

Ideal für Fotohandies und Fernsehen bei Sonnenschein

ELECTROWETTING – VON DER PHYSIK ZU NEUARTIGEN ELEKTRONISCHEN DISPLAYS

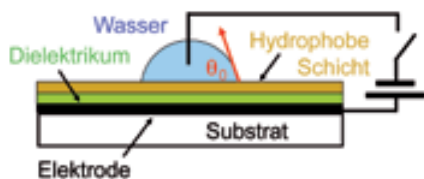
>> von Karlheinz Blankenbach >

Prinzip

Ein bereits vor langer Zeit entdeckter Effekt macht in jüngster Vergangenheit Furore: Mittels Electrowetting, was sich in etwa mit „elektrischer Kapillareffekt“ übersetzen lässt, können neuartige (elektro-) optische Bauelemente und Mikroreaktoren aufgebaut werden. Ihre Funktion basiert darauf, dass ein elektrisches Feld die Oberflächeneigenschaften von Flüssigkeitssystemen verändert. Im Internet findet man zahlreiche Seiten zu Electrowetting.

Das Displaylabor der Hochschule Pforzheim entwickelt seit dem Frühjahr 2006 Electrowetting-Display-Prototypen in einer IAF-Kooperation mit den Firma ADT, Bad Soden und BARTELS MIKROTECHNIK, Dortmund. Insgesamt liegen die Fördermittel für die Hochschule Pforzheim bisher im sechsstelligen Bereich, eine Fortführung über März 2009 hinaus ist fest eingeplant.

Das Grundprinzip des Electrowettings ist in *Abb. 1* dargestellt: Ein Wassertropfen, in dem eine der beiden Elektroden steckt, befindet sich auf einer hydrophoben Schicht, die durch ein Dielektrikum („electrowetting on dielectrics“) von der zweiten Elektrode getrennt ist. Das Ganze befindet sich zwecks mechanischer Stabilität auf einem Substrat. Im spannungslosen Zustand (links) ist der Wassertropfen aufgrund der hydrophoben (Wasser abstoßenden) Schicht kontrahiert. Legt man nun eine Spannung an (rechts), so zerfließt der Tropfen. Dies ist vergleichbar mit einem Wassertropfen auf einem frisch gewachsenen Autolack (spannungslos) und ohne Wachs (zerfließt).



1 Grundprinzip des Electrowettings:

Ein Wassertropfen auf einer hydrophoben Schicht zerfließt beim Anlegen einer Spannung, der Effekt ist reversibel.

Die Steuerung erfolgt praktisch leistungslos, da kein direkter Strom fließt. Bei potentiellen Electrowetting-Anwendungen sind die Größenverhältnisse (im Bereich von 1–10 mm) so gewählt, dass die Gravitation im Vergleich zu den Oberflächeneffekten vernachlässigbar gering ist.

Die Einsatzgebiete definieren sich über die Ausgestaltung des Flüssigkeitsraumes, der Elektroden-Anordnung und der gewählten Flüssigkeitsgemischen:

- Flüssiglinsen
- Mikrofluidische Systeme
- Displays

Electrowetting-Linsen

Praktisch alle Fotohandies sind mit Objektiven ausgestattet, die weder fokussieren können noch ein optisches Zoom besitzen. Die Hauptgründe dafür sind, dass die erforderliche Mechanik und das Linsensystem eine zu große Bautiefe erfordern würden und die Kosten relativ hoch sind. Hier setzt nun die Innovation durch Electrowetting an: Eine solche Linse (*Abb. 2*) besteht statt aus Glas oder Kunststoff aus zwei unermischbaren Flüssigkeiten (typischerweise Öl und Wasser) mit unterschiedlichem Brechungsindex und geschickter Elektrodengeometrie. Durch den Electrowetting-Effekt werden nun die beiden Flüssigkeiten mittels angelegter variabler Spannung unterschiedlich stark von der hydrophoben Zylinderwand angezogen oder abgestoßen, so dass sich auch die Form der Grenzfläche zwischen den Flüssigkeiten und damit die Form der Linse stufenlos von konvex zu konkav und so die Fokussierung und Brennweite verändern lässt.

Solche Linsen besitzen typischerweise einen optischen Durchmesser von 3 mm. Ihr Fokussier-Bereich liegt zwischen zehn Zentimetern und unendlich, das Fokussieren dauert etwa zehn Millisekunden. Ebenso sind Kombinationen möglich, die bei geringster Bautiefe ein optisches Dreifach-Zoom ermöglichen. Das gesamte System besitzt keinerlei mechanisch bewegte Teile und ist praktisch leistungslos eine Million Mal steuerbar – in Summe also ideal für den Handy-Einsatz.

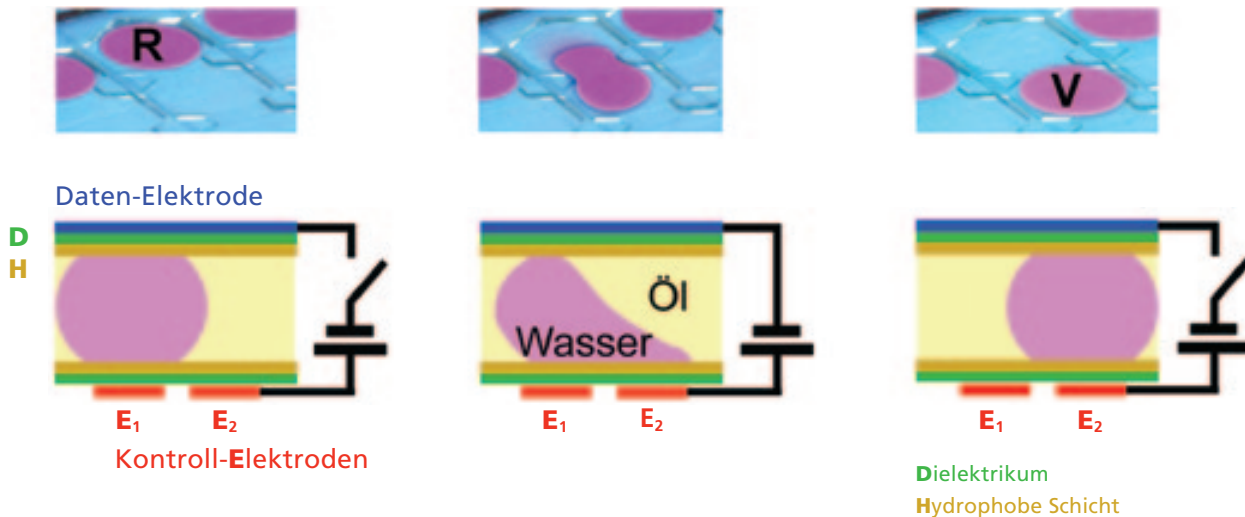
2 Anwendung des Electrowetting-Effekts als Linse (Bild VARIOPTIC) mit variabler Brennweite für Autofokus und optischen Zoom.



Mikrofluidische Systeme

Weitere Einsatzgebiete des Electrowettings liegen in hoch integrierten mikrofluidischen Systemen wie „lab on a chip“, in denen die gezielte Manipulation geringster Flüssigkeitsvolumina möglich ist. Die Mikrofluidik erfüllt beispielsweise die Forderungen für automatisierte chemische und klinische Diagnosegeräte hinsichtlich Automatisierung, Integration und Miniaturisierung – die heutigen Apparate sind dagegen relativ groß. Es existieren zwei unterschiedliche Ausführungen von Electrowetting-Mikropumpen: solche mit ‚ständigem‘ Fördern und die so genannte digitale Mikrofluidik, welche einzelne Tropfen gezielt separieren, fördern und mischen kann.

Die hierfür eingesetzte Art des Electrowettings stellt im Wesentlichen eine Erweiterung des an *Abb. 1* dargestellten Prinzips dar, bei dem die untere Elektrode strukturiert wird (*Abb. 3*). Durch Anlegen von Spannung können gezielt Flüssigkeitstropfen bewegt werden (Mitte), nach Abschalten der Spannung verharren diese an ihrer neuen Position (rechts), was bei Displays als Bistabilität bezeichnet wird. Sowohl die Methode des Linseneffektes als auch der Mikrofluidik können für elektronische Displays angewandt werden. Beide Ansätze werden im Folgenden vorgestellt.



3 Prinzip der Electrowetting-Mikrofluidik (Seitenansicht):

Ein Tropfen zerfließt durch Anlegen einer Spannung und kontrahiert bei Abtrennen der Spannung über der nächsten Elektrode. Der Tropfen bleibt dann an seiner eingenommenen Position. Somit wird der (farbige) Tropfen aus einem Reservoir (R) in den sichtbaren Bereich (V) gebracht. Es sind nur die funktionsrelevanten Schichten dargestellt.

Displays nach dem Verformungs-Prinzip

Solche Anzeigen sind aus einzelnen Pixeln aufgebaut, die elektrisch betrachtet einem Plattenkondensator mit transparenten Elektroden ähneln und ihr mechanisches Analogon in einer Wanne haben. Diese ist mit farbigem Öl und Wasser gefüllt und funktioniert gemäß der *Abb. 1* mit einem unter dem Substrat liegenden weißen Reflektor. Die Höhe der angelegten Spannung bestimmt den Bedeckungsgrad eines beispielsweise schwarzen Tropfens, somit lässt sich die Reflexion steuern.

Die Prototypen der PHILIPS-Ausgründung LIQUAVISTA basieren auf diesem Prinzip. Es wurden Anzeigen mit Pixelgrößen im Bereich 200 µm und Schaltfrequenzen von 100 Hertz als 7-Segment Uhren-Anzeigen und videofähige Handydisplays auf Aktiv-Matrix-Basis realisiert. Ein Vorteil dieser Methode ist ihr im Vergleich zu LCDs und OLEDs einfacher Aufbau, die Homogenität (Befüllen der Wannen) der Pixel ist noch optimierbar. Als nicht-bistabile Technik sind Aktiv-Matrix Backplanes erforderlich, welches sowohl hohe technische als auch logistische Herausforderungen impliziert.

Displays nach dem Mikrofluidik-Prinzip:

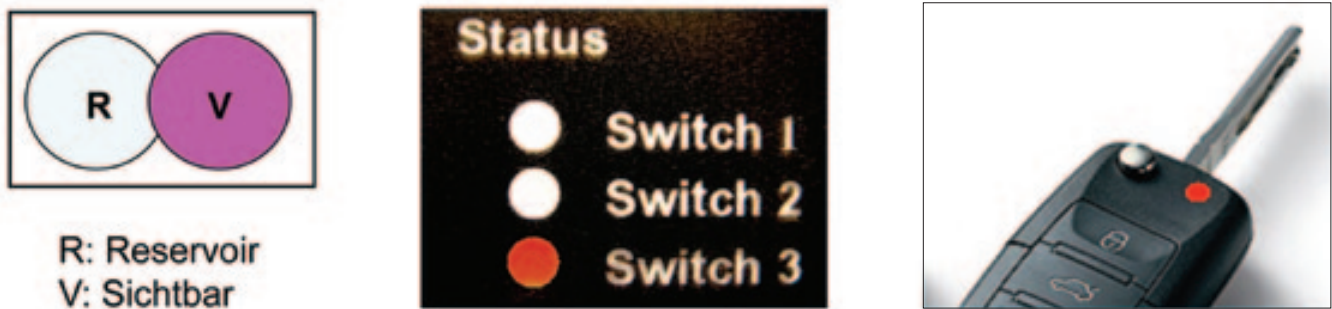
Droplet Driven Display (D³)

Ein anderer Ansatz von Electrowetting Displays beruht auf dem mikrofluidischen Transport-Prinzip (siehe *Abb. 3*): Aus einem Reservoir wird ein gefärbter Wassertropfen in das Sichtfeld gebracht. Ein weißer Reflektor lenkt nun einfallendes Licht gemäß dem Bedeckungsgrad des Tropfens zum Betrachter.

Der Charme ‚unseres‘ D³-Prinzip liegt in mehreren Eigenschaften:

- Bistabilität: Der Anzeigehalt bleibt auch ohne extern angelegte Spannung erhalten
- Hohe Transparenz und Reflektivität ermöglicht exzellente Ablesbarkeit im Innen- und Außenbereich
- Weiter Temperaturbereich durch die Wahl entsprechender Fluide
- Einsatz von kommerziellen Displaytreibern ist möglich
- Skalierbarkeit von Einzelpixeln über Zahlendarstellung bis hin zu Graphikanzeigen (Fernziel ist das elektronische Plakat)

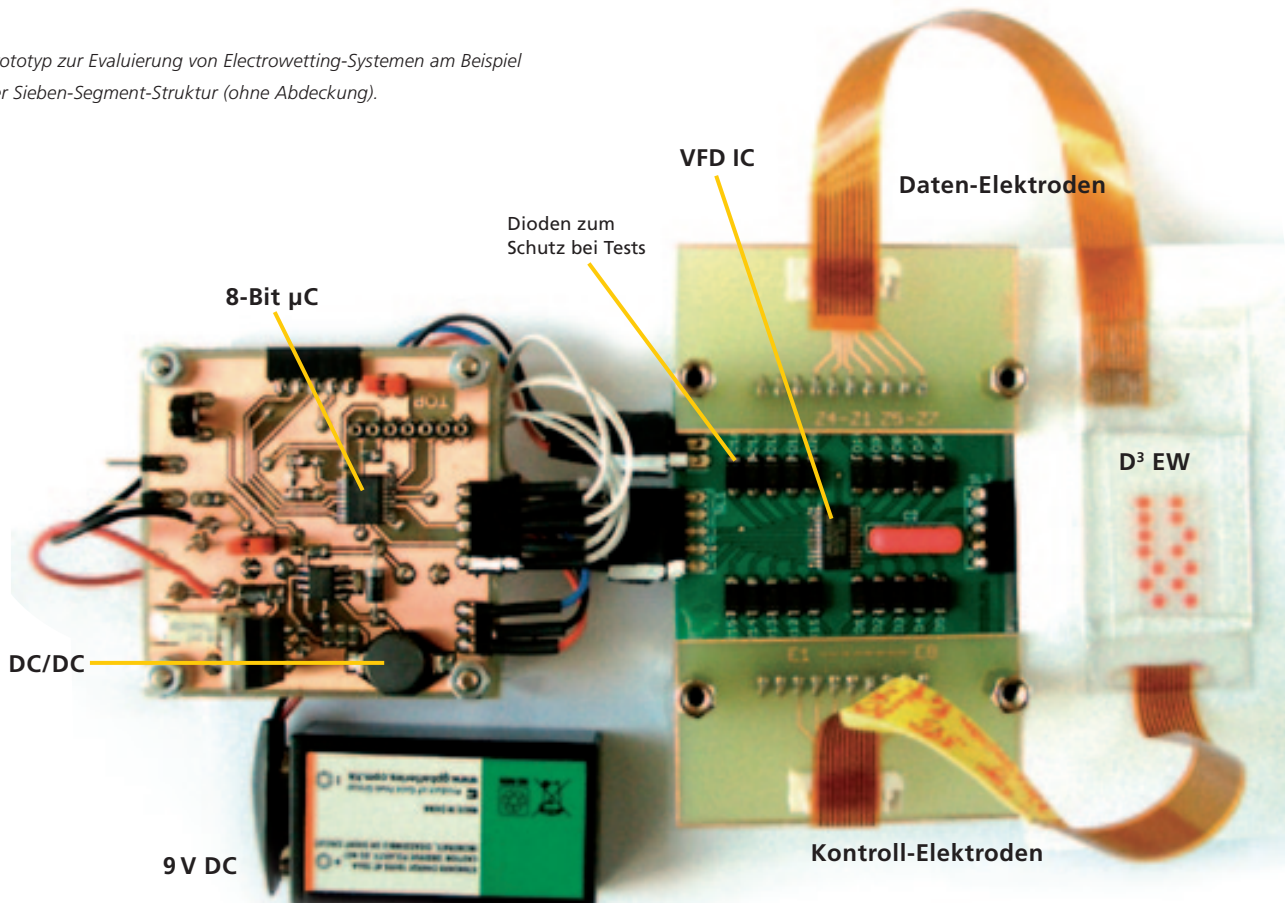
Die einfachste und trotzdem sinnvolle Möglichkeit (Abb. 4) für D³-Electrowetting-Anzeigen besteht lediglich aus einem einzelnen, ggf. mehreren Pixel mit einem typischen Durchmesser von 2 mm (ausreichend für eine gute Ablesbarkeit, bis zu 10 mm Durchmesser sind möglich): In vielen Anwendungen muss lediglich ein Zustand visualisiert werden. Hierfür wird das Reservoir durch eine beschriftete Blende abgedeckt. Bereits hier kommen die Vorteile der D³-Technik (Bistabilität und exzellente Ablesbarkeit) zum Tragen: Bei mobilen Geräten spielen Stromverbrauch und Ablesbarkeit im Sonnenlicht eine entscheidende Rolle. Andererseits gibt es viele so genannte Remote-Anwendungen, die lange Zeit ‚unbeobachtet‘ bleiben. Fällt nun der Strom aus, so kann der letzte Zustand ‚später‘ nicht mehr abgelesen werden. Bistabile D³-Anzeigen hingegen können diesen Zustand jahrelang speichern und visualisieren. Für ‚Endkunden‘ dürfte der D³-Autoschlüssel sehr interessant sein – wer war sich nicht schon mal unsicher, ob sein Auto wirklich verriegelt ist?



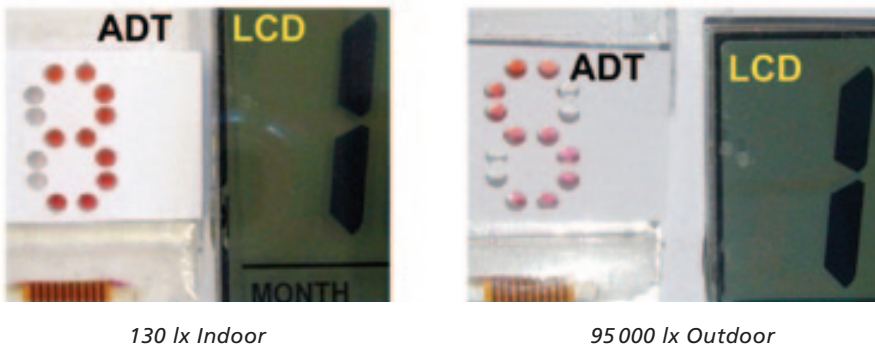
4 Einsatzmöglichkeiten für bistabile Electrowetting-Anzeigen mit wenigen Pixeln. Eine sinnvolle Anwendung wäre die Visualisierung des Zustandes der Zentralverriegelung auf einem Fernbedienungs-Autoschlüssel (rechts) – die Anzeige verbraucht keinen Strom (Batterie) und ist hervorragend ablesbar.

Die Abb. 5 zeigt das in Pforzheim zu Test- und Evaluierungszwecken entwickelte batteriebetriebene Ansteuersystem. Dieses basiert auf einem Mikrocontroller und Vakuumfluoreszenz-Treibern (VFD). Bei der Hard- und Software-Auslegung wurde auf größtmögliche Flexibilität und Skalierbarkeit geachtet, so dass verschiedene Electrowetting-Strukturen (hier Sieben-Segment-Anzeige) bis hin zu Matrixanzeigen durch Softwareanpassung angesteuert werden können.

5 Prototyp zur Evaluierung von Electrowetting-Systemen am Beispiel einer Sieben-Segment-Struktur (ohne Abdeckung).



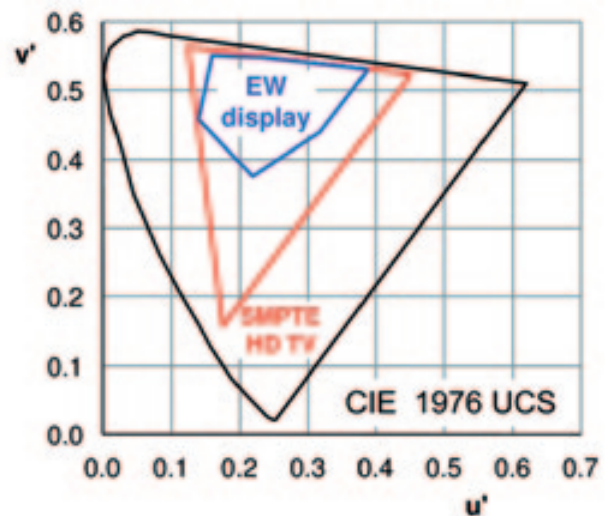
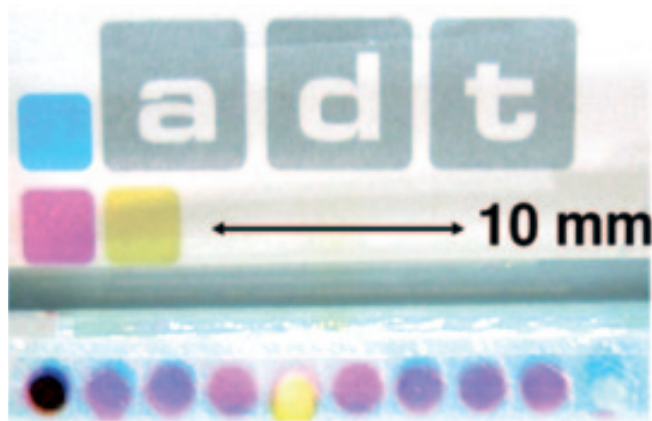
Neben der Bistabilität ist die exzellente Ablesbarkeit im Sonnenlicht der Electrowetting-Displays ein entscheidender Vorteil. Gegenwärtige LCDs in Notebooks und Fernsehern können hier nicht mithalten, wie es wohl schon viele Nutzer bemerkt haben. Die *Abb. 6* zeigt den direkten Vergleich eines sonnenlichttauglichen reflektiven aber nur monochromen LCDs, wie sie beispielsweise in Taschenrechnern verbaut werden, mit einem Sieben-Segment-Electrowetting Display. Auch ohne Angabe der vorgenommenen Messungen ist die Überlegenheit der D³-Anzeige eindeutig erkennbar, auch bei relativ dunkler Umgebung im Innenbereich.



6 Vergleich der Ablesbarkeit im Innen- und Außenbereich zwischen einem Electrowetting-Display (jeweils links) und einem LCD (jeweils rechts).

Farbige Electrowetting-Displays können sowohl additiv (RGB in lateraler Anordnung) als auch nach einem patentierten Verfahren subtraktiv (CMY in übereinander gelegter Anordnung) wie bei Druckern dargestellt werden. Durch geschickte Auslegung ist die Apertur im flächigen Aufbau (*Abb. 7*) genügend groß, mit den patentierten dreidimensionalen Strukturen erzielt man größtmögliche Nutzflächenanteile. Die Zukunftsvision stellt das elektronische Plakat dar, dessen ‚Inhalt‘ beliebig oft erneuert und geändert werden kann. Auch hier kommen die D³-Vorteile (geringster Stromverbrauch und Sonnenlicht-Tauglichkeit) zum Tragen. Zusätzlich reduziert die druckergleiche Farbdarstellung in der Verarbeitungskette den Aufwand.

Prototyp mit subtraktiver Farbmischung



7 Patentiertes Verfahren zur subtraktiven Farbmischung bei elektronischen Displays:

Links der 10-Pixel Prototyp mit 3 übereinander angeordneten Electrowetting-Streifen, rechts dessen Drucker-ähnlicher Farbumfang.

Der große Vorteil des hier beschriebenen D³-Ansatzes ist seine Bistabilität, die den Verzicht auf Aktiv-Matrix Backplanes ermöglicht. Somit sind auch flexible Displays aus Plastik schon heute realisierbar. Die Technologie ist zudem skalierbar von monochromen Einzelpixeln bis hin zum elektronischen Plakat, die Pixelgrößen liegen zwischen 0,5 und 10 mm. Tests mit optimierten Materialkombinationen lassen einen Temperaturbereich von -45 bis +100 °C für Glassubstrate realistisch erscheinen. In Kombination mit der hohen Transmission und der Bistabilität erscheint die Droplet Driven Display-Technologie somit auch für automobiler Anwendungen prädestiniert zu sein.



8 Karlheinz Blankenbach bei seinem Vortrag auf dem International Meeting on Information Display im August 2007 in Daegu, Südkorea.

Dr. Karlheinz Blankenbach

ist Professor für Elektrotechnik / Informationstechnik. Er wurde 2007 mit dem Research Excellence Award des Instituts für Angewandte Forschung für seine kontinuierliche Forschungsarbeit und seine herausragenden Forschungsleistungen ausgezeichnet.

Zusammenfassung

Electrowetting ermöglicht eine Vielzahl neuer Produkte mit sehr geringem Stromverbrauch. Dies reicht von Linsen über Mikropumpen bis hin zu Displays. Gerade in Displayanwendungen ergeben sich durch die hohe Transmission neue Möglichkeiten bei hellem Umgebungslicht. Während der LIQUA-VISTA-Ansatz heute schon videotauglich ist, dafür aber eine Aktiv-Matrix-Backplane erfordert, bestechen die ADT-Anzeigen durch ihre Bistabilität, Flexibilität und einen weiten Temperaturbereich. Ein weiterer Vorteil ist die patentierte subtraktive Farbmischung.

Die beschriebenen Droplet-Driven-Display-Systeme entstanden im Rahmen eines IAF-Projektes der Hochschule Pforzheim mit der Firma ADT, Bad Soden als Auftraggeber und dem Mikrofluidik-Spezialisten BARTELS-Mikrotechnik, Dortmund als Projektpartner. Das Displaylabor der Hochschule Pforzheim zeichnet dabei für die Systementwicklung, die Anstreuerelektronik und deren Software sowie die elektrooptische Charakterisierung verantwortlich.

Die bistabilen D³-Electrowetting-Displays wurden auf zahlreichen Konferenzen (z.B. Südkorea im August 2007, Abb. 8) und Symposien (z.B. Los Angeles 2007 und 2008, Abb. 9) sowie Messen (Electronica München 2006 und 2008) erfolgreich präsentiert. Das hier vorgestellte Projekt wurde in den ‚Selected Paper Proceedings of the Symposium 2007‘ der Society for Information Display, USA, publiziert, in dem lediglich die 5% ‚besten‘ aller akzeptierten Paper Eingang finden – dies ist für eine praxisorientierte Hochschule als wissenschaftlicher Erfolg zu werten. Derzeitige Aktivitäten parallel zur Weiterentwicklung der Technik sind Kooperationsgespräche mit namhaften Firmen für den Transfer und die Integration in Produkte. In dem fachlich und menschlich sehr gut harmonisierenden interdisziplinären Team macht angewandte Forschung und Entwicklung einfach Spaß.

9 Das Team nach erfolgreichem Symposium in Kalifornien im Mai 2007 im Hafen von Long Beach.

Von links nach rechts: Dr. Rawert (ADT), M.Sc. Andreas Schmoll, Karlheinz Blankenbach (beide Hochschule Pforzheim), Dipl.-Ing. Bitman und Dipl.-Ing. Rawert (beide BARTELS) sowie der Geschäftsführer der ADT, Dipl.-Ing. Dieter Jerosch.

