, zum anderen Mehrfachausstattungen der Haushalte in Europa, Nordamerika und Japan. Bezüglich des Umsatzes wird ein Sinken der Umsatzzahlen erwartet.

Der Markt differenziert sich zunehmend in ein High-End- und in ein Low-End-Segment. Auf der einen Seite verbreitet sich kostenoptimierte Massenware in der Preisklasse unter 500 Euro durch die Nachfrage von niedrigen Einkommensschichten und Zusatzfernseher, z.B. in der Küche oder hinter der Ladentheke. Auf der anderen Seite ist mit Fernsehgeräten in der oberen Preisklasse bis 10.000 Euro (v.a. Heimkino-Format 16:9, große Bildschirmdiagonalen) eine hohe Wertschöpfung zu erzielen, die sich allerdings nicht in großen Stückzahlen äußert.

b) Basistechnologien

Im Fernsehgerätebereich dominiert die Kathodenstrahlröhre CRT. Seit 1998 konnten CRTs auf hohem Niveau jährlich nur geringfügig zulegen. Sie verlieren relativ an Marktanteilen. Lag der Marktanteil 1998 mit Bezug auf Stückzahlen noch bei 97,5% so beträgt er heute geschätzte 86% (DisplaySearch 2001). Die Vormachtstellung wird von zwei Seiten angegriffen. Sinkende Preise für Bildschirme auf Flüssigkristalltechnologie LCD führen zu wachsender Konkurrenz bei kleinen Bildschirmdiagonalen. Gleiches gilt für Fernsehgeräte mit Plasma- oder Rückprojektionstechnologie bei großen Bildschirmdiagonalen. Auch Web-TV und Beamerlösungen könnten mittel- bis langfristig zu Lasten des CRT-Marktanteils gehen, allerdings wird die Kathodenstrahlröhre voraussichtlich mindestens in den nächsten fünf Jahren weiterhin nach Stückzahlen vorherrschen, absolut nur noch geringfügig wachsen, dem Umsatz nach stagnieren. Die Hersteller von CRT haben auf die Konkurrenz mit flacheren CRT-Bildschirmen reagiert.

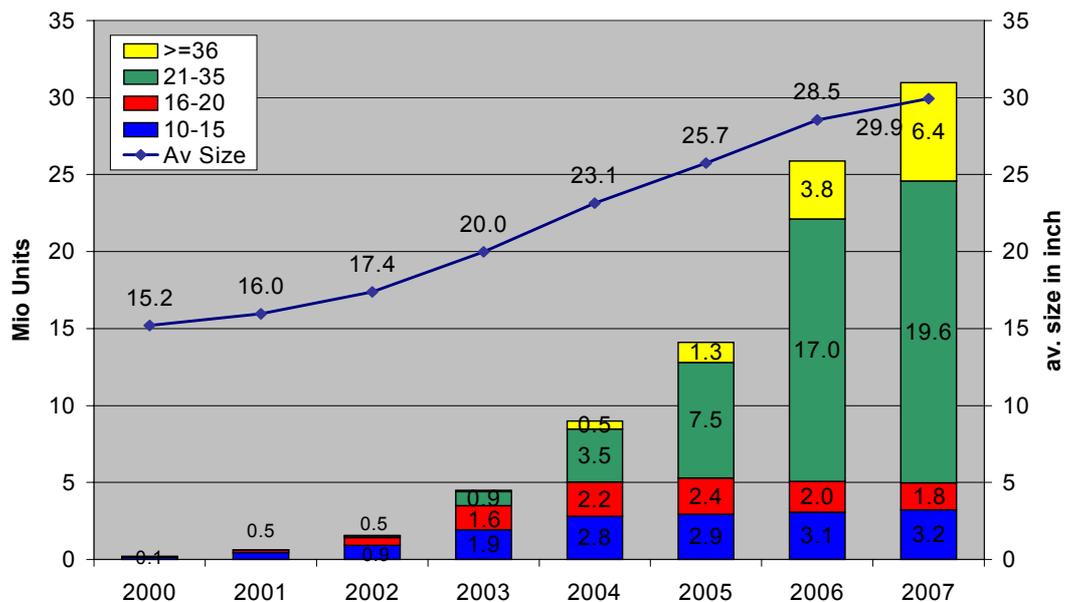
Abbildung 3.4: Entwicklung des CRT/FPD-Gesamtweltmarktes in Umsatzzahlen



Quelle: iSuppli/Stanford Resources, FID 12/2002

FPD: Flat Panel Displays, dazu gehören neben LCDs Plasma-Display-Panels (PDP), TFT-Monitore/CTV

Abbildung 3.5: Entwicklung von LC-Displays im TV-Segment (Weltmarkt)



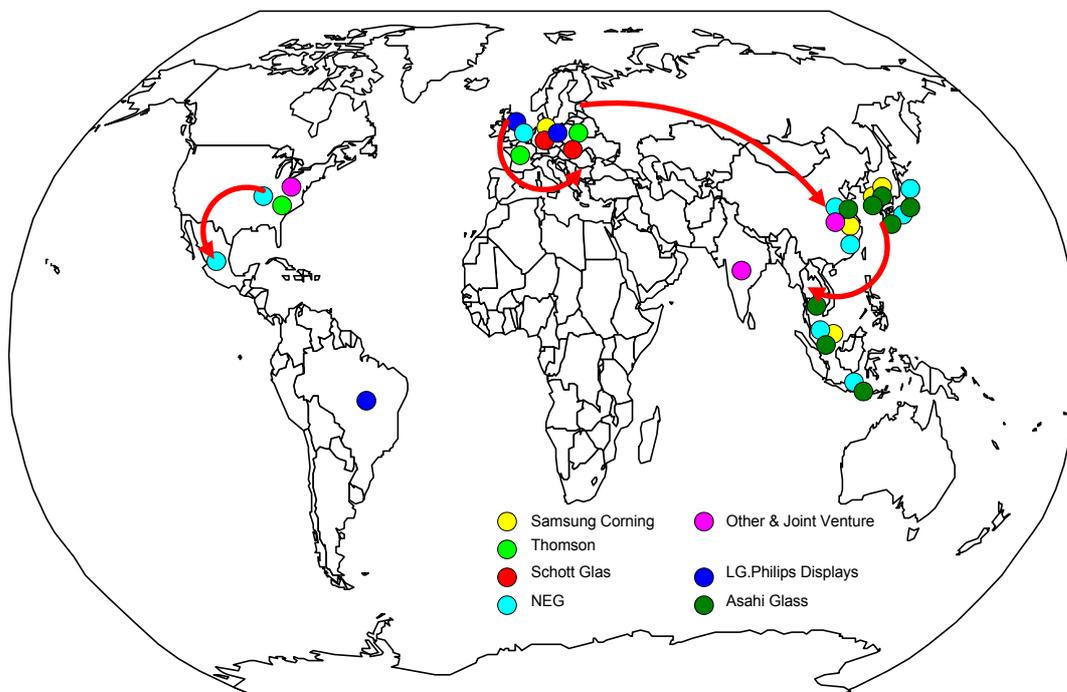
Quelle: DisplaySearch, Mai 2003, M. Yamamoto, Merck KGaA, Sparte LC

c) Produktionsstrukturen

Die vertikale Integration der Unternehmen in der Wertschöpfungskette bei der Kathodenstrahlröhre ist verschieden. Die Firma Schott Glas produziert beispielsweise im Werk Mainz Fernsehglas (Trichter- und Schirmglas), das an den Hersteller der Kathodenstrahlröhre, z.B. Panasonic/Matsushita, geliefert wird. Bei LG Philips Displays im Werk Aachen erfolgt dagegen sowohl die Herstellung des Fernsehglases, als auch der Kathodenstrahlröhre. Die Kathodenstrahlröhre wird schließlich vom Endgerätehersteller in das Fernsehgerät eingebaut.

Durch die Konkurrenz anderer Technologien und anderer Produktionsstandorte, v.a. in Ostasien, ist ein erheblicher Kostendruck auf die gesamte CRT-Wertschöpfungskette in der EU entstanden. Zum einen werden Produktionslinien und Standorte in der EU geschlossen, zum anderen werden in den EU-Beitrittsländern, insbesondere Tschechien und Ungarn, neue Kapazitäten aufgebaut. Davon ist die ganze Wertschöpfungskette Fernsehglas-, Kathodenstrahlröhren- und Endgeräteherstellung betroffen. Diese Produktionsverschiebungen sind auch in Ostasien (von Japan nach China und Südostasien) sowie Nordamerika (von den USA nach Mexiko) zu beobachten. Etwa 50 % des in Europa vermarkteten CRT-Glases stammt bereits aus Ostasien.

Abbildung 3.6: Produktionsstandorte für CRT-Glas 2003 und Verlagerungstendenzen (2008)



Quelle: eigene Darstellung des IZT anhand von Herstellerbefragungen und Internetrecherchen

Die Produktionsstrukturen bei den anderen Basistechnologien für Fernsehgeräte sind verschieden. Insbesondere Fernseher auf LCD-Basis könnten nach Stückzahlen einen bedeutsamen Marktanteil erlangen. Diese Technologie wird aufgrund ihrer dominierenden Bedeutung im Einsatzbereich Notebooks und Monitore dort behandelt.

Notebooks und Monitore

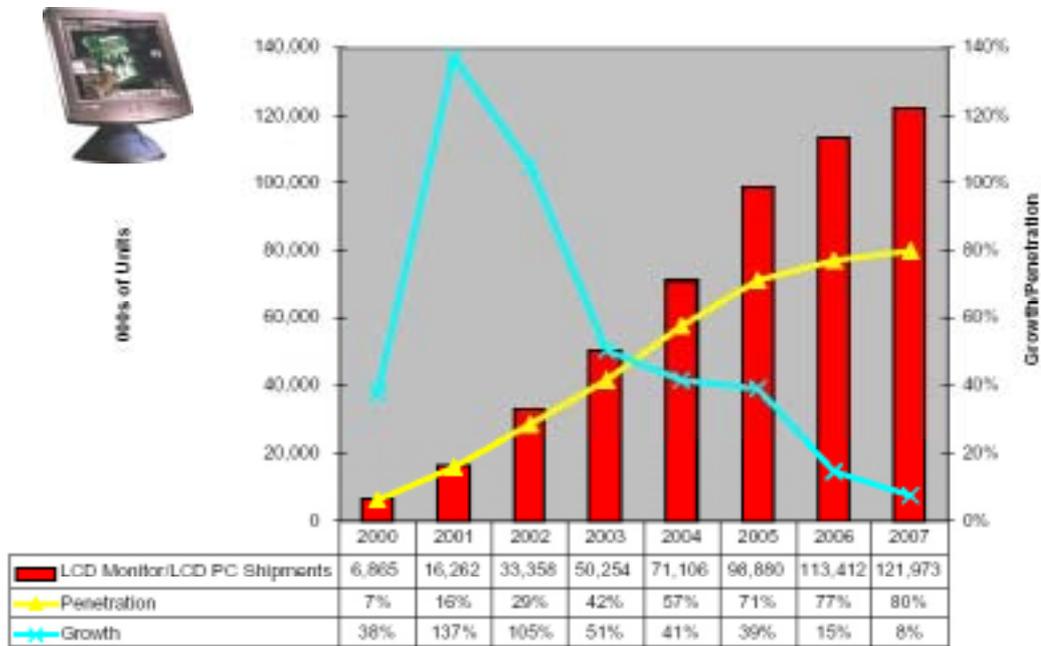
a) Endgeräte

Der Einsatzbereich umfasst im Kern alle Arten von Computer- und Kontrollmonitore. Im globalen Maßstab besteht insbesondere in Schwellenländern ein großer Nachholbedarf an Computer- und damit auch Monitorausstattung. In Europa, Nordamerika und Japan sorgt der Trend zur Mobilität bei Lebensstilen und in der Arbeitswelt für Zuwächse im Notebook-Markt, wohingegen im Desktop-Monitorbereich leichte Sättigungerscheinungen zu verzeichnen sind. Das Wachstumspotenzial für Desktop-Monitore besteht vor allem in Technologiewechseln und weniger in Mehrfachausstattungen. Die Informatisierung der Produktion und Infrastruktur (Verkehr, Gebäude, etc.) sowie zunehmende Überwachungsaktivitäten (öffentliche Plätze, Geschäfte, etc.) weisen auf eine auch in Zukunft wachsende Nachfrage nach Kontroll-Monitoren hin. Darüber hinaus prägen zunehmend Informationsmonitore und Großdisplays den öffentlichen Raum (Bahnhöfe, Werbung, Stadionanzeigen).

b) Basistechnologien

Notebooks werden ausschließlich mit LCD-Monitoren bestückt. Mit hoher Geschwindigkeit ersetzt die LCD-Technik auf CRT-Technik basierende Monitore. Vorreiter sind die Arbeitswelt und kundennahe Bereiche mit wenig Platz (z.B. Hotelempfang, Buchungsservice, etc.). Bei weiterem Preisverfall wird wahrscheinlich auch der Haushaltsbereich von der Substitutionsdynamik erfasst. Allerdings weisen CRT-Monitore im unteren und mittleren Preissegment Vorteile bei aufwendigen Graphikdarstellungen auf, was insbesondere bei Computerspielen und CAD von großer Bedeutung ist. CRT-Monitore aus privaten Haushalten werden häufig noch im Kinderzimmer genutzt, aus dem kommerziellen Bereich beispielsweise in der Lagerhaltung.

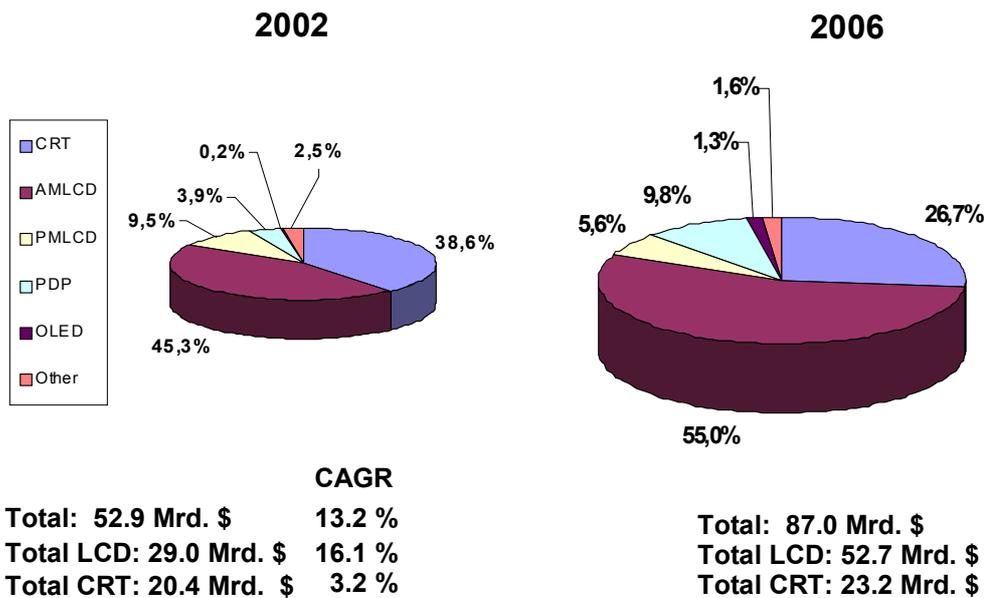
Abbildung 3.7: TFT/CRT-Monitore (Weltmarktentwicklung)



Quelle: DFF 2003, Stanford Research 2003

Lag das Marktvolumen für LCD insgesamt weltweit 2001 bei etwa 29. Mrd. \$, so soll es bis 2006 auf etwa 57,7 Mrd. \$ steigen. Der Anteil von LCDs für Laptops und Desktop-Monitore soll sich dabei von 60 % auf 67 % erhöhen (Handelsblatt 27.2.2001).

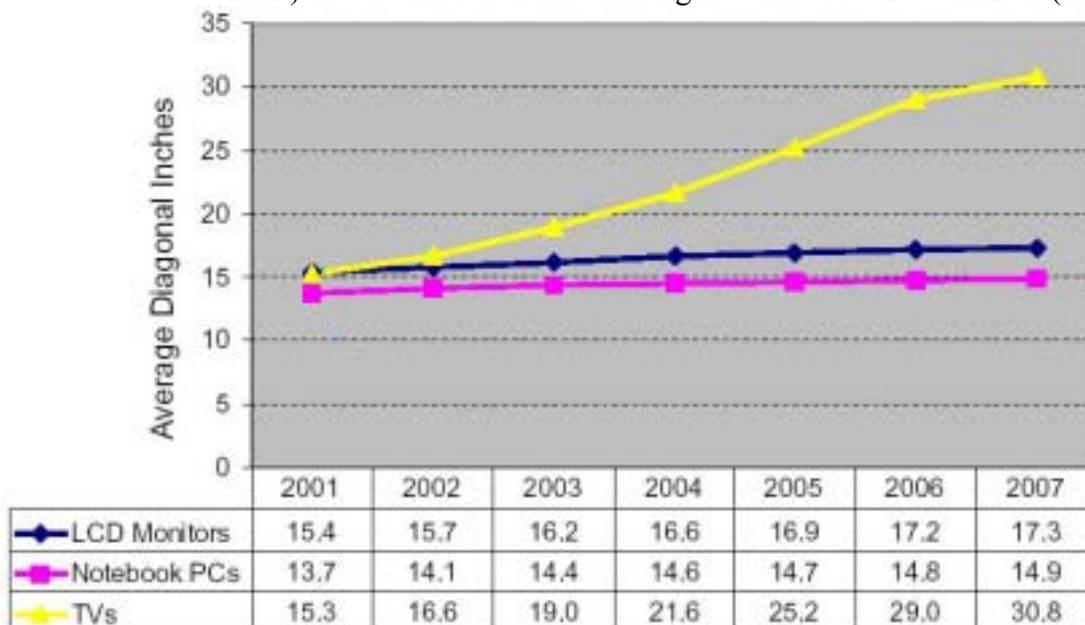
Abbildung 3.8: Entwicklung des Display-Weltmarktes



Quelle: iSuppli/Stanford Resources Strategic Display Outlook 12 / 2002

Bei der technologischen Entwicklung von LCDs ist ein Trend zu größeren Bildschirm-diagonalen zu beobachten. Seit Einführung von AMLCDs sind die verfügbaren Schirm-durchmesser relativ gleichmäßig gestiegen. Sollte sich dieser Trend fortsetzen, sind für das Jahr 2010 hochauflösende AMLCD-Bildschirme mit 30 Zoll zu erwarten.

Abbildung 3.9: Durchschnittliche Größe (Display-Diagonale) von AM-LCD (TFT-LCD) in verschiedenen Anwendungen von 2001 – 2007 in Zoll (inch)



Quelle: Ross Young, DisplaySearch (USA), DisplayFORUM Conference, Den Haag, October 2003

Noch marktferne Technologien sind Foliendisplays (z.B. E-Paper), die einmal herkömmliche Monitore ersetzen könnten, und auch dreidimensionale Darstellungen im Raum (z.B. Holographie) und Großbildschirme (hoch auflösende Videowände, interaktive Roomware). Forschungsarbeiten werden auf dem Gebiet der Virtuellen Realitäten geleistet, deren Anwendungsfelder von der Spieleindustrie bis hin zu Simulationen im Rahmen von CAD liegen. Allerdings sollten vorerst die Möglichkeiten, Virtuelle Realitäten als weithin nutzbare Arbeits- oder Einkaufsumgebungen einzusetzen, vorsichtig bewertet werden.

Insbesondere zur Entwicklung von Foliendisplays ist ein Wettlauf wichtiger Firmen entbrannt.

Emerging Technology E-Paper

Weltweit arbeiten rund ein Dutzend Firmen an Foliendisplaytechnologien wie *E-Ink* und *E-Paper*. Diese gruppieren sich im wesentlichen um die Start-up Unternehmen *E-Ink* und *Gyricon-Media*, beide mit Sitz in den USA. *E-Ink* kooperiert mit Philips, IBM und Toppan, während *Gyricon-Media* aus der Forschung von Rank Xerox hervorgegangen ist. Beide Firmen haben erste Prototypen für Werbeflächen oder

digitale Preisschilder auf den Markt gebracht. In fünf Jahren könnte die E-Paper-Technologie soweit entwickelt sein, dass sie vergleichbare Eigenschaften wie herkömmliches Papier hat. Das Marktvolumen für E-Paper wird bis 2012 auf mehr als 19 Mrd. US-Dollar geschätzt (Handelsblatt 16.01.2002).

Abbildung 3.10: Neue Flachdisplaytechnologien



3D-Displays

- Medizin
- Design, CAD
- Werbung
- Spiele



Flexible Displays

- e-paper
- Mobile Kommunikation



Organische LEDs

- Mobile Kommunikation
- Digitalkameras
- TV

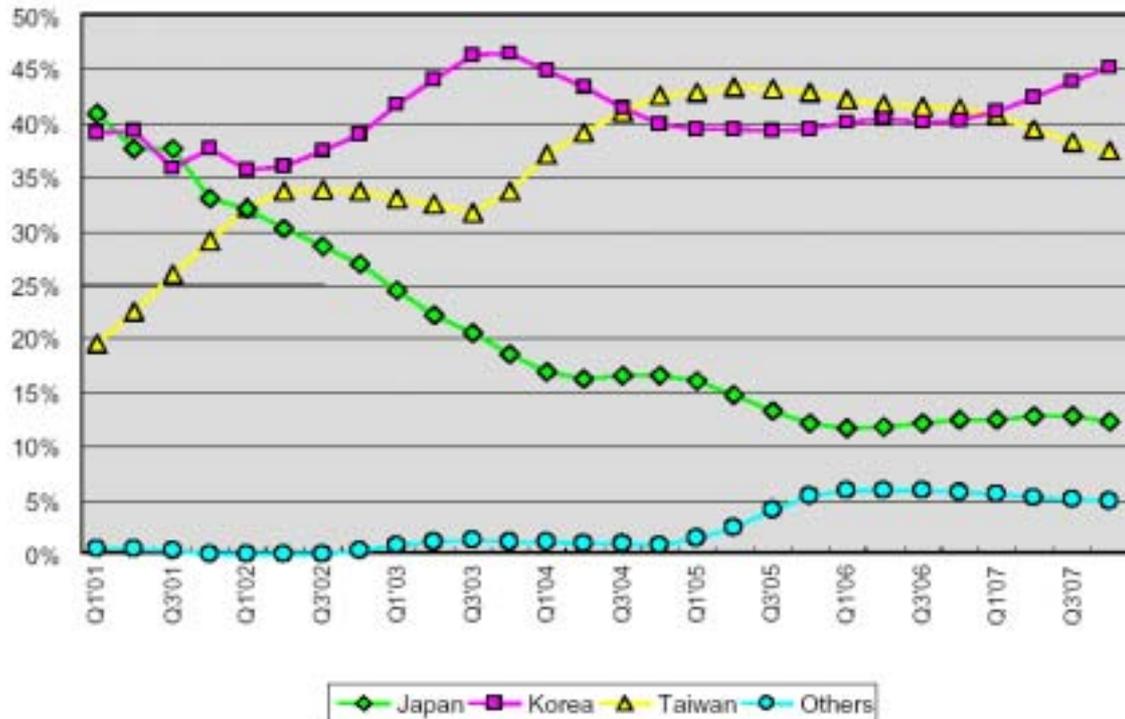
Quelle: DFF 2003

c) Produktionsstrukturen

Die dominierende Technologie in diesem Segment ist LCD. Sowohl die LCD-Module als auch die Notebooks und Computer-Monitore werden in hohem Maße in Ostasien gefertigt, obgleich wichtige technologische Durchbrüche in Deutschland gelungen und patentiert worden sind. Zu den wichtigsten Herstellern gehören die Firmen Sony und Sharp. Mit der Firma Merck mit Sitz in Darmstadt ist allerdings ein Schlüsselakteur der Wertschöpfungskette in Deutschland ansässig. Die Firma Merck hat bei den Flüssigkristallen einen Weltmarktanteil von rund 60 %.

In Japan bilden die Displayhersteller nebst Zulieferer eine eigene Branche mit mehr als 100.000 Beschäftigten. An der Dominanz von Japan, Südkorea und Taiwan im Weltmarkt für LCDs wird sich Prognosen zufolge in den nächsten Jahren nichts wesentliches ändern. Erwartet wird, dass im Jahr 2005 die Industrie in der Region Japan/Ferner Osten AMLCDs im Wert von 20,4 Mrd. US Dollar einsetzen wird. Für Nordamerika und Europa wird ein entsprechender Gesamtverbrauch von AMLCDs im Werte von 3,2 Mrd. US Dollar vorausgesagt (Handelsblatt 27.2.2001).

Abbildung 3.11: Anteil verschiedener Regionen an der Gesamtproduktion von aktiv Matrix Flüssigkristallanzeigen (AM-LCD / TFT-LCD) von 2001 – 2007



Der Anstieg bei „Others“ ab 2005 wird durch neue Fabriken in China hervorgerufen.

Quelle: Sam Matsuno, DisplaySearch (USA), DisplayFORUM Conference, Den Haag, October 2003

Wesentlich zum Wachstum tragen die fallenden Preise für LCDs bei, die nicht zuletzt aufgrund weiter absehbarer Verbesserung der Produktionstechnik (Verringerung der Ausschussrate) und steigender Produktionskapazität weiter sinken werden. Displaysearch geht davon aus, dass sich das Preisverhältnis im Monitormarkt von Faktor 4,1 für das Jahr 2000 im Jahr 2005 auf 2,1 halbieren wird.

Die Produktionsstrukturen bei CRT-Monitoren ähneln denen von CRT-Fernsehgeräten, allerdings ist die Konkurrenz durch andere Technologien und Wirtschaftsräume (v.a. Ostasien) noch größer. Bei Foliendisplay wie E-Paper stehen entscheidende technische Durchbrüche noch aus, so dass die Produktionsfirmen und -standorte unsicher sind.

Kleine bis mittlere Formate

a) Endgeräte und Einbettung

Wachstumsimpulse in diesem Segment kommen vor allem aus dem Gebiet der mobilen Information und Kommunikation. Im Gefolge der globalen Durchdringung mit Mobiltelefonen steigt die Nachfrage nach PDAs, Webpads und Minicomputern vor

allem in Europa, Nordamerika und Japan. Aber auch bei der Einbettung in andere Geräte gibt es stark wachsende Teilmärkte in diesen Regionen. Hervorzuheben sind insbesondere Digital- und Videokameras, Automaten und Navigationssysteme für Kraftfahrzeuge. Sind Displays in der Unterhaltungselektronik bereits State of the Art, so ist mittelfristig auch mit einer weitflächigen Einbettung von Displays in Haushaltsgroßgeräte zu rechnen.

b) Basistechnologien

Je nach spezifischer Anforderung kommen unterschiedliche Technologien zum Einsatz. LCD hat bereits ein breites Anwendungsfeld, z.B. bei Mobiltelefonen und Automaten, wohingegen Organische Leuchtdioden OLED, z.B. mit Navigationsgeräten, und Folien-displays, z.B. Preisauszeichnungen in Supermärkten, aufgrund ihres jungen Entwicklungsstandes noch deutlich schärfer umrissene Einsatzgebiete haben. In Zukunft könnten diese Technologien allerdings ebenfalls breite Anwendungsfelder erschließen.

Die technische Entwicklung wird bei mobilen Endgeräten von grundlegenden Marktanforderungen gesteuert: höhere Auflösung, geringes Gewicht bei sehr flacher Bauweise, höchste Zuverlässigkeit, hohe Schaltgeschwindigkeit und breiter Einblickwinkel. Weitere Technikrends sind der Übergang von Schwarz-/Weiß- zu Farbdisplays und die Erweiterung der Displayfunktionalität um Eingabefunktionen, z.B. Stifteingabe bei PDAs und Touchscreens bei Automaten. Eine weitere wichtige Herausforderung für den Einbau von Displays in langlebige Güter ist die Verlängerung der Lebensdauer.

Im Entwicklungsstadium befinden sich "Retina-Displays", die Bilder auf die Netzhaut des Auges projizieren. Möglich wird dies durch den Einsatz von Spiegeln und Laserstrahlen. Cyber-Brillen und Augmented Reality sind derzeit noch Nischenanwendungen.

Emerging Technology OLED

OLED gilt technologisch wie wirtschaftlich als die aussichtsreichste neue Flachdisplay-Technologie. Im Vergleich zu anderen Displayvarianten sind die selbstleuchtenden, schnell reagierenden OLEDs sehr viel leichter, brauchen weniger Strom und eignen sich für die Darstellung bewegter Bilder. Sie haben eine hohe Auflösung und einen großen Betrachtungswinkel. Die Hersteller versprechen sich von ihnen eine effizientere Produktion sowie geringere Bautiefe und Biagsamkeit. Als wichtige Einsatzbereiche gelten insbesondere Kraftfahrzeuge, Mobilkommunikation und SmartCards, aber auch Monitore für spezielle Anwendungen und virtuelle Displays für Videokameras und Head-mounted Displays. Organischen Displays wird eine grosse Zukunft prognostiert. Der Markt für OLEDs beträgt gegenwärtig etwa 100 Mio. \$, wovon über $\frac{3}{4}$ auf den Car-Audio-Bereich entfallen und weniger als $\frac{1}{4}$ auf Digitalkameras. Die Voraussagen für OLEDs von DisplaySearch und Stanford gehen

von einem Markt von ca. \$ 2 Mrd. im Jahre 2007 bzw. 2008 aus (iSupply/Stanford Resources 2002).

c) Produktionsstrukturen

Die Display-Komponentenabnehmer Automobil-, Maschinen- und Automatenindustrie sowie Hersteller weißer Ware sind in der EU mit überwiegend wettbewerbsfähigen Produktionsstandorten vertreten, was sie weitgehend von der Unterhaltungs- und Computerindustrie unterscheidet, die von ostasiatischen Standorten beherrscht wird. Die Herstellung von klein- bis mittelformatigen Displays in der EU ist deshalb von herausragender strategischer und industriepolitischer Bedeutung.

Chancen für die europäische Industrie bestehen bei der Entwicklung neuer Displaytechnologien. Die Firmen Schott Glas und Philips Semiconductors GmbH stellen an ihren deutschen Standorten auch kleinformatige Displays, darunter LCDs, her. Erste Displays auf Basis von OLED sind bereits auf dem Markt, so ein Autoradio der Firma Pioneer. Die Hersteller NEC und Samsung planen zusammen eine Produktion für mobile Systeme wie Handys, Handhelds und Autonavigationssysteme. Philips fertigt seit 1999 in einer Pilotanlage. Dreizehn Firmen aus dem Kreis des Deutschen Flachdisplay-Forum haben 2002 die Deutsche OLED-Referenzanlage (DORA) GmbH gegründet. Ziel ist die Fertigung von konkurrenzfähigen Flachdisplays auf OLED-Basis. Derzeit wird eine Machbarkeitsstudie, gefördert vom BMBF, durchgeführt. Für das Jahr 2003 ist die Inbetriebnahme einer modularen Pilotlinie geplant. Im Jahr 2005 soll mit der Volumenproduktion begonnen werden. Ob es zu einem Aufbau einer Referenzanlage kommt, lässt sich derzeit noch nicht absehen.

Tabelle 3-1: Technologie- und Marktentwicklungen im Überblick

	Gesamtmarkt	Basistechnologien	Produktionsstrukturen
Fernseher	<ul style="list-style-type: none"> - Mehrfachausstattung in EU - Wachstum in Schwellenländern - Global wachsende Stückzahlen - Aufspaltung in High-End- und Low-End-Markt 	<ul style="list-style-type: none"> - CRT dominiert, Kannibalisierung von zwei Seiten: a) LCD bei kleinen Diagonalen b) Plasma- und Rückprojektion bei großen Diagonalen - Neue Konzepte: Beamer, Web-TV 	<ul style="list-style-type: none"> - unterschiedliche vertikale Integration bei CRT: Glas, Bildröhre, Endgerät - Abwanderung der CRT- Produktion von Industrie- in Schwellenländer - starker Kostendruck auf CRT - Produktion von anderen Basistechnologien (z.B. LCD, Plasma), Komponenten und Endgeräten vorwiegend in Fernost
Notebooks und Monitore	<ul style="list-style-type: none"> - weltweit großes Wachstum bei Notebooks - Nachholbedarf bei Computer-Monitoren in Schwellenländern - Hohes Wachstum bei Kontroll- und Überwachungsmonitoren - Mehrfachausstattung in Haushalten und Arbeit (mobil und Desktop) - Info-Monitore und Großdisplays im öffentlichen Raum 	<ul style="list-style-type: none"> - LCD ersetzt CRT massiv, angefangen in kundennahen Bereichen mit wenig Platz und in der Arbeitswelt - CRT v.a. für Grafikdarstellung (CAD, Spiele) wettbewerbsfähig - Weiterverwendung von CRT-Monitoren in der Lagerhaltung und im Kinderzimmer - Neue Konzepte: E-Paper, interaktive Roomware, Holographische Displays, große hochauflösende Videowände 	<ul style="list-style-type: none"> - ähnliche Produktionsstrukturen von CRT-Monitoren wie bei Fernsehern, noch stärkere Konkurrenz anderer Standorte und Kostendruck - Produktion von LCD, Komponenten und Endgeräten vorwiegend in Fernost - LCD wird billiger (u.a. Senkung des Ausschusses)
Kleine bis mittlere Diagonalen	<ul style="list-style-type: none"> - wachsende Marktdurchdringung bei Mobiltelefonen, Digital- und Videokameras, Navigationsgeräten, etc. - global stark wachsende Teilmärkte bei Einbettung - mittelfristig Trend zur Einbettung in Weiße Ware 	<ul style="list-style-type: none"> - LCD, OLED, Foliendisplays und andere mit wechselnden Marktanteilen - von S/W- zu Farbdarstellung - Bildschirm als Eingabemedium - Technische Herausforderungen wie Lebensdauer, Bildwechsel - Neue Konzepte: Cyber-Brille, Augmented Reality 	<ul style="list-style-type: none"> - neue Komponentenabnehmer wie Automobil- und Weiße-Ware-Hersteller in EU stark vertreten - Produktion von Basistechnologien und Komponenten vorwiegend in Fernost - Schlüsselindustrien mit hoher strategischer Bedeutung, neue Technologien mit ungeklärten Produktionsstandorten

3.1.2 Trends bei Umweltaspekten

Die ökologischen Auswirkungen und Problembereiche von Bildröhren, sind seit Jahren Gegenstand wissenschaftlicher Projekte und ein Entwicklungsschwerpunkt vieler Hersteller von Displays und IKT-Endgeräten. Auch bei LCDs und anderen neuen Technologien sind zunehmende Aktivitäten zu verzeichnen.

Kathodenstrahlröhren CRT

Mit Blick auf CRTs liegen die Hauptaufgaben in der Entwicklung von effizienten Produktionsprozessen, der Vermeidung von Problemstoffen wie halogenhaltige Flammschutzmittel, der Verringerung des Abfallaufkommens durch verbessertes Recycling und der Verringerung des Energieverbrauchs während der Gerätenutzung. Folgende Tabelle zeigt wichtige Aktivitäten von Firmen und Verbänden im Überblick:

Tabelle 3-2: Aktivitäten zur Reduzierung der Umweltbelastungen von CRT-Displays

Verbände	
ZVEI AG Bildröhrenrecycling	Wiederverwendung des Glasausschusses der Bildröhrenproduktion Standardisierung des Konusglases nicht erreicht, eher obsolet Sicherung des Altglasmengenstroms nicht erreicht
Hersteller	
Schott	Einzigster Hersteller in Europa, der im industriellen Maßstab Altscherben in der Konus- und Schirmglasschmelze einsetzen kann Abteilung zur Rückführung des Altglases gegründet, die u.a. mit den KMU GRIAG und RTG kooperiert
LG Philips Displays	Green Marketing und Benchmarking von PC-Monitoren Glasrecycling im Rahmen des Projektes Grüner Fernseher
Projekt Grüner Fernseher	Entwicklung eines Grünen Fernsehers, u.a. mit den Teilprojekten folienbasierte Technologien, Glasrecycling und Energieeinsparung in der Nutzungsphase

Trotz dieser Entwicklungen und bereits abgeschlossenen oder noch laufenden Anstrengungen ist eine Reihe von bisher ungelösten ökologischen Aufgaben zu bewältigen. Dazu gehört das Recycling von CRT-Displays, das im folgenden weiter ausgeführt wird. Die Eckpunkte für das Mengenaufkommen an Bildröhrenglas für die beiden wichtigsten Produktgruppen Fernseher und PC-Monitore stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 3-3: Eckdaten für das Mengenaufkommen an CRT in Deutschland (2000)

Produkt	TV	Desktop-Monitore
Input	5,654 Mio. vorwiegend im Consumer-Bereich CRT gut behauptet etwa 70 % Ersatzkäufe	5,84 Mio., davon 4,663 Mio. im Consumer-Bereich LCD ersetzt CRT Bestandsaufbau
Nutzungsphase und Bestand	56 Mio. Lebensdauer: 15-20 a, Gebrauchsdauer: 10-20 a	18 Mio. (Home) + ca. 33 Mio. Office Lebensdauer: 5-7 a, Gebrauchsdauer: 3-5 a ¹
Rückfluss der Geräte	ca. 5,5 Mio. CRT-TV Masse: ca. 150.000 t	ca. 2,25 Mio. CRT-Monitore, derzeit wenig LCD Masse: ca. 30.000 t
Aufkommen an Bildröhrenglas	ca. 100.000 t (UBA), 30.000-50.000 t auf dem Markt verfügbar (Firma Schott Glas)	

Quellen: UBA 2001, Behrendt et.al. 1998, GfU 2001

Kennzeichnend für die momentane Recyclingsituation sind folgende Aspekte:

Pro Jahr fallen in Deutschland *rund 100.000 Tonnen* Alt-Bildröhrenglas an. Davon sind etwa 1/3 Konusglas und 2/3 Schirmglas. Ausgediente Bildschirme werden nach der Nutzungsphase zwar in hohem Maße erfasst, die angestrebten Potenziale für ein hochwertiges werkstoffliches Recycling werden jedoch nur unzureichend ausgeschöpft. Große Mengen an CRT-Altglas landen auf Deponien. Derzeit gibt es für die Verwertung von Schirmglas keine ausreichenden Kapazitäten.

Die einzelnen Glashersteller verfolgen unterschiedliche *Strategien*: Die Firma Schott arbeitet intensiv an der Überwindung der technischen und logistischen Probleme beim Einsatz von Altglas in der Konusglas- und Schirmglasschmelze. Derzeit wird, über einen Sockel von 20 % Mischglas hinaus, im einstelligen Prozentbereich Altkonusglas in der Konusglasschmelze gefahren. Durch Umstellungen ist jedoch auch der Einsatz von 50 % Altkonusglas möglich. Der Anteil von Altschirmglas in der Schirmglasschmelze könnte von 10 auf 20 % verdoppelt werden. Die anderen Hersteller operieren mit deutlich geringeren Mengen oder setzen überhaupt kein EoL-CRT-Glas ein. Die Firma LG Philips Displays beliefert die Fa. Schott mit Produktionsabfällen aus der Bildröhrenfertigung, hat jedoch im Projekt Grüner Fernseher ebenfalls die Voraussetzungen für ein industrielles Altglasrecycling geschaffen.

Hauptthemmnis für die Erschließung der Recyclingpotenziale ist die unzureichende Rückführung sortenreinen Konusglases und Schirmglases, da es in Deutschland billigere Entsorgungswege wie die Deponierung des ganzen Fernsehers, und das

¹ Nach der Nutzungsphase von durchschnittlich 4 Jahren schließt sich häufig noch eine zweite Gebrauchsphase von etwa 2,5 Jahren z.B. in der Lagerhaltung oder im Kinderzimmer an.

Downcycling von Mischglas zu Wegebbaumaterial, Keramikmassen oder als Bergversatz sowie Exportmöglichkeiten gibt. Auf Deponien und Straßen können sich Blei-Ionen und andere gesundheits- oder umweltgefährdende Stoffe aus der Glasmatrix lösen und in die Umwelt eingetragen werden. Die Beurteilung der Verwertung nach dem KrWG ist in den einzelnen Bundesländern verschieden, was Rechtsunsicherheit und suboptimale Entsorgungspfade zur Folge hat.

Die Firma Schott bezieht Altglas in großem Umfang aus Ländern, in denen *günstigere Recyclingbedingungen* herrschen. Sortenreines Konusglas wird aus Skandinavien und in zunehmendem Maße auch aus Deutschland von der Firma ZME bezogen, das Mischglas stammte aus Belgien und den Niederlanden, aber auch z.B. vom Siemens-Fujitsu-Recyclingzentrum in Paderborn. Mittlerweile wird auch aus Belgien und den Niederlanden getrenntes Glas geliefert. Potenzielle Investoren für Logistik- und Recycling-Infrastrukturen stoßen auf Informationsdefizite bezüglich der anfallenden Abfallmengen, der zeitlichen Dynamik und möglicher Abnahmemengen der Glashersteller. Eine weitere große Unsicherheit liegt in der Verlagerung der Bildröhrenglasproduktion nach Fernost. Kostensenkungspotenziale gibt es bei der Logistik, Demontage, Trennung in Schirm- und Konusglas und Aufbereitung, wobei insbesondere die Personalkosten für die Demontage und Trennung zu Buche schlagen.

Liquid Crystal Displays LCD

Gegenüber CRT, wo die Hauptproblematik aufgrund der großen Mengen beim Recycling liegt, sind in Bezug auf LCD für Computer der Stromverbrauch in der Nutzungsphase, Abfallmenge und Recycling, der Schadstoffgehalt und produktionsbedingte Umweltbelastungen relevant.

Von den *prozessbedingten Umweltbelastungen* sind insbesondere die Emission des Treibhausgases SF₆ und der hohe Wasserverbrauch hervorzuheben. Die Senkung der Ausschussraten liegt im genuinen Interesse der Produzenten, da sie ein bedeutendes Kostensenkungspotenzial birgt. Lag die Ausschussquote noch vor einigen Jahren bei 40 bis 50%, was bedeutet, dass pro produziertem LCD-Modul ein LCD-Modul als Abfall anfiel, konnte sie heute auf 10% gesenkt werden.

Für Liquid Crystals in LCDs sind zahlreiche *Toxizitätstests* durchgeführt worden. Demzufolge sind keine karzinogenen, mutagenen oder fortpflanzungsgefährdenden Stoffe (nach TRGS 905, 900 oder MAK-Liste) in LCs enthalten². Das Umweltbundesamt schätzt die Flüssigkristalle für LCDs als wenig toxisch ein und hält

² siehe dazu "Toxicological and Ecotoxicological Investigations of Liquid Crystals" unter <http://www.merck.de/english/index.htm>

weitergehende Regelungen als bisher für unangemessen.³ Andere problematische Elemente wie z.B. Cr oder Exoten wie Indium und Tantal kommen nur in sehr geringen Mengen vor. Umweltlastungspotenziale bestehen jedoch bei der quecksilberhaltigen Hintergrundbeleuchtung. Zur Thematik von quecksilberhaltigen Leuchtsystemen verfolgen das Europäische Umweltzeichen und Orgalime eine Reduktion und Kennzeichnung zur Demontage.

Tabelle 3-4: Zusammensetzung eines TFT-LCD-Panels

	Gewichtsanteil	Bestandteile
Glassubstrat	86,1 %	nicht-alkalisches Glas
Polarisatoren	13,6 %	TAC, acrylischer Kleber, PVA
Sonstige	0,3 %	
Flüssigkristall	< 0,1 %	polyzyklische aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe
Kleber	< 0,1 %	Epoxy Resin, Acryl Resin
Farbfilterschicht	< 0,1 %	Acryl Resin, Cr, resin black
Transparenter Leitfilm	< 0,1 %	ITO: In, Sn, O
Alignment Layer	< 0,1 %	Polyimid Resin
TFT Composition	< 0,1 %	Si, Al, Ta, Cr, Ti, In, Sn, Mo, W, C, H, O, N
Driver IC-Chip	teils bis zu 0,4 %	Si

Quelle: Kuriyama et al. 2000 in „Electronics Goes Green 2000+“ (S. 661)

Derzeit beträgt der *Rückfluss* an LCD-Panels aus dem Bestand nur *wenige Hundert Tonnen pro Jahr*. Erst um das Jahr 2012 ist mit einem nennenswerten LCD-Rückfluss in der Größenordnung von 4.000 t zu rechnen. Dies ist weniger als ein Zwanzigstel des jetzigen CRT-Rückflusses aus TV und Desktop-Monitoren. Recyclingkonzepte befinden sich deshalb im Frühstadium. Die weltweite Gesamtmenge an Glassubstrat für die LCD-Produktion betrug im Jahr 2000 lediglich 20.000 t. Selbst bei einem umsatzproportionalen Wachstum um einen Faktor 2,5 bis 2007, ergibt sich weitere 5 Jahre später ein Abfallaufkommen von lediglich 50.000 t weltweit.

Der *Stromverbrauch* in der Nutzungsphase und das Gewicht liegen bei LCD-Monitoren deutlich unterhalb der Werte vergleichbare CRT-Monitore:

³ www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/lcd.htm; 8.12.2000

Tabelle 3-5: Ökoeffizienz von TFT-LCD im Vergleich zu CRT für Desktop-Monitore

Produktbeispiel	17" LCD / IBM T750	19" / IBM G96
Punkteabstand (mm)	0,26	0,25
Nutzbare Fläche (mm x mm)	338 x 270	346 x 272
Auflösung	1280 x 1024	1280 x 1024
Energieverbrauch in Betrieb (W)	45	110
Energieverbrauch in Ruhe (W)	3	11
Gewicht (kg)	7	22,1
Ergonomie	Sehr gut	Gut
Optimale Anwendungsgebiete	Büroprogramme, Programmierung, CAD/CAM	Farbkalibrierte Bildbearbeitung, Actionspiele

Quelle: IBM Deutschland, www-5.ibm.com/de/umwelt/produkte/monitore.html

Eine *Ökobilanz* der Tennessee University bestätigt die Umweltvorteile von LCD-Monitoren auch beim kumulierten Primärenergieaufwand und der Primärressourceninanspruchnahme über den gesamten Lebenszyklus.

Tabelle 3-6: Life Cycle Assessment LCD/CRT

Impact	Units per monitor	CRT	LCD
Renewable resource use	kg	1.31E+04	2.80E+03
Nonrenewable resource use	kg	6.68E+02	3.64E+02
Energy use	MJ	2.08E+04	2.84E+03
Solid waste landfill	m ³	1.67E-01	5.43E-02
Hazardous waste landfill use	m ³	1.68E-02	3.61E-03
Radioactive waste landfil use	m ³	1.81E-04	9.22E-05
Global warming	kg-CO ₂ equivalents	6.95E+02	5.93E+02
Ozone depletion	kg-CO ₂ equival.	2.05E-0,5	1.37E-0,5
Photochemical smog	kg-ethene equival.	1.71E-01	1.41E-01
Acidification	kg-SO ₂ equival.	5.25E+00	2.96+00
Air particulates	kg	3.01E-01	1.15E-01
Water eutrophication	kg-phosphate equival.	4.82E-02	4.96E-02
Water quality, BOD	Kg	1.95E-01	2.83E-02
Water quality, TSS	Kg	8.74E-01	6.15E-02
Radioactivity	Bq	3.85E+07	1.22E+07
Chronic health effects, occupational	Zox-kg	9.34E+02	6.96E+02
Chronic health effects, public	Tox-kg	1.98E+03	9.02E+02
Aesthetics (Odor)	m ³	7.58E+06	5.04E+06
Aquatic toxicity	Tox-kg	2.25E-01	5.19E+00
Terrestrial toxicity	Tox-kg	1.97E+03	8.94E+02

Quelle: Universität Tennessee 2001

Auch bei Fernsehern weist LCD-Technologie Vorteile gegenüber herkömmlichen Bildröhren auf:

Tabelle 3-7: Ökoeffizienz von LCD-TV im Vergleich zu CRT-TV

Produktbeispiel	Sharp AQUOS LCD-TV	herkömmlicher CRT-TV
Bildschirmdiagonale	50 cm	50 cm
Bautiefe	6 cm	45 cm
Energieverbrauch in Betrieb	53 W	80 W
Gewicht	8 kg	25 kg
Betriebsdauer	60.000 h	25.000 h

Quelle: Sharp AQUOS LCD-TV, Stand 4/2002

Neue Technologien

Bezüglich neuer Technologien sind die Umwelteffekte bisher kaum bekannt. Umweltfragen werden bei der Forschung und Entwicklung weder mitgestellt, noch als Gestaltungsaufgabe verstanden. Jedoch lassen sich erste Anhaltspunkte über die Umwelteigenschaften von einigen neuen Displays nennen:

Ressourceneffizienz: OLED, E-Ink und E-Paper benötigen gegenüber anderen Displaytechnologien, wie LCDs, einen geringeren Ressourceneinsatz. Da OLEDs selbstemittierend sind, lassen sich äußerst dünne Displays herstellen. Die Firma E-Ink gibt an, dass faltbare, drucksensitive Displays (E-Paper) rund 30% gegenüber heutigen vergleichbaren Displays leichter sein werden.⁴ Im Vergleich zu LCD-Fernsehern sind Plasmabildschirme deutlich schwerer. Ungeklärt ist die Größe des zur Herstellung der Materialien entstehenden ökologischen Rucksacks.

Produktionsbedingte Umweltbelastungen: Produktionsbedingte Umweltbelastungen liegen zum einen im Ausschuss, zum anderen in der Emission gesundheitsrelevanter Substanzen. Inwieweit umwelt- und gesundheitsgefährdende Stoffe emittiert werden, ist unbekannt. Die Ausschussquote ist bei LCDs ein wichtiger Umweltfaktor. Sie lag vor einigen Jahren noch bei rund 30% inzwischen beträgt die LCD-Ausbeute im Produktionsprozess über 90%. Verglichen mit der Produktion von LCDs werden bei Verfahren zur Herstellung von OLEDs weniger Herstellungsschritte benötigt, wodurch der Materialverbrauch noch geringer ausfällt. Das ganze Display kann aus einer einzigen Glas- oder Kunststoffplatte hergestellt werden. Technologische Herausforderungen liegen in der weiteren Effizienzsteigerung bei gleichzeitiger

⁴ <http://www.heise.de/newsticker/data/dal-02.03.01-000/>

Verringerung der Materialkosten für die organischen Substanzen und der Entwicklung materialsparender Beschichtungsverfahren⁵ in der Produktion (möglichst hohe Materialausbeute) sowie der hermetischen Verkapselung der Bauelemente zum Schutz vor Sauerstoff und Luftfeuchtigkeit, die beide zu drastischer Verringerung der OLEDs beitragen.

Schadstoffgehalt: Bei OLED werden als organische Leuchtdioden verschiedene Kunststoffe eingesetzt, darunter Poly-Phenylen-Vinylen, Polyfluoren⁶, Polythiophen⁷ und Polyvinylchlorid. Die Bayer AG bietet "Baytron P" als leitfähiges Polymer auf Basis niedermolekularer Verbindungen an. Die Anode besteht aus Indium-Zinn-Oxid (ITO) oder aus verwandten oxidischen Verbindungen. Quecksilberhaltige Leuchtröhren für die Hintergrundbeleuchtung wie bei LCDs entfallen bei OLED.

Stromverbrauch: Displays auf Basis von OLED benötigen weniger Strom, da die Bildelemente im Gegensatz zu den heutigen TFT-Bildschirmen, die eine Hintergrundbeleuchtung benötigen, selbst Licht emittieren. Bei Nutzung der OLED-Technologie erscheinen Energieeinsparungen bis zu einem Faktor 3 bis 5 gegenüber klassischen Beleuchtungselementen möglich,⁸ so dass damit ausgestattete mobile Geräte deutlich länger mit einer Energiequelle durchhalten können. Die Leistungsaufnahme eines 20" großen OLED-Displays liegt bei 25 Watt.⁹ E-Paper kommt mit einem Tausendstel der heute üblichen Stromaufnahme aus. Grund: Der Bildschirminhalt bleibt auch ohne Versorgungsspannung erhalten. Bildschirme auf E-Ink-Basis brauchen nach Angaben von Philips rund zehn Mal weniger Energie als herkömmliche LC-Displays. Einen hohen Stromverbrauch weisen TV-Plasmabildschirme auf. Mit 600 Watt bis zu 800 Watt Leistungsaufnahme (bei 50") sind heutige Plasmabildschirme im Vergleich zu anderen Bildschirmtechnologien wahre "Stromfresser". Geht man von einem 3 bis 4-stündigen Fernsehkonsum pro Tag aus liegt der Jahresstromverbrauch für einen Plasma-TV in der Größenordnung des Strombedarfs eines Single-Haushaltes. Zwar sind Plasmabildschirme noch ein Nischenprodukt. Bei einem in 2005 erwarteten Marktanteil von 2% in Deutschland kann der Stromverbrauch von Plasma-TV anteilig bereits bei rund 10% des gesamten durch TV-Konsum verursachten Stromverbrauchs geschätzt werden.

⁵ Dr. Klaus Bange (Schott), Schott Info 99/2001

⁶ Energie & Technik, S. 9

⁷ NewsDEsk 9940/1, Siemens, Referat Innovation und Technologie, Biegsame Monitore und elektronische Zeitungen

⁸ Schott Info 99/2001

⁹ Deutsches Flachdisplay Forum, Auskunft. 17.11. 2003

Tabelle 3-8: Energieverbrauch neuer Flachdisplaytechnologien am Beispiel von Geräten der Firma Philips

Technologie	Leistungsaufnahme in Watt	Bildschirmgröße in Zoll	Leistung pro Zoll¹⁰
LCD-TV (Philips)	160 W	30"	5,3
Plasma TV (Philips)	600 W	50"	12
LCOS (Philips)	270 W	55"	4,9
Zum Vergleich: CRT (Philips)	170 W	36"	4,7

Quelle: Philips 2003

Lebensdauer: Hauptproblem bei der OLED-Technologie ist die vergleichsweise geringe Lebensdauer (nach 7.000 h ist die Helligkeit auf die Hälfte reduziert)¹¹.

Abfall und Recycling: Eine Entwicklungsaufgabe ist der Einsatz möglichst recycelbarer Materialien. Beschichtungsverfahren mit denen dies möglich ist, werden derzeit erprobt (z.B. Schott Glas). Auf der anderen Seite ist der Trend zur Verschmelzung von Display und Elektronik unter Recyclinggesichtspunkten problematisch.

¹⁰ Genaugenommen muss die Helligkeit (cd/m²) mit betrachtet werden.

¹¹ Winkler, J.. (DFE), Fokusgruppe "Displays", 3. Dezember 2002

Tabelle 3-9: Orientierende Grobabschätzung der Umwelteffekte neuer Flachdisplays gegenüber vergleichbaren herkömmlichen Displays

Technologie	Einsatzgebiete	Ressourcenverbrauch	Produktionsbedingte Umweltbelastungen	Schadstoffgehalt	Lebensdauer	Stromverbrauch	Abfall / Recycling
Plasma	TV	?	➔	?	➔	➔	?
OLED	Mobilkommunikation, Kfz-Anw., Monitore, Sonderdisplays	⬇	⬇	⬇	⬇	⬇	?
E-Paper	Pocket PCs, elektronische Zeitung	⬇	⬇	⬇	?	⬇	?
E-Ink	Pocket PCs, Mobiltelefone, superflache Monitore	⬇	⬇	⬇	?	⬇	?
LCOS ¹²	TV Projektionsdisplays	➔	?	?	➔	➔	➔

⬇ abnehmende Umweltbelastung ➔ wenig veränderte Umweltbelastung ➔ höhere Umweltbelastung ↗

Quellen: Philips 2003

Neben den direkten Umweltbelastungen durch Herstellung, Gebrauch und Entsorgung treten ökologische Effekte durch die Art und Weise der Nutzung neuer Displaytechnologien auf. Hier können sowohl umweltbe- als auch umweltentlastende Wirkungen entstehen. Bei Anwendungen, wo das Display nur als Komponente in ein Produkt, wie z.B. Handy, PDA, Navigationssystem oder Smart Card eingebaut wird, sind kaum über Ressourceneffizienzgewinne hinausgehende Umwelteffekte zu erwarten. Ein Ersatz herkömmlicher LCDs wird vermutlich nur in sehr begrenztem Umfang stattfinden. Anders verhält es sich bei Displays, die selbst als Endgerät nutzbar sind, wie die "elektronische Zeitung". Hier sind nicht nur additive, sondern auch substitutive Wirkungen möglich, da die elektronische Zeitung aufgrund ihrer

¹² LCOS: Liquid Crystal on Silicon. TV-Geräte mit dieser Technologie werden u.a. von Philips auf den Markt eingeführt.

papierähnlichen Eigenschaften als Ersatz für herkömmliche Papierprodukte in Frage kommt (vgl. Kapitel 3.2.5).

3.1.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Wichtige Rahmenbedingungen für das Recycling von CRT-Glas sind die „Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten“ (LAGA-Richtlinie), der Entwurf einer Bergversatzverordnung des BMU (VersatzV) sowie der EU-Richtlinienentwurf zu Waste Electric and Electronic Equipment WEEE.

Gemäß der WEEE sind Kathodenstrahlröhren grundsätzlich auszubauen und die fluoreszierende Schicht ist zu entfernen. Eine generische Sammelquote von 6 kg/EW*a ist ab 2005 für alle EE-Altgeräte vorgesehen,¹³ die spezifische Verwertungsquote für Geräte, die eine Kathodenstrahlröhre enthalten, beträgt 75 % und die Wiederverwendungs- und Recyclingquote von Bauteilen, Werkstoffen und Substanzen 70 %. Da die CRT-Bildröhre in der Regel nur zwischen 40 und 70 % der Gesamtmasse ausmacht, müssen auch die Elektronik und/oder das Gehäuse verwertet werden. Obschon die WEEE, wenn auch begrenzte, Auswirkungen auf das CRT-Recycling haben dürfte, ist die Art der Umsetzung in deutsches Recht abzuwarten. Über die Mindestanforderungen an das Recycling kathodenstrahlröhrenhaltiger Geräte hinaus (CRT-Entnahme und Entfernung der Leuchtschicht) haben die Mitgliedstaaten sicherzustellen, dass für Behandlung und Recycling die *Besten Verfügbaren Techniken* BVT angewendet werden. Derzeit ist noch nicht abzusehen, ob ein EU-weites Informationsverfahren zur Erarbeitung eines Best Available Technique Reference Documents eingeleitet wird.

Spielräume bei der nationalen Umsetzung der WEEE liegen insbesondere bei der Gestaltung der Rücknahmesysteme (z.B. ähnliche Stoffgruppen wie CRT-Bildschirm und TV anstatt der Kategorien IT und Kommunikationsgeräte bzw. Unterhaltungselektronik), der genauen Definition von Recyclingquoten und Prioritäten für bestimmte Behandlungs- und Verwertungswege.

Zur Umsetzung der WEEE in nationales Recht wurde eine Arbeitsgruppe eingerichtet. Nachdem das BMU ein Eckpunktepapier vorgelegt hat, wird derzeit an der Ausformulierung der Artikel gearbeitet. Die Umsetzung der Richtlinie 2002/95/EG erfolgt in Form einer Rechtsverordnung des Bundes nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz in Form einer Elektro- und Elektronik-Altgeräte-Verordnung (ElektroV). Dazu wird es ein Artikelgesetz geben. Spezielle Anforderungen an Behandlung, Verwertung, Recycling und Entsorgung sollen in einem Anhang zur ElektroV gemäß der Vorgaben der Richtlinie 2002/96/EG ausgeführt werden. Verwiesen werden soll auf

¹³ entspricht nur etwa 1/3 des Altgeräteaufkommens

die Anforderungen der Richtlinie der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA). Dazu wird die LAGA (Niedersachsen) derzeit überarbeitet.

Wichtige Eckpunkte sind:

- Getrennte Sammlung durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger
- Abholung der Altgeräte bei den kommunalen Sammelstellen unter Verantwortung der Hersteller
- Registrierungspflicht für Hersteller, wenn er ein Gerät auf den deutschen Markt bringt; sie umfasst das Inverkehrbringen als auch die Benennung von Entsorgungspartner und Versicherung etc.. Die Registrierung soll bei einer von der Industrie finanzierten und verantworteten Clearingstelle erfolgen, die den Wettbewerb zwischen den Firmen (Hersteller und Entsorgung) sicherstellen soll (kein "zweites" DSD).
- Die Aufsicht der Clearingstelle soll durch eine (neu zugründende) zentrale Bundesbehörde wahrgenommen werden.
- Die Abholung bei den kommunalen Sammelstellen soll über eine Koordinierungsstelle erfolgen, die für eine vollständige Abholung bei den kommunalen Entsorgungsträgern sorgt und sicherstellt, dass ein "Rosinenpicken" unterbleibt.
- Verstöße werden durch die Vollzugsbehörden der Länder geahndet.
- Die Erfassung der Elektroaltgeräte-Stoffströme wird eventuell durch das Statistische Bundesamt erfolgen.

Seitens der Industrie wurde eine Projektgesellschaft gegründet. Die Gründungsversammlung fand am 2.6.03 in München statt. Kernbestandteil ist die sogenannte "Gemeinsame Stelle". Deren Aufgabe ist es, die Voraussetzungen für die Registrierung der Hersteller und die Koordination der Abholung zu schaffen. Weitere operative Aufgaben ("operative Regelung") sind u.a. Regelprüfung, Kompatibilitätsprüfung und Schlichtung. Die Finanzierung der Clearingstelle soll über Registrierungsgebühren erfolgen. Davon unabhängig werden Kosten für die Hersteller durch Umsetzung der WEEE in Höhe von 350-550 Mio. € erwartet. Die Zahlen sind mit hoher Unsicherheit behaftet und beziehen sich auf den gesamten E-Schrott (1,8 Mio. Tonnen in Deutschland, UBA 2001) also einschließlich gewerblichen E-Schrotts. Die Projektgesellschaft soll bis 2005 in die Clearingstelle überführt werden.

Die LAGA-Richtlinie soll die Umsetzung der WEEE vorbereiten. Zweck ist eine bundeseinheitliche Regelung, die die Akzeptanz für die Verwertung von Elektroaltgeräten deutlich erhöht und die Rahmenbedingungen für Investitionen in eine Kreislaufwirtschaft verbessert. Der Gegenstandsbereich erstreckt sich von der Anlagenzulassung über die betriebliche Dokumentation, Anforderungen an die

Erfassung und Entsorgung von Elektroaltgeräten, den Transport zur Aufbereitung/Verwertung bzw. Beseitigung bis hin zu speziellen Anforderungen an einzelne Produktgruppen. In der derzeit vorliegenden Fassung ist das werkstoffliche Recycling von Altschirmglas in der Schirmglasschmelze nicht aufgegriffen, der Bergversatz von gereinigtem Schirmglas wird gleichrangig mit z.B. Verwertung zu strahlenabsorbierenden Produkten behandelt. Die LAGA-Richtlinie harrt ihrer Adaption in den Landesumweltverwaltungen.

Für LCDs gelten vorwiegend die gleichen Rechtsquellen wie bei CRT. Displays mit über 100 cm² müssen nach WEEE demontiert werden. Für IKT-Geräte, die keine Kathodenstrahlröhre enthalten, z.B. LC-Displays, beträgt die Verwertungsquote nach WEEE 75 %, die Wiederverwendungs- und Recyclingquote jedoch im Gegensatz zu CRT nur 65 %. Da sich die Produktionsstätten von LCDs in Ostasien befinden, können die nationalen Verwertungsquoten der WEEE zu unsinniger Logistik führen. Gemäß der LAGA-Richtlinie sind Bildröhren grundsätzlich zu entnehmen und, sofern möglich und zumutbar, zu verwerten, andernfalls zu beseitigen. Beim Ausbau von LCD-Modulen ist darauf zu achten, dass die LCD nicht zerstört werden. Quecksilberhaltige Leuchtssysteme sind auszubauen und getrennt zu entsorgen. Die LCDs sollen nach LAGA-Richtlinie vorrangig über die Hausmüllverbrennung entsorgt werden. Allerdings lagen zur Zeit der Verabschiedung der letzten Fassung im November 2000 auch noch keine ausgereiften Verwertungsverfahren vor. Sowohl die WEEE als auch die LAGA-Richtlinie entfalten derzeit noch keine rechtliche Wirkung, wohl aber ab 2005-2006.

Unklar ist, inwiefern eine umgesetzte WEEE und die LAGA-Richtlinie die ökologisch nachteilhaften Entsorgungswege unterbinden können. Die Bergversatzverordnung zum KrWG beschränkt nicht den Bergversatz von CRT-Altglas, sofern gewisse mechanische Eigenschaften eingehalten werden.¹⁴ Im ökologischen Sinne ist dieser Verwertungsweg minderwertig, jedoch sehr kostengünstig. Auch die LAGA-Richtlinie lässt zahlreiche Downcyclingoptionen offen, sofern nicht ausreichend ökonomisch zu betreibende werkstoffliche Verwertungskapazitäten zur Verfügung stehen.

3.2 Visionen

Für die in der Analyse der Trends identifizierten Problemfelder sind Visionen entwickelt worden. Die Visionen „Closed-Loop-Recycling von Kathodenstrahlröhrenglas“ und „Dematerialisierung durch LCD-Monitore“ knüpfen an die Konzepte einer Dematerialisierung der Volkswirtschaften um einen Faktor 4-10 an. Die Vision des „Closed-Loop-Recycling von Kathodenstrahlröhrenglas“ verfolgt darüber hinaus die Konsistenzstrategie, die auch im Zentrum der Vision

¹⁴ Der Bleigehalt in Mischglas (ca. 7 %) stellt kein Hindernis für den Bergversatz dar.

„Schadstofffreie Flachdisplays“ steht. Besondere Chancen für Innovationen im Sinne der drei Nachhaltigkeitsdimensionen bieten neue Technologien, die als Vision „Nachhaltige Produktnutzungssysteme durch E-Paper“ eher nutzerorientiert, als Vision „Europa als Produktionsstandort für neue Displaytechnologien mit hohem Nachhaltigkeitspotenzial“ eher forschungs- und industriepolitisch verfasst sind.

3.2.1 Closed-Loop-Recycling von Kathodenstrahlröhrenglas

Vision

Kathodenstrahlröhrenglas ist sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht eine der bedeutendsten Fraktionen im Elektronikabfall. Beim Closed-Loop-Recycling von Kathodenstrahlröhrenglas werden ausgemusterte Fernseher und Computer-Monitore separat gesammelt, die Kathodenstrahlröhre wird demontiert und in sortenreine Konusglas- und Schirmglasfraktionen getrennt. Diese beiden Fraktionen ersetzen im industriellen Maßstab bis zu 100.000 Tonnen primäre Rohstoffe in der Schirmglas- und in der Konusglasschmelze. Ausgehend vom Niveau des Jahres 2001 entspricht dies einer Steigerung der Recyclingmenge um einen Faktor 10.

Der Markt für CRTs wird in den nächsten Jahren nach Stückzahlen nur noch geringfügig zunehmen. Die heute verkauften PC-Monitore und TV-Bildschirme fallen nach ihrer Gebrauchsdauer in Höhe von 4 Jahren bzw. 12 Jahren als theoretischer Rückfluss an. Bei einem Konusglasanteil von 1/3 und einer maximalen Sekundärrohstoffeinsatzquote von 50 % ergibt sich die maximale werkstoffliche Konusglasrecyclingmenge zu einem Sechstel der gesamten produzierten Bildschirmglasmenge. Ähnliche Überlegungen begrenzen den Altschirmglasanteil an der gesamten produzierten Bildschirmglasmenge auf etwa 13 %.¹⁵ Für den überschüssigen Rückfluss müssen alternative Open-loop-Recyclingpfade eingeschlagen werden.

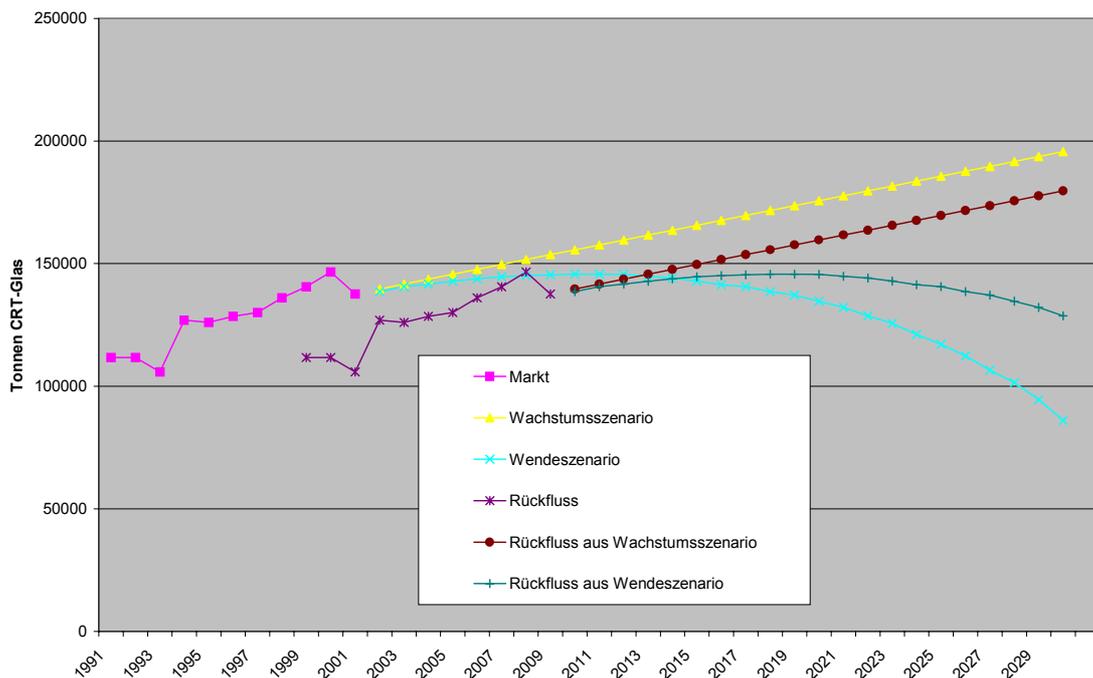
Der Zusammenhang zwischen der Anzahl der verkauften Geräte und dem Rückfluss ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Da die Marktentwicklung für CRT-Glas mit Unsicherheiten behaftet sind, bilden ein Wachstums- und eine Wendeszenario die Leitplanken der tatsächlichen zukünftigen Entwicklung. Der Rückfluss aus dem Bestand entwickelt sich je nach Szenario in unterschiedliche Richtungen. Folgende Annahmen wurden gemacht:

- Die Gebrauchsdauer ist für Desktopmonitore und TVs vereinfachend zu durchschnittlich 8 Jahren angesetzt worden.

¹⁵ Gegenwärtig scheint der Einsatz von 20 % Altschirmglas in der Schirmglasschmelze technisch machbar, zukünftige Tests könnten jedoch auch erbringen, dass ein höherer Anteil einsetzbar ist.

- Die Bindung in Bestandslagern sowie der Anteil von anderen Technologien sind vernachlässigt worden.
- Für Fernseher ist ein Gewicht von 35 kg eher konservativ geschätzt und für Desktop-Monitore sind 10 kg zugrundegelegt worden. Der Bildröhrenglasanteil beträgt vereinfacht jeweils 56 % (BVSE).

Abbildung 3.12: CRT-Marktentwicklung und theoretischer Rückfluss in Deutschland

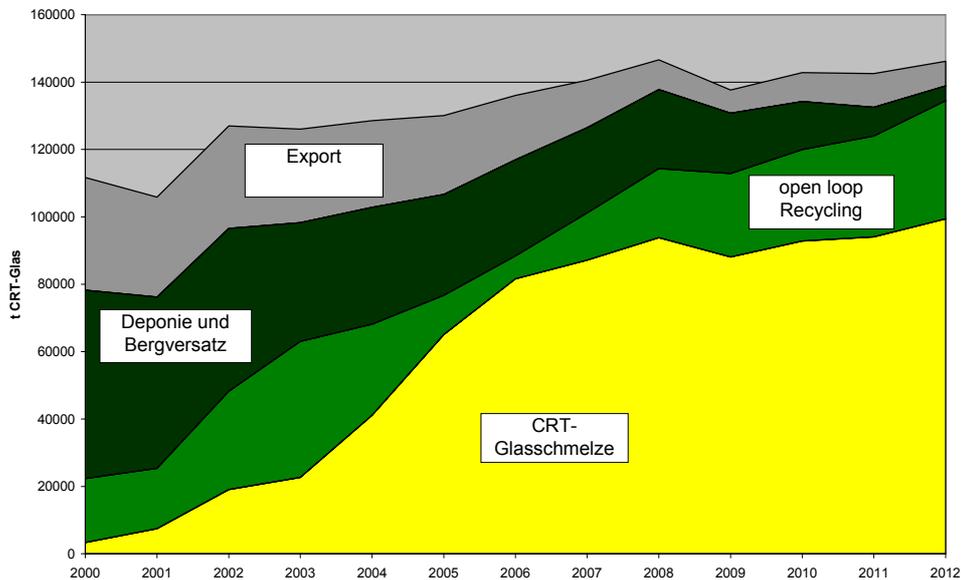


Quelle: eigene Berechnungen des IZT

Der Einfluss vom Wachstums- und Wendeszenario auf den Rückfluss macht sich erst nach 2012 bemerkbar.

Ein mögliches End-of-Life Szenario für das CRT-Glas bei rascher Ausweitung der Closed-Loop-Strategie und Beibehaltung einer bedeutenden CRT-Glas-Produktion in Deutschland ist in folgender Abbildung wiedergegeben. Sie zeigt, ausgehend von einer hypothetischen heutigen Entsorgungssituation, Optionen in Richtung eines Entsorgungsmixes, der ökologischen Anforderungen besser entspricht. Wichtiger Eckpfeiler ist die Maximierung des werkstofflichen Recyclings bis hin zur Hälfte der Konusglasproduktion und etwa einem Fünftel der Schirmglasproduktion, die Reduktion des Exportes, der Deponierung und des Bergversatzes sowie das Erschließen weiterer hochwertiger Open-loop-Recyclingpotenziale, wie z.B. Strahlenschutzanwendungen und die Wiedergewinnung von Metallen in Nichteisenmetall-Hütten.

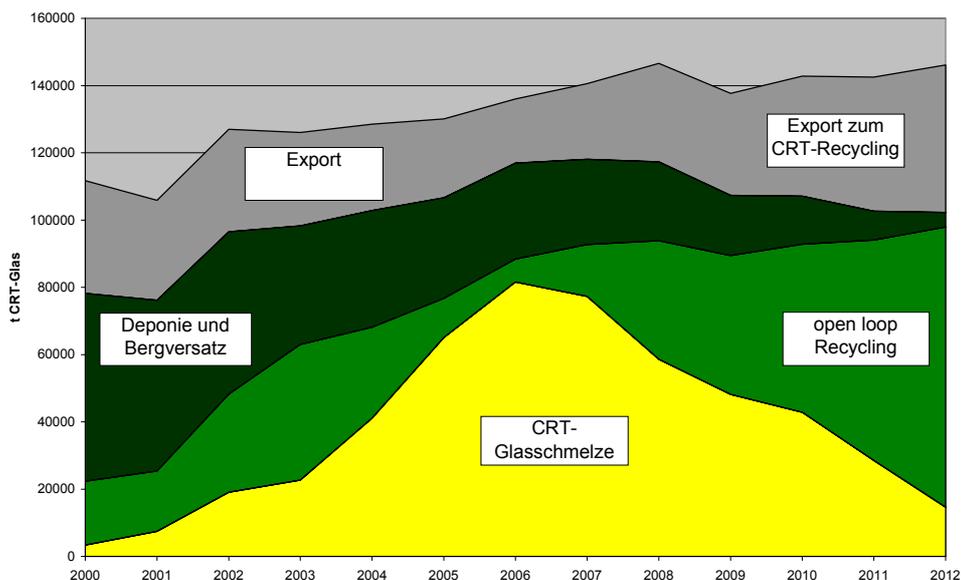
Abbildung 3.13: End-of-Life Szenario für CRT-Glas bei Produktion in Deutschland



Quelle: eigene Berechnungen des IZT

Sollten die Produktionskapazitäten für CRT-Glas in Deutschland und der EU rasch wegbrechen, so müsste eine Closed-Loop Strategie unter den Bedingungen eines weit-räumigen Transportes von End-of-Life Glas zu den Produktionsstätten in Ostasien verfolgt und Open-Loop-Optionen in Deutschland und in der EU gegenübergestellt werden. Ein mögliches End-of-Life Szenario für das CRT-Glas unter veränderten Weltmarktbedingungen zeigt folgende Abbildung:

Abbildung 3.14: End-of-Life Szenario für CRT-Glas unter veränderten Weltmarktbedingungen



Quelle: eigene Berechnungen des IZT

Ein Vergleich der beiden Szenarien offenbart, dass die Closed-Loop-Strategie für das CRT-Glasrecycling in Deutschland kurz- bis mittelfristig realisiert werden muss. Mittel- bis langfristig erfordern die veränderten Weltmarktbedingungen entweder ein verstärktes Open-Loop-Recycling oder einen Export zum Closed-Loop-Recycling in Ostasien. Unabhängig davon ist eine Sammel-, Demontage- und Aufbereitungsinfrastruktur für End-of-Life CRT-Glas aufzubauen. Die Kanalisierung des Rückflusses hängt entscheidend von der ökonomisch-ökologischen Bewertung der Recyclingverfahren ab, die sich je nach Weltmarktbedingungen unterschiedlich darstellt.

3.2.2 Ressourcenproduktivität durch LCD-Monitore

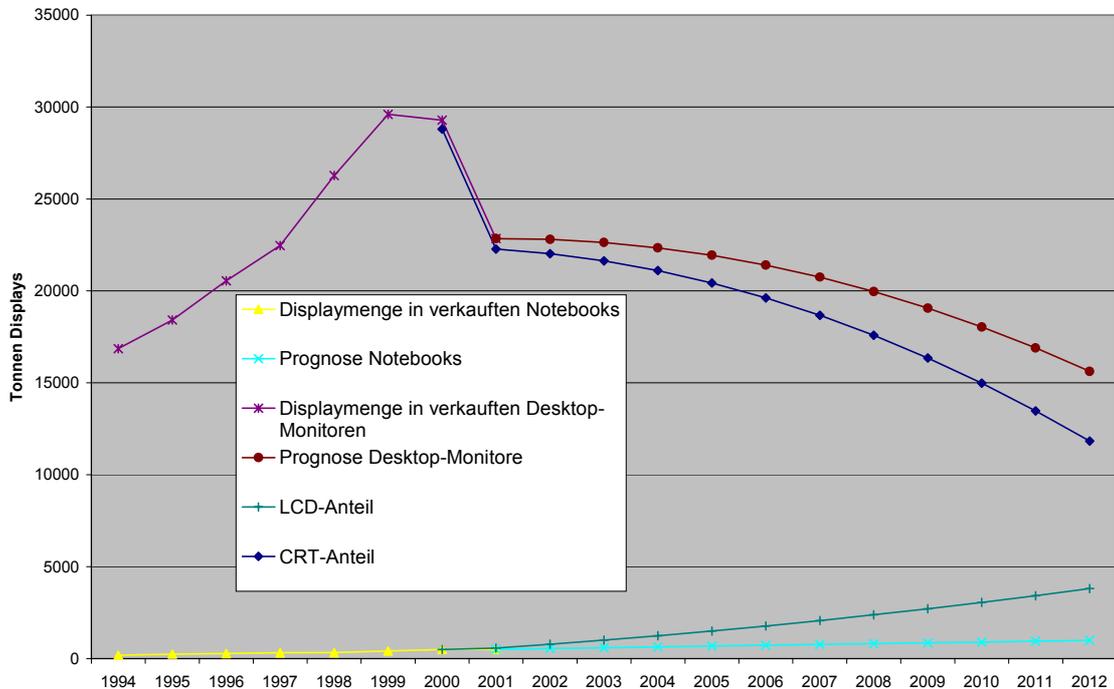
Vision

Computer-Monitore auf LCD-Basis weisen im Vergleich zur CRT-Monitoren über den Lebenszyklus einen über 85 % geringeren kumulierten Primärenergieaufwand und eine über 45 % geringere Inanspruchnahme nicht-erneuerbarer Ressourcen auf. LCD-Monitore haben CRT-Monitore auf breiter Front ersetzt. Die Dematerialisierungseffekte (Faktor 7, bzw. Faktor 2) sind so ausgeprägt, dass auch bei starkem Bestandszuwachs an Computermonitoren der kumulierte Primärenergieaufwand und die Inanspruchnahme nicht-erneuerbarer Ressourcen nur teilkompensiert werden.

Für die Marktszenarien für Notebooks und Monitore in folgender Abbildung sind folgende Annahmen gemacht worden:

- In einem typischen Desktop-Flachbildschirm von 5-7 kg Gewicht befinden sich etwa 700 g LCD-Paneel, in einem Laptop mit typischerweise 2-3 kg Gewicht sind es geschätzte 400 g.
- Bei Laptops ist die durchschnittliche Wachstumsmenge der letzten 7 Jahre in Höhe von 110.000 Stück bis ins Jahr 2012 extrapoliert worden, bei Desktop-Monitoren wurde ein lineares Mengenwachstum von heute etwa 5 Millionen auf 7,5 Millionen im Jahr 2012 angenommen.
- Der Anteil von LCD-Flachbildschirmen am gesamten Desktop-Markt wird von den heutigen 12 % linear jedes Jahr um 5 % gesteigert.

Abbildung 3.15: Displayglasmenge in Notebooks und Desktop-Monitoren in Deutschland



Quelle: eigene Berechnungen des IZT

Obige Abbildung zeigt, dass trotz angenommener hoher Wachstumsraten für LCD-Desktop-Monitore die Menge des Bildröhrenglases für CRT-Monitore die Displaymenge für LCD-Monitore noch lange übersteigen wird. Die Displaymenge in Notebooks wird voraussichtlich von untergeordneter Bedeutung bleiben. Angesichts einer Gebrauchsdauer von 4-5 Jahren für Laptops und Desktop-Monitore ist erst um das Jahr 2012 mit einem nennenswerten LCD-Rückfluss in der Größenordnung von 5.000 t zu rechnen. Dies ist etwa ein Zwanzigstel des jetzigen CRT-Rückflusses aus TV und Desktop-Monitoren.

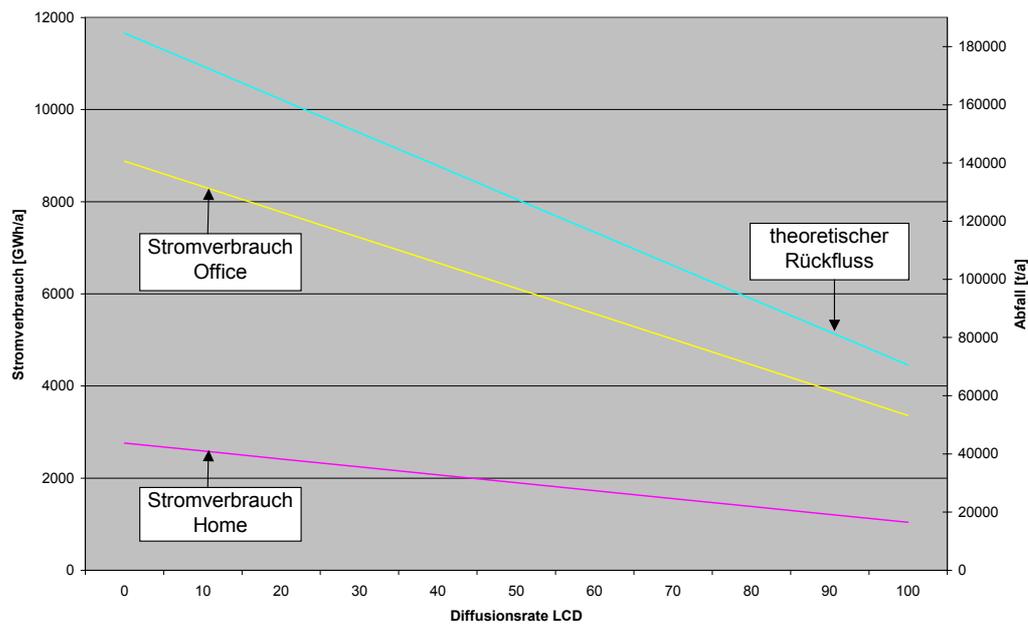
Angesichts der Trends zu größeren Bildschirmdiagonalen und wachsendem Monitorbestand erweist sich die Diffusionsrate von LCD-Monitoren als Schlüsselgröße für die Umwelteffekte auf der Makroebene.

Bei einem für das Jahr 2012 angenommenen Bestand von 80 Millionen Monitoren¹⁶ im 15“(LCD)- bzw. 17“(CRT)-Format bedeutet eine hypothetische Änderung der LCD-Diffusionsrate von 60 auf 70 % eine Verringerung des Stromverbrauchs in Höhe von

¹⁶ heute sind es ca. 18 Mio. im home- und geschätzte 33 Mio. im Office Bereich. Angenommen wurde eine Haushaltsausstattung von 100 % und ein moderates Mengenwachstum im office-Segment auf 40 Mio. Stück.

etwa 500 GWh.¹⁷ Die jährlich zu entsorgende Abfallmenge reduziert sich bei einer Änderung der LCD-Diffusionsrate von 60 auf 70 % um etwa 15.000 t.¹⁸ Trends und die Abhängigkeit des Stromverbrauchs und der Abfallmenge von der LCD-Diffusionsrate sind in folgender Abbildung zusammengefasst.

Abbildung 3.16: Abfall und Stromverbrauch für die Diffusionsrate von LCD-Monitoren in Deutschland



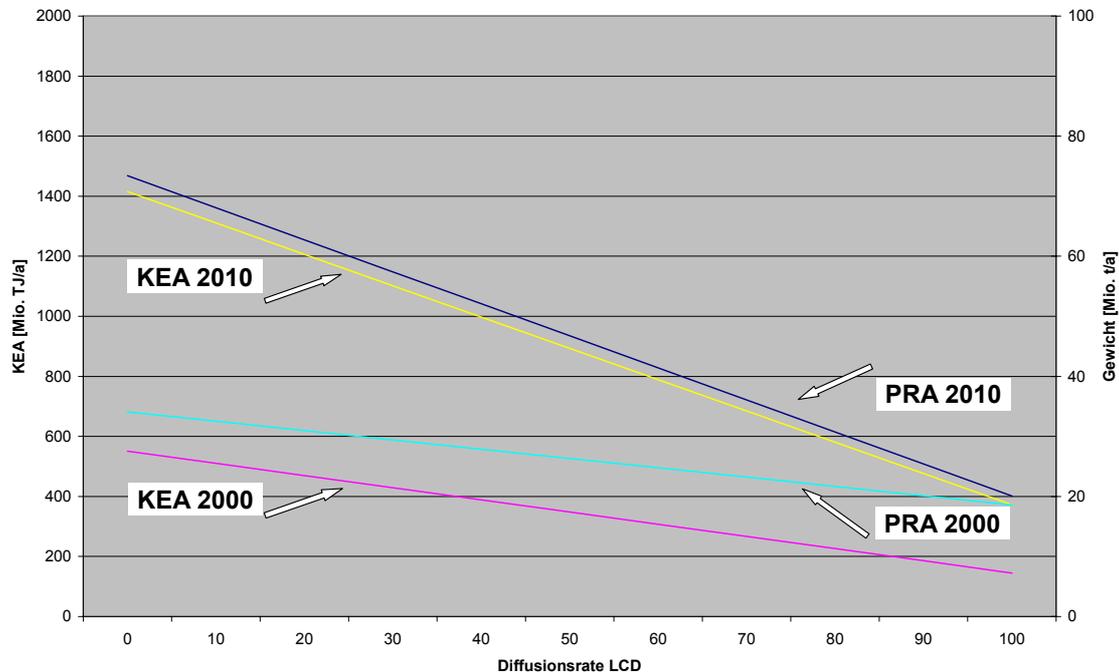
Quelle: eigene Berechnungen des IZT

Unter Berücksichtigung des gesamten Lebensweges ergibt sich bei Verwendung der Daten der University of Tennessee (2001) folgendes Bild für den kumulierten Primärenergie- und Ressourcenaufwand (nicht erneuerbar).

¹⁷ Entspricht etwa der jährlichen Stromproduktion eines 700 MW-Kraftwerkes bei 7000 Volllaststunden pro Jahr.

¹⁸ Das Gewichtsäquivalent von 15.000 Pkw mit 4,5 Meter Länge ergibt aneinandergereiht eine Strecke von 67,5 Kilometern.

Abbildung 3.17: Kumulierter Primärenergie- und Ressourcenaufwand (nicht erneuerbar) für Desktop-Monitore in Deutschland



Quelle: eigene Berechnungen des IZT

KEA: Kumulierter Primärenergieaufwand, PRA: Kumulierter Primärressourcenaufwand (nicht erneuerbar)

Die Grafik zeigt, dass der kumulierte Primärenergieaufwand KEA für Desktop-Monitore im Jahr 2010 auch dann unterhalb des Wertes von 2000 liegt, sofern die Diffusionsrate 90 % und mehr beträgt. Beim kumulierten Ressourcenaufwand (nicht erneuerbar, PRA) beträgt der Break-Even Punkt der Diffusionsrate rund 75 %.

Der Marktanteil von LCD-Monitoren wächst angesichts ergonomischer Vorteile und geringerem Platzbedarf trotz höherer Anschaffungskosten rasant. Angesichts sinkender Preise für LCD-Monitore im Desktop-Bereich ist es wahrscheinlich, dass trotz der Ausweitung des Monitorbestandes von 51 Mio. auf geschätzte 80 Mio. Einheiten im Jahr 2010 der kumulierte Primärenergie- und Ressourcenaufwand (nicht erneuerbar) auch in absoluten Zahlen nicht steigen wird, insbesondere wenn ergänzende Maßnahmen zur Diffusion von LCD-Monitoren ergriffen werden.

3.2.3 Schadstofffreie Flachdisplays

Vision

Der Trend zum Pervasive Computing führt zu wachsendem Einsatz von klein- und mittelformatigen Displays in einer Vielzahl von Produkten. Ihrer Wiedergewinnung nach dem Ende der Nutzungsphase sind erhebliche praktische Grenzen, insbesondere hoher Aufwand für die Trennung und Logistik, gesetzt. Die Displays sind deshalb schadstofffrei und massenstromtauglich konstruiert.

Unter Schadstoffaspekten in LCD werden vor allem Liquid Crystals und Quecksilber in der Hintergrundbeleuchtung diskutiert. Zu LC sind zahlreiche Toxizitätstests durchgeführt worden, die das Umweltbundesamt zu der Einschätzung geführt haben, dass von LCs bei sachgerechtem Gebrauch und Entsorgung keine Gefährdung für Mensch und Umwelt ausgeht. Anders stellt sich die Situation bei Quecksilber dar, das erwiesenermaßen sowohl human- als auch ökotoxisch ist.

Der Quecksilbergehalt eines LCD-Displays hängt von der Anzahl der Lampen für die Hintergrundbeleuchtung und den Quecksilbergehalt pro Lampe ab. Es gibt eine sehr große Bandbreite des Quecksilbergehaltes pro Lampe. Eine eher konservative Annahme für den Quecksilbergehalt pro Lampe liegt bei etwa 5 mg. Das Europäische Umweltzeichen fordert eine Reduzierung auf 3 mg/Lampe. Die Anzahl der Lampen pro Monitor hängt von der Größe des Monitors ab. Ein typischer Wert für einen 17''-Monitor ist 4, wohingegen 14''-Monitore auch mit 2 Lampen auskommen. Unter den Annahmen für den Monitorbestand des obigen Szenarios und dem Trend zu größeren Bildschirmdiagonalen ergibt sich folgendes Bild für 2010:

Tabelle 3-10: Grobe Abschätzung für Quecksilber in der Hintergrundbeleuchtung von LCD-Desktop-Monitoren

	2000 Status Quo	2010 Trend-Extrapolation	2010 Hg-Gehalt EU- Umweltzeichen
Monitorbestand	51 Mio.	80 Mio.	80 Mio.
Diffusionsrate LCD	≅ 10 %	≅ 90 %	≅ 90 %
Anzahl der Lampen	≅ 3	≅ 4	≅ 4
Quecksilbergehalt/Lampe	5 mg	5 mg	3 mg
Nutzungsdauer	4 a	3 a	3 a
Quecksilber im Abfallstrom	20 kg	480 kg	290 kg

Quelle: eigene Berechnungen des IZT

Obige Tabelle verdeutlicht, dass durch die Ausweitung des Monitorbestandes, den Trend zu größeren Bildschirmdiagonalen, die LCD-Diffusion und sinkende Nutzungsdauern der Quecksilbermengenstrom im Abfall um einen Faktor 24 ansteigen wird, sofern keine Maßnahmen zur Minimierung des Quecksilbereinsatzes ergriffen werden. Selbst wenn alle LCD-Monitore im Jahre 2010 einen reduzierten Quecksilbergehalt von 3 mg/Lampe haben, würde sich der Quecksilbermengenstrom im Abfall immer noch um einen Faktor 14,5 erhöhen.

Die absoluten Werte des Quecksilbermengenstroms erscheinen niedrig. Gemäß der National Wildlife Foundation in den USA, genügt eine atmosphärische Deposition von lediglich 1 Gramm Quecksilber in einen See mit 25 Acre Fläche, um den Fisch darin für den Menschen ungenießbar zu machen. Diese Relation verdeutlicht die hohe Toxizität von Quecksilber.

In obige Betrachtung sind keine Notebooks und Bildschirme mit kleinen und mittleren Diagonalen eingeflossen. Diese Displays benötigen zwar weniger Lampen als große Desktop-Monitore, der Trend zur Einbettung von Displays in zahlreiche Alltagsgegenstände könnte jedoch durch die hohe Anzahl bedeutsame Nettoeffekte auf den Quecksilbermengenstrom hervorrufen.

Zwar wird in der WEEE ein Ausbau und eine gesonderte Entsorgung der Hintergrundbeleuchtung von LCDs gefordert, jedoch erfasst die WEEE mit ihrer angestrebten Sammelquote nur ein Viertel des tatsächlichen Elektronikschrotts und es müssen nur LCDs mit einer Fläche über 100 cm² ausgebaut werden. Neben der Minimierungsstrategie von Quecksilber ist mittel- bis langfristig auch der komplette Ersatz von Quecksilber anzustreben, wozu insbesondere die quecksilberfreie Hintergrundbeleuchtung auf LED-Basis oder Flachlampen (z.B. das Planon-Konzept von Osram und Siemens) erfolgversprechend einzuschätzen ist (vgl. Kapitel 5.2.6).

3.2.4 Europa als Produktionsstandort für neue nachhaltige Displaytechnologien

Vision

In Europa ist eine leistungsfähige Flachdisplayproduktion als Bindeglied zwischen Forschungsinstituten, Zulieferindustrie und Abnehmern (z.B. Automobilbranche, Maschinen- und Anlagenbau, IKT-Branche) entstanden. Frühzeitig ist in einer gemeinsamen Initiative von Forschungsinstituten, Industrie und Regierung Produktionskompetenz insbesondere für OLED und E-Paper aufgebaut worden. Diese konkurrenzfähige Schlüsselindustrie mit positiven Beschäftigungseffekten und hoher Ressourceneffizienz ihrer Produkte wird in hohem Maße den drei Nachhaltigkeitsdimensionen gerecht.

In einem Positionspapier zum Ausbau der deutschen Position auf dem Flachdisplay-Weltmarkt wird die strategische Bedeutung der Flachdisplaytechnologien skizziert:

- Wachsende Anzahl von Flachdisplay-Anwendungen führt zu anhaltendem Wachstum. Wichtige zu erschließende Teilmärkte liegen im Bereich der Kraftfahrzeuge (Fahrerinformation und Infotainment/Arbeitsplatz im Fond), Maschinen- und Anlagenbau (Monitore), Hersteller kleiner mobiler informations- und kommunikationstechnischer Geräte, im Chipkartensegment sowie bei Mikro-Displays (Fotoapparate, Videokameras, Videobrillen, Datenhelme).
- Im Gegensatz zur AMLCD-Technik besteht bei OLED noch keine starke Konkurrenz durch andere Standorte, weshalb das Zeitfenster zum Einstieg in diese Schlüsseltechnologie günstig erscheint. Gelingt die Ansiedlung dieser Technologie für den Massenmarkt, so ist mit der Schaffung hochqualifizierter Arbeitsplätze zu rechnen.
- Über die indirekten Effekte der Displaynutzung hinaus versprechen Displays auf OLED-Basis im Vergleich zur derzeit dominierenden LCD-Technologie auch ökologische Vorteile wie Quecksilberfreiheit und geringerer Stromverbrauch. Durch die Ansiedlung einer solchen Schlüsselindustrie in der EU kann in höherem Maße Einfluss auf Nachhaltigkeitsbelange genommen werden, da die EU an ihre Nachhaltigkeitsstrategie gebunden ist.

Wichtige Aufgaben für die weitere Entwicklung sind die Überwindung technischer Hemmnisse, die verstärkte Verankerung ökologischer Aspekte bei der Technologieentwicklung, der Aufbau von Know-How sowie günstige und planbare Investitionsbedingungen.

3.2.5 Nachhaltige Produktnutzungssysteme durch E-Paper

Vision

Elektronisch wiederverwendbares Papier wird die Art und Weise ändern, wie Menschen über das Drucken nachdenken und die Preis-, Werbe- und Informationsmöglichkeiten revolutionieren, mit denen Geschäfte ihren Kunden erreichen.¹⁹ Die elektronische Zeitung verfügt über (fast) alle Eigenschaften einer herkömmlichen Zeitung: "Sie kann genauso gelesen, gefaltet und getragen werden. Der Leser schließt seine Elektronische Zeitung an das Internet an, lädt Texte, Grafiken und Bilder in den Zwischenspeicher und projiziert diese auf 16 beidseitig mit elektronischer Tinte "bedruckte", flexible und haltbare Seiten. Hat er die ersten Seiten gelesen, ruft er die nächsten aus dem Speicher ab. Dadurch erhält die Elektronische

¹⁹ Bon Sprague, Manager von Xerox Parc und Gyricon Media, 7.12. 2000

Zeitung das herkömmliche Zeitungsgefühl, bereichert mit modernen neuen Funktionen: Artikel lassen sich sofort online versenden und archivieren. Die Größe der Elektronischen Zeitung entspricht ungefähr DIN A4. Sie kann flach in einer Mappe, gerollt oder gefaltet transportiert werden. Über Tasten werden die Funktionen "neue Abschnitte zeigen", "Artikel ausschneiden" und "Ausgabe aktualisieren" gesteuert".²⁰

Wie sieht die Zukunft der "elektronischen Zeitung" aus? Im folgenden wird zunächst der Einfluss der IKT auf die Print-Medien dargestellt, so dann wird auf die Frage eingegangen, ob und inwieweit das elektronische Papier herkömmliche Print-Medien ersetzen kann.

Der Gesamtverbrauch an graphischen Papieren (Zeitungen, Zeitschriften und Kopierpapier) stieg von 1990 mit 7,4 Mio. Tonnen auf über 8,7 Mio. Tonnen im Jahre 1999 (UBA Pressemitteilung Nr. 36/2000). Bisher waren die elektronischen Medien nicht in der Lage, das Papier zu verdrängen. Papierdrucke sind nach wie vor deutlich verbreiteter als die reine Datenverarbeitung und -darstellung mittels Computer und Internet.²¹

Die Printmedien unterliegen durch die Entwicklungen im Internet und in der Informations- und Kommunikationstechnik einem umfassenden Wandel. Kennzeichnend sind folgende Aspekte:²²

- Die Digitalisierung erleichtert den Anbietern eine höhere Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung und raschere Aktualisierung. Die Erstellung von Informationsinhalten wird dadurch immer kostspieliger, auch die Internet-Investitionen sind stark gestiegen. Das führt zu Konzentrationen und zu dem Bestreben, die Distributionskanäle zu erweitern.
- Eine Verdrängung der Printmedien durch Online-Angebote hat bisher nicht stattgefunden. Das Wachstum hat sich aber deutlich verändert: Während der Zeitungsmarkt in Deutschland leicht rückläufig ist, ist bei den Online Zeitungen ein starkes Wachstum zu verzeichnen.
- Verlagshäuser von Massenprintmedien bedienen sich bereits heute der Informations- und Kommunikationstechnik und des Internets als neuem Medium. Weltweit existieren mehrere tausend elektronische Zeitungen und Zeitschriften, von kleinen Regionalzeitungen bis hin zu internationalen Tageszeitungen. Reine Online-Zeitungen sind die Ausnahme. Internetangebote

²⁰ Quelle: <http://www.b-i-t-online.de/archiv/1999-04/digit1.htm>

²¹ Dies ergab eine von Minolta in Auftrag gegebene repräsentative Umfrage unter Deutschen durch das Meinungsforschungsinstitut Ipsos (WNO 10/2000, S. 7).

²² Kongress: Die Zukunft der Printmedien, „Müchener Kreis, München 20.9.2001

- ergänzen das Printangebot. Es werden Zielgruppen angesprochen, die auch außerhalb des Verbreitungsgrades der traditionellen Zeitung liegen.
- Nur wenige Nutzer wollen für das Online-Angebot bezahlen. Das gilt für reine Internet-Zeitschriften wie auch für Online-Ableger etablierter Zeitschriften. Online-Angebote im Zeitungs- und Zeitschriftenbereich basieren derzeit auf unsicheren Erlösmodellen. Bislang können lediglich spezielle Informationsdienste etwa für Mediziner oder geschäftsrelevante Medien wie das „Wall Street Journal“ oder der „Economist“ mit Online-Abos Gewinne erwirtschaften. Deren Online-Dienste werden in erster Linie von Unternehmen in Anspruch genommen und kaum von Privatpersonen bezahlt.
 - In den nächsten Jahren ist deutlich mit einer Tendenz zur Konvergenz von Printmedien und Onlinemedien zu rechnen. Getragen wird diese Entwicklung durch die junge Generation, die Online-Distributionswege zunehmend nutzt.
 - Neben dem PC werden zukünftig verschiedene mobile Internetzugänge an Bedeutung für den Medienmarkt gewinnen, von Mobiltelefonen mit seinen zusätzlichen Informationskanälen (SMS, MMS, WAP, Internet), dem Palmcomputer und dem PDA bis hin zum Informationsdisplay im Auto. In einigen Fällen sind überregionale Tageszeitungen, wie z.B. die Financial Times Deutschland, und Zeitschriften bereits heute schon über WAP-Handys, PDAs, Smartphones oder E-Books zu empfangen.
 - Am Buchmarkt hat die elektronische Revolution noch nicht stattgefunden. Mit den so genannten E-Books wurde versucht, das Lesen digitaler Bücher losgelöst vom PC, der sich als zu unbequem erweist, attraktiver zu machen - allerdings mit relativ bescheidenem Erfolg²³.

Neben unsicheren Erlösmodellen (fehlende Bereitschaft der Konsumenten für Online-Informationen zu zahlen), den Schwierigkeiten beim Abrechnen kleiner Zahlungsbeträge (Microbilling), der unsicheren Datenübertragung und den Unsicherheiten beim Copyright sind vor allem auch technische Hemmnisse zu

²³ Der Markt für elektronische Bücher entwickelt sich nur langsam. Weltweit werden erst zwischen 10.000 und 50.000 Lesegeräte benutzt. Der Konzern Thomson Multimedia hat zwar bereits 2000 angekündigt, unter dem Markennamen RCA bald mehrere Millionen E-Book-Reader auf den Markt zu bringen (c't 23/2000, S. 78). Die neuen Geräte konnten sich aber am Markt immer noch nicht durchsetzen. Die bislang auf E-Books mobil nutzbaren Inhalte haben den Nachteil, dass kein direkter online-Zugriff besteht. Die Inhalte müssen erst über ein stationären PC auf das Rocket E-Book geladen werden. E-Books sind aufgrund der bislang genutzten Dateiformate (Open E-Book oder PDF) keine multifunktional nutzbaren Endgeräte, sondern reine Lesegeräte (proprietäre Reader).

verzeichnen. So können Online-Informationen bisher weitestgehend nur an stationären Computern mit halbwegs befriedigender Lese- und Nutzungsqualität empfangen werden. Mobile Endgeräte lassen sowohl hinsichtlich der Lesefreundlichkeit wie auch der Navigationsmöglichkeit zu wünschen übrig. Die Zugriffsgeschwindigkeit ist bisher für viele Nutzer unbefriedigend und die nutzerfreundliche Speichermöglichkeit relevanter Informationen in ein eigenes elektronisches Archiv ist noch nicht gegeben.

Foliendisplays (auf der Basis von OLED, E-Paper oder E-Ink) könnten einige dieser technisch bedingten Nachteile (Handhabbarkeit, Bequemlichkeit, Lesbarkeit u.a.) ausräumen und somit die Akzeptanz für elektronische Zeitungen steigern.

Die Vorteile der Elektronischen Zeitung liegen

- in der Beibehaltung der subjektiven Eigenschaften und Merkmale der Papierzeitung bei gleichzeitigem Angebot von neuen Funktionen und
- der Vereinfachung und Modernisierung von Aufgaben, wie z.B. das elektronische Ausschneiden, Einfügen, Speichern und Senden von Artikeln.
- Im Gegensatz zu Printmedien, wie z.B. Zeitungen, werden die Folien nicht weggeworfen, sondern lassen sich mehrere 1000 -fach wieder aufladen.

Sollten bestehende Hemmnisse beseitigt werden und das E-Paper sich tatsächlich als komfortables und preislich akzeptables Display erweisen, dürften sich digitale Zeitungen, die dann vermutlich vergleichbar leistungsfähig sein werden, wie unsere heutigen PCs, rasch verbreiten. Für diese Entwicklung spricht auch, dass sehr viele Internetnutzer heute schon auch ein Handy besitzen, was die schnelle Akzeptanz der mobilen Angebote durch die breite Masse unterstützt (Motley 2000). Das Surfen im Web und das Lesen von Nachrichten über E-Paper stellt für viele Nutzer, die mit diesen Tools am PC umgehen und entsprechende Dienstleistungen heute schon nutzen, lediglich eine Erweiterung des jetzigen Angebots dar. Dafür spricht auch die zunehmende Aufspaltung des Angebotes mit Ausrichtung auf spezielle Lesergruppen mit kleineren Auflagen, verschiedenen Reichweiten und Märkten, was sich in einer weiteren Ausdifferenzierung von Off- und Online-Angeboten widerspiegelt.

Tim Bjarin, Leiter des kalifornischen Marktforschungsinstitutes Creative Strategies erwartet in etwa fünf bis 10 Jahren, dass Foliendisplays als Ersatz für Bücher, Zeitungen oder Zeitschriften in Betracht kommen. Kühne Prognosen gehen davon aus, dass es in 8 - 12 Jahren die gedruckte Zeitung nicht mehr geben wird. Andere Prognosen sind da vorsichtiger und gehen von einer parallelen Entwicklung verschiedener Formen der Mediennutzung aus: Die herkömmlichen Medien werden weiter wachsen, allerdings in geringerem Maße als die elektronischen Medien. Die Zukunft des E-Papers wird auch entscheidend von der Ausdifferenzierung des Angebotes abhängen. Denkbar sind neben digitalen Abonnements Digitale Display Shop Outlets, Buchhandlungen oder

elektronische Kioske, die Zeitungsausgaben oder einzelne Artikel auf Nachfrage ausdrucken.²⁴ Von entscheidender Bedeutung für die ökologische Nettobilanz wird es sein, die Rematerialisierung digitaler Inhalte durch technische Lösungen, Informationen oder Anreize zu minimieren.

3.3 Herausforderungen

Die Umbrüche bei den globalen Weltmärkten für Displays erfordern eine Neuorientierung der Nachhaltigkeitsstrategien. Von zentraler Bedeutung für eine Roadmap sind in diesem Zusammenhang Produktionsverlagerungen alter Technologien, das Aufkommen neuer Schlüsseltechnologien und eine Neuorientierung bei Umweltschutzstrategien.

Handlungsbedarf wird insbesondere in folgenden Bereichen gesehen:

- Die aktuellen und noch zu erwartenden Mengenströme zeigen, dass CRTs langfristig in quantitativer und in qualitativer Hinsicht die größte Entsorgungsherausforderung darstellen werden. Zahlreiche rechtliche Regelungen zu Umweltaspekten von EE-Geräten sind vor allem auf europäischer Ebene auf den Weg gebracht, ihre Auswirkungen auf das CRT-Recycling sind jedoch zweifelhaft. Größere Potenziale lassen freiwillige Firmeninitiativen zum werkstofflichen Recycling erwarten.
- Besonders dynamisch entwickelt sich der Markt für Flachdisplays. Angesichts der Mengenzuwächse besteht die Herausforderung in einer rechtzeitigen Entwicklung von Recyclingverfahren für LCDs (wozu verschiedene Aktivitäten bei der Firma Merck KGaA in Darmstadt angelaufen sind), dem Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur und der Lösung der Quecksilberproblematik.
- Die CRT-Herstellung erfolgt global vor allem in Japan und zunehmend auch in China. Die beträchtlichen Kapazitäten in Deutschland unterliegen starkem Wettbewerbsdruck. Die LCD-Fertigung erfolgt fast ausschließlich in Fernost (Taiwan, Südkorea, Japan). Angesichts des Trends im Bereich CRT Produktionskapazitäten in Deutschland zu schließen und teilweise in andere Länder zu verlagern und der Dominanz fernöstlicher Hersteller im Bereich der Flachdisplays, stellt sich die Aufgabe, die Wettbewerbsfähigkeit hiesiger Unternehmen zu stärken und möglicherweise Produktionskapazitäten für aussichtsreiche Technologien wie OLED aufzubauen.
- Sollte für das E-Paper ein Massenmarkt geschaffen werden können, so hätte dies erhebliche Auswirkungen auf den Content-Bereich und das Nutzerverhalten. Auch die ökologischen Auswirkungen sind bei dieser Technologie neu zu bestimmen. Allerdings sind hierzu noch erhebliche technische Hürden zu überwinden und Markteinführungskonzepte zu entwickeln.

²⁴ http://www.sbv-fsa.ch/infopool/e-kiosk/pdf/grundlagen_e-kiosk.pdf

4 Fokusgruppe

4.1 Fokusgruppe

An der Fokusgruppe 'Displays' sind die Firmen Schott Glas, LG Philips Displays, Sharp Electronics Europe, Sony Environmental Center Europe und Merck sowie Griag beteiligt.

Schott Glas ist einer der fünf Bildröhrenglashersteller in Europa. Schott Glas betreibt ein Recycling von Altglas in der Konus- und Schirmglasschmelze.

LG Philips Displays ist ebenfalls einer der führenden Bildröhrenherstellern. LG Philips Displays beliefert die Firma Schott Glas mit Produktionsabfällen aus der CRT-Fertigung.

Sharp ist ein japanischer Elektronikonzern und Weltmarktführer bei Flachdisplays. In Deutschland befindet sich die Sharp Electronics (Europe) GmbH, dessen Aufgabe liegt in erster Linie im Vertriebs- und Servicebereich.

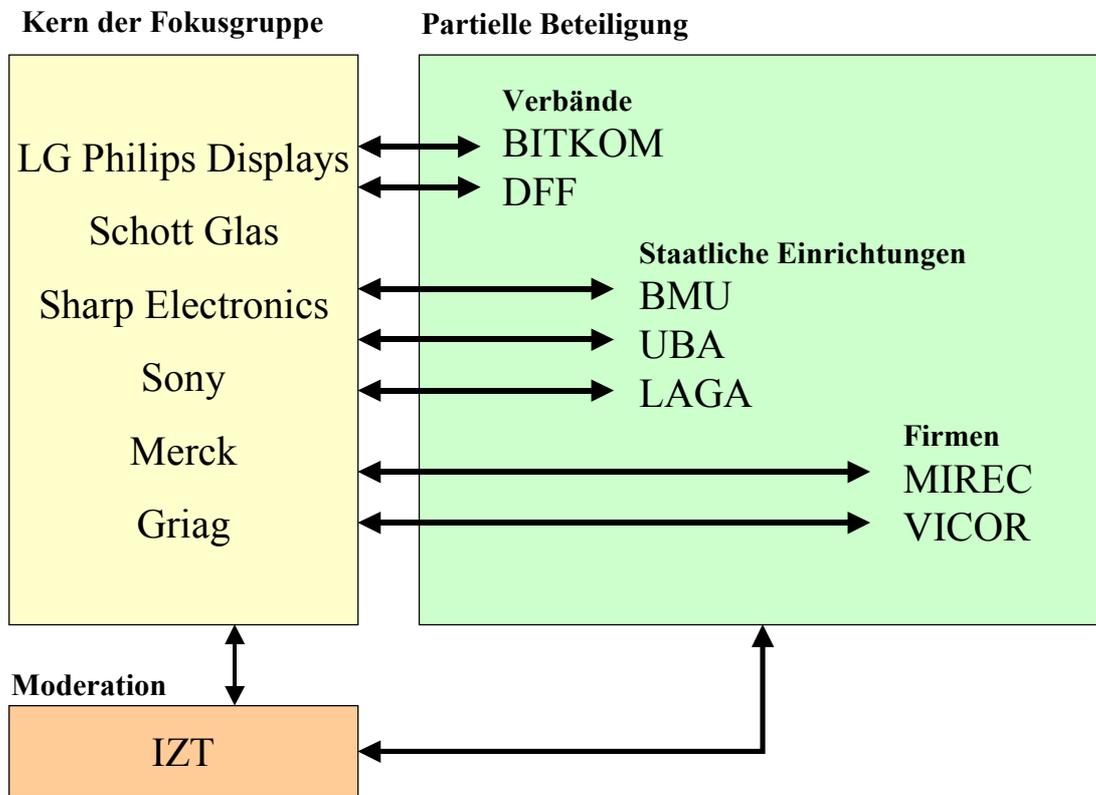
Sony ist einer der führenden Elektronikkonzerne im Bereich Consumer electronics. In der Fokusgruppe beteiligt ist das Environmental Center Europe von Sony.

Die deutsche Firma Merck ist der weltweit führende Hersteller von Flüssigkristallen für LCDs. Der Weltmarktanteil liegt bei über 60%.

Die Firma Griag ist ein mittelständisches Recyclingunternehmen für Elektronikschrott.

Die Fokusgruppe ist in dieser Konstellation als Kerngruppe zu verstehen. Zu einzelnen Fragen und Themen nahmen verschiedene weitere Unternehmen bzw. Verbände oder staatliche Einrichtungen an den Sitzungen der Fokusgruppe teil (siehe nachfolgende Abbildung). Dies diente einerseits dazu, zusätzliche Sachkompetenz zu berücksichtigen, andererseits wurden relevante Institutionen über die Ergebnisse der Fokusgruppe informiert. Das Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) steuerte den Roadmapping-Prozess, brachte wissenschaftliche Expertisen ein und bereitete die Roadmap auf.

Abbildung 4.1: Akteurskonstellation der Fokusgruppe



Quelle: eigene Darstellung

4.2 Themenschwerpunkte

Themenschwerpunkte der Roadmap sind das CRT-Recycling von TV und PC-Monitoren. Bei Flachbildschirmen (LCD) steht neben der Recyclingfrage die Ressourcenproduktivität und die Schadstoffproblematik im Mittelpunkt. Neue Flachdisplaytechnologien und damit zusammenhängende Aspekte für ein Design for Environment bilden einen weiteren Schwerpunkt der Fokusgruppe.

Tabelle 4-1: Handlungsfelder des Fokusthemas

Handlungsfelder	Schwerpunkte
CRT-Bildröhren	End of Life Management
LCD-Monitore	End of Life Management Ressourcenproduktivität Schadstoffaspekte
Neue Flachdisplaytechnologien	Design for Environment

5 Roadmap

5.1 Ziele

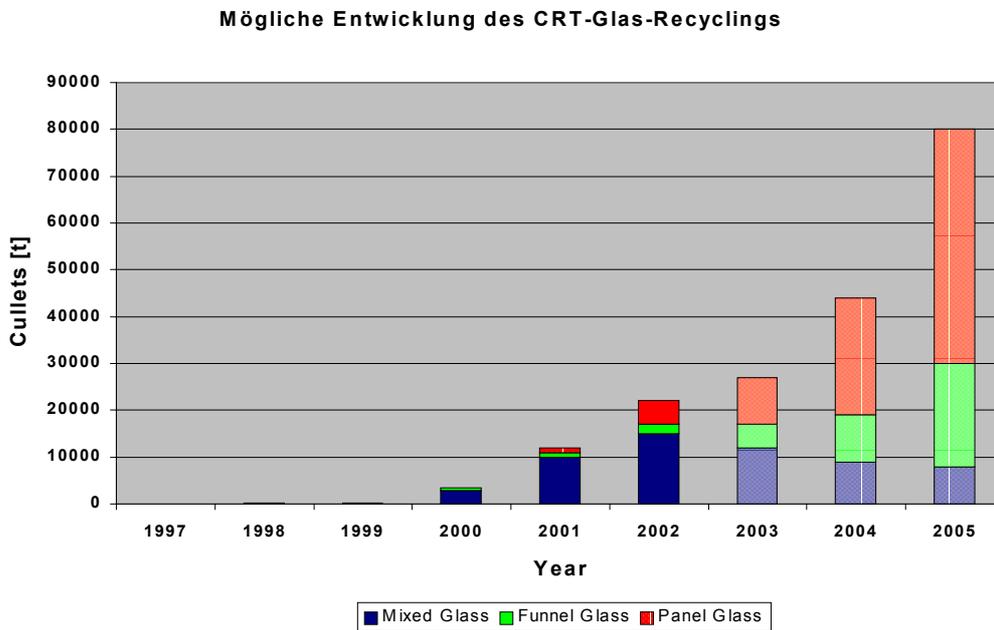
Die Analyse der Mengenströme zeigt, dass CRTs langfristig in quantitativer und in qualitativer Hinsicht die größte Entsorgungsherausforderung darstellen werden.

Die Roadmap setzt an der Situation an, dass 2001 mit jährlich 10.000 t CRT-Glas nur etwa ein Zehntel des Rückflusses aus dem Bestand werkstofflich recycled wurde. Wird der Rückfluss so kanalisiert, dass im Jahre 2005 etwa 80.000 t End-of-Life CRT-Glas in der Konus- und Schirmglasschmelze eingesetzt werden, so müssen 70.000 t weniger Abfall pro Jahr entsorgt oder zu minderwertigen Produkten verarbeitet werden. Damit würden nicht nur jährlich zusätzlich 7.000-10.000 t weniger Blei auf Deponien eingetragen oder in Downcyclingpfade verschleppt,²⁵ sondern auch über 10.000 t Primärblei mit einem ökologischen Rücksack von bis zu 250.000 t eingespart (bei etwa 4 % Erzgehalt).

Hauptziel der Roadmap ist die Kanalisierung des Rückflusses in die optimalen Verwertungspfade. Bis zum Jahr 2005 soll bei der Fa. Schott in Mainz die Einsatzmenge von Altschirmglas in der Schirmglasschmelze verdoppelt und ein Altkonusglasanteil in der Konusglasschmelze von 50 % erreicht werden. Insgesamt können 80.000 t CRT-Altglas in die Schirm- und Konusglasschmelze im Jahr 2005 eingebracht werden. Dies kann nur gelingen, wenn ausreichend sortenreines Schirm- und Konusglas zur Verfügung steht:

²⁵ Entspricht etwa der jährlich in Deutschland eingesparten Bleimenge in Lötlegierungen durch das angekündigte Bleiverbot in der RoHS.

Abbildung 5.1: Einsatzmengen von CRT-Altglas bei der Firma Schott Glas bis 2005



Quelle: Schott Glas, Recycling-Symposium, September 2002

Ein weiteres Ziel der Roadmap ist die Entsorgung überschüssigen CRT-Altglases gemäß der Anforderungen einer modifizierten LAGA-Richtlinie, was durch die Identifizierung geeigneter Verwertungspfade, die Adaption einer überarbeiteten LAGA-Richtlinie durch die Länderverwaltungen, und die Vermarktung der Recyclingprodukte bewerkstelligt werden soll.

Im Vergleich zu CRTs ist das Mengenaufkommen von LCDs bisher sehr gering, die starken Wachstumsraten können jedoch langfristig bedeutsame Stoffströme induzieren.

Die Roadmap greift hier die Umweltentlastungspotenziale von LCDs gegenüber CRTs auf, rückt proaktiv die Recyclingfrage in den Vordergrund und bezieht die Quecksilberproblematik mit ein. Ein 15“ LCD-Monitor weist im Vergleich zu einem funktionell äquivalenten 17“ CRT-Monitor im Betrieb einen um 60-70 % und im Standby einen um etwa 50 % geringeren Stromverbrauch auf (University of Tennessee 2001). Das geringere Gewicht führt zu einer um 60-70 % verringerten Abfallmenge. Angesichts der Trends zu größeren Bildschirmdiagonalen und wachsendem Monitorbestand erweist sich die Diffusionsrate von LCD-Monitoren als Schlüsselgröße für die Umwelteffekte auf der Makroebene. Bei einem für das Jahr 2012 geschätzten Bestand von 80 Millionen Monitoren im 15“ (LCD)- bzw. 17“ (CRT)-Format bedeutet eine hypothetische Änderung der LCD-Diffusionsrate von 60 auf 70 % eine

Verringerung des Stromverbrauchs in Höhe von etwa 500 GWh.²⁶ Die jährlich zu entsorgende Abfallmenge reduziert sich bei einer Änderung der LCD-Diffusionsrate von 60 auf 70 % um etwa 15.000 t.²⁷

Hauptziele der Roadmap sind hier die Darstellung und Vermittlung der Umweltvorteile von LCDs ab 2003/2004, die Minimierung und Kennzeichnung von quecksilberhaltigen Leuchtsystemen sowie die proaktive Identifizierung geeigneter Recyclingoptionen.

Neue Displays: Sensibilisierung

Neben der Weiterentwicklung der marktbeherrschenden CRT- und LCD-Technologien²⁸, werden verschiedene neue Bildtechnologien erprobt. Das Design for Environment spielt in der Regel bei der Forschung und Entwicklung neuer Flachdisplaytechnologien kaum eine Rolle. Das Ziel der Roadmap besteht hier in der Sensibilisierung der Akteure für eine frühzeitige Berücksichtigung ökologischer Aspekte in der Designphase.

²⁶ Entspricht etwa der jährlichen Stromproduktion eines 700 MW-Kraftwerkes bei 7000 Volllaststunden pro Jahr.

²⁷ Das Gewichtsäquivalent von 15.000 Pkw mit 4,5 Meter Länge ergibt aneinandergereiht eine Strecke von 67,5 Kilometern.

²⁸ Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten führender Displayhersteller zielen insbesondere auf Verbesserungen bezüglich Ablesewinkel, Farbechtheit, Reaktionsgeschwindigkeit, Auflösung und Helligkeit. Zur Verbesserung der Farb- und Kontrastqualität steht neuerdings mit der als Black-TFT bezeichneten Technologie, ein Verfahren zur Verfügung das die Reflexion weiter verringert und bei schwierigen Lichtverhältnissen die Farbqualität verbessert. Mit der SuperView-Technologie lässt sich der Ablesewinkel deutlich gegenüber bisherigen Displays vergrößern, so dass mehrere Personen gleichzeitig einen Blick auf ein LCD-Display richten können. Durch die Verbindung der "Super High Aperture-Ratio Technology" (SHA) mit Leiterbahnen, die sich durch sehr niedrige Widerstandswerte auszeichnen, wird die sichtbare Bildfläche vergrößert. Daraus resultiert neben der gesteigerten Auflösung eine verbesserte Helligkeit und Reduktion des Stromverbrauchs. Darüber hinaus wird versucht die Geschwindigkeit des Pixelauf- und -abbaus zu beschleunigen, was Anwendungen wie Videospiele verbessert. TFTs der nächsten Generation sollen schließlich farbechte Bilder gemäß der ICC Definition (International Color Consortium) darstellen können. Damit sollen Anwendungsbereiche für Highend-Lösungen in Grafik- und CAD-Anwendungsbereichen adressiert werden, wo bis heute vorrangig Bildröhrenschirme zu finden sind.

Die Roadmap weist zusammenfassend folgende Eckpunkte und Meilensteine auf:

Abbildung 5.2: Roadmap Displays

Handlungsfeld	Roadmap	Gestaltungsziele
CRT		Verdopplung des Altglasanteils in der Konusglasschmelze
		10.000 Mischglas, 20.000 t Konusglas, 50.000 t Schirmglas
		Open-loop-Pfade gemäß modifizierter LAGA
LCD		Kennzeichnung Hg-haltiger Komponenten
		Verringerung von Hg auf 3mg/Leuchtröhre
		Anschub:F+E zum LCD-Recycling
		Kommunikation der Umweltvorteile
Neue Flachdisplay-technologien		Design for Environment im F+E-Prozess
Zeitraum	2003 2004 2005 2006 2007 2012	

Quelle: eigene Darstellung

Die Zielwerte zum CRT-Recycling geben den Planungsstand 2002 wieder.

5.2 Maßnahmen

5.2.1 Altglaseinsatz in der Schmelze um Faktor 8 erhöhen

Die Einsatzmenge an Altglas in der CRT-Glasproduktion wird bei der Firma Schott Glas bis 2005 stufenweise auf ca. 80.000 t erhöht. Dazu werden Testläufe mit verschiedenem Altglasinput gefahren und der Input spezifiziert. Über die verfahrenstechnische Optimierung hinaus muss die betriebsinterne Logistik angepasst werden. Die Ausweitung des Altschirmglasanteils in der Schirmglasschmelze auf 20 % scheidert bislang lediglich am verfügbaren Aufkommen geeigneter Scherben, die betriebliche Umstellung kann innerhalb eines Jahres erfolgen. Auch eine Umstellung vom jetzigen Input aus Mischglas und Konusglas auf sortenreines Konusglas lässt sich in kurzen Zeiträumen bewerkstelligen. Der Einsatz von End of Life Konusglas bei LG Philips in Aachen wird durch die verfügbare Qualität (chemische Zusammensetzung) auf max. 5-6 % begrenzt; LG Philips liefert überschüssiges Konus- und Schirmglas an Schott. Zunächst wird die Strategie verfolgt, das werkstoffliche Recycling bei der Firma

Schott auf 80.000 t auszuweiten (Stand 2002), zu einem späteren Zeitpunkt könnten ggf. auch andere Hersteller größere Mengen an CRT-Altglas einsetzen.

5.2.2 Open loop Pfade für CRT-Altglas optimieren

Für End of Life Konus- und Schirmglas, für das keine Kapazitäten für ein werkstoffliches Recycling zur Verfügung stehen, sind umweltverträgliche und ökonomisch darstellbare open loop Pfade zu identifizieren. Für die Recyclingprodukte dieser Verfahren sind entsprechende Kapazitäten aufzubauen und geeignete Vermarktungsstrategien zu entwickeln. Voraussetzung für ein Recycling von Schirmglas z.B. in der Baustoffindustrie sind Initialmengen in Höhe von 30.000-40.000 t.

Parallel zur Optimierung der Verwertungspfade erfolgen der Ausbau und die Optimierung des Zulieferernetzwerkes, die Automatisierung der Trenntechnik und die Qualifizierung der Recyclingbetriebe.

5.2.3 Ausbau und Optimierung des Zulieferernetzwerkes von CRT-Altglas

Von entscheidender Bedeutung für ein umfassendes werkstoffliches Recycling dürfte es sein, ein Netzwerk zu etablieren, das von firmenspezifischen und kooperativen Rücknahmesystemen über die Demontage- und Aufbereitungsbetriebe bis hin zu den Bildröhrenglasherstellern reicht und den Rücklauf von Fernsehern und Computermonitoren in das werkstoffliche Recycling kanalisiert.

Die Firma Schott wird von den Firmen GRIAG und RTG (je ca. 9.000 t/a Kapazität) und aus dem Ausland mit Altscherben beliefert. Mischglas und Konusglas müssen aufbereitet werden, Schirmglas nicht. Bei der Firma GRIAG werden 85-90 % der gesamten Bildröhre recycled (inkl. Metalle). Demontagebetriebe gibt es für die bisherigen Mengen genug, da sie durch die Deponierungsoption und den Export nicht ausgelastet sind.

Bei Ausweitung der CRT-Altglasmengenströme um einen Faktor 8 muss auch die Rückführungslogistik optimiert werden, um eine effiziente Rohstoffversorgung sicherzustellen. Dazu ist eine Erhöhung und Bündelung der Trennkapazitäten und Logistikzentren erforderlich. Stoffstrommodelle könnten diesen Schritt unterstützen. Die Rückführungslogistik muss für die einzelnen Akteure Demontagebetriebe, Aufbereiter, Glashersteller und Logistikunternehmen wirtschaftlich darstellbar sein.

5.2.4 CRT-Trenntechnik automatisieren – Recyclingbetriebe qualifizieren

Die Trennung von Schirm- und Konusglas in saubere Fraktionen ist eine der wesentlichen Voraussetzungen zur Erhöhung des Altglaseinsatzes in der Schmelze.

Die auf dem Markt etablierten thermischen und mechanischem Verfahren sind personalintensiv und damit auch teuer. Bei den thermischen Verfahren wirken sich zudem die lange Abkühlzeit und der große Energie- und Zeitaufwand negativ auf die Wirtschaftlichkeit aus. Probleme gibt es auch bezüglich der Trenngüte (z.B. am Schirmglas anhaftende Lotnaht). Brech- und optische Sortierverfahren gibt es zwar, sie operieren jedoch erst ab 7.000-12.000 t/a wirtschaftlich; die erzielbare Reinheit beträgt ca. 99 %.

Ziel der Roadmap ist die Senkung der Demontage- und Trennzeit von 5-12 Min auf 1-2 Min u.a. durch (Teil-)Automatisierung der Trenntechnik oder andere schnelle Verfahren mit nur geringem Personaleinsatz und begrenzten Investitionskosten. Bezüglich neuer Verfahren und der Optimierung bestehender Konzepte besteht Entwicklungsbedarf. Die Dimensionierung der Anlagen und ihre Wirtschaftlichkeit hängen entscheidend vom Mengenrückfluss ab.

In einigen Recyclingbetrieben herrscht das Paradigma der Abfallentsorgung vor und nicht das des Rohstofflieferanten. Die hohe Qualitätsanforderungen der Glashersteller erfordern jedoch eine Unternehmenskultur, die an der Herstellung eines qualitativ hochwertigen Rohstoffes ausgerichtet ist. Durch Veranstaltungen und Vorträge seitens der Glashersteller kann dieses Bewusstsein gefördert und durch Mitarbeiterschulung praktisch umgesetzt werden.

5.2.5 Rechtlich-politische Rahmenbedingungen für CRT-Recycling überprüfen

Flankierend zu den Aktivitäten der beteiligten Firmen hat der Gesetzgeber dafür Sorge zu tragen, dass die Rahmenbedingungen das ökologisch attraktive werkstoffliche Recycling fördern. Über die bereits in großem Umfang praktizierte Deponierung von CRT-Glas hinaus, führt die 2003 beschlossene Bergversatzverordnung und die LAGA-Richtlinie durch die Ermöglichung des Bergversatzes von Schirmglas bzw. Mischglas dazu, dass womöglich weitere bedeutende Altglasmengen dem werkstofflichen Recycling entzogen und minderwertig verwertet werden.

Tabelle 5-1: Vorschlag zur Priorisierung der Verwertungsoptionen für Bildröhrenaltglas nach LAGA-Richtlinie

Verwertungs- optionen	Technische Anforderungen	Kapazität in Deutschland	Vorläufige ökolo- gische Bewertung
Konusglasschmelze	Konusglas und Mischglas definierter Qualität	ca. 30.000 t (Planungsjahr 2002) ²⁹	Ersatz von hoch- wertigen Primär- ressourcen
Schirmglasschmelze	derzeit nur sortenreine Schirmglasabfälle eng definierter Zusammensetzung	ca. 50.000 t bis (Planungsjahr 2002) ³⁰	Ersatz von hoch- wertigen Primär- ressourcen
NE-Metallurgie	begrenzte Aufnahmekapazität von Konusglas in Bleihütten aus verfahrenstechnischen Gründen, belüftete Bildröhren als Ganzes in Sekundärkupferhütten	max. 1.000 t in Bleihütten Norddeutsche Affinerie: 2.500 t; max. 5.000 t	Schlackebildner mit teilweiser Rückgewinnung des Bleis
strahlenabsorbierende Produkte	Konus- oder Mischglas Untersuchung der technischen Möglichkeiten als Rohstoff für strahlenabsorbierende Textilgewebe	nicht bekannt	Ersatz von hoch- wertigen Primär- ressourcen
Bergversatz	gereinigtes Schirmglas	sehr groß	minderwertig
Mineralfaser- industrie	Einsatz von reinem Schirmglas in Erprobung	max. 6.000 t (ein Hersteller)	noch nicht zu beur- teilen
Baustoffindustrie/ Fassadenplatten	nur für reines Schirmglas prüfenswert	nicht bekannt	Barium- und An- timoneluierbarkeit als Grenze

Quelle: Mitteilungen der LAGA Nr. 31; EAG-Richtlinie vom November 2000; eigene Bewertungen

Um die Firmenaktivitäten zum werkstofflichen Recycling von CRT-Altglas zu unterstützen, ist die Modifizierung der LAGA-Richtlinie zu prüfen, in der neben einem Deponierungsverbot das werkstoffliche Recycling von Schirm- und Konusglas in der Schirm- und Konusglasschmelze mit höchster Priorität als Stand der Technik zu verfolgen ist. Die Möglichkeit des Bergversatzes sollte mit niedrigerer Priorität als die

²⁹ Die Angaben beziehen sich nur auf die Firma Schott Glas.

³⁰ Die Angaben beziehen sich nur auf die Firma Schott Glas.

Rückgewinnung des Bleis aus Altkonusglas und Strahlenschutzanwendungen sowie weiterer Open Loop Verfahren angesetzt werden, da sie durch die extrem günstigen Preise alle anderen Verwertungsbemühungen konterkariert. Die Verwertungsoptionen Bau- und Mineralfaserindustrie sind noch nicht fundiert beurteilbar. Eine derart modifizierte LAGA-Richtlinie ist dann rasch in den Länderverwaltungen zu adaptieren, damit eine bundeseinheitliche Vollzugspraxis realisiert werden kann. Andere mögliche Impulse zur Verbesserung der Vollzugspraxis könnten langfristig durch die Umsetzung der WEEE oder eine etwaige Deponiesteuern in Zukunft gesetzt werden, sie sind jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht zu beurteilen.

Exkurs: Ökologische Bewertung verschiedener Entsorgungswege von CRT-Altglas

Beurteilungsmaßstäbe für Verwertungsoptionen sind zum einen funktionale Kriterien (Technische Eignung, Kapazität, ökonomische Darstellbarkeit) und zum anderen ökologische Kriterien (Abfallmenge und Ressourcenverbrauch, Toxizität, kumulierter Primärenergieaufwand). Als erste Schlussfolgerungen deuten sich an:

- Mit hoher ökologischer Richtungssicherheit ist das closed-loop-Recycling unter den jetzigen Bedingungen ökologisch am vorteilhaftesten und der Bergversatz das niederwertigste Recycling. Für zahlreiche andere Verwertungswege fehlt es an validen Informationen.
- Für Konusglas ist außer dem closed-loop Recycling derzeit kein Verwertungsverfahren in Sicht, bei dem sichergestellt ist, dass das Blei nicht in die Umwelt eingetragen wird.
- Für das open-loop Recycling von Schirmglas müssten erhebliche Kapazitäten aufgebaut werden. Die Vermarktbarkeit der Recyclingprodukte ist sicherzustellen.
- Für Mischglas ist Bergversatz eine kostengünstige Option, sofern die Schichten von den Gläsern nicht entfernt werden müssen.
- Der Transport von End-of-Life CRT-Glas hat einen bedeutenden Einfluss auf die Netto-Primärenergiebilanz, was insbesondere auch beim Schiffs- und Überlandverkehr außerhalb Europas zu berücksichtigen ist.

Eine valide ökobilanzielle und ökonomische Bewertung der Optionen zählt zu den wichtigen Forschungsaufgaben. Ein erstes Screening der ökologischen Wertigkeit von Verwertungswegen liefert das Konzept der Environmental Performance (Stevens 2003), bei dem eine Gewichtung in Bezug auf das Closed-Loop-Recycling erfolgt.

- Closed-Loop-Recycling: 1
- Keramikindustrie: 0,3
- Bleihütte: 0,1
- Straßenbau: 0,01

Die Recyclingquoten der WEEE beziehen sich aus Praktikabilitätsgründen auf Gewichtsanteile und nicht auf die environmental performance. Aus abfallpolitischer Sicht könnte es in Zukunft durchaus sinnvoll sein, Recyclingquoten (Abfall zur Verwertung) zu senken, sofern die Deponierung (Abfall zur Beseitigung) ökologisch vorteilhafter zu bewerten ist.

5.2.6 Quecksilber in LCDs kennzeichnen und reduzieren

Aus ökologischer Sicht ist der Quecksilbergehalt in Leuchtsystemen von LCDs problematisch. Von den in der Fokusgruppe vertretenen Unternehmen wurden die Kennzeichnung und die Verringerung des Quecksilbergehaltes als kurzfristig machbare und für den Massenmarkt bedeutsame Strategien angesehen.

Die Kennzeichnung ist notwendig, um quecksilberhaltige Leuchtsysteme für Demontage- und Recyclingbetriebe erkennbar zu machen. Gemäß den Bestimmungen der LAGA sind quecksilberhaltige Lampen auszubauen und getrennt zu entsorgen. Quecksilberfreie LCDs sind nach LAGA vorrangig in Müllverbrennungsanlagen zu entsorgen. Zur Kennzeichnung von quecksilberhaltigen Bauteilen hat der europäische Verband ORGALIME eine Initiative zur Kennzeichnung gestartet, die die Identifizierung und Demontage erleichtern soll. Das ORGALIME-Projekt zur Kennzeichnung quecksilberhaltiger Bauteile ist abgeschlossen. Durch demontagegerechte Konstruktion und Kennzeichnung wird auch der Austausch einer defekten Hintergrundbeleuchtung erleichtert.

Bezüglich der Verringerung des Quecksilbergehaltes ist ein Wert von 3 mg Quecksilber pro Lampe anzustreben. Damit sind die über die von der EU-Direktive ROHS (Restriction of Hazardous Substances, RL 2002/95/EG) ab 1.7.2006 geforderten Werte³¹ noch zu unterschreiten. Maßnahmen dazu sind

- Präzisierung der Injektion von Quecksilber bei der Herstellung der Lampen,
- Verringerung von Hg-Verlusten durch Vermeidung undichter Stellen der Lampen,
- konstruktive Maßnahmen durch Formverbesserungen.

Der angepeilte Konzentrationswert von 3 mg Hg/Lampe ist auch vom EU-Umweltzeichen für LCD-Monitore vorgesehen. Einzelne Hersteller liegen bereits unter diesem Wert. So weisen die Lampen im LCD des ThinkPad Notebook von IBM zwischen 2 und 3 mg Quecksilber auf. Bestimmte LCD-Module von Sanyo enthalten 1,5 mg Hg pro Lampe.

Neben der gängigen CCFF-Technologie sind weitere Technologien in Entwicklung. 2004 wird die EFFL-Technologie am Markt eingeführt. Sie basiert aber ebenfalls auf Quecksilber als Lichtquelle. Quecksilberfreie Alternativen, die sich derzeit in Entwicklung befinden, sind die LED-Technologie und bestimmte Flachstrahler. Die OLED-Technologie kommt ebenfalls ohne Quecksilber aus. Hier ist aber die technologische Reife speziell im Bereich größerer Displays noch nicht so weit fortgeschritten, so dass offen ist, ab wann diese Technologie als Alternative für

³¹ < 5 mg für Einschichtleuchtstofflampen mit Dreibandleuchtstoff; < 8 mg für Long-Life-Lampen mit Dreibandleuchtstoff; < 10 mg für Halophosphat-Leuchtstofflampen

mittelformatige und größere LCDs zur Verfügung steht. Zu den in den nächsten ein bis zwei Jahren am Markt zu erwartenden quecksilberfreien Technologien gehören u.a. Planon, das von Siemens und Osram entwickelt wurde, und das Luxeon backlight LED flat panel display von Philips und Lumileds. Bei dem Flachstrahler Planon erfolgt die Lichterzeugung durch gepulste dielektrisch behinderte Entladung in die Xenon-Atmosphäre (Dirks/Müller 2003). Bei Lumiled und Philips basiert die Hintergrundbeleuchtung der Flachbildmonitore auf LEDs.

Tabelle 5-2: Quecksilberfreie LCD-Alternativen

Aspekte	Planon	LED-Backlight
Hersteller	Siemens/Osram	Philips/Lumiled
Funktionsprinzip	Leuchtstoffe wie Phosphor wandeln UV-Lichtimpuls in längerwelliges Licht um	LED-Basis
Eigenschaften	800 cd/m ² lange Lebensdauer, etwas geringerer Wirkungsgrad gegenüber Hg-haltige Lampe	100.000 Betriebsstunden, besserer Farbraum LED beleuchteter Panels als Cold Cathode Fluorescent Lamps
Einsatzbereiche	Industrieanwendungen, Desktop-Bildschirme	Desktop Publishing, Medizin, CAD/CAM-Bereich, hochauflösende Videoschnitte
Markt	Einführung 2004/2005	Einführung 2004/2005

Quellen: Philips 2003, Siemens 2001

Alternativen zu Quecksilber haben nach Einschätzung der Fokusgruppe heute noch gravierende Nachteile in Form von Qualitätseinbußen (verringerte Brillanz), geringeren Wirkungsgraden, größerem Volumen (Platzprobleme) und höherem Preis. Außerdem sind bisherige Alternativen auf bestimmte Einsatzbereiche beschränkt und können derzeit noch nicht in der Breite die Massenmärkte für LCD-Bildschirme adressieren. Geräte mit Planon und LED-Technik sind bisher vor allem im CAD/CAM-Bereich, Desktop-Publishing, der Medizin und für den hochauflösenden Videoschnitt geeignet. Langfristig sind quecksilberfreie Alternativen für den Massenmarkt zu entwickeln.

5.2.7 Proaktiv Recyclingoptionen für LCDs identifizieren

Ungeachtet der geringen Mengen- und Schadstoffrelevanz erfordern die Verwertungsquoten der WEEE auch für LCDs funktionierende Recyclingkonzepte in der EU. Werkstoffliches Recycling von LCD-Flüssigkristallmischungen, die (nach

Merck aus 10-20 Substanzen bestehen), ist wenig aussichtreich, da eine erforderliche Standardisierung von LCD weder praktisch möglich, noch aus Gründen der Produktqualität wünschenswert ist.

Eine Übersicht über mögliche Optionen gibt folgende Tabelle:

Tabelle 5-3: Recyclingoptionen für LCD

Verwertungs-optionen	Technische Anforderungen	Vorläufige ökologische Bewertung
LCD-Entgiftung	„altes,, VICOR-Verfahren– überholt, da ungiftige LCs	-
Glasrecycling/Folienrecycling	neues,, VICOR-Verfahren	?
Stoffliche Verwertung von LCDs als Zusatzstoff für Drehrohröfen	?0	Verminderung korrosiver Gase
SAG – Schaumglasverfahren	?	?
Einsatz in Zinkrückgewinnung im Waelz-Prozess (Japan)	silikatischer Eisenentferner im Zink-Rückgewinnungsprozess aus Elektrostahlwerken (> 10 t/a)	?
Verbrennung/Einschmelzung; Glasrecycling (Japan)	LCDs nicht bei alkalifreiem Glas; Keramik; Zur Einstellung des Si/Al/Ca-Verhältnisses in der Asche aus der Vergasung von Abfällen vor dem anschließenden Schmelzprozess	?
Ansatz HAS (Norwegen)	Baustoff/Glasschaum	?
Teilweise manuelle Zerlegung / Ausbau von Problemstoffen	Stand der Technik	Schadstoffentfrachtung
Ansätze des Flachglasrecyclings:	Zuschlagstoff in Zement, Zuschlagstoff in Farben und Lacken, "Glasphalt", Als Schleifmittel, Als Filtermedium	?

Quelle: eigene Zusammenstellung

Vielversprechend sind Optionen, die die Verwertung des hohen Glassubstrat-Anteils bezwecken. Dazu zählen (Kuriyama et al. 2000):

- silikatischer Eisenentferner im Zink-Rückgewinnungsprozess aus Elektrostahlwerken (> 10 t/a)
- Zur Einstellung des Si/Al/Ca-Verhältnisses in der Asche aus der Vergasung von Abfällen vor dem anschließenden Schmelzprozess (> 10 t/a)
- Als Natrium-Kalk-Glas für den Einsatz in Passiv-Matrix LCDs (FuE)
- Nicht alkalisches Glas aus Aktiv-Matrix LCDs für Keramik-Kacheln (FuE)

Der derzeit am aussichtsreichsten erscheinende Einsatz im Zink-Rückgewinnungsverfahren erfordert einen jährlichen Substratbedarf in Höhe von über

4000 t/a, um wirtschaftlich betrieben werden zu können. Dafür geeignete Rückflussmengen stehen erst mittelfristig zur Verfügung.

Verwertungsoptionen in der Glas- und Zementindustrie werden derzeit von den Herstellern geprüft. Ein Pilotversuch wird derzeit zur stofflichen Verwertung von LCD-Glas als Zuschlagstoff in Drehrohröfen durchgeführt. Die Verwertung bestünde darin, dass das Glas sich im Drehrohröfen innen absetzt und den Drehrohröfen vor Korrosion schützt. Darüber hinaus führen die Recyclingunternehmen verschiedene Versuche zu Recyclingoptionen durch bzw. planen diese.

Vicor plant ein Projekt, das die nasschemische Trennung der Beschichtungsfolien von den Glasplatten zum Ziel hat. Das dazu erforderliche Lösemittel soll im Kreislauf geführt werden. In Zusammenarbeit mit der Firma Schott Glas ist die Wiederverwertung des Produktionsausschusses angestrebt, aber auch für EoL-Panels bietet die Trennung der Glas- und Kunststofffraktion neue Verwertungsoptionen.

Die Firma MIREC verfolgt derzeit in Zusammenarbeit mit einer Tochterfirma in Norwegen (Trondheim) ein Projekt zur Weiterverwertung des LCD-Glases zur Herstellung von Glasschaum, der als Dämmwerkstoff im Hochbau genutzt wird. Die Anlage stellt bislang Glasschaum aus Lampenglas her und ist deshalb auch auf die Abscheidung von Quecksilber und anderen Metallen ausgelegt. Kunststoffe aus der Hintergrundbeleuchtung und der Eintrag von Leiterplatten (z.T. auf das Panel aufgebracht) sind jedoch neue Probleme. Ältere Gläser enthalten zudem Bariumoxid oder Arsen als Läuterungsmittel. Dem Eintrag nicht glashaltiger Komponenten sind angesichts der strengen Anforderungen an Materialeigenschaften und Höchstgehalte an Fremdstoffen Grenzen gesetzt. Erste Laborergebnisse liegen vor, sind aber noch nicht ausgewertet. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen können für beide Projekte noch nicht angegeben werden.

Aus der Fokusgruppe heraus hat sich eine Initiative konstituiert, die sich die Ermittlung von kosteneffizienten, hochwertigen Recyclingverfahren für LCDs unter Berücksichtigung rechtlicher und sonstiger Rahmenbedingungen zum Ziel hat. Hierzu wurde ein mehrstufiges Konzept ausgearbeitet und abgestimmt. In einer ersten Stufe ist eine literatur- und interviewbasierte Studie vorgesehen, die einen vertieften Überblick über verfügbare und diskutierte Recyclingoptionen gibt und diese screeningmäßig im Lichte der Bandbreite der WEEE-RL-Anforderungen bewertet und zu Vorschlägen für ein technisches Entwicklungsvorhaben führt. In einer zweiten Stufe sind aussichtsreiche technologische Optionen aufzugreifen und im Technikumsmaßstab wirtschaftlich tragfähige Lösungen zu entwickeln. Obgleich die Konkretisierung des Konzeptes weit fortgeschritten ist und eine gewisse Finanzierungsbereitschaft bestand, wird es derzeit nicht weiterverfolgt. Hintergrund ist, dass inzwischen unter Federführung des Ministry for Economics, Trade and Industry (METI) in Japan an einem vergleichbaren Projekt

gearbeitet wird. Da die beteiligten LCD-Hersteller japanische Unternehmen sind, besteht wenig Aussicht für eine europäische Initiative. Möglichkeiten zur Kooperation werden nicht gesehen. Es ist aber zu vermuten, dass mit der Zunahme an verwertbaren Alt-LCDs das Interesse der hiesigen Recyclingbetriebe wächst, unabhängig von den Herstellern initiativ zu werden.

5.2.8 Umweltentlastung durch LCD kommunizieren

Die Umweltvorteile von LCD-Monitoren im Vergleich zu CRT-Monitoren sind in der Öffentlichkeit wenig bekannt. Zu den wichtigsten Kaufargumenten von LCD-Monitoren zählen vor allem die Ergonomie und der geringere Platzbedarf. Auch die Hersteller haben die Umweltvorteile bisher nur rudimentär (und meist auf Nachfrage) in ihren Marketingstrategien kommuniziert.

Mit Blick auf ökologische Entlastungseffekte ist es aber durchaus zielführend auch die Umweltvorteile zu kommunizieren. So zeigt das Szenario in Kapitel 3.2.2 zur Diffusion von LCDs bis 2012, dass bei einer stärkeren Marktdurchdringung von LCD-Monitoren mit Umweltentlastungseffekten gerechnet werden kann. Diese Effekte sind so stark ausgeprägt, dass selbst bei dem angenommenen Marktwachstum nicht mit Rebound-Effekten zu rechnen ist. Weiterer Vorteil von LCDs ist die Reduzierung der elektromagnetischen Strahlung im Vergleich zu CRT-Bildschirmen. Für LCD-Monitore sprechen ferner die Senkung der Betriebskosten infolge des geringeren Stromverbrauchs. Indirekt führt der niedrigere Stromverbrauch zudem nicht selten dazu, dass die anfallenden Kosten für die Raumklimatisierung größerer Räume (z.B. Call Centern) verringert werden.

Im Rahmen der Fokusgruppe wurden Ansätze für eine unternehmensübergreifende Informationsinitiative zur Vermittlung der genannten Umweltvorteile verfolgt. Als Zielgruppen relevant sind beispielsweise das Öffentliche Beschaffungswesen und kleine und mittelständische Unternehmen, die bisher erst in kleinem Umfang Flachbildschirme nutzen. Erfolgversprechend wäre die Einbeziehung von Multiplikatoren wie Energieversorgungsunternehmen oder Energieberatungsstellen. Um die Akzeptanz durch den Verbraucher zu erhöhen, ist es auch wichtig, am Point of Sale also im direkten Kundenkontakt – die Vorteile von LCDs zu vermitteln. Hierzu wäre gezielt der Handel als Gate keeper zwischen Hersteller und Kunden anzusprechen. In Frage kommen zum Beispiel neben größeren Handelshäusern spezielle E-Commerce-Plattformen für Flachdisplays.

Allerdings ist derzeit seitens der Hersteller von LCD-Bildschirmen nicht mit einer offensiven Herausstellung der Umweltvorteile im Marketing zu rechnen. Der Grund liegt in der Marktsituation. Da die Hersteller LCD-Bildschirme als auch Bildröhrengeräte produzieren und der CRT-Anteil derzeit noch überwiegt, besteht das

Risiko den Absatz dieser Produktgruppe zu gefährden, ohne einen entsprechenden Ausgleich im LCD-Marktsegment. Deshalb wurde das Konzept an das Deutsche Flachdisplay Forum (DFF) herangetragen. Beabsichtigt ist im Rahmen der Internetpräsentation der DFF auf die Umweltvorteile der Beschaffung von Flachbildschirmen aufmerksam zu machen. Mittelfristig besteht die Aussicht, dass bei zunehmenden Marktanteil der LCD-Bildschirme das Interesse der Hersteller wächst, die Umweltvorteile zu kommunizieren. In Japan, wo einzelne Hersteller von Monitoren und TV-Geräten inzwischen bis zu 40% ihres Umsatzes mit LCD-Bildschirmen erzielen, gibt es bereits eine entsprechende unternehmensübergreifende Initiative.

5.2.9 Sensibilisierung von Akteuren im Bereich neuer Flachdisplaytechnologien

Allgemein ist die recyclinggerechte Konstruktion und Auswahl von Stoffen bisher kaum ein Thema bei der Entwicklung neuer Flachdisplaytechnologien. Im Zentrum stehen technische Machbarkeit und ökonomische Darstellbarkeit in der Produktion. Berücksichtigt werden in der Regel stoffliche Negativlisten besonders kritischer Stoffe. Für die Unternehmen wird es zunehmend wichtig sein, sich eingehend klarzumachen, was die verschiedenen Richtlinien und umweltpolitischen Diskussionen für sie selbst und ihre Produkte bedeuten.

Das Deutsche Flachdisplay Forum beabsichtigt in diesem Zusammenhang einen Workshop (in Kooperation mit dem IZT) auszurichten. Mit dem Workshop sollen Unternehmen aus dem Bereich Forschung und Entwicklung sowie Produktion neuer Flachdisplaytechnologien die Möglichkeit erhalten, sich über die neuesten umweltrechtlichen und umwelttechnologischen Entwicklungen zu informieren. Hervorzuheben ist die im Dezember 2002 vom Europäischen Rat verabschiedete WEEE. Sie formuliert als wesentliches Ziel die Rücknahme und das Recycling von elektronischen und elektrotechnischen Produkten. Für die WEEE gilt, dass die festgelegten Sammel-, Verwertungs- und Recyclingquoten bis 31.12.2006 zu erreichen sind. Die EU-Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung gefährlicher Stoffe (RoHS) mit dem wichtigen Punkt der Blei- und Quecksilberablösung wird ab 1. Juli 2006 wirksam. Sie wirkt sich unmittelbar auf die Konzeption von Neugeräten aus (Verbot bestimmter Stoffe, Veränderung der Bauweise, Substitution gefährlicher Stoffe etc.). Damit ist ihre Berücksichtigung von elementarer Bedeutung. Andere Regelungen sind in Vorbereitung wie beispielsweise die EU-Richtlinie "Establishing a framework for Ecodesign of End Use Equipment" (EuE-RLV).

Ziel ist aber nicht nur die Information, sondern auch die Sensibilisierung gegenüber der internationalen und nationalen politischen Debatte über eine nachhaltige Entwicklung. In diesem Kontext gehört auch die Weiterführung der technologischen Entwicklungen hin zu nachhaltigen Produktnutzungssystemen (z.B. umweltentlastende Anwendungen auf der Basis von OLED oder E-Paper-Technologien).

6 Fazit und Empfehlungen

6.1 Fazit

Die Arbeit der Fokusgruppe Displays kann anhand von zwei Perspektiven bewertet werden. Zum einen sind die Ergebnisse, zum anderen ist das Dialogmodell einer Einschätzung zu unterziehen.

6.1.1 Ergebnisse

Es liegt eine Roadmap vor, die Innovationspfade in Richtung nachhaltiger Displaytechnologien aufzeigt. In der Fokusgruppe ist es gelungen, sich auf überwiegend anspruchsvolle Ziele und Maßnahmen zu verständigen und diese nach außen hin zu kommunizieren. Die Ziele und Maßnahmen sind der Marktdynamik anzupassen. So finden Marktveränderungen im CRT-Bereich erheblich schneller statt als ursprünglich erwartet wurde. LG Philips Displays plant für 2004 die Schließung der Produktionsstätte am Standort in Aachen. Ebenso wenig vorhersehbar war die Einstellung der Trichterglas-Produktion von Schott Glas in Mainz zum 30.4.2004.

Vom Roadmapping-Prozess sind sowohl direkte stoffliche Effekte, als auch eher weiche Auswirkungen mit indirekten stofflichen Folgen zu erwarten. Zu den herausragenden direkten Umwelteffekten der in der Roadmap beschriebenen Ziele und Maßnahmen gehören:

- Reduzierung der Abfallmenge an CRT-Altglas um 70.000 t/a bis zum Jahr 2005 (Planungsjahr 2002)
- Senkung des Ressourcenverbrauchs in der Größenordnung mehrerer Hundert Tausend Tonnen.
- Durch die schnellere Diffusion von LCD-Monitoren können rund 0,5-1 TWh/a Elektrizität eingespart werden.
- Die erarbeitete Konsistenzstrategie für LCDs (Recycling-Initiative, Quecksilberreduzierung) liefert einen wichtigen Beitrag zur Schadstoffentfrachtung im Siedlungsabfall.

Für E-Paper als neue Technologie konnten zwar die Bedeutung und Gestaltungsoptionen für nachhaltige Entwicklung herausgearbeitet werden. Da die Entwicklung der Technologie noch nicht ausgereift ist, sind aber in der Roadmap weder Umweltziele noch Maßnahmen formuliert. Allgemein ist die recyclinggerechte Konstruktion und die Auswahl von umweltfreundlichen Stoffen kein Thema bei der Entwicklung. Berücksichtigt werden in der Regel stoffliche Negativlisten besonders kritischer Stoffe. Im Zentrum stehen technische Machbarkeit und ökonomische Darstellbarkeit in der Produktion.

Die spezifischen Effekte des Roadmapping-Prozesses zum Erreichen der Umwelteffekte sind schwer auszumachen. Durch den Dialogprozess und den erarbeiteten Orientierungsrahmen sind jedoch zweifelsohne Aktivitäten in Richtung nachhaltiger Entwicklung katalysiert und angestoßen worden.

So hat die Fokusgruppe eine Initiative zum proaktiven LCD-Recycling angestoßen. Dabei ist die Bereitschaft der Unternehmen zur Bereitstellung von Finanzmitteln und Infrastruktur für proaktive Maßnahmen deutlich geworden, die der Gesetzgeber so eng nicht fordert. Das jetzige Steckenbleiben der geplanten Initiative und parallele Erscheinen einer vergleichbaren Aktivität in Ostasien verdeutlicht aber auch die Grenzen nationaler Ansätze.

Zu den weichen, aber wichtigen Effekten zählt die Sensibilisierung von Akteuren für die Zusammenhänge von Displays und nachhaltiger Entwicklung. So konnte auf der einen Seite die Idee der nachhaltigen Entwicklung erfolgreich in das Deutsche Flachdisplayforum getragen werden, auf der anderen Seite sind die dramatischen Umbrüche bei Displaymärkten im Hinblick auf die WEEE umweltpolitisch neu interpretiert und in den Umsetzungsprozess eingespeist werden. Die Fokusgruppe Displays hat gezeigt, dass umweltpolitische Strategien vor dem Hintergrund umbrechender Märkte im Zusammenhang mit Standortfragen interpretiert und gestaltet werden müssen.

Einige neue Herausforderungen konnten zwar identifiziert, jedoch angesichts der Kapazitäten und thematischen Schwerpunktsetzung nicht weiter verfolgt werden. Hierzu gehören:

- Stromverbrauch von Plasma-Fernsehern
- Diffusion von LCD durch öffentliche Beschaffung und Powershopping
- Schadstofffreie Displaytechnik für eingebettete Displays

Die Ziele und Maßnahmen konnten für einen Zeitraum von etwa drei Jahren konkret und teilweise auch quantitativ gefasst werden. Jenseits des mittelfristigen Planungshorizontes von ca. 3-5 Jahren steigt die Unsicherheit rapide an, womit auch die Möglichkeit der Verständigung auf Ziele und Maßnahmen sinkt. Der Langfristperspektive wird in der Roadmap deshalb eher als Langfristoption Rechnung getragen. Aufgrund der mittel- und langfristigen Orientierung der Roadmap kann im Rahmen der Projektlaufzeit nicht eingeschätzt werden, inwieweit die öffentliche Kommunikation von Zielen und Maßnahmen Verbindlichkeitseffekte zeitigt.

6.1.2 Dialogmodell

Der Dialogprozess zwischen Unternehmen, Wissenschaft und Politik (vgl. Abbildung 4.1) hat drei Kernelemente: die Fokusgruppe selbst, das Verhältnis zu anderen Unternehmen und der Politik sowie die Rolle der wissenschaftlichen Begleitung.

Fokusgruppe

An der Fokusgruppe Displays haben sich über zwei Jahre lang Repräsentanten von namhaften Weltfirmen und einem mittelständischen Recyclingunternehmen aktiv beteiligt. Die erarbeiteten Ziele spiegeln auch die Unternehmensphilosophien wider. Als besonders anspruchsvoll ist das Ziel der Reduzierung der Abfallmenge an CRT-Altglas um 80.000 t/a bis zum Jahr 2005 anzusehen, eher moderat ist die Reduzierung der Quecksilbermenge in der Hintergrundbeleuchtung von LCDs auf das vom europäischen Umweltzeichen geforderte Maß.

Die thematische Einengung der Fokusgruppe stellt einen Kompromiss zwischen der Breite des Themas Nachhaltigkeit und Displays sowie dem Anspruch nach umsetzbaren Ergebnissen dar. Da der Schwerpunkt des Fokusthemas auf End-of-Life-Management liegt, haben an der Fokusgruppe vorwiegend Personen aus dem Umweltmanagement und Werksleiter teilgenommen. Dies soll nicht heißen, dass soziale oder ökonomische Ziele und Maßnahmen im Zusammenhang mit Displays von geringerer Bedeutung sind als ökologische Ziele und Maßnahmen. Die personelle Struktur der Fokusgruppe und der Zugang über eine Technologie auf der einen Seite und thematische Akzente auf der anderen Seite bedingen sich jedoch gegenseitig.

Eine weitere Beschränkung der Arbeit der Fokusgruppe liegt in Interessenkollisionen, die insbesondere an zwei Themen deutlich wurden:

- Trotz der überwiegenden Umweltvorteile von LCD- gegenüber CRT-Monitoren konnte aus der Fokusgruppe heraus keine Initiative zur Vermittlung der Umweltvorteile von LCD-Monitoren gestartet werden, da wichtige LCD-Hersteller gleichzeitig auch CRT-Monitore herstellen und derzeit eine direkte Konkurrenz vermieden wird. Deshalb ist das Thema in das Deutsche Flachdisplayforum getragen worden, in dem diese Interessenkollision so nicht auftritt.
- Als problematisch wurde auch eine Positionierung hinsichtlich des politischen Handlungsbedarfs zum CRT-Recycling eingestuft. Zwar ist die derzeitige Rechtslage zu bemängeln. Die unterschiedliche Betroffenheit der Hersteller (vor allem der nicht in der Fokusgruppe vertretenen Set-Hersteller) lässt aber eine offensive Forderung nach Schließung und Modifizierung rechtlicher Lücken aus Sicht der Fokusgruppe nicht zweckmäßig erscheinen.

Die Grenzen nationaler Ansätze für eine Roadmap sind sowohl beim CRT- als auch beim LCD-Recycling deutlich geworden. Die Fokusgruppe hat zwar eine LCD-Recycling-Initiative konzeptionell vorangetrieben und in die Unternehmen mit japanischen Mutterhäusern kommuniziert, die eigentliche Initiative ist jedoch in Japan/Ostasien im Entstehen. Auch die Produzenten von CRT-Glas klären derzeit intern ihre Langfriststrategien. In Anbetracht der Veränderungen der Weltmarktbedingungen, die sich im Laufe des Projektes noch stark beschleunigt haben, muss der Fokus bezüglich des CRT-Glases auf die schnelle Integration der asiatischen Produzenten in das Recycling-Netzwerk gelegt werden, da die europäischen Handlungsspielräume, das Problem zu lösen zunehmend kleiner werden. Mit Blick auf das Open Loop Recycling von CRT ist eine gemeinsame F+E-Initiative noch nicht in Reichweite. Es zeichnet sich hier ein Bedarf nach einer europäischen, wenn nicht gar globalen Vorgehensweise ab. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, die Roadmap für nachhaltige Informations- und Kommunikationstechnik perspektivisch auf internationaler Ebene anzusiedeln.

Dialog Fokusgruppe und andere Unternehmen / Politik

Im Dialog der Fokusgruppe mit externen Institutionen haben positive Prozesse stattgefunden, aber auch Barrieren sind offen zu Tage getreten. Wesentliche Bestimmungsfaktoren des Dialoges sind die Stellung der Unternehmen der Fokusgruppe in der Wertschöpfungskette und das Verhältnis zu öffentlichen Einrichtungen.

- In der Fokusgruppe Displays waren zwei der fünf CRT-Glasproduzenten in Europa vertreten. Durch die offensive Kommunikation von Unternehmenszielen, wie z.B. des geplanten Einsatzes von 80.000 t/a CRT-Altglas unter bestimmten Qualitäts- und Annahmebedingungen, wird zur Planungssicherheit von kleinen und mittelständischen Recyclingbetrieben beigetragen. Ein Akteursnetzwerk zum CRT-Recycling mit teilweise kohärenten und teilweise widerstreitenden Interessenlagen ist im Entstehen. Auf der anderen Seite ist das Recycling-Netzwerk angesichts der sich schneller als ursprünglich erwarteten Marktveränderungen in Frage gestellt.
- Die Arbeit in der Fokusgruppe Displays ist in ein günstiges Zeitfenster gefallen, da die Umsetzung der WEEE in nationales Recht begonnen hat. Die in der Fokusgruppe erarbeiteten Besten verfügbaren Techniken zum CRT-Recycling konnten in gebündelter Form dem Umweltbundesamt und der LAGA kommuniziert werden. Es bestand ein beidseitiges Interesse an einem intensivem Austausch. Aber auch eine Roadmap ohne anstehende Rechtsnovelle kann wichtige Themen und Problemlagen proaktiv identifizieren und gestalten, und zu einer wechselseitigen Verständigung beitragen (z.B. diskutierte Aktivitäten der öffentlichen Hand, neue Märkte und Technologien).

Die Kommunikation ist dort an ihre Grenzen gestoßen, wo institutioneninterne strategische Erwägungen eine gewichtige Rolle spielen. Dies betrifft sowohl das Verhältnis zwischen einzelnen Unternehmen (z.B. Wettbewerb, als erster auf dem Markt mit neuen Technologien wie E-Paper zu sein), als auch den Dialog zwischen Unternehmen und Politik (Externalisierung von Kosten, Aneignung von Informationen).

Rolle der wissenschaftlichen Begleitung

Die wissenschaftliche Begleitung hat vor allem zwei Aufgaben erfüllt:

- Das Thema Displays und nachhaltige Entwicklung ist inhaltlich aufbereitet und strukturiert worden. Dazu gehören die Analyse und Zusammenführung von Trends, die Ausarbeitung von Visionen, Szenarien und Strategien ebenso wie die konkrete Formulierung der eigentlichen Roadmap mit Zielen und Maßnahmen.
- Zum anderen wurden neben zahlreichen bilateralen Gesprächen insgesamt vier Fokusgruppentreffen organisiert, inhaltlich vorbereitet, moderiert und ausgewertet. Darüber hinaus wurden in der Fokusgruppe nicht weiter behandelbare Themen wie z.B. die Kommunikation von Umweltvorteilen von LCD-Monitoren in andere Gremien wie das DFF getragen.

Die Unternehmen der Fokusgruppe haben mit ihren Informationen und ihrer aktiven Teilnahme erheblich zur Erstellung der Roadmap beigetragen. Zum einen hat die wissenschaftliche Begleitung die erarbeiteten Inhalte auf eine unabhängigere Basis gestellt, aber auch gegenüber der Wissenschaft haben Unternehmen und Politik punktuell ihre eigenen Informationsstrategien verfolgt (siehe oben).

6.2 Empfehlungen

Die Einschätzung des Roadmappingprozesses der Fokusgruppe Displays legt zum einen nahe, angeschobene Aktivitäten fortzuführen und weiße Flecken zu bearbeiten, zum anderen gibt es weiteren konkreten Handlungsbedarf für Unternehmen und Politik. Nach derzeitigem Stand erfordern die Umbrüche der Displaymärkte folgende Neuorientierung von Umweltschutzstrategien:

- CRT (TV und Desktop-Monitor): Demontage und Aufbereitung von CRT-Glas kurz- bis mittelfristig; Optimierung des Closed-Loop-Recyclings kurz- bis mittelfristig vor allem außerhalb Europas; Aufbau von Open-Loop-Recycling Kapazitäten mittel- bis langfristig.

- LCD (Desktop-Monitor, Notebook, eingebettete Displays): Demontage und separate Behandlung quecksilberhaltiger großer Bauteile kurzfristig; Verringerung des Quecksilbergehaltes kurz- bis mittelfristig, langfristig vollständig quecksilberfrei; Aufbau von Open-Loop-Recycling Kapazitäten mittel- bis langfristig.
- Neue Technologien (E-Paper, eingebettete Displays): Sensibilisierung für Design for Environment kurz- bis mittelfristig, Aufbau von Recycling-Kapazitäten mittel- bis langfristig.

6.2.1 Unternehmen und Unternehmensverbände

Aufgaben für die Unternehmen der Displaybranche sind insbesondere in der aktiven Beteiligung an Dialogprozessen und der proaktiven Wahrnehmung der Produktverantwortung zu sehen:

- a) Beteiligung an Dialogprozessen
 - Einspeisung des Sachverstandes, insbesondere zu Markt- und Technologieentwicklungen, in den politischen Prozess.
 - Mithilfe bei der Erarbeitung von Best Available Techniques Dokumenten zum Recycling von Displays
 - Dem Branchenverband BITKOM kommt eine wichtige Multiplikatorfunktion in Bezug auf kleine und mittlere Unternehmen zu. Speziell für Displays sind die Kommunikation der Roadmap, aber auch der Unsicherheiten der zukünftigen Marktentwicklung vordringlich.
- b) Proaktive Wahrnehmung der Produktverantwortung
 - Entwicklung eines proaktiven Recyclingkonzeptes für LCD (Demontage, Recyclingverfahren, etc.)
 - Erarbeitung von Langfriststrategien für das End-of-Life-Management von CRT-Altglas
 - Frühzeitige Berücksichtigung von Umweltgesichtspunkten bei der Entwicklung neuer Displaytechnologien
 - Entwicklung von nachhaltigen Produktnutzungssystemen basierend auf E-Paper und anderen Displaytechnologien (Interface-Design, Geschäftsmodelle, Content)

Angesichts der sich schnell wandelnden Unternehmensstrukturen und -strategien stoßen diese Empfehlungen jedoch auch auf praktische Grenzen, weshalb der Gestaltung der politischen Rahmenbedingungen eine zentrale Rolle beizumessen ist.

6.2.2 Umweltpolitik

Im Laufe des Projektes ist auf mögliche Lenkungswirkungen von WEEE, VersatzV und LAGA-Richtlinie auf das CRT-Recycling sowie Beste verfügbare Techniken hingewiesen worden. Die Lenkungseffekte des Instrumentenbündels sind jedoch sehr unsicher.

Die Umsetzung der WEEE in nationales Recht ist noch nicht abgeschlossen. Bei der derzeitigen Konzeption der Umsetzung obliegt die Auswahl des Recyclers dem Produktverantwortlichen, sprich dem TV-Geräte oder Monitor-Hersteller/Vertreiber. Eine noch näher zu quantifizierende Trennungsanforderung für Schirm- und Konusglas in der Elektroaltgeräteverordnung wird derzeit diskutiert, was separate Entsorgungswege tendenziell begünstigen würde.

In der Fokusgruppe Displays ist deutlich geworden, dass Produktionsverlagerungen einen Abschied von der Closed Loop Strategie erfordern können. Angesichts der rasanten weltweiten Diffusion von IKT mit Displays wie LCD kommt proaktiven Konzepten und europäischen/globalen Akteurskooperationen hohe Bedeutung zu.

Eine valide ökologisch-ökonomische Bewertung verschiedener End-of-Life Optionen für CRT-Glas steht noch aus. Die grundlegenden strategischen Orientierungen müssen deshalb weiter inhaltlich untersetzt werden, wozu insbesondere die Forschungspolitik wichtige Beiträge liefern kann.

6.2.3 Forschungs- und Entwicklungsförderung

Der in diesem Projekt geschaffene Orientierungsrahmen für nachhaltige Displaytechnologien setzt bestimmte Schwerpunkte. Angesichts der Eigenschaft von Displays als Schlüsselkomponente der Informationsgesellschaft ist der Orientierungsrahmen thematisch auszuweiten und inhaltlich fortzuentwickeln:

- a) Thematische Ausweitung
 - Sozio-ökonomische Analyse der Potenziale von neuen Displaytechnologien
 - Innovative Technikfolgenabschätzung und –bewertung zu Displays im Konzept des Pervasive Computing
 - Veränderung der Informations- und Kommunikationskultur durch neue Displaytechnologien
 - Entwicklung von nachhaltigeren Displaytechnologien und Diffusionsstrategien

b) Inhaltliche Fortentwicklung

- Ökologisch-ökonomische Bewertung von End-of-Life Optionen für CRT-Glas
- Optimierung des ökologischen Entlastungseffektes von End-of-Life Optionen pro Geldeinheit
- Entwicklung massenstromtauglicher schadstofffreier Displaytechnologien
- Kostenoptimierung der Trenntechnik für CRT, insbesondere durch (Teil-) Automatisierung

Eng mit der Forschungspolitik verknüpft ist auch die Frage nach dem Produktionsstandort für neue Flachdisplaytechnologien.

6.2.4 Industrie- und Strukturpolitik

Die aufkommenden neuen Flachdisplay-Technologien bieten erhebliche ökonomische Potenziale für Display-Hersteller, Zulieferer und Abnehmer von Displays neue Märkte zu erschließen. Dies gilt insbesondere für deutsche Firmen, die bisher keine nennenswerte Marktstellung im Bereich der Flachdisplay-(LCD)-Produktion haben. In einer Situation expandierender Displaymärkte bieten neue Flachdisplaytechnologien, eine Chance für einen Einstieg in die Flachdisplay-Produktion ohne mit fernöstlichen Massenherstellern, die den Flachdisplay-Markt mit 96% Weltmarktanteil nahezu vollständig dominieren, in einen Verdrängungswettbewerb treten zu müssen. Was in Europa und speziell in Deutschland fehlt ist die Bündelung zersplitterter Bemühungen von Forschungseinrichtungen und Unternehmen, damit die europäische Zulieferindustrie nicht den Anschluss an die rasante wirtschaftliche und technologische Entwicklung verpasst. Zu empfehlen ist die Gründung von Flachdisplay-Kompetenzzentren analog der erfolgreichen BioRegio-Initiative im Bereich der Biotechnologie in Deutschland. Besonders kleine und mittelständische Unternehmen könnten davon profitieren. Erste Ansätze initiierte das Deutsche-Flachdisplay-Forum (DFF) im Investitionsgüterverband VDMA. Zur Verbesserung der Konkurrenzsituation bedarf es aber nicht nur der Bündelung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, sondern dem Aufbau von Produktionskapazitäten für neue Flachdisplaytechnologien.

7 Literaturverzeichnis

- ROHS 2003: Amtsblatt der Europäischen Union 2003: Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (ROHS)
- WEEE 2003: Amtsblatt der Europäischen Union 2003: Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE)
- Behrendt et.al. 1998: Behrendt, S.; Kreibich, R.; Lundie, S.; Pfitzner, R.; Scharp, M.: Ökobilanzierung komplexer Elektronikprodukte, Heidelberg 1998
- BMU 2003: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Eckpunkte künftiger Rechtsvorschriften zu Elektro- und Elektronik-Altgeräten in Deutschland, Berlin April 2003-12-08
- DFE 2002: Winkler, J.: Trends bei den Displaytechnologien, 3. Arbeitstreffen der Fokusgruppe Displays, Sharp Electronics (Europe) Hamburg, 3.12.2002
- DFE 2003: Deutsches Flachdisplay-Forum, Frankfurt/M, 2003
- Dirks/Müller 2003: Dirks, H.; Müller, S.: Etappenziel erreicht auf dem Weg zur schadstofffreien Leuchtstofflampe, in: Photonik 4/2003, S. 2-4
- DisplaySearch 2001: Marktanalysen verfügbar unter: <http://www.schott.com> (Stand: 15.11.2003)
- GfU 2001: Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik mbH und GfK Marketing Services GmbH: Der deutsche Markt für Consumer-Electronics 2000, Frankfurt/M. 2001
- Hehenberger 2000: Hehenberger, D.: Verwertung von LC-Displays, in: recycle it Newsletter 1/2000
- iSuppli/Stanford Resources 2002: Strategic Display Outlook 12 / 2002
- Keller 2002: Keller, A.: E-Books: Warme Luft oder heißer Wind?, in: medizin-bibliothek-information, Vol. 2, Nr. 1, 1/2002
- EuE 2003: Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2003: Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates, Brüssel, 1.8.2003
- Kuriyama et al. 2000 in: „Electronics Goes Green 2000+“

- LAGA 2000: Länderarbeitsgemeinschaft Abfall: LAGA-Richtlinie - Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten, 2000
- Locher 2001: Locher, M.: Visionen werden Wirklichkeit, in: Sysdata, 9/2001, S. 31-33
- Merck 2003: Toxicological and Ecotoxicological Investigations of Liquid Crystals, verfügbar unter: <http://www.merck.de/english/index.htm> (Stand: 10.6.2003)
- Motley 2000: Motley Fool Research, Branchenanalyse Mobiles Internet, 25.10. 2000
- Münchener Kreis 2001: Auf dem Weg zur Medienkonvergenz, Kongress - Pressemitteilung, München, 20.9.2001
- Ohne Autor (2003): Die Zukunft der Displaytechnik, in: http://www.deutsche-Leasing.de/zukunft_display/body_ANALYSE_flash.html (Stand: 15.10.2002)
- Philips 2003: Philips Presseinformation: Zusammenarbeit von Philips und Lumileds bringt Flat Panel Monitor mit LED Backlight, 6.3.2003, verfügbar unter: <http://medienservice.philips.de/ap...8B9C1256CE400594A67?opendocument> (Stand: 6.3.2003)
- Philips 2003: Pressedienst Nr. 3/2003, verfügbar unter: www.philips.de/medienservice
- Scharf 1999: Scharf, R.: Leuchtende Polymere - Displays mit Zukunft, in: Physikalische Blätter 55/1999, Nr. 6, S. 37-39
- Schott 2002: 2nd Schott Symposium Recycling of CRT Glass, 19th and 20th September 2002 in Mainz
- SID 2003: Society for Information Display 2003
- Siemens 2001: www.siemens.com/index.jsp (Stand: 15.10.2003)
- Sharp 2002: Produktinformation: AQUOS LCD-TV , Stand 4/2002
- Stevens 2002: Stevens, A.; Huisman, J.: How to comply with the European Directive on Waste of Electric and Electronic Equipment (WEEE), Environmental Competence Centre Philips Consumer Electronics; Applied EcoDesign, Design for Sustainability LAB Delft University of Technology, 2002
- Theis 2000: Theis, D.: Displays - Schlüsselkomponenten der Informationsgesellschaft, in: Physikalische Blätter 56/2000, Nr. 9, S. 59-63
- UBA 2000: Pressemitteilung Nr. 36/2000
- UBA 2001: Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt - Der Zustand der Umwelt in Deutschland 2000, Berlin 2001

University of Tennessee 2001: University of Tennessee / US-Environmental Protection Agency: Desktop Computer Displays - A Life Cycle Assessment, 12/2003, verfügbar unter: www.epa.gov/oppt/dfe/pubs/comp-dic/lca-sum/ (Stand: 1.12.2003)

Zinnbauer 2002: Zinnbauer, M.; Thiem, A.: E-paper - Kundenanforderungen an das Zeitungsmedium von morgen, Schriftenreihe zur Empirischen Forschung und Quantitativen Unternehmensplanung der Ludwig-Maximilians-Universität München, Heft 13/2002, München 2002

8 Anhang

8.1 Fokusgruppe Displays

Unternehmen

Herr Fidalgo, LG Philips Displays, Aachen

Herr Dr. Becker, Merck, Darmstadt

Herr Dr. Martin, Merck, Darmstadt

Herr Schneider, Sony Environmental Center Europe, Stuttgart

Herr Dr. Döring, Schott Glas, Mainz

Herr Oberle, Schott Glas, Mainz

Herr Quade, Schott Glas, Mainz

Herr Stiegler, Sharp Electronics Europe, Hamburg

Herr Dr. Oertel, Griag, Werder

Erweiterter Kreis

Herr Dr. Winkler, Deutsches Flachdisplay Forum, Frankfurt/M.

Frau Schnepel, Umweltbundesamt, Berlin

Herr Dr. Tobias, BITKOM, Berlin

Herr Glatzel, VICOR, Berlin

Herr Dr. Grieger, MIREC, Wilhelmshafen

Herr Potthoff, Sharp Electronics Europe, Hamburg

Herr Dr. Scheidt, Sony Environmental Center Europe, Stuttgart

Herr Dr. Ottermann, Schott Glas, Mainz

Moderation und wissenschaftliche Begleitung

Herr S. Behrendt, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin

Herr L. Erdmann, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin

8.2 Workshops der Fokusgruppe Displays

16. 4.2002, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin

18. 9.2002, Schott Glas, Mainz

3. 12. 2002, Sharp Electronics Europe, Hamburg

3. 6. 2003, Sony Environmental Center Europe, Stuttgart