

Electronic Displays Conference 2003

**Ergonomie von LCD-Monitoren,
ISO 13406-2 und ihre Bedeutung für die Praxis**

**Ergonomics of LCD-Monitors,
ISO 13406-2 and its practical implications**

- ◆ Michael E. Becker, Display-Messtechnik & Systeme, Karlsruhe
- ◆ Hans-Jürgen Herrmann, TÜV Rheinland Product Safety GmbH

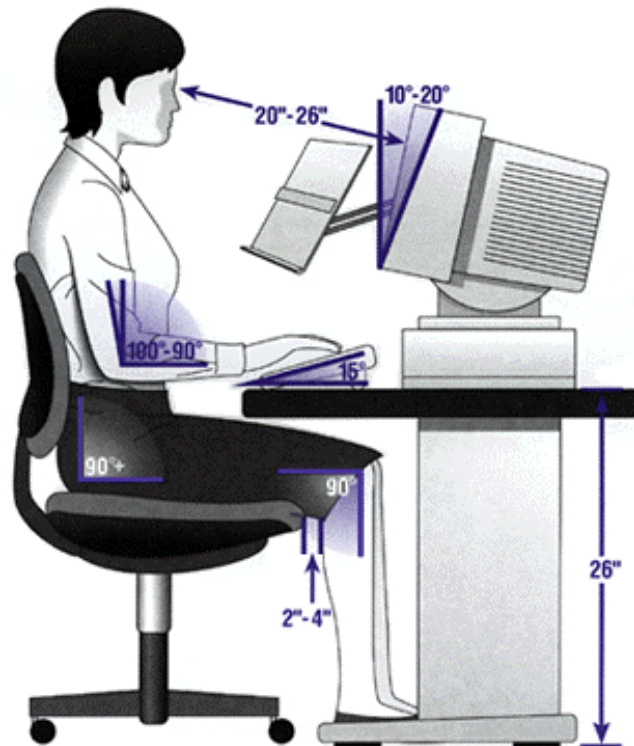
Electronic Displays Conference 2003



Der moderne Arbeitsplatz
... in der schönen neuen Welt

ISO-13406 - Ergonomie von LCD-Bildschirmen

Electronic Displays Conference 2003



Der moderne Arbeitsplatz

... in der real existierenden Welt

Inhalt

- Ergonomie ?
- LCDs - alles "Ansichtssache" ?
 - Leuchtdichte, Kontrast und Graustufen
 - Farbdarstellung
- Reflexionen
- Bildaufbauzeiten
- Defekte Bildelemente
- Plug & Play - Einstöpseln und loslegen ?
- Vergleich CRT / LCD
- Zusammenfassung

ISO 13406 Teil 2

Ergonomische Anforderungen an Flachbildschirme (ISO 13406-2:2001)

→ Deutsche Fassung EN ISO 13406-2:2003

- Hauptanliegen: **Lesbarkeit von Darstellungen auf Flachbildschirmen**,
- Anforderungen und Empfehlungen, die sich auf **Lesbarkeit, Sehkomfort** und **Akzeptanz** gründen (bezogen auf den Anwendungsfall),
- Lesbarkeit **bei Raumbelichtung** und
- Akzeptierbarkeit von unerwünschten **Reflexionen** sind berücksichtigt,
- basiert auf seh-ergonomischen Erkenntnissen.
- Grundlagen und Hintergründe, Begriffe, Leitsätze und Leistungsanforderungen, Gestaltungs-Anforderungen und Empfehlungen, Messverfahren und Konformität.
- Eine wichtige Gattung von Flachbildschirmen (LCDs) weist Betrachtungsmerkmale auf, die eine sorgfältige Kontrolle und Berücksichtigung der **Sehrichtung** erfordert.

Anwendungsbereich

ISO 13406-2 ist anwendbar auf

- Flachbildschirme, wenn sie zum Verrichten von Büroaufgaben verwendet werden

ISO 13406-2 ist nicht anwendbar auf

- Flachbildschirmtechnologien, die Optiken benutzt, um Bilder darzustellen, die nicht von der gleichen Größe sind wie der elektro-optische Wandler (Projektionsanwendungen von Anzeigen in Flachbauweise) oder
- Flachbildschirmtechnologien, die auf festen Informationsgehalt oder segmentierte alphanumerische Zeichen begrenzt sind.
- Einige Messmethoden dieser Norm (z. B. Kontrast, Leuchtdichte) sind nicht auf reflektive Anzeigen in Flachbauweise anwendbar.

Ergonomie (Ergonomik):

Wissenschaft von den Leistungsmöglichkeiten und –grenzen des arbeitenden Menschen sowie der besten wechselseitigen Anpassung zwischen dem Menschen und seinen Arbeitsbedingungen. (Duden PC-Bibliothek 2.1)

In dieser Präsentation

- Beschränkung auf die *visuellen Aspekte des Bildschirms*, keine Berücksichtigung des Haltungs- und Bewegungsapparates,
- Keine Berücksichtigung der Gestaltung der Arbeitsplatzes und seiner Beleuchtung.

Motivation für Unternehmen

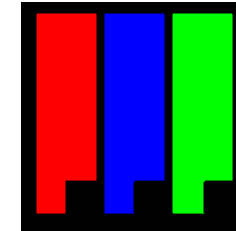
Ergonomische Gestaltung von Computer-Arbeitsplätzen aus Kostengründen !

- Vermeidung von z. B. vorzeitiger Ermüdung (d. h. Leistungsabfall) und langfristigen gesundheitlichen Beeinträchtigungen,
- Schutz der Gesundheit der Mitarbeiter und Erhaltung ihrer Leistungsfähigkeit.

LCDs (Liquid Crystal Displays) = Flüssigkristall-Anzeigen

Vom Taschenrechner zum Fernseher in 25 Jahren !

- LCD-Bildschirm = elektrisch steuerbares Lichtventil mit hoher Auflösung (z. B. 1024 x 768 x 3 Bildelemente)
- Additive Farbmischung mit Grundfarben R, G, B

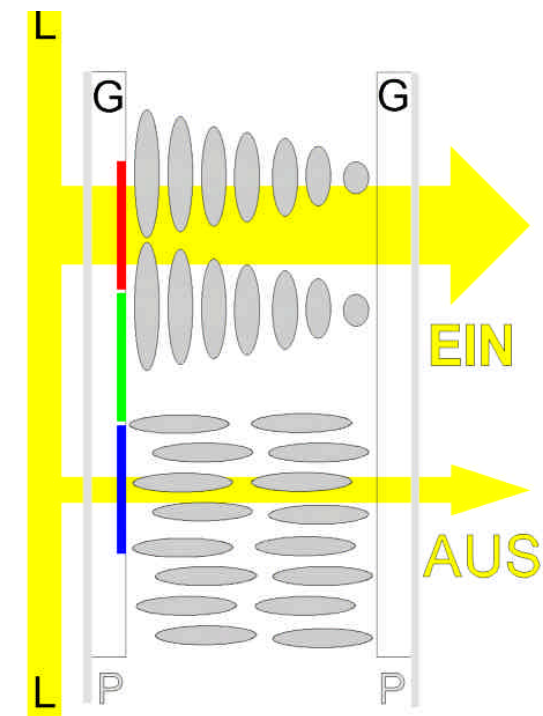


• Wesentliche Entwicklungsschritte

- Substrate mit Ansteuermatrix aus aktiven Bauelementen (Dünnschicht-Transistoren, TFTs)
- Reduktion der Sehrichtungseffekte u. a. durch neue elektro-optische Effekte (IPS, MVA, PVA, etc.)
- Verbesserung des Schaltverhaltens zur Wiedergabe bewegter Bildinhalte (Multimedia, Video, TV, etc.)

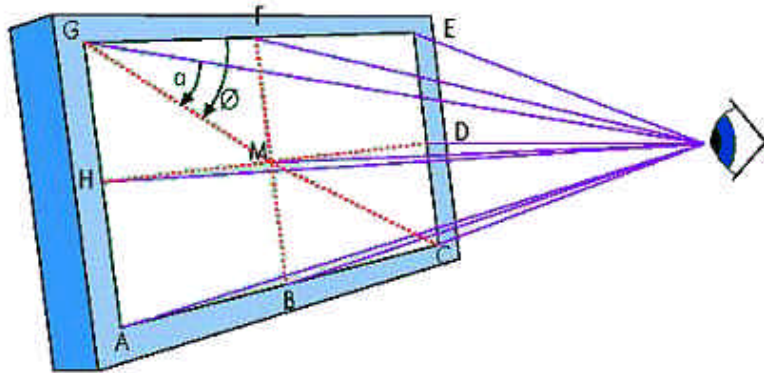
• Preise !

Schichtaufbau eines LCD

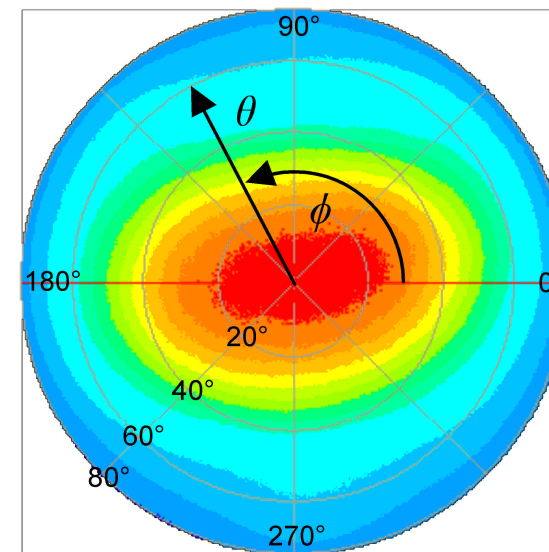


Sehrichtungseffekte

- Ausdehnung des Bildschirms → jeder Punkt wird aus anderer Richtung gesehen, selbst bei fixiertem Kopf des Betrachters,
- Visualisierung der Sehrichtungsabhängigkeit in *Polardiagrammen*,
- Sehrichtung: Neigungswinkel θ und Azimutwinkel ϕ ,
- Jeder Punkt im Polardiagramm entspricht einer Sehrichtung (θ, ϕ) .



Betrachter und Bildschirm (Geometrie)



Polardiagramm

Sehrichtungs-Bereichsklassen

Klasse I: Der Monitor ist bei beweglicher Kopfposition für mehrere Benutzer geeignet.

Klasse II: Der Monitor ist bei beweglicher Kopfposition für einen Benutzer geeignet.

Klasse III: Der Monitor ist bei fixierter Kopfposition für einen Benutzer geeignet (gesamter Monitor).

Klasse IV: Der Monitor ist bei fixierter Kopfposition für einen Benutzer geeignet, bei einer Sehrichtung ! (privacy screen)

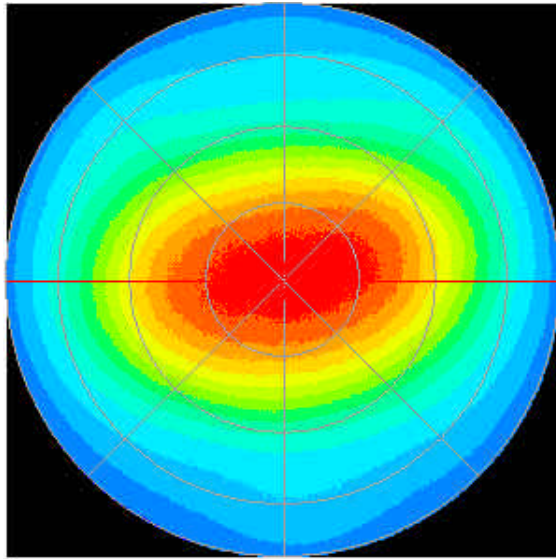
- Anzeigen an öffentlichen Plätzen → Klasse I



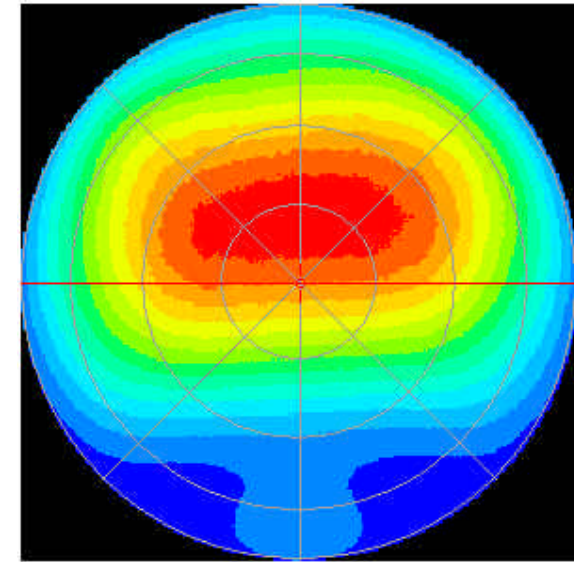
Ungereimtheiten bei Bestimmung und Einteilung von Sehrichtungs-Bereichsklassen:

z. B. Leuchtdichte-Gleichmäßigkeit, Farbgleichmäßigkeitsunterschiede

Sehrichtungseffekte - Leuchtdichte

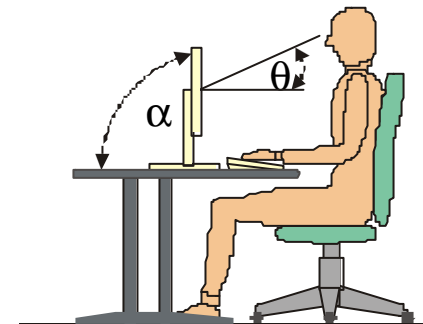
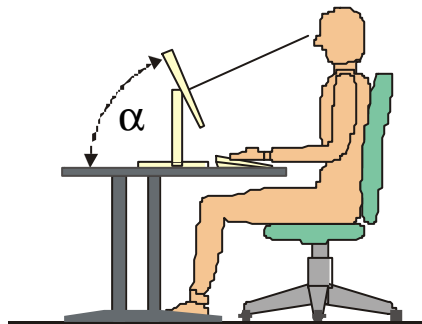


Hellzustand
RGB = 255/255/255

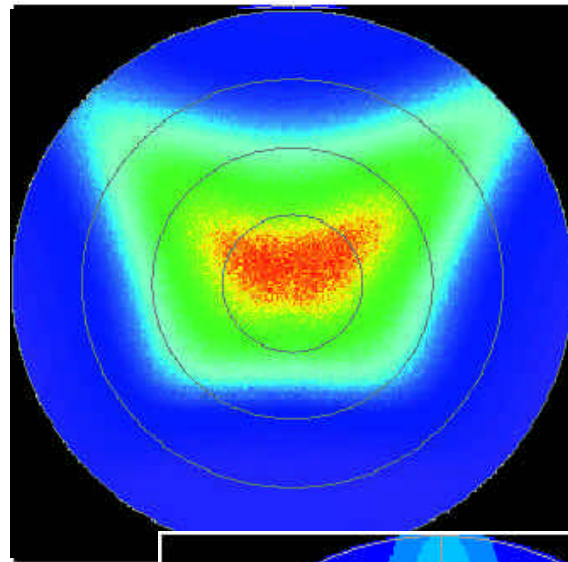


LCD-Monitor für senkrechte Betrachtung

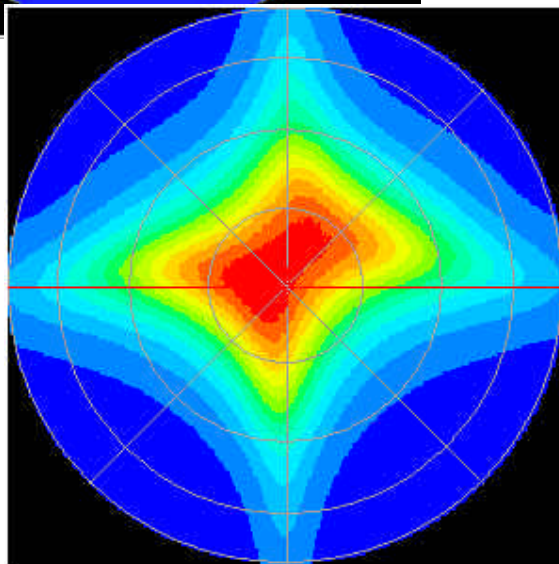
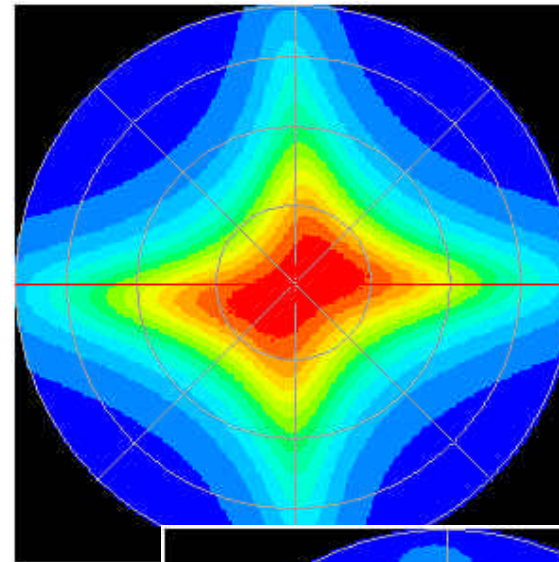
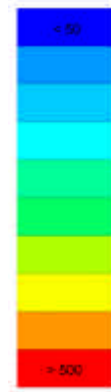
LCD-Monitor für Betrachtung von 12:00 Uhr



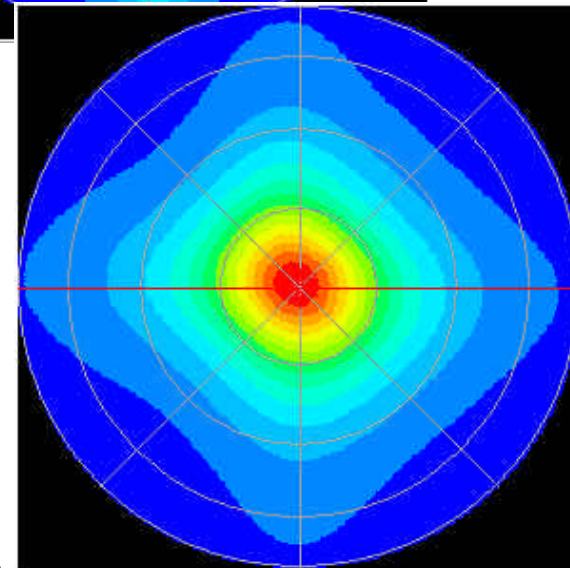
Sehrichtungseffekte - Kontrast



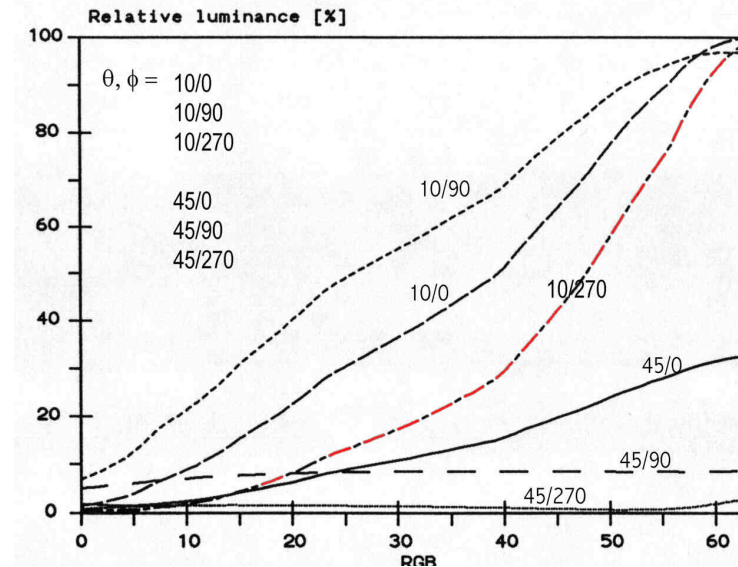
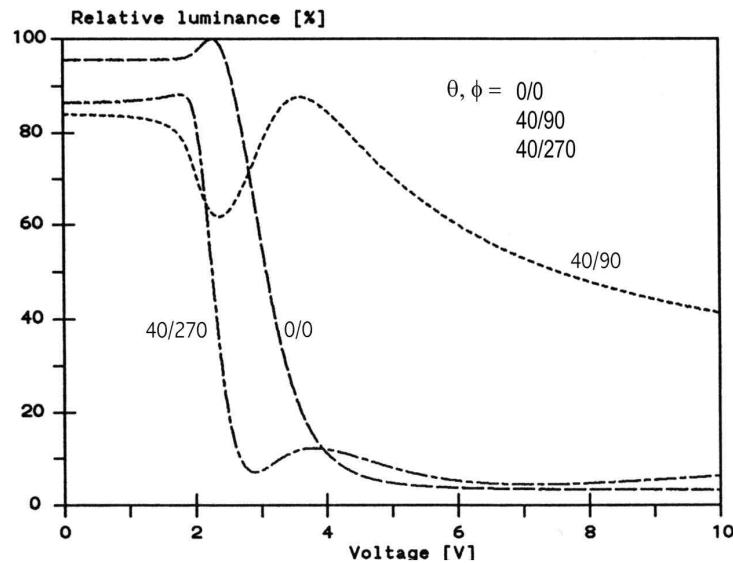
TN-Effekt
folien-
kompensiert



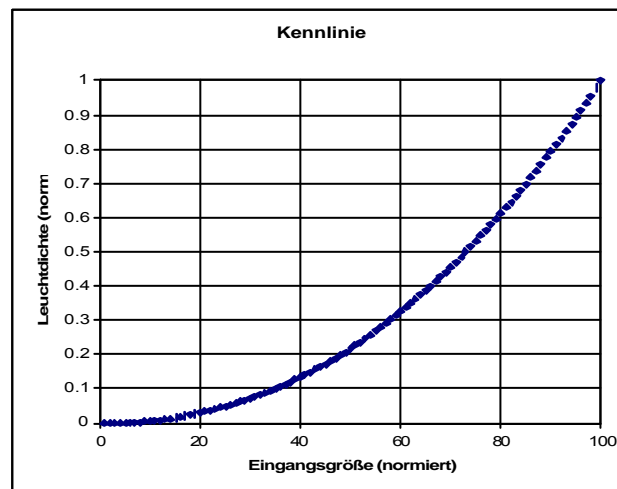
Dunkelraum



Sehrichtungseffekte - Graustufen



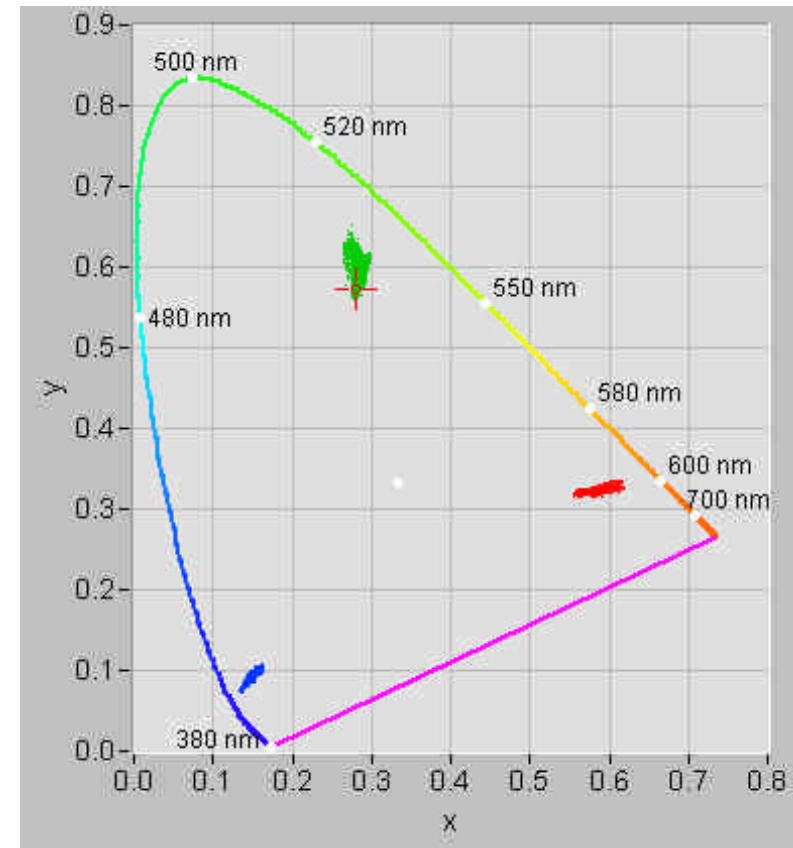
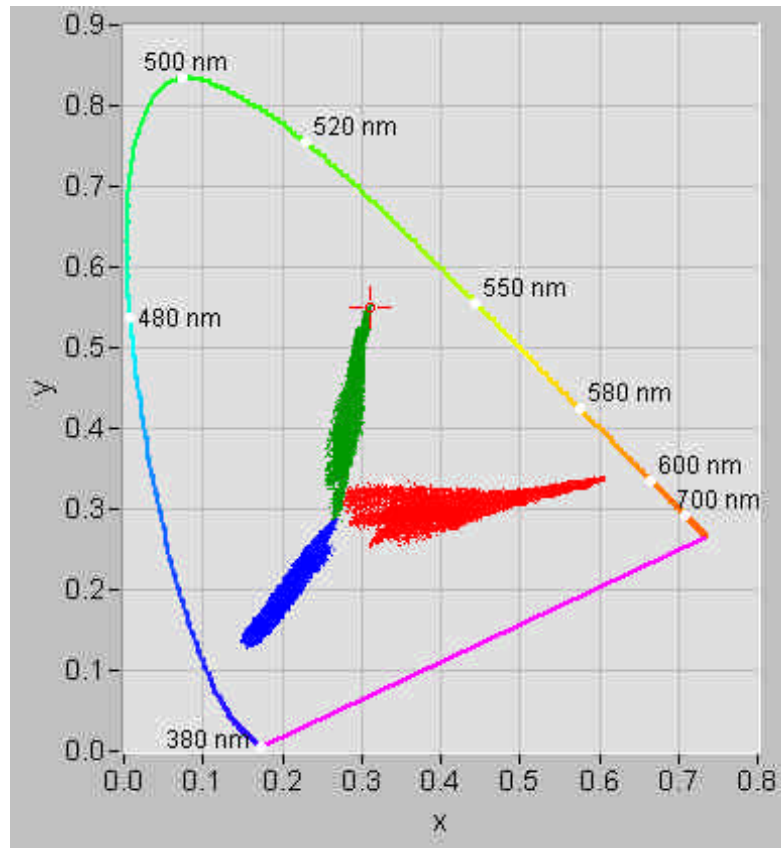
Für jede Sehrichtung zumindest monotone Kennlinie, sonst Graustufen-Inversion (wie Solarisation), Farbinversion



Übertragungs-Kennlinie eines Monitors mit Gamma = 2.2

Sollte unabhängig sein von der Sehrichtung !

Sehrichtungseffekte - Farbwiedergabe

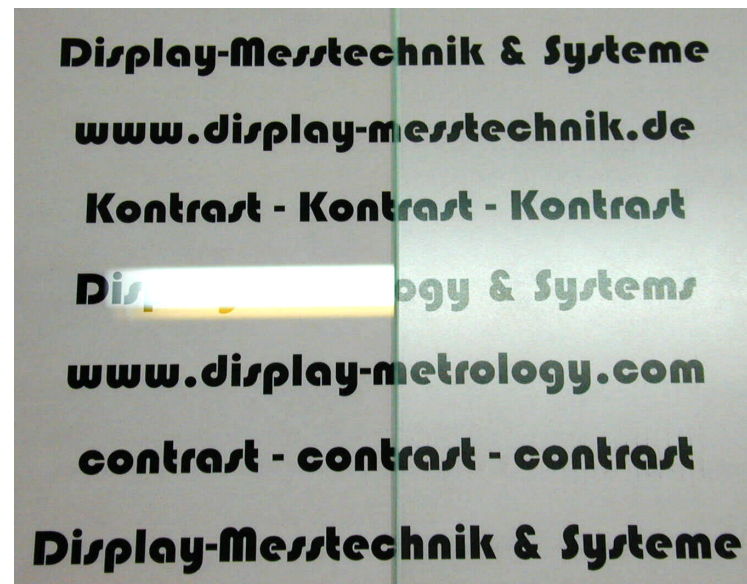


- Änderung der Farbörter der Primärfarben (R, G, B) mit der Sehrichtung über einen Sehrichtungsbereich von senkrecht bis 80°(im Dunkelraum !)
- Hauptsächlich Änderung der Sättigung (und der Leuchtdichte - hier nicht gezeigt)

Reflexionen

- Reduktion des Kontrastes bis zur Blendung,
- Entsättigung von Farben.

1° und 15° Lichtquelle zur Bewertung bei Reflexionsklasse I



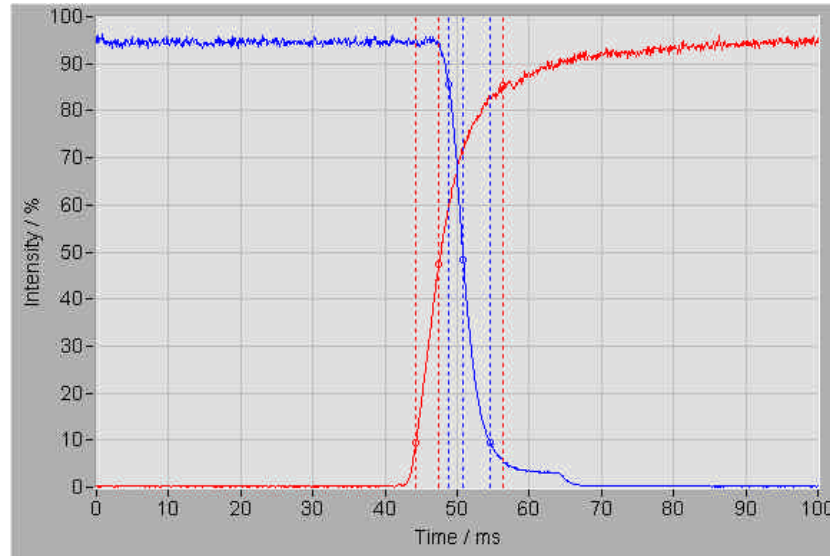
Spiegelnde Reflexion bei CRT-Monitoren
Bild der Lichtquelle ist erkennbar
(→ Fusionswettstreit)

Überstrahlung der Nutzinformation

Gestreute Reflexion bei LCD-Monitoren
kein Bild der Lichtquelle erkennbar

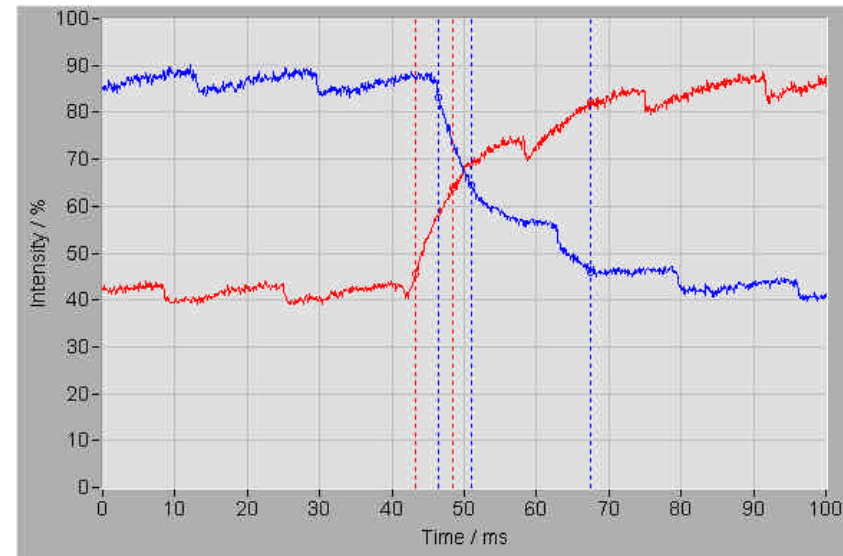
Reduktion des Kontrastes,
Nutzinformation bleibt erkennbar

Bildaufbauzeiten



Schalten von Schwarz nach Weiß und zurück
RGB = 0/0/0 → 255/255/255 → 0/0/0

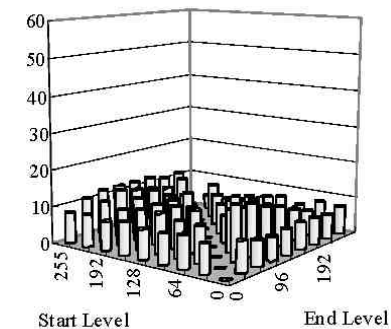
Bildaufbauzeit = 18 ms



Schalten von Grau-1 nach Grau-2 und zurück
RGB = 192/192/192 → 128/128/128 → 192/192/192

Bildaufbauzeit = 45 ms

Eine hinreichende Charakterisierung des dynamischen Verhaltens erfordert mindestens 20 Messungen zwischen jeweils 5 Graustufen



Pixelfehler

Definitionen

Typ 1	ein stets helles Bildelement (Pixel)
Typ 2	ein stets dunkles Bildelement (Pixel)
Typ 3	ein stets helles oder dunkles Teilbildelement (Subpixel)
Fehlerhafter Bereich	zwei oder mehr Pixel/Subpixel mit Fehlern in einer 5x5 Pixelgruppe

Nach ISO 13406-2 ergeben sich folgende Grenzwerte für Pixeldefekte

Auflösung	Typ1	Typ2	Typ3	Bereiche mit mehr als einem Fehler vom Typ1 oder 2	Bereiche mit Typ-3 Fehlern
1024 x 768	2	2	4	0	2
1280 x 1024	3	3	7	0	3
1600 x 1200	4	4	10	0	4

Keine Berücksichtigung der Position der Defekte (Rand, Zentrum, etc.)



Lassen Sie Ihren Monitor anschließen, in Betrieb nehmen und überprüfen Sie die Bildschirmfläche mit geeigneten Prüfmustern. Erwerben Sie das für gut befundene Exemplar !

Zeichengröße

Bei einem optimalen Sehwinkel von 22° ergibt sich für Großbuchstaben (z.B. "E") die folgende Schrifthöhe in Abhängigkeit vom Sehabstand.

Sehabstand [mm]	Optimale Schrifthöhe [mm]
500	3,2
550	3,5
600	3,8
650	4,2
700	4,5

Aus der Schrifthöhe und der Pixelgröße ergibt sich die Anzahl der anzusteuern Pixel und damit die Bildschirm-Zeichengröße für einen Sehabstand von 500 mm wie folgt

Bildschirm-Diagonale	15"	17"	18"	19"
Pixelgröße [mm x mm]	0,297 x 0,297	0,264 x 0,264	0,279 x 0,279	0,294 x 0,294
Anzahl Pixel für "E"	11	13	12	11
Zeichengröße	11 p	13 p	12 p	11 p

Plug & Play ?

Einstellung des LCD-Monitors auf das elektrische Signal der Graphikkarte mit geeigneten Testbildern und Prüfmustern

- Graphikkarte auf die physikalische Auflösung des LCD-Monitors und eine Bildwiederholfrequenz von 60 Hz einstellen,
- automatische Bildjustage

Falls dies nicht den gewünschten Erfolg bringt ...

- Feinjustage: Bild mit alternierenden Pixeln (Schachbrettmuster) anzeigen. Regler "Clock" und "Phase" so verstellen, bis keine vertikalen oder horizontalen Streifen mehr sichtbar sind.
- Kontrast: Graustufenbild anzeigen. Kontrastregler so einstellen, dass alle Graustufen in 10% Schritten visuell unterscheidbar sind (insbesondere die 10%-20% und die 90%-100% Stufe),
- Farbmodus: Graustufenbild anzeigen. Einstellung so, dass keine der Graustufen einen Farbstich oder einen Farbsaum zeigt,
- Helligkeit (*Leuchtdichte*): Beliebigen, aber typischen Bildinhalt anzeigen. "Helligkeit" auf einen als angenehm wahrgenommenen Wert einstellen,

Falls der LCD-Monitor über einen digitalen Signaleingang angesteuert wird (z.B. DVI), so entfallen die Schritte für die Bildjustage.

CRT vs. LCD

Kenngröße	CRT	LCD	Bemerkung
Kontrast (Dunkelraum)	hinreichend	350:1 – 600:1	Hängt bei CRTs von der Einstellung der <i>Helligkeit</i> ab !
Kontrast (Hellraum)	3:1 – 10:1	50:1 - 250:1	Mit diffuser Beleuchtung von 293 lux und gerichteter Lichtquelle mit 200 cd/m ²
Leuchtdichte	80 – 120 cd/m ²	150 - 250 cd/m ²	
Flimmern	störend	nicht wahrnehmbar	schlimmer in heller Umgebung
Reflexionen	störend	kein Bild der Quelle	Refokussieren belastet stark
Bildaufbauzeit	schnell	langsamer	LCDs mittlerweile videotauglich
Gleichmäßigkeiten			
Leuchtdichte	gut	hinreichend	
Kontrast	gut	hinreichend	
Farbe	gut	hinreichend	

LCD-Monitore

- ➔ LCD-Monitore ermöglichen wegen ihrer Flimmerfreiheit und der stark reduzierten spiegelnden Reflexionen ein visuell angenehmes und "augenschonendes" Arbeiten, besonders in heller Umgebung.
- ➔ Die Änderung von Leuchtdichte, Kontrast und Farbe mit der Sehrichtung ist für die meisten Anwendungen im Büro (und für andere auch) bereits hinreichend gering. Weitere Verbesserungen sind unterwegs ...
- ➔ LCD-Bildschirme sind dank der mittlerweile stark verkürzten Schaltzeiten auch für Fernseh- und Videoanwendungen gut geeignet.

Zusammenfassung

- ❖ Trotz leichter Mängel bildet ISO 13406-2 eine gute Grundlage für die objektive Bewertung der visuellen Leistungsfähigkeit von LCD-Monitoren.
- ❖ Die wesentlichen Aspekte der Messtechnik und der Bewertungsmethoden sind auch über die Bürotätigkeit hinaus anwendbar.
- ❖ Wesentliche Entscheidungshilfe für Erwerb und Verwendung von Monitoren durch objektiven Vergleich von Produkten - wenn die Daten vom Hersteller zur Verfügung gestellt werden !
- ➔ **Kunden können gegen die mangelhafte Charakterisierung angehen und sollten vom Lieferanten fordern:**
 - ❖ Daten und Kenngrößen, die nach den Messverfahren von ISO13406-2 ermittelt wurden, oder
 - ❖ Klassifizierungen für die Monitore nach ISO 13406-2 (Sehrichtungsbereichsklassen, Reflexionsklassen, Bildaufbauzeiten, etc.), oder
 - ❖ ein qualifiziertes Prüfzertifikat, das auf Prüfungen nach ISO 13406-2 beruht (z. B. *GS*-Zeichen oder *ERGONOMIE GEPRÜFT* vom TÜV Rheinland).

Ergonomics of LCD-Monitors: ISO 13406-2 and its practical implications

Michael E. Becker, Display-Messtechnik & Systeme, Karlsruhe
Hans-Jürgen Herrmann, TÜV Rheinland Product Safety GmbH, Köln

Abstract

The international standard ISO 13406 describes ergonomic requirements for computer monitors based on Liquid Crystal Displays (LCDs) that have to be fulfilled in order to make office work with computers safe for the operator and effective at the same time. This paper summarizes various electro-optical features of Liquid Crystal Display devices, establishes their relations to the ergonomic performance of such displays and gives an introduction into measurements that yield the data required to rate and classify the performance of LCD-monitors. A basic idea about the objectives and classifications of ISO 13406-2 is helpful for purchasing decisions, not only on the corporate level but, due to increasingly more attractive prices, also for the private user.

ISO 13406-2 has established several categories in which LCD-monitors are classified according to the results of the respective measurements and evaluations:

- ◆ uniformity of luminance, contrast and color with respect to viewing-direction and the location on the display area → classification into "viewing-direction range classes"
- ◆ reflections and contrast under ambient illumination → classification into "reflection classes"
- ◆ image formation time → classification into "application classes" (static images, animated contents, video, movies), flicker and jitter effects,
- ◆ pixel faults → classification into "pixel fault classes".

For a variety of tasks and over a wide range of ambient illumination situations, LCD-monitors offer a better ergonomic performance for the user than comparable CRT-monitors due to reduced reflections and absence of flicker. Some practical aspects for the adjustment of LCD-monitors are also presented.

Ergonomie von LCD-Monitoren: ISO 13406-2 und ihre Bedeutung für die Praxis

Kurzfassung

Der internationale Standard ISO 13406 beschreibt ergonomische Anforderungen an Computer-Monitore mit Flüssigkristall-Anzeigen (LCD-Monitore), die erfüllt sein müssen, um die Arbeit mit ihnen sicher und effektiv zu machen. Dieser Beitrag fasst die elektro-optischen Eigenschaften von Flüssigkristall-Anzeigen zusammen und stellt den Bezug zur Ergonomie dieser Anzeigen her. Ein Einblick in diese Zusammenhänge und das Verständnis der wesentlichen Aspekte von ISO 13406 erleichtert die Auswahl von LCD-Monitoren auch für den privaten Benutzer.

Nach ISO 13406 werden LCD-Monitore nach folgenden Kriterien klassifiziert:

- ◆ Gleichmäßigkeit von Leuchtdichte, Kontrast und Farbe bezüglich Sehrichtung und über die Anzeigenfläche → "Sehrichtungs-Bereichsklassen",
- ◆ Reflexionen und Kontrast unter Beleuchtung → "Reflexions-Klassen",
- ◆ Bildaufbauzeit → "Anwendungs-Klassen (statische Bildinhalte, Filme, Videos), Flimmer und Jitter-Effekte (*Bildzittern*),
- ◆ Bildelement-Defekte → "Bildelement-Fehlerklassen" ("Pixel-Fehlerklassen")

Wie im Folgenden gezeigt wird, stellen moderne LCD-Monitore für viele Anwendungen die ergonomisch bessere Wahl dar.

Einleitung

LCD-Monitore erfreuen sich wegen der flachen Bauweise, der reduzierten Leistungsaufnahme und der geringeren Emission von elektromagnetischer Strahlung und wegen des angenehmen visuellen Eindrucks zunehmender Beliebtheit. In letzter Zeit werden sie aufgrund der deutlich gesunkenen Preise auch für den Privatkunden erschwinglich. Wenn Sie sich demnächst einen Flachbildschirm anschaffen wollen, werden vielleicht einige Fragen auftauchen:

- ◆ wie gut ist dieser oder jener LCD-Monitor, wie kann ich ihre Leistungsfähigkeit vergleichen ?
- ◆ wieviele Pixeldefekte (= Bildelement-Defekte) darf mein LCD-Monitor aufweisen ?
- ◆ kann ich Videospiele und Filme darauf wiedergeben ?
- ◆ wie stark sind die Abhängigkeiten von der Sehrichtung ?
- ◆ (wie) kann ich den LCD-Monitor optimal einstellen ?

Dieser Beitrag will Ihnen den LCD-Monitor, seine Vorzüge und seine Eigenheiten näherbringen, so dass es Ihnen je nach geplanter Anwendung und den daraus folgenden Anforderungen gelingen sollte, einen optimalen LCD-Monitor zu beschaffen.

LCDs - Liquid Crystal Displays - Flüssigkristall-Anzeigen

Seit in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre die ersten Flüssigkristall-Anzeigen in Form von kleinen reflektiven Displays in Armbanduhren, Taschenrechnern und anderen batteriebetriebenen Geräten aufgetaucht sind, wurden auf diesem Gebiet der Anzeigentechnologie enorme Fortschritte erzielt. Die Realisierung von tragbaren Rechnern (Laptop Computer, PDAs) wäre ohne sie nicht möglich gewesen. Heute finden wir im Regal der Fachmärkte Computer-Monitore und Fernsehgeräte mit LCD-Bildschirm, die durch sehr gute Bildqualität auch bei bewegten Bildinhalten überzeugen.

LCDs - die Technologie

Alles eine Sache des "Sehwinkels" ?

Eine sofort ins Auge fallende Eigenart von LCDs ist die Abhängigkeit der dargestellten Bildinformation von der Richtung, unter der die Anzeige angeschaut wird. Je nach Sehrichtung sind mehr oder minder deutliche Veränderungen von "Helligkeit", Farbe und Kontrast wahrzunehmen.

Dieser Effekt erklärt sich durch einen Blick auf den Aufbau solcher Anzeigen. Ein LCD besteht aus zwei ebenen Glasplatten, zwischen denen sich eine dünne Schicht von Flüssigkristallmaterial befindet (etwa 5 μm), dessen Ausrichtung durch ein elektrisches Feld gesteuert wird. Auf den Glasplatten sind über die gesamte Fläche Polarisatorfolien aufgebracht, so dass die Transmission dieser Anordnung elektrisch gesteuert werden kann. Die Beleuchtung wird durch eine großflächige flache Lichtquelle hinter der Anzeige realisiert (*backlight*). Das vom Betrachter wahrgenommene Licht durchquert je nach Augenposition (d. h. *Sehrichtung*) die Flüssigkristallschicht unter unterschiedlichen Richtungen und erfährt demzufolge auch bei gleicher Ansteuerung unterschiedliche Veränderungen des Polarisationszustandes, was als Unterschied von z. B. "Helligkeit" (d. h. *Leuchtdichte*), Kontrast und Farbe wahrgenommen wird.

Eine wesentliche Herausforderung an die LCD-Entwickler über die letzten 15 Jahre war die Reduktion dieser Abhängigkeiten der optischen Eigenschaften von der Sehrichtung. Ein erster wichtiger Schritt in diese Richtung war die technische Realisierung der *aktiv-Matrix-Ansteuerung*, d. h. die Entwicklung einer Technologie, die es ermöglicht, jedem einzelnen Bildelement in der Anzeige sein eigenes aktives Schaltelement (z. B. Transistor) zuzuordnen. Das bedeutet bei einem Bildschirm mit 1024 * 768 Bildelementen, dass 2,36 Mio. winzigster Transistoren ohne Defekte auf die Glassubstrate aufgebracht und kontaktiert werden müssen !

Ein weiterer Schritt zur Reduktion der Abhängigkeiten von der Sehrichtung war die Einführung und Optimierung von elektro-optischen Effekten in Flüssigkristallen, die diesbezüglich bessere Eigenschaften als der weitverbreitete TN-Effekt (*twisted nematic*) aufweisen. Hier ist insbesondere der IPS-Effekt (*in-plane switching*) zu nennen und die Einführung von Ausrichtungen senkrecht zu den Glassubstraten (*vertical alignment*) zusammen mit der Aufteilung der Teilbildelementflächen in unterschiedliche Domänen (*multi-domain effects*). Die Eigenschaften des altgedienten TN-Effekts ließen sich durch zusätzliche doppelbrechende Kompensationsfolien (*retarder foils*) erheblich verbessern, die zusammen mit den Polarisationsfolien auf die Glassubstrate aufgebracht werden.

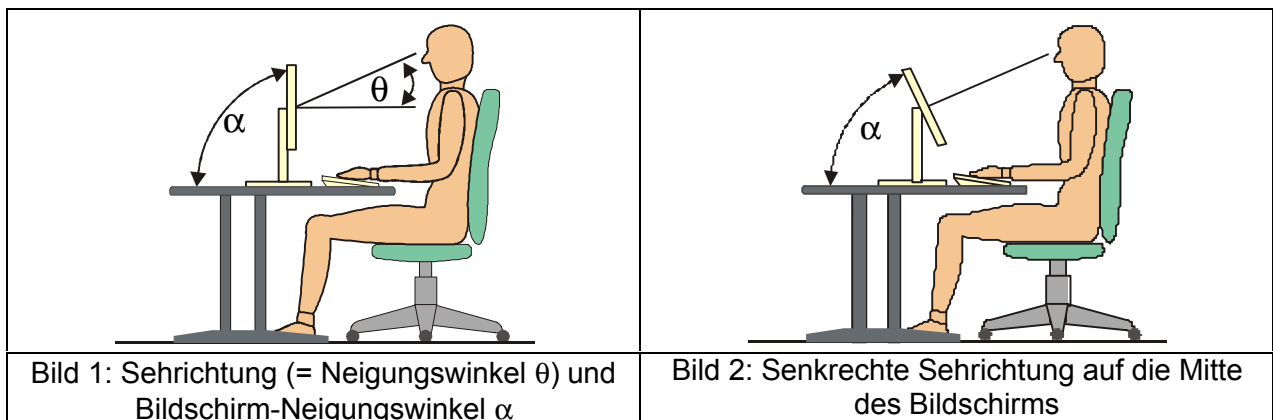
Die zur Zeit in LCD-Monitoren gebräuchlichsten elektro-optischen Effekte sind:

- ◆ kompensierter TN-Effekt,
- ◆ IPS-Effekt (mit unterschiedlichsten Bezeichnungen der verschiedenen Hersteller),
- ◆ MVA-Effekt (*multidomain vertical alignment*) in unterschiedlichen Varianten.

Sehrichtungseffekte

Selbst wenn man den Kopf eines Betrachters relativ zum LCD-Monitor fixiert, sieht man unterschiedliche Stellen auf der Anzeige unter unterschiedlichen Richtungen. Je nach Anwendung des LCD-Monitors muss also sichergestellt sein, dass zumindest ein einzelner Betrachter mit beweglichem Kopf oder auch mehrere Betrachter gleichzeitig die dargestellte Bildinformation ohne störende Effekte wahrnehmen können.

Die geometrischen Verhältnisse an einem Arbeitsplatz mit LCD-Monitor sind in Bild 1 skizziert. Der Monitor ist gegenüber der Tischfläche um einen Winkel α geneigt (hier: 90°) und der Betrachter schaut unter dem Winkel θ auf die Mitte der Anzeigenfläche. Die Sehrichtung wird durch zwei Winkel beschrieben: dem Neigungswinkel θ bezüglich der Flächennormalen der Anzeige und dem Azimutwinkel ϕ , der auch als Richtung auf dem Ziffernblatt einer Uhr angegeben wird (z. B. 12:00 = vertikal von oben, 3:00 = horizontal von rechts).



Aus beiden Bildern (dargestellt ist nur der Neigungswinkel α) wird auch direkt ersichtlich, dass die obere Kante des Bildschirms immer unter einer anderen Richtung gesehen wird als die untere Kante. Der Benutzer eines LCD-Monitors mit z. B. 17" Diagonale sieht also bei einem Sehabstand von 50cm (zur Mitte der Anzeigenfläche), wenn sich der Kopf über einer der Ecken befindet, die gegenüberliegende Ecke unter einem Neigungswinkel von 41° . Es sollte hier also sichergestellt sein, dass bei Änderungen der Sehrichtung über einen Neigungswinkelbereich von $\pm 41^\circ$ keine störenden visuellen Effekte auftreten.

Die Bedeutung der Sehrichtung auf die Qualität der Wahrnehmung von LCDs wird auch in der Norm ISO 13406 offensichtlich: alle wichtigen visuellen Größen werden als Funktion der Sehrichtung gemessen und die Ergebnisse in unterschiedliche Kategorien eingeteilt.

So unterscheidet die Norm ISO 13406 die folgenden **Sehrichtungs-Bereichsklassen**:

- Klasse I: Der LCD-Monitor ist bei beweglicher Kopfposition für mehrere Benutzer geeignet.
Klasse II: Der LCD-Monitor ist bei beweglicher Kopfposition für einen Benutzer geeignet.
Klasse III: Der LCD-Monitor ist bei fixierter Kopfposition für einen Benutzer geeignet.
Klasse IV: Der LCD-Monitor ist bei fixierter Kopfposition für einen Benutzer geeignet.

Fernsehschirme oder Anzeigen an öffentlichen Plätzen sollten also den Anforderungen der Klasse I genügen, Bildschirme für Computerarbeiten an vertraulichen Inhalten in öffentlichen Verkehrsmitteln (Flugzeug, Bahn) können der Klasse IV angehören (*privacy screen*).

Änderungen von Leuchtdichte ("Helligkeit") und Farbe mit der Sehrichtung

Die vom Betrachter wahrgenommene "Helligkeit", messtechnisch durch die Leuchtdichte beschrieben, ändert sich mit der Sehrichtung, wie in Bild 3 und 4 für zwei unterschiedliche LCD-Monitore dargestellt. Die geringsten Änderung der Leuchtdichte zeigt der linke LCD-Monitor bei senkrechter Betrachtung (zentriert um das rot dargestellte Maximum der Leuchtdichte), der rechte Monitor hingegen bei etwa 17° Neigung zur Normalen bei einem Azimutwinkel von 90° (= 12:00 Uhr).

Die Visualisierung der Sehrichtungsabhängigkeit von skalaren Größen wie Leuchtdichte oder Kontrast erfolgt in den gezeigten Polardiagrammen, in denen die Sehrichtung durch einen Abstand zur Mitte und einen Azimutwinkel beschrieben wird. Jeder Punkt in diesen Diagrammen entspricht also einer Sehrichtung. Der dieser Sehrichtung entsprechende Messwert wird im Diagramm durch Farben, Graustufen oder durch entsprechende Höhenlinien dargestellt.

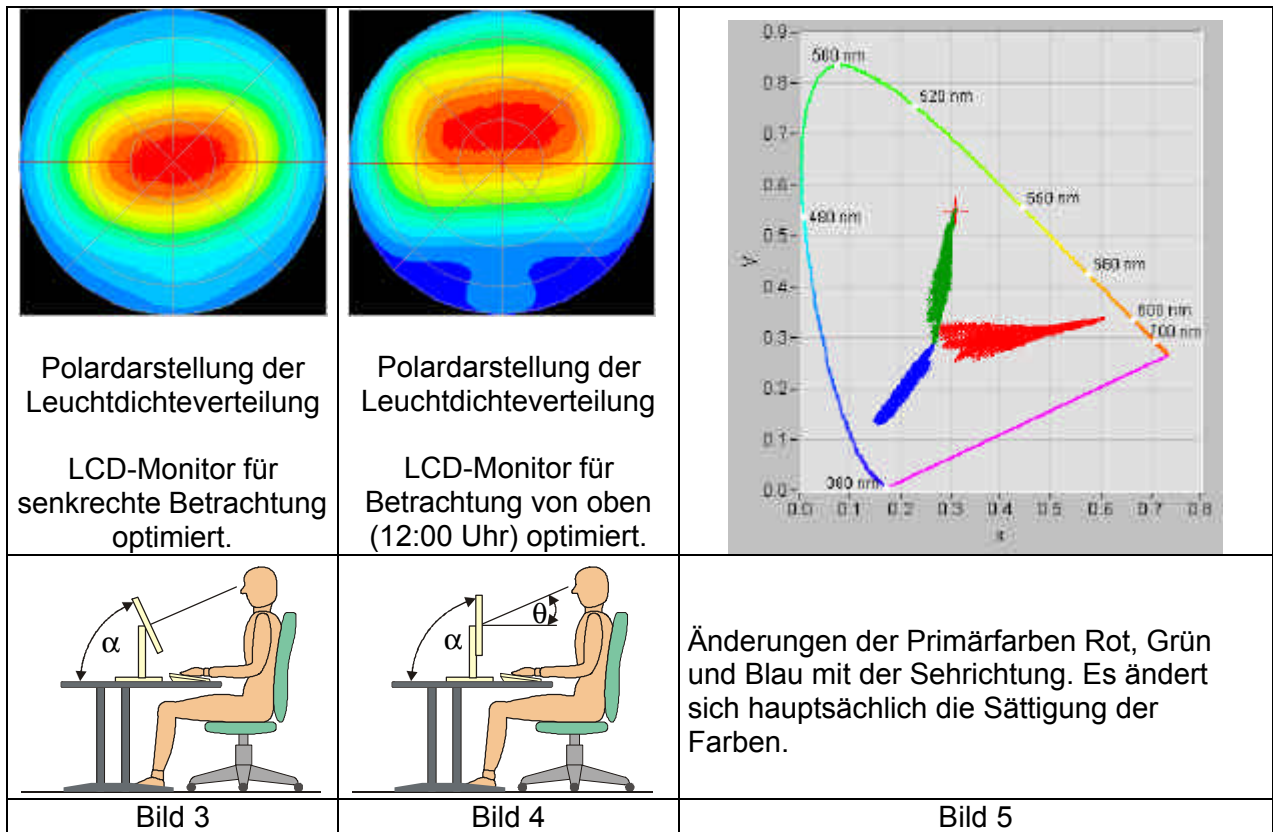
Veränderungen des Farbeindrucks mit der Sehrichtung müssen jedoch als Punktwolken in der Normfarbtafel dargestellt werden, da jede Farbe durch zwei Angaben beschrieben ist (Farbkoordinaten, z. B. x und y, CIE 1931). Bild 5 zeigt die Änderung der Primärfarben Rot, Grün und Blau mit der Sehrichtung, gemessen in einem maximalen Neigungswinkelbereich von 80°. Ein idealer LCD-Monitor würde für jede Primärfarbe nur einen Punkt ergeben, was bedeutet, dass die Primärfarben (und damit auch die daraus gemischten Farben) aus allen Sehrichtungen gleich wahrgenommen werden.

Änderungen des Kontrastes mit der Sehrichtung und mit der Beleuchtung

Die Schlüsselgröße für die Beschreibung der Wahrnehmbarkeit von visueller Information ist der *Kontrast*, definiert als das Verhältnis der Leuchtdichte des Zeichens zu der Leuchtdichte des Hintergrundes. Die Quotientenbildung erfolgt so, dass das Ergebnis immer größer als Eins ist. Werden dunkle Zeichen auf einem hellen Hintergrund dargestellt, bezeichnet man dies als "Positivkontrast-Darstellung", bei der "Negativkontrast-Darstellung" sind die Zeichen heller als der Hintergrund des LCD-Monitors.

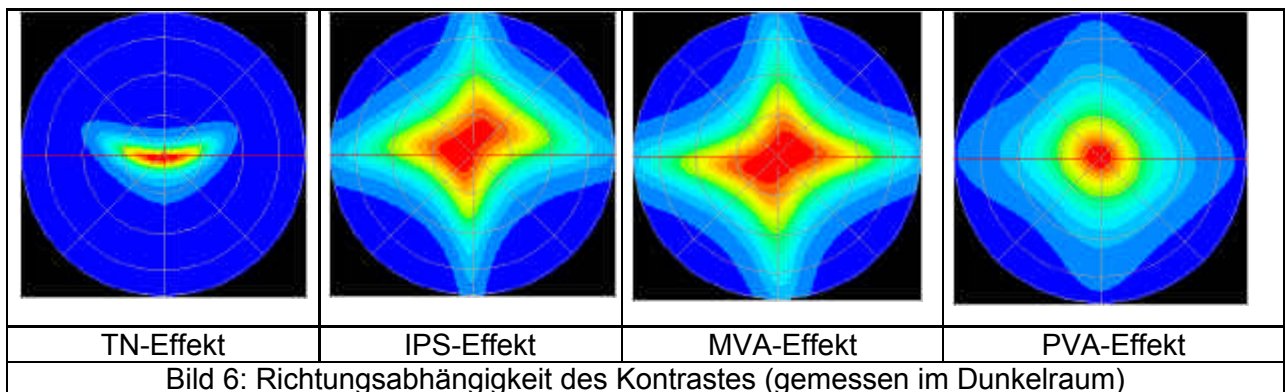
Die Sehrichtungsabhängigkeit des Kontrastes (gemessen im Dunkelraum) für einige wichtige elektro-optische Effekte ist in Bild 6 dargestellt. Der TN-Effekt zeigt nur einen kleinen Bereich von Sehrichtungen mit hohem Kontrast (rot) um die Senkrechte herum, während die anderen Effekte erheblich größere Sehrichtungsbereiche mit hohem Kontrast aufweisen.

Die unter Dunkelraumbedingungen gemessenen Kontraste entsprechen jedoch nicht den tatsächlichen Anwendungsbedingungen der LCD-Monitore, die im Allgemeinen in hellen Arbeitsumgebungen aufgestellt und benutzt werden. Deshalb schreibt ISO 13406 auch die Messung von Kontrast unter Umgebungsbeleuchtung vor. Durch das von der Anzeige reflektierte Umgebungslicht wird insbesondere die Leuchtdichte des Dunkelzustandes größer, was zu einer Abnahme des Kontrastes führt. Die Überlagerung von weißem Umgebungslicht führt außerdem zu einem "Ausbleichen" ("Entsättigen") der dargestellten Farben, also zur Reduktion des darstellbaren Farbumfangs.



In den Prospekten der Monitorhersteller sind fast ausschließlich Dunkelraumkontraste angegeben (mit beeindruckenden Zahlenwerten!), eventuell zusammen mit dem Sehrichtungsbereich innerhalb dessen der Kontrast oberhalb von z. B. 10:1 bleibt. Dieser Sehrichtungsbereich wird durch die Angabe des Neigungswinkels θ in horizontaler und vertikaler Richtung angegeben (z. B. 40° vertikal, 60° horizontal).

Während die Dunkelraumkontraste im Bereich von 250:1 bis 500:1 und darüber liegen, geht der Kontrast unter realen Bürobedingungen (250 lx bis 500 lx Beleuchtungsstärke) je nach Entspiegelungsmaßnahmen auf Werte von einigen 10:1 bis 100:1 zurück.



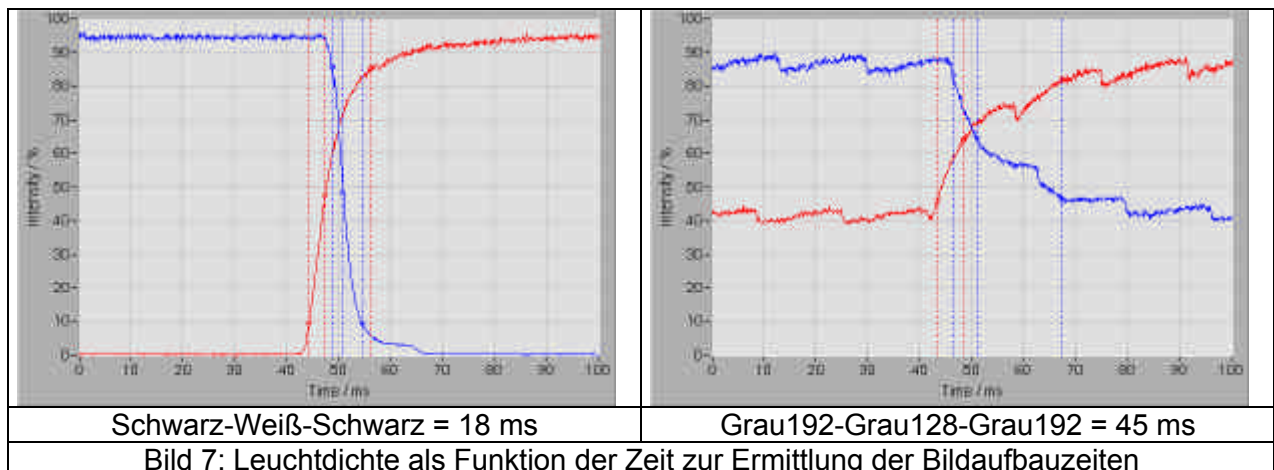
Im Gegensatz zu Monitoren mit Kathodenstrahlröhren (CRTs) können LCD-Monitore mit einer aufgerauhten Oberfläche versehen werden (*anti-glare coating*), die dafür sorgt, dass Lichtquellen, die sich in der Anzeige spiegeln, nur als konturlose helle Flecken wahrgenommen werden. Im Gegensatz zum CRT-Monitor, bei dem das Bild der gespiegelten Lichtquelle klar erkannt wird, versucht das Auge des Betrachters nicht dieses Bild der Lichtquelle scharf zu stellen, was eine erhebliche Erleichterung für unser visuelles System darstellt und die Arbeit mit LCD-Monitoren angenehm und weniger ermüdend gestaltet.

ISO 13406-2 unterscheidet drei Reflexionsklassen. Für den Einsatz in einer Büroumgebung sollte der LCD-Monitor mindestens der Reflexions-Klasse II entsprechen. Die Praxis der Messtechnik zeigt, dass fast alle getesteten LCD-Monitore die Anforderungen nach Klasse I sowohl für Darstellung mit negativer bzw. positiver Kontrastpolarität einhalten.

Alles eine Frage der Geschwindigkeit ...

Im Gegensatz zu CRT-Monitoren ist es auffällig, dass LCD-Monitore meist keine störenden Flimmer-Effekte aufweisen. Dies liegt darin begründet, dass die lichterzeugenden Phosphore in CRTs sehr schnell auf den Beschuss mit Elektronen reagieren und die Lichterzeugung auch wieder schnell abklingt. Die Zeiten, die der Flüssigkristall zur Umorientierung benötigt sind dagegen um mindestens eine Größenordnung länger als die Schaltzeiten der Phosphore. Dies vermeidet zwar unangenehme Flimmer-Effekte, die bis zu Kopfschmerzen führen können, kann aber gleichzeitig ein Hindernis bei der Wiedergabe von bewegten Bildinhalten (z. B. Video) sein.

Nach ISO 13406 ist die Bildaufbauzeit die Zeit, in der sich die Leuchtdichte des LCD-Monitors von 10% auf 90% und wieder zurück auf 10% ändert (mit Schwarz = 0% und Weiß = 100%). Zur Darstellung von Video-Inhalten ohne *Verschmieren* sollte die Bildaufbauzeit unterhalb von 10 ms liegen. Eine Problematik der vorliegenden Norm besteht jedoch darin, dass die Schaltzeiten bei LCDs zwischen mittleren Graustufen erheblich länger ausfallen kann (z. B. 45 ms), als das Umschalten zwischen Schwarz und Weiß (hier 18 ms), wie in Bild 7 dargestellt. Diese Schwachstelle der Norm wird in kommenden Versionen korrigiert werden.



Darüberhinaus sind die Bildaufbauzeiten auch von einigen Einstellungen der Graphik-Karte und des LCD-Monitors abhängig (z. B. Gamma-Kurve).

Wieviele defekte Bildelemente (Pixel) muss ich akzeptieren ?

Ein Bildelement (*Pixel*) besteht auch bei LCDs aus drei Teilbildelementen (*Subpixeln*) mit den Primärfarben Rot, Grün und Blau, die sich bei gleichzeitiger Ansteuerung und maximaler Intensität im Auge des Betrachters zu Weiß addieren. Es können folgende Defekte auftreten:

Typ 1	ein stets helles Bildelement (Pixel)
Typ 2	ein stets dunkles Bildelement (Pixel)
Typ 3	ein helles oder dunkles Teilbildelement (Subpixel)
Fehlerhafter Bereich	zwei oder mehr Pixel/Subpixel mit Fehlern in einer 5x5 Pixelgruppe

Die Anzahl der defekten Pixel oder Subpixel wird nach ISO 13406 wie folgt klassifiziert:

Auflösung	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Bereiche mit mehr als einem Fehler vom Typ 1/2	Bereiche mit Typ 3 Fehlern
1024 x 768	2	2	4	0	2
1280 x 1024	3	3	7	0	3
1600 x 1200	4	4	10	0	4

Um sicher zu gehen, lassen Sie sich den LCD-Monitor, den Sie erwerben möchten, auspacken und anschließen, so dass Sie sich persönlich von der Anzahl der defekten Pixel überzeugen können. Nehmen Sie dann eben jenes Exemplar mit, das Sie für gut befunden haben.

Plug & play ?

Von besondere Bedeutung für die Sicherstellung einer optimalen Leistung des LCD-Monitors ist die Einstellung des Gerätes auf das von der Graphikkarte generierte elektrische Signal, was mit Hilfe von geeigneten Testbildern geschehen kann. In der Praxis hat sich folgende Vorgehensweise bei der Einstellung bewährt:

- 1 Graphikkarte auf die Auflösung des LCD-Monitors und eine Bildwiederholfrequenz von 60 Hz einstellen.
- 2 Durchführen der automatischen Bildjustage (z. B. mit Windows-Desktop oder einem weißen Bildinhalt). Falls dies nicht den gewünschten Erfolg bringt ...
- 3 Feinjustage: Bild mit alternierenden Pixeln (Schachbrettmuster) anzeigen. Regler „Clock“ und „Phase“ so verstellen, bis keine vertikalen oder horizontalen Streifen mehr sichtbar sind.
- 4 Kontrast: Graustufenbild anzeigen. Kontrastregler so einstellen, dass alle Graustufen in 10% Schritten visuell unterscheidbar sind (insbesondere die 10%-20% und die 90%-100% Stufe).
- 5 Farbmodus: Graustufenbild anzeigen. Einstellung so, dass keine der Graustufen einen Farbstich oder einen Farbsaum zeigt.
- 6 Helligkeit (*Leuchtdichte*): Beliebigen, aber typischen Bildinhalt anzeigen. "Helligkeit" auf einen als angenehm wahrgenommenen Wert einstellen.

Falls der LCD-Monitor über einen digitalen Signaleingang angesteuert wird (z.B. DVI), so entfallen die Schritte 2 und 3.

Von Hause aus sollten sich, im Gegensatz zum CRT-Monitor, beim LCD-Monitor die "Helligkeit" und der Kontrast unabhängig voneinander einstellen lassen. In letzter Zeit werden (aus unerfindlichen Gründen) diese Einstellmöglichkeiten von einigen Herstellern leider "vermischt", was zu schwierigerer Einstellarbeit führt.

Vergleich von Monitoren mit CRTs und LCDs

Kenngroße	CRT	LCD	Bemerkung
Kontrast (Dunkelraum)	hinreichend	350:1 – 600:1	
Kontrast (Hellraum)	3:1 – 10:1	50:1 - 250:1	
Leuchtdichte	80 – 120 cd/m ²	150 - 250 cd/m ²	
Flimmern	störend	nicht wahrnehmbar	schlimmer in heller Umgebung
Reflexionen	störend	kein Bild der Quelle	Refokussieren ermüdet stark
Gleichmäßigkeiten			
Leuchtdichte	gut	hinreichend	
Kontrast	gut	hinreichend	
Farbe	gut	hinreichend	
Bildaufbauzeit	schnell	langsamer	LCDs mittlerweile videotauglich

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass LCD-Monitore wegen ihrer Flimmerfreiheit und der stark reduzierten Reflexionen ein visuell angenehmes und augenschonendes Arbeiten insbesondere in heller Umgebung ermöglichen. Die Veränderung von Leuchtdichte, Kontrast und Farbe mit der Sehrichtung ist für die meisten Anwendungen im Büro ausreichend gering, alleine für Arbeiten mit grafischen Inhalten, bei der auch kleinste Änderungen von Graustufe und Farbe von Bedeutung sind, zeigen CRT-Monitore noch wahrnehmbare Vorteile. Darüberhinaus werden sich, dank der mittlerweile stark verkürzten Schaltzeiten, LCD-Bildschirme sich auch bei Fernseh- und Videoanwendungen im privaten Bereich immer mehr durchsetzen.