

EPaper

28.01.2009

Markus Rudolph

Ausarbeitung zum Proseminar Technische Informatik
Institut für Informatik
Freie Universität Berlin

Zusammenfassung

Diese Ausarbeitung setzt sich mit elektronischen Papier (auch E-Paper) auseinander und beleuchtet die technischen Hintergründe und zeigt besondere Eigenschaften auf. Es wird einen Einblick in die möglichen Anwendungsgebiete dieser Technologie geben.

1 Begriffsklärung

Elektronisches Papier hat seine Wurzeln in der Displayforschung. Seit Anfang der 70er Jahre sind immer mehr Institutionen und Unternehmen mit der Entwicklung eines papierähnliches Anzeigeelement beschäftigt, welches als Bindeglied zwischen Papier und Bildschirm die Stärken beider Technologien vereint.

1.1 Ziele

1.1.1 Umsetzung

Man versucht folgende Eigenschaften miteinander in einem Papier-Display umzusetzen:

- Das Display sollte **reflektierend** sein, d.h. es sollte mittels des Umgebungslichts ein Bild sichtbar sein. Bildschirme, wie der eines Notebooks, sind hingegen transmissiv - sie strahlen eigenes Licht aus.

- Neben dieser Eigenschaft sollte das Display auch **dünn, leicht, biegsam**, sogar **falt-** und **rollbar** sein.
- **Bistabilität** der Bildinformation ist ein weiteres Ziel. Es soll lediglich Strom verbraucht werden um die Bildinformation zu ändern. Danach soll sie möglichst lange in diesem Zustand verbleiben.
- Das Display sollte (wie Papier) einen **großen Blickwinkel** haben und über einen **hohen Kontrast** verfügen.

Allgemeine Ziele der Displayforschung darüber hinaus sind:

- die Erzeugbarkeit eines **breiten Farbspektrums**.
- eine **hohe Reaktionszeit**, um auch Videos abspielen zu können.

Und letztendlich sollte dieses Display auch **einfach herzustellen** sein, um die Produktionskosten gering zu halten.

1.1.2 Motivation

Folgende Vorteile bringt EPaper mit sich:

- **Höhere Ressourceneffizienz.** Zum einen könnte EPaper normales Papier in vielen Bereichen verdrängen. Außerdem verspricht die Technik auch bei der Herstellung aufgrund der dünnen Bauweise Material einzusparen, verglichen mit den herkömmlichen LC-Displays.
- Mit einem reflektiven Bauansatz verzichtet man auf eine Hintergrundbeleuchtung und das Display ist somit **stromsparender** als mit einer transmissiven Umsetzung. Auch die Bistabilität bringt den Vorteil mit sich, dass weniger Strom verbraucht wird.
- Eine Technologie, die diese ganzen Eigenschaften vereint - dünn, flexibel, stromsparend, leichte und billige Herstellung -, ist **prädestiniert für mobile Anwendungen** und bietet damit ein sehr großes Potenzial zur Vermarktung.

1.2 Abgrenzung

In dem nachstehenden Abschnitt werden einzelne Technologien vorgestellt, die einen Teil der oben genannten Punkte abdecken. Der kleinste gemeinsame Nenner bildet dabei die Reflektivität. Deshalb werden OLEDs (engl. *organic light emitting displays*) nicht Gegenstand dieser Arbeit sein.

2 Technologien

2.1 Rotierende Partikel

2.1.1 Das Prinzip

Elektronisches Papier hatte seine Geburtsstunde in den 1970ern bei Xerox Palo Alto Research Center (Xerox PARC)[1]. Damals entwickelte Nicholas Sheridan das Prinzip der „Rotating Balls“[3, 4]. Dabei handelt es sich um kleine Kügelchen, die auf der einen Hälfte weiß und auf der anderen Hälfte schwarz gefärbt sind. Beide Hälften sind zusätzlich entgegengesetzt elektrisch geladen - positiv und negativ. Sie bilden einen Dipol. Jede einzelne Kugel befindet sich frei drehbar in einer eigenen mit Öl gefüllten Aushöhlung zwischen zwei transparenten dünnen Kunststofffolien, die im Ganzen das E-Paper ausmacht [2] (siehe Abbildung 1). Wenn man nun eine Spannung an die Oberfläche anlegt, drehen sich an

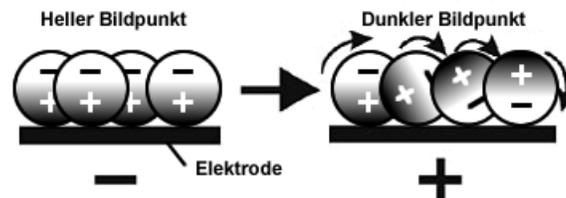


Abbildung 1: Das Prinzip der rotierenden Bälle, GYRICON Media, entnommen aus [1] und nachbearbeitet

dieser Stelle die Kugeln entsprechend und präsentieren die gewünschte Hälfte. Es ergibt sich ein Bild.

2.1.2 Möglichkeiten und Grenzen

Diese Technik wurde von Gyricon verwendet, ein Spin-off von Xerox PARC, unter der Leitung von N. Sheridan. Die Displays zeigten sich als flexibel, dünn, leicht, reflektiv und hatten einen großen Blickwinkel. Die Bildinformation war bistabil, jedoch nur monochrom (schwarz-weiß). Das Display war ca. 1000 mal wiederbeschreibbar (demzufolge auch ungeeignet für bewegte Bilder). Sie wurden von Gyricon in Form von (Verkaufs-)Schildern vertrieben, deren Bild mittels Funk geändert werden konnte [5]. Im Jahr 2005 wurde das GYRICON Project aus finanziellen Gründen eingestellt [4].

2.2 Elektrophorese

2.2.1 Definition

Der Begriff *Elektrophorese* (lat. *phóresis* „das Tragen“[6]) stammt aus der analytischen Chemie und beschreibt den Transport geladener Partikel durch elektri-

schen Strom (Gleichstrom). Es dient der analytischen und präparativen Trennung verschiedener Substanzgemische im elektrischen Feld [7].

Typische Anwendungsgebiete der Elektrophorese sind die biochemische Analyse von Proteinen und Nukleinsäuren (z.B. die Untersuchung der Eiweißstoffe der Blutflüssigkeit [10]) und bei der Lackierungstechnik [11].

2.2.2 Prinzip in Displays

Zur Umsetzung elektronischen Papiers mittels Elektrophorese lassen sich viele Ansätze finden (siehe [9, 12, 13]). Die einfachste Ausführung eines elektrophoretischen Display wird in Abbildung 2 dargestellt. Eine Displayzelle ist eingebettet

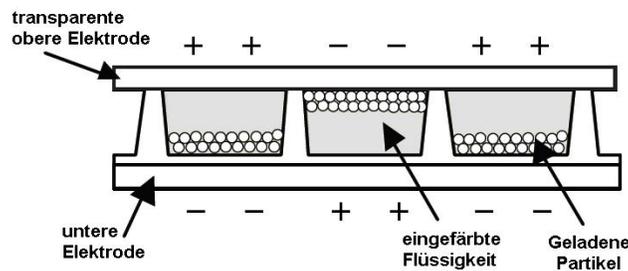


Abbildung 2: Grundlegendes Prinzip von elektrophoretischen Displayzellen (abgewandeltes Bild von SiPix [12])

zwischen zwei Elektroden, davon ist die obere transparent. Die Zellen sind durch kleine Wände getrennt. In einer Zelle befindet sich eine kolloidale Lösung. Diese ist zusammengesetzt aus einer eingefärbten Flüssigkeit und kleinen, kugelförmigen, geladenen Pigmenten. Je nachdem wie man die Spannung an die Elektroden anlegt, werden entweder die Pigmente von der transparenten Elektrode angezogen und die Farbe der Pigmente wird sichtbar oder sie werden von der unteren Elektrode angezogen und die eingefärbte Lösung kommt zum Vorschein [8]. Die Pigmente könnten z.B. weiß und die Flüssigkeit schwarz eingefärbt sein.

2.2.3 Auswahl der Materialien

Wahl des Kolloids Die Zusammensetzung der kolloidalen Lösung hat wesentliche Auswirkungen auf die Lebenszeit, die optischen Eigenschaften und die Reaktionszeit. Das Material der Pigmente ist im Idealfall so gewählt, dass sie weder absinken noch auftreiben. Das Kolloid muss chemisch stabil und kompatibel sein, auch hinsichtlich der anderen Bestandteile des Displays. Das heißt die Pigmente dürfen sich nicht mit der eingefärbten Lösung verbinden oder verklumpen.

Für die Auswahl der Materialien versucht man eine möglichst hohe elektropho-

retische Mobilität μ herzustellen. Sie ist gegeben durch

$$\mu = \frac{\epsilon\zeta}{6\pi\eta} \quad (1)$$

Dabei ist ϵ die dielektrische Konstante, ζ das Zetapotenzial und η die Viskosität. Für ein schnelles Display wählt man Bestandteile, bei dem das Verhältnis $\frac{\epsilon}{\eta}$ möglichst groß ist. Diese grundlegenden Faktoren müssen darüberhinaus für die gewünschten Betriebstemperaturbereich gelten.

Die Pigmente und die Flüssigkeit wählt man natürlich auch nach ihren optischen Eigenschaften (z.B. Farbe, Deckkraft) aus. Bei der Flüssigkeit ist der Grad der Einfärbung entscheidend. Wenn die Farbkonzentration zu schwach ist, ist der Kontrast zu gering - ist sie zu hoch leidet die Helligkeit darunter. Die Pigmente müssen einfach aufladbar sein und die Ladung muss stabil erhalten bleiben [8].

Dicke des Displays Je schmaler das Display ist, desto kleiner wird der Kontrast - die Flüssigkeit braucht im Gegenzug eine höhere Farbkonzentration. Jedoch wird dafür weniger Energie für das elektrische Feld benötigt. Auf der anderen Seite: In einem dicken Display braucht die Flüssigkeit nur eine geringe Farbkonzentration, dafür wird das Bild heller reflektiert [8].

2.2.4 Eigenschaften

Elektrophoretische Displays sind bistabil. Durch das Anlegen einer Spannung werden die Pigmente ausgerichtet und verbleiben bis zu mehreren Monaten ohne weitere Spannung in dieser Position [9]. Einstrahlendes Licht wird von den Pigmenten reflektiert oder von der eingefärbten Flüssigkeit absorbiert. Diese Displays können preisgünstig auf flexiblen Material hergestellt werden, z.B. durch Roll-on-roll-Verfahren [12]. Die Displays haben einen großen Blickwinkel und verfügen über gute Kontrast- und Helligkeitsverhältnisse. Diese Technologie ist jedoch noch zu langsam um bewegte Bilder darzustellen. E-Ink Displays haben eine Reaktionszeit von $\geq 260\text{ms}$ (siehe Abschnitt 2.7).

2.2.5 Ausblick

Unter anderem forschen und produzieren folgende Unternehmen an elektrophoretischen Displays: E-Ink (ein Ableger des MIT), Sipix und Bridgestone, ein japanischer Reifenhersteller. Anwendung finden diese Displays in eBooks, eDictionaries, eNewspapers, Mobiltelefonen, PDAs, Tablets, Smartcards und „anziehbarer“ Displays [9, 12]. Displays von E-Ink finden sich schon auf dem Markt wieder - zum Beispiel der Amazon Kindle oder der Sony Libre [9] (beides elektronische Bücher, siehe Abschnitt 3). Farben sind auf möglich. E-Ink stellte 2005 ein 12-bit-Farbdisplay vor [9]. Es besteht aus Subpixeln mit RGBW-Filtern (rot-grün-blau-weiß). Elektrophoretische Farbd Displays wirken blass, sie können derzeit noch keine Farbenpracht entwickeln.

2.3 Elektrobenetzung

2.3.1 Definition

Bei der *Elektrobenetzung* (engl. Electrowetting) oder auch elektrischer Kapillareffekt wird an eine Flüssigkeit eine Spannung angelegt, wodurch sich ihre Benetzungseigenschaften ändern, wie zum Beispiel ihre Oberflächenspannung.

In Abbildung 3 ist ein Wassertropfen auf einer wasserabweisenden Oberfläche zu

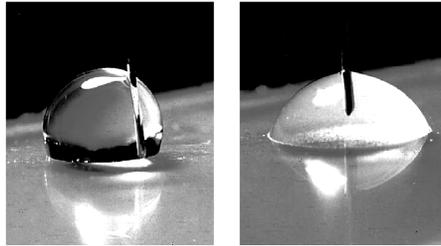


Abbildung 3: Die linke Abbildung zeigt den Wassertropfen ohne, die rechte mit angelegter Spannung.

sehen. Eine Elektrode wird in den Wassertropfen eingeführt, die andere befindet sich unter der Oberfläche. Der Tropfen und die isolierende Oberfläche bilden eine Art Kondensator. Durch das Anlegen der Spannung wird der Energiebilanz des Systems, also des Tropfens, verändert - der Kondensator wird aufgeladen. Der Tropfen als Teil des Kondensators versucht die gespeicherte Energie zu minimieren und ändert seine Form. Sobald die Spannung wieder weggenommen wird, kehrt der Tropfen zurück in seinen Ausgangszustand. Die Wahl der Flüssigkeit, die des Materials für die Trennschicht und deren Dicke bestimmen das elektrostatische Verhalten und legen eine (Mindest-)Spannung fest, um den Tropfen zu manipulieren [15].

Anwendung findet Elektrobenetzung zur Realisierung von dünnen Linsen variabler Brennweite oder auch von Mikropumpen [18].

2.3.2 Prinzip in Displays

Die Arbeitsweise eines sogenannten „electrowetting Display“ spiegelt sich in Abbildung 4 wieder.

Eine Zelle setzt sich zusammen aus einem reflektierenden (weißen) Untergrund, einer transparenten Elektrode, einer wasserabweisenden, isolierenden Schicht, einem eingefärbten, gleichmäßig verteilten Ölfilm und einer Wasserschicht (siehe Abbildung 4a). Wenn man nun, wie in Abbildung 4b, eine Spannung angelegt, wird der Energiebilanz des Systems ein elektrostatischer Term hinzugefügt. Der geschichtete Zustand des Systems ist nun nicht mehr energetisch günstig und das Wasser schiebt den Ölfilm zur Seite - der weiße Untergrund wird sichtbar. Sobald die Spannung weggenommen wird, entlädt sich das System und kehrt

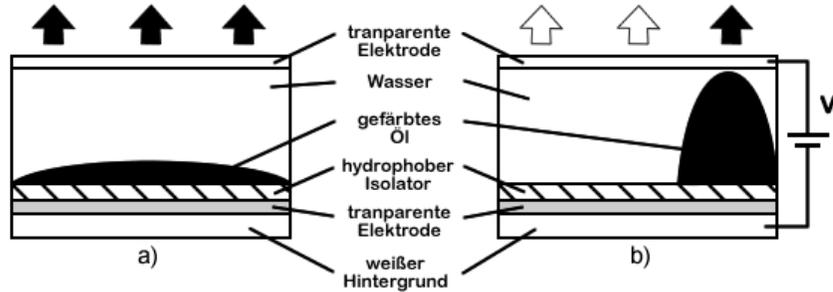


Abbildung 4: Schema einer Zelle eines Electowetting Displays[16]

langsam in seinen geschichteten Zustand zurück. Der Ölfilm verteilt sich wieder gleichmäßig über den Isolator.

Ein Pixel in einem Display ist $< 200\mu m$ breit. Bei diesen Abmessungen ist die Oberflächenspannung des Ölfilms um ein Vielfaches (1000-faches) größer als die Anziehungskraft. Dies lässt den Ölfilm unabhängig von der Ausrichtung einer Zelle stabil [15, 16].

2.3.3 Auswahl der Materialien

Je höher die Spannung, desto stärker wird das Öl verschoben. Unabhängig von der Spannung legt das Verhältnis der elektrostatischen und kapillaren Kräfte fest wie weit sich das Öl beiseite schieben lässt. Dies lässt sich aus folgenden Gleichungen ablesen. Die Youngsche Gleichung stellt einen Zusammenhang zwischen folgenden Größen her.

$$\cos(\theta) = \frac{\gamma_{sg} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lg}} \quad (2)$$

Angewandt auf die Displayzelle sind dabei gegeben: θ der Kontaktwinkel des Öls zum Isolator, γ_{sg} die Grenzflächenspannung zwischen Isolator und Wasser, γ_{sl} die zwischen Öl und Isolator und γ_{lg} die zwischen Öl und Wasser.

Die Lippmann-Gleichung zeigt, inwiefern sich γ_{sg} ändert, wenn man wie beschrieben eine Spannung V anlegt.

$$\gamma_{sg} = \gamma_{sg}^0 - \frac{CV^2}{2} \quad (3)$$

Dabei ist γ_{sg}^0 die Grenzflächenspannung zwischen Isolator und Wasser vor Anlegen der Spannung und C die Kapazität der Schichten zwischen den Elektroden. Vereint man beide Gleichungen, ergibt sich ein Verhältnis von Werten über die man durch das Festlegen von Material und gewünschten Energieverbrauch einen hohen Kontaktwinkel einstellen kann [15, 19].

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\gamma_{sg}^0 - \gamma_{sl} - \frac{CV^2}{2}}{\gamma_{lg}} \right) \quad (4)$$

2.3.4 Eigenschaften

Je nachdem was man für einen Hintergrund wählt, kann ein Electrowetting Display transmissiv und/oder reflektiv sein. Es ist allerdings nicht bistabil. Die Zellen des Displays kehren nach Ablegen der Spannung in ihren Ausgangszustand zurück. Jedoch ist das Display schnell genug, um Videos abzuspielen. Es ist dünn und flexibel. Der Aufbau einer Zelle eignet sich zur Anordnung von RGBW-Subpixel, aber auch zur einer Übereinanderstapelung von R-, G- und B-Zellen, was die Farbintensität und Auflösungsdichte, aber auch Dicke, erhöht, dafür aber den Stromverbrauch verringert im Gegensatz zum nebeneinander angeordneten Aufbau. Die Displays sind zudem sehr kontrastreich und haben einen großen Blickwinkel[15, 16]. Ca. 90% der Produktionszyklen können aus denen der LCD-Herstellung verwendet werden [14]. Konkrete Werte gibt es unter Abschnitt 2.7.

2.4 Ausblick

Liquavista und Philips sind mit der Entwicklung solcher Displays beschäftigt.

2.5 Photonische Kristalle

2.5.1 Definition

Photonische Kristalle sind periodisch strukturiert. Diese Struktur verleiht ihnen einen spezifischen Brechungsindex. Wenn man gezielt lokal auf diese Struktur verzichtet, entsteht eine photonische Bandlücke und man kann einen perfekten Wellenleiter erzeugen. Dann ist es mit den Kristallen möglich Licht zu lenken, zu unterdrücken und zu verlangsamen. Es ist sogar möglich Licht aktiv zu speichern [24, 28, 23].

Typische Anwendungen sind die Glasfasertechnik und die Realisierung von Quantenrechnern, da Licht einige Vorteile gegenüber Elektronen hat (u.a. sind mehr Informationen in gleicher Zeit übertragbar, kein Widerstand, Lichtstrahlen können sich ohne Verluste kreuzen [24]).

In der Natur tauchen photonische Kristalle in Opalen, in den Chitinpanzern von Käfern oder auch in den Federn eines Pfau auf [24, 25].

2.5.2 Prinzip in Displays

In einer Zelle eines photonischen Displays sind die Kristalle in ein schwammartiges, elektroaktives Polymer-Gel eingebettet. Das Gel befindet sich in einem Elektrolyt zwischen zwei Elektroden [22, 24] (siehe Abbildung 5).

Je nach Spannung, die man anlegt, wird das Elektrolyt in das Polymer-Gel hineingezogen oder von ihm ausgestoßen. Das Polymer und somit die Kristalle dehnen sich aus oder ziehen sich zusammen. Das verändert den Brechungsindex der Kristalle und damit die Farbe, die von der Zelle reflektiert wird. Der Zustand des Polymers bleibt ohne weitere Spannung bestehen, ist aber reversibel, sobald eine andere Spannung angelegt wird. Bestimmte Wellenlängen werden dabei

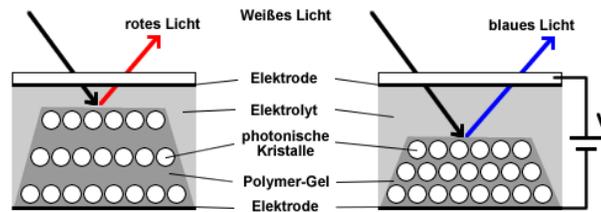


Abbildung 5: Schema einer Zelle in einem photonischen Display, Nachbildung von [22, 24]

absorbiert und andere reflektiert. Je größer der Abstand zwischen den Kristallen, desto größer die Wellenlänge, die reflektiert wird [22, 24].

2.5.3 Eigenschaften

Mit den Kristallen sind alle sichtbaren Farben darstellbar. Darüberhinaus ist auch infrarotes und ultraviolettes Licht erzeugbar. Man kommt also mit einer Zelle pro Bildpunkt aus - die Bildschirmfläche wird besser genutzt. So sind, verglichen mit LCDs, größere Auflösungen um den Faktor 3 vorstellbar. Dadurch dass die Farbdichte größer ist, entsteht ein besserer Weißanteil und Kontrast. Die verwendeten Materialien begünstigen den Bau eines dünnen, leichten und zugleich flexiblen Displays. Die Bildinformation ist bistabil und reflektiv. Leider sind Displays auf Basis photonischer Kristalle derzeit zu langsam um Videos abzuspielen. Außerdem lässt sich diese Technik noch schwer implementieren und ist relativ teuer [22, 27].

2.5.4 Ausblick

Ein Unternehmen, das diese Technik erforscht, ist OPALUX. Sie nennen ihr Produkt P-Ink [22, 26]. Der Mitbegründer André Arsenault konnte auf Anfrage keine Funktionsparameter preisgeben.

Photonische Kristalle werden erst seit 20 Jahren erforscht. Sie haben allerdings das Potenzial, die heutigen Elektrodenrechner abzulösen und sind somit nicht nur für die Displayforschung interessant[28].

2.6 Andere Technologien

Es gibt auch Technologien, die auf Grundlage von LC-Displays arbeiten. Diese Displays benötigen auch nur eine einmalige Spannung um ihr Bild zu ändern und es dann ohne weitere Energie halten können. LC-Displays können transmissiv (Notbook) und/oder reflektiv (Taschenrechner) sein. Aufgrund von Zeitmangel findet diese Technologie in dieser Ausarbeitung keinen Platz mehr. Unter den Stichworten „bistable LCD“ oder „cholesteric LCD (chLCD)“ findet man mehr zu dem Thema.

Forschende und vertreibene Unternehmen sind ZBD Solutions [33], Nemoptic [20] und Kent Displays [21].

2.7 Vergleich

Alle nachstehenden Werte sind aus den Datenblättern oder der Produkthomepage des Herstellers entnommen und ggf. zum besseren Vergleich einheitlich umgerechnet. Verglichen werden ein bedrucktes A4-Blatt Papier, der Display-Tech Ltd. 162CBCBC [29], Sharp LM64C350 [30], die Produkte von E-Ink - *Segmented* und *High Resolution Displays* [9] -, Liquavista ColorBright [14], zwei von Kent Displays - *Segmented ILV* und $320 \times 240 \times 5.7$ *SPI* [21]- und Nemopitc BM600 [20].

2.7.1 Eigenschaften

- Bis auf die Vergleichsdisplays **reflektieren** alle aufgeführten Display ca. 40% des einfallenden Lichts (das entspricht etwa der Reflektivität einer Zeitung). Ausnahme bilden die chlosterischen Displays. Sie erreichen aufgrund der Polarisationsfilter nur 15 bis 30%. Die Filter absorbieren einen großen Teil des Lichtes.
- Fast alle Displays sind **bistabil**, bis auf das Electrowetting-Display. Hier wurde auf das Ziel der Bistabilität verzichtet, um eine höhere **Reaktionszeit** zu erreichen (<50 ms, das entspricht >50 Bilder/s).
- Die anderen Displays haben hingegen Reaktionszeiten von 260ms bis 1850ms. Das entspricht einem halben bis knapp 4 Bildern pro Sekunde und ist damit zu langsam für Videos.
- Bei LCDs ist der **Blickwinkel** normalerweise $<180^\circ$. Der der bistabilen liegt bei 150° . Auch dies ist eine Auswirkung der Polarisationsfilter. Alle anderen Technologien die nicht auf LCD basieren, haben einen Blickwinkel von 180° .
- Farbige EPaper-Technologien zeigten sich noch nicht als marktreif, alle vorgestellten Displays sind von daher monochrom. E-Ink bietet jedoch ein Produkt mit 4-bit-Graustufen an.
- LCDs sind deutlich **dicker** als die anderen Technologien. Dies liegt am größeren Materialbedarf.

- **Energieverbrauch**

Errechnet man den Energieverbrauch pro Fläche ($\frac{W}{m^2}$) kommt man auf folgende Energieeffizienz: Bei segmentierten Displays sieht man eine deutlich

Art	Hersteller	Verbrauch in $\frac{W}{m^2}$	
Segmente	LCD	1204.7	¹
	Kent Displays	46.3	²
	Liquavista	250	^{3,7}
Matrix	LCD	107.7	⁴
	Kent Displays	11.8	⁵
	Nemoptic	148.4	⁶

bessere Energieausnutzung im Vergleich zu herkömmlichen LCDs. Bei Matrixdisplays ist es jedoch erstaunlich, dass ein Display sogar eine schlechtere Energieeffizienz hat als das Vergleichsdisplay.

¹ $\frac{1.150W}{64.5 \times 14.5mm^2} \approx 1204.7 \frac{W}{m^2}$
² $\frac{0.01W}{24 \times 9mm^2} \approx 46.3 \frac{W}{m^2}$
³ $\frac{0.3W}{40 \times 30mm^2} = 250 \frac{W}{m^2}$
⁴ $\frac{3.6W}{(640 \times 480px^2) \cdot (77ppi)^2} \approx 107.7 \frac{W}{m^2}$
⁵ $\frac{0.15W}{(320 \times 240px^2) \cdot (72ppi)^2} \approx 11.8 \frac{W}{m^2}$
⁶ $\frac{0.71W}{(304 \times 406px^2) \cdot (129ppi)^2} \approx 148.4 \frac{W}{m^2}$
⁷ bei 40x30mm und somit 50mm Diagonale

	Vergleich Papier (bedruckt)	LCD		Elektrophorese E-Ink [9]	
		Segmente [29]	Matrix [30]	Segmente	Matrix
Reflektivität	≈40%	transmissiv	transmissiv	41%	40%
Bistabilität	statisch	nein	nein	ja	ja
Kontrast	?	30:1	30:1	7:1	
Blickwinkel	180°	?	?	fast 180°	
Farbtiefe	-	1 bit	262K	1 bit	1 bit (4 bit)
Reaktionszeit	-	275ms	300ms	240...400ms	260ms (740ms)
Dicke	?	14mm	8.5mm	0.33...0.375mm	1.2mm
Auflösung	A4 und mehr	64.5x14.8mm	640x480px	300x300mm	1200x825px
Auflösungsdichte	1200+ dpi	-	77ppi	-	150...200ppi
Energieverbrauch	-	150mW+1W ¹	0.8W+2.8W ¹	?	?
Betriebsspannung	-	5V	5V	3V	?
Betriebstemperatur	-	0°...50°C	0°...40°C	-10°...60°C	
Lagerungstemperatur	-	-10°...60°C	-25°...60°C	-25°...75°C	
Gewicht	≈5g (bei A4) ²	-	390g	?	?

Tabelle 1: Displays verschiedener Technologien im Vergleich

¹Energie für das Hintergrundlicht
² $= 80 \frac{g}{m^2} \cdot (210 \times 297 mm^2)$

	Elektrobenetzung Liquavista [14]	Bistabile LCD Kent Displays [21]		Nemoptic [20]
	Segmente	Segmente	Matrix	Matrix
Reflektivität	>40%	15...35%		30%
Bistabilität	nein	ja	ja	ja
Kontrast	6..8:1	11...25:1		15:1
Blickwinkel	180°	?	?	150°
Farbtiefe	1 bit	1 bit		1 bit
Reaktionszeit	<50 ms	1.04s	1.85s ²	1.7s ⁴
Dicke	<0.9 mm	0.25...0.35mm	14mm	6.5 mm
Auflösung	<150 mm Diagonale	24x9mm	320x240px	304x406px
Auflösungsdichte	-	-	72ppi	129ppi
Energieverbrauch	300mW ¹	10mW	150mW ²³	710mW ⁴
Betriebsspannung	?		3.3V	3V
Betriebstemperatur	0°...50°C	0°...50°C	0°...60°C	5°...40°C
Lagerungstemperatur	-5°...55°C	-10...80°C	-30°C...80°C	-20°C...60°C
Gewicht	?	1.4g	105g	?

Tabelle 2: ...Fortsetzung

¹Energie für den Treiber bei 50mm Diagonale

²bei 25°C

³33μW im Schlafmodus

⁴bei 21°C

3 Anwendungen

3.1 Preisschilder

ZBD Solutions [33] ist ein führendes Unternehmen im Entwickeln und Vertreiben von elektronischen Preisschildern. Grundlage dafür sind sogenannte bistabile, reflektive LC-Displays.

3.2 Werbung

Elektronisches Papier kann auch gut für Werbeplakate genutzt werden. Alle paar Sekunden müsste das Plakat nur „aufwachen“ und aus einem internen Speicher das nächste Bild in das Display laden. Abhängig vom Ort und der Tageszeit kann man verschiedene Zielgruppen ansprechen. Einen Feldversuch gab es z.B. schon 2005. Eine Tokyoter Eisenbahnlinie wurde mit achtfarbigen Displays von Hitachi ausgerüstet [31].

3.3 Mobilen Endgeräte

Eine naheliegende Verwendung für EPaper ist die als Display in bestehende Endgeräte als Ersatz zur LCD-Technik. Gerade die Eigenschaften, die EPaper mit sich bringt - Robustheit, Flexibilität, platz- und stromsparend - eignen sich sehr für den mobilen Einsatz. So kann EPaper in Taschenrechner, Mobiltelefonen, PDAs, bei schneller EPaper-Technik sogar in Notebooks, oder in Monitoren eingesetzt werden. Wegen der Flexibilität sind sogar ausrollbare Displays realisierbar (siehe Abbildung 6a).

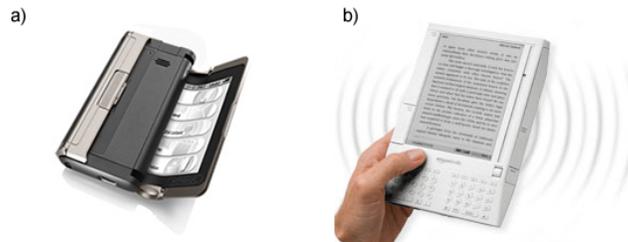


Abbildung 6: a) RADIUS von Polymervision, b) Amazon Kindle

3.4 Elektronische Bücher

Als Beispiel für ein elektronisches Buch ist der Amazon Kindle zu nennen („to kindle“ engl. für *ein Licht entzünden*). Dieser ist seit November 2007 (nur) auf dem US-Markt erhältlich. Es ist ein Versuch Amazons auch für Bücher das digitale Zeitalter einzuleiten. Der Kindle verwendet ein 6-Zoll-Display von E-Ink, der Auflösung 800x600 und hat 4-bit-Graustufen [32, 9]. Seine Abmessungen sind 19.1 x 13.5 x 1.8 cm und wiegt ca. 300g. Er verfügt über eine Tastatur,

Audiowiedergabe und benötigt keinen Computer. Über ein eigenes Funknetz „Whispernet“ können Bücher gekauft und heruntergeladen werden. Die Bücher bei Amazon kosten im „Kindle Store“ nur 30-50% des Originalpreises und sind über ein DRM-System geschützt. Der Kindle selbst kostet ca. 400 \$.

3.5 Weitere Anwendungen

Andere denkbare Anwendungen für EPaper:

- als elektronischer **Schreibblock**. Das Schriftbild könnte über eine druck-sensitive Oberfläche registriert, durch das Papier-Display visualisiert und auf einer Speicherkarte gesichert werden.
- als **Indikator**, z.B. als Füllanzeige an einer Batterie [26] oder in einer **Chipkarte**, z.B. um ein Guthaben anzuzeigen [12].
- als **Textur**, z.B. in Form von Fototapete oder an der Kleidung [9]

4 Zusammenfassung

Viele Firmen sind an EPaper interessiert, da die Technologien stetig an Marktreife zunehmen. Kommerzielle Anwendungen benutzen derzeit monochrome Displays. Bisherige farbige Prototypen konnten sich noch nicht durchsetzen. Das Unternehmen mit der ersten Technologie, die zu einem günstigen Preis, dabei ausreichend viele Farben hat und fähig ist Videos wiederzugeben, wird am meisten Aufmerksamkeit bekommen und viele Bestellungen erhalten [34]. Die Entwicklung wird sich von segmentierten zu hochauflösenden, von monochromen zu farbigen, von festen zu flexiblen und von langsamen zu schnellen Displays vollziehen [35].

Literatur

- [1] *Jürgen Karla* - Elektronisches Papier, Informatik-Spektrum, Springer Berlin/Heidelberg, Nr. 5/Okttober 2003, **350ff**
- [2] *Xerox PARC* - Gyricon Projekt Seite,
<http://www2.parc.com/hsl/projects/gyricon/>, 04.01.2009
- [3] *Nicholas K. Sheridan* - About Me,
<http://www.nicksheridon.com/aboutme.html>, 04.01.2009
- [4] *Iddo Genuth* - The Future of Electronic Paper, 2007,
<http://thefutureofthings.com/articles/1000/the-future-of-electronic-paper.html>, 04.01.2009
- [5] *GYRICON, LLC*, <http://gyricon.sagent.com/>, 11.01.2009
- [6] *Schülerduden Chemie - 4. Auflage*, Duden, Mannheim 2001, **113f**
- [7] *Klinisches Wörterbuch 258. Auflage*, Pschyrembel, Berlin 1998, **413**
- [8] *J.I.Pankove* - Display Devices, Springer-Verlag, Berlin 1980, **213-232**
- [9] *E-Ink Corporation* - Technology,
<http://eink.com/technology/index.html>, 30.12.2008
- [10] *D. Milosavljevic, Dr.med. W. Hübl* - Elektrophorese-eine Einführung,
http://www.med4you.at/laborbefunde/techniken/elektrophorese/lbef_elektrophorese.htm, 05.01.2009
- [11] *K. Schönburg* - Beschichtungstechniken heute, Beuth Verlag, 2005, **190f**
- [12] *SiPix* - Technologie,
<http://www.sipix.com/technology/index.html>, 05.01.2009
- [13] *Bridgestone (JP)*-Quick Response Liquid Powder Display (QR-LPD),
<http://www2.bridgestone-dp.jp/global/adv-materials/QR-LPD/index.html>, 05.01.2009
- [14] *Liquavista*, <http://www.liquavista.com>, 19.01.2009
- [15] *B. J. Feenstra, R. Hayes* - Electrowetting Displays, Liquavista,
<http://www.liquavista.com/files/LQV060828XYR-15.pdf>,
28.12.2008
- [16] *B. J. Feenstra, R. Hayes* - A reflective display based on electrowetting:
principle and properties, Liquavista,
<http://www.liquavista.com/files/LQV060828Y7W-18.pdf>,
28.12.2008

- [17] *B. J. Feenstra, R. Hayes* - A high brightness Colour 160 PPI reflective display technology Based on electrowetting, Liguavista, <http://www.liquavista.com/files/LQV060828Y2U-16.pdf>, 28.12.2008
- [18] *Karlheinz Blankenbach* - Electrowetting Displays, Elektronik Praxis, <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/themen/hardwareentwicklung/displays/articles/64981/>, 18.01.2009
- [19] *S. Grilli u.a.* - Liquid micro-lens array activated by selective electrowetting on lithium niobate substrates, Istituto Nazionale di Ottica Applicata (CNR-INO) & Istituto di Cibernetica del CNR „E. Caianiello“, 2008, <http://www.opticsinfobase.org/abstract.cfm?URI=oe-16-11-8084>, 18.01.2009
- [20] *Nemoptic*, <http://nemoptic.com/content.php?section=technology>, 18.01.2009
- [21] *Kent Displays* - <http://www.kentdisplays.com/>, 18.01.2009
- [22] *D. Graham-Rowe* - E-Paper aus photonischen Kristallen, Heise Technology Review, 2007, <http://www.heise.de/tr/E-Paper-aus-photonischen-Kristallen--/artikel/95792> und <http://www.technologyreview.com/computing/19337>, 29.12.2008
- [23] *Herbert Paschen* - Nanotechnologie: Forschung, Entwicklung, Anwendung, Springer-Verlag, 2004, **180f.**
- [24] *Jenny Ziriakus* - Opale - Photonische Kristalle, 2007, Vortrag im Rahmen eines Praktikums an der Universität Heidelberg, <http://www.uni-heidelberg.de/institute/fak12/AC/huttner/heinze/katja/seminar/opale.pdf>, 08.01.2009
- [25] *Moritz Bommer* - Photonische Kristalle, Seminararbeit des 5. Physik Instituts der Universität Stuttgart, http://www.pi5.uni-stuttgart.de/lehre/hauptseminar2005/Pho_Kri.pdf, 08.01.2009
- [26] *Opalux* - P-Ink, <http://www.opalux.com/p-ink/>, 08.01.2009
- [27] *Peter Koller* - Displaytechnik: Photonische Kristalle landen auf der Streckbank, Computer-Zeitung, 2007, <http://www.computerzeitung.de>, 11.01.2009
- [28] *pro-physik.de* - Photonische Kristalle, <http://www.pro-physik.de/Phy/leadArticle.do?laid=2543>, 18.01.2009

- [29] *DisplayTech Ltd.* - 162CBCBC-Datenblatt,
<http://www.retrox.de/microcontroller/competitiontimer/files/LCD%20Datasheet.pdf>, 28.01.2009
- [30] *Sharp* - LM64C350,
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/Sharp/mXtvtqw.pdf>, 28.01.2009
- [31] *Martin Kölling* - Das Display der Zukunft im Feldversuch, Heise Technology Review, 2006,
<http://www.heise.de/tr/Das-Display-der-Zukunft-im-Feldversuch--/artikel/82583>, 13.01.2009
- [32] Amazon Kindle, <http://www.amazon.com/Kindle- Amazons-Wireless-Reading-Device/dp/B000FI73MA>, 18.01.2009
- [33] ZBD Solutions, <http://www.zbdsolutions.com/>, 18.01.2009
- [34] *Nanoinfo*,
<http://www.nanoinfo.jp/whitepaper/306.pdf>, 18.01.2009
- [35] *Siegfried Behrendt* - Dematerialisierung durch e-Paper?, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH (IZT), 2004,
http://www2.izt.de/publikationen/werkstattberichte/wb66_-_dematerialisierung_e-paper.html, 18.01.2009