

Optimieren von Kontrast, Reflexion und Sparkle bei berührungsempfindlichen Bildschirmen

Michael E. Becker, Display-Messtechnik&Systeme GmbH & Co. KG, Karlsruhe
Ulrich Rütten, system elektronik GmbH, Braunschweig
Albert Hartfiel, Berliner Glas KGaA Herbert Kubatz GmbH & Co.

Tragbare Unterhaltungs- und Arbeitsgeräte mit berührungsgesteuerten Bildschirmen begegnen uns heutzutage überall. Die Erkennbarkeit der dargestellten Information in heller Umgebung, unter Sonneneinstrahlung oder künstlicher Beleuchtung lässt häufig zu wünschen übrig. Die Optimierung der Darstellungseigenschaften erfordert technisches Knowhow und eine präzise Messtechnik, um die erwartete Gebrauchstauglichkeit zu erzielen.



Warum kann unser neuer (und meist teuer angeschaffter) Tablet-PC sein Mobilitätsversprechen eigentlich nur bis zu einem bestimmten Grad – nämlich bis zu genau dem Moment, in dem wir ihn ans Tageslicht tragen – einlösen? Sind unsere elektronischen Helferlein Geschöpfe der Nacht, die ihre Magie in Form von kontrastreichen Bildern mit gesättigten Farben nur in dunkler Umgebung entfalten können und mit zunehmender Helligkeit dem Betrachter die dargestellte visuelle Information vorenthalten?

Warum endet die Erkennbarkeit bei den meisten berührungsempfindlichen Bildschirmen in heller Umgebung so rasch? Was sind die zugrunde liegenden physikalischen Effekte und wie kann den bekannten Einschränkungen wirkungsvoll begegnen? Diese Fragen soll der folgende Beitrag beantworten und Hintergründe zum Verständnis der Zusammenhänge liefern.

1 Kontrasteigenschaften von Displays

Die Erkennbarkeit visueller Informationen, speziell die Lesbarkeit der Darstellung von Text, Zahlen und Symbolen auf einer elektronischen Anzeige wird durch den Kontrast bestimmt. Dieser wird z.B. durch das Verhältnis

der Leuchtdichte von benachbarten hellen und dunklen Bereichen auf dem Bildschirm quantitativ beschrieben. Betrachten wir als Beispiel einen Bildschirm, dessen helle Bereiche eine Leuchtdichte von 300 cd/m^2 aufweisen, und dessen dunkelste Stellen in dunkler Umgebung eine Leuchtdichte von $0,5 \text{ cd/m}^2$ zeigen. Dann kann dieser Bildschirm in dunkler Umgebung ohne störende Reflexionsanteile von Lichtquellen einen Kontrast von maximal $600 (= 300/0,5)$ darstellen – ein sehr hoher Wert im Vergleich

zu einer Tageszeitung mit etwa 5 bis 7 oder eines Buchdrucks mit ca. 15.

1.1 Einflussfaktoren

Stellen wir uns einen Bildschirm vor, der mit einem zusätzlichen Deckglas oder einem Touchscreen versehen ist: Das aus der Anzeige tretende Licht wird also auf seinem Weg zum Auge des Betrachters drei Glas-Luft-Übergänge passieren. Dabei werden jeweils (je nach Material bzw. dessen Brechzahl und nach Einfallswinkel) mindestens 3% bis 5% des einfallenden

Lichts reflektiert. Entsprechend wird auch von außen auf den Bildschirm einfallendes Licht an den drei glatten Grenzflächen teilweise reflektiert, was sich insbesondere in dunklen Bildbereichen störend bemerkbar macht, da der Dunkelzustand aufgehellt und der Kontrast somit reduziert wird.

Wenn z.B. eine äußere Lichtquelle eine reflektierte Leuchtdichte von nur 10 cd/m^2 auf dem Bildschirm erzeugt, so ergibt sich dadurch eine Reduktion des Kontrasts von ursprünglich 600 auf nur 29,5, also auf etwa ein Zwanzigstes des Werts in dunkler Umgebung.

Diese enorme Reduktion des Kontrastes bereits durch relativ geringe Anteile von reflektiertem Licht, die sich dem Dunkelzustand der Anzeige überlagern, ist der Grund für die

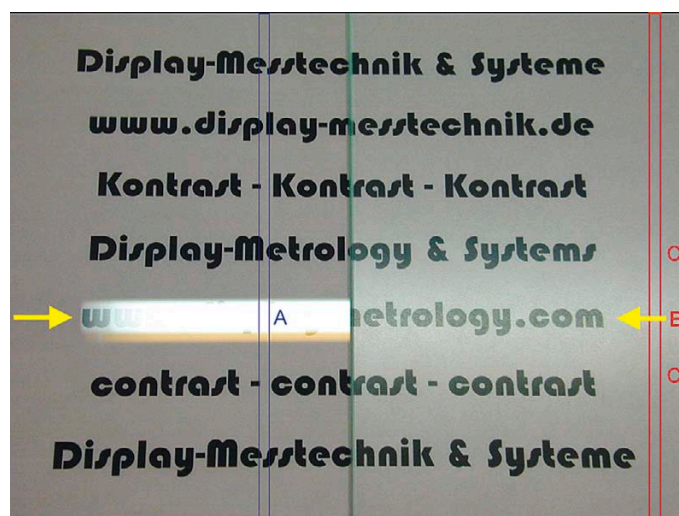


Bild 1: Linke Hälfte: Display mit glatter Oberfläche, die das Spiegelbild einer Leuchtstoffröhre zeigt. Die dargestellte Information ist vollständig überdeckt (A). Rechte Hälfte: Mattierte Oberfläche, die den Kontrast im Bereich des Bilds der Lichtquelle (B) zwar reduziert, aber die visuelle Information noch erkennen lässt

stark verringerte Erkennbarkeit der dargestellten Information und damit für die stark beeinträchtigte Gebrauchstauglichkeit insbesondere von mobilen Rechnern oder von Smartphones im Freien bei hoher Umgebungshelligkeit.

Außerdem ist festzustellen, dass jede transparente Schicht, die vor der Anzeige angebracht wird (z.B. ein Touchscreen, oder eine Scheibe zum mechanischen Schutz der Anzeige) die Intensität des reflektierten Lichts entsprechend erhöht (zwei Übergänge pro Schicht, also je nach Material mindestens 6% bis 10% zusätzlich reflektiertes Licht).

1.2 Reflexionen

Spiegelnde Reflexionen, wie sie typischerweise bei Bildschirmen mit polierter Oberfläche (Englisch: glossy surface) auftreten (**Bild 1**), sind störend und behindern den Betrachter in dreierlei Hinsicht [1]:

- (1) sie verringern den Kontrast der dargestellten visuellen Information durch Überlagerung von reflektiertem Licht,
- (2) sie verringern die Sättigung der dargestellten Farben durch Überlagerung von weißem Licht (Ausbleichen der Farben) und
- (3) außerdem verursachen die reflektierten, deutlich sichtbaren Bilder von Lichtquellen in der Umgebung einen Konflikt im menschlichen visuellen System, das automatisch versucht, auf dargebotene Bildinformation zu fokussieren (durch Veränderung der Brennweite der Augenlinse). Der Konflikt entsteht dadurch, dass die visuelle Nutzinformation auf dem Bildschirm in einem Abstand von etwa 40 cm bis 80 cm vom Auge angezeigt werden, während sich die Bilder von Lichtquellen meist in einem Abstand von mehreren Metern befinden. Als Folge können Kopfschmerzen und anderen körperlichen

Beschwerden auftreten.

Einfache Abhilfe gegen störende Reflexionen kann manchmal dadurch geschaffen werden, dass der Bildschirm so ausgerichtet wird, dass sich keine Lichtquellen im Bildschirm spiegeln. In vielen Situationen des Arbeitsalltags (z.B. in der Bahn) hat der Benutzer elektronischer Geräte mit Bildschirm keine wirkliche Kontrolle über die Lichtquellen in seiner Umgebung. Außerdem ist bei hohen Beleuchtungsstärken im Außenbereich die Leuchtdichte der weißen Bluse oder des weißen Hemds oft hoch genug, um die Erkennbarkeit der Information auf dem Bildschirm zunichte zu machen.

Abhilfe schafft in diesen Fällen nur eine gute Entspiegelung des Bildschirms, die durch eine spezielle Behandlung der Oberfläche des Displays erreicht werden kann (**Bild 2**), entweder durch Mattieren, z.B. durch Ätzen wie bei Bilderglas, durch glatte interferenzoptische Entspiegelungsschichten (destruktive Interferenz wie bei Brillengläsern und fotografischen Objektiven) oder durch eine Kombination beider Verfahren.

Fazit: Zur Erhaltung des Kontrastes von Bildschirmen in heller Umgebung muss der Anteil des reflektierten Lichts reduziert werden.

1.3 Methoden zur Verringerung von Reflexionen

Die Herstellung von Gläsern mit optimierten Mattierungen erfolgt durch Ätzen der Glasoberfläche(n), was neben der Entspiegelung noch Verbesserungen bei der Haptik der Oberfläche zur Folge hat. Dies ist

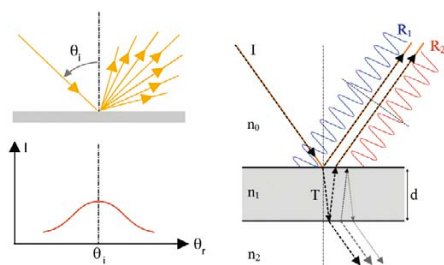


Bild 2: Reduktion der Intensität von Reflexionen an Übergängen zwischen Luft und transparenten Materialien (z.B. Glas, Kunststoff) durch Streuung an Mikrostrukturen (links) und durch destruktive Interferenz an einer dünnen Schicht (rechts). Im Fall der Streuung erreicht nur ein kleiner Teil des reflektierten Lichts das Auge des Betrachters

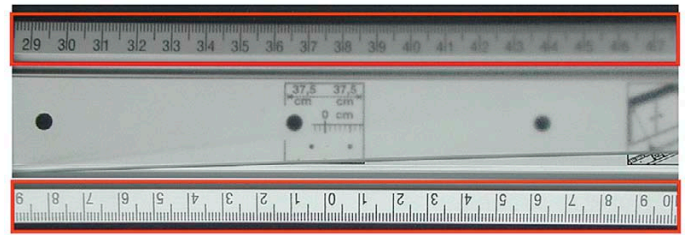


Bild 3: Verringerte „Deutlichkeit“ („Schärfe“) der visuellen Information (hier die Skalierung) durch Streuung an der matten Oberfläche des Glases. Das mattierte Glas liegt links im Bild auf der Skala auf, der Abstand nimmt nach rechts zu

insbesondere bei berührungsempfindlichen Eingabeschirmen ein wesentlicher Vorteil. Bei der Spiegelung von Störlichtquellen an streuenden Oberflächen sind keine deutlichen Bilder der Lichtquelle wahrnehmbar (siehe rechte Hälfte in Bild 1), was die Entstehung von ergonomisch nachteiligen Fusionskonflikten wirksam unterdrückt. Mattierte Oberflächen, die Blendung durch Störlichtquellen unterdrücken, werden auch als glanzunterdrückend (Englisch: anti-glare) bezeichnet.

Mit dem gezielt eingestellten Streuverhalten der Oberfläche, die offensichtlich eine sehr wirksame Art der Entspiegelung darstellt, kann allerdings auch der Nachteil verbunden sein, dass die darzustellende Information, die sich (vom Betrachter aus gesehen) hinter der matten Schicht befindet, an „Schärfe“ (Englisch: distinctness) verliert (**Bild 3**).

Die Entspiegelung von Oberflächen ohne Streuung durch optische Vergütung erfordert das gleichmäßige Aufbringen von sehr dünnen Schichten (typischerweise $\frac{1}{4}$ der Lichtwellenlänge) aus geeigneten transparenten Materialien (siehe z.B. [2]) mit passender Brechzahl und hoher mechanischer Widerstandsfähigkeit. Ferner müssen bei der Reflexionsreduktion durch solch dünne Schichten Kompromisse getroffen werden:

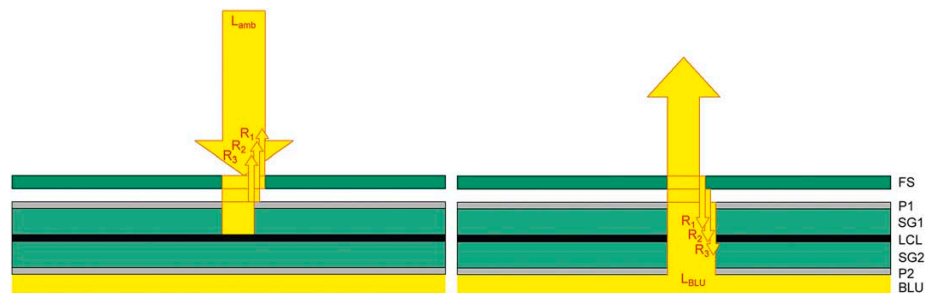


Bild 4: Reflexionskomponenten R_1 , R_2 und R_3 von jedem der drei Übergänge zwischen Luft und transparenter Schicht für senkrecht einfallendes (L_{amb}) und ausgehendes (L_{BLU}) Licht. FS: Frontscheibe oder Touchscreen, P1, P2: Polarisatoren, SG1, SG2: LCD-Substratgläser, LCL: Flüssigkristall-Schicht, BLU: Hinterleuchtungseinheit



Bild 5: LCD-Modul mit optisch angekoppeltem Touchscreen (links) und nicht optimierter Kombination (rechts) mit ausgebleichten Farben und stark reduziertem Kontrast [6]

Entweder ist die Entspiegelung sehr gut, aber nur für einen kleinen Wellenlängenbereich, oder für einen breiteren Spektralbereich weniger optimal. Bei entspiegelten Brillengläsern und bei Foto-Objektiven sieht man oft violette Reflexionen, die darauf beruhen, dass die Entspiegelung hier für den Bereich grünen Lichts optimiert wurde, also rotes und blaues Licht stärker reflektiert wird als grünes.

Um bei einem Mehrschichtsystem nach **Bild 4** eine wirksame Unterdrückung aller Reflexionskomponenten zu erreichen und damit einen hohen Kontrast auch in heller Umgebung sicherzustellen, liegt es nahe, zunächst dafür zu sorgen, dass von den Grenzschichten 2 und 3 möglichst wenig Licht reflektiert wird. Damit wären dann bereits 2/3 des kontrastmindernden Lichts eliminiert. Da der Reflexionsgrad R eines Übergangs von Luft zum transparenten Medium (und umgekehrt) durch das Verhältnis der jeweiligen Brechzahlen



Bild 6: Glitzern eines weißen Bildschirms in Kombination mit einer mattierten Entspiegelungsschicht. Das wahrgenommene Muster verändert sich stark mit der Richtung der Betrachtung

bestimmt wird ($R = ((n_1 - n_2) / (n_1 + n_2))^2$), kann eine wirksame Entspiegelung dadurch erreicht werden, dass statt Luft ein Material mit gut angepasster Brechzahl verwendet wird (Englisch: optical bonding). Dieses Material muss außerdem möglichst transparent sein, über die Zeit nicht vergilben oder sich anderweitig verändern und ohne störende Partikel wie Staub oder Luftbläschen eingebracht werden können. Diese zunächst einfach klingenden Forderungen stellen in der praktischen Umsetzung eine erhebliche Herausforderung dar, die nur durch sorgfältige Opti-

mierung von Materialien und Prozessen auch in der Großserie ein zufriedenstellendes Ergebnis sicherstellen kann. Solche Verfahren zur Herstellung von optimierten Displayssystemen hat die Firma Berliner Glas in Zusammenarbeit mit der Firma system elektronik entwickelt. **Bild 5** demonstriert z.B. den visuellen Unterschied zwischen einem konventionellen und einem optimierten berührungsempfindlichen Bildschirm.

2 Der Sparkle-Effekt

Als Sparkle wird die visuelle Wahrnehmung von Erscheinungen bezeichnet, die sich als Glitzern oder Funkeln des Bildschirms bemerkbar machen, als ein unregelmäßiges Muster von winzigen Flecken mit unterschiedlicher Farbe und Intensität, das anscheinend zufällig, wie eine Art optisches Rauschen, über die Anzeige verteilt ist und dessen Erscheinungsbild sich stark mit der Sehrichtung ändert. Dieser Effekt kann z.B. nach dem Aufbringen einer mattierten Entspiegelungsfolie auf den Bildschirm beobachtet werden (**Bild 6**).

Wie in **Bild 7** veranschaulicht, wird das Licht auf seinem Weg von der Lichtquelle zum

Betrachter linear polarisiert, in Primärfarben zerlegt (R, G, B), an den Strukturen der Teilbildelemente und der schwarzen Matrix gebeugt und an den Mikrostrukturen der Entspiegelungsschicht gebrochen und gestreut.

Sparkle entsteht also als Folge der physikalischen Prozesse Beugung, Brechung und Streuung an verschiedenen Displaykomponenten (**Bild 8**). Mit zunehmender Auflösung der Bildschirme (also abnehmender Pixelgröße), gleichbleibender Mattierung und ohne geeignete Gegenmaßnahmen steigt das Glitzern merklich an. Einige Geräte, z.B. Mobiltelefone, weisen heute Pixelabmessungen von nur noch $78 \mu\text{m}$ auf (beim PC-Monitor für Büroanwendungen sind es etwa $300 \mu\text{m}$).

3 Messtechnische Erfassung von Sparkle, Reflexion und Bildschärfe

Die Herausforderung an den Ingenieur, der eine hochauflösende Anzeige mit einem Touchscreen kombinieren soll, so dass die Erkennbarkeit der dargestellten Informationen auch bei hoher Umgebungshelligkeit erhalten bleibt, lautet also wie folgt:

Realisierung einer effektiven Entspiegelung des Bildschirms, bei gleichzeitiger Unterdrückung von Glitzer-Effekten sowie Erhaltung des Bildkontrastes und der Bildschärfe. Für die Lösung dieser komplexen Aufgabe ist die verlässliche messtechnische Ermittlung dieser drei Größen eine Voraussetzung.

Ein Verfahren, das dem Entwicklungingenieur erstmals ermöglicht, alle für diese Optimierungsaufgabe relevanten Größen messtechnisch zu erfassen wurde bereits

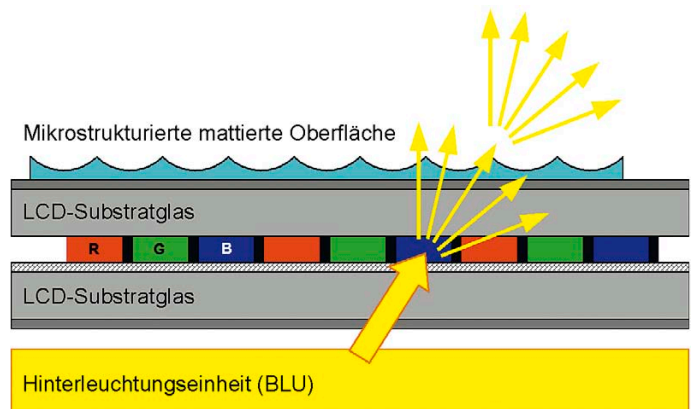


Bild 7: Der Weg des Lichts zum Betrachter: In der Hinterleuchtungseinheit wird das Licht erzeugt und geformt (gleichmäßig über die Fläche und über den Sehrichtungsbereich). Es durchquert den auf dem Substratglas aufgetragenen hinteren Polarisator, die Flüssigkristallschicht und die Farbfilter. Das in drei Anteile zerlegte Licht durchquert den vorderen Polarisator und die darauf aufgebrachte mikrostrukturierte Entspiegelungsschicht

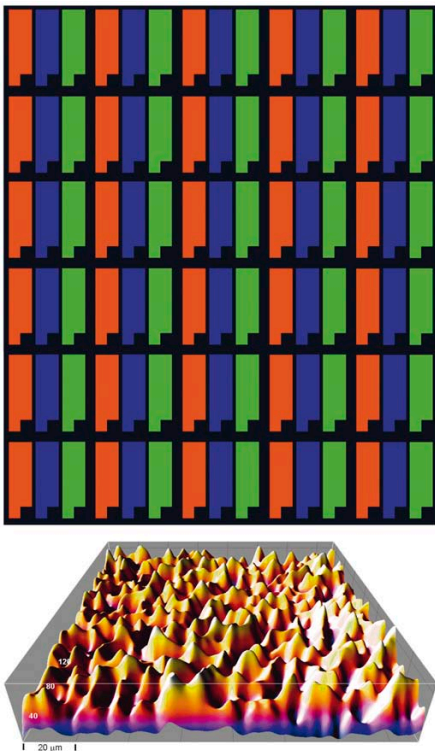


Bild 8: Pixelmatrix eines LCD mit Subpixeln für die Primärfarben Rot, Grün und Blau, die durch eine schwarze, lichtdichte Struktur (black matrix) voneinander getrennt sind. Unten: Oberflächentopographie einer durch Ätzen matten Glasscheibe

2011 auf der Electronic Display Conference vorgestellt [3] und ist als Gerät mittlerweile kommerziell verfügbar [4]. Die wesentlichen Bestandteile des Apparates sind eine elektronische Kamera mit hochwertigem Objektiv, ein Stativ zur Positionierung von Kamera und Messobjekt und ein PC zur Datenerfassung und Auswertung. Zur Erfassung von Sparkle wird das Messobjekt (Kombination von Anzeige und matten Antireflexionsschicht) von einer Kamera erfasst, das aufgenommene Bild wird bearbeitet (Nachbildung der lateralen Integration des Auges, das die Pixelstruktur nicht wahrnimmt durch ein Tiefpassfilter) und aus der Statistik der Intensitäts- und Farbmodulation innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs wird die Kennzahl zur Bewertung des Sparkles bestimmt. Dazu wurden Verfahren entwickelt, die sowohl farbiges Sparkle bei weißer Hinterleuchtung wie auch reines hell-dunkel Sparkle bei monochromatischem Licht messen und bewerten können.

Die Reflexionseigenschaften werden bei Beleuchtung mit einer linearen Lichtquelle über die Aufnahme der örtlichen Verteilung des reflektierten Lichts (Englisch:

line spread function) gemessen und dann in eine Richtungsverteilung umgerechnet [5]. Somit ermöglicht das Gerät die Messung der bidirektionalen Verteilung der Reflexionskomponenten (Englisch: bidirectional reflectance distribution function, BRDF) in der Umgebung der Spiegelrichtung. Die Intensitätsprofile des reflektierten Lichts sind in **Bild 9** prinzipiell dargestellt (abgeleitet aus einer Aufnahme wie in Bild 1). Mit kalibrierten Arbeitsstandards (spiegelnd, diffus streuend) kann die Messung leicht auf die entsprechenden Referenzwerte normiert werden.

Um die Abnahme der Bildschärfe zu bewerten, dient die nackte Anzeige als Referenz. Bezüglich dieser wird die Modulationsübertragungsfunktion (MTF) [3] des Bildschirms mit matten Antireflexschicht berechnet, und damit der Einfluss der Streufläche auf die Bildschärfe bestimmt.

4 Zusammenfassung und Fazit

Um die Erkennbarkeit von visueller Information, die auf elektronischen Bildschirmen dargestellt wird, auch in heller Umgebung sicherzustellen, muss der Kontrast erhalten bleiben, was nur über die Kontrolle der Reflexionen möglich ist. Vor der Anzeige angebrachte Touchscreens erhöhen den Anteil des reflektierten Lichts, der sich nur durch eine sorgfältig ausgeführte optische Ankopplung in akzeptablen Bereichen halten lässt. Durch eine matten Oberfläche lassen sich Reflexionen unterdrücken und Spiegelbilder vermeiden, was zu guten ergonomischen Leistungen führt, allerdings nur dann, wenn gleichzeitig Sparkle-Effekte vermieden werden und die Bildschärfe erhalten bleibt.

Literaturhinweise:

- [1] Michael E. Becker: *Matte vs. glossy displays – a technical discussion*, Electronic Displays Conference 2010
- [2] <http://de.wikipedia.org/wiki/Antireflexbeschichtung>
- [3] Michael E. Becker, J. Neumeier, *Measurement and characterization of the sparkling of AG coated LCDs*, Electronic Displays Conference 2011
- [4] SMS-1000 von Display-Messtechnik&Systeme – www.display-messtechnik.de

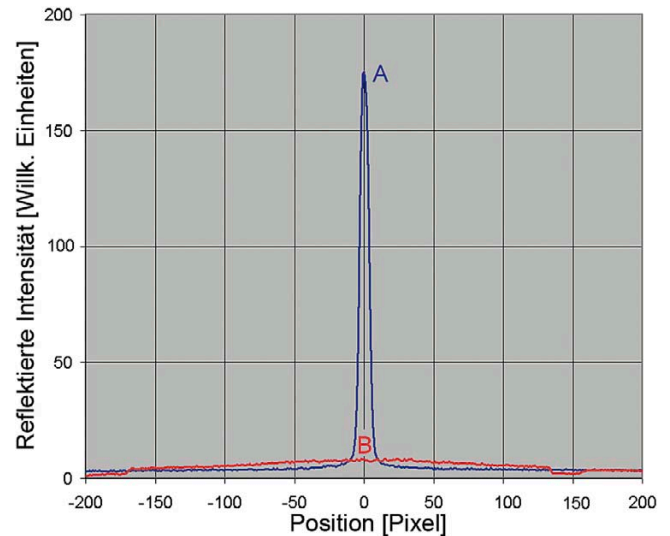
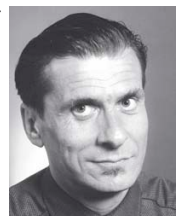


Bild 9: Prinzipieller Verlauf der reflektierten Leuchtdichte im blauen und roten Bereich der in Bild 1 gezeigten Anzeige. Die Mattierung der Oberfläche reduziert die in Spiegelrichtung reflektierte Leuchtdichte auf 4,8% (Leuchtdichte B / Leuchtdichte A = 0,048)

- [5] Michael E. Becker, *Measurement and evaluation of display scattering*, JSID 13,1(2005), p. 81-89
- [6] Illustration der Firma system elektronik GmbH

Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Michael E. Becker
Display-Messtechnik & Systeme GmbH & Co. KG
Marie-Alexandra-Str. 44
D-76135 Karlsruhe
Tel. 0721/981-2268
eMail: m.Becker@display-messtechnik.de
Internet: www.display-messtechnik.de



Jörn Hildebrandt
Leiter Vertrieb
system elektronik GmbH
Pillmannstraße 29
D-38112 Braunschweig
Tel. 0531/23155-0
Fax 0531/23155-99



eMail: info@systemelektronik.de
Internet: www.systemelektronik.org

Albert Hartfiel
Produktmanager
Berliner Glas KG -
Herbert Kubatz GmbH & Co.
Weidenhalde 20
D-74523 Schwäbisch Hall
Tel. 030/60905-0
Fax 030/60905-100
eMail: Hartfiel@berlinerglas.de
Internet: www.berlinerglas.de



www.photonik.de **Webcode 4005**