

PROSA Computerbildschirme

Entwicklung der Vergabekriterien für ein
klimaschutzbezogenes Umweltzeichen

Studie im Rahmen des Projekts
„Top 100 – Umweltzeichen für klima-
relevante Produkte“

Freiburg, Dezember 2011

Autor/innen:

Siddharth Prakash

Eva Brommer

Jens Gröger

Öko-Institut e.V.

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg, Deutschland

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg, Deutschland
Tel. +49 (0) 761 – 4 52 95-0
Fax +49 (0) 761 – 4 52 95-88

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt, Deutschland
Tel. +49 (0) 6151 – 81 91-0
Fax +49 (0) 6151 – 81 91-33

Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin, Deutschland
Tel. +49 (0) 30 – 40 50 85-0
Fax +49 (0) 30 – 40 50 85-388

Gefördert durch:



**Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit**



**DIE BMU
KLIMASCHUTZ-
INITIATIVE**

Zur Entlastung der Umwelt ist dieses Dokument für den
beidseitigen Druck ausgelegt.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Methodisches Vorgehen	1
1 Definition	2
1.1 Flüssigkristallbildschirm (LCD)	3
1.2 Plasmabildschirm	5
1.3 Röhrenbildschirm	7
2 Markt- und Umfeldanalyse	8
2.1 Marktsättigung und Verkaufszahlen	8
2.2 Bestand in deutschen Haushalten	11
2.3 Preise	12
2.4 Hersteller	12
3 Technologietrends	13
3.1 Bildschirmtechnologie	13
3.2 Hintergrundbeleuchtung	14
3.3 Auflösung	15
3.4 Bildschirme mit Fernsehempfänger	15
3.5 Digitale Schnittstellen	16
4 Umweltaspekte	16
4.1 Energieeffizienz	16
4.1.1 Stromverbrauch	16
4.1.2 Internationale Umweltzeichen	18
4.1.3 Europäische Gesetzesinitiativen	23
4.1.4 Verbraucherkampagne EcoTopTen	23
4.2 Bedeutung von Schadstoffen	27
4.3 Recycling	31
5 Ökobilanz und Lebenszykluskostenrechnung	37
5.1 Lebenszyklusanalyse	37
5.1.1 Funktionelle Einheit	37
5.1.2 Systemgrenzen	37
5.1.3 Betrachtete Wirkungskategorien	39
5.2 Analyse der Lebenszykluskosten	42
5.2.1 Investitionskosten	42
5.2.2 Stromkosten	42

5.2.3	Reparaturkosten	43
5.2.4	Entsorgungskosten	44
5.2.5	Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse	44
5.3	Konsumtrends	44
5.4	Nutzenanalyse	44
5.4.1	Gebrauchsnutzen	45
5.4.2	Symbolischer Nutzen	46
5.4.3	Gesellschaftlicher Nutzen	46
5.4.4	Zusammenfassung der Nutzenanalyse	47
6	Gesamtbewertung und Ableitung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen	47
6.1	Geltungsbereich	47
6.2	Energieverbrauch	48
6.3	Weitere Anforderungen an Computerbildschirme	50
7	Literatur	51
8	Anhang	54
8.1	Anhang I: Wirkungskategorien der Life Cycle Analysis	54
8.1.1	Kumulierter Primärenergiebedarf	54
8.1.2	Treibhauspotential	54
8.1.3	Versauerungspotential	54
8.1.4	Eutrophierungspotential	54
8.1.5	Photochemische Oxidantienbildung	55
8.2	Anhang II: Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel	55

Einleitung

Die vorliegende Untersuchung zu Arbeitsplatzcomputern ist Teil eines mehrjährigen Forschungsvorhabens, bei der die aus Klimasicht wichtigsten hundert Haushaltsprodukte im Hinblick auf ökologische Optimierungen und Kosteneinsparungen bei Verbrauchern analysiert werden.

Auf Basis dieser Analysen können Empfehlungen für verschiedene Umsetzungsbereiche erteilt werden:

- für Verbraucherinformationen zum Kauf und Gebrauch klimarelevanter Produkte (einsetzbar bei der Verbraucher- und Umweltberatung von Verbraucherzentralen, Umweltorganisationen und Umweltportalen wie www.utopia.de etc.),
- für die freiwillige Umweltkennzeichnung von Produkten (z.B. das Umweltzeichen Blauer Engel, für das europäische Umweltzeichen, für Marktübersichten wie www.topten.info und www.ecotopten.de oder für Umwelt-Rankings wie etwa die Auto-Umweltliste des VCD),
- für Anforderungen an neue Produktgruppen bei der Ökodesign-Richtlinie und für Best-Produkte bei Förderprogrammen für Produkte,
- für produktbezogene Innovationen bei den Unternehmen.

Die vorliegende Studie bildet die Basis für die Diskussion auf der Expertenanhörung zu Computerbildschirmen am 27.09.2011 beim Umweltbundesamt in Berlin sowie für die Formulierung der Vergabekriterien für das Umweltzeichen Blauer Engel.

Methodisches Vorgehen

Für die Ableitung von Vergabekriterien für das Umweltzeichen wird gemäß ISO 14024 geprüft, welche Umweltauswirkungen bei der Herstellung, Anwendung und Entsorgung des Produktes relevant sind – neben Energie-/Treibhauseffekt kommen Umweltauswirkungen wie Ressourcenverbrauch, Eutrophierungs-Potenzial, Lärm, Toxizität, etc. in Betracht.

Methodisch wird die Analyse mit der Methode PROSA – Product Sustainability Assessment durchgeführt (Abbildung 1). PROSA umfasst mit der Markt- und Umfeld-Analyse, der Ökobilanz, der Lebenszykluskostenrechnung und der Benefit-Analyse die zur Ableitung der Vergabekriterien erforderlichen Teil-Methoden und ermöglicht eine integrative Bearbeitung und Bewertung.

Eine Sozialbilanz wird nicht durchgeführt, weil soziale Aspekte, z.B. bei der Herstellung der Produkte beim Umweltzeichen, bisher nicht oder nicht gleichrangig einbezogen werden.



Abbildung 1 Die Grundstruktur von PROSA

1 Definition

Die aktuelle Version des Energy Stars für Displays (Energy Star Program Requirements for Displays specification 5.0) definiert Computermonitore wie folgt:

„Elektronisches Display (auch ‚Display‘ genannt): ein handelsübliches Produkt, dessen Anzeigeschirm und zugehörige Elektronik häufig in einem Gehäuse untergebracht sind und dessen Hauptfunktion in der Anzeige visueller Informationen besteht, die i) von einem Computer, einem Arbeitsplatzrechner oder einem Server über eine oder mehrere Eingabeschnittstellen wie VGA, DVI, HDMI oder IEEE 1394 oder ii) von einem USB-Speicher-Stick, einer Speicherkarte oder einer drahtlosen Internetverbindung ausgegeben werden. Zu den Display-Technologien gehören die Flüssigkristallanzeige (LCD), die Leuchtdiode (LED), die Kathodenstrahlröhre (CRT) und der Plasmabildschirm (PDP).“

Zur Bildwiedergabe gibt es unterschiedliche Bildschirmtechnologien. Zurzeit am Markt am weitesten verbreitet sind die zwei Technologien:

- LCD („Liquid Crystal Display“) oder auch Flüssigkristallbildschirm,
- PDP („Plasma Display Panel“) oder auch Plasmabildschirm

Die Bildschirmtechnologie CRT („Cathode Ray Tube“) oder auch Röhrenbildschirm spielt heutzutage nahezu keine Rolle mehr. Moderne Flachbildschirme basieren auf der TFT-/LCD-Technologie. LCD steht dabei für die Verwendung von Flüssigkristallen in den einzelnen Bildpunkten des Bildschirms und TFT für kleinste Transistor-Elemente, welche die Ausrichtung der Flüssigkristalle und damit deren Lichtdurchlässigkeit steuern. Die Röhren-

Technologie ist historisch gesehen die älteste und wird gerade von den Flachbildschirmen vom Markt gedrängt.

Bei der Definition der Computerbildschirme für deren Betrachtung für ein Umweltzeichen ist es erforderlich, diese von den Fernsehgeräten klar abzugrenzen. Immer mehr Computerbildschirme werden mit einem Tuner/Empfangsteil ausgestattet, sodass diese sowohl als Computerbildschirm als auch als Fernsehgerät genutzt werden können. Umgekehrt kommen auch zunehmend Fernsehgeräte auf den Markt, die auch als Computerbildschirm genutzt werden können. Da aber der Stromverbrauch von Fernsehgeräten deutlich höher ist als der der Computerbildschirme, sollen diese getrennt betrachtet werden. ENERGY STAR hat aus diesem Grund folgenden Abschnitt in die Definition der Computerbildschirme eingefügt:

Computerbildschirme mit eingebautem Tuner/Empfangsteil kommen nach dieser Spezifikation für die Energy-Star-Kennzeichnung nur dann in Betracht, wenn sie als Computerbildschirm (d.h. mit der Hauptfunktion als Computerbildschirm) oder als Doppelfunktionsgerät (Computerbildschirm und Fernseher) beworben und an Endkunden vertrieben werden. Diese Spezifikation gilt nicht für Produkte mit Tuner/Empfangsteil, die zwar an einen Computer angeschlossen werden können, die aber als Fernsehgeräte beworben und vertrieben werden.

Im Folgenden werden die oben genannten Technologien kurz erläutert:

1.1 Flüssigkristallbildschirm (LCD)

Ein LCD-Bildschirm besteht aus zwei Glasscheiben, zwischen denen eine Flüssigkristallschicht eingelagert ist (Abbildung 2). Auf den Innenseiten beider Glasscheiben befinden sich Elektroden; auf der Innenseite der Frontscheibe sind zusätzlich rote, grüne und blaue Folien aufgebracht. Auf den Außenseiten der Glasscheiben befinden sich Polarisationsfilter, die nur Licht einer bestimmten Polarisationssebene passieren lassen (Zangl et al. 2009).

Die Flüssigkristalle können einzeln elektronisch angesteuert werden. Durch die Elektroden werden sie unter Spannung gesetzt und ändern dadurch ihre Ausrichtung, so dass sie Licht durchlassen oder sperren, ähnlich einer Blende beim Fotoapparat. Die Bildpunkte (Pixel) eines LCD-Bildschirms leuchten also nicht selbst, sondern werden durch eine separate Lampe von hinten beleuchtet. Auf dem Weg zum Betrachter erhält das durchgelassene Licht durch die entsprechenden Farbfolien seine Farbe (Zangl et al. 2009).

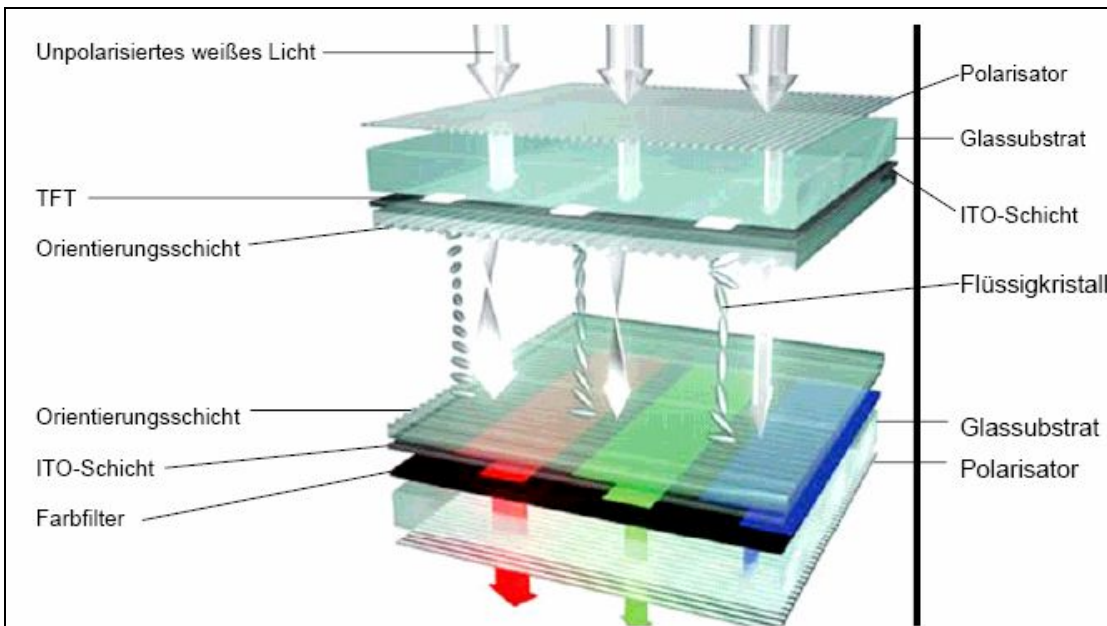


Abbildung 2 Schematischer Aufbau eines Flüssigkristallbildschirms (Merck 2008; Fraunhofer ISI und IZM 2009)

LCD-Bildschirme kommen mit zwei Arten von der Hintergrundbeleuchtung vor:

(1) Kaltkathodenröhren¹ (CCFL; *Cold Cathode Fluorescent Lamp*); (2) Leuchtdiode (LED)².

LCD-Bildschirme liefern scharfe, flimmerfreie und verzerrungsfreie Bilder. Die entscheidenden technischen Daten eines LCD-Bildschirms sind das Kontrastverhältnis und die erzielbaren Helligkeitswerte. Sie bestimmen, wie viel man noch bei hellem Umgebungslicht erkennt (Verbraucherinfothek 2006).

Außerdem haben LCD-Bildschirme einen geringeren Stromverbrauch als Röhrenbildschirme mit vergleichbarer Bildschirmgröße. Entsprechend geben sie auch weniger Wärme ab und tragen damit zu einem angenehmeren Arbeitsklima bei (www.ecotopten.de).

Unabhängig vom Bildinhalt werden LCD-Bildschirme über die gesamte Anzeigenfläche konstant beleuchtet. Trotz dieser prinzipiellen Schwäche ist die Lichtausbeute bei LCD mit

¹ Bei CCFL-Hintergrundbeleuchtung handelt es sich um dünne weiß leuchtende Leuchtstoffröhren, die flächenmäßig aufgebaut sind und die LCD-Bildschirme von hinten beleuchten. CCFL gibt es auch als punktuelle Lichtquellen, deren Licht für die Hintergrundbeleuchtung über Diffuser gleichmäßig verteilt wird. Das Farbspektrum der CCFL-Lichtquellen harmonisiert nicht hinreichend mit den Farbfiltern des LCD-Displays und schränkt daher den Farbraum von LCD-Displays ein (<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Kaltkathodenroehre-CCFL-cold-cathode-fluorescent-lamp.html>).

² Eine Leuchtdiode ist ein elektronisches Halbleiter-Bauelement. Fließt durch die Diode Strom in Durchlassrichtung, so strahlt sie Licht, Infrarotstrahlung (als Infrarotleuchtdiode) oder auch Ultraviolettstrahlung mit einer vom Halbleitermaterial und der Dotierung abhängigen Wellenlänge ab. LED-Hintergrundbeleuchtung ist eine Variante der Durch- bzw. Beleuchtung von LCD Bildschirmen zur Kontrasterhöhung. Eingesetzt werden weiße oder farbige, zu weiß mischbare Leuchtdioden (LED), die hinter den Flüssigkristallelementen angeordnet sind (Wikipedia).

typisch 2 bis 4 lm/W noch immer etwa doppelt so hoch wie bei Plasmabildschirmen mit Filterscheibe (normaler Auslieferungszustand) (www.wikipedia.org).

Was Strahlung anbelangt, entstehen zwar auch bei Flachbildschirmen elektromagnetische Felder, jedoch keine elektrostatischen Felder oder Röntgenstrahlung, wie dies bei Röhrenbildschirmen der Fall ist. Aufgrund ihrer zugrunde liegenden Technologie sind Flachbildschirme daher strahlungsärmer als Röhrenbildschirme (www.ecopten.de).

Demgegenüber wiegen die Nachteile, dass Flachbildschirme insgesamt eine schlechtere Farbwiedergabe als Röhrenmonitore besitzen und sowohl Farbe als auch Helligkeit abhängig vom Blickwinkel sind, eher gering (www.ecopten.de).

1.2 Plasmabildschirm

Auch ein Plasmabildschirm besteht aus zwei Glasscheiben (siehe Abbildung 3).

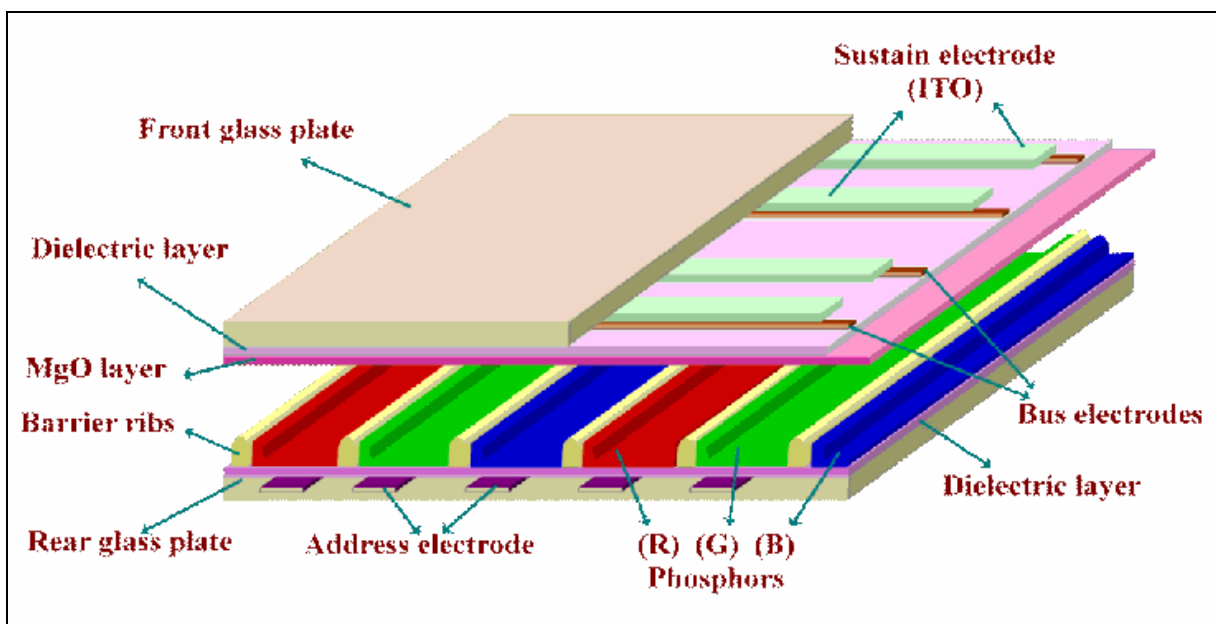


Abbildung 3 Schematischer Aufbau eines Plasmabildschirms (1) (Ram 2008; Fraunhofer ISI und IZM 2009)

Die zwischen ihnen liegenden Pixelzellen sind jedoch nicht wie beim LCD-Bildschirm mit einer Flüssigkristallschicht gefüllt, sondern funktionieren wie eine Art Mini-Leuchtstoffröhre, die mit Edelgas wie Neon oder Xenon gefüllt ist. Das hintere Glas ist mit Leuchtstoffen (Phosphor) in den Grundfarben Rot, Grün und Blau beschichtet. Wie auch beim LCD-Bildschirm sind auf beiden Glasscheiben Elektroden aufgebracht, mit denen die Pixel angesteuert werden (Zangl et al. 2009). An die Pixelelektroden wird eine hohe Spannung angelegt, die einen Entladungsprozess im Edelgas hervorruft, durch den wiederum ultraviolette Strahlung erzeugt wird. Diese Strahlung regt die Leuchtstoffschicht zum Leuchten

an. Jede Farbe wird durch eine Kombination der Grundfarben Rot, Grün und Blau erzeugt (siehe Abbildung 4). Eine Schutzschicht sorgt dafür, dass das energiereiche UV-Licht nicht nach außen gelangt.

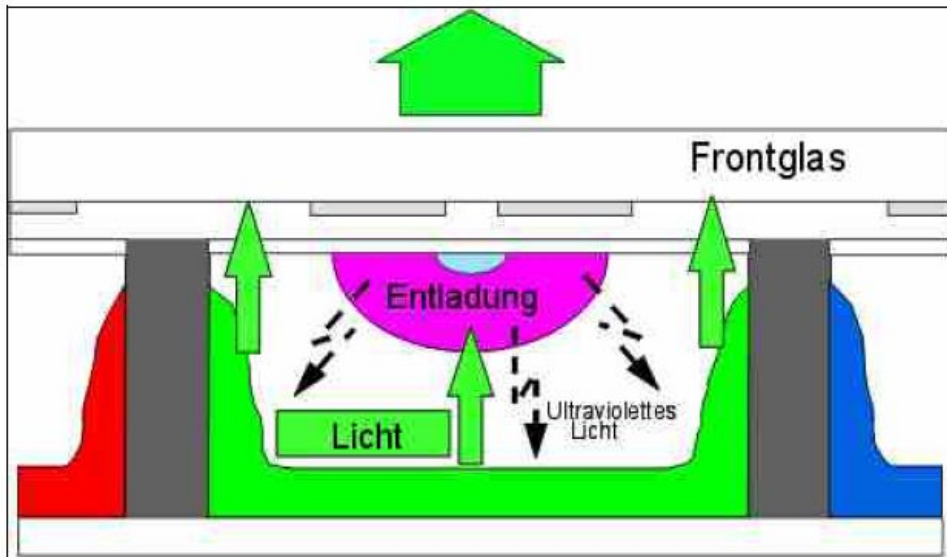


Abbildung 4 Schematischer Aufbau eines Plasmabildschirms (2) (Holder Medientechnik 2004)

Der Stromverbrauch eines Plasmabildschirms hängt – anders als bei LCD-Bildschirmen – stark vom dargestellten Bild ab und verhält sich dynamisch: Ein dunkles Motiv verbraucht wesentlich weniger Strom als ein helles. Vorteile der Plasma-Technologie sind der vertikal und horizontal nahezu unbegrenzt große Blickwinkel ohne Farb- und Kontrastbeeinträchtigungen und die extrem kurze Reaktionszeit der einzelnen Bildzellen, welche im Nanosekunden-Bereich liegt (www.wikipedia.org). Allerdings tritt bei zu hellem Umgebungslicht, zum Beispiel durch direkte Einstrahlung von Tageslicht auf das Display, eine mangelhafte Darstellung von satten Schwarztönen auf. Das in den Plasmazellen verwendete grüne Leuchtmittel hat mitunter eine verzögerte Reaktionszeit und verursacht dadurch braunes „Pixelrauschen“. Bei schnellen Bewegungsabläufen stören zudem farbige Doppelkonturen. Laut Bundesverband Verbraucherzentralen haben die Hersteller aber seit der dritten Gerätegeneration durch aufwendige Korrekturschaltungen diese Probleme mehr oder weniger in den Griff bekommen. Die entscheidenden technischen Daten eines Plasmabildschirms sind – wie beim LCD-Bildschirm – das Kontrastverhältnis und die erzielbaren Helligkeitswerte (Verbraucherinfothek 2006).

1.3 Röhrenbildschirm

Bei einem Röhrenbildschirm basiert der Bildschirm auf einer Kathodenstrahlröhre, die bereits 1897 von Karl Ferdinand Braun entwickelt wurde. Er wird daher umgangssprachlich manchmal noch als Braunsche Röhre bezeichnet. Es existieren sowohl Farbbildröhren als auch Schwarz-Weiß-Bildröhren. Grundsätzlich setzt sich eine Bildröhre aus den Elementen Elektronenkanone, Ablenkeinheit, Schattenmaske, Leuchtmittel- oder Phosphorschicht und Glasschale zusammen (siehe Abbildung 5). Das Zusammenspiel dieser Elemente ist maßgeblich für die Qualität des Bildes verantwortlich.

Eine Farbbildröhre enthält drei Elektronenkanonen (je eine für jede der drei Grundfarben Rot, Grün und Blau). Durch die Zusammensetzung aus den drei Grundfarben ergibt sich nach dem Modell der additiven Farbmischung das gesamte sichtbare Farbspektrum. Die Elektronenkanonen bestimmen im Wesentlichen die Leuchtkraft (Kontrast) des Bildes. Leistungsfähige Elektronenkanonen erkennt man, wenn bei herunter geregelterm Kontrast noch ein kräftiges Bild erzeugt wird. Hier ist der Qualitätsstandard heute bei fast allen Röhren sehr hoch (Zangl et al. 2009).

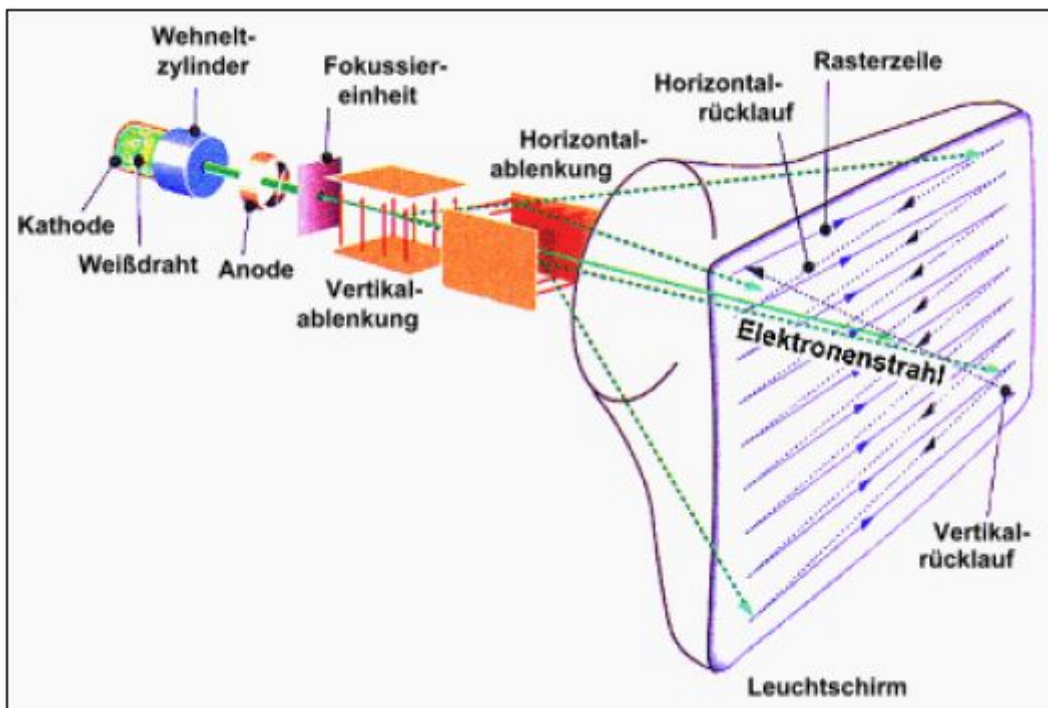


Abbildung 5 Schematischer Aufbau eines Röhrenbildschirms (TU Chemnitz 1997)

Der Stromverbrauch von Röhrenbildschirmen liegt ca. 75% höher als der eines Flachbildschirms vergleichbarer Größe (www.ecotopen.de). Ein weiteres Problem der Röhrenbildschirme ist ihre Größe. Damit der Elektronenstrahl jeden Punkt der Bildfläche erreichen kann, müssen Röhrenbildschirme entsprechend tief konstruiert sein. Ein Röhrenbildschirm

braucht deswegen deutlich mehr Platz als ein Flachbildschirm vergleichbarer Bildschirmgröße und ist auch vom Gewicht her deutlich schwerer. Nicht zuletzt wird die Bildqualität eines Röhrenbildschirms durch externe Magnetfelder negativ beeinflusst, was beispielweise zum Flimmern oder zum Verzerrern des Bildes führen kann.

Allerdings bieten Röhrenbildschirme auch viele Vorteile, sodass diese Technologie weiterhin für spezifische Anwendungen gegenüber anderen Displaytechnologien bevorzugt wird, insbesondere die hohe Reaktionsgeschwindigkeit, gute Kontrast- und Helligkeitswerte sowie die vom Betrachtungswinkel unabhängige Farbdarstellung. Diese Eigenschaften sind vor allem bei der Erstellung von Grafiken und der Bearbeitung von Videos von hoher Bedeutung. Weitere Vorteile eines Röhrenbildschirms sind:

- guter Schwarzwert,
- selbstleuchtend,
- lange Haltbarkeit,
- preisgünstig.

2 Markt- und Umfeldanalyse

2.1 Marktsättigung und Verkaufszahlen

Nach Angaben der GfK (GfK 2011) konnte die Informationstechnologie in Deutschland im Jahr 2010 einen Umsatzzuwachs von fast 9% im Vergleich zum Jahr 2009 erzielen. Allerdings zeichnete der Computerbildschirmmarkt einen Umsatzrückgang von ca. 15% in demselben Zeitraum aus. Tabelle 1 zeigt die Marktzahlen von Bildschirmen in 2009 und 2010 sowie die erzielten Umsätze.

Tabelle 1 Marktzahlen von Computerbildschirmen, Deutschland (GfK 2010)

CRT- und TFT-Bildschirme	2009	2010	Abweichung in %
Absatz in 1.000 Stück	3251	2576	-20,8
Umsatz in Mio. Euro	547	465	-15,1
Durchschnittspreis in Euro	168	180	+7,1

Wie aus der Tabelle hervorgeht, ist der Absatz von Computerbildschirmen in 2010 im Vergleich zum Vorjahr um fast 21% gesunken. Beim Vergleich der ersten beiden Quartale 2011 mit denen von 2010 ist diese rückläufige Entwicklung weiter zu verfolgen: die Umsätze verzeichnen einen Rückgang von -1,9%, die Absätze von -0,6%. Auch der Durchschnitts-

preis ist in den ersten zwei Quartalen in 2011 um -1,3% gesunken auf 173 Euro im Vergleich zu 2010 (gfu 2011).³

Welche Art von Bildschirm deutsche Computernutzer verwenden, ist in Abbildung 6 dargestellt.

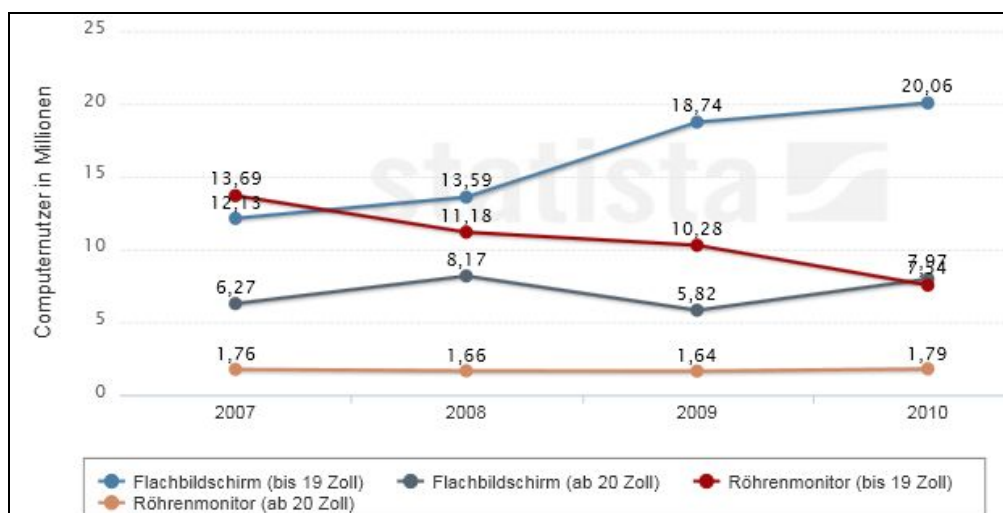


Abbildung 6 Anzahl der Computernutzer in Deutschland aufgeschlüsselt nach den verwendeten Bildschirmarten (Quelle: statista)

Wie aus der Abbildung hervorgeht, verzeichnen Flachbildschirme seit 2008 einen starken Anstieg in der Nutzung. Insbesondere stehen Flachbildschirme mit einer Bildschirmdiagonale von bis zu 19 Zoll bei den Nutzern hoch im Kurs, solche mit einer Bildschirmdiagonale ab 20 Zoll werden bislang weniger stark nachgefragt. Die im Rahmen der Ökodesignrichtlinie durchgeführte Vorstudie zu Computern und Bildschirmen⁴ ermittelt folgende Bestandszahlen für EU-25, die belegen, dass die Röhrenbildschirme nahezu vollständig durch Flachbildschirme abgelöst werden (Tabelle 2).

Tabelle 2 Bestandszahlen (in Mio.) der Computerbildschirme (privat und gewerblich) in EU-25

	2006	2007	2008	2009	2010
CRT-Bildschirme (in Mio.)	59	42	25	7	2
Flachbildschirme (in Mio.)	100	134	167	185	200

³ Bei diesen Zahlen ist jedoch zu beachten, dass TFT und CRT Bildschirme zusammengefasst sind, wobei davon auszugehen ist, dass der negative Trend der Entwicklung insbesondere den CRT Bildschirmen zuzuschreiben ist und die Entwicklung der verschiedenen Bildschirmtechnologien sehr unterschiedlich ist.

⁴ Preparatory studies for Eco-design Requirements of EuPs, Lot 3 Personal Computers (desktops and laptops) and Computer Monitors, European Commission DG TREN, 2007.

Die Fraunhofer Institute ISI und IZM (2009) gehen in ihrer Studie davon aus, dass im Jahr 2030 keine CRT-Bildschirme mehr verkauft werden. Zudem werden zwei Zukunftsszenarien projiziert, um die Entwicklung des gesamten Bildschirmmarktes von 2006 bis 2030 abzuschätzen. Bei beiden Szenarien nimmt der Marktanteil von OLED-Bildschirmen (siehe Abschnitt 3.1) deutlich zu. In der Studie wird jedoch darauf hingewiesen, dass eine Abschätzung der Marktanteile einzelner Technologien aufgrund der Dynamik und Innovationsschnelligkeit des Bildschirmmarktes mit großen Unsicherheiten behaftet ist.

Der Markttrend bezüglich der Diffusion von Hintergrundbeleuchtungstechnologien, wie die Leuchtdiode (LED), zeigt, dass der Anteil von LCD-Bildschirmen mit LED Hintergrundbeleuchtung an weltweiten Gesamtverkaufszahlen allmählich zunimmt (Abbildung 7).

Hintergrundbeleuchtung 2009: Anteil verschiedener Technologien in LCD-Panels ab 10" (in Millionen)						
Einsatz in	Beleuchtungstyp	Q1/09	Q2/09	Q3/09	Q4/09	2009
Netbooks Monitore	LED	4,2	7,9	10,1	9,4	31,7
	CCFL	36,8	51,2	53,7	51	193
	alle	<0,1	<0,1	0,6	1,5	2,3
Notebooks	alle	36,9	51,3	54,3	52,4	195
	CCFL	17	18,9	17,5	11,7	65
	LED	6	14,3	25,5	30,2	76
LCD-TV	alle	22,9	33,2	43	41,8	141
	CCFL	24,2	34,4	40,6	41,2	140
	LED	0,4	0,6	1,3	2,2	4,5
	alle	24,6	35	41,9	43,4	145

Abbildung 7 Anteil unterschiedlicher Hintergrundbeleuchtung in LCD-Bildschirmen (DisplaySearch)

Laut Informationen des Marktforschungsunternehmens DisplaySearch lag der Anteil der LCD-Bildschirme mit LED-Hintergrundbeleuchtung an den weltweiten Gesamtverkaufszahlen für Computerbildschirme im Jahr 2010 bei 44%. Für das Jahr 2011 wird erwartet, dass sich dieser Anteil auf knapp 67% erhöhen wird (Semiconductor Today 2011a). In 2009 lag dieser Anteil bei nur 1,9%. Allerdings wird auch für den Markt mit LED-Hintergrundbeleuchtung für Flachbildschirme für die kommenden Jahre ein leichter Umsatzrückgang erwartet (siehe Abbildung 8, rote Bereiche).

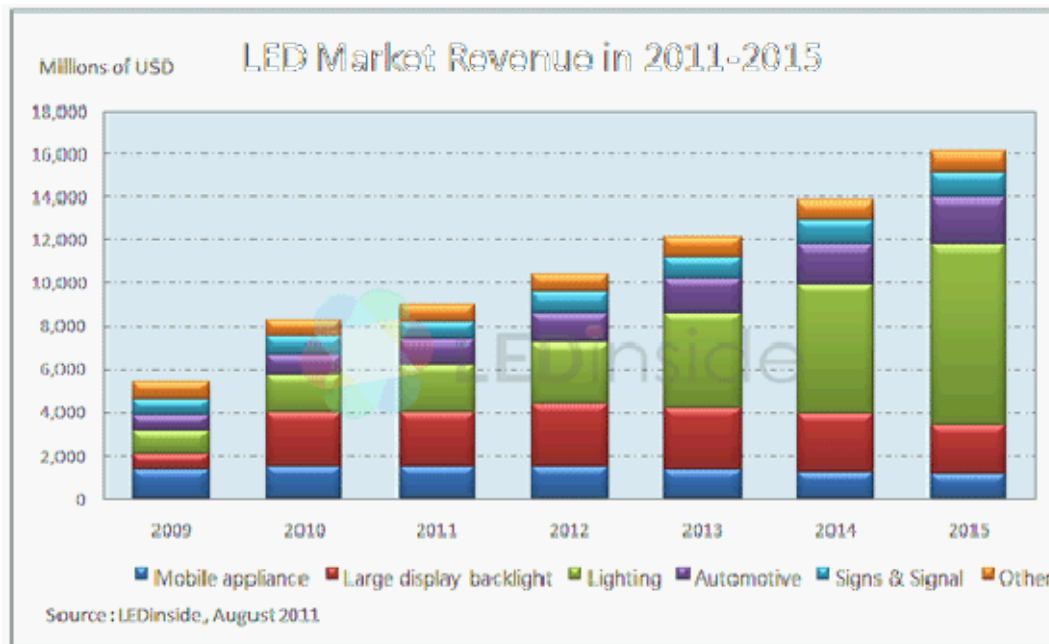


Abbildung 8 Umsatzentwicklung des globalen LED-Marktes (Semiconductor Today 2011b)

Der zu erwartende Umsatzrückgang wird einerseits auf die gesunkene Nachfrage im Displaybereich, andererseits auf sinkende LED-Stückpreise zurückgeführt.

Insgesamt zeichnet sich in den Verkaufszahlen zudem ein Trend hin zu größeren Bildschirm-diagonalen ab. Unabhängig von leicht sinkenden Stückzahlen und Umsätzen wird erwartet, dass zukünftige Technologiewechsel und -trends Marktgeschehen und Nachfrage beeinflussen werden.

2.2 Bestand in deutschen Haushalten

Für den Bestand an Computerbildschirmen in deutschen Haushalten gibt es keine aktuellen Zahlen. Behrendt & Erdmann (2004) ermittelten den Bestand an Computerbildschirmen auf insgesamt 51 Mio. Stück (davon 18 Millionen im Privatbereich). Zahlen des Statistischen Bundesamtes Deutschland geben an, dass im Jahr 2006 ca. 64% aller Haushalte einen stationären Computer besaßen, Geht man davon aus, dass diese Haushalte mindestens einen externen Bildschirm pro stationären Computer besaßen, läge der Haushaltsbestand des Computerbildschirms bei knapp 25,6 Millionen Stücken im Jahr 2006.⁵

Prakash et al. (2011a) haben ermittelt, dass der Ausstattungsbestand der privaten Haushalte in Deutschland, also die Anzahl der in den Haushalten vorhandenen stationären Computer, in den Jahren 2009/ 2010 bei etwa 81,2 stationären Computer pro 100 Haushalte liegt. Legt

⁵ 40 Millionen Haushalte im Jahr 2006

man dieselbe Annahme zugrunde wie oben, wären 2009/2010 ca. 32,5 Millionen Computerbildschirme in privaten Haushalten in Deutschland vorhanden.

2.3 Preise

Laut einer Pressemitteilung von heise gab es 2008 einen massiven Preiseinbruch sowie eine schleppende Nachfrage bei Computerbildschirmen. Seit Mitte 2009 stabilisiert sich die Lage wieder. Sank der durchschnittliche Verkaufspreis der Top-100-Bildschirme des heise Preisradars von April bis zur Jahresmitte um ca. 8% auf 220 Euro, so lag er Ende des Jahres 2009 bei ca. 240 Euro (heise 2009).

Die Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik (gfu) gibt für CRT- und TFT-Bildschirme einen Durchschnittspreis von 168 Euro für das Jahr 2009 an, welcher in 2010 auf 180 Euro anstieg. Der durchschnittliche Preis für die ersten beiden Quartale 2011 liegt nach gfu 2011 bei 173 Euro.

Je nach Technologie und Bildschirmdiagonale variieren die Preise für Bildschirme jedoch beträchtlich. Für Computerbildschirme mit LED-Hintergrundbeleuchtung kann man bspw. bis zu 500 Euro ausgeben (c't 2010). Der Anschaffungspreis eines Plasmabildschirms beträgt mindestens 300 Euro.

2.4 Hersteller

Computerbildschirme werden mittlerweile von zahlreichen Unternehmen hergestellt und vertrieben. Nach Angaben des heise Preisradars (Stand 2009) ist Samsung mit einem Marktanteil von 33% der dominierende Hersteller von Computerbildschirmen, gefolgt von LG und Dell mit Marktanteilen von 14 und 12%.

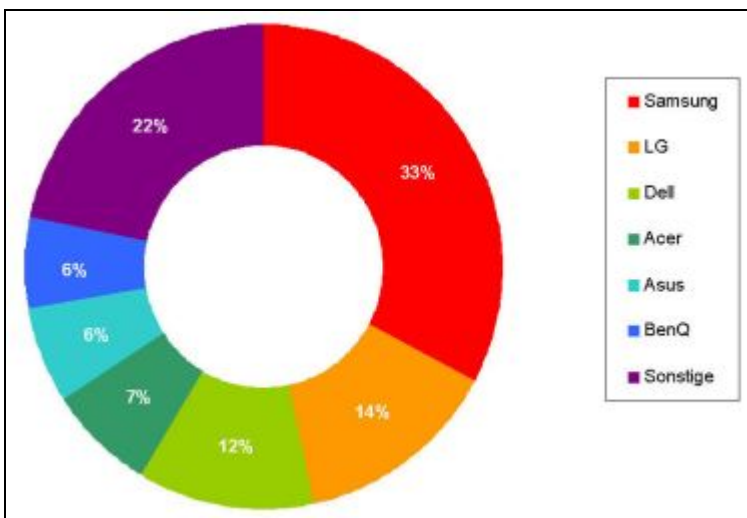


Abbildung 9 Dominierende Hersteller von Computerbildschirmen (heise 2009)

3 Technologietrends

3.1 Bildschirmtechnologie

Bereits in den letzten Jahren haben Flachbildschirme deutlich an Marktanteilen gewonnen und verdrängen mehr und mehr die herkömmlichen CRT-Bildschirme. Flachbildschirme sind überwiegend auf Basis von Flüssigkristallen (LCD) oder Plasma Display Panels (PDPs) verfügbar. Vereinzelt sind bereits OLED⁶-Bildschirme erhältlich. Diese weisen gegenüber anderen Bildschirmtechnologien den Vorteil auf, dass sie leichter und energieeffizienter sind. Folgende Abbildung zeigt den schematischen Aufbau eines OLED-Bildschirms.

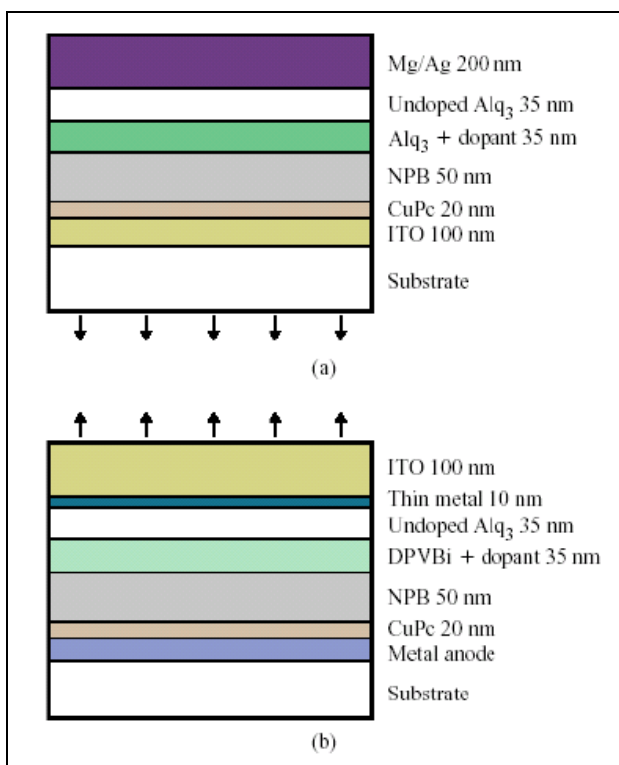


Abbildung 10 Schematischer Aufbau eines OLED (Fraunhofer ISI und IZM 2009)

⁶ Eine organische Leuchtdiode (OLED) ist ein dünnfilmiges leuchtendes Bauelement aus organischen halbleitenden Materialien, das sich von den anorganischen Leuchtdioden (LED) dadurch unterscheidet, dass Stromdichte und Leuchtdichte geringer sind und keine einkristallinen Materialien erforderlich sind. Im Vergleich zu herkömmlichen (anorganischen) Leuchtdioden lassen sich organische Leuchtdioden daher kostengünstiger herstellen, ihre Lebensdauer ist jedoch derzeit geringer als die herkömmlicher Leuchtdioden (Wikipedia)

OLEDs werden von verschiedenen Marktbeobachtern als sogenannte Zukunftstechnologie eingestuft, die mittel- bis langfristig LCDs ablösen könnten. Da sie ohne Hintergrundbeleuchtung auskommen, sind die im Vergleich zu Flüssigkristallbildschirmen kontrastreicher.

Im Vergleich zu anderen Display-Technologien sind die selbstleuchtenden, schnell reagierenden OLEDs sehr viel leichter und brauchen weniger Strom. OLED-Displays haben eine hohe Auflösung, einen großen Betrachtungswinkel und sind sehr flach und biegsam (Behrendt et al. 2008; Fraunhofer ISI und IZM 2009). Allerdings haben OLEDs noch einige technologische Hürden zu überwinden bis sie sich auf dem Massenmarkt der Computerbildschirme etablieren können: Ein großes Problem ist die hohe Empfindlichkeit gegen Sauerstoff und Feuchtigkeit, die das polymere Material durch chemische Reaktionen zersetzen. Somit ist das größte technische Problem die vergleichsweise geringe Lebensdauer mancher aus organischen Materialien bestehenden Bauelemente (www.wikipedia.de).

Noch im Entwicklungsstadium befinden sich die sogenannten flachen „Field Emitter Displays“ (FED), die das Prinzip der Kathodenstrahlröhre auf jeden einzelnen Pixel anwenden (Fraunhofer ISI und IZM 2009). Anders als bei CRTs wird bei FEDs allerdings nicht der ganze Bildschirm von einem Elektronenstrahl „beschrieben“. Stattdessen stehen für jeden Bildpunkt eigene Elektronenquellen zur Verfügung. Dadurch sind bei FEDs Kontrast und Helligkeit um einiges besser als bei hinterleuchteten TFT-LCDs. Als Selbstleuchter benötigen FEDs (wie auch Plasmabildschirme) im Gegensatz zu Flüssigkristallbildschirmen (LCDs) keine Hintergrundbeleuchtung (www.wikipedia.org).

3.2 Hintergrundbeleuchtung

Mit der Hintergrundbeleuchtung wird in LCD-Bildschirmen das Bild erzeugt. Früher wurden ausschließlich Leuchtstoffröhren (Kaltkathodenröhren – CCFL) eingesetzt, der Trend geht jedoch hin zu LEDs. Computerbildschirme mit LED-Hintergrundbeleuchtung sind in der Regel energieeffizienter als solche mit Leuchtstoffröhren. Zudem beinhalten LEDs im Gegensatz zu CCFLs kein umweltschädliches Quecksilber. c't 2011 weist jedoch darauf hin, dass es – aufgrund der Vielfalt an LED-Modellen und Anordnungen – erhebliche Unterschiede bei den Modellen mit LED-Hintergrundbeleuchtung gibt (c't 2011). Üblicherweise befinden sich die Dioden am Rand des Displays (Edge-LED) und werden dort gleichzeitig angesteuert. Handelt es sich dabei jedoch um blau emittierende LEDs, so erhält man den gleichen Farbraum wie mit herkömmlichen CCFLs. Lediglich Geräte mit roten, grünen und blauen Leuchtdioden garantieren ein besseres Farbbild (c't 2010).

Nach Angaben des Internetportals PRAD ProAdvisor setzen sich Monitore mit LED-Hintergrundbeleuchtung schnell am Markt durch. 2009 wurden bereits knapp 170 Millionen Geräte verkauft (Hevesi 2011).

3.3 Auflösung

Die Auflösung gibt die Anzahl der Punkte (Pixel) an, die der Bildschirm anzeigen kann. Da Computerbildschirme vermehrt auch als Fernsehgeräte verwendet werden und der Trend hin zu größeren Bildschirmdiagonalen geht, nimmt auch die Auflösung stetig zu. Vor einigen Jahren lag die Auflösung zumeist im Bereich von 640x480 bis 2048x1536, mittlerweile gibt es auch etliche Computerbildschirme mit einer Auflösung von 3200x2400. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über verschiedene Auflösungen.

Tabelle 3 Überblick über die verschiedenen Auflösungen (Kioskea 2011)

Anzeigeformat	horizontale Auflösung	vertikale Auflösung	Pixelanzahl	Ratio
VGA	640	480	307 200	1
SVGA	800	600	480 000	1,56
XGA	1024	768	786 432	2,56
SXGA	1280	1024	1 310 720	4,27
SXGA+	1400	1050	1 470 000	4,78
SXGA+	1280	1024	1 310 720	4,27
UXGA	1600	1200	1 920 000	6,25
QXGA	2048	1536	3 145 728	10,2
QSXGA	2560	2048	5,242,800	17,1
QUXGA	3200	2400	7,680,000	25

3.4 Bildschirme mit Fernsehempfänger

Als neuer Trend zeichnen sich Computerbildschirme mit Fernsehempfänger ab. In den Geräten ist ein Fernsehtuner eingebaut, sodass es möglich ist, den Bildschirm sowohl als Computerbildschirm als auch als Fernsehgerät zu verwenden. Die von der Stiftung Waren-test getesteten Modelle (StiWa 2010) konnten alle das digitale Antennenfernsehen DVB-T empfangen, ein Gerät sogar das hochauflösende HDTV.

3.5 Digitale Schnittstellen

Neben der analogen VGA-Schnittstelle, mit der so gut wie jedes Gerät ausgestattet ist, sind die meisten Computerbildschirme mit digitalen Schnittstellen ausgestattet (StiWa 2010; 2011). Üblich ist das System DVI, aber auch HDMI verbreitet sich immer mehr. Nach Aussagen des Computermagazins c't 2010b wird im Jahr 2015 die analoge VGA-Schnittstelle ausgestorben sein. Zudem rechnen die c't Experten damit, dass auch DVI-Schnittstellen zu diesem Zeitpunkt nicht mehr verfügbar sein werden. Computerbildschirme werden dann nur noch mit HDMI- und DP⁷-Schnittstellen ausgestattet sein.

4 Umweltaspekte

4.1 Energieeffizienz

4.1.1 Stromverbrauch

Um die durchschnittlichen Stromverbräuche von Computerbildschirmen zu ermitteln wurde die Energy Star Datenbank (Stand August 2010) herangezogen. Die Leistungsaufnahmen sind in der folgenden Tabelle 4 dargestellt, wobei die Computerbildschirme folgendermaßen eingeteilt wurden:

- Bildschirme mit einer maximalen Auflösung <1,1MP,⁸
- Bildschirme mit einer maximalen Auflösung >1,1MP,
- professionelle Bildschirme (für den Geschäftskundenbereich).

⁷ Display Port

⁸ Bildauflösung Megapixel

Tabelle 4 Mittlere Leistungsaufnahme der Bildschirme

	On-Modus ⁹ [W]	Sleep-Modus ¹⁰ [W]	Off-Modus ¹¹ [W]
Bildschirme mit einer maximalen Auflösung <1,1MP (n=85)	13,59	0,45	0,35
Bildschirme mit einer maximalen Auflösung >1,1MP (n=544)	21,49	0,50	0,38
Professionelle Bildschirme (für den Geschäftskundenbereich) (n=43)	178,90	1,35	0,63

Wie aus der Tabelle ersichtlich, steigt die durchschnittliche Leistungsaufnahme mit Zunahme der maximalen Auflösung. Die Leistungsaufnahme der Bildschirme für den Professionellen Bereich liegt mit Abstand am höchsten. Den größten Anteil des Stromverbrauchs eines Bildschirms hat die Hintergrundbeleuchtung. Hier wird folglich angesetzt, um energieeffiziente Produkte herzustellen. Die Flachbildschirme mit LED Hintergrundbeleuchtung haben beispielweise einen rund 30% geringeren Stromverbrauch als die Bildschirme mit CCFL Beleuchtung vergleichbarer Bildschirmdiagonale (c't 2010). Die in der Zeitschrift c't 2010 getesteten Computermonitore mit LED-Hintergrundbeleuchtung wiesen eine Leistungsaufnahme zwischen 13,1 und 18,7 Watt im Betrieb auf.

Die Verbraucherkampagne EcoTopTen (www.ecotopten.de) des Öko-Instituts listet besonders energieeffiziente Computerbildschirme auf, deren Stromverbrauch ca. 30% geringer ist als die Grenzwerte, die vom ENERGY STAR verlangt werden. Die folgende Tabelle zeigt die Werte der Leistungsaufnahmen der EcoTopTen-Bildschirme:

⁹ On Modus: Ein Computerbildschirm befindet sich im Ein-Zustand, wenn (1) er an eine Stromversorgung angeschlossen ist, (2) alle mechanische Schalter eingeschaltet sind, und (3) er seine Primärfunktion der Bilddarstellung durchführt. Die Leistungsaufnahme ist in diesem Betriebszustand in der Regel höher als im Ruhe- oder Schein-Aus-Zustand.

¹⁰ Sleep-Modus (Ruhezustand): Ein Computerbildschirm befindet sich im Ruhezustand, wenn (1) er an eine Stromversorgung angeschlossen ist, (2) alle mechanische Schalter eingeschaltet sind, und (3) er durch eine verringerte Leistungsaufnahme gekennzeichnet wird, die auf Befehl eines angeschlossenen Geräts, wie z.B. Computer, Spielkonsole oder Set-Top-Box, oder durch einen internen Signal, wie z.B. eine Zeitschaltuhr oder einen Sensor hervorgerufen wird. Im Ruhezustand kehrt der Computerbildschirm auf Befehl eines angeschlossenen Geräts/ Nutzers (z. B. Mausbewegung oder Tastendruck auf der Tastatur) oder durch einen internen Signal in den Ein-Zustand mit voller Betriebsfähigkeit zurück.

¹¹ Off-Modus (Schein-Aus-Zustand): Ein Computerbildschirm befindet sich im Schein-Aus-Zustand, wenn (1) er an eine Stromversorgung angeschlossen ist, (2) er keine Bilder darstellt, (3) er nur durch ein direktes, vom Nutzer ausgelöstes Signal (z.B. wenn der Nutzer den Netzschalter drückt) wieder in den Ein-Zustand versetzt werden kann. Im Schein-Aus-Zustand hat der Computerbildschirm die geringste, vom Nutzer nicht ausschaltbare (beeinflussbare) Leistungsaufnahme, die unbegrenzt fortbesteht, solange das Netzkabel des Computerbildschirms mit dem Stromnetz verbunden ist.

Tabelle 5 Leistungsaufnahme von energieeffizienten EcoTopTen Computerbildschirmen (www.ecotopen.de)

Bildschirmdiagonale (Zoll)	Bildschirmauflösung (Pixel)	Leistungsaufnahme im On-Modus (W)
17"	1280 x 1024	19,3 – 25 W
19"	1280 x 1024	22,5 – 26,7 W
20"/21"	1600 x 1200	36,6 – 38,1 W
22" (Widescreen)	1680 x 1050	22,0 – 35,2 W

4.1.2 Internationale Umweltzeichen

Energy Star¹²

Die aktuelle Version des ENERGY STAR für Computerbildschirme (ENERGY STAR Program Requirements for Displays Version 5.0) unterscheidet drei Kategorien von Bildschirmen. Dabei gelten folgende maximalen Leistungsaufnahmen für den On-Modus, die anhand der Gleichungen in Tabelle 6 berechnet werden. Zudem ist eine zweite Stufe vorgesehen, die eine Obergrenze für die maximale Leistungsaufnahme festlegt. Diese zweite Stufe befindet sich momentan noch in Bearbeitung.

Tabelle 6 Energieeffizienzanforderungen der Energy Star Version 5.0 für Computerbildschirme (Leistungsaufnahme im On-Modus)

Stufe 1 — Anforderungen an die Leistungsaufnahme im Ein-Zustand	
Display-Kategorie	Maximale Leistungsaufnahme im Ein-Zustand (W)
Bildschirmdiagonale > 30 Zoll Bildschirmauflösung ≤ 1,1 MP	$PO = 6*(MP) + 0,05*(A) + 3$
Bildschirmdiagonale > 30 Zoll Bildschirmauflösung ≤ 1,1 MP	$PO = 9*(MP) + 0,05*(A) + 3$
Bildschirmdiagonale > 30-60 Zoll Beliebige Bildschirmauflösung	$PO = 0,27*(A) + 8$

MP = Bildauflösung (Megapixel)
A = Sichtbarer Bildschirm (Quadratzoll)

¹² www.energystar.gov

Beispielrechnung: Bei einem Bildschirm mit einer Auflösung von 1440 × 900 bzw. 1296000 Pixeln, einer sichtbaren Bildschirmdiagonale von 19 Zoll und einem sichtbaren Bildschirm von 162 Quadratzoll würde die maximale Leistungsaufnahme im On-Modus, gerundet auf das nächste Zehntelwatt, $((9 \times 1,296) + (0,05 \times 162)) + 3 = 22,8$ Watt betragen.

Bei Bildschirmen mit automatischer Helligkeitsregelung wird die maximale Leistungsaufnahme im On-Modus wie folgt berechnet: $PO1 = (0,8 * Ph) + (0,2 * PI)^{13}$. Die automatische Helligkeitsregelung von Displays ist ein automatischer Mechanismus, der die Helligkeit des Displays in Abhängigkeit vom Umgebungslicht regelt.

Für den Sleep- (Ruhezustand) und Off-Modus (Schein-Aus-Zustand) gelten folgende Grenzwerte:

Tabelle 7 Energieeffizienzanforderungen der Energy Star Version 5.0 für Bildschirme (Leistungsaufnahme im Sleep- und Off-Modus)

Für alle Displays geltende Anforderungen an die Leistungsaufnahme im Ruhezustand und im Aus-Zustand		
Zustand	Stufe 1	Stufe 2
Maximale Leistungsaufnahme im Ruhezustand (W)	≤ 2	≤ 1
Maximale Leistungsaufnahme im Aus-Zustand (W)	≤ 1	≤ 1

Die zweite Stufe tritt am 30.10.2011 in Kraft und gilt für Produkte mit Herstellungsdatum 30.10.2011 oder danach.

TCO Development¹⁴

Bezüglich Energieeffizienz verweist das TCO-Label (Version 5.2 für Monitore vom 08. Februar 2011) auf die jeweils aktuellste Version des ENERGY STAR. Neben Umweltaspekten legt das TCO-Label einen besonderen Wert auf die Ergonomie. Darüber hinaus werden Vorgaben zur Emission von elektromagnetischer Strahlung und Lärm, zur Produktsicherheit und zu weiteren Umwelt- und Sozialanforderungen gemacht. Diese umfassen folgende Kategorien:

¹³ PO1 ist die durchschnittliche Leistungsaufnahme in Watt, gerundet auf das nächste Zehntelwatt, Ph ist die Leistungsaufnahme im On-Modus bei starkem Umgebungslicht und PI die bei schwachem Umgebungslicht. Bei der Formel wird davon ausgegangen, dass das Display 20% der Zeit bei schwachem Umgebungslicht betrieben wird.

¹⁴ <http://www.tcodevelopment.com/>

- Umwelt- und Sozialmanagementsysteme,
- Klimaschutz,
- umweltschädliche Substanzen,
- Produktlebensdauer,
- recyclinggerechte Konstruktion,
- Verpackung.

Nordic Swan¹⁵

Bildschirme, die mit dem Nordic Swan ausgezeichnet sind, müssen bezüglich Energieeffizienz den ENERGY STAR-Anforderungen (Version 5.0) genügen. Zudem müssen die Geräte mit einem gut sichtbaren und gut erreichbaren Ausschalter ausgestattet sein.

Darüber hinaus macht der Nordic Swan in folgenden Bereichen Vorgaben:

- Zerlegbarkeit,
- Beschaffenheit und Kennzeichnung der Kunststoffe,
- Vermeidung verschiedener gesundheitsgefährdender Stoffe,
- Nutzerinformation.

EPEAT¹⁶

Die EPEAT-Kriterien bestehen aus 23 verpflichtenden und 28 optionalen Kriterien. Das EPEAT-Zeichen wird in drei Versionen (Bronze, Silber und Gold) vergeben. Für EPEAT-Bronze muss ein Produkt alle verpflichtenden Kriterien erfüllen. Für EPEAT-Silber muss ein Produkt zusätzlich mindestens 50% der optionalen Kriterien erfüllen. Für EPEAT-Gold muss ein Produkt zusätzlich zu den verpflichtenden Kriterien 75% der optionalen Kriterien erfüllen.

Bezüglich Energieeffizienz verlangt EPEAT die Einhaltung der jeweils gültigen Version des ENERGY STAR. EPEAT geht aber insgesamt über die Energieverbrauchskriterien hinaus und beinhaltet weitere verpflichtende und optionale Kriterien aus den folgenden Bereichen:

- Reduktion umweltrelevanter Materialien (reduction / elimination of environmentally sensitive materials),
- Materialauswahl (materials selection),
- recyclinggerechte Konstruktion (design for end of life),
- Produktlanglebigkeit / Verlängerung der Lebensdauer (product longevity / life cycle extension),
- Rückgabesysteme (end-of-life management)

¹⁵ <http://www.nordic-ecolabel.org/>

¹⁶ <http://www.epeat.net/>

- betriebliche Nachhaltigkeitsansätze (corporate performance),
- Verpackung (packaging).

Das System sieht vor, dass die Hersteller die Produkte, welche die EPEAT-Kriterien erfüllen, selbst in das EPEAT-Register eintragen. Es findet erst einmal keine Produktprüfung statt. Allerdings wählt das EPEAT Board of Advisors jährlich ein paar Produkte aus und prüft, ob sie die EPEAT-Kriterien tatsächlich erfüllen. Dafür muss der Hersteller dem EPEAT-Komitee Nachweise für das ausgewählte Produkt vorlegen. Wenn das ausgewählte Produkt ein Kriterium nicht erfüllt, muss der Hersteller sein Produkt aus dem EPEAT-Register zurückziehen. Auch externe Stakeholder können das EPEAT-Komitee darauf aufmerksam machen, wenn ein Produkt EPEAT-Kriterien nicht erfüllt.

Der Vorteil dieses Systems liegt darin, dass die langwierigen Prüfungen der Produkte nicht oder nur bei wenigen Produkten stattfinden. Ein weiterer Vorteil des EPEAT-Systems ist, dass der Standard in 40 Ländern angewendet wird. Außerdem gibt es viele „weiche“ Kriterien, die je nach Land variieren können (bspw. Rücknahmesysteme, Wiederverwendung des Verpackungsmaterials usw.). Wenn ein Kriterium in einem Land nicht anwendbar ist, kann der Antragsteller um eine landesspezifische Ausnahme bitten. In Deutschland gibt es schon 676 Produkte (Desktops, Notebooks, Bildschirme, Thin Clients usw.) mit EPEAT-Zertifikat (Stand 30.08.2011), darunter 206 Bildschirme.

Allerdings sind die obligatorischen EPEAT-Kriterien nicht so streng wie die der Umweltzeichen EU-Blume, Blauer Engel und Nordic Swan. Oft weisen die obligatorischen EPEAT-Kriterien nur auf die Einhaltung der Gesetze hin, wie z.B. 'compliance with provisions of European RoHS Directive' oder 'Minimum 65 percent reusable / recyclable materials according to WEEE directive'. Außerdem gibt es Kriterien, wonach nur eine Art Berichterstattung über die eingesetzten Schadstoffe erfolgen muss, z.B. eine Auskunft über den Quecksilbergehalt in Flachbildschirmen, aber keine Grenzwerte festgelegt werden. Strengere Kriterien, die konkrete Grenzwerte anfordern und über das Gesetz hinausgehen, sind optional.

EU Umweltzeichen¹⁷

Die aktuelle Version des Europäischen Umweltzeichens für Computerbildschirme stellt folgende Anforderungen an den Energieverbrauch:

- Die Energieeffizienz des Computerbildschirms im On-Modus muss die in ENERGY-STAR v5.0 festgelegten Energieeffizienzanforderungen um mindestens 30% übersteigen.
- Der Stromverbrauch von Computerbildschirmen im (Sleep-) Ruhemodus darf 1 W nicht übersteigen.

¹⁷ http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/ecolabelled_products/categories/personal_computers_en.htm

- Der Energieverbrauch von Computerbildschirmen im On-Modus und bei maximaler Helligkeit muss ≤ 100 W sein.
- Der Stromverbrauch von Computerbildschirmen im (Off) Schein-Aus-Zustand darf 0,5 W nicht übersteigen.

Weiterhin stellt das EU Umweltzeichen anspruchsvolle Anforderung an Quecksilbergehalt in Leuchtstofflampen. Laut der Vergabegrundlage des EU Umweltzeichens dürfen Quecksilber oder Quecksilberverbindungen nicht für die Hintergrundbeleuchtung des Computerbildschirms eingesetzt werden. Der Antragsteller muss gegenüber der zuständigen Stelle erklären, dass die Hintergrundbeleuchtung des Computerbildschirms nicht mehr als 0,1 mg Quecksilber oder Quecksilberverbindungen pro Leuchte enthält. Der Antragsteller muss ferner eine kurze Beschreibung des eingesetzten Beleuchtungssystems übermitteln.

Außerdem beinhaltet das EU Umweltzeichen weitere Anforderungen an:

- Gefährliche Stoffe und Gemische,
- Kunststoffteile,
- Anteil an Recyclingmaterial,
- Reparatur durch den Benutzer,
- Zerlegbarkeit,
- Verlängerung der Lebensdauer,
- Verpackung,
- Verbraucherinformation.

Der Blaue Engel¹⁸

Die Vergabegrundlage des Blauen Engel für Computer (Bildschirmgeräte) (RAL-UZ 78 vom September 2009) geht insgesamt über die Energieverbrauchskriterien, die aus der ENERGY STAR Version 5.0 für Computer übernommen wurden, hinaus und beinhaltet weitere umwelt- und schadstoffrelevante Kriterien wie z.B.:

- Recyclinggerechte Konstruktion,
- Materialanforderungen an die Kunststoffe der Gehäuse, Gehäuseteile und Chassis sowie Tastaturen,
- Materialanforderungen an die Kunststoffe der Leiterplatten,
- Kennzeichnung von Kunststoffen,
- Reparatursicherheit,
- Rücknahme der Geräte,

¹⁸ www.blauer-engel.de

- Verpackung,
- Erweiterung der Leistungsfähigkeit,
- Verbraucherinformation.

4.1.3 Europäische Gesetzesinitiativen

Ökodesign Richtlinie 2009/125/EG

Die Ökodesign Richtlinie 2009/125/EG ersetzt die Richtlinie 2005/32/EG vom 06. Juli 2005. In der aktuelleren Entwurfsversion¹⁹ (EC 2009) sind folgende verbindlichen Mindeststandards vorgesehen:

Anforderungen an die Energieeffizienz

- 18 Monate nach Inkrafttreten dürfen Monitore mit einer Auflösung < 1,1 MP den folgenden Grenzwert nicht überschreiten: $P_0 = 6 \cdot (MP) + 0,775 \cdot (A) + 3$.
- 18 Monate nach Inkrafttreten dürfen Monitore mit einer Auflösung > 1,1 MP den folgenden Grenzwert nicht überschreiten: $P_0 = 9 \cdot (MP) + 0,775 \cdot (A) + 3$.

Zudem sieht der Entwurf vor, dass 12 Monate nach Inkrafttreten der Durchführungsmaßnahme der Stromverbrauch im Ruhemodus von Monitoren 1,00 W nicht überschreiten darf.

Außerdem darf ab Inkrafttreten der Durchführungsmaßnahme der Stromverbrauch im Aus-Zustand 1,0 W nicht überschreiten. Ab 7. Januar 2013 soll dieser Wert auf 0,50 W reduziert werden. Diese Grenzwerte und die Terminierung entsprechen den Anforderungen der Verordnung 1275/2008 über den Bereitschafts- und Aus-Zustand der elektrischen und elektronischen Haushalts- und Bürogeräte²⁰.

4.1.4 Verbraucherkampagne EcoTopTen

Die Verbraucherkampagne EcoTopTen (www.ecotopten.de) des Öko-Instituts gibt Empfehlungen bezüglich der Ausstattungsmerkmale, worauf beim Neukauf geachtet werden soll. Im Folgenden sind diese Merkmale dargestellt:

¹⁹ Diese Entwurfsversion befindet sich derzeit noch in Abstimmung und wurde noch nicht vom Regelungsausschuss verabschiedet. Änderungen sind daher noch durchaus möglich.

²⁰ Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 der Kommission vom 17. Dezember 2008 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte im Bereitschafts- und im Aus-Zustand.

Ausstattungsmerkmal	Beschreibung	Zur Orientierung
<p>Bildschirmgröße (Zoll)</p>	<p>Die Bildschirmgröße wird in Zoll angegeben (1 Zoll = 2,54 cm).</p> <p>Bei Röhrenbildschirmen bezieht sie sich auf die Diagonale der Bildröhre, bei Flachbildschirmen wird die effektiv sichtbare Bilddiagonale angegeben.</p> <p>Ein 15.1" Flachbildschirm hat daher ein vergleichbar grosses Bild wie ein 17" Röhrenbildschirm.</p>	<p>Die Bildschirmdiagonale beträgt typischerweise zwischen 15 und 19 Zoll. Am Markt sind aber auch Geräte bis 24 Zoll erhältlich.</p> <p>Darüber hinaus werden so genannte „Wide Screen“-Bildschirme angeboten, die ein ähnliches Verhältnis von Länge zu Breite haben wie die 16:9 Fernseher.</p> <p>Abhängig von der jeweiligen Nutzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 15 Zoll für häufige schwarz-weiß-Textverarbeitung • 17 Zoll für häufige farbige Darstellung • 19 Zoll bei häufiger Nutzung von Grafikprogrammen • > 20 Zoll für professionelle Ansprüche, z.B. bei 3D-Darstellungen, Grafikdesign o.ä.
<p>Auflösung (Pixel)</p>	<p>Mit Bildauflösung bezeichnet man die Anzahl der Bildpunkte, aus denen das dargestellte Bild besteht.</p> <p>Bei Flachbildschirmen gibt es eine feste, voreingestellte Bildauflösung (native Auflösung), so dass ein Bildpunkt exakt einem Pixel entspricht.</p> <p>Wählt man manuell eine niedrigere Auflösung, kann es zu Unschärfen kommen, weil dann mehrere Pixel einen Bildpunkt darstellen müssen.</p>	<p>Typische Auflösungen bei Computer-Flachbildschirmen sind</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1024 x 768 (XGA, bei 15") • 1280 x 1024 (SXGA, bei 17" oder 19") • 1400 x 1050 (SXGA+, bei manchen Notebooks) • 1600 x 1200 Pixel (UXGA, bei 21"). <p>Das Seitenverhältnis beträgt normalerweise 4:3 (5:4 bei SXGA), bei Bildschirmen im Breitformat auch 15:9 oder 16:10.</p> <p>Abhängig von der Bildschirmgröße sollte die Auflösung mindestens betragen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 14" - 19" \geq 1024 x 768 • 21" \geq 1600 x 1200
<p>Bildhelligkeit / Leuchtdichte / Luminanz (candela pro Quadratmeter)</p>	<p>Die Bildhelligkeit – auch Leuchtdichte oder Luminanz genannt – gibt die Lichtstärke pro Fläche in candela pro Quadratmeter [cd/m^2] an.</p> <p>Die Helligkeit wird von einer Hintergrundbeleuchtung (backlight) gewährleistet. Dies ist eine "Lichtplatte", deren Lichtstärke mit den Jahren abnimmt. Jedoch liegt die Dauer, bis nur noch die halbe Helligkeit erreicht wird, meist bei über 20.000 Stunden (was bei einer täglichen Nutzungsdauer von acht Stunden knapp sieben Jahren entspricht).</p>	<p>Üblich sind Werte von 200 bis 500 cd/m^2</p> <p>Gute typische Werte liegen bei mindestens 200 cd/m^2</p>

Ausstattungsmerkmal	Beschreibung	Zur Orientierung
Kontrast	Als Kontrast bezeichnet man den Helligkeitsunterschied (eines Bildes). Es ist zwischen dem maximal möglichen Kontrast und den typischen Kontrastwerten zu unterscheiden.	Üblich sind Werte von 1:400 bis 1:1000 Gute Kontrastwerte liegen bereits bei 1:300
Reaktionszeit (ms)	<p>Die Reaktionszeit bezeichnet die Zeit, die ein Bildpunkt benötigt, um von Dunkel nach Hell zu wechseln - und wieder zurück.</p> <p>Je kürzer die Reaktionszeit eines Displays ist, desto schneller kann das Bild wechseln, ohne dass es verschwimmt.</p> <p>Es gibt zwei unterschiedliche Verfahren, mit denen die Reaktionszeit für Flachbildschirme angegeben wird: die so genannte Schwarz-Weiß-Zeit oder die so genannte Grey-to-Grey-Zeit.</p> <p>Bei der Schwarz-Weiß-Zeit wird die Zeit angegeben, die ein Bildpunkt benötigt, um von Dunkel nach Hell und wieder zurück zu wechseln.</p> <p>Bei der Grey-to-Grey-Zeit wird der Mittelwert bestimmt, den ein Bildpunkt benötigt um von einem Grauwert zu einem anderem Grauwert zu wechseln (z.B. von hellgrau zu dunkelgrau). Diese Reaktionszeit ist immer sehr viel kürzer als die Schwarz-Weiß-Reaktionszeit, aber sie ist viel praxisnäher. Allerdings gibt es momentan nur ein normiertes Messverfahren für den Schwarz-Weiß-Wechsel.</p>	<p>Heutige Flachbildschirme haben eine Schwarz-Weiß-Reaktionszeit von 16 ms oder weniger. Üblich bei Grey-to-Grey: 2 bis 25 ms.</p> <p>Die Reaktionszeit sollte nicht mehr als 25 Millisekunden betragen, wenn der Bildschirm zur Wiedergabe von Videos, DVDs, TV-Formaten etc. oder zur Darstellung schneller Spiele dienen soll.</p> <p>Soll auf dem Bildschirm lediglich Text angezeigt werden, ist dieser Wert relativ unwichtig.</p>
Bildwinkel (Grad)	<p>Bei Flachbildschirmen ist sowohl die Helligkeit als auch die Farbwiedergabe davon abhängig, welche Position der Nutzer zum Bildschirm inne hat (Bildwinkelabhängigkeit).</p> <p>Der Betrachtungswinkel gibt an, aus welchem Winkel das Bild noch hell und farbgetreu wiedergegeben wird.</p> <p>In horizontaler Richtung ist der Blickwinkel bei den meisten Flachbildschirmen heutzutage unproblematisch. Beim vertikalen Blickwinkel gibt es dagegen Qualitätsunterschiede zwischen den Geräten am Markt.</p>	<p>Die Bildwinkelabhängigkeit ist bei modernen Bildschirmen nicht mehr so problematisch wie früher. Beachten Sie diesen Punkt beim Kauf aber trotzdem:</p> <p>Gute Werte liegen bei über 70° auf jeder Seite.</p>

Ausstattungsmerkmal	Beschreibung	Zur Orientierung
Farbtiefe (Bit)	Die Farbtiefe gibt die „Feinheit“ der Abstufungen an, mit denen ein Farbkanal einer einzelnen Farbe angegeben wird.	Die Spanne beträgt zwischen 8 und 48 Bit. Die meisten modernen Bildschirme arbeiten mit einer Farbtiefe von 24 Bit. Das bedeutet, dass insgesamt $2^{24} \approx 16,7$ Millionen unterschiedliche Farbtöne dargestellt werden können. Für eine gute Darstellung von Grafiken ist eine Farbtiefe von mindestens 24 Bit notwendig.
Fehlerhafte Pixel	Bei Flachbildschirmen wird – im Gegensatz zu Röhrenbildschirmen – jeder Pixel einzeln angesteuert. Nun gibt es bei der Produktion immer wieder Pixel, die fehlerhaft sind bzw. solche, die während des Betriebs fehlerhaft werden (z.B. ständig weiss leuchten oder dauerhaft schwarz sind).	Die Zuverlässigkeit konnte in den letzten Jahren erheblich verbessert werden. Angegeben werden Pixelfehler in so genannten Pixelfehlerklassen (= Pixelfehler pro 1 Million Pixel, gemessen nach ISO 13406-2). Pixelfehlerklasse I bedeutet fehlerfrei, Pixelfehlerklasse IV hat die größte Anzahl an Pixelfehlern. Sinnvoll ist Pixel-Fehlerklasse II , über die auch alle von EcoTopTen empfohlenen Geräte verfügen.
Art der Anschlüsse	USB-Hub: Erlaubt die Verbindung an den PC oder Mac per USB-Anschluss. Video-Anschlüsse: Die analoge Schnittstelle VGA (Video Graphics Array), auch D-Sub genannt, gehört mittlerweile zur Standardausstattung. Alternativ kann der Anschluss auch über DVI (Digital Video Interface) erfolgen: DVI-A für analoge Eingangssignale, DVI-D für digitale Eingangssignale, DVI-I für analoge und digitale Eingangssignale. Digitale Schnittstellen erfordern eine digitale Quelle, also digitales Video oder eine digitale Grafikkarte. Mac-kompatibel: Viele Bildschirme sind ohne Abstriche Mac-kompatibel.	Inzwischen haben viele Flachbildschirme sowohl einen analogen als auch einen digitalen Anschluss . Um auf der sicheren Seite zu sein, achten Sie am besten beim Kauf darauf, dass der von Ihnen ausgewählte Bildschirm tatsächlich über beide Anschlüsse verfügt.

Ausstattungsmerkmal	Beschreibung	Zur Orientierung																
Energieverbrauch / Maximale Leistungsaufnahme (Watt)	<p>Bildschirme verbrauchen im eingeschalteten Zustand (on-mode), im Stand-by-Betrieb (standby-mode oder sleep-mode) und teilweise sogar im ausgeschalteten Zustand (off-mode) Energie.</p> <p>Letzteres können Sie verhindern, indem Sie den Stecker vom Netz trennen.</p>	<p>Hinsichtlich der Energieeffizienz bietet der Energy Star einen guten Anhaltspunkt. Dies bedeutet, dass ein mit dem Energy Star zertifizierter Bildschirm folgende Werte einhält:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bildschirm-auflösung (Pixel x Pixel)</th> <th>Maximale Leistungsaufnahme</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>800 x 800</td> <td>13 W</td> </tr> <tr> <td>1024 x 768</td> <td>22 W</td> </tr> <tr> <td>1280 x 768</td> <td>23 W</td> </tr> <tr> <td>1280 x 1024</td> <td>37 W</td> </tr> <tr> <td>1600 x 1024</td> <td>46 W</td> </tr> <tr> <td>1600 x 1200</td> <td>54 W</td> </tr> <tr> <td>1920 x 1200</td> <td>65 W</td> </tr> </tbody> </table> <p>Stand-by- / Sleep-Mode: ≤ 2 W Off-Mode: ≤ 1 W</p> <p>Die von EcoTopTen empfohlenen Geräte sind aber noch energieeffizienter: Sie haben im on-mode-Betrieb eine um mindestens 30 Prozent geringere Leistungsaufnahme als der Energy Star vorschreibt.</p>	Bildschirm-auflösung (Pixel x Pixel)	Maximale Leistungsaufnahme	800 x 800	13 W	1024 x 768	22 W	1280 x 768	23 W	1280 x 1024	37 W	1600 x 1024	46 W	1600 x 1200	54 W	1920 x 1200	65 W
Bildschirm-auflösung (Pixel x Pixel)	Maximale Leistungsaufnahme																	
800 x 800	13 W																	
1024 x 768	22 W																	
1280 x 768	23 W																	
1280 x 1024	37 W																	
1600 x 1024	46 W																	
1600 x 1200	54 W																	
1920 x 1200	65 W																	
Garantiezeit (Monate bzw. Jahre)	<p>Eine Garantie ist eine freiwillige Zusatzleistung des Herstellers, die das Versprechen beinhaltet, dass die Ware oder bestimmte Teile eine gewisse Zeit halten.</p> <p>Für Geräte mit Garantie können Käufer üblicherweise Reparatur oder Ersatz fordern.</p>	<p>Achten Sie auf eine Garantiezeit von 3 Jahren auf den gesamten Bildschirm inklusive Hintergrundbeleuchtung. Alle von EcoTopTen empfohlenen Geräte verfügen über eine Garantie von 3 Jahren.</p>																

4.2 Bedeutung von Schadstoffen

Relevant sind hier vor allem:

- Produktion: Einsatz von zahlreichen, häufig toxischen Chemikalien; wichtig für Arbeits- und Umweltschutz.
- Schadstoffe im Produkt, die problematisch für Recycling bzw. Entsorgung sind oder während des Gebrauchs ausgasen können.

Bridgen und Santillo (2006) haben in einer Untersuchung von fünf Notebooks verschiedener Hersteller festgestellt, dass eine ganze Reihe an schädlichen Chemikalien in den Geräten enthalten war. Erwähnenswert sind insbesondere Bromverbindungen, die in allen Geräten nachgewiesen werden konnten. Sie gehen vermutlich auf die Verwendung von bromhaltigen Flammschutzmitteln zurück und ließen sich auch an der Oberfläche der Geräte sowie im

Lüfter nachweisen. Darüber hinaus wurden in einem Teil der Geräte Schwermetalle gefunden (z.B. Blei, Chrom).

Am 23. März 2005 wurde das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten, ElektroG) verabschiedet. Dieses setzt zwei zugrunde liegende **EU-Richtlinien um: die EU-Richtlinie 2002/96/EG über Elektro- und Elektronik-Altgeräte** (so genannte „WEEE-Richtlinie“) und die **EU-Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten** (so genannte „RoHS-Richtlinie“). Zum einen dürfen besonders schädliche Substanzen wie Blei, Quecksilber, Cadmium oder bestimmte Bromverbindungen ab Juli 2006 in den meisten Geräten nicht mehr verwendet werden (Ausnahmen müssen bei der EU-Kommission beantragt werden). Alte, nicht mehr genutzte Geräte, die entsorgt werden sollen, können Verbraucher seit März 2006 kostenlos bei kommunalen Sammelstellen abgeben. Dies gilt sowohl für „historische Altgeräte“ (die vor dem 13.08.2005 in Verkehr gebracht wurden) als auch für „neue Altgeräte“ (die nach dem 13.08.2005 in Verkehr gebracht wurden). Die Hersteller sind verpflichtet, die gesammelten Geräte zurückzunehmen und nach dem Stand der Technik sicher zu entsorgen. Die im ElektroG genannten Entsorgungs- und Recyclingquoten müssen seit dem 31.12.2006 eingehalten werden.

Quecksilber in Lampen ist vom Verbot ausgenommen, wobei die Kommission u.a. vorrangig die Verwendungen von Quecksilber in stabförmigen Leuchtstofflampen für besondere Verwendungszwecke überprüfen muss. Seit 1. Juli 2006 liegt der Hg-Grenzwert in CCFL für neue Geräte bei 5 mg pro Röhrrchen (EMPA, SWICO Recycling 2011). Den CCFL-Röhrrchen in Hintergrundbeleuchtungen von LCD-Flachbildschirmen ist das Quecksilber gasförmig enthalten. Das im Betrieb durch den Strom ionisierte Quecksilber gibt UV Licht ab, welches durch die Leuchtschicht in sichtbares Licht umgewandelt wird. Das Quecksilber amalgamiert mit zunehmender Betriebszeit an der Innenseite der Röhrrchen, was schließlich zu dessen Ausfall führt. Die Lebensdauer und Helligkeit hängen von der verwendeten Menge Quecksilber ab (Getters 2010, EMPA, SWICO Recycling 2011). Es wird davon ausgegangen, dass die CCFL-Röhrrchen pro Stück zwischen 4 und 5 mg Quecksilber enthalten (Socolof et al. 2005), wobei andere Schätzungen von 5 bis 10 mg ausgehen (King County Solid Waste 2008). (McDonnell 2010) geht aufgrund von Herstellerangaben von einem Durchschnitt von 3.5 mg Hg pro Röhrrchen aus. Prakash et al. (2011b) schätzen die Quecksilbermenge in einem 15 Zoll Notebookbildschirm auf 7 mg. Entscheidend ist nicht so sehr die Länge der Röhrrchen, sondern deren Anzahl, d.h. kurzen und langen Röhrrchen wird in etwa die gleiche Menge Quecksilber zudosiert (EMPA, SWICO Recycling 2011). Bei den Computerbildschirmen sind die CCFL meist oben und unten paarweise eingebaut. Computerbildschirme verfügen damit je nach Bildschirmdiagonale damit über zwei, vier, sechs oder acht CCFL (EMPA, SWICO Recycling 2011).

Groß et al. (2008) haben im Rahmen des RoHS-Reviews weitere gefährliche Substanzen in Elektro- und Elektronikgeräten identifiziert und klassifiziert. Die Definition „gefährlicher Substanzen“ wurde nach den folgenden Inventarkriterien festgelegt:

1. Substanzen, die die Kriterien der gefährlichen Substanzen erfüllen, wie sie in der EU-Direktive 67/548/EEC beschrieben sind;
2. Substanzen, die gemäß REACH die Kriterien der „besonders Besorgnis erregenden Substanzen“ (Substances of Very High Concern, SVHC) erfüllen;
3. Substanzen, die in Menschen und Biotopen giftig wirken können.
4. Substanzen, die bei der Sammlung und Verarbeitung von Elektro- und Elektronikgeräten gefährliche Substanzen bilden können.

Die folgende Abbildung zeigt die Definition bzw. den Geltungsbereich von „gefährlichen Substanzen“ in Elektro- und Elektronikgeräten gemäß Groß et al. (2008).

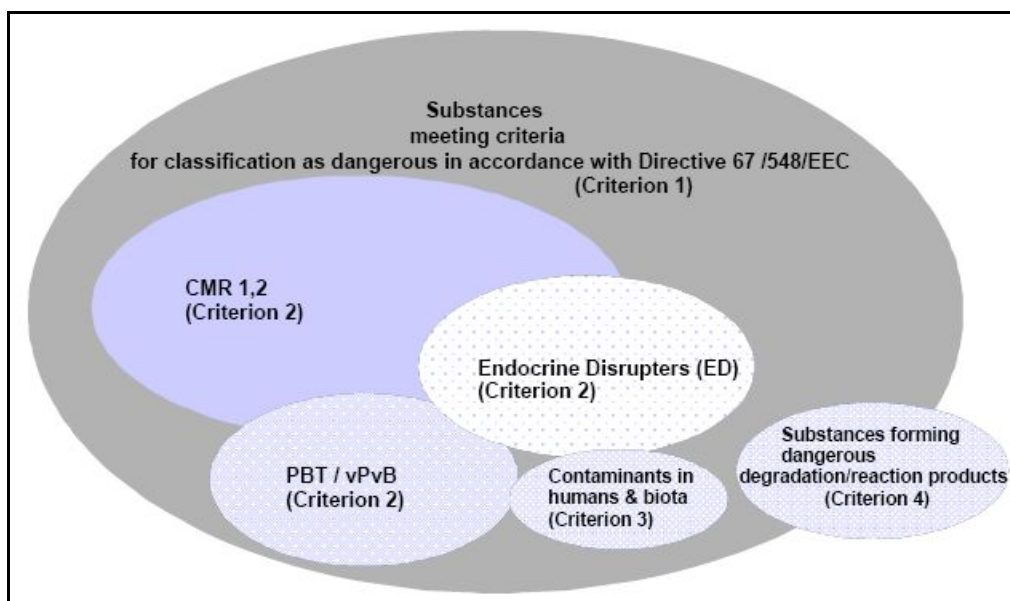


Abbildung 11 Kriterien für „gefährliche Substanzen“ in Elektro- und Elektronikgeräten (Quelle: Groß et al. 2008)

Die Prüfung der gefährlichen Substanzen in Elektro- und Elektronikgeräten ergab, dass 64 Substanzen und Substanzgruppen (z.B. kurzkettige Chlorparaffine) in Elektro- und Elektronikgeräten die Kriterien für „gefährliche Substanzen“ gemäß EU-Direktive 67/548/EEC erfüllen. Durch die Anwendung der weiteren Inventarkriterien (Punkt 2 und 3) wurden weitere 14 Substanzen identifiziert, die als gefährliche Substanzen hoher Priorität klassifiziert werden können. Ein paar Beispiele für auf diese Art und Weise identifizierte gefährliche Substanzen in Elektro- und Elektronikgeräten (EEE – Electrical and electronic equipment) sind:

Tabelle 8 Beispiele für gefährliche Substanzen hoher Priorität in EEE, die die Kriterien der Direktive 67/548/EEC für gefährliche Substanzen erfüllen (Quelle: Groß et al. 2008)

Substanz	Anwendung in EEE	Menge in EEE [t/a in EU]
Tetrabromobisphenol A (TBBP-A)	Reactive FR in epoxy and polycarbonate resin, Additive FR in ABS	40.000
Hexabromocyclodecane (HBCDD)	Flame retardant in HIPS, e.g. in audio-visual equipment, wire, cables	210
Medium-chained chlorinated paraffin (MCCP) (Alkanes, C14-17, chloro)	Secondary plasticizers in PVC; flame retardants	Total use: up to 160.000, however no data available on share of EEE applications
Short-chained chlorinated paraffin (SCCP) (Alkanes, C10-13, chloro)	Flame retardant	No reliable data available
...

Eine Studie des schwedischen Forschungsinstituts ChemSec – the International Chemical Secretariat – zeigt aber, dass es momentan 155 Produkte der RoHS-Kategorie 3, sprich Informations- und Kommunikationstechnologie, auf dem Markt gibt, die frei oder annähernd frei von bromierten Flammschutzmitteln und PVC sind (ChemSec 2010), darunter 30 Computerbildschirme. Einige Beispiele solcher Computerbildschirme sind in Abbildung 12 zu sehen:



Abbildung 12 Ausschnitt aus der ChemSec Studie (ChemSec 2010)

4.3 Recycling

Ein LCD-Computerbildschirm besteht aus Gehäuse, Standfuß, Kabel, dem LCD-Modul sowie elektronischen Komponenten. Das LCD-Modul besteht aus dem LCD-Panel, der Hintergrundbeleuchtung und elektronischen Bauteilen. Das LCD-Panel besteht aus zwei Kunststoffscheiben, mit der darin eingeschlossenen LCD-Flüssigkeit, verschiedenen Filter- und Diffusorfolien sowie einer transparenten Schutzplatte, welche sandwichartig in einem Rahmen zusammengehalten werden (EMPA, SWICO Recycling 2011). Die folgende Abbildung 13 zeigt die Bauteile von LCD-Bildschirmen:



Abbildung 13 Bauteile von LCD-Bildschirmen (EMPA, SWICO Recycling 2011)

Computerbildschirme enthalten neben verschiedenen Schadstoffen, wie Quecksilber (siehe Abschnitt 4.1.4) auch Edel- und Sondermetalle mit hohem intrinsischem Materialwert und einer z.T. strategischen Bedeutung für wichtige Nachhaltigkeitstechnologien (z.B. Indium). Die folgende Tabelle 9 schlüsselt die Materialzusammensetzung eines typischen Bildschirms auf:

Tabelle 9 Zusammensetzung von LCD-Computerbildschirmen (EMPA, SWICO Recycling 2011)

Zusammensetzung	(%)	(kg)
Metalle	39	1,7
Kabel	2,5	0,1
Glas	-	-
Kunststoff	36,5	1,5
Leiterplatten	8,5	0,4
LCD Anzeigen	9,5	0,4
Hintergrundbeleuchtung	1	0,1
Abfall	3	0,1
Gesamt	100	4,3

Die Konzentration für verschiedene Edel- und Sondermetalle wird eingeschätzt, in folgender Tabelle 10 dargestellt und mit einer aktuellen, nicht veröffentlichten, Studie des Öko-Instituts (Buchert et al. 2012) verglichen:

Tabelle 10 Gehalt von Edel- und Sondermetallen in LCD Computerbildschirmen²¹ (eigene Berechnung)

Metall	(%) ²²	(g)	Buchert et al. (2012) (g) ²³
Gold (Au)	$3,94 \times 10^{-5}$	0,169	0,20
Silber (Ag)	$1,02 \times 10^{-4}$	0,439	0,52
Kupfer (Cu)	$6,1 \times 10^{-2}$	262,29	k.A.
Nickel (Ni)	$7,26 \times 10^{-4}$	3,122	k.A.
Palladium (Pd)	$8,06 \times 10^{-6}$	0,0347	0,040
Antimon (Sb)	$3,15 \times 10^{-5}$	0,135	k.A.
Zinn (Sn)	$1,04 \times 10^{-4}$	0,448	k.A.
Zink (Zn)	$2,03 \times 10^{-4}$	0,871	k.A.

In Tabelle 10 konnte der Anteil des Indiums nicht eingeschätzt werden. Die heute wichtigste Verwendung von Indium ist in der Form von Indium Zinnoxid (ITO) in Flachbildschirmdisplays und in der Photovoltaik. Indium Zinnoxid (ITO)-Schicht ist eine transparent-leitfähige und teilweise strukturierte Elektrodenschicht auf den Innenseiten der beiden Glaspanels (Glassubstrate), die die Grundlage der LCD-Flachbildschirmtechnologie bildet. Die ITO-Verbindung bildet sich aus 90% In_2O_3 und 10% SnO_2 , was einen Massenanteil von 78%

²¹ Berechnungsgrundlage: Gewicht des Bildschirms 4,3 kg (EMPA, SWICO Recycling 2011)

²² Quelle: Huisman et al. 2007 (WEEE Kategorie 3C)

²³ Buchert, M.; Manhart, A.; Bleher, D.; Pingel, D. Recycling kritischer Rohstoffe aus Elektronik-Altgeräten, im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2012 (in Bearbeitung)

Indium im ITO ergibt (Fraunhofer ISI und IZT, 2009). Während in LCD-Panels zwei ITO-Schichten eingebaut werden, um die Flüssigkristalle und damit die Leuchtstärke des Bildschirms zu regulieren, wird in den Plasma- und OLED-Bildschirmen nur eine Schicht eingebaut, da nur die dem Betrachter zugewandte Elektrode transparent sein muss (EMPA, SWICO Recycling 2011). Die folgende Tabelle illustriert, wie unterschiedlich der Indium-Gehalt in LCD-Flachbildschirmen geschätzt wird:

Tabelle 11 Literaturwerte zu Schichtdicke und Indiumgehalt von LCD-Computerbildschirmen (Quelle: EMPA, SWICO Recycling 2011)

	Angerer, Erdmann et al. 2009	Socolof et al. 2005	Martin 2009	Becker, Simon-Hettich et al. 2003	Becker, Simon-Hettich et al. 2003	Bog-danski 2009	Bog-danski 2009	Böni & Widmer 2011
mg ITO/m ²	4000	7176	700	192	240	72	192	300
nm/layer	1667	2990	292	80	100	30	80	125
mg In/m ²	3120	5597	546	150	187	56	150	234

EMPA, SWICO Recycling (2011) schätzen den Indium-Gehalt bei 0,234 g Indium/m².

In der folgenden Tabelle wird das Indiumgehalt für einen durchschnittlichen Computerbildschirm (mittlere Bildschirmfläche 0,1126 m²) abgeschätzt:

Tabelle 12 Indiumgehalt pro LCD-Computerbildschirm

	Angerer, Erdmann et al. 2009	Socolof et al. 2005	Martin 2009	Becker, Simon-Hettich et al. 2003	Becker, Simon-Hettich et al. 2003	Bog-danski 2009	Bog-danski 2009	Böni & Widmer 2011
mg In/Gerät	351,3	630,2	61,4	16,9	21,1	6,3	16,9	26,3
g In/Gerät	0,351	0,63	0,061	0,017	0,021	0,006	0,017	0,026

Buchert et al. (2012) schätzen, dass ein durchschnittlicher Computerbildschirm 0,079 g Indium enthält. Einer weiteren Abschätzung zufolge enthält ein durchschnittlicher Notebookbildschirm ca. 0,05 g von ITO (Prakash et al. 2011b), was ein Indiumgehalt von 0,039 g pro Notebookbildschirm bedeutet.

Umwelt- und Ressourcengerechtes Recycling von Computerbildschirmen setzt voraus, dass die Schadstoffe sorgfältig entsorgt und die Edel- und Sondermetalle mit wenigen Verlusten zurückgewonnen werden können. Huisman et al. 2007 erwähnen allerdings Folgendes bezüglich des Recyclings der LCD-Bildschirme:

“...for LCD containing appliances, no satisfactory full scale recycling operations have been identified yet. Full dismantling, partial dismantling (which still has a high risk of breakage), and shredding as described above, have similar negative effects on the environment and human health and cannot currently be recommended as suitable disposal routes. This means options that can enable proper control over the mercury contents as well as recovery of the valuable metal content still have to be developed. Without such further insights it is also not possible to give any design for recycling recommendation although easier dismantling of the Hg backlights could reduce dismantling costs significantly. There are additional concerns regarding how an easier dismantling system could have potentially negative impact due to accidental breakages during the collection and transportation phase.”

EMPA, SWICO Recycling (2011) untersuchten drei Recycling- und Entsorgungsvarianten für Flachbildschirme:

- Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen
 - ohne Zerlegung
 - nach Entfernung von Standfuß, Kabel und Gehäuse
 - nach Entfernung von Standfuß, Kabel und Gehäuse, zusätzliche Zerlegung in Metall- und Kunststofffraktionen, Leiterplatten sowie LCD-Modul
- Mechanische Verarbeitung
 - ohne Zerlegung
 - nach Entfernung von Standfuß, Kabel und Gehäuse.
- Manuelle Zerlegung
 - Entfernung von Standfuß, Kabel und Gehäuse
 - nach Entfernung von Standfuß, Kabel und Gehäuse, zusätzliche Zerlegung in Metall- und Kunststofffraktionen, Leiterplatten sowie LCD-Modul
 - nach Entfernung von Standfuß, Kabel und Gehäuse, und Zerlegung in Metall- und Kunststofffraktionen, Leiterplatten sowie LCD-Modul, zusätzliche Zerlegung des LCD-Moduls in LCD-Panel und CCFL-Hintergrundbeleuchtung. Das LCD Panel kann zur Rückgewinnung des Indiums in eine Edelmetallschmelze gelangen, resp. in einer KVA verbrannt werden.

Die Untersuchung von EMPA, SWICO Recycling (2011) kommt zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Die Verbrennung von Flachbildschirmen in Müllverbrennungsanlagen würde zu einem geringen Anstieg der gesamten Quecksilberfracht führen. Flachbildschirme sind jedoch angesichts des geringen Heizwertes wenig geeignet für eine thermische Verwertung. Zudem gehen je nach Tiefe der vorangehenden manuellen Zerlegung mehr oder

weniger Wertstoffe verloren. Eine Verbrennung entspricht zudem nicht dem Stand der Technik.

- Bei einer mechanischen Verarbeitung wird das in der CCFL-Hintergrundbeleuchtung vorhandene Quecksilber zu einem größeren Anteil an verschiedenen Stellen der Anlage gasförmig emittiert. Das an das Material anhaftende Quecksilber reichert sich in den Feinfraktionen an. Ein unbestimmter Anteil wurde sich über die Anlage verteilen. Die Anhaftungen an den metallenen Wertstoffen waren vermutlich gering. Das Emissionsverhalten des Quecksilbers bei einer mechanischen Verarbeitung ist abhängig vom Material, dem Durchsatz und der Umgebungstemperatur.
- Auf dem Markt werden Kompaktanlagen angeboten, welche gemäß Herstellerangaben weitgehend quecksilberfreie und damit verwertbare Fraktionen erzeugen und welche die gasförmigen Emissionen kontrollieren können. Bis heute liegen jedoch keine unabhängigen Messungen an solchen Anlagen vor, welche die Versprechen der Hersteller belegen.
- Bei der manuellen Zerlegung von Flachbildschirmen bestehen sowohl bei PC Bildschirmen, als auch bei TV-Geräten nur geringe Bruchraten. Selbst bei erhöhten Bruchraten erreichen im Arbeitsbereich der Zerleger die Quecksilberimmissionen die MAK-Werte nicht. Kritisch sind jedoch diejenigen Orte, wo zerbrochene Lampen in konzentrierter Form gelagert werden. Dort werden die MAK-Werte²⁴ regelmäßig überschritten. Bei TV-Geräten ist die Bruchgefahr am höchsten, während sie bei PC-Bildschirmen relativ unbedeutend ist.

Bezüglich der Rückgewinnung von Indium empfiehlt die Studie, eine Zwischenlagerung der indiumhaltigen LCD-Panels, denn es gibt bis heute kein technisches Verfahren in Europa, welches die Rückgewinnung des Indiums aus Flachbildschirmen (gewinnbringend) ermöglicht.

²⁴ maximale Arbeitsplatzkonzentration, Bezugsland: Schweiz

5 Ökobilanz und Lebenszykluskostenrechnung

Anhand der orientierenden Ökobilanz sowie der Analyse der Lebenszykluskosten soll ein Eindruck über Umweltauswirkungen und Lebenszykluskosten von Computerbildschirmen ermittelt werden. Die Ergebnisse bieten eine Orientierungshilfe zur Frage, wo die Verbesserungspotentiale in dieser Produktgruppe liegen.

5.1 Lebenszyklusanalyse

Im Folgenden werden die Ergebnisse einer orientierenden Ökobilanz von Computerbildschirmen dargestellt. Datengrundlage für die Herstellung und Entsorgung bildet dabei die EuP Studie zu Computern, die im Rahmen der EU-Ökodesign-Richtlinie für energiebetriebene Produkte erstellt wurde.²⁵ Für die Nutzungsphase wurden diese Daten mit Angaben zum deutschen Strommix verknüpft.

5.1.1 Funktionelle Einheit

Die der orientierenden Ökobilanz zugrunde gelegte funktionelle Einheit ist die jährliche Nutzung eines Computerbildschirms in einem privaten Zwei-Personen-Haushalt.

Als Referenzmodelle werden zwei LCD-Flachbildschirme spezifiziert, einer mit einer Bildschirmdiagonale von 17 Zoll und einer mit 21 Zoll. Die für die nachfolgenden Berechnungen angenommene Lebensdauer wurde von EuP 2007 übernommen und beträgt 6,6 Jahre. Darin ist auch das sogenannte „second life“ von Bildschirmen berücksichtigt.

Tabelle 13 Spezifikation der betrachteten Geräte

	Größe	Auflösung	Gewicht	Nutzungsdauer
LCD-Bildschirm 17 Zoll	17 Zoll	1780 x 1024	6 kg	6,6 Jahre
LCD-Bildschirm 21 Zoll	21 Zoll	1780 x 1024	7,5 kg	6,6 Jahre

5.1.2 Systemgrenzen

Folgende Teilprozesse werden bei der orientierenden Ökobilanz berücksichtigt:

- Herstellung eines LCD-Bildschirms,
- Nutzung des Geräts in einem privaten Zwei-Personen-Haushalt über ein Jahr,
- Entsorgung des Bildschirms.

²⁵ Preparatory studies for Eco-design Requirements of EuPs, Lot 3: Personal Computers (desktops and laptops) and Computer Monitors, 2007.

Herstellung

Die Daten zur Herstellung eines LCD-Bildschirms wurden wie bereits erwähnt der EuP-Studie entnommen, die die Materialzusammensetzungen von LCD-Bildschirmen und die daraus resultierenden Umweltauswirkungen beinhaltet.

Nutzung

Um die Umweltauswirkungen der Nutzungsphase zu berechnen wurde der durchschnittliche Stromverbrauch von LCD-Bildschirmen ermittelt. Basis dafür bildete die ENERGY-STAR Datenbank²⁶ (Stand August 2010).

Das Nutzerverhalten wurde von EuP übernommen und setzt sich zusammen aus 1.289 Stunden On-Modus, 2.636 Stunden Sleep-Modus und 4.835 Stunden Off-Modus pro Jahr. Verknüpft man diese Werte mit den Leistungsaufnahmen der durchschnittlichen sowie effizienten Geräte in den einzelnen Betriebsmodi (vgl. Tabelle 14), erhält man den in Tabelle 15 dargestellten jährlichen Stromverbrauch.

Tabelle 14 Leistungsaufnahmen der Durchschnittgeräte sowie eines Umweltzeichengeräts

LCD-Bildschirm	Leistungsaufnahme im On-Modus (Watt)	Leistungsaufnahme im Sleep-Modus (Watt)	Leistungsaufnahme im Off-Modus (Watt)
17 Zoll	21,23	0,99	0,49
21 Zoll	30,13	0,86	0,8
Umweltzeichengerät	15,04	1,0 ²⁷	0,5

Tabelle 15 Jährlicher Energieverbrauch eines Durchschnittsgeräts sowie eines Umweltzeichengeräts

LCD-Bildschirm	Stromverbrauch Durchschnittsgerät (kWh/a)	Stromverbrauch Effizientes Gerät (kWh/a)	Abweichung (%)
17 Zoll	32,34	24,44	24
21 Zoll	44,97	24,44	46

Wie aus der Tabelle ersichtlich, verbraucht ein durchschnittlicher 17-Zoll-LCD-Bildschirm rund 32 kWh, ein 21-Zoll-Bildschirm rund 45 kWh Strom. Durch den Einsatz von effizienten Geräten könnte der Stromverbrauch gegenüber dem kleineren Bildschirm um 24% gesenkt werden; gegenüber dem Gerät mit einer Bildschirmdiagonale von 21 Zoll sogar um 46%.

²⁶ <http://www.eu-energystar.org/de/database/?cmd=selectform;table=monitor>

²⁷ Es handelt sich hier um einen fiktiven maximal erlaubten Wert, der in der Praxis oft unterschritten wird.

Entsorgung

Seit dem 1. Juli 2006 verbietet das Elektro- und Elektronikgerätegesetz²⁸ (Umsetzung der EU-Richtlinien 2002/96/EG²⁹ und 2002/95/EG³⁰ im Deutschen Recht) Geräteherstellern Blei, Cadmium, Quecksilber, bestimmte Chromverbindungen oder bromhaltige Flammschutzmittel zu verwenden. Außerdem dürfen Altgeräte oder auch Einzelteile nicht im Restmüll entsorgt werden, sondern müssen bei den jeweiligen Sammelstellen kostenfrei abgegeben werden.

5.1.3 Betrachtete Wirkungskategorien

Folgende Wirkungskategorien werden in der orientierenden Ökobilanz betrachtet (Erläuterungen zu den Wirkungskategorien siehe Anhang):

- Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA),
- Treibhauspotential (GWP),
- Versauerungspotential (AP).

In der folgenden Tabelle 16 sind die Umweltauswirkungen eines 17-Zoll-LCD-Bildschirms dargestellt, jeweils eines Durchschnittsgeräts und eines effizienten Geräts.

Tabelle 16 Absolute Ergebnisse der Umweltauswirkungen des 17-Zoll-Bildschirms, mit einer Nutzungsdauer von 6,6 Jahren

	Herstellung	Nutzung		Entsorgung	Summe	
		Durchschnittsgerät	Umweltzeichengerät		Durchschnittsgerät	Umweltzeichengerät
KEA [MJ/a]	1.177,00	2.155,06	1.628,63	48,00	3.380,06	2.853,63
GWP [kg CO ₂ eq./a]	70,00	127,93	96,68	4,00	201,93	170,68
AP [kg SO ₂ eq./a]	0,32	0,17	0,13	0,008	0,50	0,46

Tabelle 16 zeigt, dass das Treibhauspotenzial des Umweltzeichengeräts etwa 15% geringer ist als das eines Durchschnittsgeräts.

²⁸ Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten, BGBl, 2005, Teil I, Nr. 17 (23.05.2005)

²⁹ Directive on Waste from Electrical and Electronic Equipment, RL 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Elektro- und Elektronik-Altgeräte vom 27.01.2003

³⁰ Directive on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, ABI Nr. L 37, 13.02.2003

Tabelle 17 Prozentualen Anteile der Umweltauswirkungen eines 17-Zoll-Bildschirms (Durchschnittsgerät)

	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Summe
KEA [MJ/a]	34,8%	63,8%	1,4%	100,0%
GWP [kg CO ₂ eq./a]	34,7%	63,4%	2,0%	100,0%
AP [kg SO ₂ eq./a]	64,4%	34,0%	1,6%	100,0%

Tabelle 18 Prozentuale Anteile der Umweltauswirkungen eines effizienten 17-Zoll-Bildschirms

	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Summe
KEA [MJ/a]	41,2%	57,1%	1,7%	100,0%
GWP [kg CO ₂ eq./a]	41,0%	56,6%	2,3%	100,0%
AP [kg SO ₂ eq./a]	70,2%	28,1%	1,7%	100,0%

Wie aus den oben stehenden Tabellen 17 und 18 deutlich wird, trägt beim Durchschnittsgerät hauptsächlich die Nutzungsphase zu den Umweltbelastungen bei. Beim kumulierten Energieaufwand hat sie einen Anteil von 64% und beim Treibhauspotenzial von 63%. Aufgrund des geringeren Stromverbrauchs ist die Nutzungsphase des effizienten Geräts nicht ganz so dominant, aber immerhin trägt sie mit 57% zum kumulierten Energieaufwand und ebenfalls zu 57% zum Treibhauspotenzial bei. Für das Versauerungspotenzial spielt die Nutzungsphase mit einem Anteil von 34% (Durchschnittsgerät) und 28% (effizientes Gerät) eine vergleichsweise geringere Rolle.

In der nachstehenden Tabelle 19 sind die Umweltauswirkungen eines 21-Zoll-Bildschirms dargestellt, jeweils eines Durchschnittsgeräts und eines effizienten Geräts.

Tabelle 19 Absolute Ergebnisse der Umweltauswirkungen eines 21-Zoll-Bildschirms, mit einer Nutzungsdauer von 6,6 Jahren

	Herstellung	Nutzung		Entsorgung	Summe	
		Durchschnittsgerät	Umweltzeichengerät		Durchschnittsgerät	Umweltzeichengerät
KEA [MJ/a]	1.572,90	2.996,70	1.628,63	66,55	4.636,14	3.268,07
GWP [kg CO ₂ eq./a]	91,57	177,89	96,68	5,97	275,43	194,22
AP [kg SO ₂ eq./a]	0,43	0,24	0,13	0,012	0,68	0,57

Die Tabelle 19 zeigt, dass das Treibhauspotenzial des Umweltzeichengeräts fast 30% geringer ist als das eines Durchschnittsgeräts.

Tabelle 20 Prozentuale Anteile der Umweltauswirkungen eines 21-Zoll-Bildschirms (Durchschnittsgerät)

	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Summe
KEA [MJ/a]	33,9%	64,6%	1,4%	100,0%
GWP [kg CO ₂ eq./a]	33,2%	64,6%	2,2%	100,0%
AP [kg SO ₂ eq./a]	63,5%	34,7%	1,8%	100,0%

Tabelle 21 Prozentuale Anteile der Umweltauswirkungen eines effizienten 21-Zoll-Bildschirms

	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Summe
KEA [MJ/a]	48,1%	49,8%	2,0%	100,0%
GWP [kg CO ₂ eq./a]	47,1%	49,8%	3,1%	100,0%
AP [kg SO ₂ eq./a]	75,5%	22,4%	2,1%	100,0%

Auch bei den Bildschirmen mit einer Bildschirmdiagonale von 21 Zoll hat die Nutzungsphase den höchsten Einfluss auf die Umweltbelastungen: 65% (Durchschnittsgerät) bzw. 50% (effizientes Gerät) des kumulierten Energieverbrauchs sowie des Treibhauspotenzials werden in der Nutzungsphase verursacht. Mit einem Anteil von 35% für einen Durchschnittsbildschirm und einem Anteil von 22% für einen effizienten Bildschirm hat die Nutzungsphase einen vergleichsweise geringen Beitrag am Versauerungspotenzial.

Vergleich mit anderen Studien, die die lebenszyklusbezogenen Umweltauswirkungen eines LCD-Flachbildschirms ermittelt haben, zeigt allerdings ein deutlich anderes Bild. Andrae & Anderson (2010) zitieren die Studie Socolof et al. (2005), in der die Treibhausgasemissionen eines LCD-Flachbildschirms insgesamt 590 kg CO₂e beträgt, wovon die Herstellung und der Transport 71% (418 kg CO₂e) und die Nutzung nur 29% (165 kg CO₂e) ausmachen.

Insgesamt ist die Datenlage zu Umweltauswirkungen der Computerbildschirmherstellung und Entsorgung momentan noch mangelhaft. Außerdem kann von einer breiten Streuung der Daten ausgegangen werden, je nachdem in welchem Land und mit welcher Technologie die einzelnen Komponenten hergestellt werden. So hat China vergleichsweise hohe Energiebedarfe im Gegensatz zu Japan. Unbefriedigend ist die Datenlage auch bezüglich human- und ökotoxischer Wirkungen sowie der Gewinnung von seltenen Metallen. Außerdem haben die Annahmen zur täglichen Nutzungsdauer sowie der gesamten Lebensdauer einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse.

Auf der anderen Seite sind nicht nur der geografische Produktionsstandort und die angewandte Technologien ausschlaggebend für die Unterschiede in den Umweltauswirkungen in der Herstellungsphase. Prakash et al. (2011d) und Andrae & Anderson (2010) vermuten, dass die breite Streuung in den Umweltauswirkungen der Herstellungsphase durch die unterschiedlichen Datengrundlagen, die Auswahl der Systemgrenzen und die Nutzung unterschiedlicher IKT-Datenbanken zurückzuführen ist.

Andrae & Anderson (2010) und Prakash et al. (2011c) schlussfolgern, dass die EuP-Studie zu Computern die Treibhausgasbilanz (CO₂e) der Herstellung der elektronischen Komponenten sowie der Flachbildschirme unterschätzt.

Nichtsdestotrotz ist die im Rahmen dieser PROSA-Studie berechnete Ökobilanz an die Daten der Herstellungs- sowie Entsorgungsphase aus der EuP-Studie zu Computern entnommen, da es sich hier nur um eine orientierende Ökobilanz handelt. Allerdings dienen die Berechnungen der lebenszyklusbezogenen Treibhausgasbilanz der anderen Studien, wie Andrae & Anderson (2010) und Prakash et al. (2011c), als eine Art Sensitivitätsanalyse der orientierenden Ökobilanzberechnung der PROSA-Studie. Wichtig ist vor allem die Erkenntnis, dass die Herstellungsphase deutlich mehr zu den Gesamtumweltauswirkungen beiträgt als bisher vermutet.

Da keine repräsentativen Daten zu den Umweltauswirkungen bzw. Datensätze über die LED-Technologie von Bildschirmen vorlagen, konnten die Umweltauswirkungen dieser Technologie nicht ermittelt werden.

5.2 Analyse der Lebenszykluskosten

In der vorliegenden Studie werden die Kosten aus Sicht der privaten Haushalte berechnet.

Berücksichtigt wurden folgende Kostenarten:

- Investitionskosten (Kosten für die Anschaffung eines Computerbildschirms),
- Betriebs- und Unterhaltskosten:
 - Stromkosten,
 - Reparaturkosten,
- Entsorgungskosten.

5.2.1 Investitionskosten

Der Preis für die Anschaffung eines Computerbildschirms hängt stark von der Größe und Auflösung des jeweiligen Geräts ab. Die von der Zeitschrift ct getesteten Geräte wiesen eine Preisspanne von 150 bis 500 Euro auf. Der mittlere Preis lag bei rund 240 Euro und wird für die nachfolgenden Berechnungen angesetzt. Bei der angenommenen Lebensdauer von 6,6 Jahren ergeben sich somit jährliche Anschaffungskosten in Höhe von rund 36 Euro.

5.2.2 Stromkosten

Der Strompreis setzt sich in der Regel aus einem monatlichen Grundpreis und einem Preis pro verbrauchte Kilowattstunde zusammen. Mit Hilfe des durchschnittlichen jährlichen Energieverbrauchs verschiedener Haushaltsgrößen kann ein durchschnittlicher Kilowatt-

stundenpreis bei einem entsprechenden Jahresstromverbrauch errechnet werden. Der Grundpreis wurde mit eingerechnet.

Tabelle 22 gibt einen Überblick über die Strompreise für unterschiedliche Haushaltsgrößen. In den vorliegenden Berechnungen wird mit dem Strompreis für einen durchschnittlichen Haushalt (0,264 €/kWh) gerechnet.

Tabelle 22 Strompreise für unterschiedliche Haushaltsgrößen³¹

Haushaltsgröße	kWh-Preis (inkl. Grundgebühr)
<i>Durchschnitt</i>	0,264 €
1-Pers-HH	0,280 €
2-Pers-HH	0,264 €
3-Pers-HH	0,260 €
4-Pers-HH	0,256 €

Wendet man diesen Strompreis auf den Stromverbrauch der Computerbildschirme an ergeben sich die in Tabelle 23 dargestellten jährlichen Stromkosten.

Tabelle 23 Stromverbrauch und -kosten der Computermonitore

Computermonitor	Stromverbrauch (kWh/a)	Stromkosten (€/a)
17 Zoll	32,34	8,54
21 Zoll	44,97	11,87
Umweltzeichengerät	24,44	6,45

Aufgrund des vergleichsweise niedrigen Stromverbrauchs fallen für das Umweltzeichengerät jährliche Kosten in Höhe von knapp 7 Euro an. Der 17-Zoll-Bildschirm verursacht Stromkosten von fast 9 Euro und der 21-Zoll-Bildschirm von rund 12 Euro.

5.2.3 Reparaturkosten

Zu Reparaturkosten von Computerbildschirme konnten keine repräsentativen Daten ermittelt werden. Es ist zudem davon auszugehen, dass defekte Bildschirme nach ihrer Garantiezeit nicht mehr repariert, sondern durch neue Geräte ersetzt werden. Reparaturkosten bleiben in der Studie folglich unberücksichtigt.

³¹ Eigene Recherche, Stand: März 2011. Die Größe eines durchschnittlichen Haushalts liegt bei 2,04 Personen (Statistisches Bundesamt 2011, www.destatis.de)

5.2.4 Entsorgungskosten

Seit dem 24. März 2006 sind die Hersteller für die Rücknahme und Entsorgung der Altgeräte (finanz-)verantwortlich. In der vorliegenden Untersuchung werden daher keine zusätzlichen Entsorgungskosten angenommen.

5.2.5 Ergebnisse der Lebenszykluskostenanalyse

Die jährlichen Gesamtkosten setzen sich aus den anteiligen Anschaffungskosten und den Kosten für Strom zusammen, wie in Tabelle 24 veranschaulicht ist. Wie bereits erwähnt fallen für die Entsorgung keine Kosten an.

In der Tabelle 24 sind die Durchschnittsgeräte dem Umweltzeichengerät gegenübergestellt, um die Kosteneinsparung, die sich mit der Nutzung eines solchen Geräts ergibt, aufzuzeigen.

Tabelle 24 Kostenvergleich der Gerätetypen bezogen auf ein Jahr

Computerbildschirm	Anteilige Anschaffungskosten [€/a]	Stromkosten [€/a]	Jährliche Gesamtkosten [€/a]
17 Zoll	36,36	8,54	44,90
21 Zoll	36,36	11,87	48,23
Umweltzeichengerät	36,36	6,45	42,81

Wie aus der Tabelle hervorgeht fallen für den 17-Zoll-Bildschirm rund 45 Euro an jährlichen Gesamtkosten an. Für den 21-Zoll-Bildschirm ergeben sich jährliche Gesamtkosten in Höhe von 48 Euro. Mit jährlichen Kosten von 43 Euro ist das Umweltzeichengerät am günstigsten.

5.3 Konsumtrends

5.4 Nutzenanalyse

Die Analyse des Nutzens wird nach der Benefit-Analyse von PROSA durchgeführt. Dabei werden die drei Nutzenarten Gebrauchsnutzen, Symbolischer Nutzen und Gesellschaftlicher Nutzen qualitativ analysiert. Für die Analyse gibt PROSA jeweils Checklisten vor. Aufgrund der Besonderheiten einzelner Produktgruppen können einzelne Checkpunkte aus Relevanzgründen entfallen oder neu hinzugefügt werden. Die drei Checklisten sind am Anfang des jeweiligen Kapitels wiedergegeben.

5.4.1 Gebrauchsnutzen



Abbildung 14 Checkliste Gebrauchsnutzen

Bezüglich des Gebrauchsnutzens ergeben sich für Computerbildschirme folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile

- Bedarfsgerecht: Computerbildschirme sind in unterschiedlichen Größen und Ausstattungen erhältlich und daher an den persönlichen Bedarf anpassbar.
- Ergonomie: Computerbildschirme lassen sich unabhängig vom Rechner und der Tastatur auf dem Schreibtisch aufstellen und positionieren und erfüllen somit die gesetzlichen Bestimmungen für Bildschirmarbeitsplätze.

Nachteile

- Ersatzteile: Computerbildschirme müssen im Schadensfall meist komplett ausgetauscht werden.

5.4.2 Symbolischer Nutzen



Abbildung 15 Checkliste Symbolischer Nutzen

Viele Hersteller von Computerbildschirmen setzen auf das Design als ein entscheidendes Verkaufsargument und werben mit edel gestalteten Gehäusen oder neuesten Technologien und machen den Besitz eines Computerbildschirms zum Prestigeobjekt.

5.4.3 Gesellschaftlicher Nutzen



Abbildung 16 Checkliste Gesellschaftlicher Nutzen

Computerbildschirme sind vor allem aus folgendem Grund von gesellschaftlichem Nutzen: Ein auf die individuellen Nutzungsanforderungen angepasster Computerbildschirm hat einen vergleichsweise geringen Stromverbrauch und trägt dadurch zum Klimaschutz bei.

5.4.4 Zusammenfassung der Nutzenanalyse

Die Ergebnisse der Nutzenanalyse sind in Tabelle 25 zusammengefasst.

Tabelle 25 Zusammenfassung der Nutzenanalyse

Nutzen	Produktspezifische Aspekte
Gebrauchsnutzen	
Bedarfsgerecht	Computerbildschirme sind in unterschiedlichen Größen und Ausstattungen erhältlich und daher an den persönlichen Bedarf anpassbar.
Ergonomie	Computerbildschirme lassen sich unabhängig vom Rechner und der Tastatur auf dem Schreibtisch aufstellen und positionieren und erfüllen somit die gesetzlichen Bestimmungen für Bildschirmarbeitsplätze.
Symbolischer Nutzen	
Design	Mit edel gestalteten Gehäusen und der Ausstattung neuer Technologien werden Computerbildschirme zum Prestigeobjekt.
Gesellschaftlicher Nutzen	
Klimaschutz	Ein auf die individuellen Nutzungsanforderungen angepasster Computerbildschirm hat einen vergleichsweise geringen Stromverbrauch und trägt dadurch zum Klimaschutz bei.

6 Gesamtbewertung und Ableitung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen

6.1 Geltungsbereich

Bei der Definition der Computerbildschirme für deren Betrachtung für ein Umweltzeichen ist es erforderlich, diese von den Fernsehgeräten klar abzugrenzen. Immer mehr Fernsehgeräte sowie Computerbildschirme kommen mit eingebautem Tuner/Empfangsteil auf den Markt und werden deswegen für denselben Zweck der Wiedergabe von Sendehalten verwendet. Da aber der Stromverbrauch von Fernsehgeräten deutlich höher ist als der der Computerbildschirme, sollen diese getrennt betrachtet werden.

Außerdem sollen kleine Bildschirmgeräte, wie digitale Bilderrahmen, aus dem Geltungsbereich für Computerbildschirme ausgeschlossen werden, denn diese haben eine ganz andere Funktion als Computerbildschirme und weisen einen deutlich niedrigeren Stromverbrauch auf. Dieser Schritt kann durch die Festlegung einer Mindestbildschirmgröße oder einer sichtbaren Mindestbildschirmdiagonale vorgenommen werden.

Nicht zuletzt sollten die Kathodenstrahlröhrengeräte (CRT) nicht betrachtet werden, denn diese werden bald nicht mehr auf dem Markt vorhanden sein.

6.2 Energieverbrauch

Im Rahmen dieser PROSA-Studie wurde die ENERGY-STAR-Datenbank (Zugriff August 2011) zur Identifizierung effizienter, ineffizienter und durchschnittlicher Geräte herangezogen. Dabei wurden 85 Geräte mit einer Auflösung < 1,1 MP, 544 Geräte mit einer Auflösung > 1,1 MP und 43 Geräte für den professionellen Bereich ausgewertet.

Setzt man voraus, dass ein Umweltzeichen das Ziel hat, auf die ca. 20–30% besten der am Markt erhältlichen Produkte anwendbar zu sein, scheint es sinnvoll, dass der Grenzwert für den jährlichen Energieverbrauch eines stationären Computers die maximalen Anforderungen der ENERGY STAR-Version 5.0 um einen gewissen Prozentsatz übertrifft. Dabei wird angenommen, dass die Marktabdeckung der Geräte der ENERGY-STAR-Datenbank kontinuierlich zunimmt. Tabelle 26 zeigt, die erwartete Marktabdeckung der ENERGY-STAR-Geräte.

Tabelle 26 Marktabdeckung ENERGY STAR-Version 4.1 und 5.0 (Quelle: Working Document on Eco-design Requirements for Computers)

	Tier I	Tier II
	ENERGY STAR v4.1	ENERGY STAR v5.0
	After Jan-11	Oct-12
Monitors All/displays	95%	66%
Monitor 15-17 inches/displays	95%	69%
Monitor 18-22 inches/displays	95%	65%
Monitor 23-30 inches/displays	95%	68%

Wie aus Tabelle 26 deutlich hervorgeht, werden bis Oktober 2012 fast 66% der Bildschirme die Kriterien von Energy Star Version 5.0 erfüllen können. Aus diesen Gründen ist es empfehlenswert, die Grenzwerte eines Umweltzeichens ambitionierter festzulegen als Energy Star Version 5.0.

Die folgende Tabelle 27 zeigt die Auswertung der ENERGY-STAR-Datenbank im Hinblick auf die Identifizierung der effizientesten, ineffizientesten und durchschnittlichen Computerbildschirme:

Tabelle 27 Auswertung der ENERGY STAR Datenbank für Computerbildschirme (Stand August 2010)

	On-Modus (W)	Sleep-Modus (W)	Off-Modus (W)
Sichtbare Bilddiagonale < 30 Zoll; Zahl der Bildpunkte des Gerätes ≤ 1,1 MP; n = 85			
Mittelwert	13,59	0,45	0,35
Effizientestes Gerät (bzgl. ON-Modus)	6,18	0,38	0,35
Ineffizientestes Gerät (bzgl. ON-Modus)	16,5	0,55	0,45
Sichtbare Bilddiagonale < 30 Zoll, Zahl der Bildpunkte des Gerätes ≥ 1,1 MP; n = 544			
Mittelwert	21,49	0,49	0,38
Effizientestes Gerät (bzgl. ON-Modus)	10,12	0,22	0,13
Ineffizientestes Gerät (bzgl. ON-Modus)	36,91	0,53	0,51
Sichtbare Bilddiagonale 30–60 Zoll; n = 43			
Mittelwert	178,90	1,35	0,63
Effizientestes Gerät (bzgl. ON-Modus)	28,85	0,42	0,34
Ineffizientestes Gerät (bzgl. ON-Modus)	351,30	1,71	0,34

Nimmt man an, dass die effizienten Computerbildschirme 1,0 W im Sleep-Modus und 0,5 W im Off-Modus benötigen und legt man die ausgewerteten Daten der ENERGY-STAR-Datenbank zugrunde, könnten Grenzwerte für die Umweltzeichengeräte definiert werden, indem diese um einen gewissen Prozentsatz niedriger liegen als die vom ENERGY STAR. Die folgende Tabelle 28 zeigt, wie viele Geräte (n, %) die Grenzwerte einhalten würden, wenn die Anforderungen vom ENERGY STAR um gewisse Prozentsätze strenger wären:

Tabelle 28 Anzahl (n, %) der Geräte der ENERGY STAR Datenbank, die die vorgeschlagenen Grenzwerte erfüllen

	ENERGY STAR MINUS 10%		ENERGY STAR MINUS 20%		ENERGY STAR MINUS 30%	
	n	%	n	%	n	%
Sichtbare Bilddiagonale < 30 Zoll; Zahl der Bildpunkte des Gerätes ≤ 1,1 MP; n = 85	39	45,88	26	30,59	17	20,00
Sichtbare Bilddiagonale < 30 Zoll, Zahl der Bildpunkte des Gerätes ≥ 1,1 MP; n = 544	387	71,14	293	53,86	124	22,79
Sichtbare Bilddiagonale 30–60 Zoll; n = 43	8	18,60	6	13,95	4	9,30

Nach der oben beschriebenen Analyse der ENERGY-STAR-Datenbank werden folgende Grenzwerte für den On-Modus für die jeweilige Kategorie vorgeschlagen:

Tabelle 29 Vorschlag für die maximale Leistungsaufnahme im On-Modus für ein Umweltzeichen

Bildschirm Kategorie	Maximale Leistungsaufnahme in Watt (W)
Sichtbare Bilddiagonale < 30 Zoll Zahl der Bildpunkte des Gerätes ≤ 1,1 MP	$P_{UZ} = P_1 - (P_1 * 0,3)$ wobei $P_1 = 6 * (MP) + 0,05 * (A) + 3$
Sichtbare Bilddiagonale < 30 Zoll Zahl der Bildpunkte des Gerätes ≥ 1,1 MP	$P_{UZ} = P_2 - (P_2 * 0,3)$ wobei $P_2 = 9 * (MP) + 0,05 * (A) + 3$
Sichtbare Bilddiagonale 30 – 60 Zoll	$P_{UZ} = P_3 - (P_3 * 0,3)$ wobei $P_3 = 0,27 * (A) + 8$

P_{UZ} = maximal zulässige Leistungsaufnahme im ON-Modus;

MP = Millionen Pixel;

A = sichtbare Bildschirmfläche in Quadratzoll (Square Inches), gerundet auf das nächste ganze Vielfache.

Die in Tabelle 29 empfohlenen Anforderungen übersteigen die in ENERGY-STAR v5.0 festgelegten Energieeffizienzanforderungen im On-Modus um mindestens 30%.

Für die Leistungsaufnahme im Ruhe- und Schein-Aus-Zustand gelten folgende Grenzwerte:

- Ruhezustand P_{Ruhe} : ≤ 1,0 Watt
- Schein-Aus-Zustand P_{Aus} : ≤ 0,5 Watt

Wenn ein Bildschirm mehrere Ruhezustände aufweist, darf die Leistungsaufnahme in jedem Ruhezustand 1,0 Watt nicht überschreiten.

6.3 Weitere Anforderungen an Computerbildschirme

Aus den angestellten Analysen in den Kapiteln 3, 4 und 5 sowie aus der Analyse der bestehenden Umweltzeichen und gesetzlichen Initiativen werden weitere Vergabekriterien für ein Umweltzeichen für Computerbildschirme abgeleitet. Die Kriterien sind im Anhang dieser Studie dokumentiert.

7 Literatur

- Andrae & Anderson 2010 Andrae, A.S.G.; Anderson, O.; Life Cycle Assessment of Consumer Electronics; International Journal of Life Cycle Assessment, Vol. 15, No. 8, 827–836, 2010
- Behrendt & Erdmann 2004 Behrendt, S.; Erdmann, L.: Display-Märkte im Umbruch, Neuorientierungen für Umweltschutzstrategien, IZT Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Werkstattbericht Nr. 63, Berlin 2004.
- Behrendt et al. 2008 Behrendt, S.; Fichter, K.; Nolte, R.; Kamburow, C.; Antes, R.; Neuhäuser, V.: Nachhaltigkeitsinnovationen in der Display-Industrie – Aktivierung von Umweltentlastungspotenzialen durch Akteurskooperationen in der Display-Branche, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT), Berlin, März 2008
- c't 2010 c't Magazin: Prüfstand Displays, Schlank gespart, S. 98-103, Heft 21, c't 2010.
- c't 2010b c't Magazin Pressemitteilung: VGA-Buchse zum Aussterben verurteilt, 10.12.2010.
- c't 2011 c't Magazin: Know how Display Technik, Lampenstudio, S. 138-140, Heft7, c't 2011.
- EC 2009 Europäische Kommission (EC): Working Document on Ecodesign Requirements for Electronic Displays. 2. Version vom 09.10.2009, Brüssel 2009.
- EMPA, SWICO Recycling 2011 Flachbildschirmen in der Schweiz, Schlussbericht, März 2011
- EuP 2007 Preparatory studies for Eco-design Requirements of EuPs, Lot 3: Personal Computers (desktops and laptops) and Computer Monitors, July 2007.
- Fraunhofer ISI und IZT 2009 Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT gGmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie: Rohstoffe für Zukunftstechnologien, Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage, Karlsruhe und Berlin 2009.
- Getters (2010). SAES Getters – Solutions for Liquid Crystal Displays
<http://www.saesgetters.com/default.aspx?idPage=282>.
- GfK 2011 GfK Nürnberg, Pressemitteilung: Elektrogerätemarkt im Vier-Jahres-Hoch, Nürnberg 15.02.2011.
- gfu 2010 Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX), Januar 2010-Dezember 2010.

- gfu 2011 Gesellschaft für Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik: Consumer Electronics Marktindex Deutschland (CEMIX), Januar 2011-Juni 2011.
- Heijungs et al. 1992 Heijungs, R. (final ed.): Environmental Life Cycle Assessment of Products. Guide (part 1) and Backgrounds (Part 2), prepared by CML, TNO and B&G, Leiden 1992.
- Heise 2009 heise resale Preisradar: 16:9 Monitore setzen sich durch – bei stabilen Preisen, 18.11.2009.
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/16-9-Monitore-setzen-sich-durch-bei-stabilen-Preisen-862157.html>, abgerufen am 15.08.2011.
- Hevesi 2011 Hevesi, M.: LCD Monitore: OEM Absatz bricht im Februar um 30% ein. Pressemitteilung der Plattform PRAD Inside Display Technologies, 28.03.2011.
- Huisman et al. 2007 2008 Review of Directive 2006/92 on Waste Electrical and Electronic Equipment, United Nations University, Bonn
- IPCC 2007 Intergovernmental panel on climate change (IPCC), Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. 2007
<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>.
- King County Solid Waste 2008 King County Solid Waste Division; Literature Review Flat Panel Displays: End of Life Management Report, Final Report. Seattle 2008.
- Kioskea 2011 Kioskea: Der Bildschirm oder Computermonitor, online unter <http://de.kioskea.net/contents/pc/ecran.php3>, abgerufen am 29.08.2011.
- McDonnel 2010 McDonnel, T. J.: Liquid crystal displays: knowledge exchange and its role in the treatment of mercury-containing backlights in liquid crystal display equipment, The Environmentalist.
- Prakash et al. 2011a PROSA Stationäre Arbeitsplatzcomputer: Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen, Studie im Rahmen des Projekts „Top 100 – Umweltzeichen für klimarelevante Produkte“. Prakash, S.; Brommer, E., Freiburg: Öko-Institut 2010.
- Prakash et al. 2011b Schaffung einer Datenbasis zur Ermittlung ökologischer Wirkungen der Produkte der Informations- und Kommunikationstechnologien, Prakash, S.; Liu, R.; Schischke, K.; Stobbe, L.: unter Mitarbeit von Gensch, C.-O., im Rahmen des Ufoplanvorhabens 2009 "Ressourcenschonung im Aktionsfeld Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) – FKZ 3709 95 308", Öko-Institut e.V. in Kooperation mit Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM), Umweltbundesamt Dessau.
- Prakash et al. 2011c Zeitlich optimierter Ersatz eines Notebooks unter ökologischen Gesichtspunkten – ökobilanzielle Berechnungen am Beispiel der Datengrundlage der EuP-Vorstudie, ProBas und Ecoinvent; Prakash, S.; Gensch, C.-O.; Liu, R.; in Zusammenarbeit mit Schischke, K. und Stobbe, L.; Öko-Institut e.V. in Kooperation mit Fraunhofer IZM; 2011, Umweltbundesamt (UBA), Dessau.

- Prakash et al. 2011d Informationsgewinnung über die Wertschöpfungskette von Produkten der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT); Prakash, S.; Gensch, C.-O.; Liu, R.; in Zusammenarbeit mit Schischke, K. und Stobbe, L.; Öko-Institut e.V. in Kooperation mit Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM), Umweltbundesamt (UBA), Dessau.
- Semiconductor Today 2011a Large-size LED-backlit LCD panels to reach 67% market share in 2011;
http://www.semiconductor-today.com/news_items/2011/JAN/ISUPPLI_210111.htm;
Zugriff September 2011.
- Semiconductor Today 2011b HB-LED market to grow just 8% to \$9bn in 2011 instead of \$10.6bn;
http://www.semiconductor-today.com/news_items/2011/AUG/LEDINSIDE_250811.html;
Zugriff September 2011.
- Socolof et al. 2005 Socolof, M. L. et al.: Environmental life-cycle impacts of CRT and LCD desktop computer displays; Journal of Cleaner Production 13: 1281-1294.
- StiWa 2010 Zeitschrift Stiftung Warentest: Nebenjob Zweitfernseher, S. 34-39, Ausgabe 2/2010.
- StiWa 2011 Zeitschrift Stiftung Warentest: Gesunde Ansichten, S. 36-41, Ausgabe 2/2011.
- Verbraucherinfothek 2006 Internet-Projekt des Bundesverbandes Verbraucherzentralen (BZBV), www.verbraucherinfothek.de.
- Zangl et al. 2009 PROSA Fernsehgeräte – Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen, Zangl, S.; Brommer, E.; Griebhammer, R.; Gröger, J.; Öko-Institut e.V., 2009

8 Anhang

8.1 Anhang I: Wirkungskategorien der Life Cycle Analysis

- Kumulierter Primärenergiebedarf (KEA)
- Treibhauspotential (GWP)
- Versauerungspotential (AP)
- Eutrophierungspotential (EP)
- Photochemische Oxidantienbildung (POCP)

8.1.1 Kumulierter Primärenergiebedarf

Die energetischen Rohstoffe werden anhand des Primärenergieverbrauchs bewertet. Als Wirkungsindikatorwert wird der nicht-regenerative (d.h. fossile und nukleare) Primärenergieverbrauch als kumulierter Energieaufwand (KEA) angegeben.

8.1.2 Treibhauspotential

Schadstoffe, die zur zusätzlichen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen, werden unter Berücksichtigung ihres Treibhauspotenzials bilanziert, welches das Treibhauspotential des Einzelstoffs relativ zu Kohlenstoffdioxid kennzeichnet. Als Indikator wird das Gesamtreibhauspotential in CO₂-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach IPCC 2007 berücksichtigt.

8.1.3 Versauerungspotential

Schadstoffe, die als Säuren oder aufgrund ihrer Fähigkeit zur Säurefreisetzung zur Versauerung von Ökosystemen beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Versauerungspotenzials bilanziert und aggregiert. Das Versauerungspotenzial kennzeichnet die Schadwirkung eines Stoffes als Säurebildner relativ zu Schwefeldioxid. Als Indikatoren für die Gesamtbelastung wird das Gesamtversauerungspotenzial in SO₂-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2009 berücksichtigt.

8.1.4 Eutrophierungspotential

Nährstoffe, die zur Überdüngung (Eutrophierung) aquatischer und terrestrischer Ökosysteme beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Eutrophierungspotenzials bilanziert und aggregiert. Das Eutrophierungspotenzial kennzeichnet die Nährstoffwirkung eines Stoffes relativ zu Phosphat. Als Indikator für die Gesamtbelastung werden das aquatische und das

terrestrische Eutrophierungspotenzial in Phosphat-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2009 berücksichtigt.

8.1.5 Photochemische Oxidantienbildung

Zu den Photooxidantien gehören Luftschadstoffe, die zum einen zu gesundheitlichen Schädigungen beim Menschen, zum anderen zu Schädigungen von Pflanzen und Ökosystemen führen können. Den leichtflüchtigen organischen Verbindungen (volatile organic compounds, VOC) kommt eine zentrale Rolle zu, da sie Vorläufersubstanzen sind, aus denen Photooxidantien entstehen können. Als Indikator für die Gesamtbelastung wird das Photooxidantienbildungspotenzial in Ethylen-Äquivalenten angegeben. Zur Bilanzierung werden die Charakterisierungsfaktoren nach CML 2009 berücksichtigt.

8.2 Anhang II: Vergabegrundlage für das Umweltzeichen Blauer Engel

Vergabegrundlage für Umweltzeichen

Computerbildschirme

RAL-UZ 78c

„DER BLAUE ENGEL

... weil energieeffizient und ergonomisch“

Zuordnung zum Themenschwerpunkt: Schützt das Klima

Ausgabe ### 2012

RAL gGmbH

Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, Germany, Telefon: +49 (0) 22 41-2 55 16-0
Telefax: +49 (0) 22 41-2 55 16-11

Internet: www.blauer-engel.de, e-mail: umweltzeichen@RAL-gGmbH.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Vorbemerkung	2
1.2	Hintergrund	2
1.3	Ziel des Umweltzeichens	2
1.4	Gesetzliche Grundlagen	3
1.5	Begriffsbestimmungen	4
1.5.1	Computerbildschirme	4
1.5.2	Betriebsmodi	4
2	Geltungsbereich	5
3	Anforderungen	6
3.1	Harmonisierung mit TCO Certified Displays 5.2	6
3.2	Energieverbrauch	7
3.3	Anforderungen für die Stromsparfunktionen	8
3.4	Reparaturfähigkeit	9
3.5	Recyclinggerechte Konstruktion	9
3.5.1	Baustruktur und Verbindungstechnik	9
3.5.2	Werkstoffwahl und Kennzeichnung	10
3.6	Materialanforderungen	11
3.6.1	Anforderungen an Kunststoffe der mechanischen Kunststoffteile	11
3.6.2	Anforderungen die Kunststoffe der Leiterplatten	12
3.7	Hintergrundbeleuchtung	12
3.8	Ergonomie	13
3.9	Verbraucherinformation	13
4	Zeichennehmer und Beteiligte	14
5	Zeichenbenutzung	14

Mustervertrag

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkung

Die Jury Umweltzeichen hat in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, dem Umweltbundesamt und unter Einbeziehung der Ergebnisse der von der RAL gGmbH einberufenen Anhörungsbesprechungen diese Grundlage für die Vergabe des Umweltzeichens beschlossen. Mit der Vergabe des Umweltzeichens wurde die RAL gGmbH beauftragt.

Für alle Erzeugnisse, soweit diese die nachstehenden Bedingungen erfüllen, kann nach Antragstellung bei der RAL gGmbH auf der Grundlage eines mit der RAL gGmbH abzuschließenden Zeichenbenutzungsvertrages die Erlaubnis zur Verwendung des Umweltzeichens erteilt werden.

1.2 Hintergrund

Die mit dem Umweltzeichen ausgezeichneten Computerbildschirme verbrauchen bis zu 40% weniger Energie im Vergleich zu den marktüblichen Durchschnittsgeräten. Das entspricht Einsparpotenzialen zwischen 15 und 30 kWh pro Gerät und Jahr. Geht man von einem Bestand von 49 Millionen Computerbildschirmen in Deutschland (34 Millionen in den privaten Haushalten und 15 Millionen im Bürobereich) in 2009/2010 aus, würde man ca. 1,0 TWh Energie einsparen, wenn Durchschnittsgeräte durch effiziente Geräte ersetzt werden. Das entspricht einem CO₂-Reduktionspotenzial von ca. 710.000 Tonnen CO₂e pro Jahr.

Außerdem erfüllen die mit dem Umweltzeichen ausgezeichneten Computerbildschirme strenge Anforderungen an recyclinggerechte Konstruktion und Werkstoffwahl, schaffen damit gute Rahmenbedingungen für eine effiziente Rückgewinnung von eingesetzten Materialien und tragen zur Schonung der natürlichen Ressourcen bei.

Nicht zuletzt werden in den Kunststoffteilen der Umweltzeichengeräte schadstoffarme Materialien eingesetzt und somit die Schadstoffeinträge in die Umwelt verringert.

1.3 Ziel des Umweltzeichens

Der Klimaschutz, die Verminderung des Energieverbrauchs, die Minimierung der Bereitschaftsverluste und die Vermeidung von Schadstoffen und Abfall sind wichtige Ziele des Umweltschutzes.

Mit dem Umweltzeichen für Computerbildschirme können Geräte gekennzeichnet werden, die sich durch folgende Umwelteigenschaften auszeichnen:

- geringer Energieverbrauch;
- Langlebigkeit der Produkte;
- recyclinggerechte Konstruktion;
- Vermeidung umweltbelastender Materialien.

1.4 Gesetzliche Grundlagen

Die Einhaltung bestehender Gesetze und Verordnungen wird für die mit dem Umweltzeichen gekennzeichneten Produkte selbstverständlich vorausgesetzt. Diese sind insbesondere die nachfolgend genannten:

- Die durch das Elektro- und Elektronikgesetz (ElektroG)¹ in deutsches Recht umgesetzten EU-Richtlinien 2002/96/EG² und 2002/95/EG³, die die Entsorgung regeln, sind beachtet. Unter Vorsorgeaspekten darüber hinaus gehende Anforderungen an Materialien werden eingehalten.
- Die durch die Chemikalienverordnung REACH (1907/2006/EG)⁴ und die EG-Verordnung 1272/2008⁵ (oder die Richtlinie 67/548/EWG) definierten stofflichen Anforderungen werden berücksichtigt.
- Die EG-Verordnung Nr. 278/2009⁶ (Netzteil-Verordnung) für den Fall, dass das Gerät mit externem Netzteil ausgeliefert wird.
- EMV-Richtlinie⁷,

¹ Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten, BGBl, 2005, Teil I, Nr. 17 (23.05.2005)

² Directive on Waste from Electrical and Electronic Equipment, RL 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Elektro- und Elektronik-Altgeräte vom 27.01.2003

³ Directive on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, ABI Nr. L 37, 13.02.2003

⁴ Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission

⁵ Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006

⁶ Verordnung (EG) Nr. 278/2009 der Kommission vom 6. April 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an die Leistungsaufnahme externer Netzteile bei Nulllast sowie ihre durchschnittliche Effizienz im Betrieb

⁷ Richtlinie 2004/108/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit und zur Aufhebung der Richtlinie 89/336/EWG

- Niederspannungs-Richtlinie⁸,
- Standby-Verordnung⁹.

1.5 Begriffsbestimmungen

1.5.1 Computerbildschirme

Ein Computerbildschirm ist ein handelsübliches Gerät, in dem ein Anzeigeschirm und die dazugehörige Elektronik in einem Gehäuse untergebracht sind. Die Hauptfunktion eines Computerbildschirmes ist die Darstellung der visuellen Information, die von folgenden Geräten ausgegeben wird:

- Computer¹⁰, Workstation oder Server über eine oder mehrere Eingabeschnittstellen wie VGA, DVI, HDMI und/oder IEEE 1394 oder
- USB-Laufwerk, Speicherkarte oder drahtlose Internetverbindung.

Typische Beispiele von Anzeigetechnologien sind die Kathodenstrahlröhre (CRT) und die Flüssigkristallanzeige (LCD), die Leuchtdiodentechnik (LED) und die Plasmabildschirme.

Diese Begriffsbestimmung umfasst vor allem Bildschirme, die für die Verwendung mit Computern bestimmt sind.

1.5.2 Betriebsmodi

Ein-Zustand: Ein Computerbildschirm befindet sich im Ein-Zustand, wenn

1. er an eine Stromversorgung angeschlossen ist,
2. alle mechanischen Schalter eingeschaltet sind, und

⁸ Richtlinie 2006/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen

⁹ Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 der Kommission vom 17. Dezember 2008 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte im Bereitschafts- und im Aus-Zustand

¹⁰ Ein Computer ist ein Gerät, das Logikoperationen ausführt und Daten verarbeitet. Ein Computer umfasst mindestens die folgenden Bestandteile:

- eine Zentraleinheit (ZE), die die Operationen ausführt,
- Benutzereingabegeräte wie Tastatur, Maus, oder Game Controller, und
- ein Anzeigegerät zur Ausgabe von Informationen.

3. er seine Primärfunktion der Bilddarstellung durchführt.

Die Leistungsaufnahme ist in diesem Betriebszustand in der Regel höher als im Ruhe- oder Schein-Aus-Zustand.

Ruhezustand: Ein Computerbildschirm befindet sich im Ruhezustand, wenn

1. er an eine Stromversorgung angeschlossen ist,
2. alle mechanischen Schalter eingeschaltet sind, und
3. er eine verringerte Leistungsaufnahme gegenüber dem Ein-Zustand aufweist, die auf Befehl eines angeschlossenen Geräts, wie z.B. Computer, Spielekonsole oder Set-Top-Box oder durch ein internes Signal wie z.B. eine Zeitschaltuhr oder einen Sensor hervorgerufen wird.

Vom Ruhezustand kehrt der Computerbildschirm auf Befehl eines angeschlossenen Geräts oder Nutzers (z. B. Mausbewegung oder Tastendruck auf der Tastatur) oder durch ein internes Signal in den Ein-Zustand mit voller Betriebsfähigkeit zurück.

Schein-Aus-Zustand: Ein Computerbildschirm befindet sich im Schein-Aus-Zustand, wenn

1. er an eine Stromversorgung angeschlossen ist,
2. er keine Bilder darstellt,
3. er nur durch ein direktes, vom Nutzer ausgelöstes Signal (z.B. wenn der Nutzer den Netzschalter drückt) wieder in den Ein-Zustand versetzt werden kann.

Im Schein-Aus-Zustand hat der Computerbildschirm die geringste, vom Nutzer nicht ausschaltbare (beeinflussbare) Leistungsaufnahme, die unbegrenzt fortbesteht, solange das Netzkabel des Computerbildschirms mit dem Stromnetz verbunden ist.

2 **Geltungsbereich**

Die Vergabegrundlage gilt für Computerbildschirme, auch als Monitore oder Displays bezeichnet, wie sie im Abschnitt 1.5.1 definiert sind. Im Folgenden werden sie Bildschirme genannt.

Die Bildschirme dürfen eine sichtbare Bildschirmdiagonale von maximal 60 Zoll oder 152 cm aufweisen. Außerdem muss der Bildschirm über eine separate Netzsteckdose, ein externes Netzteil, ein mit Netzteil ausgeliefertes Batteriemodul oder eine Netzwerkverbindung mit Strom versorgt werden können.

Bildschirme mit eingebautem Tuner/Empfangsteil kommen nach dieser Vergabegrundlage für die Kennzeichnung nur dann in Betracht, wenn sie durch den Hersteller als Computerbildschirm (d.h. mit der Hauptfunktion als Computerbildschirm) oder als Doppelfunktionsgerät (z.B. Computerbildschirm und Fernseher) bezeichnet und an Endkunden vertrieben werden.

Diese Vergabegrundlage gilt nicht für Produkte mit Tuner/Empfangsteil, die zwar an einen Computer angeschlossen werden können, die aber vom Hersteller als Fernsehgeräte bezeichnet und vertrieben werden. Für solche Geräte ist die Vergabegrundlage für Fernsehgeräte RAL UZ-145 anzuwenden.

Die Vergabegrundlage gilt ferner nicht für Produkte, die Kathodenstrahlröhren (CRT) als Anzeigeeinheit verwenden oder als Digitale Bilderrahmen an den Endkunden vertrieben werden.

3 Anforderungen

3.1 Harmonisierung mit TCO Certified Displays 5.2¹¹

Im Rahmen der Entwicklung der Vergabekriterien für das Umweltzeichen „Der Blaue Engel“ wird eine Harmonisierung mit bestehenden internationalen Standards und Initiativen angestrebt. In diesem Sinne können die Antragsteller des Umweltzeichens den Nachweis der Erfüllung eines Teils der Kriterien der vorliegenden Vergabegrundlage erbringen, indem sie für das Produkt ein Zertifikat gemäß „TCO Certified Displays 5.2“ vorlegen. Der Nachweis des Zertifikats „TCO Certified Displays 5.2“ wird für die Erfüllung folgender Kriterien der vorliegenden Vergabegrundlage anerkannt:

- 3.4 Reparaturfähigkeit
- 3.5.2 Werkstoffwahl und Kennzeichnung
- 3.8 Ergonomie

Allerdings stellt die vorliegende Vergabegrundlage weitere, über die Kriterien des „TCO Certified Displays 5.2“ hinausgehenden Anforderungen an die Computerbildschirme, deren Erfüllung durch die Antragsteller ergänzend nachgewiesen werden muss.

¹¹ Ausgabe: 08. Februar 2011

3.2 Energieverbrauch

Leistungsaufnahme im Ein-Zustand

Das Gerät darf die in Tabelle 1 aufgeführten Werte für die maximale Leistungsaufnahme im Ein-Zustand (P_{UZ}) nicht überschreiten. Diese Werte sind gemäß den im „ENERGY STAR Program Requirements for Displays (Version 5.0)“ im Annex 1 (Test Procedures for Displays with a viewable diagonal screen size less than (<) 30 inches) und Annex 2 (Test Procedures for Displays with a viewable diagonal screen size from 30 to 60 inches, inclusive) festgelegten Test-Prozeduren zu messen.

Tabelle 1 Maximalwerte für die Leistungsaufnahme im Ein-Zustand

Bildschirm Kategorie	Maximale Leistungsaufnahme in Watt (W)
Sichtbare Bilddiagonale < 30 Zoll Zahl der Bildpunkte des Gerätes $\leq 1,1$ MP	$P_{UZ} = P_1 - (P_1 * 0,3)$ wobei $P_1 = 6 * (MP) + 0,05 * (A) + 3$
Sichtbare Bilddiagonale < 30 Zoll Zahl der Bildpunkte des Gerätes $\geq 1,1$ MP	$P_{UZ} = P_2 - (P_2 * 0,3)$ wobei $P_2 = 9 * (MP) + 0,05 * (A) + 3$
Sichtbare Bilddiagonale 30 – 60 Zoll	$P_{UZ} = P_3 - (P_3 * 0,3)$ wobei $P_3 = 0,27 * (A) + 8$

P_{UZ} = maximal zulässige Leistungsaufnahme im Ein-Zustand in Watt, aufgerundet auf die nächste ganze Zahl

MP = Millionen Pixel

A = sichtbare Bildschirmfläche in Quadratzoll (*Square Inches*), aufgerundet auf die nächste ganze Zahl.

Beispiel: Die maximale Leistungsaufnahme im Ein-Zustand (P_{UZ}) eines Bildschirms mit 1440 * 900 Bildpunkten (MP=1,296 Millionen Pixel) und sichtbarer Bildschirmfläche von A=162 Quadratzoll wird nach den folgenden Formeln ermittelt:

$$P_{UZ} = P_2 - (P_2 * 0,3)$$

$$\text{wobei } P_2 = 9 * (MP) + 0,05 * (A) + 3$$

$$P_2 = (9 * 1,296) + (0,05 * 162) + 3$$

$$= 22,8 \text{ W}$$

$$P_{UZ} = 22,8 - (22,8 * 0,3)$$

$$= 15,96 \text{ W} \rightarrow P_{UZ} = 16 \text{ W}$$

Die maximale Leistungsaufnahme des Bildschirms im Ein-Zustand (P_{UZ}) darf 16 W nicht überschreiten.

Leistungsaufnahme im Ruhe- und Schein-Aus-Zustand

Die Leistungsaufnahme eines Bildschirms darf im Ruhe- und Schein-Aus-Zustand folgende Werte nicht überschreiten:

Ruhezustand $P_{Ruhe} \leq 1,0$ Watt

Schein-Aus-Zustand $P_{Aus} \leq 0,5$ Watt

Wenn ein Bildschirm mehrere Ruhezustände aufweist, darf die Leistungsaufnahme in jedem Ruhezustand 1,0 Watt nicht überschreiten.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderung in Anlage 1 zum Vertrag und gibt die Leistungsaufnahmen in den einzelnen Betriebsmodi in Watt an. Die Messungen sind entsprechend den Anforderungen der ENERGY STAR Version 5.0 für Displays durchzuführen. Zusätzlich legt der Antragsteller ein Prüfprotokoll eines unabhängigen Prüflabors vor, das für diese Messung nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert ist (Anlage 2). Prüfprotokolle des Antragstellers werden als gleichwertig anerkannt, wenn dieser ein Prüflaboratorium nutzt, das für diese Messungen von einer unabhängigen Stelle als SMT-Labor (supervised manufacturer testing laboratory) anerkannt ist.

3.3 Anforderungen für die Stromsparfunktionen

- Die automatische Helligkeitssteuerung (im Englischen: Automatic Brightness Control) muss bei der Auslieferung aktiviert sein.
- Der Bildschirm muss bei der Auslieferung so eingestellt sein, dass er automatisch nach einer längeren Nicht-Nutzung (maximal 15 Minuten) in einen Energiesparmodus (Ruhe- oder Aus-Zustand) versetzt wird.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderung in Anlage 1 zum Vertrag. Die Einstellungen sind entsprechend den Anforderungen der ENERGY STAR Version 5.0 für Displays durchzuführen.

3.4 Reparaturfähigkeit

Die Anforderungen von TCO Certified Displays 5.2 (A.6.5.1 *Warranty and Spare Parts*) sind einzuhalten.

Diese Anforderungen beinhalten, dass Ersatzteile für mindestens drei Jahre nach Produktionseinstellung vorgehalten werden müssen. Dies gilt allerdings nur für die Flachbildschirme, die vom Markenhalter zertifiziert wurden.

Betroffene Ersatzteile:

1. Falls ein Teil des Produktes defekt ist (z.B. Blende, Gestell), soll der Nutzer nicht das ganze Produkt austauschen müssen, sondern nur das defekte Teil. Das defekte Teil soll nach Möglichkeit durch ein Äquivalent, das nicht unbedingt identisch sein muss, ersetzt werden können.
2. Falls die Kosten für den Austausch des defekten Teils (z.B. Bildschirm) für den Verbraucher ökonomisch nicht sinnvoll (d.h. zu hoch) sind, ist es zulässig das Gesamtprodukt auszutauschen.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag oder legt den Nachweis vor, dass das Produkt durch TCO Certified Displays 5.2 gekennzeichnet ist (Anlage 3).

3.5 Recyclinggerechte Konstruktion

3.5.1 Baustruktur und Verbindungstechnik

Für Bildschirme gilt:

- Umweltzeichengeräte müssen so konstruiert sein, dass sie für Recyclingzwecke leicht (manuell) zerlegbar sind, damit Gehäuseteile, Chassis, Bildschirm-Panel¹², und Elektrobaugruppen (inkl. Leiterplatten) als Fraktionen von Materialien anderer funktioneller Einheiten getrennt und nach Möglichkeit werkstofflich verwertet werden können.
- Die mit dem Umweltzeichen ausgezeichneten Geräte müssen so gestaltet sein, dass im Fachbetrieb eine effiziente (manuelle) Zerlegung des Gehäuses, des

¹² Ein Bildschirm-Panel besteht aus zwei Kunststoffplatten, zwischen denen Flüssigkristall vorkommt, diverse Filter und Diffusorfolien sowie eine transparente Schutzplatte. Diese Bestandteile sind in einer Mehrschichtkonstruktion (so genannte Sandwich-Konstruktion) zusammengebaut. Ein Bildschirm-Panel, Hintergrundbeleuchtung und elektronische Komponenten bilden ein Bildschirm-Modul.

Chassis, des Bildschirm-Panels und der Elektrobaugruppen (inkl. Leiterplatten) unterstützt wird oder mit Universalwerkzeugen¹³ vorgenommen werden kann.

- Die Demontage des Gehäuses, des Chassis, des Bildschirm-Panels und der Elektrobaugruppen (inkl. Leiterplatten) kann von einer Person durchgeführt werden.
- Elektrobaugruppen müssen leicht vom Gehäuse demontiert werden können.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen und legt eine Anleitung vor, in dem die fachgerechte Zerlegung des Computerbildschirms erklärt wird (Anlage 4). Dabei muss ein besonderer Fokus auf die fachgerechte Trennung von Gehäuseteilen, Chassis, Bildschirm-Panel und Leiterplatten gelegt werden. Die Anleitung kann entweder schriftlich, als Fotodokumentation, Zeichnung oder im Videoformat vorgelegt werden. Außerdem verpflichtet sich der Antragsteller in Anlage 1 zum Vertrag, dass er dem von ihm beauftragten Recyclingunternehmen im Bedarfsfall Unterlagen zur effektiven Zerlegung sowie zu den selektiv zu behandelnden Stoffen und Bauteilen zur Verfügung stellt.

3.5.2 Werkstoffwahl und Kennzeichnung

Die Anforderungen von TCO Certified Displays 5.2 (A.6.6.1 Material Coding of Plastics, A.6.6.2 Variety of Plastics und A.6.6.3 Moulded-in metal parts and metallization of plastic housing)

sind einzuhalten.

Diese Anforderungen beinhalten unter anderem, dass, Kunststoffe mit einer Masse über 25 Gramm mit Codes gemäß ISO 11469 und ISO 1043-1, -2, -3, -4 gekennzeichnet werden sollen. Ausgenommen sind Trägermaterialien der Leiterplatten.

Die Kunststoffteile, die schwerer als 25 Gramm sind, dürfen maximal aus 2 unterschiedlichen Polymeren bestehen.

Interne oder externe Metallisierung der Gehäuse der Flachbildschirme ist nicht erlaubt.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag und falls vorhanden, legt den Nachweis vor, dass das Produkt durch TCO Certified Displays 5.2 gekennzeichnet ist (Anlage 3).

¹³ Unter „Universalwerkzeuge“ werden allgemein übliche, im Handel erhältliche Werkzeuge verstanden

3.6 Materialanforderungen

3.6.1 Anforderungen an Kunststoffe der mechanischen Kunststoffteile

Den Kunststoffen für mechanische Kunststoffteile (wie Gehäusekunststoffe und innenliegende Kunststoffteile wie Halterungen und Luftkanäle) dürfen als konstitutionelle Bestandteile keine Stoffe zugesetzt sein, die eingestuft sind als:

- a) krebserzeugend der Kategorien 1 oder 2 nach Tabelle 3.2 bzw. Kategorien 1A und 1B nach Tabelle 3.1 des Anhangs VI der EG-Verordnung 1272/2008¹⁴
- b) erbgutverändernd der Kategorien 1 oder 2 nach Tabelle 3.2. bzw. Kategorien 1A und 1B nach Tabelle 3.1 des Anhangs VI der EG-Verordnung 1272/2008
- c) forpflanzungsgeffährdend der Kategorien 1 oder 2 nach Tabelle 3.2 bzw. Kategorien 1A und 1B nach Tabelle 3.1 des Anhangs VI der EG-Verordnung 1272/2008
- d) persistent, bioakkumulierbar und toxisch (PBT-Stoffe) oder sehr persistent und sehr bioakkumulierbar (vPvB-Stoffe) nach den Kriterien des Anhangs XIII der REACH-Verordnung oder besonders besorgniserregend aus anderen Gründen und die in die gemäß REACH Artikel 59 Absatz 1 erstellte Liste (sog. Kandidatenliste)¹⁵ aufgenommen wurden.

Halogenhaltige Polymere sind nicht zulässig. Ebenso dürfen halogenorganische Verbindungen nicht als Flammschutzmittel zugesetzt werden.

Von dieser Regelung ausgenommen sind:

- prozessbedingte, technisch unvermeidbare Verunreinigungen;

¹⁴ Verordnung (EG) (Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung und Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 Anhang VI Harmonisierte Einstufung und Kennzeichnung für bestimmte gefährliche Stoffe, Teil 3: Harmonisierte Einstufung und Kennzeichnung – Tabellen, Tabelle 2.3 Die Liste der harmonisierten Einstufung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe aus Anhang I der Richtlinie 67/548/EWG, kurz GHS-Verordnung, in der jeweils gültigen Fassung, siehe http://www.reach-info.de/ghs_verordnung.htm

¹⁵ Die GHS-Verordnung (Global Harmonization System), die am 20.01.2009 in Kraft getreten ist, ersetzt die Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG. Danach erfolgt die Einstufung und Kennzeichnung und Verpackung für Stoffe bis zum 1. Dezember 2010 gemäß der RL 67/548/EWG (Soff-Richtlinie) und für Gemische bis zum 1. Juni 2015 gemäß der RL 1999/45/EG (Zubereitungs-Richtlinie). Abweichend von dieser Bestimmung kann die Einstufung und Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen bereits vor dem 1. Dezember 2010 bzw. 1. Juni 2015 nach den Vorschriften der GHS-Verordnung erfolgen, die Bestimmungen der Stoff-Richtlinie und Zubereitungs-Richtlinie finden in diesem Fall keine Anwendung.

- fluororganische Additive (wie z.B. Anti-Dripping-Reagenzien), die zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften der Kunststoffe eingesetzt werden, sofern sie einen Gehalt von 0,5 Gew.-% nicht überschreiten;
- Kunststoffe mit einer Masse unterhalb 25 Gramm.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderung in Anlage 1 zum Vertrag. Kunststoffe der mechanischen Kunststoffteile mit einer Masse größer als 25 Gramm sind vom Antragsteller in Anlage 5 aufzulisten.

Bezüglich der Flammschutzmittel veranlasst er eine schriftliche Erklärung der Kunststoffhersteller oder -lieferanten an die RAL gGmbH, dass die auszuschließenden Substanzen in Kunststoffen der mechanischen Kunststoffteile nicht zugesetzt sind (Anlage 6). Das betrifft auch eingesetzte Rezyklatkunststoffe. Zugleich verpflichtet er sich, die Hersteller oder Lieferanten der Kunststoffe für mechanische Kunststoffteile zu veranlassen, die chemische Bezeichnung der eingesetzten Flammschutzmittel (CAS-Nr.) vertraulich an RALgGmbH zu übermitteln (Anlage 5).

3.6.2 Anforderungen die Kunststoffe der Leiterplatten

Dem Trägermaterial der Leiterplatten dürfen keine Chlorparaffine zugesetzt sein.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderungen in Anlage 1 zum Vertrag.

3.7 Hintergrundbeleuchtung

- Die Hintergrundbeleuchtung des Bildschirms darf kein Quecksilber enthalten.
- Die Flüssigkristallmischungen dürfen nicht als krebserzeugend, erbgutverändernd oder fortpflanzungsgefährdend in Kategorie 1, 2 oder 3 oder als giftig oder sehr giftig nach Anhang VI der EG-Verordnung 1272/2008 eingestuft sein.

Nachweis

Der Antragsteller bestätigt in Anlage 1 zum Vertrag, dass die Lampen der Hintergrundbeleuchtung nicht mehr als 0,1 mg Quecksilber oder Quecksilberverbindungen pro Lampe enthalten. Der Antragsteller legt eine schriftliche Erklärung des Herstellers der Flüssigkristallsubstanzen als Anlage 7 vor.

3.8 Ergonomie

Flachbildschirme für Arbeitsplatzcomputer müssen hinsichtlich ergonomischer Eigenschaften nach der Norm DIN EN ISO 9241-307 geprüft sein und mindestens die Pixel-Fehlerklasse 2 einhalten.

Diese Anforderung ist erfüllt, wenn das Produkt durch TCO Certified Displays 5.2 gekennzeichnet ist.

Nachweis

Der Antragsteller weist die Einhaltung der ergonomischen Anforderungen durch Vorlage des Prüfprotokolls eines unabhängigen Prüfinstitutes nach, welches nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert ist (Anlage 8). Alternativ legt der Antragsteller den Nachweis (Anlage 3) vor, dass das Produkt durch TCO Certified Displays 5.2 gekennzeichnet ist.

3.9 Verbraucherinformation

Die zu den Geräten mitgelieferte Dokumentation muss neben den technischen Beschreibungen auch die umwelt- und gesundheitsrelevanten Nutzerinformationen enthalten. Diese muss als CD-ROM oder in gedruckter Form dem Gerät beigelegt werden. Folgende wesentliche Nutzerinformationen müssen in der Dokumentation enthalten und zusätzlich im Internet abrufbar sein:

1. Höhe der Leistungsaufnahme in verschiedenen Betriebszuständen gemäß 3.1
Außerdem müssen Hinweise gegeben werden, wie die Geräte in energiesparende Betriebszustände versetzt werden können.
2. Hinweis darauf, dass eine Reduzierung des Energieverbrauchs mit einer Verringerung der Betriebskosten einhergeht und dass, der Energieverbrauch bei vollständiger Trennung des Geräts von der Netzsteckdose auf Null reduziert werden kann.
3. Hinweis darauf, dass das Gerät auch im Schein-Aus-Zustand Strom verbraucht.
4. Bildschirmschoner verhindern das automatische Umschalten auf Energiesparzustände und sollten deswegen nicht aktiviert werden
5. Eine Reduzierung der Bildschirmhelligkeit reduziert den Energieverbrauch
6. Reparaturfähigkeit gemäß 3.4
7. Hinweis auf umweltgerechte Entsorgung nach Ende der Nutzungsphase gemäß Elektroggesetz.
8. Information, dass das Gerät mit dem Umweltzeichen Blauer Engel gekennzeichnet wurde, einschließlich einer Zusammenfassung der Vergabekriterien

des Umweltzeichens auf einer gesonderten Seite und einem Link zu der Webseite www.blauer-engel.de.

Nachweis

Der Antragsteller erklärt die Einhaltung der Anforderung in Anlage 1 zum Vertrag und legt die Produktunterlagen in Anlage 9 vor.

4 Zeichennehmer und Beteiligte

4.1 Zeichennehmer sind Hersteller oder Vertreiber von Produkten gemäß Abschnitt 2.

4.2 Beteiligte am Vergabeverfahren:

- RAL gGmbH für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel,
- das Bundesland, in dem sich die Produktionsstätte des Antragstellers befindet,
- das Umweltbundesamt, das nach Vertragsschluss alle Daten und Unterlagen erhält, die zur Beantragung des Blauen Engel vorgelegt wurden, um die Weiterentwicklung der Vergabegrundlagen fortführen zu können.

5 Zeichenbenutzung

5.1 Die Benutzung des Umweltzeichens durch den Zeichennehmer erfolgt aufgrund eines mit der RAL gGmbH abzuschließenden Zeichenbenutzungsvertrages.

5.2 Im Rahmen dieses Vertrages übernimmt der Zeichennehmer die Verpflichtung, die Anforderungen gemäß Abschnitt 3 für die Dauer der Benutzung des Umweltzeichens einzuhalten.

5.3 Für die Kennzeichnung von Produkten gemäß Abschnitt 2 werden Zeichenbenutzungsverträge abgeschlossen. Die Geltungsdauer dieser Verträge läuft bis zum 31.12.2013. Sie verlängert sich jeweils um ein weiteres Jahr, falls der Vertrag nicht bis zum 31.03.2013 bzw. 31.03. des jeweiligen Verlängerungsjahres schriftlich gekündigt wird. Eine Weiterverwendung des Umweltzeichens ist nach Vertragsende weder zur Kennzeichnung noch in der Werbung zulässig. Noch im Handel befindliche Produkte bleiben von dieser Regelung unberührt.

5.4 Der Zeichennehmer (Hersteller) kann die Erweiterung des Benutzungsrechtes für das Kennzeichnungsberechtigte Produkt bei der RAL gGmbH beantragen, wenn es unter einem anderen Marken-/Handelsnamen und/oder anderen Vertriebsorganisationen in den Verkehr gebracht werden soll.

5.5 In dem Zeichenbenutzungsvertrag ist festzulegen:

5.5.1 Zeichennehmer (Hersteller/Vertreiber)

5.5.2 Marken-/Handelsname, Produktbezeichnung

5.5.3 Inverkehrbringer (Zeichenanwender), d.h. die Vertriebsorganisation gemäß Abschnitt 5.4

VERTRAG

Nr.
über die Vergabe des Umweltzeichens

RAL gGmbH als Zeichengeber und die Firma

(Inverkehrbringer)

als Zeichennehmer – nachfolgend kurz ZN genannt –
schließen folgenden Zeichenbenutzungsvertrag:

M U S T E R

1. Der ZN erhält das Recht, unter folgenden Bedingungen das dem Vertrag zugrunde liegende Umweltzeichen zur Kennzeichnung des Produkts/der Produktgruppe/Aktion "**Computerbildschirme**" für

"(Marken-/Handelsname)"

zu benutzen. Dieses Recht erstreckt sich nicht darauf, das Umweltzeichen als Bestandteil einer Marke zu benutzen. Das Umweltzeichen darf nur in der abgebildeten Form und Farbe mit der unteren Umschrift "Jury Umweltzeichen" benutzt werden, soweit nichts anderes vereinbart wird. Die Abbildung der gesamten inneren Umschrift des Umweltzeichens muss immer in gleicher Größe, Buchstabenart und -dicke sowie -farbe erfolgen und leicht lesbar sein.

2. Das Umweltzeichen gemäß Abschnitt 1 darf nur für o. g. Produkt/Produktgruppe/Aktion benutzt werden.
3. Für die Benutzung des Umweltzeichens in der Werbung oder sonstigen Maßnahmen des ZN hat dieser sicherzustellen, dass das Umweltzeichen nur in Verbindung zu o. g. Produkt/Produktgruppe/Aktion gebracht wird, für die die Benutzung des Umweltzeichens mit diesem Vertrag geregelt wird. Für die Art der Benutzung des Zeichens, insbesondere im Rahmen der Werbung, ist der Zeichennehmer allein verantwortlich.
4. Das/die zu kennzeichnende Produkt/Produktgruppe/Aktion muss während der Dauer der Zeichenbenutzung allen in der "Vergabegrundlage für Umweltzeichen RAL-UZ **78c**" in der jeweils gültigen Fassung enthaltenen Anforderungen und Zeichenbenutzungsbedingungen entsprechen. Dies gilt auch für die Wiedergabe des Umweltzeichens (einschließlich Umschrift). Schadensersatzansprüche gegen die RAL gGmbH, insbesondere aufgrund von Beanstandungen der Zeichenbenutzung oder der sie begleitenden Werbung des ZN durch Dritte, sind ausgeschlossen.
5. Sind in der "Vergabegrundlage für Umweltzeichen" Kontrollen durch Dritte vorgesehen, so übernimmt der ZN die dafür entstehenden Kosten.
6. Wird vom ZN selbst oder durch Dritte festgestellt, dass der ZN die unter Abschnitt 2 bis 5 enthaltenen

Bedingungen nicht erfüllt, verpflichtet er sich, dies der RAL gGmbH anzuzeigen und das Umweltzeichen solange nicht zu benutzen, bis die Voraussetzungen wieder erfüllt sind. Gelingt es dem ZN nicht, den die Zeichenbenutzung voraussetzenden Zustand unverzüglich wiederherzustellen oder hat er in schwerwiegender Weise gegen diesen Vertrag verstoßen, so entzieht die RAL gGmbH gegebenenfalls dem ZN das Umweltzeichen und untersagt ihm die weitere Benutzung. Schadensersatzansprüche gegen die RAL gGmbH wegen der Entziehung des Umweltzeichens sind ausgeschlossen.

7. Der Zeichenbenutzungsvertrag kann aus wichtigen Gründen gekündigt werden.
Als solche gelten z. Beispiel:
 - nicht gezahlte Entgelte
 - nachgewiesene Gefahr für Leib und Leben.Eine weitere Benutzung des Umweltzeichens ist in diesem Fall verboten. Schadensersatzansprüche gegen die RAL gGmbH sind ausgeschlossen (vgl. Ziffer 6 Satz 3).
8. Der ZN verpflichtet sich, für die Nutzungsdauer des Umweltzeichens der RAL gGmbH ein Entgelt gemäß "Entgeltordnung für das Umweltzeichen" in ihrer jeweils gültigen Ausgabe zu entrichten.
9. Die Geltungsdauer dieses Vertrages läuft gemäß "Vergabegrundlage für Umweltzeichen RAL-UZ **78c**" bis zum 31.12.2013. Sie verlängert sich jeweils um ein weiteres Jahr, falls der Vertrag nicht bis zum 31.03.2013 bzw. bis zum 31.03. des jeweiligen Verlängerungsjahres schriftlich gekündigt wird. Eine Benutzung des Umweltzeichens ist nach Vertragsende weder zur Kennzeichnung noch in der Werbung zulässig. Noch im Handel befindliche Produkte bleiben von dieser Regelung unberührt.
10. Mit dem Umweltzeichen gekennzeichnete Produkte/ Aktionen und die Werbung dafür dürfen nur bei Nennung der Firma des

(ZN/Inverkehrbringers)

an den Verbraucher gelangen.

Sankt Augustin, den

Ort, Datum

RAL gGmbH
Geschäftsleitung

(rechtsverbindliche Unterschrift
und Firmenstempel)