

**IZT**

**Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung**  
Institute for Futures Studies and Technology Assessment

**E-Paper – Erste Abschätzung  
der Umweltauswirkungen**

**Eine ökobilanzielle Betrachtung am Beispiel  
des Nachrichtenmediums Zeitung**

Christian Kamburow

**Werkstattbericht Nr. 67**

Berlin, Oktober 2004

**ISBN 3-929173-67-0**

© 2004 **IZT**

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

(WerkstattBerichte / IZT, Institut für Zukunftsstudien und  
Technologiebewertung; Nr. 67)

ISBN 3-929173-67-0

© 2004 **IZT** by Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Printed in Germany

## **Kurzfassung**

Elektronisches Papier, kurz e-Paper, wird bereits seit vielen Jahren von den verschiedensten Unternehmen und Forschungseinrichtungen entwickelt. Die Bezeichnung "e-Paper" dient als Sammelbegriff für unterschiedlichsten Technologien, die dünne, biegsame und sehr stromsparende Displays zum Ziel haben. Erste Anwendungen sind bereits erhältlich oder werden in den kommenden Jahren die Marktreife erlangen. Nicht nur die Substitution von herkömmlichen Bildschirmen, wie Kathodenstrahl- oder LCD-Bildschirmen, wird verfolgt, sondern auch die Konvergenz von elektronischen Medien und Papier ist ein erklärtes Ziel fast aller Beteiligten. Sollten alle angekündigten Eigenschaften von e-Paper realisiert werden, so erscheint es wahrscheinlich, dass das neue Medium auch in der Zeitungs- und Zeitschriftenbranche Einzug halten wird. Bereits bestehende Papier- und Internet-Ausgaben von Zeitungen und Zeitschriften würden durch Zeitungen auf elektronischem Papier ergänzt werden – vielleicht sogar teilweise verdrängt werden. Die vorliegende Studie vergleicht zum ersten mal die Umwelteigenschaften der drei Zeitungsformen anhand der jeweiligen Energieaufwendungen und untersucht insbesondere die Zeitung auf elektronischem Papier.

## **Abstract**

Electronic paper, or e-paper, has been developed by different companies and research organisations for many years. E-paper is a collective term for many different technologies aiming at thin, flexible and energy efficient displays. First applications are already available or will enter the markets in the next years. One goal of e-paper is the substitution of conventional CRT and LCD displays. The combination of electronic media and paper is another objective of almost all participants in this area. It seems very likely that e-paper could become a new media for the newspaper sector if the proposed features of e-paper become reality. If so, already existing print and internet editions of newspapers and magazines could be substituted or even partially replaced by newspaper on e-paper. The present study compares for the first time the environmental characteristics of the three kinds of newspaper (printed, online and newspaper on e-paper) by concentrating on the cumulated energy demand of each type of newspaper with a main focus on newspaper on electronic paper.



## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	13
2	Elektronisches Papier .....	15
3	Neue Displaytechnologien – Technologien und Akteure.....	17
3.1	Elektrophoretische Displays .....	17
3.2	Elektrochrome Displays.....	21
3.3	Displays nach dem Electrowetting-Verfahren .....	22
3.4	Weitere Verfahren.....	23
3.5	Die Backplane als größte Herausforderung und Hürde auf dem Weg zum flexiblen Display .....	23
3.6	Kooperationen und erste Serienanwendungen.....	25
3.7	Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.....	26
4	Ökobilanzielle Betrachtung der Zeitungsvarianten Print-Zeitung, Online-Zeitung und Zeitung auf elektronischem Papier .....	28
4.1	Stand der Forschung .....	28
4.2	Ziele der ökobilanziellen Betrachtung.....	29
4.3	Funktionelle Einheit.....	30
4.4	Produktsysteme und Rahmenbedingungen.....	31
4.5	Systemgrenzen .....	33
4.6	Bilanzlücken .....	34
4.7	Bilanzraum.....	35
4.8	Datenquellen .....	36
4.9	Qualität und Vollständigkeit der Daten .....	36
4.10	Der kumulierte Energieaufwand – KEA.....	36
5	Berechnung des kumulierten Energieaufwandes – KEA der drei Zeitungsvarianten.....	38
5.1	Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Print-Zeitung...38	
5.2	Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Online-Zeitung41	

---

5.3	Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP .....	48
5.4	Ergebnis .....	58
6	Sensitivitätsanalyse.....	60
6.1	Sensitivitätsanalyse der Variante Print-Zeitung.....	60
6.2	Sensitivitätsanalyse der Variante Online-Zeitung .....	62
6.3	Sensitivitätsanalyse der Variante Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP ...	67
7	Auswertung der Sensitivitätsanalyse und Ergebnis.....	73
8	Anhang .....	77
8.1	Anhang A1 Datenquellen.....	77
8.2	Anhang A2 Modellierung und Berechnung ZeP-Lesegerät auf Basis von e-Paper.....	81
9	Literaturverzeichnis .....	84

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Funktionsprinzip von E-Ink .....	17
Abbildung 3-2: Vergleich der Dicke von E-Ink und LCD .....	18
Abbildung 3-3: Leistungsaufnahme (in mW) von E-Ink im Vergleich mit herkömmlichen LC-Displays .....	19
Abbildung 3-4: Funktionsprinzip von Gyricon's „SmartPaper“ .....	20
Abbildung 3-5: Schematischer Aufbau des elektrophoretischen Displays der Firma SiPix .....	20
Abbildung 3-6: Schematische Darstellung des EPD-Displays von Canon .....	21
Abbildung 3-7: Funktionsfähiger „Epyrus“-Prototyp von Siemens .....	21
Abbildung 3-8: Schematischer Aufbau eines elektrochromen Displays.....	22
Abbildung 3-9: Funktionsprinzip und schematischer Aufbau eines Bildpunktes nach dem „Electrowetting“-Verfahren .....	23
Abbildung 3-10: Schematischer Aufbau einer aktiven und einer passiven Steuermatrix	24
Abbildung 3-11: Sony E-Book Librié EBR-1000EP mit einem Display auf Basis von E-Ink .....	25
Abbildung 3-12: Schematischer Funktionsaufbau eines Bildpunktes nach dem „Electrowetting“-Verfahren mit zwei farbigen Öltröpfen und einem Farbfilter .....	27
Abbildung 5-1: Anteile der einzelnen Prozesse am kumulierten Energieaufwand eines Zeitungsexemplars .....	41
Abbildung 5-2: Aufbau und Erscheinungsbild der Online-Ausgabe (genannt „E-Paper“) der Zeitung „Der Tagesspiegel“ .....	43
Abbildung 5-3: Anteile der einzelnen Prozesse am Gesamtenergieaufwand für das Lesen der Tagesnachrichten der Online-Zeitung „Der Tagesspiegel“ ..	48
Abbildung 5-4: IBM, Prototyp einer elektronische Zeitung .....	49
Abbildung 5-5: e-Paper-Lesegeräte von Polymervision/ Philips und Siemens .....	49
Abbildung 5-6: Anteile der einzelnen Prozesse am kumulierten Energieaufwand für das Lesen der Online-Zeitung .....	57
Abbildung 5-7: Ergebnisse der Berechnung der kumulierten Energieaufwendungen der drei Zeitungsvarianten.....	58

Abbildung 6-1: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der Variante Print-Zeitung.....	62
Abbildung 6-2: Größe der einzelnen Daten an der Gesamtdatenmenge (in MB).....	64
Abbildung 6-3: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse .....	67
Abbildung 6-4: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der Variante ZeP – teilmobile Variante (Internet) .....	71
Abbildung 6-5: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der Variante ZeP – mobile Variante (UMTS) .....	72
Abbildung 7-1: Ausgewählte Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu den einzelnen Zeitungsvarianten .....	74
Abbildung 7-2: Ergebnisse der Referenzberechnung (Vergleichsgrundlage).....	74
Abbildung 7-3: Ausgewählte Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen der drei Zeitungsvarianten .....	75

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 4-1: Wichtige Funktionen und Eigenschaften der drei Zeitungsvarianten.....	32
Tabelle 4-2: Produktsysteme und Rahmenbedingungen für den Vergleich der drei Zeitungsvarianten.....	32
Tabelle 4-3: Qualität und Vollständigkeit der Daten.....	36
Tabelle 5-1: Der kumulierte Energieaufwand für das Lesen der Variante Print-Zeitung.....	40
Tabelle 5-2: Nutzungsintensität und anteiliger Energieaufwand für das Lesen der Online-Zeitung auf dem PC.....	46
Tabelle 5-3: Der kumulierte Energieaufwand für das Lesen der Variante Online- Zeitung.....	47
Tabelle 5-4: Zusammensetzung eines ZeP-Lesegerätes auf Basis von e-Paper (Annahme) .....	51
Tabelle 5-5: Nutzungsintensität der ZeP und anteiliger Energieaufwand eines Lesegerätes auf Basis von e-Paper.....	56
Tabelle 5-6: Der kumulierte Energieaufwand für das Lesen der Variante ZeP .....	57
Tabelle 6-1: Veränderungen des kumulierten Energieaufwandes der Variante Print- Zeitung bei Berücksichtigung alternativer Werte für die ZDP-Herstellung.....	60

Tabelle 6-2: Veränderung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Print-Zeitung bei Annahme einer Zeitung mit größeren Umfang .....	61
Tabelle 6-3: Veränderungen des kumulierten Energieaufwandes des Variante Online-Zeitung bei Berücksichtigung alternativer Werte für die Datenübertragung über das Internet .....	63
Tabelle 6-4: Veränderung des kumulierten Energieaufwandes des Variante Online-Zeitung durch das Lesen der Zeitungsartikel im JPEG-Format .....	64
Tabelle 6-5: Veränderung des kumulierten Energieaufwandes des Variante Online-Zeitung durch die Nutzung der elektronischen Gesamtausgabe im PDF-Format .....	65
Tabelle 6-6: Veränderung des kumulierten Energieaufwandes des Variante Online-Zeitung bei Berücksichtigung alternativer Angaben zum Energieaufwand für die Herstellung eines PCs.....	66
Tabelle 6-7: Veränderung des kumulierten Energieaufwandes des Variante Online-Zeitung durch das zusätzliche Ausdrucken der Zeitungsartikel .....	66
Tabelle 6-8: Veränderungen des kumulierten Energieaufwandes des Variante ZeP bei Annahme eines höheren Energieaufwandes für die Herstellung eines Lesegerätes auf Basis von e-Paper .....	68
Tabelle 6-9: Veränderungen des kumulierten Energieaufwandes des Variante ZeP durch Annahme eines Nachrichtenupdates.....	69
Tabelle 6-10: Veränderungen des kumulierten Energieaufwandes des Variante ZeP bei Annahme einer Datenübertragung über die Infrastruktur des digitalen Rundfunks.....	71
Tabelle 8-1: Datenquellen .....	80
Tabelle 8-2: Zusammensetzung und kumulierter Energieaufwand für die Herstellung eines Lesegerätes auf Basis von e-Paper .....	81
Tabelle 8-3: Zusammensetzung eines Lithium-Ionen-Akkus nach [Emmenegger 2003]	82
Tabelle 8-4: Berechnung des Primärenergieaufwandes für die Herstellung der Ausgangsstoffe eines Lithium-Ionen-Akkus .....	83

## Verwendete Abkürzungen

TFT	Thin Film Transistor – Dünnschicht-Transistor
ITO	Indium Tin Oxide – Indiumzinnoxid
WLAN	Wireless Local Area Network – Übertragungsstandard für Datenfunk
OLED	Organic Light Emitting Diodes – organische licht-emittierende Dioden
CRT	Cathode Ray Tube – Kathodenstrahl-Röhre
LCD	Liquid Crystal Display – Flüssigkristall-Bildschirm
ZDP	Abk. für Zeitungsdruckpapier
tkm	Tonnen-Kilometer
ZeP	Abk. für Zeitung auf elektronischem Papier
TCP/IP	Transfer Control Protocol/ Internet Networking Protocol <i>und</i>
ATM	Asynchronous-Transfer-Mode – Internet-Übertragungsprotokolle
PDA	Personal Digital Assistant, ein elektronisches Multifunktionsgerät
DSL	Digital Subscriber Line – Datenübertragungsstandard
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System – Mobilfunkstandard
ISDN	Integrated Services Digital Network – Festnetz-Datenübertragungstechnologie
JPEG	Joint Photographic Experts Group – Dateiformat für grafische Darstellungen
DAB	Digital Audio Broadcasting – Digitaler Radiofunk
DVB-T	Digital Video Broadcasting Terrestrial – terrestrisch ausgestrahltes digitales Fernsehen

## 1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, mögliche Umweltauswirkungen von elektronischem Papier abzuschätzen. Im Rahmen einer ökobilanzielle Betrachtung werden diese Vermutungen überprüft. Dazu wird eine mögliche zukünftige Anwendung von elektronischem Papier als neues Medium für Zeitungsinhalte mit der herkömmlichen Papierzeitung und der elektronischen Zeitung im Internet verglichen. Dieser Vergleich mit einer Print-Zeitung trägt einerseits den papier-ähnlichen Eigenschaften von elektronischem Papier Rechnung. Andererseits bieten die elektronischen Eigenschaften von elektronischem Papier eine Grundlage für einen Vergleich mit anderen elektronischen Geräten.

Elektronisches Papier ist ein Sammelbegriff für verschiedene Technologien, die dünne, verformbare und energieeffiziente Displays als Produktziel verfolgen.

Seit Mitte der 90er Jahre forschen und entwickeln viele Unternehmen und Forschungseinrichtungen an Alternativen zu konventionellen Röhren- und Flachbildschirmen. Angetrieben werden diese Aktivitäten unter anderem durch den Wunsch, die Grenzen zwischen Druck- und elektronischen Medien aufhebende Produkte und Anwendungen zu entwickeln sowie herkömmliches Papier zu substituieren. Trotz aller Bemühungen und vielfachen Ankündigungen seitens der Unternehmen, befindet sich elektronisches Papier, das in seinen Eigenschaften dem normalen Papier entspricht oder nahe kommt, immer noch im Entwicklungsstadium. Eine treibende Kraft hinter diesen Forschungs- und Entwicklungs-Aktivitäten ist die wachsende Verbreitung von mobilen Geräten aller Art. Denn viele dieser mobilen Produkte werden wesentlich von den Eigenschaften der verwendeten Bildschirme in ihrer Anwendung und Verbreitung begrenzt. Die Verwendung neuer dünner, energieeffizienter und zusammenrollbarer Bildschirme könnte Beschränkungen in der Handhabung von mobilen Geräten, die aus ihrem Strombedarf, ihrer Größe und ihrer Masse resultieren, aufheben. Aber auch herkömmliche Anwendungen für Bildschirme, wie z.B. Fernseher, Computer-Monitore oder elektronische Anzeigen, könnten von den angekündigten Anzeige- und Ableseeigenschaften profitieren.

Die Eigenschaften von elektronischem Papier, die von den verschiedenen Unternehmen und Forschungseinrichtungen angekündigt werden, sind:

- Geringer Materialeinsatz für die Herstellung,
- Niedriger Stromverbrauch während der Nutzung,
- Wiederverwendbarkeit und -beschreibbarkeit,
- Verformbarkeit,
- Bessere Wiedergabeeigenschaften als herkömmliche Displays.

Diese Eigenschaften lassen **geringe Umweltbelastungen**, verglichen mit herkömmlichen Bildschirmen oder sogar Papier, hinsichtlich Ressourcenverbrauch und Energieeinsatz **vermuten**. Die vorliegende Arbeit soll hierzu eine **erste Abschätzung** liefern.

## 2 Elektronisches Papier

Der Begriff e-Paper (auch E-Paper, ePaper, e-paper usw.) als Abkürzung für „electronic paper“ (elektronisches Papier) ist noch nicht eindeutig bestimmt. Er wird für verschiedene Anwendungen und Technologien verwendet. So bezeichnet das Software-Unternehmen Adobe PDF-Dokumente, die mit dem Programm „Acrobat“ erstellt wurden, als „ePaper“. Für elektronische Faksimile-Ausgaben von Zeitungen<sup>1</sup> im Internet ist in Deutschland die Bezeichnung „E-Paper“ gebräuchlich (siehe dazu Kap. 5.2 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Online-Zeitung‘). Daneben firmieren viele der nachfolgend vorgestellten Technologien für dünne, energieeffiziente Displays unter dem Sammelbegriff „elektronisches Papier“ (electronic paper – e-paper).

In dieser Arbeit soll die Bezeichnung **e-Paper** als Sammelbegriff für die verschiedenen Displaytechnologien verwendet werden.

Welche Eigenschaften müssen die s.g. neuen Displaytechnologien erfüllen, um als elektronische Medien mit einem papier-ähnlichen Erscheinungsbild und einer entsprechenden Handhabung (also als e-Paper) bezeichnet werden zu können?

- Sie dürfen (wie Papier) keine Energie während der Nutzung, also um den Inhalt zu lesen, benötigen.
- Die Qualität der Wiedergabe, insbesondere das Kontrastverhältnis und die Reflektivität, muss der von Papier entsprechen oder ihr nahe kommen.
- Die Technologien müssen flexible Displays erlauben.

Diese Anforderungen an die einzelnen Technologien haben zur Folge, dass nur rein reflektive Displays, die nur das Umgebungslicht nutzen und auch keine Hintergrundbeleuchtung benötigen, die Forderung nach einer nahezu stromlosen Wiedergabe erfüllen. Auch für die Aufrechterhaltung der dargestellten Inhalte ohne zusätzliche Energie kommen nur s.g. „bistabile“, nichtflüchtige Anzeigeeigenschaften in Frage, d.h. der dargestellte Inhalt bleibt ohne Strom sichtbar. Die geforderte Flexibilität bzw. Verformbarkeit der Bildschirme wiederum erlaubt nicht die Verwendung von dickem Glas als Trägermedium, wie bei herkömmlichen LCD-Bildschirmen, sondern muss z.B. mit folienartigen Substratträgern auf Basis von Kunststoffen oder Metallen erfüllt werden.

Diese geforderten Eigenschaften erfüllen die in Kap. 3 ‚Neue Displaytechnologien – Technologien und Akteure‘ beschriebenen Technologien und Verfahren. Jedoch handelt es sich dabei nur um Technologien für die bildgebende Schicht – die s.g. Frontplane. Ein Display besteht neben einer Frontplane auch aus einer Backplane. Die Backplane

---

<sup>1</sup> Dabei entspricht das Erscheinungsbild der Internet-Zeitung dem der Print-Ausgabe

beinhaltet u.a. einen Teil der Steuerelektronik (z.B. s.g. TFTs - thin film transistors – Dünnschicht-Transistoren), mit der die einzelnen Bildpunkte angesteuert werden. Die gängigen Backplane-Technologien verwenden Glas als Trägermedium und erlauben **derzeit noch keine** flexiblen Displays. Bisher existieren nur Labormuster und Prototypen von Displays, die auch über flexible Backplanes, z.B. auf Basis von Kunststofffolien, verfügen (siehe dazu auch Kap. 3.5 ‚Die Backplane als größte Herausforderung und Hürde auf dem Weg zum flexiblen Display‘). Bei dem in dieser Arbeit untersuchten e-Paper handelt es sich daher um eine Zukunftsvision im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium.

Die o.g. Anforderungen an e-Paper erfüllen die s.g. OLEDs (organic light-emitting diodes – organische licht-emittierende Dioden) nicht, da diese einen emissiven Charakter besitzen. Für die Darstellung müssen diese permanent Photonen aussenden und benötigen dafür auch Energie, auch wenn der Stromverbrauch deutlich niedriger ist als bei herkömmlichen, transmissiven Bildschirmen (z.B. LCDs).

### 3 Neue Displaytechnologien – Technologien und Akteure

#### 3.1 Elektrophoretische Displays

Elektrophorese bezeichnet die Wanderung elektrisch geladener Teilchen durch einen Stoff in einem elektrischen Feld. Die Wanderungsgeschwindigkeit hängt dabei im Wesentlichen von der Feldstärke, der Viskosität des Stoffes und dem Teilchenradius ab<sup>2</sup>.

Die Firmen E-Ink und Gyricon sind die Technologieführer bei den elektrophoretischen Displays. Dabei verfolgen sie ähnliche Ansätze des Aufbaus der bildgebenden Display-schichten – beide Technologien basieren auf Mikrokapseln (Durchmesser 50-100 µm), die mittels eines elektrischen Feldes ausgerichtet werden und dabei weiße oder schwarze Bildpunkte auf der Displayoberfläche sichtbar werden.

#### E-Ink

Die Firma E-Ink ist eine Ausgründung des Massachusetts Institute of Technologie (MIT). Nachdem der Physiker Joseph Jacobsen 1993 die Technologie der „elektronischen Tinte“ am MIT entwickelte, wurde dieser Bereich 1997 in ein unabhängiges Unternehmen ausgegründet. Die Technologie von E-Ink basiert auf flüssigkeitsgefüllten Mikrokapseln, in denen sich weiße und schwarze Partikel befinden. Diese Partikel sind unterschiedlich geladen und lagern sich je nach angelegter Spannung und dem daraus resultierendem elektrischen Feld an den jeweils gegenüberliegenden Polen der Kapseln an.

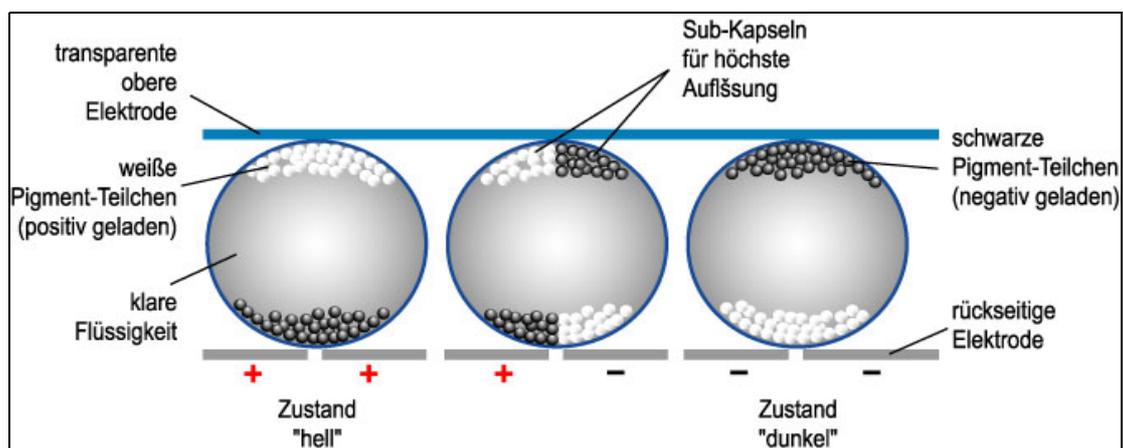


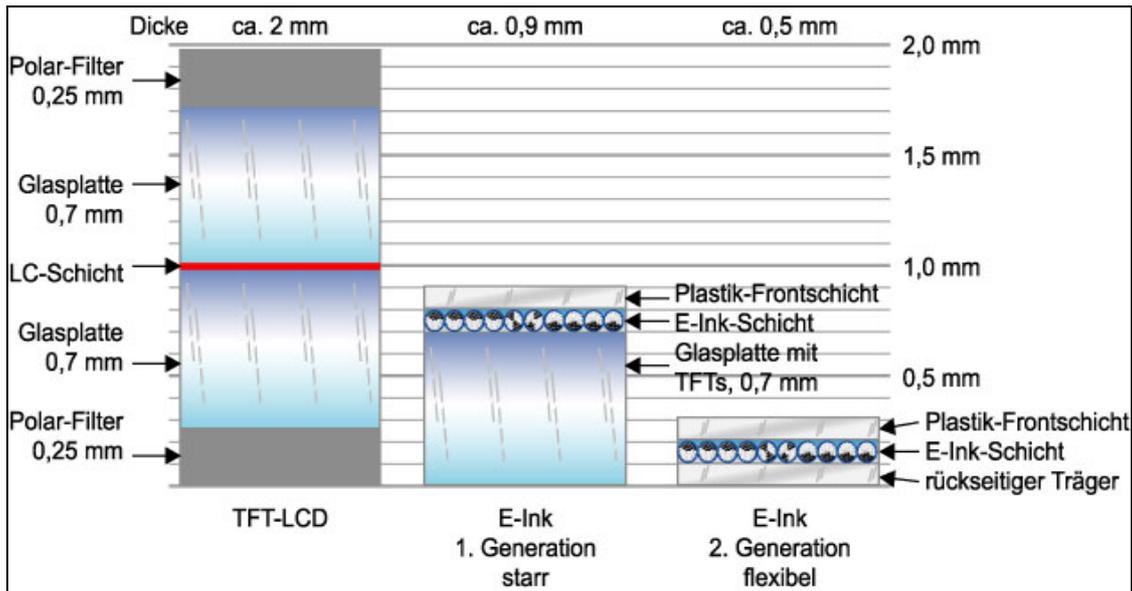
Abbildung 3-1: Funktionsprinzip von E-Ink; Quelle: E-Ink in [Lemme 2003]

Die Kapseln sind zwischen zwei Kunststofffolien aus einem Polyester-Kunststoff eingebettet, wobei eine der Folien mit durchsichtigem Indiumzinnoxid (Indium Tin Oxide

<sup>2</sup> Aus [Wikipedia 2004]

– ITO) beschichtet ist [Gelinck 2004]. ITO ist leitend, dient als gemeinsame, großflächige Elektrode und wird auch bei den anderen hier vorgestellten Technologien sowie bei LC-Displays verwendet.

Das gesamte bildgebende Laminate erreicht dabei eine Dicke von ca. 0,1 – 0,3 mm. Zum Vergleich: LC-Displays haben eine Dicke von ca. 20 mm [E-Ink 2002].



**Abbildung 3-2: Vergleich der Dicke von E-Ink und LCD;**

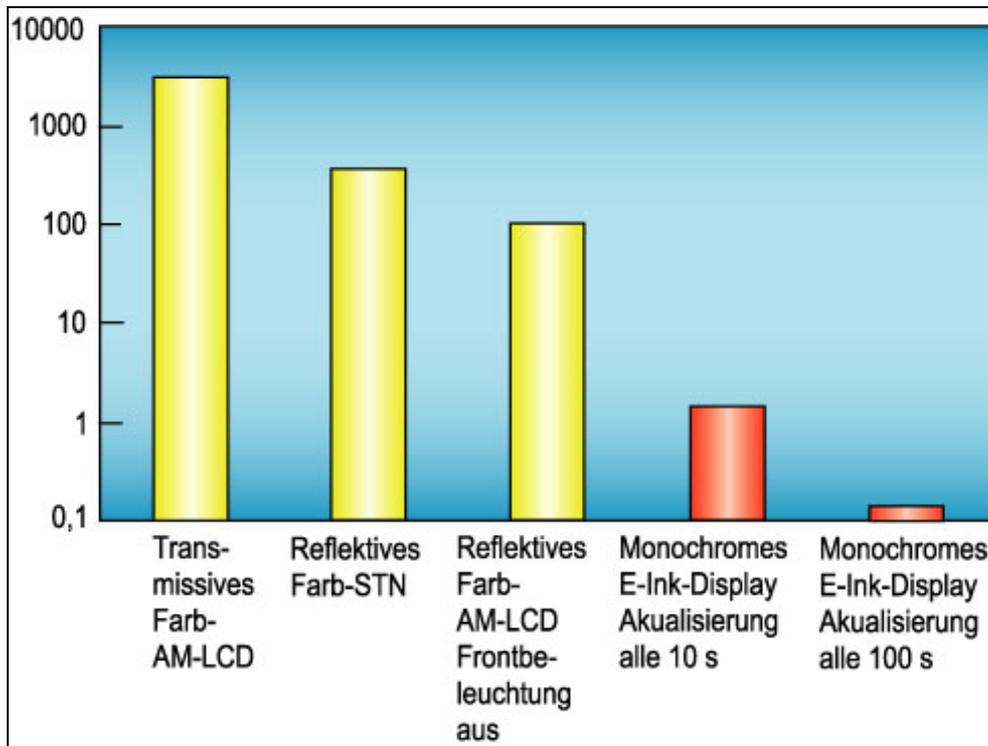
**Quelle: E-Ink in [Lemme 2003]**

Kontrast und Reflexionsgrad erreichen Werte wie sie für Papier üblich sind und liegen gleichzeitig deutlich über denen herkömmlicher Displays<sup>3</sup>.

Der Energieverbrauch ist aufgrund der bistabilen, nichtflüchtigen Eigenschaft der Bildpunkte sehr niedrig, da nur für das „Umschalten“ der einzelnen Bildpunkte eine Spannung angelegt wird und für die Darstellung auch keine Hintergrundbeleuchtung benötigt wird<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Die für **transmissive** Displays (LCDs) üblichen Werte für Kontrast, z.B. 250:1, 500:1, sind mit den Werten für rein **reflektive** Displays sowie Papier, die sich in Größenordnungen von 8:1 bis 15:1 bewegen, nur bedingt vergleichbar [E-Ink 2002].

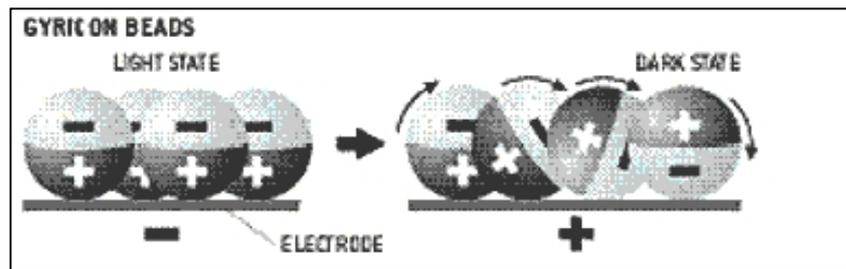
<sup>4</sup> Allerdings beziehen sich die angegebenen Werte auf die bildgebende Einheit allein, die Leistungsaufnahme der s.g. Backplane (siehe Kap. 3.5 ‚Die Backplane als größte Herausforderung und Hürde auf dem Weg zum flexiblen Display‘) wird nicht mitberücksichtigt. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass die Videowiedergabe bei E-Ink und weiteren Mitbewerbern anfangs nicht eine deutlich niedrigere Leistungsaufnahme gegenüber LCDs besitzen wird [Bock 2004] [Hayes 2004].



**Abbildung 3-3: Leistungsaufnahme (in mW) von E-Ink im Vergleich mit herkömmlichen LC-Displays; Quelle: E-Ink in [Lemme 2003]**

### Gyricon

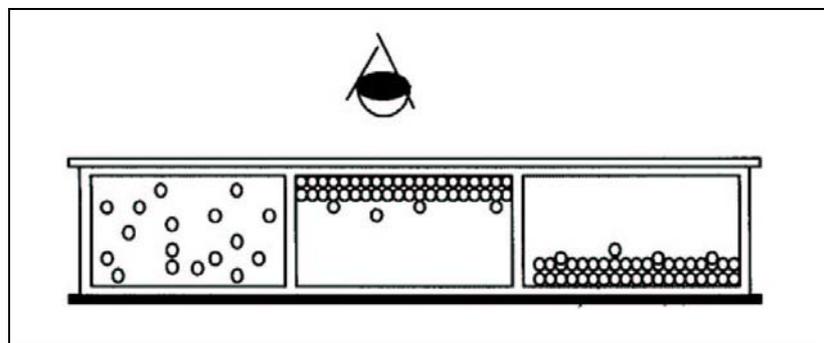
Die Firma Gyricon ist ein Spin-Off des Palo Alto Research Center (PARC) der Firma Xerox und wurde im Jahr 2000 ausgegründet. 1975 wurde das Prinzip des elektronischen Papiers, genannt „SmartPaper“, wie es auch heute von Gyricon verwendet wird, von Nicholas Sheridon am PARC entwickelt. Da die zur Realisierung benötigten Technologien und Werkstoffe noch nicht zur Verfügung standen, wurde die Entwicklung nicht weiter verfolgt und erst im Jahr 1989 wieder aufgenommen [Walker 2004]. Im Gegensatz zu E-Ink, wo die Partikel in den Kapseln eingeschlossen sind, drehen sich bei Gyricon die gesamten, in Öl schwimmenden Kapseln. Diese Kapseln besitzen jeweils eine schwarz- bzw. weiß-beschichtete Halbkugel; diese Beschichtungen sind jeweils unterschiedlich geladen und richten sich in einem elektrischen Feld entsprechend aus. Eingebettet werden diese zwischen zwei Kunststofffolien [Gyricon 2004].



**Abbildung 3-4: Funktionsprinzip von Gyricon's „SmartPaper“;**  
**Quelle: Gyricon in [Ditlea 2001]**

### SiPix

Die Firma SiPix aus Kalifornien entwickelt Displays nach dem elektrophoretischen Prinzip auf Basis von kleinen Kammern bzw. Mikrowaben (und hat dafür die Bezeichnung Microcup<sup>®</sup> schützen lassen). In den einzelnen Kammern ist eine farbige Flüssigkeit enthalten, in der geladene Partikel (bestehend aus  $\text{TiO}_2$ ) gelöst sind. Die Kammern sind zwischen zwei Elektroden laminiert, von denen die obere durchsichtig ist. Je nach angelegter Spannung, wandern die gelösten Partikel an die Oberfläche der Kammer oder auf den Grund. Dabei wird entweder die Flüssigkeit mit ihrer Eigenfarbe sichtbar oder die (weißen) Partikel [SiPix 2004].

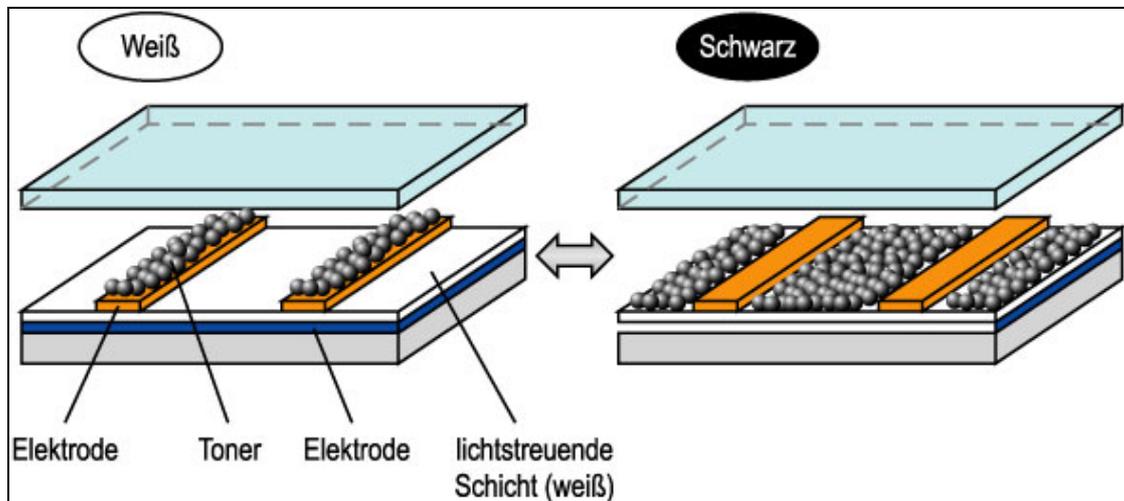


**Abbildung 3-5: Schematischer Aufbau des elektrophoretischen Displays der Firma SiPix; Quelle: SiPix in [Zang 2003]**

### Canon

Canon nennt seine Technologie nach dem elektrophoretischen Prinzip EPD-Display (EPD: electrophoretic display). Hier befinden sich geladene Tonerpartikel in einer Flüssigkeit zwischen zwei Kunststofffolien. Auf dem Substrat befinden sich zwei verschiedene Arten von Elektroden. Je nach angelegter Spannung, werden die Tonerpartikel von der einen oder der anderen Elektrode angezogen. Dabei bedecken diese entweder eine reflektierende Schicht und lassen den entsprechenden Bereich dunkel erscheinen oder die Partikel sammeln sich auf eine schmale Elektrode und lassen die reflektive Schicht unbedeckt (Abbildung 3-6).

Wie auch bei den anderen Verfahren, sind die EPD-Displays bistabil und aus Kunststofffolien aufgebaut. Canon gibt eine Auflösung von 200 Pixel pro Quadratzoll an.



**Abbildung 3-6: Schematische Darstellung des EPD-Displays von Canon; Quelle: Canon in [Lemme 2003]**

### 3.2 Elektrochrome Displays

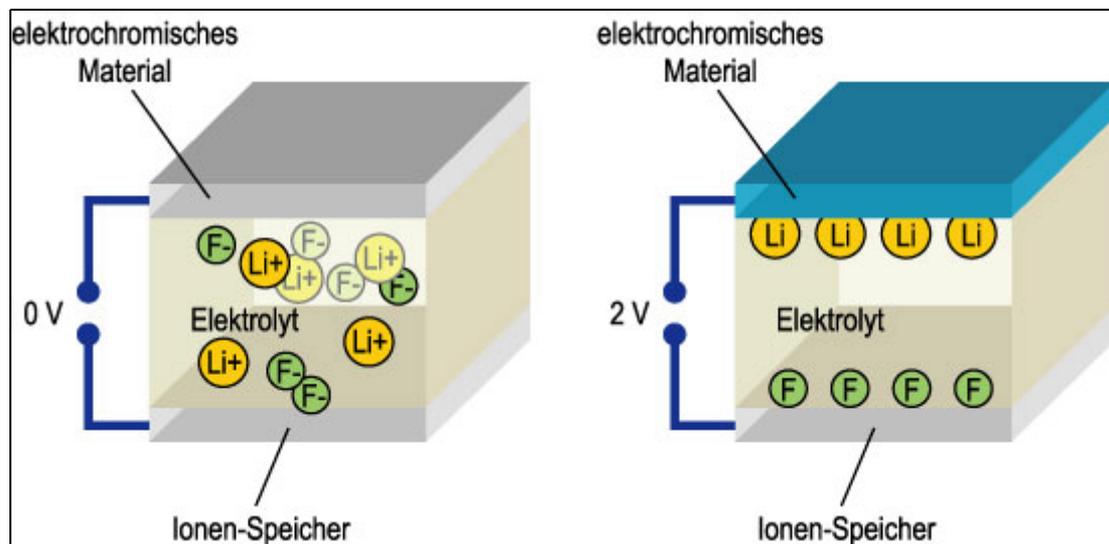
#### Siemens „Epyrus“

Elektrochrome Displays basieren auf speziellen Kunststoffen, z.B. Polythiophene, die sich unter Stromfluss verfärben [Sonmez 2004]. Dabei tritt, als Folge einer reversiblen Oxidation oder Reduktion des Materials, eine Veränderung der Absorptions- bzw. Reflexionseigenschaften auf. Dieses Verfahren wird beispielsweise bereits für automatisch abblendende PKW-Rückspiegel verwendet.



**Abbildung 3-7: Funktionsfähiger „Epyrus“-Prototyp von Siemens; Quelle: Siemens**

Siemens nennt seine Technologie für flexible, stromsparende Displays „Epyrus“. Die Verfärbung auf einem „Epyrus“-Display kann ähnlich wie eine Bedruckung auf Papier, rein reflektiv, ohne displayinterne Beleuchtung wahrgenommen werden. Ein Bildpunkt besteht dabei aus zwei Schichten des elektrochromen Materials, verbunden durch einen Elektrolyten als Medium, in dem sich positive und negative Ionen frei bewegen können. Dazu kommen noch Trägerschichten und Elektroden für die Ansteuerung des Pixels. Das elektrische Ersatzschaltbild eines Pixels entspricht dabei dem eines Kondensators. Verfärbt sich das Pixel einmal, so behält es diese Verfärbung<sup>5</sup>. Der Energieverbrauch für die Darstellung ergibt sich hauptsächlich aus dem erstmaligen Erzeugen des Bildes, bei dem zuerst alle Pixel umgeladen werden müssen. Schnelle Bildänderungen, bspw. bei Videowiedergabe, wären deshalb recht energiehungrig und sind derzeit aufgrund der hohen Ansprechzeit der verwendeten Materialien noch nicht möglich.



**Abbildung 3-8: Schematischer Aufbau eines elektrochromen Displays; Quelle: Siemens in [Lemme 2003]**

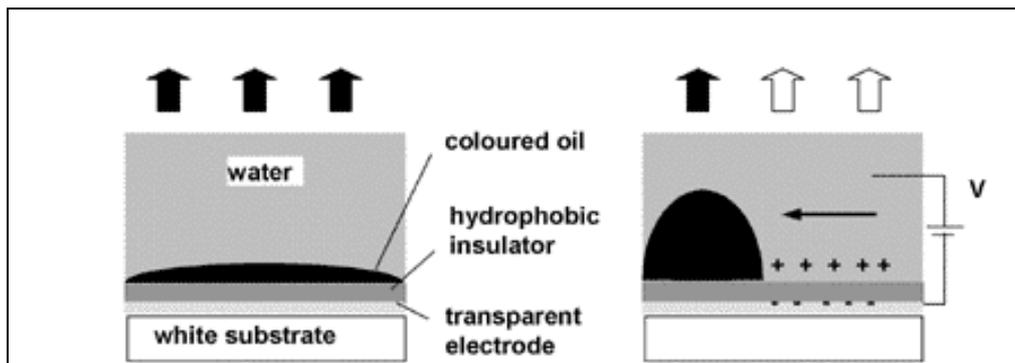
### 3.3 Displays nach dem Electrowetting-Verfahren

#### Philips

Parallel zu seiner Kooperation mit E-Ink (siehe dazu Kap. 3.6 ‚Kooperationen und erste Serienanwendungen‘), entwickelt Philips das s.g. „Electrowetting“-Verfahren. Basis sind einzelne, mit Wasser gefüllte Kammern, in denen sich farbige Öltropfen befinden. Aufgrund der hydrophoben bzw. lipophoben Eigenschaften der beiden Flüssigkeiten,

<sup>5</sup> Derzeit erreicht „Epyrus“ nur eine s.g. Metastabilität (im Gegensatz zu einer Bistabilität wie z.B. bei E-Ink), d.h. die Verfärbung hält nur für eine gewisse Zeit an, danach muss das Bild wieder neu aufgebaut werden [Bock 2004].

erfolgt keine Durchmischung, sondern eine scharfe Abgrenzung. Im Grundzustand bedeckt der Öltropfen eine reflektierende Grundsicht und es ist nur die Eigenfarbe des Öls sichtbar. Wird eine Spannung angelegt, so zieht sich der Tropfen auf einen Bruchteil der ursprünglich bedeckten Fläche zusammen und die reflektierende Grundsicht wird sichtbar.



**Abbildung 3-9: Funktionsprinzip und schematischer Aufbau eines Bildpunktes nach dem „Electrowetting“-Verfahren; Quelle: Philips**

Als einziges von allen hier vorgestellten Verfahren, erfüllt Electrowetting bereits in einem frühen Entwicklungsstadium die Fähigkeit zur Bildwiedergabe in Videogeschwindigkeit. Die ersten Prototypen erreichen Schaltgeschwindigkeiten von 10 bis 13 ms, was einer Schaltfrequenz von ca. 100 Hz entspricht [Hayes; Feenstra 2004].

### 3.4 Weitere Verfahren

Sony entwickelt Displays nach dem Elektrodepositionsverfahren, bei dem Silberionen von Elektroden angezogen werden und sich dann zu Metall wandeln, das schwarz erscheint. Auch dabei handelt es sich um eine rein reflektive Darstellungsart; Sony gibt eine Reflektivität von 70 % und ein Kontrastverhältnis von 30:1 an [VDI 2003].

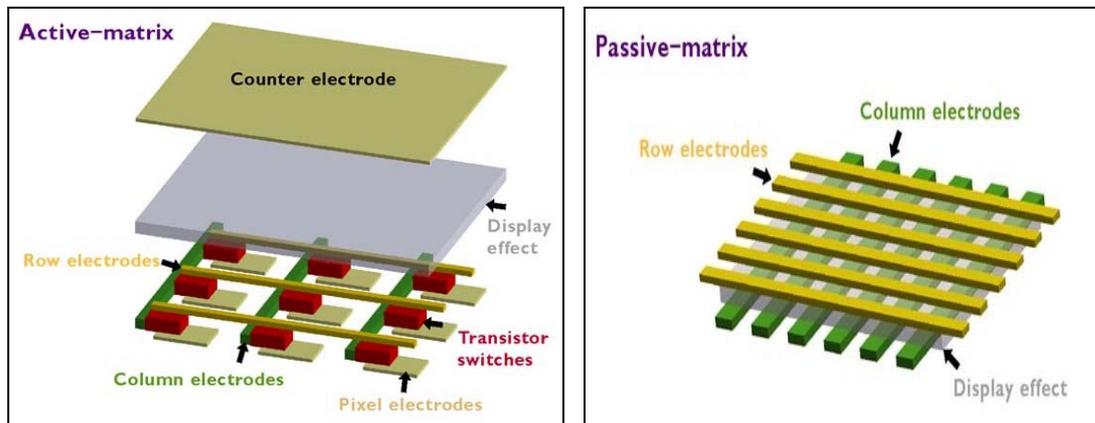
Auch Fujitsu entwickelt elektronisches Papier und stellte Anfang des Jahres 2004 einen seriennahen Prototypen vor, ohne aber das verwendete Verfahren zu benennen. Geplant ist einer Serienherstellung für das Jahr 2006 [Conabree 2004].

### 3.5 Die Backplane als größte Herausforderung und Hürde auf dem Weg zum flexiblen Display

Alle hier vorgestellten Technologien beziehen sich ausschließlich auf die s.g. Frontplane, der sichtbaren und aus den einzelnen Bildpunkten bestehende Schicht eines Displays. Ein Display besteht jedoch aus einer Frontplane und einer Backplane. Die s.g. Backplane besteht aus einem Substratträger, derzeit fast ausschließlich Glas, auf dem die Steuerelektronik (auch Matrix genannt) aufgetragen wird. Bei der Steuermatrix kann

es sich um eine passive (Leiter-) Matrix oder eine aktive Matrix handeln. Während bei der Aktiv-Matrix jeder Bildpunkt der bildgebenden Schicht mittels eines eigenen Transistors angesteuert wird, wird bei der Passiv-Matrix durch eine Überlagerung der elektrischen Felder am Kreuzungspunkt zweier Elektroden der Bildpunkt geschaltet.

Dabei gibt es natürlich in Abhängigkeit von der verwendeten Matrix-Steuerung auch Unterschiede in der Bildqualität: Während eine Passiv-Matrix in der Herstellung einfacher und kostengünstiger ist, besitzen Bildschirme mit einer Aktiv-Matrix aufgrund eines besseren Kontrastes und einer höheren Schaltgeschwindigkeit eine bessere Bildqualität. Nicht alle der vorgestellten Technologien benötigen eine Aktiv-Matrix; so gibt Siemens an, dass für das eigene elektrochrome Display („Epyrus“) eine passive Ansteuerung ausreicht, während z.B. E-Ink auf eine Aktiv-Matrix angewiesen ist [Bock 2004].



**Abbildung 3-10: Schematischer Aufbau einer aktiven und einer passiven Steuermatrix; Quelle: Philips**

Bei allen im Kap. 3 ‚Neue Displaytechnologien – Technologien und Akteure‘ beschriebenen Verfahren handelt es sich um Frontplane-Technologien. Sie alle bestehen im Grunde aus mehreren Kunststoffschichten und besitzen deshalb die Eigenschaft, flexibel zu sein. Die eigentliche Herausforderung besteht in der Herstellung einer flexiblen Backplane. Die derzeit gängigen Verfahren tragen die Steuermatrix (z.B. TFTs) auf Basis von amorphen Silizium (a-Si) in einem Hochtemperatur- und Reinraumverfahren auf das Glassubstrat auf. Das Glassubstrat ist jedoch starr, so dass bei der anschließenden Laminierung einer flexiblen Frontplane auf das Substrat, deren Flexibilität verloren geht.

An der Entwicklung von elektronischen Schaltungen, z.B. auf Basis von organischen Molekülen oder Polymeren, auf flexiblen Substraten arbeiten derzeit viele Elektronik-Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Dabei müssen noch viele Hürden überwunden werden. So besitzen die organischen Moleküle eine zu geringe Lebenszeit bei

Kontakt mit Luftsauerstoff oder Luftfeuchtigkeit. Eine Übertragung von bereits eingeführten Herstellungsverfahren für Silizium-Schaltungen scheitert an den niedrigen Schmelzpunkten von Kunststoffen aufgrund der erforderlichen hohen Prozesstemperaturen von bis zu 900° C.

Unter anderem wird an Druckverfahren ähnlich der Tintenstrahl-Technik geforscht, die es erlauben würden, in Flüssigkeiten gelöste, selbstorganisierende organische Moleküle als Schaltkreise auszudrucken [Xerox 2004] [Plastic Logic 2003]. Andere Verfahren bedienen sich Belichtungstechniken (z.B. Photolithographie, wie sie auch bei der Silizium-Elektronik verwendet wird), um schichtweise Schaltkreise aus Kunststoffen mit Halbleiter-Eigenschaften zu erzeugen [Gelinck 2004].

Die Serienherstellung von voll-flexible Displays wird also erst dann möglich sein, wenn auch Technologien für die Massenherstellung von elektronischen Schaltkreisen auf flexiblen Substratträgern zur Verfügung stehen (siehe dazu Kap. 3.7 ‚Ausblick auf die zukünftige Entwicklung‘).

### 3.6 Kooperationen und erste Serienanwendungen

Für die Weiterentwicklung und Vermarktung von elektronischem Papier haben sich verschiedene Unternehmen zusammengeschlossen. So kooperiert E-Ink mit Philips und Sony in der Entwicklung und Vermarktung von Geräten auf Basis von elektronischer Tinte. Dabei stellt E-Ink die elektronische Tinte zur Verfügung, die von Philips mit der Steuerelektronik und Substratträgern zu einem Display komplettiert und von Sony in ein entsprechendes Endprodukt eingebaut wird. Das erste Produkt aus dieser Kooperation ist ein Sony E-Book, ein Lesegerät für elektronische Bücher. Sony gibt an, dass mit vier Batterien mehr als 10.000 Bildwechsel möglich sind, da lediglich für den Bildaufbau, aber nicht für die Darstellung Energie benötigt wird.



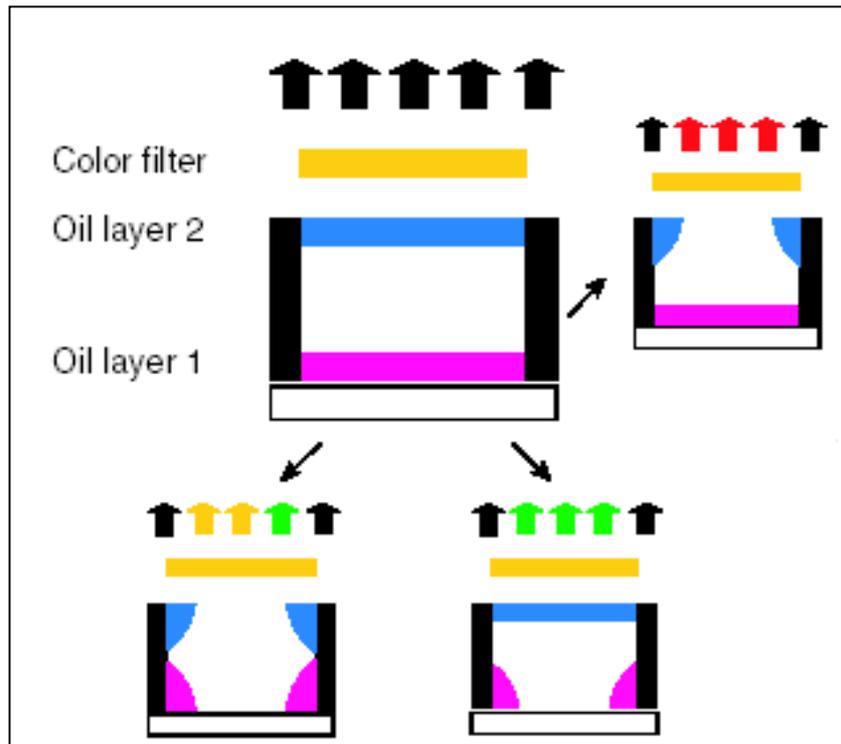
**Abbildung 3-11: Sony E-Book Librie EBR-1000EP mit einem Display auf Basis von E-Ink; Quelle: Sony**

Gyricon kooperiert mit dem Mutterunternehmen Xerox sowie mit 3M in der Massenerstellung des Grundmaterials. Erste Serienprodukte sind elektronische Hinweistafeln für öffentliche Gebäude und Plätze, wie z.B. Banken, Kongressgebäude u.ä. Die Stromversorgung der Tafeln erfolgt über Batterien und die darzustellenden Informationen werden drahtlos mittels WLAN übertragen [Gyricon 2003].

### **3.7 Ausblick auf zukünftige Entwicklungen**

Das Ziel aller o.g. FuE-Aktivitäten ist das flexible Display, das gebogen oder aufgerollt werden kann. Wie in Kap. 3.5 ‚Die Backplane als größte Herausforderung...‘ bereits beschrieben wurde, wird dies durch die derzeit zur Verfügung stehenden Technologien für die Herstellung der Steuerelektronik begrenzt. Erste Erfolge auf dem Gebiet der flexiblen Elektronik können vor allem Philips (mit seiner Ausgründung Polymervision) und Plastic Logic, einer Universitäts-Ausgründung im britischen Cambridge, vorweisen. So plant Philips eine erste Pilotlinie für die Herstellung von flexiblen Displays bis Ende 2005 und bis 2007 sollen erste Serienprodukte hergestellt werden. Auch Plastic Logic bereitet die Herstellung von flexiblen Displays im DIN A4 Format für das Jahr 2005 vor [Thole 2004].

Darüber hinaus beherrschen die verschiedenen Verfahren die Darstellung von Farben nur rudimentär. Aufgrund der verwendeten Mikropartikel sind derzeit nur schwarz-weiße oder Grauton-Darstellungen möglich. Zwar konnte E-Ink farbige Display-Prototypen auf Basis der eigenen elektronischen Tinte vorstellen, jedoch erfolgt die Farbdarstellung mithilfe von mehreren Farbfiltern, die über die E-Ink-Schicht gelegt werden und einzelne Farbanteile des Lichts, das von der E-Ink-Schicht reflektiert wird, herausfiltern [Lemme 2003]. Eine wirklich befriedigende Lösung wird bei allen Verfahren aber nur die Darstellung in Eigenfarben bieten können. Einen ersten Schritt in dieser Richtung ist Philips mit dem ‚Electrowetting‘-Verfahren gelungen (siehe auch Kap. 3.3 ‚Displays nach dem Electrowetting-Verfahren‘), bei dem farbige Öltröpfen verwendet werden und erstmalig zwei verschiedene Farben bzw. Öltröpfen pro Bildpunkt bzw. Kammer mit nur einer Filterschicht kombiniert werden konnten [Hayes; Feenstra 2004].



**Abbildung 3-12: Schematischer Funktionsaufbau eines Bildpunktes nach dem „Electrowetting“-Verfahren mit zwei farbigen Öltropfen und einem Farbfilter; Quelle: Philips**

Die dritte Herausforderung auf dem Weg zum vollwertigen Bildschirm, liegt in der Wiedergabe von Inhalten in Videogeschwindigkeit, um auch mit konventionellen Displays (LCDs, CRTs) konkurrieren zu können. Alle hier vorgestellten Technologien, mit Ausnahme des „Electrowetting“-Verfahrens von Philips, das Schaltgeschwindigkeiten von 10 bis 13 ms erlaubt (siehe Kap. 3.3 ‚Displays nach dem Electrowetting-Verfahren‘), besitzen zum jetzigen Entwicklungszeitpunkt Ansprechzeiten von einigen 100 ms [Lemme 2003]. Um eine befriedigende Wiedergabequalität für Videoinhalte zu gewährleisten, sind jedoch deutlich kürzere Ansprechzeiten bei den bildgebenden (Frontplane-) Schichten nötig (max. 20-25 ms).

## 4 Ökobilanzielle Betrachtung der Zeitungsvarianten Print-Zeitung, Online-Zeitung und Zeitung auf elektronischem Papier

Um die Umweltauswirkungen von e-Paper abschätzen zu können, wird eine ökobilanzielle Betrachtung anhand einer **möglichen konkreten Anwendung** von e-Paper durchgeführt. Die Annahme und Modellierung eines Lesegerätes für Zeitungsinhalte auf Basis von e-Paper (siehe dazu Kap. 5.3 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP‘), dient als Grundlage für einen Vergleich mit herkömmlichen Print- und Online-Zeitungen.

Die Annahme, dass e-Paper zu einem späteren Entwicklungszeitpunkt als Basis für eine elektronische Zeitung dienen könnte, basiert auf Ankündigungen der entwickelnden Unternehmen sowie auf verschiedenen Publikationen zu e-Paper<sup>6</sup>. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird für die Zeitung auf elektronischem Papier die Kurzform ZeP übernommen und verwendet [Mallik 2003].

Die Vergleichsgrundlage „Lesen von Zeitungsnachrichten“ wurde gewählt, da einerseits der Vergleich mit einer herkömmlichen Zeitung den papier-ähnliche Eigenschaften von e-Paper Rechnung trägt und andererseits die elektronischen Eigenschaften von e-Paper eine Grundlage für einen Vergleich mit anderen elektronischen Geräten, wie zum Beispiel einem PC als Lesemedium für die Online-Zeitung, bietet.

### 4.1 Stand der Forschung

Als Ausgangspunkt für die ökobilanzielle Betrachtung der drei Zeitungsvarianten Print-, Online-Zeitung und ZeP dienen im wesentlichen die nachfolgend beschriebenen und zusammengefassten Studien zu Vergleichen von Umweltauswirkungen von elektronischen und gedruckten Medien.

Die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, EMPA in St. Gallen/Schweiz führte 2001 eine Studie mit dem Titel „Vergleich der Umweltbelastungen bei Benutzung elektronischer und gedruckter Medien“ durch [Reichart; Hirsch 2001]. Es wurde der Medienkonsum anhand der Medienträger Fernsehen, Zeitung und Internet unter Umweltgesichtspunkten verglichen. Für die vorliegende Arbeit ist der Vergleich des Nachrichtenkonsums im Internet und in Tageszeitungen von Interesse. Die wesentlichen Ergebnisse der Studie sind, dass Online-Medien nur dann ökologisch positiv gegenüber Print-Medien zu bewerten sind, wenn:

- sie gezielt und selektiv genutzt werden, d.h. kein zielloses „herumsurfen“ stattfindet;
- Online-Informationen nicht ausgedruckt werden.

---

<sup>6</sup> Vgl. [E-Ink 2002], [Mallik 2003], [Schryen 2002], [Sacchet 2002], [Karla 2004a], [Karla 2004b]

Ausgearbeitet wurden zwei Szenarien: Das Lesen eines einzelnen Artikels und das Lesen der Tagesnachrichten. Bei dem Lesen eines einzelnen Artikels schneidet die Print-Zeitung besser ab, beim Lesen der Tagesnachrichten (es wurden sieben Artikel als Grundlage gewählt) schneidet die Internet-Zeitung besser ab, und zwar aufgrund der hohen Energieaufwendungen für die Herstellung des Zeitungsdruckpapiers.

Bei elektronischen Medien ist der Energieverbrauch während der Gebrauchsphase ausschlaggebend, während bei Printmedien der Materialverbrauch (Papier) entscheidend ist. Dabei ist die Umweltbelastung der Zeitung unabhängig von der Lesedauer. Gleichzeitig resultiert bei dem Gebrauch des PCs (Lesen der Online-Zeitung) der höchste Energieverbrauch aus der Nutzung der Netzinfrastruktur (Internet).

Auf Basis der Ergebnisse wurden Handlungsempfehlungen für die Auftraggeber und Akteure formuliert.

Im Rahmen seiner Dissertation untersuchte Plätzer [1998] die Umweltauswirkungen des Zeitungsnachrichtenkonsums von Online- und Print-Zeitungen. Als Vergleichsgrundlage diente ein einzelner Zeitungsartikel. Untersuchungsergebnis ist, dass das Lesen des herkömmlichen Zeitungsartikels geringere negative Umweltauswirkungen verursacht als die Nutzung des Online-Artikels (Herunterladen auf einem PC inkl. anschließendem Ausdruck).

Plätzer [1998] berechnet den Energiebedarf für die Übermittlung von Daten via Internet auf Basis des Deutschen Wissenschaftsnetzes B-Win<sup>7</sup>. Er geht davon aus, dass der Aufbau des B-Win (bestehend aus Router, Switches, etc.) dem typischen Aufbau der anderen Teilnetze des Internets entspricht und somit als Modell für das gesamte Internet dienen kann.

Kritisch anzumerken ist, dass in dieser Untersuchung nur ein einzelner Zeitungsartikel als Vergleichsgrundlage diente, obwohl der physische Erwerb nur eines einzelnen Artikels nicht möglich ist, sondern immer ein ganzes Zeitungsexemplar erworben werden muss, während der Bezug nur eines Online-Zeitungsartikels technisch möglich ist. Des weiteren erfolgte die Wahl der Artikelgröße so, dass der Online-Artikel nicht vollständig auf einer DIN A4 Seite ausgedruckt werden kann, sondern 1,25 Seiten belegt und somit zwei ganze DIN A4 Seiten in die Berechnung einfließen.

## 4.2 Ziele der ökobilanziellen Betrachtung

Ziel ist es, die kumulierten Energieaufwendungen für das Lesen von Zeitungsnachrichten anhand von drei verschiedenen Zeitungsmedien zu vergleichen. Dabei dienen die kumulierten Energieaufwendungen der drei Zeitungsvarianten als Maßzahl für die je-

---

<sup>7</sup> Heute: G-Win

weilige Umweltbelastung (vgl. dazu Kap. 4.10 ‚Der kumulierte Energieaufwand – KEA‘).

Neben der herkömmlichen Print-Ausgabe werden die Online-Zeitungsausgabe und, als mögliche zukünftige Medienvariante, die Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP untersucht. Diese drei Varianten bieten eine Vergleichsbasis aufgrund von ähnlichen oder gleichen Nutzen für die Leser. Dabei bildet die ZeP aufgrund ihrer technologischen Eigenschaften ein Art von Bindeglied zwischen dem elektronischen Medium und dem Papiermedium.

Die Modellierung eines Lesegerätes auf Basis von e-Paper findet im Kap. 5.3 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP‘ statt.

Da sich die verschiedenen e-Paper-Technologien noch im Entwicklungsstadium befinden, sollen die Ergebnisse dieser Arbeit potentiellen Akteuren, wie z.B. den entwickelnden Unternehmen, als Grundlage dienen, mögliche Umweltauswirkungen von e-Paper und von Geräten auf Basis von e-Paper frühzeitig zu erkennen und ggf. noch in den Entwicklungsphasen zu minimieren oder zu beseitigen.

#### 4.3 Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit für den Vergleich der drei Zeitungsmedien dient das Lesen der Tagesnachrichten. Dabei wird davon ausgegangen, dass die durchschnittlich von einem Nutzer gelesenen Tagesnachrichten aus acht Meldungen bestehen.

**Funktionelle Einheit: Lesen der Tagesnachrichten – acht Artikel**

Diese funktionelle Einheit wurde anhand der Studie von Reichart und Hischer [2001] zu Umweltbelastungen von elektronischen und gedruckten Medien und der Untersuchung des Nutzungsverhaltens der Leser der elektronischen Faksimile-Ausgabe („E-Paper“) der „Rhein-Zeitung“ von Bucher [2003] bestimmt. Die funktionelle Einheit dient jedoch lediglich als rechnerische Bezugsgröße, da für die Varianten Print-Zeitung und ZeP die Anzahl der gelesenen Artikel keine wesentlichen Auswirkungen auf etwaige Material- und Energieeinsätze hat (vgl. dazu Kap. 5.1 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Print-Zeitung‘ und Kap. 5.3 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP‘).

Die funktionelle Einheit bestimmt bei der Variante Online-Zeitung die zu übertragende Datenmenge und die Dauer für das Lesen der Meldungen (siehe dazu Kap. 5.2 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Online-Zeitung‘).

Bei der Variante ZeP wird, abweichend von der Variante Online-Zeitung, von einer täglichen Nutzungsdauer von 30 Minuten ausgegangen. Dies entspricht der durchschnittlichen täglichen Lesedauer von Print-Zeitungen [BDZV 2004]. Aufgrund der papier-ähnlichen Eigenschaften und des sehr niedrigen Stromverbrauchs von e-Paper, kann die Nutzungscharakteristik der herkömmlichen Print-Zeitung auf die ZeP übertragen werden, jedoch wird von einem persönlichen Lesegerät auf Basis von e-Paper ausgegangen, dass nicht von mehreren Personen genutzt wird. Abweichend von der funktionellen Einheit, wird nicht nur die Datenmenge der acht Artikel, sondern einer gesamten elektronischen Zeitung berücksichtigt, da davon ausgegangen werden kann, dass (analog zur Print-Zeitung) jeweils ein ganzes (elektronisches) Zeitungsexemplar erworben wird.

Die Nutzungsphase der Print-Zeitung ist zeitlich unbegrenzt – für das Lesen wird keine zusätzliche Energie benötigt. Deshalb spielen die Lesedauer und die Anzahl der gelesenen Artikel keine Rolle. Es wird jedoch berücksichtigt, dass ein Zeitungsexemplar durchschnittlich von 2,2 Lesern genutzt wird [BDZV 2004].

#### **4.4 Produktsysteme und Rahmenbedingungen**

Folgende Produktsysteme und Rahmenbedingungen werden betrachtet:

- Ein herkömmliches Zeitungsexemplar wird von durchschnittlich 2,2 Lesern genutzt.
- Für die Variante ZeP wird in Kap. 5.3 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP‘ ein Lesegerät auf Basis von e-Paper modelliert. Es wird ein mögliches bzw. wahrscheinliches Design und der Funktionsumfang eines zukünftigen e-Paper-Lesegerätes angenommen. Diese Annahmen beruhen auf bereits existierenden Prototypen und auf Ankündigungen von Herstellern. Im Gegensatz zur Print-Zeitung, wird nur von einem Leser pro ZeP-Exemplar ausgegangen.
- Für die Variante Online-Zeitung wird ein PC, inkl. Peripheriegeräte (Drucker) angesetzt. Die Online-Ausgabe der Zeitung dient als Vergleichsbasis. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird zusätzlich der Ausdruck von Nachrichten betrachtet.

In den Tabellen 4-1 und 4-2 sind die wichtigsten Eigenschaften und Rahmenbedingungen der drei Zeitungsvarianten zusammengefasst.

	<b>Elektronische Faksimile-Ausgabe – Online-Zeitung</b>	<b>Print-Zeitung</b>	<b>Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP</b>
Informationsinhalt	- Tagesnachrichten - Archiv	- Tagesnachrichten	- Tagesnachrichten - (Archiv ?)
Darstellungsart	- Geschriebener Text - Standbild - PC als Wiedergabemedium	- Geschriebener Text - Gedrucktes Bild	- Geschriebener Text - Standbild
Aktualität	- Tagesrückblick (wie Print-Zeitung)	- Tagesrückblick	- Tagesrückblick - Tagesaktuell bei mehreren aktualisierten Ausgaben am Tag

**Tabelle 4-1: Wichtige Funktionen und Eigenschaften der drei Zeitungsvarianten**

	<b>PC</b>	<b>Print-Zeitung</b>	<b>e-Paper-Lesegerät</b>
Produktsystem	- PC - Monitor - Drucker - Internetverbindung (DSL)	- Täglicher Druck - Tägliche Distribution - Hoher Recyclingpapier-Anteil	- Bildschirm/ Display - (Steuer-) Elektronik - Datenverbindung - Stromversorgung (Batterie)
Leistungsaufnahme	- off 0 W - on 175 W	-	- ~20 mW
Energieaufwand für Herstellung	- 4000 MJ	-	- (Abschätzung)
Lebens-/ Nutzungsdauer	- 4 Jahre	-	- 2 Jahre (Annahme)
Gesamtnutzung des Mediums	- 138 min/d	- 2,2 Leser pro Zeitung	- 30 min/d
Infrastruktur	- Datenübertragung über Internet - Papier-Ausdruck	- Druck - Verteilung/ Distribution	- Datenübertragung

**Tabelle 4-2: Produktsysteme und Rahmenbedingungen für den Vergleich der drei Zeitungsvarianten**

#### 4.5 Systemgrenzen

Produkte und Dienstleistungen werden in Ökobilanzen über ihren gesamten Lebensweg bzw. über die gesamte Nutzungszeit untersucht. Dabei werden u.a. die Rohstoffgewinnung, die Verarbeitung und Herstellung, die Nutzung, die Entsorgung und die daraus resultierenden Umweltauswirkungen erfasst. In Anlehnung an diese Vorgehensweise wird auch die vorliegende ökobilanzielle Betrachtung durchgeführt.

Für die einzelnen Produktsysteme wurden die nachfolgend beschriebenen Systemgrenzen festgelegt.

Bei dem Produktsystem Print-Zeitung fließen die folgenden Prozesse ein:

- die Zeitungsdruckpapier-Herstellung (darin ist auch der Entsorgungsprozess von Papier mitenthalten, aufgrund des hohen Anteils von Altpapier für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier; siehe auch Kapitel 5.1 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Print-Zeitung‘),
- der Druckprozess (siehe dazu auch Kap. 4.6 ‚Bilanzlücken‘),
- der Transport der Zeitung von der Druckerei zum Leser.

Nicht berücksichtigt wird, wie auch bei den beiden anderen Zeitungsvarianten, die Erstellung des Zeitungsinhaltes in der Zeitungsredaktion und die dafür notwendige Infrastruktur.

Für die Online-Zeitung gelten folgende Systemgrenzen:

- Als Lesegerät für die Online-Zeitung dient ein PC; dessen Stromverbrauch und Energieaufwand für die Herstellung fließen in die Berechnung ein,
- Betrachtet wird die Datenübertragung vom Internet-Server der Zeitungsredaktion bis zum PC des Lesers.
- Ausdruck eines Teils der Meldungen auf einem Drucker;

Für die Berechnungen zur Variante Online-Zeitung wird auf die bereits vorhandene Angaben (Systemgrenzen) zu PC und Datenübertragung von Reichart und Hischer [2001] und Plätzer [1998] zurückgegriffen.

Für die Variante ZeP gelten folgende Systemgrenzen:

- Ein Lesegerät auf Basis von e-Paper,
- Herstellung des Lesegerätes und die dazu verwendeten Materialien,
- Übertragung der Inhalte einer elektronischen Zeitung von der Redaktion auf das Lesegerät

Außerhalb der Systemgrenzen liegen etwaige Transportwege vom Herstellungs- zum Verkaufsort, da keine Angaben zu einem möglichen Herstellungsort gemacht werden

können. Auch die Entsorgungswege und -prozesse sind unbekannt (siehe dazu Kap. 4.6 ‚Bilanzlücken‘).

#### 4.6 Bilanzlücken

Bilanzlücken und Bilanzunsicherheiten sind vor allem bei der ZeP vorhanden. Da bisher keine entsprechenden Geräte und keine Distributionsarten für die Zeitungsinhalte vorhanden sind, sieht man von einigen Prototypen und Ankündigungen seitens der Hersteller ab, basieren die Berechnungen im Wesentlichen auf Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Unternehmensmitteilungen und frei zugänglichen Informationen auf den Internetseiten der Unternehmen. Auf Basis dieser Informationen wird ein wahrscheinliches Aussehen und eine wahrscheinliche Ausstattung eines Gerätes angenommen, wie es in einigen Jahren auf dem Markt erhältlich sein könnte. Die Bilanzlücken müssen daher als bedeutend angesehen werden, insbesondere sind der genaue Aufbau, die verwendeten Grundstoffe sowie der Herstellungsprozess des Displays kaum bekannt (siehe dazu Anhang A2). Aus diesem Grund erfolgt im Rahmen der Sensitivitätsanalyse auch eine Berechnung mit der Annahme eines deutlich höheren Primärenergieaufwandes für die Herstellung eines Lesegerätes auf Basis von e-Paper.

Für die Print-Zeitung bestehen Bilanzlücken hinsichtlich der Verbrauchsmaterialien während des Druckprozesses (Druckerschwärze etc.) sowie Unsicherheiten zu den zurückgelegten Transportwegen von der Druckerei bis zum Leser. Diese Bilanzlücken können als marginal angesehen werden (siehe dazu Kap. 5.1 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Print-Zeitung‘).

Für die Variante Online-Zeitung besteht große Unsicherheit über den Energieaufwand für die Datenübertragung via Internet. Die Angaben hierzu divergieren stark voneinander, mit der Folge, dass auch die entsprechenden Prozesse mit einer großen Unsicherheit behaftet sind. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird dieser Bilanzunsicherheit durch die Berücksichtigung alternativer Angaben Rechnung getragen. Des Weiteren ist der Umfang des s.g. Daten-Overheads, dessen Größe die gesamte zu übertragende Datenmenge bestimmt, nicht klar bestimmbar (siehe dazu Kap. 6.2 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Online-Zeitung‘).

Für alle drei Zeitungsvarianten wurden die Entsorgungsprozesse nicht gesondert betrachtet. Für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier wird ein hoher Anteil an Recycling-Papier verwendet [Klement, Dyllick 2000] [ZDL 2003] [ZDL 2004]. Zusammen mit einer hohen Altpapier-Rücklaufquote, kann davon ausgegangen werden, dass die Energieaufwendungen für die Entsorgung der Print-Zeitung in den Herstellungsprozess neuer Zeitungen einfließen bzw. ein Teil davon sind. Aus diesem Grund wird auf eine gesonderte Betrachtung der Entsorgung verzichtet.

Für die Berechnungen zur Variante Online-Zeitung wurde auf bereits vorhandene, **hoch-aggregierte** Werte zum Primärenergieaufwand für die Herstellung eines PCs zurückgegriffen. In diesen Werten sind bereits energetische Gutschriften oder Abschläge, die aus dem Entsorgungsprozess resultieren, mitenthalten. Auch hier wird auf eine gesonderte Betrachtung der Entsorgung verzichtet.

Für die Entsorgung eines Lesegerätes auf Basis von e-Paper liegen, da entsprechende Geräte noch nicht hergestellt werden, zwangsläufig keine Daten vor. Es kann nur eine sehr begrenzte Aussage zu der Größe dieser Bilanzlücke gemacht werden. Angesichts des geringen Materialeinsatzes sowie (nach derzeitigem Wissensstand) das Fehlen von größeren Mengen toxischer Stoffe, wie z.B. Blei oder Quecksilber bei CRT- bzw. LCD-Bildschirmen, kann davon ausgegangen werden, dass die Entsorgung „einfacher“ als bei den herkömmlichen Bildschirmen oder anderen elektronischen Geräten sein wird. Das eigentliche Display auf Basis von e-Paper besteht aus mehreren Kunststofflagen, die aus verschiedenen Kunststoffsorten bestehen und die miteinander laminiert werden [E-Ink 2002] [Gelinck 2004]. Eine sortenreine Trennung dieser Kunststoffe und deren Recycling erscheint daher wenig realistisch. Es ist wahrscheinlicher, dass das entsprechende Display der thermischen Verwertung zugeführt werden dürfte, mit dem Ergebnis, dass aus dem Entsorgungsprozess eine energetische Gutschrift in die Gesamtbilanz des Gerätes einfließen würde (jedoch verbunden mit zusätzlichen Emissionen).

#### 4.7 Bilanzraum

Der geografische Bilanzraum ist Deutschland. Ausnahmen davon sind die Herstellungsphasen der meisten PC-Komponenten und –Peripheriegeräte, die hauptsächlich in Südost-Asien gefertigt werden. Zur Produktion von e-Paper können keine geografischen Angaben gemacht werden. Die Herstellung von Zeitungsdruckpapier erfolgt schwerpunktmäßig in Deutschland, einige Quellen berücksichtigen aber auch Standorte in Skandinavien und der Schweiz [Egli 2002].

Der zeitliche Bilanzraum sind im Wesentlichen die Jahre 1998 bis 2004. Abweichend davon basieren die Angaben zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier auf Daten aus Mitte und Ende der 90er Jahre. Die Angaben zu e-Paper basieren auf Fachpublikationen und Unternehmensinformationen aus den Jahren 2002 bis 2004 und bilden den aktuellen Stand der Entwicklung mit einer Verzögerung von 6 bis 12 Monaten ab, d.h. Veröffentlichungen von wichtigen Entwicklungsfortschritten (z.B. in Fachzeitschriften) erfolgen aus Unternehmensgründen mit einer gewissen Verzögerung. Die Angaben zu Computer und Peripheriegeräten basieren auf Daten aus Ende der 90er Jahre.

#### 4.8 Datenquellen

In Anhang A1 sind die verwendeten Daten und ihre Quellen detailliert aufgeführt. Die Daten stammen aus Datenbanken, vorangegangenen Ökobilanzen, eigenen Berechnungen und Abschätzungen, Fachpublikationen und von befragten Experten.

#### 4.9 Qualität und Vollständigkeit der Daten

Aus den Bilanzlücken und Datenquellen zu den einzelnen Zeitungsvarianten, ergibt sich die in der nachfolgenden Tabelle dargestellte Qualität und Vollständigkeit der Daten. Diese ist insbesondere bei der Variante ZeP als niedrig anzusehen, da es sich hier noch um eine Zukunftsvision handelt und vor allem die Modellierung eines entsprechenden Lesegerätes auf Basis von e-Paper große Lücken aufweist. Der Datenstand zu den wichtigsten Prozessen der Variante Print-Zeitung kann als gut angesehen werden. Bei der Online-Zeitung gibt es stark divergierende Angaben zum Energieaufwand für die Herstellung des PCs und zum Energieaufwand für die Datenübertragung via Internet.

	<b>Herstellung</b>	<b>Distribution</b>	<b>Gebrauch</b>
Online-Zeitung (inkl. PC)	+/o	+/o	++
Print-Zeitung	++/++	o	++
ZeP (inkl. Lesegerät)	-/o	-/o	o

**Tabelle 4-3: Qualität und Vollständigkeit der Daten; ++ sehr gut, + gut, o mittel, - schlecht**

#### 4.10 Der kumulierte Energieaufwand – KEA

„Was ist KEA?“

Der **kumulierte Energie-Aufwand (KEA)** ist die Summe aller Primärenergieinputs (inklusive der zur Materialherstellung), die für ein Produkt oder eine Dienstleistung aufgewendet wird. Primärenergien sind Ressourcen wie Erdöl, Sonnen- und Windenergie oder auch Uran, aus denen nutzbare Energieträger wie Heizöl, Benzin, Strom oder Fernwärme erzeugt werden.

Der KEA wird bestimmt, indem für ein bestimmtes Produkt (z.B. Stahl) oder eine Dienstleistung (z.B. warmer Raum, Transport von Gütern) die gesamte Vorkette untersucht und die jeweilig stattfindende Energiemenge ermittelt wird – die Vorketten z.B.

der Stromerzeugung sind die Stromtrassen, die Kraftwerke sowie die Aktivitäten (Prozesse), die zum Betrieb der Kraftwerke notwendig sind (Bergbau, Raffinerien usw.). Auch der Aufwand zur Herstellung der jeweiligen Prozesse muss im KEA mit erfasst werden.

Der KEA wird schon seit den 70er Jahren weltweit als Kennzahl für Energiesysteme verwendet, hat also schon einige Tradition. Anfang der 90er Jahre entwarfen Experten des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) mit Beteiligung des Umweltbundesamts eine Regel zur Bestimmung des KEA, die VDI-Richtlinie 4600. Darin finden sich Erklärungen, Rechenmethoden und Beispiele für KEA-Anwendungen. Sie ist Grundstein für alle heutigen KEA-Arbeiten und präzisiert, was mit dem kumulierten Energieaufwand gemeint ist.

Eine wichtige Rolle spielt der KEA bei der Diskussion um die energetische Amortisationsdauer, also die Zeit, die ein Energiesystem benötigt, um die für seine Herstellung „investierte“ Energie durch die eigene Erzeugung wieder „zurückzuzahlen“.

Die KEA-Richtlinie stellte erstmals deutlich heraus, dass der Primärenergieaufwand auch unter Umweltgesichtspunkten eine wichtige Größe ist. Auch Ökobilanzen brauchen KEA-Daten, da Stoff- und Energieströme die Basis von Sachbilanzen bilden.

Warum KEA?

Kraftwerke und Heizungen, Verkehr und Industrie bewirken eine große Zahl von Umweltwirkungen: saurer Regen, globale Erwärmung, Ozonzerstörung, Abfälle, Bodenerosion, nukleare Risiken.

Ein erheblicher Teil der Umweltprobleme ist ursächlich mit Energie verbunden, und der Energieaufwand, den ein Produkt oder eine Dienstleistung erfordert, lässt sich relativ gut bestimmen. Die Vielzahl von Umweltwirkungen führt bei Ökobilanzen zu hohem Aufwand bei der Datenermittlung und komplexen Methoden bei der Bewertung. Da ein Großteil der Umwelteffekte aus der Energiebereitstellung und –Nutzung resultiert, kann in vielen Fällen der KEA als erster Grobcheck verwendet werden: er liefert zumindest Anhaltspunkte zur ökologischen Bewertung. Für KEA sind zwar ebenfalls Daten erforderlich, die Energiedaten können jedoch gut ermittelt und standardisiert werden.“ Zitiert nach [Oeko 2004]

Der kumulierte Energieaufwand KEA kann demnach als Indikator für die jeweilige Umweltbelastung eines Stoffes, Produktes, Prozesses oder einer Dienstleistung herangezogen werden.

## 5 Berechnung des kumulierten Energieaufwandes – KEA der drei Zeitungsvarianten

### 5.1 Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Print-Zeitung

Als Vergleichsgrundlage dient die Zeitung „Der Tagesspiegel“<sup>8</sup>. „Der Tagesspiegel“ ist eine Tageszeitung (erscheint Montags bis Sonntags) mit einem durchschnittlichen Umfang von ca. 28 Seiten (ohne Werbe- und Sonderbeilagen). Das Verbreitungsgebiet der Auflage ist der Großraum Berlin/ Potsdam und die umliegenden Gebiete. Die durchschnittliche Auflage beträgt 150.000 Exemplare pro Tag. Es handelt sich also eher um eine Zeitung mit regionaler Verbreitung, auch wenn sie im gesamten deutschen Bundesgebiet erhältlich ist.

In die Berechnung fließt ein ganzes Zeitungsexemplar ein. Da der Erwerb nur einer bestimmten Anzahl von Artikel physisch nicht möglich ist, wird nicht allein die funktionelle Einheit „Lesen der Tagesnachrichten – acht Artikel“ zugrundegelegt, sondern ein ganzes Zeitungsexemplar. Des weiteren ist der Energieaufwand für das Lesen der Zeitung nach dem Erwerb nicht mehr gegeben bzw. es wird keine zusätzliche Energie für das Lesen benötigt. Allerdings wird ein Zeitungsexemplar in Deutschland durchschnittlich von 2,2 Lesern gelesen [BDZV 2004]. Ein Zeitungsexemplar wird daher auf alle Leser umgelegt, so dass sich ein Anteil von 45 %<sup>9</sup> pro Leser ergibt.

#### Papierherstellung Zeitungsdruckpapier

Für den kumulierten Energieaufwand – KEA für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier, kurz ZDP, wird auf Daten der ProBas-Datenbank des Umweltbundesamtes zurückgegriffen [ProBas 2004]<sup>10</sup>. Der Wert für den Primärenergieaufwand für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier  $E_{\text{prim,HZdp}}$  wird mit 19,1 MJ/kg angegeben:

$$E_{\text{prim,HZdp}} = 19,1 \text{ MJ/kg}$$

---

<sup>8</sup> „Der Tagesspiegel“ wird auch als elektronische Faksimile-Ausgabe, die auch als „E-Paper“ bezeichnet wird, herausgegeben. Diese dient als Vergleichsgrundlage bei der Betrachtung und Berechnung der Online-Zeitung (siehe auch Kap. 5.2 Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Online-Zeitung’).

<sup>9</sup> 100% : 2,2 Leser = 45%

<sup>10</sup> Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse werden auch alternative Angaben zum Primärenergieverbrauch für die Herstellung von ZDP betrachtet (siehe dazu Kap. 6.1 ‚Sensitivitätsanalyse der Variante Print-Zeitung’).

### Druckprozess

Der Primärenergieaufwand für den Druckprozess ergibt sich aus dem Strombedarf<sup>11</sup> und dem verwendeten Zeitungsdruckpapier<sup>12</sup>. Es liegen keine Daten für den Primärenergieaufwand für die Druckerschwärze und für andere Verbrauchsmaterialien im Druckprozess vor, diese werden deshalb nicht mitberücksichtigt (siehe auch Kap. 4.6 ‚Bilanzlücken‘). Für den Primärenergieaufwand des Druckprozesses  $E_{\text{prim,Dr}}$  ergeben sich 2,8 MJ/kg:

$$E_{\text{prim,Dr}} = 2,8 \text{ MJ/kg}$$

### Papierherstellung ZDP, anteilig für ein Zeitungsexemplar

Die durchschnittliche Masse eines Exemplars  $m_{\text{ZE}}$  der hier betrachteten Zeitung „Der Tagesspiegel“ beträgt 0,15 kg. Daraus errechnet sich der anteilige Primärenergieaufwand für die Herstellung eines Zeitungsexemplars  $E_{\text{prim,PH,ZE}}$  in Höhe von 2,9 MJ:

$$E_{\text{prim,PH,ZE}} = m_{\text{ZE}} * E_{\text{prim,HZdp}}$$

### Druckprozess, anteilig für ein Zeitungsexemplar

Analog ergibt sich der anteilige Primärenergieaufwand für den Druck eines Zeitungsexemplars  $E_{\text{prim,Dr,ZE}}$  mit 0,4 MJ:

$$E_{\text{prim,Dr,ZE}} = m_{\text{ZE}} * E_{\text{prim,Dr}}$$

### Transport/ Vertrieb

Die Distribution der Zeitung ergibt sich aus dem zurückgelegten Weg zwischen Druckerei und Käufer/ Leser. Da es sich bei dem „Tagesspiegel“ um eine Zeitung mit hauptsächlich regionaler Verbreitung handelt, wird von einer durchschnittlichen Transportstrecke  $T_Z$  von 50 km ausgegangen. Als Transportmittel dient ein LKW<sup>13</sup> mit einem Primärenergieaufwand für den Transport  $E_{\text{prim,LKW}}$  in Höhe von 2,95 MJ/tkm<sup>14</sup>. Der Primärenergieaufwand für den Transport eines Zeitungsexemplars  $E_{\text{prim,T,ZE}}$  beträgt 0,02 MJ:

$$E_{\text{prim,T,ZE}} = m_{\text{ZE}} * E_{\text{prim,LKW}} * T_Z$$

---

<sup>11</sup> 11 Wh/m<sup>2</sup> [ZDL 2003]

<sup>12</sup> 42,5 g/m<sup>2</sup> [ZDL 2003] [Klement, Dyllick 2000]

<sup>13</sup> Durchschnittlicher LKW-Mix Deutschland über 3,5 t [ProBas 2004]

<sup>14</sup> tkm: Tonnen-Kilometer

### Entsorgung

Das in Deutschland verwendete Zeitungsdruckpapier wird zu einem sehr hohen Teil aus Recyclingpapier hergestellt (Altpapiereinsatzquote bis zu 100 %<sup>15</sup>) [Klement, Dyllick 2000] [ZDL 2003] [ZDL 2004]. Dieser Anteil, wie auch Energiegewinne durch thermische Verwertung, fließen bereits in den Primärenergieaufwand für die Herstellung des Zeitungsdruckpapiers ein und werden hier nicht gesondert betrachtet [ProBas 2004].

### Bilanz

Die Bilanz für ein Zeitungsexemplar ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

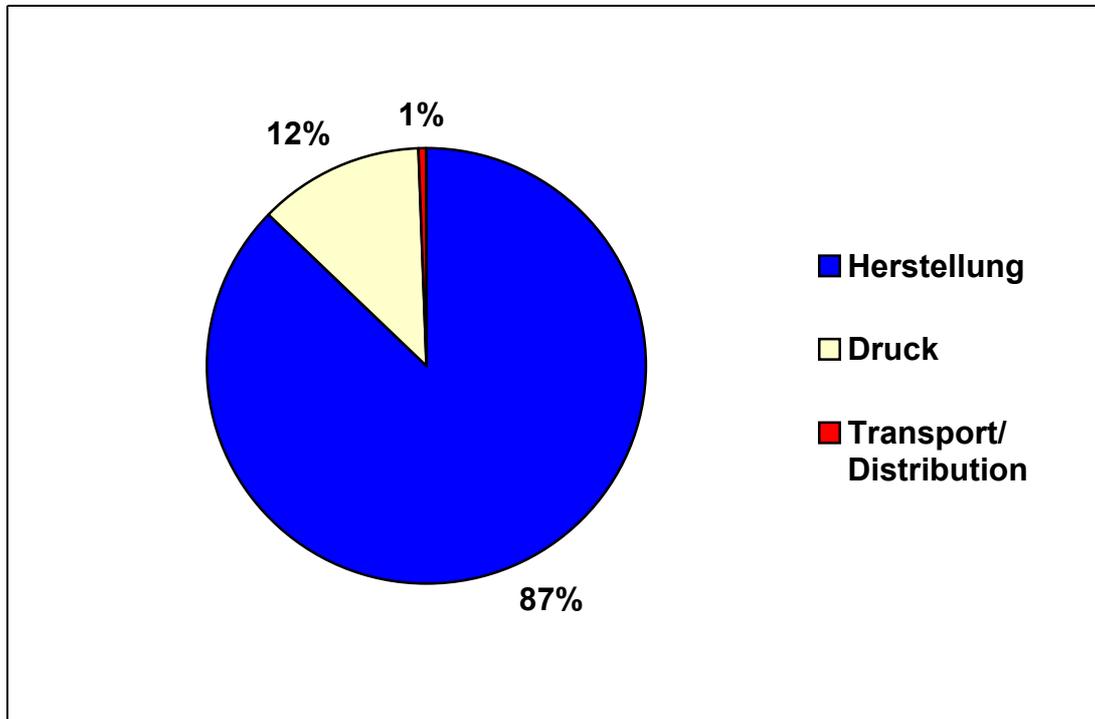
Prozess/ Abschnitt	Primärenergieaufwand Zeitungsexemplar
Herstellung Papier ( $E_{\text{prim,PH,ZE}}$ )	2,9 MJ
Druck Zeitung ( $E_{\text{prim,Dr,ZE}}$ )	0,4 MJ
Transport Zeitung ( $E_{\text{prim,T,ZE}}$ )	0,02 MJ
Gesamt (KEA) ( $E_{\text{prim,ZE}}$ )	3,3 MJ
Anteilig (pro Leser)	1,5 MJ <sup>16</sup>

**Tabelle 5-1: Der kumulierte Energieaufwand für das Lesen der Variante Print-Zeitung**

<sup>15</sup> „... Die Altpapiereinsatzquote ist das Verhältnis von eingesetztem Altpapier zu produziertem Neupapier. Die Altpapiereinsatzquote ist jedoch nicht sehr aussagekräftig als Kennzeichnung, da in der Altpapiereinsatzmenge auch all die Verluste enthalten sind, die bei der Aufbereitung des Altpapiers anfallen. Daher bedeutet eine Altpapiereinsatzquote von rund 100% **nicht**, dass 100% der Fasern in den Neupapieren rezyklierte Fasern sind (Bsp.: Soll aus 100 kg Altpapier neues Papier hergestellt werden und fallen dabei Verluste von 40% an, erhält man nur 60 kg Sekundärfasern. 100 kg neues Papier kann nur unter Zusatz von 40 kg Frischfaser hergestellt werden. Die Altpapiereinsatzquote wäre in diesem Fall aber 100%, weil man 100 kg Altpapier eingesetzt hat, um 100 kg Neupapier zu erzeugen).“ zitiert nach [Klement, Dyllick 2000]

<sup>16</sup> 3,31 MJ \* 0,45 = 1,49

Aus Abbildung 5-1 wird deutlich, dass der Herstellungsprozess für das Zeitungsdruckpapier mit 87% den höchsten Anteil am Gesamtenergieaufwand eines Zeitungsexemplars hat, während der Transport praktisch keine Rolle spielt.



**Abbildung 5-1: Anteile der einzelnen Prozesse am kumulierten Energieaufwand eines Zeitungsexemplars**

Aufgrund einer Quote von 2,2 Lesern pro Zeitungsexemplar, ergibt sich ein Zeitungsanteil von 45% pro Leser. Daraus resultiert:

Der anteilige kumulierte Energieaufwand (KEA) für das Lesen der Tagesnachrichten (funktionelle Einheit) der Print-Zeitung beträgt 1,5 MJ.

## **5.2 Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Online-Zeitung**

Als Vergleichgrundlage dient die elektronische Faksimile-Ausgabe der Zeitung „Der Tagesspiegel“. Es handelt sich dabei um eine originalgetreue elektronische Wiedergabe der Print-Ausgabe, die auch als „E-Paper“ bezeichnet wird. Um eine eindeutige begriffliche Zuordnung und eine definitorische Abgrenzung zum s.g. elektronischem Papier (e-Paper) zu gewährleisten, wird hier nur der Begriff „Online-Zeitung“ weiterverwendet.

Das Layout, die Größe und der Inhalt der Online-Zeitung sind mit denen der Print-Zeitung identisch – das bedeutet aber auch, dass der Informationsinhalt nicht tagesaktu-

ell, sondern wie bei der Print-Zeitung einen Nachrichtenrückblick auf den vorherigen Tag bietet.

Wie die Print-Ausgabe, ist die Online-Zeitungsausgabe auch kostenpflichtig – im Gegensatz zum normalen Internet-*Nachrichtenangebot*<sup>17</sup>. Der Leser hat die Möglichkeit, die Gesamtausgabe in Originalgröße im PDF-Dateiformat auf seinem PC zu speichern (durchschnittliche Dateigröße 10 MB<sup>18</sup>) und ohne ständige Verbindung mit dem Internet (offline) zu lesen, jedoch nicht auszudrucken. Daneben besteht die Möglichkeit, die Zeitung auch im Original-Erscheinungsbild online im Internet zu lesen. Jede Zeitungsseite wird zur Übersicht in einem an die Bildschirmgröße angepassten bzw. verkleinerten Format dargestellt. Der Leser hat dann die Möglichkeit, einzelne Artikel anzuwählen und in einer vergrößerten Ansicht zu lesen. Dabei steht zum einen eine reine (HTML-) Textversion des redaktionellen Beitrages zur Auswahl, zum anderen kann aber auch der gewählte Beitrag in seinem originalen Erscheinungsbild und –Größe als Bild (im JPEG-Format<sup>19</sup>) gelesen werden. Die einzelnen Zeitungsartikel können, im Gegensatz zu den ganzen Seiten der PDF-Ausgabe, auch ausgedruckt werden.

Unabhängig von der Online-Ausgabe, gibt es auf den Internet-Seiten des Tagesspiegels auch tagesaktuelle Nachrichten. Diese besitzen jedoch nicht das bekannte Erscheinungsbild der Zeitung, die redaktionellen Beiträge sind meistens kürzer als in der Print-Ausgabe und werden von einer eigenen Redaktion betreut. Viele der Artikel bieten zudem Hinweise auf weiterführende Informationen in Form von Internetlinks – diese Option ist bei der Online-Zeitung nicht gegeben.

---

<sup>17</sup> Dabei handelt es sich um frei zugängliche Nachrichtenmeldungen auf den Internetseiten der Zeitung, die mehrmals täglich aktualisiert werden, sich jedoch redaktionell und vom Aussehen von der gedruckten Zeitung unterscheiden.

<sup>18</sup> PDF-Ausgaben von anderen Zeitungen, wie die in Wien erscheinende „Die Presse“ oder die „Süddeutsche Zeitung“, erreichen eine Größe von 6 bzw. 14 MB.

<sup>19</sup> JPEG: Joint Photographic Experts Group; gebräuchliches Dateiformat für grafische Darstellungen

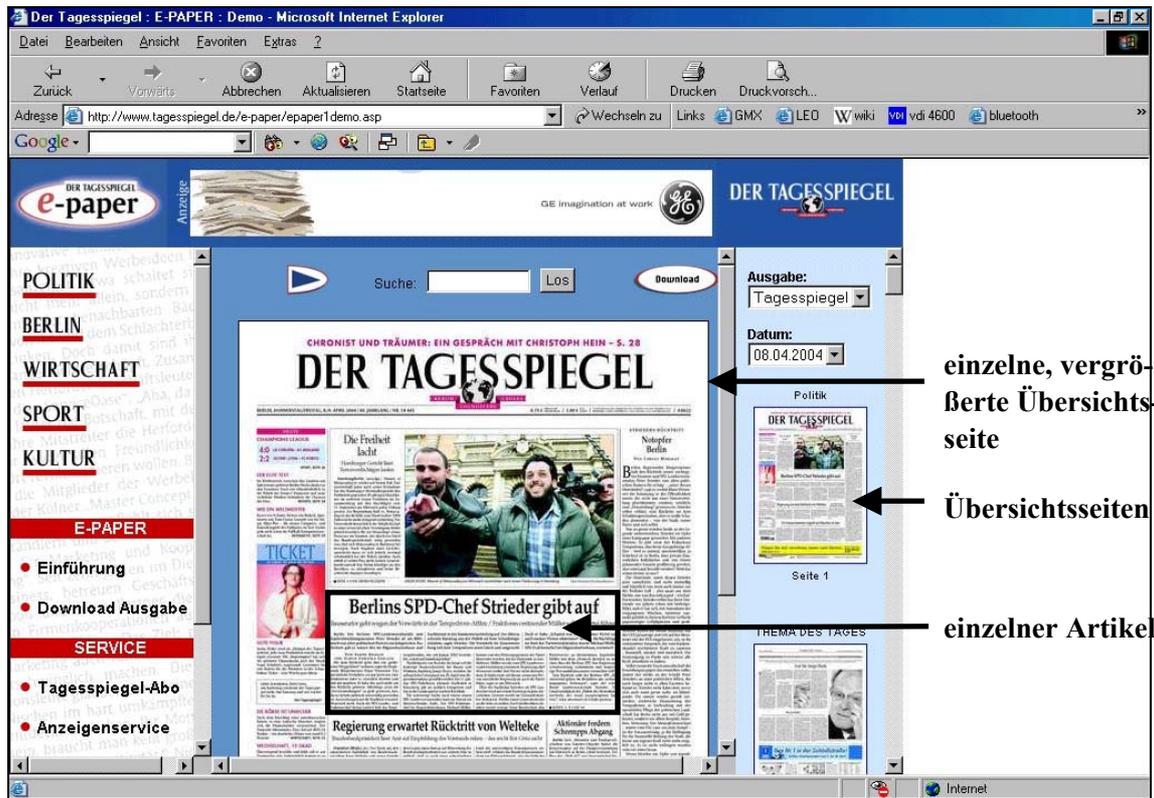


Abbildung 5-2: Aufbau und Erscheinungsbild der Online-Ausgabe (genannt „E-Paper“) der Zeitung „Der Tagesspiegel“

### Herstellung

Einen Herstellungsprozess im eigentlichen Sinne gibt es bei der Online-Zeitung nicht. Die für die Online-Zeitung benötigten Daten werden im Prozess der Erstellung der digitalen Druckvorlagen zum Teil automatisch generiert und müssen nur noch für die Darstellung im Internet aufbereitet werden. Diese Daten werden anschließend auf dem Internet-Server der Zeitung abgelegt. Der aus dem Erstellen des Layouts und der Druckvorlagen resultierende Energiebedarf, z.B. der anteilige Stromverbrauch der eingesetzten PCs, fließt in die Bilanz nicht mit ein bzw. kann nicht ermittelt werden.

### Vertrieb/ Distribution

Um die Online-Zeitung zugänglich zu machen, werden die Daten auf einem Webserver abgelegt, wo sie von den Lesern abgerufen werden können. Diese nehmen über ihren PC und via Internet Zugriff auf die Online-Zeitung.

Es wird auf zwei Studien mit Berechnungen zum Energieaufwand für die Übermittlung einer bestimmten Datenmenge via Internet zurückgegriffen [Plätzer 1998], [Reichart; Hischier 2001].

Plätzer [1998] berechnet den Energiebedarf für die Übermittlung von Daten via Internet auf Basis des Deutschen Wissenschaftsnetzes B-Win<sup>20</sup>. Er geht davon aus, dass der Aufbau des B-Win (bestehend aus Router, Switches etc.) dem typischen Aufbau der anderen Teilnetze des Internets entspricht und somit als Modell für das gesamte Internet dienen kann. Der aus der Berechnung resultierende Primärenergieaufwand für die Datenübertragung beträgt 0,22 MJ/MB.

Reichart und Hischier [2001] untersuchten mittels s.g. Tracer-Software<sup>21</sup>, welche Stationen (i.e. Router, Switches etc.) ein Datenpaket von dem Server des Zeitungsverlages bis zum PC des Lesers nimmt und betrachteten die in Anspruch genommene Infrastruktur. Der sich aus diesen Berechnungen ergebende Primärenergieaufwand  $E_{\text{prim,MB,EMPA}}$  beträgt 1,1 MJ/MB.

$$E_{\text{prim,MB,EMPA}} = 1,1 \text{ MJ/MB}$$

Dieser Wert wird für die weitere Berechnung hier verwendet, im Rahmen der Sensitivitätsanalyse (siehe Kap. 6.2 ‚Sensitivitätsanalyse der Variante Online-Zeitung‘) wird auch eine auf dem Wert von Plätzer [1998] basierende Berechnung vorgenommen.

Der Vergleich der zwei Datenquellen und der Art der jeweiligen Datenerhebung verdeutlichen, dass große Unsicherheit darin besteht, welcher Energiebedarf aus dem Versenden von Informationen über das Internet resultiert.

Zusätzlich zu den übertragenen (Nutz-) Daten kommt ein s.g. Daten-Overhead hinzu. Dieser resultiert aus den verwendeten Übertragungs-Protokollen<sup>22</sup> und beinhaltet u.a. Informationen, die für die Weiterleitung der einzelnen Datenpakete benötigt werden. Für die Übertragung reiner HTML-Daten wird der Overhead von Reichart und Hischier [2001] mit 100% und von Plätzer [1998] mit 2,03 kB/ kB Nutzdaten<sup>23</sup> angegeben. Angaben zum Overhead für die Übertragung von ganzen Dateien (z.B. PDF-, Text- oder Bild-Dateien) sind nicht bekannt bzw. vorhanden.

---

<sup>20</sup> Heute: G-Win

<sup>21</sup> Tracen bedeutet die Verfolgung des Weges über die angesprochenen Netzknoten, die ein Datenpaket passiert hat.

<sup>22</sup> TCP/IP: Transfer Control Protocol/ Internet Networking Protocol; ATM: Asynchronous-Transfer-Mode

<sup>23</sup> Niemeyer 1997 zitiert in [Plätzer 1998], S.107; nicht-verifizierbare Quelle

### Berechnung Datenübertragung

Es werden, entsprechend der funktionellen Einheit, acht Artikel gelesen. Die gesamte Nutzungszeit für das Auffinden und Lesen der Artikel beträgt 20 Minuten<sup>24</sup>. Es wird weiter davon ausgegangen, dass von den Übersichtsseiten der Online-Zeitung (durchschnittlich 28 Seiten), die Hälfte aufgerufen werden muss (14 Seiten), um die gewünschten Artikel zu finden. Beschränkt sich der Leser nicht nur auf die reine HTML-Textversion der Meldungen, sondern werden die Artikel auch im originalen Erscheinungsbild (als JPEG-Bild) gelesen, so werden zusätzliche Datenmengen übertragen. Für die vorliegende Berechnung wird davon ausgegangen, dass nur die Textversion verwendet wird. Eine vergleichende Betrachtung auf Basis der alternativen Datenformate (Artikel im JPEG-Format und PDF-Gesamtausgabe) findet im Rahmen der Sensitivitätsanalyse statt (siehe dazu Kap. 6.2 ‚Sensitivitätsanalyse der Variante Online-Zeitung‘).

Aus der Datengröße der Übersichtsseiten  $D_{\text{ÜS}}$  in Höhe von 0,7 MB, der Artikel  $D_{\text{ZA}}$  in Höhe von 0,075 MB und des Daten-Overheads  $D_{\text{DO}}$  in Höhe von 0,075 MB resultiert eine Gesamtdatenmenge  $D_{\text{ges,HTML}}$  in Höhe von 0,85 MB:

$$D_{\text{ges,HTML}} = D_{\text{ÜS}} + D_{\text{ZA}} + D_{\text{DO}}$$

Daraus ergibt sich ein Primärenergieaufwand für die Datenübertragung  $E_{\text{prim,DA}}$  in Höhe von 1 MJ:

$$E_{\text{prim,DA}} = D_{\text{ges,HTML}} * E_{\text{prim,MB,EMPA}}$$

### Lesen der Online-Zeitung auf dem PC

Für das Abrufen und Lesen der Online-Zeitung wird ein handelsüblicher PC vorausgesetzt (siehe Tab. 4-2 ‚Produktsysteme und Rahmenbedingungen...‘).

Der Energieaufwand für das Lesen der Online-Zeitung setzt sich aus dem Stromverbrauch des Computers und dem anteiligen Energieaufwand für die Herstellung des PCs zusammen.

Der anteilige Energieaufwand für die Herstellung des PCs lässt sich aus dem Verhältnis der Gesamtlebenszeit des PCs zur Nutzungszeit für das Lesen der Online-Zeitung berechnen. Die Gesamtlebenszeit eines PCs beträgt 4 Jahre (entspricht 1460 Tagen) [Reichart; Hischier 2001]; [Dreier 2000].

---

<sup>24</sup> Eigene Berechnungen; angenommen wird eine Anbindung des PCs an das Internet mittels einer Breitbandverbindung (z.B. DSL – Digital Subscriber Line, mit einer Datenübertragungsrate von bis zu 768 kBit/s (96 kByte/s) [Türk 2003] )

Die tägliche Internetnutzungszeit wird mit 138 Minuten (entspricht 2,3 Stunden) [Eimeren 2003] und die tägliche Zeit für das Lesen der Online-Zeitung mit 20 Minuten (entspricht 0,33 Stunden) angesetzt. Daraus ergibt sich für das Lesen der Online-Zeitung einen Anteil von 14,5% an der täglichen Gesamtnutzungszeit.

Der Primärenergieaufwand für die Herstellung eines PCs wird von Reichart und Hirschier [2001] mit 4000 MJ angegeben, von Dreier [2000] jedoch mit 9500 MJ. Obwohl diese zwei Angaben sehr stark voneinander abweichen, sollen beide berücksichtigt werden. Die Angaben von Dreier werden im Kap. 6.2 ‚Sensitivitätsanalyse der Variante Online-Zeitung‘ betrachtet.

Bei einer Lebensdauer von vier Jahren ergibt sich ein anteiliger Primärenergieaufwand  $E_{\text{prim,PC,d}}$  von 2,7 MJ pro Tag.

$$E_{\text{prim,PC,d}} = 2,7 \text{ MJ/d}$$

Bei einer Nutzungszeit von 2,3 Stunden, entfallen die 2,7 MJ vollständig auf diese 2,3 Stunden. Bei einer täglichen Lesedauer der Online-Zeitung von 20 Minuten (entspricht 0,33 Stunden oder 15% der täglichen Nutzungszeit), ergibt sich der anteilige Primärenergieaufwand für die Herstellung des PCs  $E_{\text{prim,PC,anteilig}}$  in Höhe von 0,4 MJ:

$$E_{\text{prim,PC,anteilig}} = E_{\text{prim,PC,d}} * 0,15$$

	Nutzungszeit	Anteiliger Primärenergieaufwand
PC gesamt	4 Jahre/ 1460 Tage	4000 MJ
Tägliche Internetnutzung PC	138 Minuten/ 2,3 Stunden	2,7 MJ/Tag
Lesen Online-Zeitung	20 Minuten/ 0,33 Stunden	0,4 MJ

**Tabelle 5-2: Nutzungsintensität und anteiliger Energieaufwand für das Lesen der Online-Zeitung auf dem PC**

Die Leistungsaufnahme des PCs  $P_{\text{PC}}$  wird mit  $175 \text{ W}^{25}$  angesetzt. Die Lesedauer  $t_{\text{lesen,OZ}}$  beträgt 20 Minuten (entspricht 0,33 Stunden). Der Stromverbrauch  $V_{\text{PC}}$  für das Lesen der Online-Zeitung beträgt 0,06 kWh:

$$V_{\text{PC}} = P_{\text{PC}} * t_{\text{lesen,OZ}}$$

<sup>25</sup> Verschieden Datenquellen, siehe Tab. 8-1 ‚Datenquellen‘ in Anhang A1

Daraus ergibt sich der Primärenergieaufwand für den Gebrauch des PCs  $E_{\text{prim,geb,PC}}$  (unter Berücksichtigung des Stromerzeugungswirkungsgrades  $\eta_{\text{SE}} = 0,33$  [Arlt 2003]) in Höhe von 0,6 MJ:

$$E_{\text{prim,geb,PC}} = V_{\text{PC}} : \eta_{\text{SE}} * 3,6^{26}$$

*Anmerkung: Der Gesamtenergieaufwand für das Lesen der Nachrichten  $E_{\text{prim,lesen,ges}}$  beträgt 1 MJ und ergibt sich aus:*

$$E_{\text{prim,lesen,ges}} = E_{\text{prim,PC,anteilig}} + E_{\text{prim,geb,PC}}$$

### Bilanz

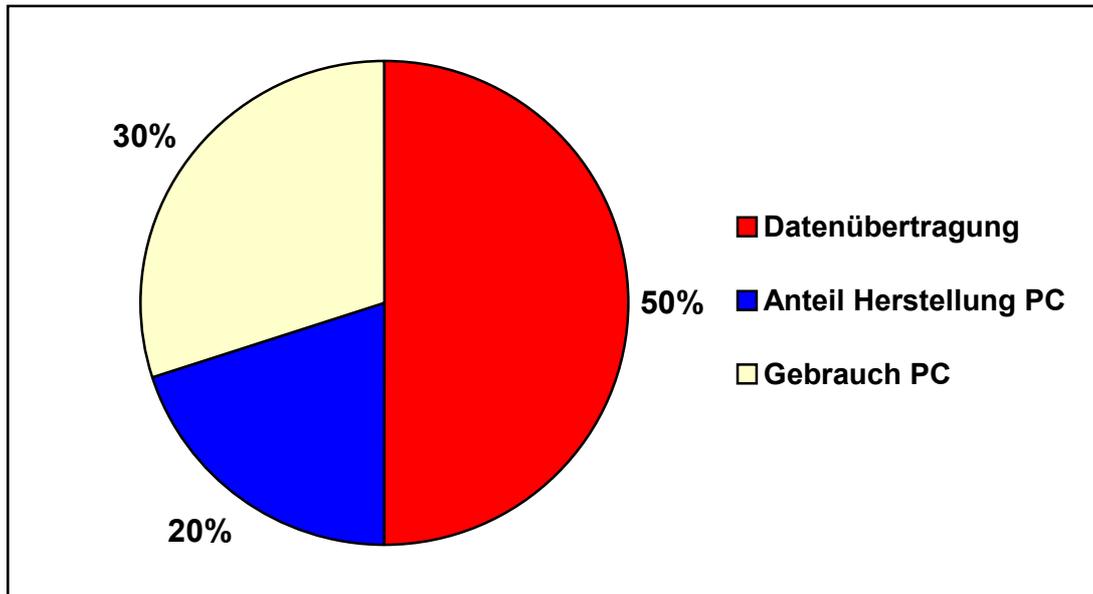
Die Bilanz für das Lesen der Tagesnachrichten der Online-Ausgabe der Zeitung „Der Tagesspiegel“ ist in der unterstehenden Tabelle zusammengefasst.

Prozess/ Abschnitt	Primärenergieaufwand Online-Zeitung
Datenübertragung ( $E_{\text{prim,DA}}$ )	1 MJ
Anteil Herstellung PC ( $E_{\text{prim,PC,anteilig}}$ )	0,4 MJ
Gebrauch PC ( $E_{\text{prim,geb,PC}}$ )	0,6 MJ
Summe (KEA)	2 MJ

**Tabelle 5-3: Der kumulierte Energieaufwand für das Lesen der Variante Online-Zeitung**

Aus Abbildung 5-3 wird ersichtlich, dass die Datenübertragung mit 50% den größten Anteil am Gesamtenergieaufwand für das Lesen der Online-Zeitung hat. Aber auch der Stromverbrauch des PCs sowie der anteilige Energieaufwand für die Herstellung des PCs tragen mit 30% bzw. 20% nicht unwesentlich zum Gesamtergebnis bei.

<sup>26</sup> Umrechnungsfaktor kWh in MJ: 1 kWh = 3,6 MJ



**Abbildung 5-3: Anteile der einzelnen Prozesse am Gesamtenergieaufwand für das Lesen der Tagesnachrichten der Online-Zeitung „Der Tagesspiegel“**

Der kumulierte Energieaufwand für das Lesen der Tagesnachrichten (entsprechend der funktionelle Einheit) der Online-Zeitung beträgt 2 MJ.

### 5.3 Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP

#### Modellierung e-Paper

Da ein am Markt erhältliches Wiedergabegerät auf Basis von e-Paper noch nicht existiert<sup>27</sup>, wird hier ein mögliches Funktionsdesign angenommen und modelliert. Das Design basiert auf bereits vorgestellte Designstudien und Ankündigungen von Herstellern. So stellte IBM bereits 1999 einen (nicht funktionsfähigen) Prototypen einer elektronischen Zeitung vor, bei dem das folienartige Display bei Nichtgebrauch in das Gehäuse automatisch aufgerollt wird.

---

<sup>27</sup> Ein Wiedergabe-Gerät mit Papier-ähnlichen Eigenschaften: geringe Dicke, Verformbarkeit, großformatig, sehr niedriger Stromverbrauch.



**Abbildung 5-4: IBM, Prototyp einer elektronische Zeitung, Quelle: IBM**

Polymervision (eine Ausgründung von Philips) und Siemens stellten funktionsfähige Prototypen auf Basis von dünnen Kunststofffolien vor, allerdings in kleineren Formaten. Alle diese Prototypen besitzen das gemeinsame Merkmal, dass das Display zum Lesen aus einem Gehäuse herausgezogen wird. Gleichzeitig befindet sich in dem Gehäuse die Steuerelektronik, die Stromversorgung (z.B. ein Akku) und ein Modul für die Datenübertragung (Bluetooth, USB<sup>28</sup> etc.) [Polymervision 2004].

Die Firma E-Ink verfolgt das Ziel, s.g. RadioPaper<sup>TM</sup> zu entwickeln – ein auch als Zeitung verwendbares Wiedergabegerät, das über Funk mit Inhalten versorgt wird [E-Ink 2002].



**Abbildung 5-5: e-Paper-Lesegeräte von Polymervision/ Philips (li.) und Siemens (re.), Quellen: Polymervision, Siemens**

<sup>28</sup> Bluetooth: Funkstandard (IEEE 802.15.1-2002) für die Übertragung von Daten im Nahbereich bis 10 m, Datenübertragungsrate bis zu 723 kBit/s; USB: Universal Serial Bus, Datenübertragungsrate von 1,5 bis 500 Mbit/s

Aufgrund der hier vorgestellten Prototypen, wird davon ausgegangen, dass auch ein Wiedergabegerät für die Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP ein ähnliches Design besitzen könnte.

Es wird keine der in Kap. 3 ‚Neue Displaytechnologien – Technologien und Akteure‘ beschriebenen Technologien explizit angenommen und betrachtet. Da die einzelnen Technologien einen ähnlichen Aufbau besitzen (Kunststofffolien, (Toner-) Partikel, Flüssigkeiten), wird für das Display ein allgemein gehaltenes Design angenommen.

Die Nutzung von Multimedia-Inhalten, wie z.B. Ton- und Videowiedergabe sowie eine Anbindung an das Internet, würde eine Hardware- und Software-Architektur voraussetzen, die eher einem kleinen mobilen Multifunktionsgerät (z.B. einem PDA) entsprechen würde. Dies würde jedoch mit einem ungleich höheren Energieverbrauch und auch anderen Nutzungsmustern, die nicht dem Lesen einer Zeitung entsprechen, einhergehen. Daher wird in dieser Arbeit von einem proprietären Lesegerät auf Basis der ersten Generation(en) von e-Paper ausgegangen, welches allein oder vorwiegend für die Wiedergabe von Zeitungsinhalten genutzt wird und auch noch nicht in der Lage ist z.B. Videoinhalte wiederzugeben (vgl. Kap. 3.7 ‚Ausblick auf zukünftige Entwicklungen‘).

Die Gesamtnutzungsdauer des Lesegerätes wird mit 2 Jahren angenommen. Da es sich bei elektronischem Papier um eine sehr junge Technologie handelt, muss davon ausgegangen werden, dass auch nach der Markteinführung erster Geräte auf Basis von e-Paper, die Entwicklung der entsprechenden Technologien weiterhin sehr schnell voranschreiten wird und verbesserte Geräte von verschiedenen Herstellern in kurzen Abständen auf den Markt erscheinen werden (und es zu einem ähnlichen Szenario wie bei Mobiltelefonen kommen könnte, nämlich ein Austausch der Geräte in kurzen Abständen, ohne dass diese ihr Lebensende erreicht haben). Des Weiteren wird von einem persönlichen Gerät (z.B. analog zu Mobiltelefonen) ausgegangen, d.h. jeder Leser besitzt ein eigenes Lesegerät, so dass ein ZeP-Exemplar auf je einen Leser entfällt (im Gegensatz zur Print-Zeitung, die durchschnittlich von 2,2 Lesern genutzt wird, vgl. dazu Kap. 5.1 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Print-Zeitung‘).

In einer Untersuchung zur Akzeptanz von ZeP, wurde die Darstellung von Inhalten im DIN A3 Format als bevorzugtes Format ermittelt [Zinnbauer 2002]<sup>29</sup>. Ausgehend von diesem Format werden die restlichen Komponenten modelliert. Zusätzlich zum eigentlichen Lesegerät, müssen noch die Verpackung und das Ladegerät für den Akku berücksichtigt werden (Berechnung siehe Anhang A2).

---

<sup>29</sup> Anm.: Die Zeitungsformate in Deutschland orientieren sich nicht an der DIN-Abstufung. Die gebräuchlichsten Formate sind das nordische (400 x 570 mm), das rheinische (360 x 530 mm) und das Berliner Format (315 x 470 mm); zum Vergleich DIN A3: 297 x 420 mm.

Teilsystem	Bestehend aus	Masse
Display/ e-Paper	Polyester (PET)	0,05 kg
Gehäuse	Kunststoff (ABS)	0,05 kg
(Steuer-) Elektronik inkl. Datenspeicher	Bestückte Platine	0,02 kg
Energieversorgung	Lithium-Ionen-Akku	0,02 kg
Datenverbindung	Datenfunk-Modul (bestückte Platine)	In ‚(Steuer-) Elektronik‘ mitenthalten
Ladegerät	Schaltnetzteil + Kabel	0,05 kg
Verpackung	Karton	0,05 kg

**Tabelle 5-4: Zusammensetzung eines ZeP-Lesegerätes auf Basis von e-Paper (Annahme)**

Das hier angenommene Design sähe folgendermaßen aus: In einem Kunststoffgehäuse befindet sich das zusammengerollte e-Paper-Display, das zum Lesen herausgezogen werden kann; in dem Gehäuse befinden sich zusätzlich die Energieversorgung in Form eines Lithium-Ionen-Akkus, ein Teil der (Steuer-) Elektronik für das Display, der Datenspeicher (z.B. Flash-Speichermodul) sowie ein Datenfunkmodul für den Datenempfang. Zum Betrieb des Gerätes wird noch ein Ladegerät benötigt sowie die Verpackung (Karton) für den Vertrieb bzw. Verkauf.

### **Modellierung Datenübertragung**

Über die Art und Weise der Übertragung von Inhalten einer ZeP von der Zeitungsredaktion auf das Wiedergabegerät liegen bisher keine Daten vor. Zwar strebt die Firma E-Ink die Entwicklung eines s.g. RadioPaper™ an, das die Inhalte über Funk erhalten soll, nennt aber keine konkrete Technologie, mit der die Datenübertragung stattfinden soll [E-Ink 2002]. Polymervision [2004] integriert in seine e-Paper-Prototypen ein Datenfunkmodul nach dem Bluetooth-Standard. Bluetooth ist jedoch nur für den Nahbereichsfunk bis 10 m ausgelegt – das bedeutet, dass für die Übertragung der Inhalte von der Zeitungsredaktion bis zu einem Bluetooth-Sendemodul zusätzliche Übertragungs-Infrastruktur nötig ist.

Neben einer Festnetz-gebundenen, teilmobilen Übertragung via Internet bis zu einem Bluetooth-Sendemodul (das z.B. in einem PC oder Laptop integriert ist), kommt auch eine Übertragung über das Mobilfunksystem (z.B. über UMTS<sup>30</sup>) in Frage [Zinnbauer 2002] [Karla 2004b].

Daraus resultieren zwei Distributions- und Rezeptionsarten: Eine an eine immobile oder teilmobile Infrastruktur (Internet, PC) gebundene Datenübertragung sowie eine auf mobile Geräte aufbauende Datenübertragung (Mobilfunk-Telefon, UMTS-Mobilfunknetz).

Dies bedeutet aber auch, dass bei der Festnetz-gebundenen Datenübertragung nur dann der Inhalt auf das Lesegerät übertragen werden kann, wenn der Nutzer sich in der Nähe eines entsprechenden Gerätes (PC, Laptop) aufhält. Daraus resultiert eine Abhängigkeit des Nutzers von einer ortsgebundenen Infrastruktur – die Möglichkeit, jederzeit und an jedem Ort die gewünschten Informationen zu empfangen, ist nicht gegeben. Dies wird aber von potentiellen Nutzern von ZeP als entscheidendes Merkmal angesehen [Mallik 2004].

Bei der auf Mobilfunk aufbauenden Datenübertragung muss vorausgesetzt werden, dass der Nutzer ein entsprechendes Mobilfunk-Telefon besitzt (inkl. Bluetooth-Schnittstelle). Es wird davon ausgegangen, dass der UMTS-Standard – aufgrund der relativ hohen Datenübertragungsraten – am besten geeignet ist, größere Datenmengen zu übertragen. Allerdings dürften, zusätzlich zu den Bezugskosten der ZeP, weitere Kosten für die Übertragung über das UMTS-Mobilfunknetz entstehen. Diese Lösung bietet aber den Vorteil, die entsprechenden Informationsinhalte überall und jederzeit beziehen zu können<sup>31</sup>, d.h. nicht ortsgebunden zu sein.

An dieser Stelle muss natürlich hinterfragt werden, welche der zwei hier angesprochenen Distributionsmöglichkeiten den größeren Nutzen für einen potentiellen Leser besitzt bzw. dessen Nutzungsprofil entspricht.

Wird die (bisherige, konventionelle) Zeitung morgens auf dem Weg zur Arbeit und dann vielleicht noch in der Mittagspause und auf dem Rückweg nach Hause gelesen, so könnte der Inhalt der ZeP früh am Morgen von einem PC auf das Lesegerät (z.B. auch automatisch gestartet) übertragen werden und für eine etwaige Nachrichten-Aktualisierung auf der Arbeitstelle nochmals mit einem entsprechendem Gerät (PC)

---

<sup>30</sup> UMTS: Universal Mobile Telecommunication System; Datenübertragungsrate bis zu 384 kBit/s bzw. 768 kBit/s (spätere Ausbaustufen), theoretisch bis zu 2 Mbit/s

<sup>31</sup> Es wird davon ausgegangen, dass das UMTS-Netz bis zum Zeitpunkt des Erscheinens von Zeitung auf elektronischem Papier flächendeckend verfügbar sein wird.

verbunden werden (siehe dazu Kap. 6.3 ‚Sensitivitätsanalyse der Variante Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP‘).

Die Distribution über das Mobilfunknetz wäre für diejenigen Leser von Nutzen, die kein festes „Lese-Ritual“ besitzen, also nicht immer zur gleichen Zeit und am gleichen Ort ihre Zeitung lesen bzw. beziehen sowie für Personen, die im Tagesverlauf keinen (ständigen oder regelmäßigen) Zugriff auf das Internet (über PC, Laptop etc.) haben.

Aus diesen Gründen sollen beide Möglichkeiten parallel weiterbetrachtet werden.

WLAN (Wireless Local Area Network) wird hier nicht näher betrachtet, da es sich im Grunde auch um ein Festnetz-gebundenes System handelt, das (vereinfacht gesagt) nur eine drahtlose Verbindung eines Endgerätes (PC, Laptop, PDA) über ein WLAN-Modem zum Festnetz oder zu anderen Netzen erlaubt. Die Reichweite von WLAN beträgt maximal 100 m und beherrscht nicht, im Gegensatz zu den Mobilfunksystemen, das s.g. „Handover/ Handoff“ – das Weiterreichen eines Nutzers an eine andere Basisstation, sollte dieser den Sendebereich der aktuell genutzten Basisstation verlassen.

Neben der Art und Weise der Datenübertragung, spielt auch das Datenformat, in dem der Inhalt der ZeP auf dem Lesegerät dargestellt werden soll, eine Rolle. Von dem Datenformat und der daraus resultierenden Datenmenge hängt die Übertragungsdauer ab (aber auch die Inanspruchnahme der benötigten Infrastruktur). Die Online-Ausgabe der Zeitung „Der Tagesspiegel“, aber auch vieler anderer Online-Zeitungen<sup>32</sup>, liegen bereits im PDF-Dateiformat vor. Deshalb wird davon ausgegangen, dass das PDF-Format auch für die ZeP eingesetzt werden wird. Die Dateigröße einer PDF-Gesamtausgabe einer Zeitung kann zwischen 14 MB<sup>33</sup> (Süddeutsche Zeitung) und 6 MB (Die Presse, Wien) groß sein [Mediencity 2002]. Die hier zugrunde gelegte Zeitung „Der Tagesspiegel“ (siehe Kap. 5.2 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Online-Zeitung‘) ist im PDF-Format durchschnittlich 10 MB<sup>34</sup> groß (mit Schwankungen von +/- 2 MB, abhängig vom Umfang der jeweiligen Tagesausgabe). Es wird vorausgesetzt, dass, analog zur herkömmlichen Print-Zeitung, die ganze Zeitungsausgabe erworben werden muss, also nicht der Erwerb nur einer bestimmten Anzahl von Meldungen bzw. Artikel erfolgt.

---

<sup>32</sup> Beispielsweise Rhein-Zeitung, Süddeutsche Zeitung, Handelsblatt, Die Presse (Wien)

<sup>33</sup> Eigene Berechnung

<sup>34</sup> Eigene Berechnung

### Berechnung e-Paper

Ausgehend von dem angenommenen Design, wird der Primärenergieaufwand für die Herstellung der einzelnen Komponenten des Lesegerätes oder deren Grundstoffe **näherungsweise** berechnet. Aus der Berechnung ergibt sich ein Primärenergieaufwand für die Herstellung eines Wiedergabegerätes auf Basis von e-Paper  $E_{\text{prim,EP}}$  in Höhe von 100 MJ (Berechnung siehe Anhang A2).

$$E_{\text{prim,EP}} = 100 \text{ MJ}$$

### Berechnung Datenübertragung

Für die Übertragung des Inhaltes der ZeP wird parallel die Übertragung über das Festnetz (Internet) und über das Mobilfunknetz betrachtet.

Für den Primärenergieaufwand für die Datenübertragung via Internet wird hier auf Angaben von Reichart und Hischer [2001] zurückgegriffen (siehe auch Kap. 5.2 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Online-Zeitung‘). Der Primärenergieaufwand  $E_{\text{prim,DÜ,Internet,MB}}$  für die Übertragung via Internet beträgt 1,1 MJ/MB.

Angaben zum Primärenergieaufwand für die Datenübertragung über das UMTS-Netz werden der Ökobilanz-Studie zu UMTS von Emmenegger [2003] entnommen. In dieser Ökobilanz fließen, neben dem Energiebedarf für die Herstellung und dem Stromverbrauch der Infrastruktur, auch das Endgerät (Mobiltelefon) mit ein. Ausgehend von einer 2-jährigen Nutzungsdauer des Mobiltelefons, beträgt der Primärenergieaufwand  $E_{\text{prim,DÜ,UMTS,MB}}$  für die Datenübertragung über das UMTS-Mobilfunknetz 4,8 MJ/MB.

$$E_{\text{prim,DÜ,Internet,MB}} = 1,1 \text{ MJ/MB}$$

$$E_{\text{prim,DÜ,UMTS,MB}} = 4,8 \text{ MJ/MB}$$

In die Berechnung fließt nicht der Energiebedarf für die Datenübertragung über Bluetooth mit ein<sup>35</sup>. Für die Datenübertragung über Internet wird der anteilige Stromverbrauch des PCs während des Downloads berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass der PC über einen s.g. Breitband-Internetanschluss verfügt, z.B. DSL<sup>36</sup>, der für die schnelle Übertragung größerer Datenmengen geeignet ist. Ausgehend von einer Übertragungsrate von 60 kByte/s, dauert das Herunterladen von 10 MB Daten ca. 3 Minuten (0,05 Stunden). Der Primärenergieaufwand für das Herunterladen der PDF-Gesamtausgabe auf den PC  $E_{\text{prim,DSL}}$  ergibt sich mit 0,1 MJ aus:

$$E_{\text{prim,DSL}} = t_{\text{DSL}} * P_{\text{PC}} : \eta_{\text{SE}} * 3,6$$

<sup>35</sup> Energiebedarf Bluetooth: ca. 700 nJ pro gesendetem Byte [Charypar 2002]

<sup>36</sup> DSL: Digital Subscriber Line, Datenübertragungsrate bis zu 768 kBit/s (96 kByte/s), Annahme hier 60 kByte/s [Türk 2003]

Ausgehend von einer Datenmenge von 10 MB, ergibt sich für die Übertragung via Internet ein Primärenergieaufwand  $E_{\text{prim,DÜ,Internet,ges}}$  in Höhe von 11,1 MJ und für die Übertragung über das UMTS-Netz  $E_{\text{prim,DÜ,UMTS,ges}}$  48 MJ<sup>37</sup>.

$$E_{\text{prim,DÜ,Internet,ges}} = 10 \text{ MJ}$$

$$E_{\text{prim,DÜ,UMTS,ges}} = 50 \text{ MJ}$$

### Berechnung Nutzung

Die tägliche Lesedauer der ZeP  $t_{\text{lesen,ZeP}}$  wird mit der täglichen Lesedauer einer herkömmlichen Zeitung gleichgesetzt und beträgt 0,5 h am Tag [BDZV 2004]. Da die ZeP ähnliche Eigenschaften besitzt wie die Print-Zeitung, wird davon ausgegangen, dass diese auch ein vergleichbares Nutzungsprofil in Bezug auf die Lesedauer besitzen wird. Diese Lesedauer ist länger als die aus der funktionellen Einheit „Lesen der Tagesnachrichten – acht Artikel“ resultierende Lesedauer von 20 Minuten für die Online-Zeitung (siehe Kap. 5.2 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Online-Zeitung‘).

$$T_{\text{lesen,ZeP}} = 0,5 \text{ h}$$

Die Leistungsaufnahme für das Lesen der ZeP resultiert im Wesentlichen aus dem eigentlichen Lesevorgang. Da e-Paper eine bistabile Anzeigeeigenschaft besitzt, wird nur für den Bildwechsel bzw. –Neuaufbau Energie benötigt. Für ein e-Paper-Display im DIN A3 Format mit nur gelegentlichen Bildwechsel für das Lesen einer Zeitung, ergibt sich eine Leistungsaufnahme  $P_{\text{e-Paper}}$  in Höhe von ca. 20 mW<sup>38</sup>.

$$P_{\text{e-Paper}} = 0,02 \text{ W}$$

Der Stromverbrauch für die Dauer des Lesens  $V_{\text{e-Paper}}$  beträgt demnach 0,01 Wh (entspricht 0,00001 kWh):

$$V_{\text{e-Paper}} = t_{\text{lesen,ZeP}} * P_{\text{e-Paper}}$$

Der Primärenergieaufwand für die Dauer des Lesens der Zeitung  $E_{\text{prim,lesen,ZeP}}$  errechnet sich, unter Berücksichtigung des Stromerzeugungswirkungsgrades ( $\eta_{\text{SE}}=0,33$ ), des Wirkungsgrades des Ladegerätes ( $\eta_{\text{LG}}=0,85$ ) und des Umrechnungsfaktors (1 kWh=3,6 MJ), mit  $1,28 * 10^{-4}$  MJ:

$$E_{\text{prim,lesen,ZeP}} = V_{\text{e-Paper}} : \eta_{\text{LG}} : \eta_{\text{SE}} * 3,6$$

<sup>37</sup> Aufgrund der von Tagesausgabe zu Tagesausgabe schwankenden Datenmenge sowie weiterer Bilanzlücken, werden die Werte gerundet.

<sup>38</sup> Eigene Berechnung basierend auf [Polymervision 2004], [Gelinck 2004], [E-Ink 2002]

Aufgrund dieses sehr niedrigen Wertes, wird dieser in den nachfolgenden Berechnungen nicht mitberücksichtigt.

Der Primärenergieaufwand für das Lesen der ZeP setzt sich aus dem Stromverbrauch des Lesegerätes und dem anteiligen Energieaufwand für die Herstellung des Lesegerätes zusammen.

Der anteilige Energieaufwand lässt sich aus dem Verhältnis der Gesamtnutzungszeit des e-Paper-Gerätes zur täglichen Nutzungszeit für das Lesen der ZeP berechnen.

Ausgehend von einer Gesamtnutzungszeit von 2 Jahren (entspricht 730 Tagen) und einem Primärenergieaufwand  $E_{\text{prim,EP}}$  für die Herstellung in Höhe von 100 MJ, ergibt dies den anteiligen Primärenergieaufwand  $E_{\text{prim,EP,anteilig}}$  in Höhe von 0,1 MJ<sup>39</sup>.

$$E_{\text{prim,EP,anteilig}} = 0,1 \text{ MJ}$$

	<b>Nutzungszeit</b>	<b>Anteiliger Primärenergieaufwand</b>
e-Paper-Gerät	2 Jahre/ 730 Tage	100 MJ
Tägliche Nutzung e-Paper-Gerät	0,5 h/ Tag	0,1 MJ/Tag

**Tabelle 5-5: Nutzungsintensität der ZeP und anteiliger Energieaufwand eines Lesegerätes auf Basis von e-Paper**

### **Bilanz**

Der gesamte Primärenergieaufwand für das Lesen der Tagesnachrichten einer ZeP  $E_{\text{prim,ZeP,Internet,ges}}$  bzw.  $E_{\text{prim,ZeP,UMTS,ges}}$  berechnet sich aus dem Primärenergieaufwand für die Übertragung der Daten via Internet  $E_{\text{prim,DÜ,Internet,ges}}$  bzw. UMTS-Netz  $E_{\text{prim,DÜ,UMTS,ges}}$ , dem Primärenergieaufwand für das Lesen der Zeitung  $E_{\text{prim,lesen,ZeP}}$  (fließt nicht in die Berechnung mit ein) und dem anteiligen Primärenergieaufwand für die Herstellung des Gerätes  $E_{\text{prim,EP,anteilig}}$  (*da dieser, bezogen auf den Gesamtenergieaufwand, sehr niedrig ist, kann er vernachlässigt werden*):

<sup>39</sup> 100 MJ : 730 Tage = 0,14 MJ/ Tag

$$E_{\text{prim,ZeP,Internet,ges}} = E_{\text{prim,DÜ,Internet,ges}} + E_{\text{prim,EP,anteilig}} (+ E_{\text{prim,lesen,ZeP}})$$

$$E_{\text{prim,ZeP,UMTS,ges}} = E_{\text{prim,DÜ,UMTS,ges}} + E_{\text{prim,EP,anteilig}} (+ E_{\text{prim,lesen,ZeP}})$$

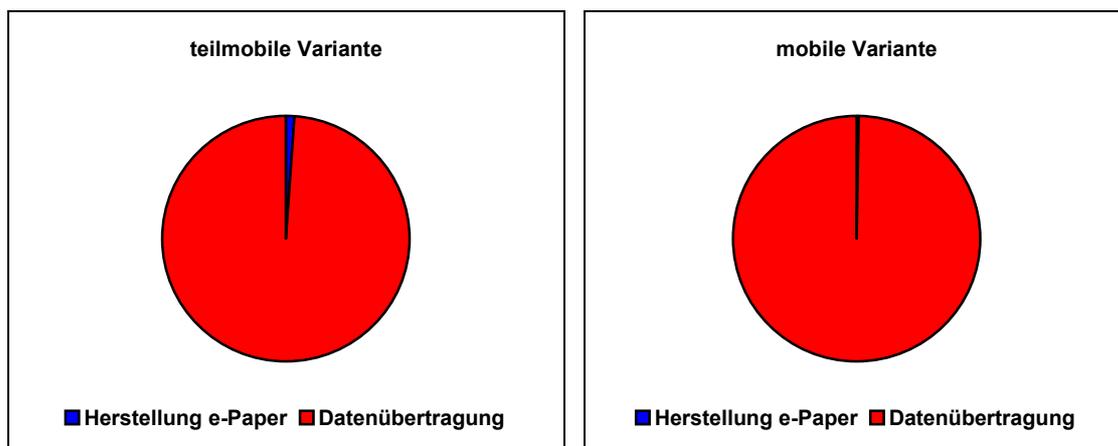
$$E_{\text{prim,ZeP,Internet,ges}} = 10 \text{ MJ}$$

$$E_{\text{prim,ZeP,UMTS,ges}} = 50 \text{ MJ}$$

Prozess/ Abschnitt	Primärenergieaufwand ZeP	
	Internet	UMTS
Herstellung Lesegerät ( $E_{\text{prim,EP,anteilig}}$ )	0,1 MJ	
Datenübertragung ( $E_{\text{prim,DÜ,Internet,ges}}$ ; $E_{\text{prim,DÜ,UMTS,ges}}$ )	10 MJ	50 MJ
Lesen ( $E_{\text{prim,lesen,ZeP}}$ )	$1,28 \cdot 10^{-4}$ MJ	
Gesamt (KEA) ( $E_{\text{prim,ZeP,Internet,ges}}$ ; $E_{\text{prim,ZeP,UMTS,ges}}$ )	10 MJ	50 MJ

**Tabelle 5-6: Der kumulierte Energieaufwand für das Lesen der Variante ZeP**

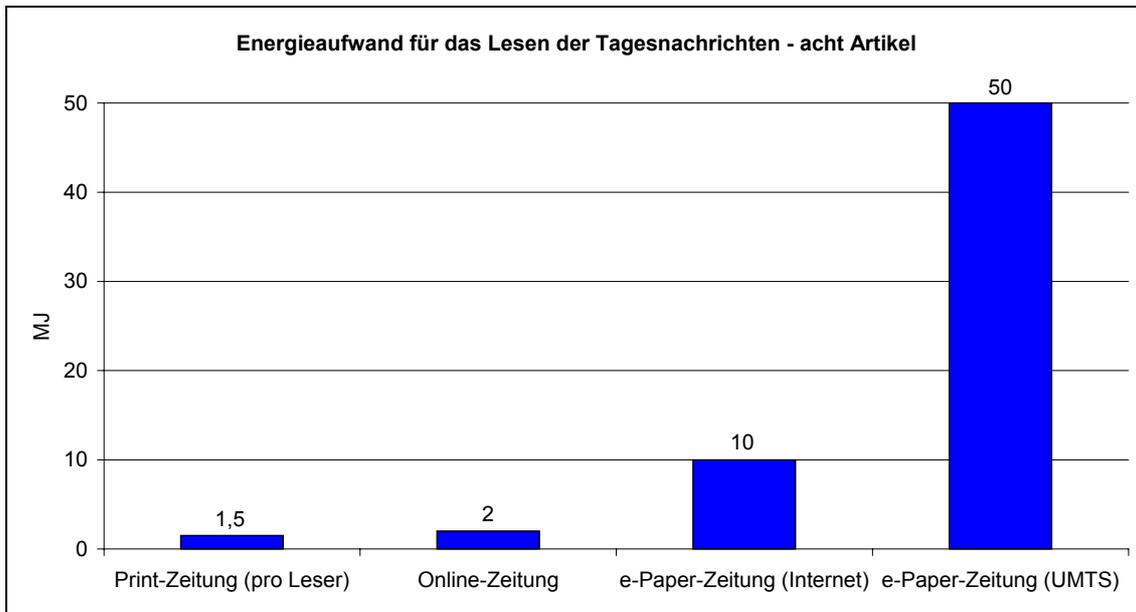
Der Hauptanteil am Primärenergieaufwand für das Lesen der ZeP resultiert aus der Übertragung der Inhalte über das Internet bzw. Mobilfunknetz. Sowohl der Energieaufwand für den Gebrauch des Gerätes (Lesen), als auch der anteilige Energieaufwand für die Herstellung des Lesegerätes fallen nicht weiter ins Gewicht oder können sogar vernachlässigt werden.



**Abbildung 5-6: Anteile der einzelnen Prozesse am kumulierten Energieaufwand für das Lesen der Online-Zeitung**

Der kumulierte Energieaufwand für das Lesen der Tagesnachrichten (funktionelle Einheit) der ZeP beträgt 10 MJ (teilmobile Variante) bzw. 50 MJ (mobile Variante).

#### 5.4 Ergebnis



**Abbildung 5-7: Ergebnisse der Berechnung der kumulierten Energieaufwendungen der drei Zeitungsvarianten**

Der Vergleich der verschiedenen Rezeptionsvarianten von Zeitungsnachrichten ist in Abbildung 5-7 graphisch aufbereitet.

Es wird deutlich, dass das Lesen der ZeP den mit Abstand höchsten Primärenergieaufwand benötigt und dabei der Energieaufwand der mobilen Variante (Datenübertragung über das UMTS-Mobilfunknetz) noch einmal deutlich über den Energieaufwand für die teilmobile Lösung (Datenübertragung und Herunterladen über Internet und PC) liegt. Dies ist bei der mobilen Variante auf den hohen Primärenergieaufwand für die Datenübertragung über das UMTS-Mobilfunknetz zurückzuführen. Da zudem die gesamte Zeitungsausgabe und nicht nur einige Artikel (wie bei der Variante Online-Zeitung) übertragen werden, ist auch die übertragene Datenmenge ungleich größer als bei der Online-Zeitung.

Die Print-Zeitung benötigt in diesem Vergleich den niedrigsten Primärenergieaufwand, obwohl auch hier ein ganzes Zeitungsexemplar (Aufgeteilt auf alle Leser) in die Bilanz einfließt und nicht nur die Tagesnachrichten (entsprechend der funktionellen Einheit – acht Artikel). Selbst die **selektive** Nutzung der Online-Zeitung, bei der tatsächlich nur die acht Artikel gelesen werden, führt zu einem höheren Primärenergieaufwand als das

Lesen der Print-Zeitung. Dies ist in erster Linie auf den Aufbau der Online-Ausgabe des „Tagesspiegels“, aber auch vieler anderer Zeitungen, die eine originalgetreue elektronische Ausgabe besitzen, zurückzuführen. Der Leser muss zuerst die Übersichtsseiten, die den größten Anteil an der gesamten Datenmenge besitzen, aufrufen, um die für ihn interessanten Artikel zu finden und zu lesen. Das Verhältnis von reinen Nutzdaten (Nachrichtentexte: 0,075 MB) zur restlichen übertragenen Datenmenge (Datenoverhead, Übersichtsseiten: 0,775 MB) ist in diesem Fall sehr ungünstig.

Es fällt auf, dass bei fast allen Varianten ausschließlich ein einzelner Prozess das Gesamtergebnis dominiert. Während dies bei der Print-Zeitung der Herstellungsprozess des Zeitungsdruckpapiers ist, ist es bei der ZeP die Übertragung der Daten auf das Lesegerät. Nur bei der Online-Zeitung tragen die Datenübertragung, der anteilige Energieaufwand für die Herstellung und der Stromverbrauch des PCs mit signifikanten Teilen zum Gesamtergebnis bei.

## 6 Sensitivitätsanalyse

Jede Bilanz ist mit Unsicherheiten behaftet, die aus unvollständigen Daten und den unterschiedlichen Erhebungsmethoden dieser Daten resultieren. Nicht alle Unsicherheiten und Lücken können überprüft werden, dennoch können sensible Aspekte identifiziert und durch Variation der Referenzdaten die „Robustheit“ der Annahmen und Berechnungen überprüft werden.

Die „Robustheit“ der Ergebnisse aus den Berechnungen zu den einzelnen Zeitungsformen werden überprüft, indem einzelne Parameter und Rahmenbedingungen variiert werden. Dabei wird jeweils nur ein Parameter verändert, während alle anderen konstant gehalten werden. Dieses Vorgehen erlaubt einerseits, die Ergebnisse auf ihre Plausibilität zu untersuchen und andererseits, Alternativen und Ansatzpunkte für Verbesserungen zu erkennen.

### 6.1 Sensitivitätsanalyse der Variante Print-Zeitung

Folgende Parameter bzw. Rahmenbedingungen werden variiert:

- Primärenergieaufwand für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier
- Zeitung mit verändertem Umfang – überregionale Zeitungen

#### Primärenergieaufwand für die Herstellung von Zeitungsdruckpapier

Für die Referenz-Berechnung wurde auf die Angaben der ProBas-Datenbank des Umweltbundesamtes zurückgegriffen, da diese über eine ausführliche Prozessbeschreibung (inkl. Systemgrenzen) verfügen. An dieser Stelle werden Berechnungen mit alternativen Angaben von Egli [2002]<sup>40</sup> durchgeführt. Diese geben eine Spanne für den Energieaufwand auf Basis verschiedener Standorte in Deutschland, der Schweiz und Skandinavien an. Aus diesen Angaben errechnen sich ein unterer (16,2 MJ/kg) und ein oberer Wert (27,6 MJ/kg) für den Energieaufwand für die Herstellung von ZDP.

	Referenz	Neu		Veränderung	
		u. W.	o. W.	u. W.	o. W.
Gesamt	3,3 MJ	3 MJ	4,5 MJ	- 10 %	+ 35 %
Anteilig pro Leser	1,5 MJ	1,3 MJ	2 MJ	- 10 %	+ 35 %

**Tabelle 6-1: Veränderungen des kumulierten Energieaufwandes der Variante Print-Zeitung bei Berücksichtigung alternativer Werte für die ZDP-Herstellung (u.W.: unterer Wert; o.W.: oberer Wert)**

<sup>40</sup> Basierend auf [Reichart; Hischier 2001]

Die Ergebnisse zeigen, dass mit einer energie-effizienten ZDP-Herstellung der kumulierte Energieaufwand für die gesamte Zeitung positiv beeinflusst werden kann.

#### **Zeitung mit verändertem Umfang/ überregionale Zeitungen**

Die Referenzgröße für den Umfang der Zeitung  $m_{ZE}$  beträgt 0,15 kg für ein Exemplar der Zeitung „Der Tagesspiegel“. Da „Der Tagesspiegel“ eine regionale Zeitung ist, wird auch die „Süddeutsche Zeitung“ als überregionale Tageszeitung mit einer durchschnittlichen Masse pro Zeitungsexemplar von 0,22 kg<sup>41</sup> betrachtet.

Aus Tabelle 6-2 wird ersichtlich, dass der kumulierte Primärenergieaufwand proportional von der Masse des Zeitungsexemplars abhängt.

	<b>Referenz (TS)</b>	<b>Neu (SZ)</b>	<b>Veränderung</b>
Masse Zeitung	0,15 kg	0,22 kg	+ 50 %
Gesamt	3,3 MJ	5 MJ	+ 50 %

Anteilig pro Leser	1,5 MJ	2,2 MJ	+ 50 %
--------------------	--------	--------	--------

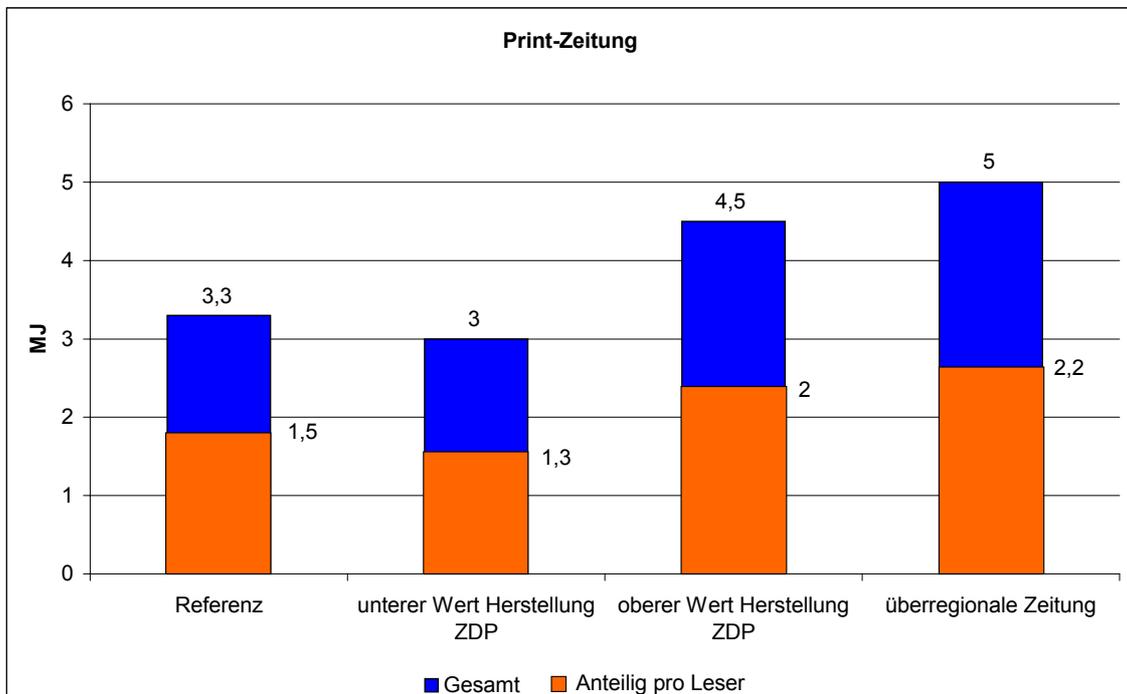
**Tabelle 6-2: Veränderung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Print-Zeitung bei Annahme einer Zeitung mit größeren Umfang**

Die in Deutschland verwendeten Zeitungsdruckpapiere besitzen eine Qualität von 42,5 bzw. 42 g/m<sup>2</sup>. Noch dünnere Zeitungsdruckpapiere sind aus drucktechnischen Gründen kaum anwendbar [Klement, Dyllick 2000]. Dies bedeutet, dass die Masse eines Zeitungsexemplars kaum Einsparungspotenziale bietet, ohne das Aussehen der Zeitung zu verändern (Format, Schriftgröße etc.).

---

<sup>41</sup> Eigene Berechnungen

### Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der Variante Print-Zeitung



**Abbildung 6-1: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der Variante Print-Zeitung**

Der Primärenergieaufwand für die Herstellung des Zeitungsdruckpapiers (ZDP) ist die bestimmende Größe bei der Print-Zeitung (vgl. Kapitel 5.1). Wird ein alternativer Wert für die ZDP-Herstellung oder eine umfangreichere Zeitung (überregionale Zeitung) angesetzt, so wirkt sich das unmittelbar auf das Gesamtergebnis aus.

Einen wichtigen Ansatz für die Verringerung des gesamten Energieaufwandes eines Zeitungsexemplars bietet daher eine energie-effiziente Herstellung des Zeitungsdruckpapiers; eine weitere Reduktion der Masse der Zeitung erscheint aus drucktechnischen Gründen als kaum realisierbar.

### 6.2 Sensitivitätsanalyse der Variante Online-Zeitung

Folgende Parameter bzw. Rahmenbedingungen werden variiert:

- Energieaufwand für die Datenübertragung via Internet
- Lesen der Artikel im JPEG-Format
- Nutzung der PDF-Gesamtausgabe
- Primärenergieaufwand für die Herstellung des PCs
- Ausdruck der Nachrichten

### Energieaufwand für die Datenübertragung via Internet

Die zwei vorliegenden Studien zum Medienvergleich von gedruckten und elektronischen Medien von Plätzer [1998] und Reichart und Hischier [2001] kommen zu stark voneinander divergierenden Ergebnissen hinsichtlich des Primärenergieaufwandes für die Datenübertragung via Internet. Für die Berechnungen im Kap. 5.2 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Online-Zeitung‘ wurde auf die Angaben von Reichart und Hischier [2001] zurückgegriffen (1,1 MJ/MB); an dieser Stelle soll eine alternative Berechnung mit den Angaben von Plätzer [1998] durchgeführt werden (0,22 MJ/MB).

	Referenz	Neu	Veränderung
Gesamt	2 MJ	1 MJ	- 50 %

**Tabelle 6-3: Veränderungen des kumulierten Energieaufwandes des Variante Online-Zeitung bei Berücksichtigung alternativer Werte für die Datenübertragung über das Internet**

Die Ergebnisse zeigen, dass die Annahme eines niedrigeren Energieaufwandes für die Datenübertragung auch das Gesamtergebnis deutlich beeinflusst.

Der Vergleich der zwei Datenquellen und der Art der jeweiligen Datenerhebung verdeutlichen, dass große Unsicherheit darüber besteht, welcher Energiebedarf aus der Übertragung von Daten über das Internet resultiert.

### Lesen der Artikel im JPEG-Format

Neben der Möglichkeit, die Artikel der Online-Zeitung nur als reinen HTML-Text zu lesen, können diese auch in ihrer Originalgröße und –Layout als JPEG-Bilder gelesen werden, z.B. um dazugehörige Abbildungen oder Fotografien zu betrachten. Zuvor muss aber auf der Übersichtsseite der zu lesende Artikel angewählt werden und als HTML-Text vergrößert dargestellt werden; danach kann über eine weitere Schaltfläche der Originalartikel dargestellt werden (vgl. dazu auch Kap. 5.2 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Online-Zeitung‘). Die gesamten Daten für das Lesen der Artikel in ihrem originalen Erscheinungsbild setzen sich demnach aus den Übersichtsseiten, den Artikeln im HTML-Format samt Datenoverhead und den Artikeln im JPEG-Format zusammen (siehe Abbildung 6-2). Die JPEG-Artikel haben eine Gesamtgröße von ca. 1,1 MB groß, die gesamte Datenmenge beträgt ca. 2 MB.

Aus Abbildung 6-2 wird ersichtlich, dass die Zeitungsartikel in ihrem originalen Erscheinungsbild den größten Anteil an der Gesamtdatenmenge besitzen.

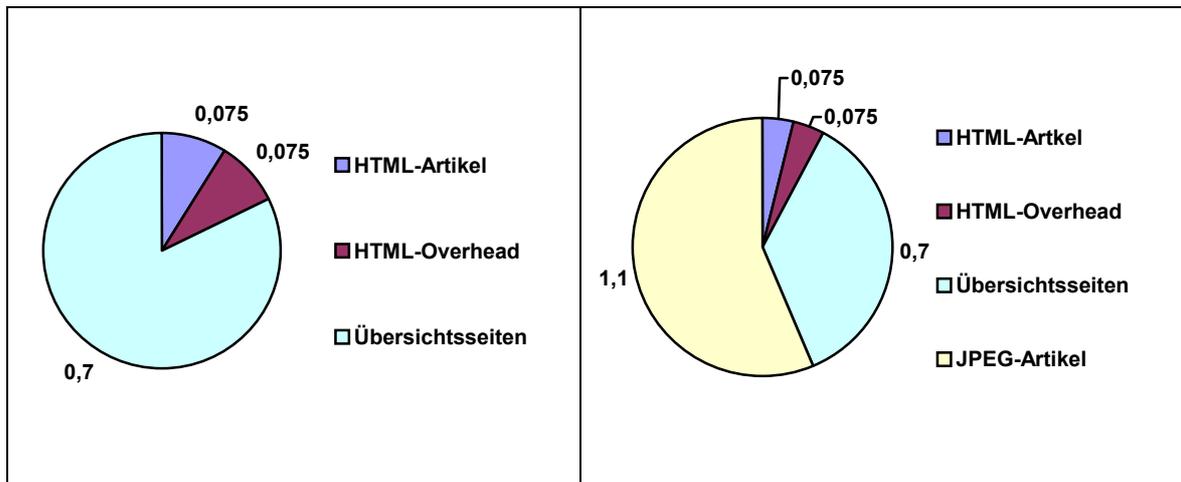


Abbildung 6-2: Größe der einzelnen Daten an der Gesamtdatenmenge (in MB)

	Referenz	Neu	Veränderung
Gesamt	2 MJ	3 MJ	+ 50 %

Tabelle 6-4: Veränderung des kumulierten Energieaufwandes des Variante Online-Zeitung durch das Lesen der Zeitungsartikel im JPEG-Format

Wird nicht nur der reine Text der Meldungen gelesen, sondern auch etwaige dazugehörige Abbildungen oder die Meldungen im Zeitungslayout betrachtet, so steigt auch der Energieaufwand an.

**Nutzung der PDF-Gesamtausgabe**

Die Online-Ausgabe des „Tagesspiegels“ kann nicht nur „online“, also permanent mit dem Internet verbunden, sondern auch „offline“ gelesen werden. Dazu muss die Gesamtausgabe der Zeitung im PDF-Dateiformat auf den PC heruntergeladen werden. Dieses Szenario ist durchaus denkbar für den Fall, dass der Leser für die von ihm kostenspflichtig erworbenen Nutzungsrechte für die Online-Zeitung einen „materiellen“ Gegenwert erhalten möchte, z.B. für Archivierungszwecke (auch wenn die Online-Zeitung eine Archivsuche und –Nutzung im Internet für Abonnenten anbietet).

Die PDF-Gesamtausgabe mit einer Größe von ca. 10 MB muss vollständig heruntergeladen werden, auch wenn (entsprechend der funktionellen Einheit) nur die Tagesnachrichten gelesen werden sollen. Zusätzlich zu der reinen Lesezeit von 20 Minuten, wird auch die Dauer für das Herunterladen der PDF-Gesamtausgabe berücksichtigt – diese

beträgt 3 Minuten<sup>42</sup>. Daraus ergibt sich die Gesamtnutzungszeit des PCs für das Lesen der Tagesnachrichten in Höhe von 23 Minuten (entspricht 0,38 Stunden), sowie einen Anteil des Zeitungslesens (und Herunterladens) an der täglichen Nutzungszeit in Höhe von 16,5 % (vgl. dazu Kapitel 5.2 ‚Berechnung des kumulierten Energieaufwandes der Variante Online-Zeitung‘).

	Referenz	Neu	Veränderung
Gesamt	2 MJ	10 MJ	+ 500 %

**Tabelle 6-5: Veränderung des kumulierten Energieaufwandes des Variante Online-Zeitung durch die Nutzung der elektronischen Gesamtausgabe im PDF-Format**

Aus Tabelle 6-5 wird ersichtlich, dass der kumulierte Energieaufwand proportional von der Datenmenge abhängt. Die Nutzung der PDF-Gesamtausgabe führt zu einem stark erhöhten Energieaufwand.

Interessant an diesem Ergebnis ist, dass der Primärenergieaufwand für den Gebrauch des PCs auch von der Übertragungsgeschwindigkeit der Datenverbindung (i.e. Modem) zwischen PC und Internet abhängt. Wird eine langsamere Übertragungstechnik als die hier angesetzte DSL-Technik verwendet, z.B. ein ISDN-Modem oder ein 56k-Modem<sup>43</sup>, so dauert das Herunterladen länger und somit verlängert sich auch die Nutzungszeit des PCs, was mit zusätzlichem Stromverbrauch einhergeht und somit zu einem höheren Energieaufwand der Datenübertragung führt.

### Primärenergieaufwand für die Herstellung des PCs

Die Angaben für den Energieaufwand für die Herstellung von PCs divergieren stark voneinander<sup>44</sup>. Da die berücksichtigten Prozesse und die gezogenen Systemgrenzen dieser Berechnungen teilweise unbekannt sind, kann auch nur eine sehr begrenzte Aussage über die Vergleichbarkeit dieser Angaben gemacht werden. Werden Ökobilanzen und Berechnungen zu anderen Elektronikgeräten berücksichtigt, wie z.B. zu Fernsehern

<sup>42</sup> Ausgehend von einer Internetverbindung über DSL mit einer Datenübertragungsrate von bis zu 768 kBit/s (96 kByte/s), Annahme hier 60 kByte/s – 10 MB : 0,06 kByte/s = 167 sec [Türk 2003]

<sup>43</sup> ISDN: Integrated Services Digital Network; theoretische Datenrate 128 kbit/s = 16 kByte/s, realistisch 11 kByte/s; 56k-Modem: theoretische Datenrate 56 kbit/s = 7 kByte/s, realistisch 4 kByte/s [Türk 2003]

<sup>44</sup> Während Reichart und Hischier [2001] 4000 MJ errechnen, wird von Dreier [2000] einen Wert von 9500 MJ (inkl. Peripheriegeräte) genannt.

[Behrendt 1998], so erscheinen die Angaben von Reichart und Hischier [2001] realistischer. Trotzdem soll hier auch eine Berechnung auf Basis der Angaben von Dreier [2000] durchgeführt werden.

	Referenz	Neu	Veränderung
Gesamt	2 MJ	2,5 MJ	+ 25 %

**Tabelle 6-6: Veränderung des kumulierten Energieaufwandes des Variante Online-Zeitung bei Berücksichtigung alternativer Angaben zum Energieaufwand für die Herstellung eines PCs**

Werden die Angaben von Dreier angesetzt, so wird deutlich, dass auch der Primärenergieaufwand für die Herstellung des PCs einen wesentlichen Teil am gesamten Energieaufwand der Variante Online-Zeitung ausmacht.

#### **Ausdruck der Nachrichten**

Werden zusätzlich die Nachrichten der Online-Zeitung auch ausgedruckt, so müssen auch die daraus resultierenden Energieaufwendungen berücksichtigt werden.

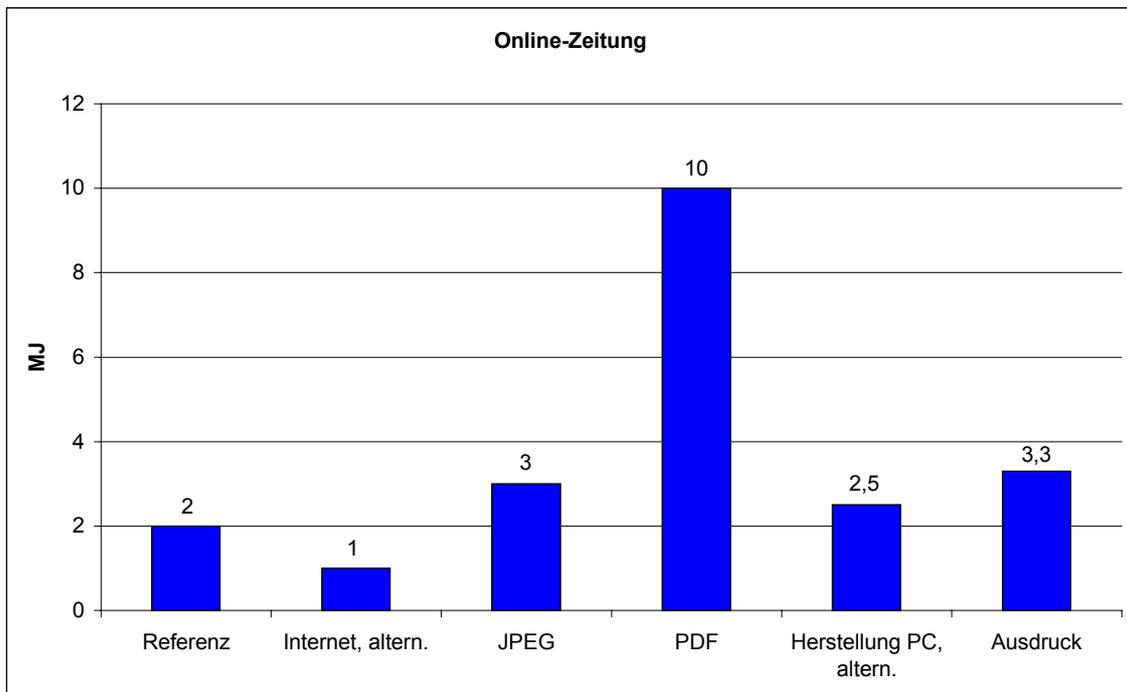
Der Primärenergieaufwand für das Ausdrucken einer DIN A4 Seite beträgt 0,35 MJ (Papier, Toner, Strom) [Tzscheuschler 2004]. Es wird angenommen, dass die Hälfte der gelesenen Artikel ausgedruckt wird (4 Artikel). Da bei der Online-Ausgabe des „Tages spiegels“ die Artikel nur einzeln angewählt und gelesen werden können, muss auch jeder Artikel einzeln auf einer DIN A4 Seite gedruckt werden, auch wenn u.U. mehrere Artikel auf einer Seite Platz finden könnten. Dies führt auch dazu, dass für den Ausdruck der Hälfte der gelesenen Tagesnachrichten auch insgesamt vier DIN-A4-Papierblätter bedruckt werden müssen.

	Referenz	Neu	Veränderung
Gesamt	2 MJ	3,3 MJ	+ 65 %

**Tabelle 6-7: Veränderung des kumulierten Energieaufwandes des Variante Online-Zeitung durch das zusätzliche Ausdrucken der Zeitungsartikel**

Das Ausdrucken von vier Artikeln auf vier DIN A4 Seiten führt zu einem deutlich höheren Energieaufwand für die Nutzung der Online-Zeitung.

### Ergebnis der Sensitivitätsanalyse der Variante Online-Zeitung



**Abbildung 6-3: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse**

Aus Abbildung 6-3 wird deutlich, dass der Energieaufwand für die Datenübertragung via Internet sowie die zu übertragende Datenmenge die bestimmenden Größen bei der Online-Zeitung sind (insbesondere bei den Varianten PDF-Gesamtausgabe und JPEG-Artikel). Dieses Bild ändert sich jedoch, wenn die Angaben von Plätzer [1998] zugrunde gelegt werden; der Energieaufwand für die Datenübertragung und damit der Gesamtenergieaufwand der Variante Online-Zeitung fällt dann deutlich niedriger aus (vgl. Abb. 6-3; 2. Säule – Internet, alternativ).

Aus der Sensitivitätsanalyse zur Variante Online-Zeitung geht hervor, dass das Lesen der Nachrichten als HTML-Text (Referenz) sowie der Verzicht auf das zusätzliche Ausdrucken der Artikel vorteilhafter sind, aufgrund der Energieaufwendungen der zugrunde liegenden Prozesse.

### 6.3 Sensitivitätsanalyse der Variante Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP

Folgende Parameter bzw. Rahmenbedingungen werden variiert:

- Primärenergieaufwand für die Herstellung des Lesegerätes auf Basis von e-Paper
- Nachrichtenupdate
- Alternative Übertragungsmöglichkeiten und –Technologien

### Primärenergieaufwand für die Herstellung des Lesegerätes auf Basis von e-Paper

Die Referenzgröße für den Primärenergieaufwand für die Herstellung des Lesegerätes  $E_{\text{prim,EP}}$  beträgt 100 MJ (Berechnung siehe Anhang A2). Es handelt sich um eine näherungsweise Berechnung mit relativ großen Unsicherheiten. Alternativ wird ein Energieaufwand für die Herstellung in Höhe von 300 MJ angenommen (bei einer unveränderten Gesamtnutzungsdauer von 2 Jahren). Daraus resultiert ein Energieaufwand in Höhe von 0,4 MJ pro Tag.

	Referenz		Neu		Veränderung	
	Internet	UMTS	Internet	UMTS	Internet	UMTS
Gesamt	10 MJ	50 MJ	10 MJ	50 MJ	< 3 %	< 1 %

**Tabelle 6-8: Veränderungen des kumulierten Energieaufwandes des Variante ZeP bei Annahme eines höheren Energieaufwandes für die Herstellung eines Lesegerätes auf Basis von e-Paper**

Obwohl der angenommene anteilige Primärenergieaufwand für die Herstellung des Lesegerätes deutlich höher ist, wirkt sich dies auf das Gesamtergebnis nur geringfügig aus. Für das Lesen der ZeP mit einer vorangegangenen Datenübertragung via Internet, ergibt sich ein um ca. 3 % erhöhter Energieaufwand. Betrachtet man das Modell Datenübertragung über UMTS, so liegt die Veränderung bei weniger als einem Prozentpunkt.

### Nachrichtenupdate

Um einen Mehrwert gegenüber der herkömmlichen Print-Zeitung zu bieten, könnte von der ZeP nicht nur eine Ausgabe am Tag erscheinen, sondern im Verlauf des Tages auch ein (oder mehrere) Nachrichtenupdate(s) erstellt und übermittelt werden [Zinnbauer 2002]. Dabei würden die wichtigsten und tagesaktuellen Meldungen auf den letzten Nachrichtenstand gebracht. Dies würde sich in zusätzlich zu übertragenden Datenmengen niederschlagen. Ausgehend von einem Nachrichtenupdate in der Größenordnung von 10 % (z.B. Schlagzeilen, Tagesmeldungen, Stellungnahmen, Veranstaltungshinweise etc.) ergibt dies bei der PDF-Gesamtausgabe zusätzlich 1 MB an zu übertragenden Daten.

	Referenz		Neu		Veränderung	
	Internet	UMTS	Internet	UMTS	Internet	UMTS
Gesamt	10 MJ	50 MJ	11 MJ	55 MJ	+ 10 %	+ 10 %

**Tabelle 6-9: Veränderungen des kumulierten Energieaufwandes des Variante ZeP durch Annahme eines Nachrichtenupdates**

Die zusätzlich zu übertragende Datenmenge verursacht proportional auch einen 10% höheren Energieaufwand.

### Alternative Übertragungsmöglichkeiten und –technologien

Neben den hier angesprochenen Übertragungsmöglichkeiten (Internet, UMTS), kommen prinzipiell auch andere Technologien für die schnelle drahtlose Datenübertragung in Betracht. Dies sind insbesondere DAB und DVB-T<sup>45</sup>. Es handelt sich dabei um Funkstandards und –technologien für die Übertragung von digitalen Radio- (DAB) und Fernsehinhalten (DVB-T). Beide Funkstandards bieten, neben der Übertragung der normalen Inhalte (Radio, Fernsehen), auch Datenübertragung auf gesonderten Kanälen an.

Bei DAB sind das s.g. NPAD (Not Programm Associated Data – nicht programmbegleitende Datendienste), die innerhalb eines Multiplexes/ Ensembles gesendet werden. Ein Multiplex besteht in der Regel aus 5 bis 9 Radioprogrammen und Datendiensten (s.g. Subchannels), die sich die Übertragungsbandbreite eines Multiplexes von ca. 1,7 Mbit/s teilen [Digitalradio 2004].

Bei DVB-T werden die Fernsehprogramme, ähnlich wie bei DAB, als digitale Datenströme innerhalb von Multiplexen gesendet. Die Übertragungsrate bei DVB-T kann bis zu 30 Mbit/s betragen, in der Regel ca. 15 Mbit/s pro Multiplex [Überall-TV 2004]. Derzeit wird der Standard DVB-H entwickelt, der den Empfang von digitalen Fernsehinhalten auf mobilen Geräten erlauben soll, wie z.B. Mobiltelefonen, PDAs, Notebooks oder in Fahrzeugen. DVB-H soll mit einer Datenrate von insgesamt 15 Mbit/s den Empfang von ca. 40 Fernseh- und Datenkanäle erlauben und empfängerseitig einen niedrigen Stromverbrauch besitzen [Reimers 2003]. Unabhängig von der Entwicklung dieses Standards, hat Samsung ein erstes Mobiltelefon angekündigt, dass DVB-T-Fernsehprogramme empfangen und wiedergeben kann [Spiegel 2004]. Dies zeigt, dass entsprechende Empfänger inzwischen so weit verkleinert werden können, so dass sie in ein Mobiltelefon integriert werden können.

<sup>45</sup> DAB: Digital Audio Broadcasting – Digitaler Radiofunk; DVB-T: Digital Video Broadcasting Terrestrial – terrestrisches digitales Fernsehen

Ausgehend von den hohen Datenübertragungsraten von DAB und DVB-T, wäre die Übertragung der Zeitungsinhalte (auch im PDF-Format) auf ein Lesegerät auf Basis von e-Paper mit einem integrierten Empfänger durchaus denkbar. Im Gegensatz zu Internet und Mobilfunk, werden die Signale bei DAB/ DVB-T jedoch nicht zielgerichtet an einen Empfänger übertragen bzw. gesendet (s.g. Punkt-zu-Punkt-Datenübertragung), sondern großflächig in alle Richtungen über zentrale Sendeanlagen ausgestrahlt (Punkt-zu-Multipunkt-Versorgung). Dies hat den Vorteil, dass viele Empfänger gleichzeitig versorgt werden können, jedoch alle mit den identischen Inhalten.

Aus Sicht der vorliegenden ökobilanziellen Betrachtung stellt sich die Frage nach den Energieaufwendungen für die Ausstrahlung der Inhalte einer ZeP über DAB oder DVB-T. Konkrete Daten dazu liegen nicht vor; einen ersten Ansatz könnte das Verhältnis der Leistungsaufnahme der Sendeanlagen zur Menge aller gesendeten Daten (= digitale Rundfunkprogramme) liefern. Des Weiteren ist zu beachten, dass es sich nicht um eine zielgerichtete Ausstrahlung von Inhalten handelt – die Übertragung erfolgt unabhängig von der Anzahl der Empfänger. Das kann u.U. dazu führen, dass in ländlichen Gebieten, trotz der großflächigen Ausstrahlung, nur sehr wenige Nutzer erreicht werden, während in Ballungsgebieten mit einer vergleichbaren Sendeleistung eine sehr große Nutzerzahl bedient werden kann.

Alternativ kann auch argumentiert werden, dass die Ausstrahlung der Inhalte der ZeP nur einen vernachlässigbar geringen Teil der ausgestrahlten Gesamtdatenmenge ausmacht (einmalig 10-12 MB am Tag vs. ca. 3,5 Mbit/s für die **permanente** Ausstrahlung **eines einzigen** Fernsehprogramms oder 1,5 Mbit/s für die Ausstrahlung eines DAB-Ensembles).

Eine Abschätzung wird am Beispiel des Projektes „DIBS – Digital In-Band Broadcast System“ des Fraunhofer-Institutes „FIRST“ durchgeführt. Das Projekt DIBS beschäftigt sich mit der Übertragung von digitalen Multimediainhalten für die mobile Nutzung über die DAB-Infrastruktur. Dazu steht in Berlin ein Testsender mit einer Sendeleistung von 250 Watt und einer Übertragungsrate von 1,5 Mbit/s zur Verfügung [FIRST 2004]. Die Sendeanlage besitzt eine Leistungsaufnahme von ca. 3 kW [Huschke 2004].

Dieser Testsender wird in der vorliegenden Arbeit als Modell für die Datenübertragung über DAB angenommen. Demnach ergibt sich in 24 Stunden ein Stromverbrauch von 72 kWh (entspricht einem Primärenergieaufwand von 785 MJ) und eine übertragene Datenmenge von 16,2 GByte. Für das Aussenden einer Datenmenge von 10 MB (z.B. PDF-Gesamtausgabe der Zeitung) pro Tag ergeben sich 0,5 MJ. Da mit dem Sender das gesamte Stadtgebiet versorgt wird, kann auch eine große potentielle Leserschaft erreicht werden, so dass der Energieaufwand für das einmalige oder auch mehrmalige Aussenden der Zeitungsinhalte auf alle Leser umgelegt werden kann. Das bedeutet, dass der Energieaufwand für die Datenübertragung via DAB vernachlässigt werden kann, wenn

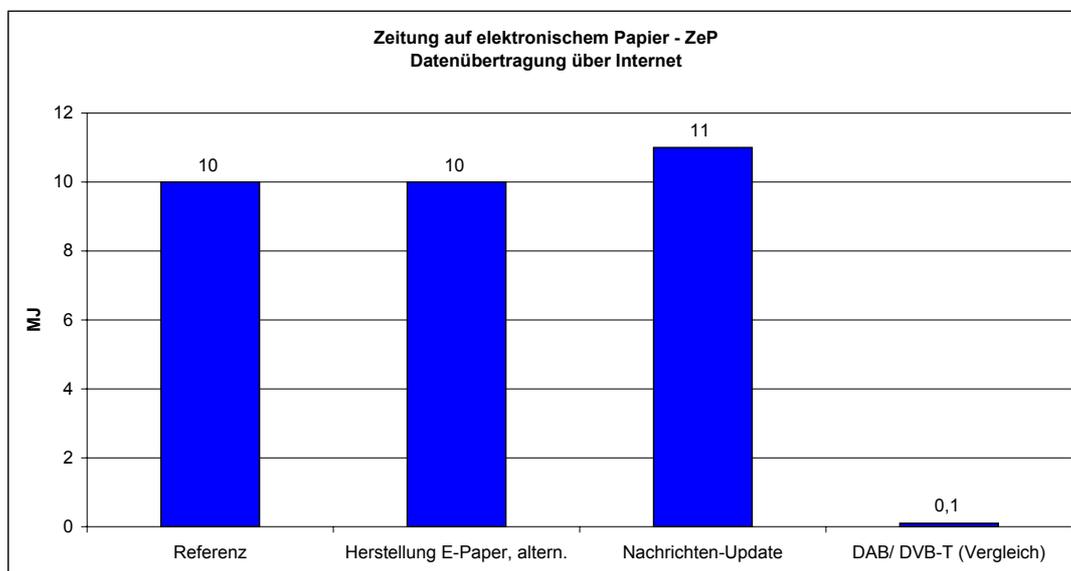
viele Leser und Nutzer der ZeP im Sendegebiet eines DAB- oder DVB-T-Senders erreicht werden können.

	Referenz		Neu	Veränderung
	Internet	UMTS	DVB-T/ DAB	
Gesamt	10 MJ	50 MJ	0,1 MJ	> - 99 %

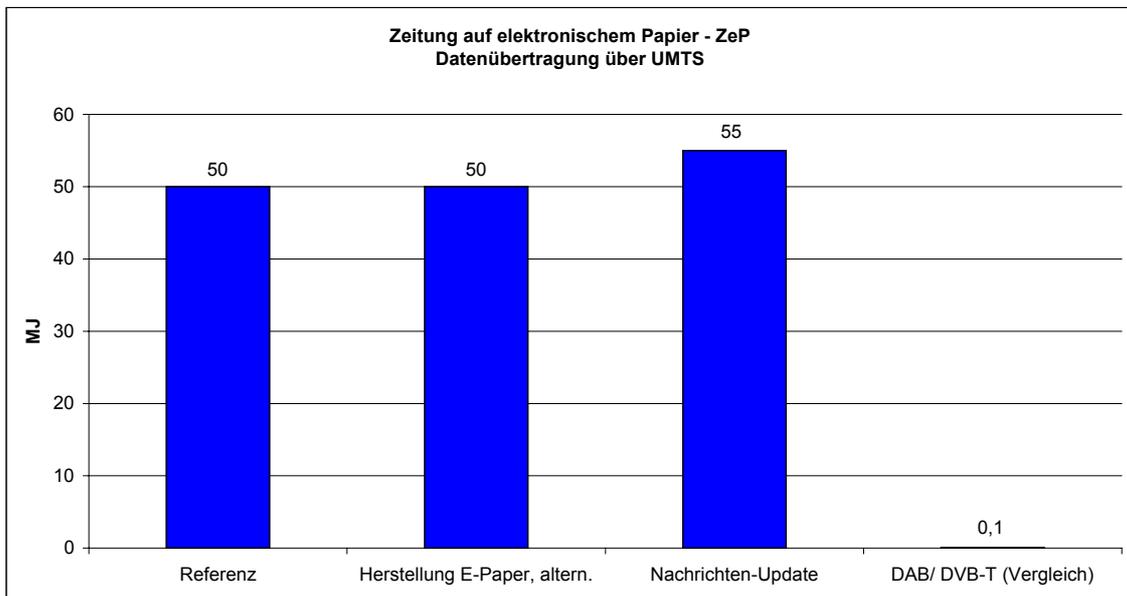
**Tabelle 6-10: Veränderungen des kumulierten Energieaufwandes des Variante ZeP bei Annahme einer Datenübertragung über die Infrastruktur des digitalen Rundfunks**

Setzt man eine Übertragung der Inhalte der ZeP via DVB-T oder DAB voraus (unter Berücksichtigung der o.g. Annahmen), so kann der Energieaufwand für diese Übertragung vernachlässigt werden, so dass sich der Primärenergieaufwand für das Lesen der ZeP nur aus dem anteiligen Primärenergieaufwand für die Herstellung des Leseegerätes und dem Primärenergieaufwand für das Lesen der Zeitung zusammensetzt. Dies führt zu einem sehr niedrigen kumulierten Energieaufwand für das Lesen der ZeP.

#### **Ergebnis der Sensitivitätsanalyse der Variante Zeitung auf elektronischem Papier – ZeP**



**Abbildung 6-4: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der Variante ZeP – teilmobile Variante (Internet)**



**Abbildung 6-5: Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der Variante ZeP – mobile Variante (UMTS)**

Sowohl die Datenübertragung via Internet (teilmobile Nutzungsvariante) als auch über das UMTS-Mobilfunknetz (mobile Nutzungsvariante) führen zu hohen Energieaufwendungen. Dies resultiert sowohl aus dem Energieaufwand für die Datenübertragung, als auch aus der zu übertragenden Datenmenge (ausgehend von einer ZeP im PDF-Format). Die Annahme eines ZeP-spezifischen Datenformats und einer daraus resultierenden geringeren Datenmenge führt zu einem niedrigeren Energieaufwand. Verglichen mit der Annahme einer Datenübertragung über DAB/ DVB-T ist dieser aber immer noch sehr hoch. Da bei dieser Übertragungsvariante die Infrastruktur nur zu einem sehr geringen Teil in Anspruch genommen wird und mit dem Aussenden der Inhalte der ZeP gleichzeitig eine potentiell große Anzahl von Nutzern bedient werden kann, kann der entsprechende Energieaufwand für die Datenübertragung vernachlässigt werden.

## 7 Auswertung der Sensitivitätsanalyse und Ergebnis

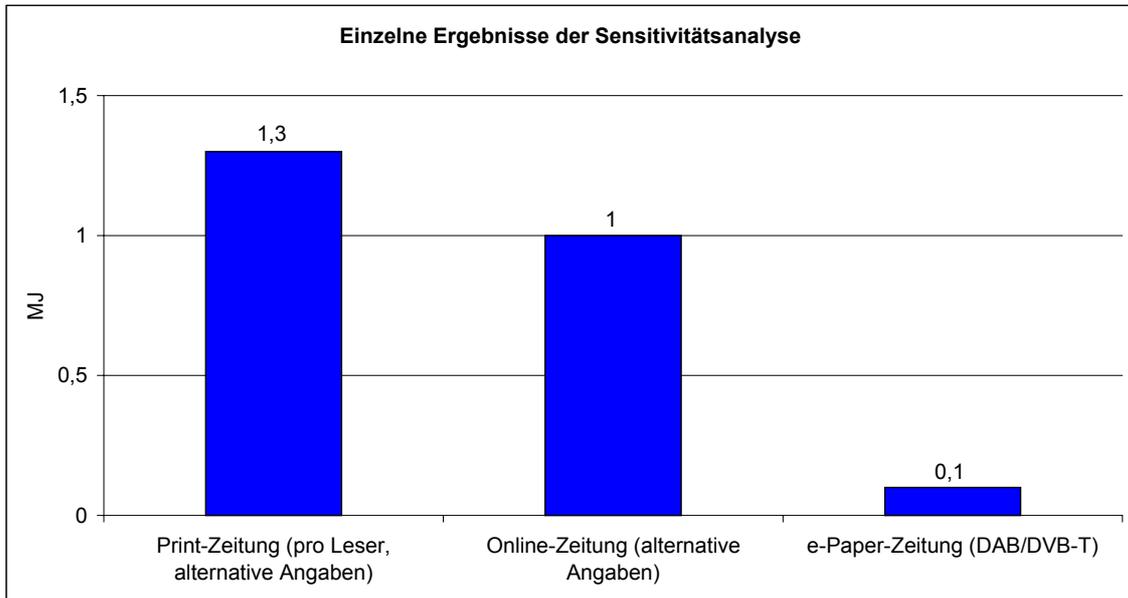
Vergleicht man die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse mit den Ergebnissen der Referenz-Berechnung zu den drei Zeitungsvarianten, so ergeben sich deutliche Veränderungen bei den Primärenergieaufwendungen, insbesondere bei den Varianten ZeP und Online-Zeitung. Die getroffenen Annahmen und die daraus resultierenden Ergebnisse führen u.a. zu einer Umkehrung in der Reihenfolge der Zeitungsvarianten hinsichtlich ihrer Energieaufwendungen (vgl. dazu Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2).

Während bei der Print-Zeitung die Unterschiede zwischen der Referenz-Berechnung und der Sensitivitätsanalyse aus den divergierenden Angaben in den einzelnen Datenquellen resultieren, führen bei der Variante Online-Zeitung in erster Linie alternative Nutzungsmuster zu anderen Energieaufwendungen. Die Ergebnisse hierzu zeigen, dass die Nutzung der PDF-Gesamtausgabe oder das Ausdrucken eines Teils der Nachrichten zu deutlich höheren Energieaufwendungen führen.

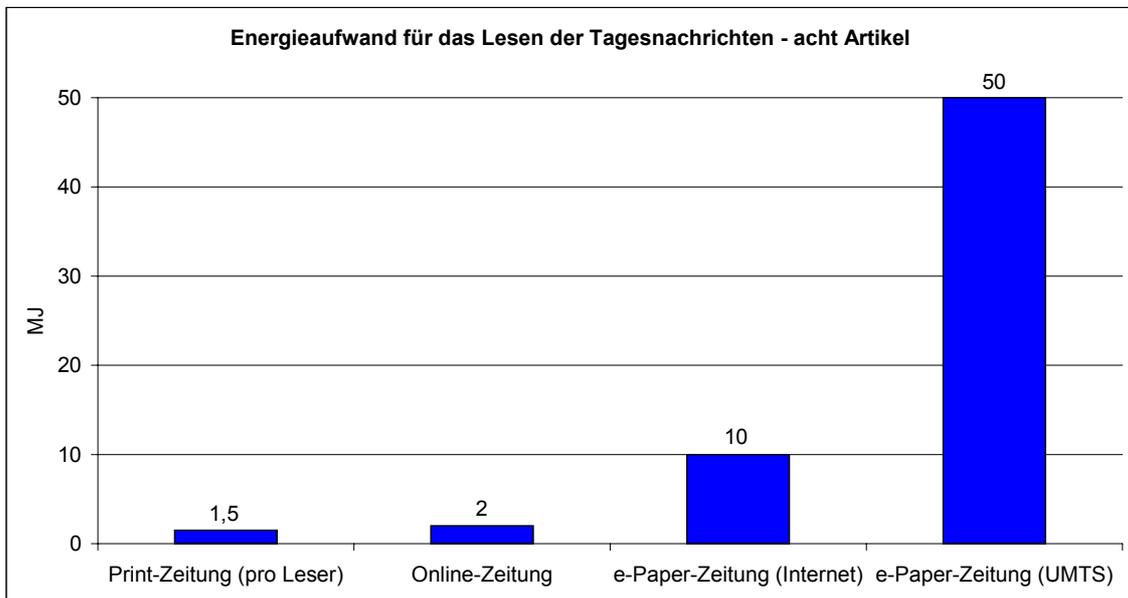
Die sich sehr stark voneinander unterscheidenden Angaben zu dem Primärenergieaufwand für die Datenübertragung via Internet führen zu deutlichen Unterschieden zwischen der Referenz-Berechnung und der Sensitivitätsanalyse der Variante Online-Zeitung. Werden die Berechnungen von Plätzer [1998] zugrunde gelegt, so ergibt sich für das Lesen der Online-Zeitung ein Primärenergieaufwand, der unter dem Wert der Referenz-Berechnung zur Variante Print-Zeitung liegt. Der Vergleich der Studien von Reichart und Hischier [2001] und Plätzer [1998] hinsichtlich der Angaben und der Art der jeweiligen Datenerhebung verdeutlichen jedoch, dass große Unsicherheit darin besteht, welcher Energieaufwand aus der Übertragung von Daten via Internet resultiert. Deshalb kann keine abschließende Wertung zu diesem Punkt abgegeben werden.

Aus Sicht der vorliegenden Arbeit sind natürlich die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der Variante ZeP von großer Bedeutung. Die Annahme einer Datenübertragung der Inhalte der ZeP auf das Lesegerät via DAB oder DVB-T zeigt eine Möglichkeit auf, den niedrigen Primärenergieaufwand für die Herstellung und den Gebrauch eines ZeP-Lesegerätes mit dem niedrigen Energieaufwand der Datenübertragung über die Infrastruktur des digitalen Rundfunks zu verknüpfen. Dies führt zu einer Umkehrung der Ergebnisse der Referenz-Berechnung – die Nutzung der Zeitung auf elektronischem Papier besitzt nicht mehr den höchsten, sondern von allen drei Zeitungs-Varianten den mit Abstand niedrigsten Energieaufwand.

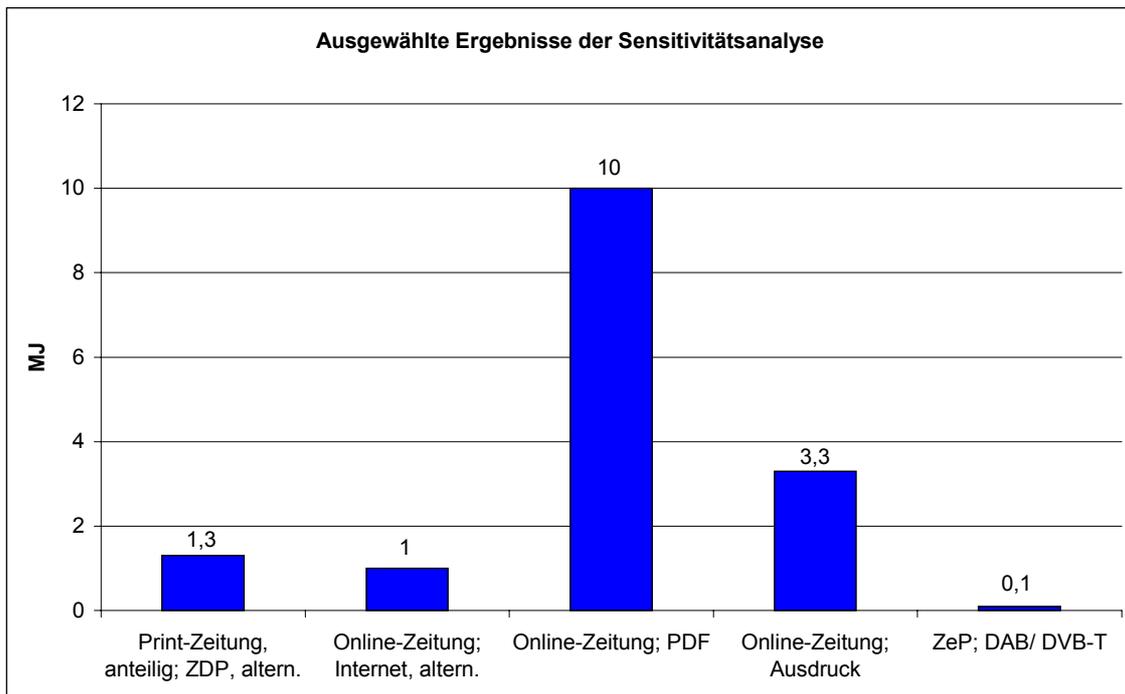
In Abbildung 7-3 sind noch einmal einige ausgewählte Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse dargestellt; die Ergebnisse der Referenz-Berechnung und die damit korrespondierenden Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind zum Vergleich in Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2 wiedergegeben.



**Abbildung 7-1: Ausgewählte Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zu den einzelnen Zeitungsvarianten**



**Abbildung 7-2: Ergebnisse der Referenzberechnung (Vergleichsgrundlage)**



**Abbildung 7-3: Ausgewählte Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen der drei Zeitungsvarianten**

Während das Lesen der Print- und Online-Zeitung zu vergleichbaren Energieaufwendungen führt, zeigen die sich stark voneinander unterscheidenden Ergebnisse der Referenz-Berechnung und der Sensitivitätsanalyse zu der Variante ZeP, dass hier noch weiterer Forschungsbedarf besteht. Insbesondere die Art der „Distribution“ (digitaler Rundfunk, Mobilfunk, Internet) als auch das elektronische Format der ZeP (PDF, HTML, andere) besitzen einen großen Einfluss auf den Energieaufwand, der als Maßzahl für die Umweltbelastung dient. Dies ist sicherlich auf die lückenhafte Datenlage zu e-Paper und denn konkreten Anwendungen zurückzuführen. Hauptgrund ist aber, dass noch keine Seriengeräte und -Anwendungen auf Basis von „richtigem“, also flexiblen e-Paper vorhanden sind. Jedoch soll diese Arbeit Wege und Möglichkeiten aufzeigen, die kritischen Faktoren der verschiedenen Technologien, die die Umweltbelastung von e-Paper beeinflussen, noch während des Entwicklungsstadiums ausfindig zu machen und abzuschätzen.

Es zeigt sich, dass die e-Paper-Technologien aufgrund von geringem Materialeinsatz und niedrigem Stromverbrauch ökologisch vorteilhaft erscheinen. Betrachtet man die e-Paper-Technologien nicht nur losgelöst von möglichen Anwendungen und Produkten, sondern in Zusammenhang mit diesen und den damit verbundenen Prozessen, so kann sich das (positive) Bild ändern. Selbstverständlich bleiben die ökologisch positiven Eigenschaften von e-Paper bei Verwendung in Endgeräten erhalten, nur muss dann das

gesamte Produktsystem betrachtet werden. Speziell das Beispiel einer Datenübertragung von Inhalten über das UMTS-Mobilfunksystem zeigt, dass einerseits e-Paper (aufgrund seiner Eigenschaften wie Stromverbrauch, Masse und Biegsamkeit) für mobile Anwendungen prädestiniert ist und mit großer Wahrscheinlichkeit hier auch sein Hauptanwendungsgebiet finden wird. Andererseits sind es genau diese mobilen Dienste, die durch die hohen Energieaufwendungen einer „Überall-Verfügbarkeit und -Inanspruchnahme“, die ökologischen Vorteile von e-Paper überkompensieren und aus ökologischer Sicht unvorteilhaft erscheinen lassen.

Bei der Entwicklung zukünftiger Geräte auf Basis von e-Paper müssen also die vorteilhaften Eigenschaften von e-Paper bewahrt und weiterentwickelt werden und die Umweltauswirkungen von mobilen Informationsangeboten und Anwendungen bedacht und durchdacht werden.

## 8 Anhang

### 8.1 Anhang A1 Datenquellen

Tabelle 8-1 liefert einen Überblick über die verwendeten Daten und die betrachteten Prozesse. Die Daten stammen aus Datenbanken, vorangegangenen Bilanzen, eigenen Berechnungen und Abschätzungen, Fachpublikationen und persönlichen Mitteilungen seitens befragter Experten.

Prozess	Datenquelle	Datenstand	Bemerkungen
<b><u>Nutzungscharakteristik</u></b>			
<b>Papier-Zeitung</b>			
Leseranzahl pro Zeitungsexemplar in Deutschland	[BDZV 2004]	2003	Persönliche Mitteilung
Durchschnittliche tägliche Lesedauer von Zeitungen	[BDZV 2004]	2003	Persönliche Mitteilung
<b>Online-Zeitung</b>			
Durchschnittliche tägliche Lesedauer von elektronischen Online-Zeitungen am PC	[Bucher 2003]	2003	Untersucht am Beispiel der elektronischen Faksimile-Ausgabe der Rhein-Zeitung
<b>ZeP</b>			
Durchschnittliche tägliche Lesedauer von ZeP	Eigene Abschätzung		Annahme: wie Papier-Zeitung [BDZV 2004]
Durchschnittliche Nutzungszeit von ZeP	Eigene Abschätzung		Unbekannt; Annahme 2 Jahre
<b><u>Elektronische Geräte und Betrieb der Infrastruktur</u></b>			
<b>PC</b>			
Durchschnittliche Nutzungs- und Lebenszeit eines PCs	[Dreier 2000]	Ende 90er	
Tägliche Nutzungszeit eines PCs	[Eimeren 2003]	2003	

Energieaufwand Herstellung PC	[Reichart; Hirschier 2001]	Ende 90er	
	[Dreier 2000]	Ende 90er	Inkl. Monitor, Drucker, Verpackung
Leistungsaufnahme PC	[Reichart; Hirschier 2001]	Ende 90er	
	[Schmerer 2004]	2004	
	und eigene Abschätzung	2004	Inkl. CRT-Monitor
Energieaufwand Datenübermittlung via Internet	[Reichart; Hirschier 2001]	2000	Persönliche Mitteilung
	[Türk 2003]	2002/2003	Berechnet am Beispiel Herunterladen von Musik
	[Türk 2001]	2001	Ressourcenintensität des Internets
	[Plätzer 1998]	1998	Berechnet am Beispiel des Deutschen Wissenschaftsnetzes
<b>Drucker</b>			
Ausdruck einer DIN A4 Seite auf einem Drucker	[Tzscheutschler 2004]	Ende 90er	Inkl. Papier und Toner
<b>Zeitung auf E-Paper</b>			
Energieaufwand Herstellung e-Paper	Eigene Berechnungen und Abschätzung	2004	Basierend auf [Gelinck 2004], [Polymervision 2004], [Hayes 2004]
Stromverbrauch e-Paper und ZeP	[Polymervision 2004]	2004	Seriennaher Prototyp, Steuerelektronik teilw. im Bildschirm mitintegriert
	Eigene Berechnungen	2004	Basierend auf [Gelinck 2004], [E-Ink 2002], [Polymervision 2004], [Hayes 2004]
	[E-Ink 2002]	2002	
	[Gelinck 2004]	2003	

Weitere Elektronik für ZeP	[Tzscheutschler 2004]	Ende 90er	Bestückte Platine
Energieaufwand Datenübermittlung über UMTS	[Emmenegger 2003]	2003	Energieaufwand für die Übermittlung einer bestimmten Datenmenge über UMTS inkl. Handy und Infrastruktur (Nutzungsdauer 2 Jahre)
<b><u>Papier und Karton</u></b>			
Herstellung Zeitungsdruckpapier	[ProBas 2004]	1999/00	Datenbank des UBA; Quelle: Öko-Institut Ausgehend von 100% Altpapier für Herstellung
	[Egli 2002]	Mitte/ Ende 90er	In UMWELT, Hrsg. BUWAL; basierend auf [Reichart; Hischier 2001]
	[Schneider 2000]	1999/00	In IPW Science and Technology
Zeitungsdruck	[ZDL 2003]	2002	Nur Strombedarf ohne Verbrauchsmaterialien; Durchschnitt für Deutschland
Qualität Zeitungsdruckpapier	[ZDL 2004]	2004	Durchschnittliche Angaben für Deutschland
	[Klement, Dyllick 2000]	Ende 90er	
Karton für Verpackungen	[Ecoinvent 2004]		Ecoinvent Datenbank, Version 1.01; Chromoduplex-/ Triplexkarton GD/ GT
<b><u>Kunststoffe</u></b>			
PET – Polyethyleneterephthalate	[APME 2002]	90er Jahre	
ABS – Acrylnitril-Butadien-Styrol	[FfE 1999]	Ende 90er	In GaBiE-Datenbank
<b><u>Metalle</u></b>			
Mangan	[Ecoinvent 2004]	2000	

Eisen, roh	[ProBas 2004]	2000	
Nickel	[FfE 1999]	1999	
<b><u>Weitere Stoffe</u></b>			
Kohlenstoff	[Ecoinvent 2004]		Ruß
Schwefelsäure	[Ecoinvent 2004]		
<b><u>Transporte</u></b>			
LKW Deutschland	[ProBas 2004]	2000	Quelle: Öko-Institut; Durchschnittlicher LKW-Mix für Deutschland über 3,5 t

**Tabelle 8-1: Datenquellen**

## 8.2 Anhang A2 Modellierung und Berechnung ZeP-Lesegerät auf Basis von e-Paper

### Abschätzung des Primärenergieaufwandes für die Herstellung eines ZeP-Lesegerätes auf Basis von e-Paper

Teilkomponente	Bestehend aus	Masse	KEA (inkl. Quelle)	KEA, bezogen auf Teilkomponente
Display/ e-Paper	Polyesterkunststoff – Polyethylenterephthalat, PET	0,05 kg (1250 cm <sup>2</sup> , DIN A3)	77,2 MJ/kg [APME 2002]	3,9 MJ
Gehäuse	Acrylnitril-Butadien-Styrol, ABS	0,05 kg	114 MJ/kg [FfE 1999]	5,7 MJ
(Steuer-) Elektronik inkl. Datenspeicher	bestückte Platine	0,02 kg	2400 MJ/kg [Tzscheutschler 2004]	48 MJ
Energieversorgung	Lithium-Ionen-Akku	0,02 kg		6,5 MJ (siehe ‚Berechnung Lithium-Ionen-Akku‘)
Datenverbindung	(bestückte Platine)	In ‚(Steuer-) Elektronik‘ mitenthalten		In ‚(Steuer-) Elektronik‘ mitenthalten
Ladegerät	Schaltnetzteil	0,03 kg	800 MJ/kg [Tzscheutschler 2004]	24 MJ + 1,3 MJ = 25,3 MJ
	Kabel; dreipolig, Kupferlitze	0,02 kg	62,3 MJ [FfE 1999]	
Verpackung	Chromo-Duplex-Karton,	0,05 kg	19,8 MJ [Ecoinvent 2004]	1 MJ
<b>Gesamtmasse</b>		<b>0,24 kg</b>		
<b>Kumulierter Energieaufwand</b>				<b>100 MJ</b>

**Tabelle 8-2: Zusammensetzung und kumulierter Energieaufwand für die Herstellung eines Lesegerätes auf Basis von e-Paper**

Aus der Berechnung ergibt sich ein kumulierte Energieaufwand für die Herstellung des Lesegerätes auf Basis von E-Paper in Höhe von 100 MJ. Zum Vergleich: Der Primärenergieaufwand für die Herstellung eines Laser-Druckers beträgt 760 MJ bei einer Masse von 3,6 kg [Tzscheutschler 2004].

**Anmerkungen:**

- e-Paper: Nach Gelinck [2004], E-Ink [2002] und Lemme [2003] besteht das Trägermaterial von flexiblem e-Paper aus dem Polyester-Kunststoff Polyethylenterephthalat PET.
- Masse von e-Paper: Ausgegangen wird von einer Dicke von 0,1 mm [Polymervision 2004], was ein Volumen von 12,5 cm<sup>3</sup> bei einer Fläche von 1250 cm<sup>2</sup> (DIN A3) ergibt. Die Dichte von PET beträgt 1,38 g/cm<sup>3</sup> [Naue 2004]. Rein rechnerisch ergibt dies ca. 18 g, es muss aber noch die Masse der im E-Paper enthaltenen Farbpartikel und Flüssigkeiten mitberücksichtigt werden. Da keine Daten zu den Stoffen und Mengen der Farbpartikel und Flüssigkeiten vorliegen, kann keine Aussage zu den dazugehörigen Primärenergieaufwendungen gemacht werden (Bilanzlücke).
- Elektronik: Die Angaben für den Primärenergieaufwand für die Herstellung von bestückten Platinen variieren zwischen 800 MJ/kg für Netzgeräte und 4000 MJ/kg für Computer-Grafikkarten [Tzscheutschler 2004]; angenommen wird hier ein mittlerer Wert von 2400 MJ/kg.

**Näherungsweise Berechnung des Primärenergieaufwandes für die Herstellung eines Lithium-Ionen-Akkus**

Grundstoff	Gewichtsanteil	Bemerkung
Eisen	41%	
MnO <sub>2</sub>	32%	Mn 20,2%
Kohlenstoff	3%	Ruß
Nickel	4%	
Lithium	3%	
Elektrolyt	13%	Annahme: Salzsäure. Üblich aber LiPF <sub>6</sub>

**Tabelle 8-3: Zusammensetzung eines Lithium-Ionen-Akkus nach Emmenegger [2003]**

Statt Salzsäure wird Schwefelsäure angenommen. Es wird von einer Akku-Masse von 20 g ausgegangen.

<b>Grundstoff</b>	<b>KEA (inkl. Quelle)</b>	<b>Gewichtsanteil Akku</b>	<b>KEA Akku</b>
Eisen	23,9 MJ/kg [ProBas 2004]	8,2 g	2 MJ
Mangan	60,4 MJ/kg [Ecoinvent 2004]	4 g	2,4 MJ
Ruß	113,6 MJ/kg [Ecoinvent 2004]	0,6 g	0,7 MJ
Nickel	156,3 MJ/kg [FfE 1999]	0,8 g	1,3 MJ
Lithium	Bilanzlücke – keine Daten vorhanden	0,6 g	-
Schwefelsäure	2 MJ/kg [Ecoinvent 2004]	2,6 g	0,1 MJ
<b>Gesamt</b>		<b>16,8 g, Rest Gehäuse etc.</b>	<b>6,5 MJ</b>

**Tabelle 8-4: Berechnung des Primärenergieaufwandes für die Herstellung der Ausgangsstoffe eines Lithium-Ionen-Akkus**

Aus der Berechnung ergibt sich ein kumulierte Energieaufwand für die Herstellung des Lithium-Ionen-Akkus von näherungsweise 6,5 MJ. Zum Vergleich: Der Primärenergieaufwand für die Herstellung einer NiMH-Batterie-Zelle mit einer Masse von 24 g beträgt 5,5 MJ [Tzscheutschler 2004].

## 9 Literaturverzeichnis

- [APME 2002] APME; Ökobilanz-Datenbank zu Kunststoffen; [http://www.apme.org/dashboard/business\\_layer/template.asp?url=http://www.apme.org/media/public\\_documents/20011009\\_164930/lca\\_summary.htm&title=LCA:+Summary+of+topics](http://www.apme.org/dashboard/business_layer/template.asp?url=http://www.apme.org/media/public_documents/20011009_164930/lca_summary.htm&title=LCA:+Summary+of+topics); bezogen im März 2004
- [Arlt 2003] Arlt, Andreas; Systemanalytischer Vergleich zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus biogenen Abfällen; in: „Forschungszentrum Karlsruhe – Wissenschaftliche Berichte“, FZKA 6949; Karlsruhe 2003; <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2003/arl03a.pdf>; bezogen am 13.04.2004
- [BDZV 2004] Bundesverband Deutscher Zeitungsverleger; persönliche Mitteilungen im März 2004
- [Behrend 1998] Behrend, Siegfried et al.; Ökobilanzierung komplexer Elektronikprodukte; Springer-Verlag, Berlin 1998
- [Bock 2004] Bock, Gerhard; Firma Siemens, Information and Communication mobile, München; persönliche Mitteilung vom 13.01.2004
- [Bucher 2003] Bucher, Hans-Jürgen, Steffen Büffel und Jörg Wollscheid; Digitale Zeitungen als ePaper: echt Online oder echt Print?; in: „Media Perspektiven“, Ausgabe 9/2003; <http://www.ard-werbung.de/showfile.phtml/bucher.pdf?foid=8752>; bezogen am 11.03.2004
- [Charypar 2002] Charypar, David; Energieeffizienz in Ubiquitären Systemen; Fachseminar „Verteilte Systeme“; ETH Zürich, Department Informatik; [http://www.vs.inf.ethz.ch/edu/SS2002/DS/slides/11\\_Energie.pdf](http://www.vs.inf.ethz.ch/edu/SS2002/DS/slides/11_Energie.pdf); bezogen am 29.03.2004
- [Conabree 2004] Conabree, Dave; Fujitsu one step closer to Digital Paper Production; in: “MobileMag.com”, erschienen am 20.01.2004; <http://www.mobilemag.com/content/100/102/C2393/>; bezogen am 09.02.2004
- [Digitalradio 2004] Informationen auf der Internetseite von Digitalradio; <http://www.digitalradio.de/de/background/glossar/index.html>; bezogen im April 2004
- [Ditlea 2001] Ditlea, Steve; The Electronic Paper Chase; in: “Scientific American.com”; erschienen am 16.11.2001; <http://www.sciam.com/article.cfm?articleID=0004C2D2-B938-1CD6-B4A8809EC588EEDF>; bezogen am 09.02.2004
- [Dreier 2000] Dreier, Thomas, Franz Fischer und Ulrich Wagner; Ganzheitliche energetische Bilanzierung eines Personal Computers; in: „Energiewirtschaftliche Tagesfragen“, Ausgabe 4/2000; Essen

- [Ecoinvent 2004] Ecoinvent Online-Datenbank; [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch); Datenstand V1.01 (2003); bezogen im März 2004
- [Egli 2002] Egli, Norbert; Elektrizität klug nutzen & sauber produzieren; in: „Umwelt“, Ausgabe 4/2002; <http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/buwalcontent/umwelt42002/13.pdf>; bezogen am 08.03.2004
- [Eimeren 2003] Eimeren, Birgit van, Heinz Gerhard und Beate Frees; ARD/ZDF-Online-Studie 2003. Internetverbindung in Deutschland: Unerwartet hoher Zuwachs; in: „Media Perspektiven“, Ausgabe 8/2003; <http://www.daserste.de/service/ardonl03.pdf>; bezogen am 15.03.2004
- [E-Ink 2002] E-Ink; Document Download Center; <http://www.e-ink.com/downloads/index.html>; bezogen im Februar 2004
- [Emmenegger 2003] Faist Emmenegger, Mireille et al.; LCA des Mobilfunksystems UMTS – Endbericht; [http://www.esu-services.ch/download/LCA\\_UMTS\\_System.zip](http://www.esu-services.ch/download/LCA_UMTS_System.zip); Uster, 2003
- [FfE 1999] Forschungsstelle für Energiewirtschaft; Online-Datenbank zu ausgewählten Grundstoffen und Halbzeugen; [www.ffe.de](http://www.ffe.de); bezogen im März 2004
- [FIRST 2004] Fraunhofer Institut Rechnerarchitektur und Softwaretechnik FIRST; Informationen zum Projekt DIBS auf der Internetseite des FIRST; <http://www.first.fraunhofer.de/dibs/dibsGER.html>; bezogen im April 2004
- [Gelinck 2004] Gelinck, Gerwin H. et al.; Flexible active-matrix displays and shift registers based on solution-processed organic transistors; in: “Nature Materials” Vol. 3, Ausgabe Februar 2004; <http://www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?file=/nmat/journal/v3/n2/full/nmat1061.html&filetype=pdf>; bezogen am 01.03.2004
- [Golem 2004] o.V.; Sony Librié: Erstes Produkt mit elektronischer Tinte kommt; in: „golem.de“, erschienen am 24.03.2004; [http://www.golem.de/showhigh2.php?file=/0403/30493.html&wort\[\]=sony&wort\[\]=e-ink&wort\[\]=philips](http://www.golem.de/showhigh2.php?file=/0403/30493.html&wort[]=sony&wort[]=e-ink&wort[]=philips); bezogen am 24.03.2004
- [Gyricon 2004] Gyricon; Informationen auf der Internetseite von Gyricon; <http://www.gyricon.com>; bezogen im Februar 2004
- [Hayes 2004] Hayes, Robert A.; Firma Philips, Philips Research Laboratories, Eindhoven; persönliche Mitteilungen im Februar 2004
- [Hayes; Feenstra 2004] Hayes, Robert A. und Johan Feenstra, Video-speed electronic paper based on Electrowetting; in: “Nature” Vol. 425, Ausgabe September 2003; [http://www.research.philips.com/Assets/Downloadablefile/nature\\_reprint\\_electrowetting-2625.pdf](http://www.research.philips.com/Assets/Downloadablefile/nature_reprint_electrowetting-2625.pdf); bezogen am 09.02.2004

- [Huschke 2004] Huschke, Thomas; Deutsche Telekom AG, Media & Broadcast, System Solutions & Engineering, Berlin; persönliche Mitteilung
- [Karla 2004a] Karla, Jürgen; E-Paper – Applications; in: „Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI) 2004“ Band 3, Hrsg.: Branki, Cherif et al.; Essen 2004
- [Karla 2004b] Karla, Jürgen und Jochen Vogts; E-Revolution in Papier und Tinte; in: „dvn – der neue vertrieb“, Ausgabe 5/2004
- [Klement, Dyllick 2000] Klement, Eva und Thomas Dyllick; Ökologische Lernprozesse in der Papierkette; St. Gallen 2000
- [Klement, Dyllick 1999] Klement, Eva und Thomas Dyllick; Ökologische Herausforderungen und institutionelle Veränderungen in der Papierbranche; St. Gallen 1999
- [Lemme 2003] Lemme, Helmuth; Displays zum Aufrollen; in: „Elektronik“, Ausgabe 16/ 2003; [http://www.elektroniknet.de/topics/bauelemente/fachthemen/2003/0029/index\\_a.htm](http://www.elektroniknet.de/topics/bauelemente/fachthemen/2003/0029/index_a.htm); bezogen am 01.03.2004
- [Mallik 2004] Mallik, Stephan; Ist die Zeitung noch zu retten? Das Vielfaltsversprechen der Zeitung auf elektronischem Papier für Zeitungsmarkt und Zeitungsleser; Dissertation; Berlin 2004
- [Mallik 2003] Mallik, Stephan; Die Zeitung der Zukunft ist mobil; in: „Fachjournalist“, Ausgabe 8/2003; [http://www.dfjv.de/download/artikelarchiv/mallik\\_papierlosezeitung.pdf](http://www.dfjv.de/download/artikelarchiv/mallik_papierlosezeitung.pdf); bezogen am 19.01.2004
- [Naue 2004] Naue Fasertechnik; Informationen auf der Internetseite von Naue Fasertechnik; <http://www.naue.com/lexikon/lexikon3.html>; bezogen im März 2004
- [Oeko 2004] Öko-Institut; Was ist KEA; <http://www.oeko.de/service/kea/kea.htm>; bezogen am 13.04.2004
- [Plastic Logic 2003] Pressemitteilung der Firma Plastic Logic vom 11.11.2003; zu beziehen über <http://www.plasticlogic.com/>; bezogen am 13.04.2004
- [Plätzer 1998] Plätzer, Edik Tibo; Papier vs. Neue Medien: Eine Analyse der Umweltverträglichkeit von Presseinformationen im Licht des technologischen Wandels; Dissertation, Darmstadt 1998
- [Polymervision 2004] Polymervision; Display Specifications; <http://www.polymer-vision.nl/teksten/images/specs.pdf>; bezogen am 29.03.2004
- [ProBas 2004] ProBas Online-Datenbank; <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/baum/php/index.php>; bezogen im März 2004

- [Reichart; Hischier 2001] Reichart, Inge und Roland Hischier; Vergleich der Umweltbelastungen bei Benutzung elektronischer und gedruckter Medien; ugra-report 108/3, erschienen im Februar 2001; zu beziehen über [http://www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*/7932/---/l=2](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/7932/---/l=2); bezogen am 19.01.2004
- [Reimers 2003] Reimers, Ulrich; DVB-T: Basis für neue Inhalte und Anwendungen; Präsentation anlässlich des 12. Symposiums der Deutschen TV-Plattform, 15.05.2003, Berlin; <http://www.tv-plattform.de/pdf/Symposien/symp2003.Bln/map/s03KoMa9.pdf>; bezogen am 13.04.2004
- [Sacchet 2002] Sacchet, Jean E. und Elgar Fleisch; Wie verändert elektronisches Papier die Medienbranche – insbesondere den Zeitungsverlag; M-Lab Report Nr. 11; interne Version; St. Gallen 2002
- [Schmerer 2004] Schmerer, Kai; Stromfresser PC: Geld sparen durch kluge Komponenten-Wahl; in: „Zdnet.de“, erschienen am 18.02.2004; <http://www.zdnet.de/enterprise/client/0,39023248,39119821,00.htm>; bezogen am 18.02.2004
- [Schneider 2000] Schneider, Dieter, Joachim Vorwerk und Werner Rixen; Energieeinsatz bei der Papiererzeugung – produktgruppen- und prozessstufenbezogen – Vergleich unter den Sorten; in: „ipw – Internationale Papierwirtschaft“, Ausgabe 11/2000; <http://www.ipwonline.de/download/zellchem/2000/dp110001.pdf>; bezogen am 11.03.2004
- [Schryen 2002] Schryen, Guido und Jürgen Karla; Elektronisches Papier – Displaytechnologie mit weitem Anwendungsspektrum; in: „Wirtschaftsinformatik“, Ausgabe 44 (2002) 6
- [Sonmez 2004] Sonmez, Gursel et al.; A Red, Green, and Blue (RGB) Polymeric Electrochromic Device (PECD): The Dawning of the PECD Era.; in: “Angewandte Chemie”, Bd. 116, Ausgabe 12/2004
- [Spiegel 2004] Spiegel-Online; Die Handy-Glotzen kommen; <http://www.spiegel.de/netzwelt/technologie/0,1518,289647,00.html>; bezogen am 13.04.2004
- [Thole 2004] Thole, Silke; Plastikdisplays für 1 Cent das Stück; in: „VDI Nachrichten“, Ausgabe vom 08.04.2004
- [Türk 2003] Türk, Volker et al.; The environmental and social impacts of digital music – A case study with EMI; <http://www.digital-eu.org/publications/default.asp?pubid=46>; bezogen am 16.02.2004
- [Türk 2001] Türk, Volker; Assessing the Resource Intensity of the Internet Infrastructure: Data Analysis for a Material-Flow Oriented Approach and First Results on

- Electricity Consumption; M.Sc.-Arbeit an der Lund Universität, Schweden; Lund 2001
- [Tzscheuschler 2004] Tzscheuschler, Peter; Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, TU München; persönliche Mitteilungen im März 2004
- [Überall-TV 2004] Informationen auf der Internetseite von Überall-TV; <http://www.ueberall-tv.de/>; bezogen im April 2004
- [VDI 2003] *swe*; Hauchdünne Displays im Schwarzweiß-Look; in: „VDI Nachrichten“, Ausgabe vom 04.04.2003
- [Walker 2004] Walker, Leslie; Makers Scramble To Put Some Bend In ‚Electric Paper‘; in: „technews.com“; erschienen am 12.02.2004; <http://www.washingtonpost.com/ac2/wp-dyn/A34553-2004Feb11?language=printer>; bezogen am 01.03.2004
- [Wikipedia 2004] Wikipedia Online-Enzyklopädie, Begriff „Elektrophorese“; <http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrophorese> ; bezogen am 05.04.2004
- [Xerox 2004] Pressemitteilung der Firma Xerox vom 16.04.2004; bezogen über [www.xerox.com](http://www.xerox.com)
- [Zang 2003] Zang, HongMei und R.C. Liang; Microcup Electronic Paper by Roll-to-Roll Manufacturing Processes; in: “The Spectrum” Vol. 16, Ausgabe 2 2003
- [ZDL 2004] Zeitungsdruckerei Leipzig; Informationen auf der Internetseite der Zeitungsdruckerei Leipzig; [www.zdl-online.de](http://www.zdl-online.de); bezogen im Februar 2004
- [ZDL 2003] Zeitungsdruckerei Leipzig; Ökologische Betriebsbilanz 2002; [http://www.zdl-online.de/download/oeko-bilanz\\_2002.pdf](http://www.zdl-online.de/download/oeko-bilanz_2002.pdf); bezogen am 16.02.2004
- [Zinnbauer 2002] Zinnbauer, Markus und Alexander Thiem; e-Paper: Kundenanforderungen an das Zeitungsmedium – eine empirische Studie; EFOplan Arbeitspapier 1302; <http://www.efoplan.de/pdf/ap13.pdf>; bezogen am 18.02.2004