

Ulrike Kuhlmann, Stefan Porteck

# Bei Licht besehen

Entspiegelungsfolien für Smartphones und Tablets



**Sie können auf Ihrem Smartphone im Sommer keine Nachrichten lesen oder finden nicht ans Ziel, weil Sie auf der digitalen Karte keine Straßen erkennen? Dann wird es Zeit für eine Entspiegelungsfolie. Die verhindert Blendungen und störende Reflexionen am Display und gibt den Blick auf das Wesentliche frei.**

**R**eflexionen am Display nerven: Sie mindern den Bildkontrast und verdecken die eigentliche Information am Schirm. Außerdem verblassen die dargestellten Farben durch die Überlagerung des meist „weißen“ Umgebungslichts. Für Betrachter verursachen die Spiegelungen zudem einen Konflikt: Das Auge muss sich entscheiden, worauf es scharf stellen soll – auf die hellen Reflexe oder die Bildinformation. Weil die im Schirm gespiegelten Objekte oft einige Meter vom Display entfernt liegen, haben Information und Spiegelbild einen sehr unterschiedlichen Fokussierabstand.

Eine kleine Lichtquelle zeichnet sich auf spiegelnden Displays scharf umrissen ab. Im Vergleich zur Schirmhelligkeit ist so eine Punktlichtquelle extrem hell – eine 60-Watt-Glühlampe strahlt beispielsweise mit 120 000 cd/m<sup>2</sup>. Wenn am Schirm nur ein Prozent davon reflektiert werden, ist das reflektierte Spiegelbild mit 1200 cd/m<sup>2</sup> deutlich heller als jedes normale Display. Reflektierte großflächige Lichtquellen, etwa ein Fenster oder der Himmel, überdecken im Mobildisplay einen größeren Teil des Bildes. Da großflächige Leuchten im Allgemeinen nicht gar so hell sind wie Strahler, kann man den eigentlichen Bildinhalt darunter meist

noch ablesen, wenngleich er deutlich matter wird.

Einige Displayhersteller reduzieren solche Reflexionen mit einer dielektrischen Antireflexbeschichtung. Sie löscht durch Interferenz gezielt Wellenlängen aus. Weil eine solche Beschichtung ein Viertel so dick ist wie die zu unterdrückende Wellenlänge des einfallenden Lichts, nennt man sie auch  $\lambda/4$ -Schicht. Auf dem Display macht sich diese Art der Entspiegelung durch einen lilablauen Schimmer bemerkbar – die Wellenlängen um Grün (550 nm) werden herausgefiltert. Solche Schichten wirken vor allem bei großen Flächenleuchten, bei Punktstrahlern können

sie wenig ausrichten. Dagegen hilft nur eine mattierte Displayoberfläche.

Displays mit dickeren Deckgläsern wie Plasmadisplays, Apples iMac-Rechner oder ältere Touchscreens mit großer Luftschicht zwischen Deckglas und LCD kann man allerdings nicht durch streuende Oberflächen entspiegeln: Da die Bildinformation in einigem Abstand zur Schirmoberfläche entsteht, würde sie durch die Mattierung unscharf erscheinen. Glücklicherweise nutzen aktuelle Touchscreens sehr dünne Glasscheiben, die mit einem speziellen Kleber aufgebracht wurden. Dieser besitzt eine ähnliche Brechzahl wie das Glas und ver-

hindert so weitgehend die Streuung an den Übergängen Glas-Luft-Glas. Künftig werden viele Touchdisplays sogar komplett ohne zusätzliche Glasscheibe auskommen, ihre Touchelektronik sitzt stattdessen direkt in der Pixelebene.

Weil nur die wenigsten Anwender ihr Mobildisplay selbst mattieren können, kommen selbsthaftende (nicht klebende) Entspiegelungsfolien ins Spiel. Mit ihnen lassen sich die Störreflexionen teilweise um den Faktor 80 auf 1,2 Prozent der ursprünglichen Spiegelung am „blanken“ Display drücken. Durch die streuende Folie wird aus dem vormalig scharf abgegrenzten hellen Spiegelbild des Strahlers ein diffuses Abbild. Das hat Vor- und Nachteile: Das reflektierte Abbild ist deutlich matter, zugleich wird die Darstellung aber auch jenseits der Spiegelrichtung etwas kontrastärmer und unschärfer. Dafür kann man den eigentlichen Inhalt auch im Hellen noch gut erkennen.

### Folienauswahl

Adhäsive Folien für Touchscreens sind normalerweise speziell für das jeweilige Mobilgerät zugeschnitten. Ähnlich wie bei Tintenpatronen tauchen im Online-Handel immer mal wieder neue Foliensorten auf, die aber ebenso schnell wieder vom Markt verschwinden. Wir haben für unseren Test ausschließlich Folien von etablierten Herstellern für eine Auswahl aktueller Smartphones und Tablets ins Labor geholt: Belkin, Dipos, Folix, Hama, HSW3000, Moshi und 3M.

Von Folien, die man selbst zuschneiden muss, können wir nur abraten. Im Test brachten wir versuchsweise eine Schutzfolie von Hama auf das Display des Smartphone HTC Titan auf, weil es dafür zum Testzeitpunkt noch keine fertigen Folien gab. Das Ergebnis war niederschmetternd: Die Folie wellte sich am Rand sofort wieder hoch, weil sie uns wenige Millimeter zu groß geraten war. Das lag teilweise an der mangelnden Geduld der Testerin, doch das Ergebnis solcher Zuschneiderei wird kaum je so gut sein wie eine fertig konfektionierte Folie. Außerdem sind größere Folienbögen, aus denen man sich passende Stücke schneidet, nicht

wirklich billiger. Eine vorkonfektionierte, korrekt sitzende Entspiegelungsfolie für 5 Euro hält je nach Nutzung ein bis zwei Jahre, bevor sie so verkratzt ist, dass man sie auswechseln möchte. Wer hier spart, spart wahrscheinlich am falschen Ende.

### Hilfe vom Profi

Da das Aufziehen mit der Größe des Displays schwieriger wird, baten wir bei den Tablets die Aichbacher Firma TDC Technik um Hilfe. TDC hatte für uns in der Vergangenheit Notebooks entspiegelt und dafür den oberen Polfilter ausgewechselt [1].

Das hätten wir eigentlich auch gern bei unseren Tablets machen lassen. Doch TDC lehnte ab: Der Austausch verbiete sich, wenn eine Glasscheibe vor der – dann mattierten – Polfilterschicht sitzt, die Darstellung würde dadurch zu sehr verschmieren. Außerdem habe man keinen Zugriff auf die Polfilter für Apples iPads. Der Mitarbeiter bot uns stattdessen an, die Tablets im Reinraum mit einer adhäsiven Folie zu beziehen.

Also ließen wir ein iPad, ein Galaxy Tab und Sonys Tablet S professionell per Folie entspiegeln. Auf das Galaxy Tab von Samsung zogen die TDC-Techniker die glatte Vikuiti-Schutzfolie ADQC27 von 3M, die vor allem schützt und mangels Mattierung kaum streut. Die ungewöhnliche Buchform des Sony-Tablets mit seiner abgerundeten Seite erschwert das Beziehen extrem; da es zum Testzeitpunkt noch keine vorkonfektionierte Folien gab, schnitt TDC eine mattierte Folie von Dipos für uns passend zu. Dabei stellte sich heraus, dass das Tablet S bereits mit einer Folie bezogen war – keiner selbsthaftenden, sondern einer dauerhaft klebenden, dielektrischen Entspiegelung. Für unseren Folien-Test war das letztlich aber nicht von Belang.

Die Eigenheiten aller getesteten Folien haben wir in der Tabelle auf Seite 99 zusammengefasst. Hier finden sich außer den Reflexionseigenschaften sowohl Hinweise zum Aufbringen der Folie als auch Anmerkungen zur Haptik der folierten Touchscreens. Die mattierten Folien fühlen sich insbesondere mit trockenen Fingern etwas rauer an. Eher feuchte Finger werden auf

Unter dem Spiegelbild des Strahlers verschwindet der Bildinhalt am Samsung-Tablet trotz dielektrischer Entspiegelung mit einer glatten Folie von 3M.



Die iVisor-Folie von Moshi lässt sich sehr gut aufziehen, aber das stets vorhandene Luftpolster zwischen Folie und iPad verstärkt den Blendeffekt von Punktlichtquellen.



Die mattierte Folie von Dipos sorgt dafür, dass man die Symbole auf Sonys Tablet S auch unter dem reflektierten Strahlerabbild unterscheiden kann.



## Kontrastminderung durch Reflexionen

Während die Lichtbedingungen draußen kaum kontrollierbar sind, kann man die Beleuchtung am Arbeitsplatz gezielt auf geringe Blendung optimieren. Dennoch hat man auch im Büro störende Lichtreflexe auf Monitor, Notebook oder Tablet. Wie sehr diese Reflexionen den Bildkontrast und damit die Ablesbarkeit des Displays beeinträchtigen, wollen wir anhand einiger Überlegungen aufzeigen.

Wir gehen von einem Büro mit Deckenlampen aus und berücksichtigen weder störende Lichtquellen wie sehr helle Fenster noch ungünstig angebrachte Lampen; sie würden die Reflexionen am Bildschirm weiter erhöhen. Gemäß aktueller Ergonomie-Richtlinien sollten Arbeitsflächen im Büro mit 500 lx beleuchtet sein. Die Deckenbeleuchtung strahlt nicht direkt auf das Display, stattdessen reflektieren die zumeist hellen Wände etwa 70 Prozent des Deckenlichts. Das Display

auf der Arbeitsfläche wird dadurch mit etwa 110 cd/m<sup>2</sup> beleuchtet. Unter Berücksichtigung der etwas geringeren Reflexionen im Schatten des Betrachters beträgt das von außen auf das Display fallende Licht im optimal beleuchteten Büro etwa 100 cd/m<sup>2</sup>.

Wenn das Display fünf Prozent dieses Lichts reflektiert ( $R_{S,15}$ ), gibt es unabhängig vom eigentlichen Bildinhalt 5 cd/m<sup>2</sup> aus. Dieses reflektierte Licht ( $L_{refl.}$ ) addiert sich sowohl zur Helligkeit des leuchtenden Displays (weißes Bild,  $L_{Weiß}$ ) als auch zu der des nicht leuchtenden Schirms (schwarzes Bild,  $L_{Schwarz}$ ).

Statt eines Dunkelraumkontrasts von

$$C_{dunkel} = L_{Weiß} / L_{Schwarz}$$

erhält man so den Kontrast in heller Umgebung von

$$C_{hell} = (L_{Weiß} + L_{refl.}) / (L_{Schwarz} + L_{refl.})$$

Für ein auf mittlere Leuchtdichte eingestelltes iPad im Büro ergibt sich dann statt

$$C_{dunkel} = 175 \text{ cd/m}^2 / 0,2 \text{ cd/m}^2 = 875:1, \text{ nunmehr}$$

$$C_{hell} = (175 \text{ cd/m}^2 + 0,05 \cdot 100 \text{ cd/m}^2) / (0,2 \text{ cd/m}^2 + 0,05 \cdot 100 \text{ cd/m}^2) = 180 \text{ cd/m}^2 / 5,2 \text{ cd/m}^2 = 35:1.$$

Selbst wenn man die Leuchstärke des Displays auf 350 cd/m<sup>2</sup> erhöht – wovon wir bei dauerhafter Büronutzung aus ergonomischen Gründen abraten –, steigt der Hellkontrast auf lediglich 66:1 und ist damit von dem im Dunkelraum gemessenen Maximalkontrast meilenweit entfernt.

Draußen im Freien ist es tagsüber meist deutlich heller als im Büro. Geht man beispielsweise von einem blauen Sommerhimmel (2500 cd/m<sup>2</sup>) aus, reflektiert das Gesicht, in dessen Schatten der dunkel gekleidete Nutzer sein Smartphone hält, etwa

30 Prozent des Sonnenlichts. Hinzu kommen die Reflexionen aus dem Lichteinfall jenseits des „Gesichtsschattens“ ( $L_{außerhalb}$ ). Auf das Display fallen somit

$$L_{Quelle} = 2500 \text{ cd/m}^2 \cdot 0,3 + L_{außerhalb} = 750 \text{ cd/m}^2 + L_{außerhalb}$$

Wenn ein Smartphone 5 Prozent des Lichts reflektiert, addieren sich am Display im vermeintlich schützenden Kopfschatten mindestens 37,5 cd/m<sup>2</sup> ( $750 \text{ cd/m}^2 \cdot 0,05$ ) zur eigentlichen Displayleuchtdichte – in hellen und in dunklen Bildbereichen. Schon ohne das zusätzliche Streulicht  $L_{außerhalb}$  muss das Display mindestens 350 cd/m<sup>2</sup> hell leuchten, um einen Maximalkontrast von 10:1 zu erzielen – feine Graustufen erkennt man dabei nicht mehr.

$$C_{hell} = (L_{Weiß} + 37,5 \text{ cd/m}^2 + L_{außerhalb}) / (L_{Schwarz} + 37,5 \text{ cd/m}^2 + L_{außerhalb}) = (350 \text{ cd/m}^2 + 37,5 \text{ cd/m}^2 + x \text{ cd/m}^2) / (0,3 \text{ cd/m}^2 + 37,5 \text{ cd/m}^2 + x \text{ cd/m}^2) \leq 387,5/37,8 \text{ cd/m}^2 = 10:1.$$

den leicht aufgerauten Oberflächen teilweise sogar besser gleiten können als auf einem unbedeckten Schirm.

Für Anwender, die am Touchscreen mit Stiften arbeiten, scheiden mattierte Folien weitgehend aus. Die Zeichenstifte sind auf spiegelglatte Oberflächen optimiert, auf der Folie kratzen, schleifen oder schaben sie deshalb unangenehm. Im Test liefen lediglich Stifte mit Gummispitze halbwegs ruhig, man musste allerdings fester aufdrücken, um Linien zu ziehen oder Positionen anzutippen. Wer sein Display dennoch schützen will, greift besser zu einer glatten Schutzfolie. Bei der händischen Bedienung der aufgerauten Displayfolien konnten wir hingegen keine Verschlechterung der Toucherkennung feststellen.

### Nicht nur sauber, sondern rein

Über den Entspiegelungserfolg entscheidet bereits das Aufbringen der Folie. Wenn zwischen Schutzschicht und Display Luftblasen oder gar Fusseln hängen bleiben, stört das nicht nur das ästhetische Empfinden, es beein-

flusst auch die Reflexionseigenschaften: An Luftblasen und Krümeln wird das Licht zusätzlich gestreut, wodurch diese Stellen besonders am ausgeschalteten Display hervortreten.

Vor dem Aufbringen einer Folie steht deshalb zunächst eine Grundreinigung mit einem feuchten Lappen an, der in eine Spülmittellösung (wie für den Abwasch) getaucht und gut ausgewrungenen wurde. In schwie-

rigen Fällen hilft auch eine Reinigungsflüssigkeit etwa für Brillengläser. Wenn die zu den Folien mitgelieferten Tücher zu winzig sind oder selbst Fusseln erzeugen, nutzt man ein feines, antistatisches Mikrofaser Tuch für Küche oder Bad, um die Schirmfläche zu säubern.

Luftblasen kann man in den meisten Fällen nach dem Aufbringen durch vorsichtiges Wischen zum Rand hin rausschie-

ben. Dazu benutzt man beispielsweise eine Kreditkarte und ein weiches Tuch. Dipo legt seinen Folien für Tablets eine 18,5 Zentimeter lange, stabile Kunststoffleiste zum blasenfreien Aufbringen der Folien bei – extrem hilfreich. Links liegen lassen sollte man dagegen das ebenfalls mitgelieferte Tuch: Es fusselte das Tablet im Test komplett zu.

Vor dem Aufbringen der selbsthaftenden Folien sollte



Dipo legt seinen Folien für Tablets große Spatel bei, mit denen sich die Folien sehr einfach aufbringen lassen.



An den fünf kleineren Flecken hat sich beim Aufziehen der Folie Staub abgesetzt. Die hochgewölbten Kanten zeigen, dass die Folie etwas zu groß bemessen war.

man sich die Hände waschen und die Arbeitsumgebung so staubfrei wie möglich halten. Dann probiert man zunächst aus, wie die Folie am besten auf das Display passt. Erst nachdem man sich die optimale Position eingepägt hat, zieht man ein kleines Stück der Trägerfolie ab und beginnt, die eigentliche Schutzfolie vorsichtig schrittweise auf das Display zu schieben. Verfangen sich zu viel Fussel, kann man die Folien komplett abziehen, unter fließendem Wasser abspülen, in einer staubfreien Umgebung (zum Beispiel im Bad) trocknen und erneut ansetzen. Nach unserer Erfahrung ist das allerdings recht mühsam und nur bei stabilen Folien erfolgreich.

### Passgenau muss sein

Ein unübersehbares Problem sind nicht exakt zugeschnittene Folien: Wo die Folie über den Touchscreen hinausragt, löst sie sich nach kürzester Zeit vom Display. Am Ende hat man hässliche Dellen am Folienrand, an denen die Finger hängen bleiben und die schnell verschmutzen. Auch wenn die Folie etwas zu klein geraten ist, stolpern die Fingerspitzen über diesen inneren Rand – was ungemein nerven kann, unschön aussieht und was im Extremfall ebenfalls zur Folienablösung führen kann. Ist die Aussparung für die Fotolinse des Smartphones sehr klein geraten, wird es deutlich schwieriger, die Folie korrekt anzupassen. Zunächst bemerkt man den etwas schiefen Foliensitz vielleicht gar nicht, aber spätestens im nächsten Foto machen sich die abgedeckten Objektivkanten durch störende Unschärfen am Bildrand bemerkbar. Die Folien von Folix und auch eine von Dipos hatten im Test besonders kleine Linsenaussparungen – eine echte Herausforderung.

Für Displays mit abgerundeten Kanten wie das Sony-Tablet ist die Entspiegelung mit Folien problematisch: Entweder die Folie ragt nicht in den abgerundeten Bereich hinein und ist damit deutlich kleiner als die Displayoberfläche oder sie löst sich an den Wölbungen sofort wieder vom Schirm. Nokias Lumia-Smartphone scheidet damit als Folienträger praktisch aus. Die passende Folie von Folix erfüllt zwar gut ihren eigenen Zweck – das Entspiegeln –, sieht auf dem

Entspiegelungsfolien an Smartphones und Tablets				
	Reflexionsgrad in Spiegelrichtung $\rho_{sp}$ [%] ← besser	Reflexionsgrad für Punktlichtquellen $\rho_{s1}$ [%] ← besser	Reflexionsgrad für große Lichtquellen $\rho_{s15}$ [%] ← besser	Streukennzahl S besser →
<b>Apple iPhone 4S</b>				
ohne Folie	5,4	3,2	4,9	1,5
Folie Moshi iVisor	1,1	1,1	10,1	9,2
Folie Dipos Antireflex	0,04	0,1	3,9	39
Folie Folix FX-Antireflex	0,1	0,03	2,9	97
<b>HTC Sensation XL</b>				
ohne Folie	5,2	3,7	5,6	1,5
Folie Dipos Antireflex	0,1	0,1	4,3	43
<b>HTC Titan</b>				
ohne Folie	5,3	0,7	4,5	6,4
Folie Hama Universal	4,7	0,6	4,9	8,2
Folie 4Protec antireflex	0,1	0,04	3,6	90
<b>Nexus One</b>				
ohne Folie	9,3	1,6	12,2	7,6
Folie Folix FX-Antireflex	0,4	0,2	9,8	49
<b>Nokia Lumia</b>				
ohne Folie	5,1	2,2	11,3	5,1
Folie Folix FX-Antireflex	0,1	0,1	7,9	79
<b>Samsung Galaxy S2</b>				
ohne Folie	4,2	0,7	3,5	5
Folie Folix FX-Antireflex	0,1	0,03	2,7	90
Folie 4Protec crystalclear	6,2	1	4,5	4,5
Folie 4Protec antireflex	0,1	0,05	3,4	68
<b>Samsung Nexus S</b>				
ohne Folie	4,5	0,9	4,4	4,9
Folie Folix FX-Clear	5,7	0,8	5,2	6,5
Folie Folix FX-Antireflex	0,1	0,3	4,8	16
Folie 4Protec crystalclear	4,5	0,9	4,2	4,7
Folie 4Protec antireflex	0,1	0,03	3,5	117
<b>Apple iPad</b>				
ohne Folie	4,1	3,2	5,8	1,8
Folie Folix FX-Antireflex	0,2	0,1	3,8	38
Folie Dipos Antireflex	0,1	0,1	4	40
<b>Apple iPad 2</b>				
ohne Folie	4,9	4,2	6,3	1,5
Folie Moshi iVisor	0,8	0,7	9,8	14
Folie Belkin MatteScreen	0,2	0,2	5,6	28
<b>Samsung Galaxy Tab 10</b>				
ohne Folie	2,7	0,4	3,1	7,8
Folie 3M ADQC27	6,9	1,2	7,8	6,5
<b>Sony Tablet S</b>				
ohne Folie	4,5	3,8	5,6	1,5
Folie Dipos Antireflex	0,05	0,1	4	40

schicken Smartphone aber sehr ungeschick aus.

Je dicker eine Folie ist, desto leichter lässt sie sich normalerweise aufbringen. Bemerkenswert einfach gelingt das Aufziehen der iVisor-Folien von Moshi: Die für diverse Apple-Produkte erhältliche Schutzschicht fällt fast von selbst aufs Display. Allerdings hat die sehr feste Folie einige Nachteile. Das Gleiten der Finger über den folierten Touchscreen fühlt sich wie luftgepolstert an, es zeichnen sich zudem Newtonsche Ringe unter der Folie ab. Beides deutet auf eine Luftschicht zwischen Display und Folie hin, an deren Grenzschichten das Licht zusätzlich gestreut wird. Die Folie sammelt damit das Licht

quasi ein, wodurch dunkle Bildinhalte unübersehbar aufgehellt werden und der Bildkontrast stark einbricht. Das bestätigen auch unsere Messungen: Der Reflexionsgrad für große Lichtquellen war beim iPhone 4S mit iVisor-Folie doppelt so hoch wie beim glänzenden iPhone 4S. Bei Folien für das iPad war der Effekt mit einer Erhöhung auf das 1,5-Fache nicht ganz so ausgeprägt, aber doch deutlich sichtbar. Deshalb kann man die iVisor-Folie lediglich Anwendern empfehlen, die keine Lust auf umständliches Aufziehen haben, ihr Display in erster Linie vor Kratzern schützen wollen und das Pad ohnehin meistens in dunkler Umgebung nutzen.

### Reflexionsbetrachtung

Die Folien eines Herstellers für verschiedene Mobilgeräte ähneln sich in ihren Eigenschaften, je nach Display haben wir nur leicht unterschiedliche Entspiegelungsgrade respektive Restreflexionen ermittelt. So sorgen die stabilen Folien von Dipos dafür, dass von den Reflexionen am blanken Display nur etwa ein Prozent der reflektierten Leuchtdichte übrig bleibt – hierdurch zeichnen sich Lichtquellen kaum noch im Display ab. Der geringe Reflexionsgrad in Spiegelrichtung spricht ebenfalls Bände – es wurden nur 0,1 Prozent des einfallenden Lichts von Displays mit Dipos-Folien zurückgeworfen.

## Reflexionsmessung

Üblicherweise wird in Datenblättern und Broschüren der Displaykontrast im Dunkelraum angegeben. Er beschreibt den Helligkeitsunterschied zwischen einem weißen und einem schwarzen Bildbereich auf einem Display, das im dunklen Raum leuchtet und von jeglicher Spiegelung abgeschottet wird. Sobald man dasselbe Display in heller Umgebung betreibt oder nur die Reflexionen des leuchtenden Displays an der Kleidung des Nutzers oder an hellen Wänden berücksichtigt, bricht der wahrnehmbare Displaykontrast stark ein. Dann sinkt beispielsweise der theoretisch mögliche In-Bild-Kontrast eines OLED-Schirms von 1 Million zu eins auf magere 100:1 [2].

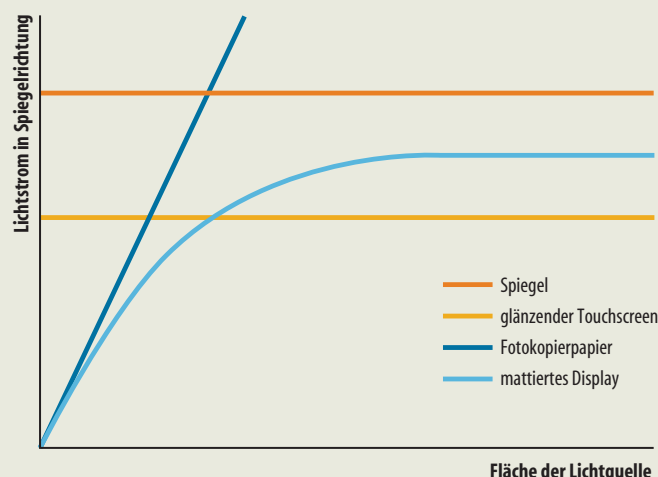
Deshalb müsste man den Displaykontrast stets in Abhängigkeit vom jeweiligen Umgebungslicht angeben. Weil es aber sehr viele unterschiedliche Beleuchtungssituationen gibt, bezieht man die je nach Umgebung zusätzlich vom Display reflektierte Leuchtdichte über einen Reflexionsfaktor in die Kontrastberechnung ein. Mit diesem Faktor kann man den realen Hell-Kontrast eines Mobildisplays unter strahlendblauem Sommerhimmel ebenso ermitteln wie den Kontrast eines Monitors im ergonomisch ausgeleuchteten Büro.

### Gespiegelt und gestreut

Es gibt zwei unterschiedliche Arten der Reflexion: eine gerichtete (spiegelnde) und eine diffuse (streuende). Beim Blick in den Badezimmerspiegel sieht man sein scharf abgegrenztes Spiegelbild, für das die Billard-Weisheit „Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel“ gilt. Der beschlagene Spiegel trübt das Bild: Es hat keine klaren Konturen mehr und seine Leuchtkraft nimmt nach außen hin ab. Auch weißes Fotokopierpapier reflektiert diffus, es streut das einfallende Licht aber in alle Richtungen gleich stark. Herkömmliche Displays zeigen alle drei Reflexionsvarianten: Am Plasmabildschirm reflektiert das Frontglas das Umgebungslicht spiegelnd, die Phosphorschicht dagegen gleichmäßig diffus,

durch interne Streuung entstehen zudem jenseits der Spiegelrichtung abnehmende Reflexionen. An LCDs findet man sowohl spiegelnde als auch streuende Reflexionsanteile.

Für die Erfassung der Reflexionseigenschaften einer Oberfläche muss man sie mit einer gerichteten Punktlichtquelle beleuchten und sich mit dem Lichtsensor vor der Fläche bewegen, um sowohl den reflektierten Lichtstrahl in Spiegelrichtung als auch die um diese Richtung gestreuten Lichtreflexionen zu erfassen. Weil das mechanisch recht aufwendig ist, kann man den Aufbau auch „umdrehen“, also den Messkopf fixieren und stattdessen die Größe der Lichtquelle verändern.



**Unser Referenz-Schwarzglas hat die Reflexionseigenschaften eines Spiegels, ein glänzender Touchscreen verhält sich ähnlich. Auf dem mattierten LCD spiegeln sich kleine Lichtquellen kaum, Fotokopierpapier streut das Licht gleichmäßig in alle Richtungen.**

Die internen Reflexionen im eingeschalteten Display sind vergleichsweise vernachlässigbar. Grund: am Polfilter werden 50 Prozent des Lichts geschluckt, die Farbfilter schlucken etwa 80 Prozent des verbliebenen Lichts, der hintere Polfilter wiederum 50 Prozent. Das am Displayrücken (der Backplane) reflektierte Licht muss diese drei Schichten zweimal durchlaufen. Von dem im Display reflektierten Licht tritt deshalb im Vergleich zu den Reflexionen am Frontglas kaum etwas aus. Genau genommen müsste man diesen internen

Anteil dennoch zur Frontreflexion addieren.

Bei der Art der Lichtquellen unterscheidet man zwischen kleinen Lichtquellen – beispielsweise die Schreibtischleuchte, ein Deckenstrahler oder die Sonne am Himmel – und großen Flächenleuchten wie der hellen Wand, dem Fenster oder dem Himmel. Die beiden Lichtquellentypen simulieren wir gemäß ISO 9241-7 durch eine Lichtquelle mit einstellbarer Austrittsöffnung. Den am Display mit einer Lichtquelle mit 1°-Raumöffnungswinkel ermittelten Reflexionsgrad  $\rho_{S1}$  nutzen wir zur Berechnung des Hell-Kontrasts bei störenden Punktlichtquellen. Zusätzlich ermitteln wir den Reflexionsgrad  $\rho_{S15}$  für eine

chen liegt sie üblicherweise über 10. Über die Güte der Entspiegelung sagt die Streukennzahl allein wenig aus.

Der Reflexionsgrad in Spiegelrichtung  $\rho_{sp}$  ist das Verhältnis des zurückgeworfenen Lichtstroms zum einfallenden Lichtstrom. Durch Drehen eines Mobildisplays aus der Spiegelrichtung kann man die störenden Reflexe von kleinen Lichtquellen minimieren. Allerdings gibt es durch Punktlichtquellen stets auch eine Flächenlichtquelle – etwa durch die weiße Wand im Rücken des Betrachters, die helle Bekleidung oder das Gesicht des Nutzers. So reflektiert beispielsweise eine weiße Bürowand etwa 70 Prozent, das Gesicht eines hellhäutigen Mitteleuropäers etwa 30 Prozent des Lichts – das kann das vom Display kommende Licht sein oder das helle Sonnenlicht.

Entspiegelungsfolien beurteilen wir anhand des am Display reflektierten Lichts mit Folie im Vergleich zum ohne Folie reflektierten Licht in Spiegelrichtung. Wenn beispielsweise durch die Folie der Anteil des reflektierten Lichts von ursprünglich 42 318  $cd/m^2$  auf 673  $cd/m^2$  sinkt, bleiben in Spiegelrichtung nur 1,6 Prozent der ursprünglich reflektierten Leuchtdichte übrig.

Wobei „in Spiegelrichtung“ keineswegs nur eine einzige Sehrichtung meint: Jeden Punkt auf einer Fläche betrachtet man unter einem anderen Einblickwinkel und zu jeder dieser vielen Sehrichtungen gibt es jeweils eine Spiegelrichtung. In einem nichtstreuenden Spiegel sieht man so alle Objekte, die in Spiegelrichtung zur Sehrichtung liegen. Auch eine glänzende Touchscreen-Oberfläche reflektiert alle Lichtquellen, die in Spiegelrichtung zum Einblickwinkel liegen. An aufgerauten Oberflächen werden dagegen auch Lichtanteile von außerhalb der Spiegelrichtung ins Auge reflektiert. Da mattierte Folien die Reflexionen durch eine Aufweitung der Streukeule reduzieren und dabei kein Licht schlucken, ist die Displaydarstellung hier stets etwas matter als auf dem unbehandelten, glatten Display.

Lichtquelle mit 15 Grad Öffnungswinkel (large aperture specular source). Eine solche Flächenlichtquelle ist im Prinzip die Überlagerung vieler Punktlichtquellen.

Als Maß für die Art der Entspiegelung dient die Streukennzahl. Sie beschreibt das Verhältnis der Reflexionen am Display verursacht durch eine flächige Lichtquelle zur Reflexion einer Punktlichtquelle  $S = \rho_{S15} / \rho_{S1}$ . Ein spiegelnder Touchscreen hat normalerweise eine geringe Streukennzahl zwischen 1 und 3, bei mattierten Displayoberflä-



iPads unter gleicher Lichteinstrahlung mit Antireflexfolien von: Dipos, Folix, Belkin und Moshi; rechts ein iPad ohne Folie

Allerdings hellt die mattierte Folie die Darstellung insgesamt etwas auf.

Ähnliche Ergebnisse erzielten im Test auch die Folix-Folien: Sie senkten die Reflexionen in Spiegelrichtung auf unter 2,5 Prozent gegenüber dem blanken Display. Insbesondere die Abbildung von Punktlichtquellen konnten sie sehr gut unterdrücken. Der Ausreißer in unserer Messung – eine Folix-Folie für das Nexus One – zeigt ein Problem der Foliensorte auf: Sie war durch kurzzeitigen Gebrauch leicht verkratzt. An den Mikrofurchen wurde das Licht ungünstig gestreut, was die Reflexionsfaktoren ein wenig nach oben trieb. Die Folien von Folix streuen noch etwas mehr als die von Dipos.

Gute Messergebnisse erzielten auch die 4Protec-Folien von HSW3000, allerdings war deren Verarbeitung nur mittelmäßig:

Die Ecken sahen teilweise aus wie mit der Nagelschere beschnitten und die Folie fürs Galaxy S2 war sehr großzügig bemessen, was die korrekte Platzierung unnötig erschwerte. Davon abgesehen ließen sich die 4Protec-Folien recht einfach aufziehen.

Die nicht mattierte Folie im Test diente lediglich als Displayschutz, Blendung und störenden Reflexen haben sie wenig entgegenzusetzen. Die meisten haben sogar höhere Reflexionsgrade als das jeweils blanke Display ohne Folie. Ist die Folie zu dünn wie bei Hama, bietet sie nicht einmal ordentlichen Schutz gegen Kratzer auf dem Schirm.

**Fazit**

Adhäsive Folien sollen Mobil-displays vor Kratzern schützen und zugleich die Spiegelungen reduzieren. Den ersten Zweck erfüll-

ten fast alle getesteten Folien, besonders gut die etwas stabilen. Lediglich eine sehr dünne Schutzfolie (von Hama) wirkte weder besonders entspiegelnd noch war sie kratzfest.

Die Haptik der beschützten Displays hängt auch vom Benutzer ab: Eher feuchte Finger gleiten auf den mattierte Folien gut und kleben nicht so am Display. Mit trockenen Fingern fühlen sich mattierte Oberflächen zuweilen etwas rau an, ins Stolpern oder Stocken kommt man an der aufgerauten Oberfläche aber nicht. Auf glatteren Folien können feuchtere Finger beim Sliden schon mal stolpern. Die nur wenig aufgeraute iVisor-Folie von Moshi ist für trockene und feuchte Hände gleich gut geeignet.

Die Folien von Folix und Dipos entspiegelten unsere Displays im Test besonders gut. Man be-

merkt den Unterschied zwischen unbehandeltem und mit Folie bezogenem Display vor allem in einer Umgebung mit starken Störlichtquellen. In gleichmäßig ausgeleuchteten Räumen spiegelt es auf Touchscreens ohnehin kaum. Dort tritt die Streuung der Folie zutage, durch die das Display insbesondere aus schrägen Einblickwinkel matter wirkt. Einen Kompromiss wird man mit mattierte Folien stets eingehen müssen. Die Entscheidung für oder gegen diese Art der Entspiegelung und den möglichen Displayschutz ist deshalb immer auch eine ganz persönliche. (uk)

**Literatur**

- [1] Florian Müssig, Gegen Glare, Notebook-Displays entspiegeln, c't 2/08, S. 116
- [2] Ulrike Kuhlmann, Displaykontrast in Theorie und Praxis, c't 4/08, S. 30

Displayfolien									
Hersteller	Belkin	Dipos	Folix	Folix	Hama	HSW3000	HSW3000	Moshi	3M
Folientyp	MatteScreen Overlay	Antireflex-Displayschutzfolie	FX-Antireflex-Displayschutzfolie	FX-Clear-Displayschutzfolie	Universal-Displayschutzfolie (glare)	4Protec-Schutzfolie antireflex	4Protec-Schutzfolie crystalclear	iVisor	ADQC27
Oberfläche	mattiert	mattiert	mattiert	glänzend	glänzend	mattiert	glänzend	leicht mattiert	glänzend
Stärke	eher dick	eher dick	mittel	mittel	dünn	mittel	mittel	dick	mittel
Aufbringen	lässt sich recht einfach aufbringen	mit dem Spatel lassen sich Luft-einschlüsse leicht herauschieben, das mitgelieferte Tuch fusselt	korrekte Platzierung am Smartphone durch sehr kleine Linsenöffnungen erschwert	korrekte Platzierung am Smartphone durch sehr kleine Linsenöffnungen erschwert	Folie muss selbst zugeschnitten werden, Aufziehen durch geringe Foliendicke etwas schwieriger	lässt sich recht einfach aufbringen	lässt sich recht einfach aufbringen	sehr einfach, Folie gleitet quasi aufs Display	Aufziehen durch geringe Foliendicke etwas schwieriger
Äußeres	leicht aufgeraute Oberfläche	leicht aufgeraute Oberfläche, teilweise etwas zu groß	leicht aufgeraute Oberfläche, teilweise nicht 100 % passgenau	glatte Oberfläche, spiegelt, teilweise nicht 100 % passgenau	glatte Oberfläche, spiegelt	trockene, etwas raue Oberfläche, teilweise nicht 100 % passgenau	glatte, ölig schimmernde Oberfläche, spiegelt	kaum aufgeraute Oberfläche, für trockene und feuchte Hände geeignet	glatte Oberfläche, schimmert von der Seite bunt, spiegelt
Zubehör	Putztuch	Spatel für Tablets, kleines Putztuch	Putztuch	Putztuch	Putztuch	-	-	Putztuch	Putztuch
Entspiegelungsfaktor	3,4	1...1,2	1,4...2,2 (4,6) <sup>1</sup>	125	89	2,2...3,4	100...149	15...27	252
sonstige Eigenschaften	-	-	teilweise 2 Folien pro Packung	teilweise 2 Folien pro Packung	2 Folien pro Packung, für LCDs bis 4,4"	etwas unsauber zugeschnittene Ecken	etwas unsauber zugeschnittene Ecken	sammelt Licht, erhöht die Blendwirkung	λ/4-Beschichtung
<b>Bewertung</b>									
Reflexionsminderung	○	⊕⊕	⊕	⊖⊖	⊖⊖	○	⊖⊖	⊖	⊖⊖
Handling	⊕	⊕	○	○	⊖	○	⊕	⊕⊕	○
Preis	18 € (für iPad)	ca. 5 € (für Smartphones), ca. 10 € (für Tablets)	3 bis 5 € (für Smartphones), ca. 10 € (für Tablets)	3 bis 5 € (für Smartphones), ca. 10 € (für Tablets)	7 € (2er-Set für Smartphones bis 4,4")	ca. 3 € (für Smartphones)	ca. 3 € (für Smartphones)	20 € (für iPhone), 30 € (für iPads)	8 € (für Smartphones), ca. 40 € (für Tablets)
<sup>1</sup> Folie etwas verkratzt									
⊕⊕ sehr gut   ⊕ gut   ○ zufriedenstellend   ⊖ schlecht   ⊖⊖ sehr schlecht   ✓ vorhanden   - nicht vorhanden   k. A. keine Angabe									