

Electrowetting – von der Physik zu Displays

Karlheinz Blankenbach, Displaylabor, Hochschule Pforzheim

Email: kb@displaylabor.de ; Web: www.displaylabor.de

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.

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 (\equiv wasserabstoßend) Schicht kontrahiert. Legt man nun eine Spannung an (rechts), so zerfließt der Tropfen. Dies ist vergleichbar mit einem Wassertropfen auf einem frisch gewachsenen Autolack (\equiv spannungslos) und ohne Wachs (zerfließt).

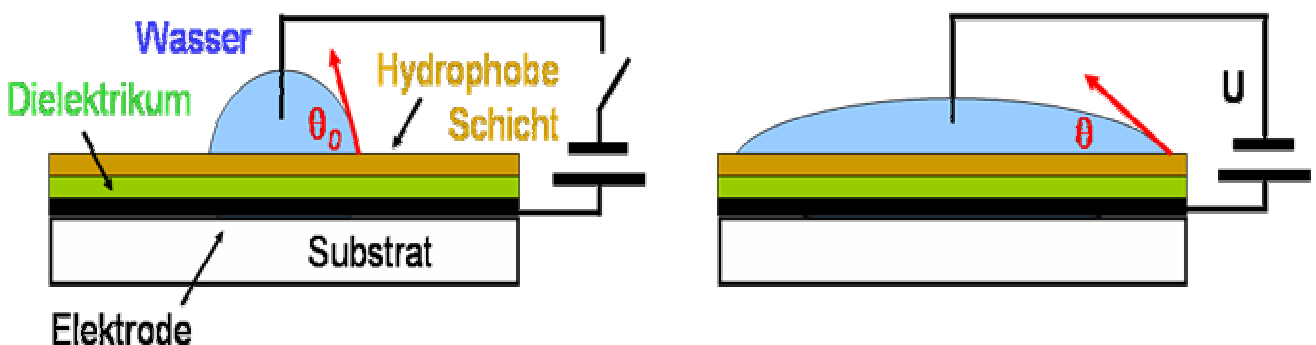


Abb. 1: Grundprinzip des Electrowettings: Ein Wassertropfen auf einer hydrophoben Schicht zerfließt beim Anlegen einer Spannung, der Effekt ist reversibel.

Der Kontaktwinkel zwischen Tropfen und Unterlage ist demzufolge spannungsabhängig und mittels der Lippmann-Young-Gleichung kann der spannungsabhängige Kontaktwinkel $\theta(U)$ berechnet werden:

$$\cos \theta(U) = \cos \theta_0 + \frac{\epsilon_0 \epsilon_r U^2}{2 \gamma d}$$

Die anliegende Spannung U , die Eigenschaften des Dielektrikum (ϵ_r , Dicke d) und die Grenzflächenenergie γ vergrößern den Kontaktwinkel θ_0 des spannungslosen Zustandes. Für Tröpfchen im Bereich von 1 mm Durchmesser liegt sie typischerweise bei etwa 30 V, was ‚Schaltgeschwindigkeiten‘ in der Größenordnung von 100 ms ermöglicht. Die Steuerung erfolgt praktisch leistungslos, da kein direkter Strom fließt. Bei potentiellen Electrowetting-Anwendungen sind die Größenverhältnisse 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 den gewählten Flüssigkeitsgemischen:

- Flüssiglinsen
- Mikrofluidische Systeme
- Displays

Der Schwerpunkt dieses Artikels liegt auf den Anwendungen des Electrowetting-Effektes im Hinblick auf elektronische Displays.

Electrowetting - Linsen

Praktisch alle Fotohandies sind mit Objektiven ausgestattet die weder fokussieren können noch ein optisches Zoom besitzen. Die Hauptgründe liegen darin begründet 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 besteht statt aus Glas oder Kunststoff aus zwei unvermischbaren Flüssigkeiten (typischerweise Öl und Wasser) mit unterschiedlichem Brechungsindex und geschickter Elektrodengeometrie (Abb. 2): Durch den Electrowetting-Effekt werden nun die beiden

Flüssigkeiten mittels angelegter variabler Spannung unterschiedlich stark von der hydrophoben Zylinderwand angezogen oder abgestoßen, sodass sich demzufolge 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.

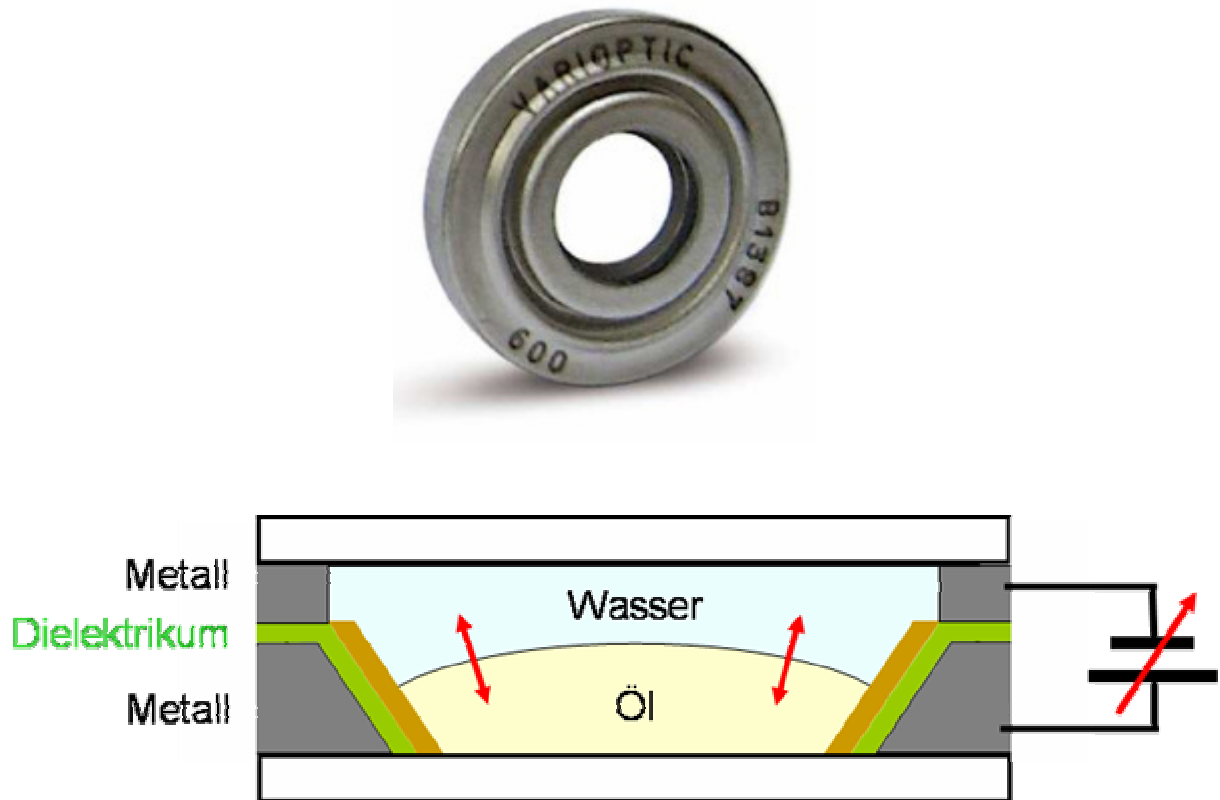


Abb. 2: Anwendung des Electrowetting-Effektes als Linse (Bild VARIOPTIC) mit variabler Brennweite. Die Grenzflächenform der Öl-Wasser-Schicht lässt sich mittels einer angelegten Spannung in weiten Bereichen einstellen, die roten Pfeile symbolisieren die Änderung der Linsenform.

Solche Linsen besitzen typischerweise einen optischen Durchmesser von 3 mm bei einer Bautiefe von etwa 2 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 3-fach Zoom ermöglichen. Das gesamte System besitzt keinerlei mechanisch bewegten Teile und ist praktisch leistungslos eine Millionen Mal steuerbar – in Summe also ideal für den Handy-Einsatz.

Mikrofluidische Systeme

Weitere Einsatzgebiete des Electrowettings liegen in hochintegrierten 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.

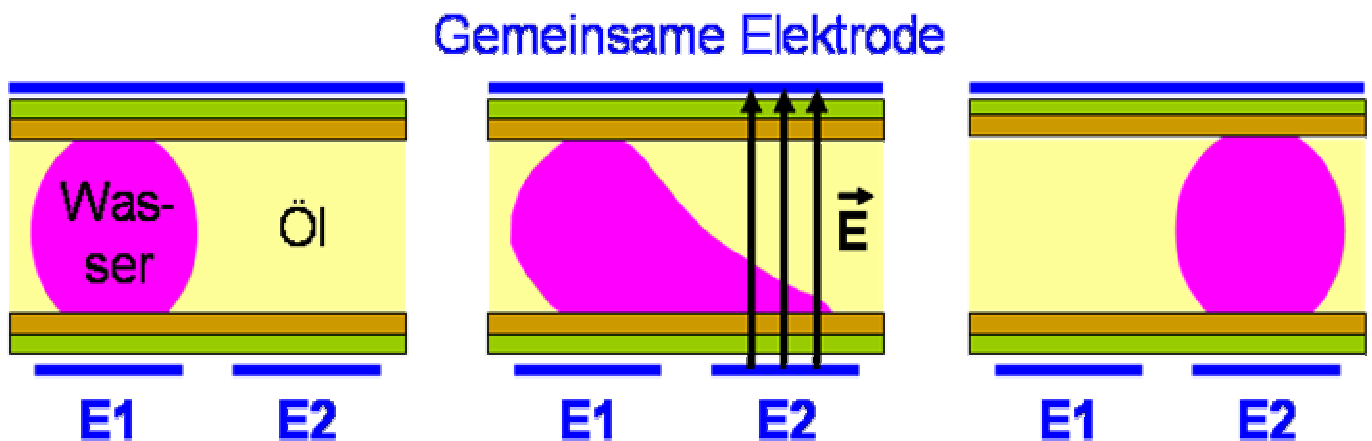


Abb. 3: Prinzip der Electrowetting-Mikrofluidik (Seitenansicht): Ein Tropfen zerfließt durch Anlegen einer Spannung und kontrahiert bei Abtrennen der Spannung über der nächsten Elektrode. Der Tropfen bleibt dann an seiner eingenommenen Position. Es sind nur die Funktions-relevanten Schichten dargestellt.

Sowohl die Methode des Linseneffektes als auch der Mikrofluidik können für elektronische Displays angewandt werden. Beide Ansätze werden im Folgenden vorgestellt.

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 (Abb. 4). Diese ist mit farbigem Öl und Wasser gefüllt, wobei eine Elektrode hydrophob beschichtet ist. Ohne Spannung bzw. elektrisches Feld legt sich das Öl als Film über die Wasser abstoßend beschichtete Elektrode (links). Legt man eine äußere Spannung an, so kontrahiert das Öl zu einem Tropfen (rechts) durch das Zusammenspiel von elektrostatischen und hydrophoben Kräften. Die Farbe des Öltröpfchens bestimmt die Farbe des Pixels, zur Erläuterung sei hier schwarz gewählt. Im spannungslosen Zustand bedeckt das Öl den weißen Reflektor vollständig, es wird praktisch kein Licht reflektiert. Ist der schwarze Öltröpfchen dagegen zusammengezogen wird ein großer Flächenanteil des Pixels ‚durchsichtig‘ und Licht wird reflektiert. Das Flächenverhältnis Pixelfläche zu kontrahiertem Öl ist maßgebend für das erzielbare Kontrastverhältnis. Graustufen werden durch die Spannungshöhe eingestellt.

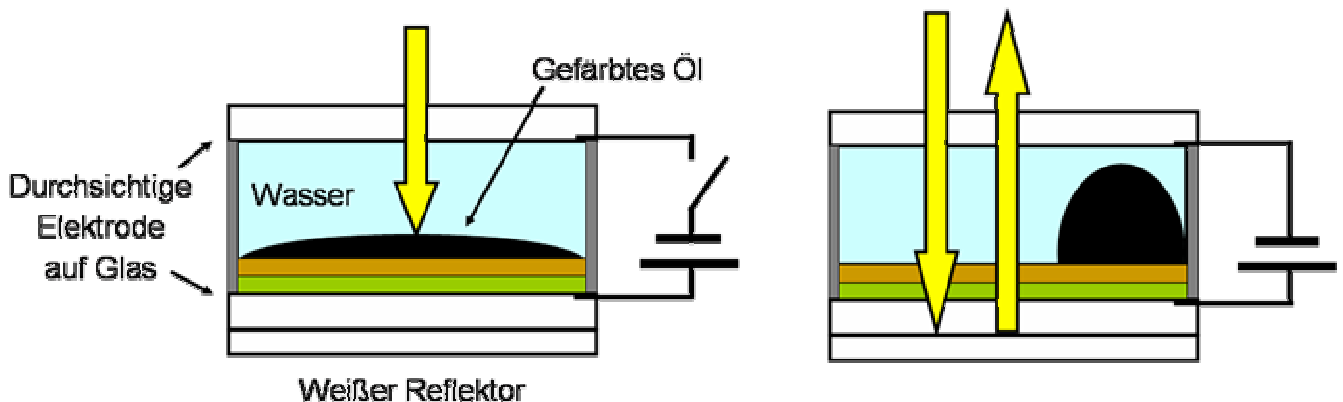


Abb. 4: Electrowetting-Pixel nach dem Verformungs-Prinzip (Seitenansicht): Ein farbiger Öltröpfchen bedeckt im spannungslosen Zustand (links) den Reflektor. Wird Spannung angelegt, so kontrahiert dieser und einfallendes Licht wird reflektiert (rechts).

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 wohl einfacher Aufbau, die Homogenität (Befüllen der Wannen) der Pixel ist noch optimierbar.

Displays nach dem Mikrofluidik-Prinzip (Droplet Driven Display)

Ein anderer Ansatz von Electrowetting Displays (Abb. 5) beruht auf dem mikrofluidischen Prinzip (vergleiche Abb. 3): Aus einem Reservoir wird ein gefärbter Wassertropfen in das Sichtfeld gebracht. Ein (hier nicht verwendeter) weißer Reflektor lenkt nun einfallendes Licht gemäß dem Bedeckungsgrad des Tropfens zum Betrachter. Graustufen erzielt man bei dieser Methode ebenfalls durch unterschiedliche Bedeckungsgrade (hier von oben nach unten zunehmend) und Farbe durch entsprechende Flüssigkeiten. Bei geschickter Wahl der Geometrie und der Elektroden kann ein dem menschlichen Empfinden angepasster Graustufenverlauf erzielt werden (Gamma-Wert).

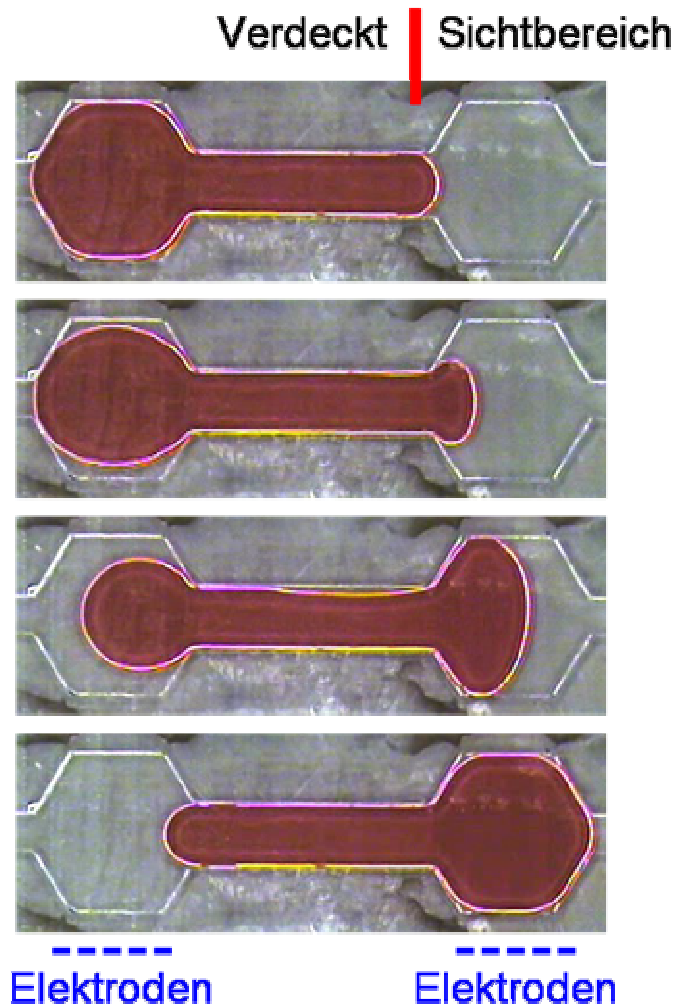


Abb. 5: Teststruktur des Droplet Driven Displays von ADT in 2D-Anordnung (Draufsicht): Durch sequentielles Anlegen von Spannung an den Elektroden bedeckt der Tropfen einen bistabil ‚einstellbaren‘ Anteil des Sichtfeldes.

Basierend auf dem Mikrofluidik-Prinzip wurden von der Firma ADT in Zusammenarbeit mit BARTELS MIKROTECHNIK, Dortmund und dem Displaylabor der Hochschule Pforzheim hoch reflektive Prototypen entwickelt, die auf der ELECTRONICA 2006 mit großem Erfolg gezeigt wurden. Der große Vorteil dieses 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 3 mm. Farbige Displays können sowohl additiv (RGB) als auch nach einem patentierten Verfahren subtraktiv (CMY) wie bei Druckern dargestellt werden. Durch geschickte Anordnung ist die Apertur im flächigen Aufbau (Abb. 5) genügend groß, mit patentierten dreidimensionalen Strukturen erzielt man größtmögliche Nutzflächenanteile. Erste Tests mit optimierten Materialkombinationen lassen einen Temperaturbereich von -45 bis 200°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.

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 LIQUAVISTA-Ansatz heute schon videotauglich ist, dafür aber eine Aktiv-Matrix-Backplane erfordert, bestechen die ADT-Anzeigen durch ihre Bistabilität, Flexibilität und einen weiten Temperaturbereich. Neueste Prototypen beider Technologien werden auf dem Symposium der ‚Society for Information Display‘ (SID) im Mai 2007 in Long Beach, Kalifornien gezeigt.