

Forschungszentrum Arbeit und Technik

artec

Hans Dieter Hellige

**Werkstoffwahl, energetische Dimensionierung
und andere umweltrelevante Designkriterien
in der Problemstruktur der Telefaxtechnik**

artec-Paper Nr. 55, November 1997

Universität Bremen

Werkstoffwahl, energetische Dimensionierung und andere umweltrelevante Designkriterien in der Problemstruktur der Telefaxtechnik

Hans Dieter Hellige

Inhalt

1. Problemlösungsansatz und elementare Wirkstruktur der Faxtechnik
 2. Die Entwicklungsphasen der Telefaxtechnik
 3. Die ökologische Problematik der telefax-spezifischen Funktionswerkstoffe
 4. Die ökologische Problematik der energetischen Gestaltung von Telefaxgeräten
- Literatur
- Anhang: Problemstrukturplan der Faxtechnologie nach Akteursperspektiven

Überblick

Bei der Faxtechnik handelt es sich um eine Technik, die sich immer anders entwickelt hat, als es die Erfinder und Promotoren erwarteten. Sie ist eine der ältesten elektrischen Telekommunikationstechniken, doch erst 140 Jahre nach ihrem ersten Auftauchen erlebte sie einen Aufstieg sondergleichen und brachte dadurch den Fahrplan der Massenausbreitung von E-Mail und anderen Computer-Based Message Systems erheblich durcheinander. Als eine Nachrichtenform, die sich zwar technisch immer mehr der Digitaltechnik anpaßte, in ihrem Erscheinungsbild gegenüber dem Benutzer doch immer analog blieb, wurde Telefax von der zweiten Hälfte der 80er Jahre an zu einer höchst erfolgreichen Protesttechnik gegen die Inkompatibilität und Bedienprobleme der computer-basierten Kommunikationstechniken. Dieser Beitrag zeigt im Anschluß an eine Skizze der Entwicklungsphasen der Facsimilitechniken, daß das Erfolgsrezept von Telefax, die besonders anwenderfreundliche ergonomische Gestaltung einhergeht mit einer aus ökologischer Perspektive problematischen Werkstoffwahl und energetischen Dimensionierung. Die technikgenetische Fallstudie verknüpft die Darstellung der spezifischen Akteurskonstellation mit der Darlegung interner Problemstrukturen dieser Technik, d. h. der zentralen Designkonflikte, denen sich umweltorientierte Entwickler und Konstrukteure dieser Technik gegenübersehen.

1. Problemlösungsansatz und elementare Wirkstruktur der Faxtechnik

Die Faxtechnik ist im Kern eine Nachrichtenübermittlungstechnik von Standbildern bzw. festen Text- und Graphikvorlagen, die punkt- oder zeilenweise abgetastet, seriell übertragen und originalgetreu bzw. sehr ähnlich ("fac simile") aufgezeichnet wurde. Durch das Prinzip punktcodierter Zeichenübertragung unterscheidet sich die Faxtechnik von allen Systemen der Textkommunikation, die mit einem vorgegebenen alphanumerischen Zeichenvorrat sowie einem fest definierten Satz graphischer Elemente (z. B. bei BTX) arbeiten. Die punktweise Abtastung, Übertragung und Aufzeichnung erlaubt die Übermittlung beliebiger Vorlagen und verfügt daher innerhalb der nicht-sprachlichen schmalbandigen Kommunikationstechniken über die meisten Freiheitsgrade.

Der Problemlösungsansatz weist dementsprechend eine Reihe von komparativen Nutzungsvorteilen gegenüber den konkurrierenden Ansätzen auf:

- Keine Abhängigkeit von semiotischen Zeichenvereinbarungen bzw. Formatstandards, die über die Definition des Punktcodes hinausgehen, dadurch
- weitaus geringere Kompatibilitätsprobleme als die übrige Text- und Datenkommunikation und
- die Möglichkeit einer Mischkommunikation aus Text, Graphik und Bildern und
- aufgrund der möglichen handschriftlichen Eingabe geringe Anforderungen an die Einarbeitung in maschinelle Schreibtechniken sowie in Spezialkenntnisse der Text- und Datenkommunikation (z. B. bei Telex oder E-Mail).

Diese Vorteile werden freilich mit einigen zum Teil schwerwiegenden Nutzungsnachteilen erkauft:

- Folge des geringen Informationsgehaltes der Punktcodierung ist ein wesentlich höherer Zeichenaufwand gegenüber zeichencodierten Kommunikationstechniken.
- Daraus ergeben sich ein vergleichsweise hoher Bandbreitenbedarf und hohe Übertragungskosten, die weit über denen von Telex oder E-Mail liegen.
- Mangels Trennung von logischer und physikalischer Funktion besteht keine freie Wählbarkeit und Gestaltbarkeit des Endgerätes und der Benutzerschnittstelle wie bei E-Mail

Wegen dieser komparativen Nutzungsnachteile wurde bei der lange Zeit vorherrschenden nachrichtentechnischen Sichtweise der Entwickler und Hersteller die Faxtechnik von vornherein als eine teurere Spezial- oder Nischentechnik eingestuft, die der geschäftlichen Kommunikation vorbehalten ist. Erst in den letzten Jahrzehnten hat man auch in Europa und in USA erkannt, wie es bereits Ende der siebziger Jahre in Japan der Fall war, daß bei einer Berücksichtigung des Aufwandes für

das Endgerätesystem, das Bediensystem (Ergonomie) und für das Anwendungssystem (dort insbesondere die Vorlagenerstellung) die Faxtechnik durchaus mit anderen Main-Stream-Techniken der Textkommunikation konkurrieren kann.

Aus dem Problemlösungsansatz ergibt sich eine elementare Wirkstruktur: Eine Vorlage muß in einer 'Abtast'- und 'Lese-' bzw. Codierstation in einen Punktcode und eine Kette übertragbarer Signale umgewandelt werden, die dann über einen Kommunikationskanal übertragen und in einer Aufzeichnungs- und Schreibstation in eine sichtbare Hard-Copy zurückverwandelt wird. Das Faxsystem besteht also intern

- aus einer Sendeeinheit, in der die Abtastung der Vorlage, die Signalisierung und die Anpassung an den Übertragungskanal (Modulation) erfolgt,
- dem Übermittlungssystem, das die erzeugten Signalströme überträgt und vermittelt und
- der Empfangseinheit, in der die Signale in ein optisches Abbild der Vorlage umgesetzt und aufgezeichnet werden.

Da aus Gründen des technischen und wirtschaftlichen Aufwandes der Faxdienst als ein speicherloses System konzipiert wurde, war bis zu den Gruppe-3-Geräten zusätzlich noch ein Synchronisierungsmechanismus erforderlich, der für einen Gleichlauf von Abtastung, Übertragung und Aufzeichnung sorgt. Voraussetzung für die synchrone Faksimile-Übertragung ist dabei eine technische Abstimmung aller mechanischen, elektronischen, übertragungs- und codierungstechnischen sowie elektrochemischen und drucktechnischen Abläufe. Die einzelnen Funktionen wurden also von vornherein als ein zeitlich interdependenter systemischer Funktionsverbund realisiert. Durch die Einführung eines Pufferspeichers in dem Gruppe-3-Standard erfolgte eine teilweise Entkopplung von Abtastung, Übertragung und Aufzeichnung, sodaß die Kommunikation zwischen unterschiedlich langsamen Aufzeichnungsprinzipien und Druckverfahren (Thermofax, Tintenstrahldruck, Laserfax) und so eine weitergehende Ausdifferenzierung der Endgeräte-Konzepte und -Konfigurationen möglich wurde. Doch erst rein digitale Faxsysteme (PC-Fax und Gruppe-4-Systeme) erlauben aufgrund der längerfristigen Zwischenspeicherung eine vollständige zeitliche Entkopplung der Abtast-, Übertragungs und Aufzeichnungsprozesse und damit sogar einen Verzicht auf papierbasierte Aufzeichnungsverfahren.

Die sich aus dem Problemlösungsansatz und der elementaren Wirkstruktur ergebenden Konstruktionsentscheidungen und Gestaltungsspielräume der Entwickler bei der Funktionsstrukturierung, bei den informationstechnischen und gerätebezogenen System- und Leistungsparametern, dem skalenökonomischen Mengenansatz, dem

Normungsgrad sowie bei den über den unmittelbaren Entwickler- und Hersteller-Bereich hinausgehenden Gestaltungsmerkmale können hier nicht behandelt werden, vgl. hierzu die Listendarstellung des Problemstrukturplans im Anhang.¹

2. Die Entwicklungsphasen der Telefaxtechnik

Die Faxtechnik gehört zu den ältesten Anwendungen der Elektrizität, sie ist etwa zeitgleich mit der Morsetelegrafie Anfang der 40er Jahre des neunzehnten Jahrhunderts entstanden (vgl. zum folgenden Zetsche, 1865,1877; Kunert, 1931). Der schottische Telegrafenerfinder Alexander Bain entwickelte als erster einen 1843 patentierten elektrochemischen Kopiertelegraphen, bei dem eine leitende Metallfolie mit nichtleitenden Lettern beschrieben, dann mit kammartig angeordneten Kontakten und einem Pendelmechanismus zeilenweise Punkt für Punkt abgetastet und in elektrische Signalketten umgewandelt wird. Beim Empfänger wirken die Stromstöße, über einen synchron laufenden Pendelmechanismus gesteuert, auf ein mit Ferrocyanium und Natriumnitrat getränktes Papier ein und erzeugen über dieses chemische Farbgebungsverfahren das nahezu identische Schriftbild der Vorlage (Korn, Glatzel, 1911, S. 46; Thielecke, 1993, S. 98). Der Kopiertelegraph erhielt dann 1847 durch den Engländer Frederick Collier Bakewell seine lange Zeit gültige Form: Das Prinzip der Trommelabtastung und -aufzeichnung. Mit einem vom Ansatz her sehr ähnlichen "Pantelegraphen" gelang dem aus Italien stammenden Erfinder Giovanni Caselli zwischen 1861 und 1868 in Frankreich erstmals die Betreibung eines öffentlichen Faksimiledienstes. Doch der Bedarf für die Übertragung von Handschriften und Zeichnungen mit der äußerst langsamen und teuren Reliefmethode blieb so gering, daß sich der dauerhafte Betrieb nicht rentierte (Korn, 1924, S. 175-179).

Das zentrale Motiv der Erfinder früher Faxtechniken war das Bestreben, die gewohnte handschriftliche Briefkommunikation beizubehalten und dem Benutzer keine Nachrichtencodierung zuzumuten. Die Telegrafiesysteme, die sich seit 1840 besonders erfolgreich durchgesetzt hatten, die Telegrafien von Morse, Hughes und Baudot, beruhten alle auf dem Prinzip der Zeichencodierung. Sie waren relativ schnell und effizient, doch benötigte man für jeden Kommunikationsvorgang der Zwischenschaltung professioneller Telegrafisten. Während des ganzen 19. Jahrhunderts waren daher Erfinder wie Edison, und bestrebt, mit Hilfe von "Kopiertelegraphen bzw. Teleautographen" den Umweg professioneller Codierung zu vermei-

¹ Zum technikgenetischen Ansatz der Problemstruktur vgl. Hellige, Hans Dieter, Von der programmatischen zur empirischen Technikgeneseforschung: Ein technik-historisches Analyseinstrumentarium für die prospektive Technikbewertung, in: Technikgeschichte 60 (1993), 3, S. 186-223; ders., Leitbilder, Strukturprobleme und Langzeitdynamik von Teletex. Die gescheiterte Diffusion eines Telematik-Dienstes aus der Sicht der historischen Technikgeneseforschung, in: Matthias-W. Stoetzer, Alwin Mahler (Hrsg.), Die Diffusion von Innovationen in der Telekommunikation, (Schriftenreihe des WIK, Bd. 17), Berlin, Heidelberg, New York 1995, S. 195-218

den. Doch dies war nur um den Preis eines deutlich höheren Zeichen- und Übertragungsaufwandes erreichbar, was bei elektromechanischer Abtastung und elektrochemischer Aufzeichnung zu extrem hohen Übertragungszeiten führte. Die Übertragungskosten waren dadurch in der Vergangenheit so hoch, daß die Faxtechnik nur für solche Anwendungen eingesetzt wurde, für die es keine Konkurrenztechniken gab.

Hinzu kamen noch die technischen Mängel der frühen Sende- und Empfangsgeräte. Die als Betriebsmittel beim Sender verwendeten Metallfolien und Relieftinten waren sehr teuer. Die für die Aufzeichnung verwendeten elektrochemischen Verfahren waren dagegen meist mit giftigen Dämpfen und der Gefahr der Verätzung verbunden. Bakewells Telegraf verwendete für die Kopiervorlage Firnis auf Zinnfolie und für die Aufzeichnung mit blausaurem Kali getränktes und mit Salzsäure befeuchtetes Papier. Jacques Paul Lambrigot in Paris nahm für seinen Kopier-telegraphen von 1865 dagegen salpetersaures Ammoniak und Blutlaugensalz, wozu zur Sichtbarmachung noch einige Tropfen Salpetersäure und eine Lösung von schwefelsaurem Eisen dazukamen, ein besonders langsames Verfahren mit besonders hohem Stromverbrauch, bei dem an der Anode zudem Ferrozyanion entstand. Bei Verwendung des Casellischen Telegrafen wurde sogar empfohlen, "das empfangende Papier sorgfältig am besten mit Cyankali" zu tränken (Zetsche, 1877, S. 408-414). Die Erfinder hatten offensichtlich Mühe, überhaupt chemische Aufzeichnungsverfahren zu finden und realisieren und machten sich über die Problematik der verwendeten Funktionswerkstoffe kaum Gedanken.

Bei späteren Kopiertelegrafen ging man von diesen ausgesprochenen Giften ab und benutzte stattdessen Natriumsulfat bzw. Glaubersalz als "Leitelektrolyt" und einen auf Alkalien oder freie Säuren mit Verfärbung reagierenden Indikator wie Phenol- oder Thymolphthalein. Bei dem Kontakt der zuvor in einem Wasserbad angefeuchteten Registrierpapiere mit dem Elektrolyten entstanden bei der Zersetzung aber dennoch Schwefelsäure und Natronlauge, die die Einfärbung des Papiers bewirkten (Ilberg, 1932, S. 199 f.). Die Benutzer waren also beim Kopieren einer Reihe z.T. unangenehmer Chemikalien oder gar höchst toxischen Verbindungen ausgesetzt, so daß schon bald Warnungen und Forderungen nach einem sorgfältigem Umgang mit den Chemikalien laut wurden.² Eine massenhafte Anwendung dieser Technik hätte zu allerlei Beeinträchtigungen der Anwender sowie vor allem zu beträchtlichen Schadstoffansammlungen geführt, zumal eine Wiederaufbereitung und Mehrfach-

² "Dazu erheischen die bei einigen Copirtelegraphen benutzten Chemikalien grosse Vorsicht, z.B. das sehr giftige Cyankalium oder blausaure Kali.", Zetsche, 1877, S. 406

nutzung der Verbrauchsmaterialien vom Bewußtseitsstand der Zeit und vom Stand der technischen Verfahren eher unwahrscheinlich gewesen wäre.

Die Ursache für den mangelhaften Erfolg elektrochemischer Facsimile-Techniken lag aber weniger in den Umweltbelastungen am Einsatzort oder gar in Entsorgungsproblemen, sondern vor allem in den erheblichen technisch-ökonomischen Defiziten. Die chemischen Spezialpapiere und Wirksubstanzen wie auch die Apparate schlugen im Vergleich zur normalen Telegrafie höher zu Buche. Zudem erzwang die aufgrund chemischer Instabilität nur kurze Haltbarkeit der "Chemo-gramme" für die Archivierung ein nochmaliges Abschreiben bzw. Fotografieren der Facsimiles. Hinzu kamen noch die mangelnde Zuverlässigkeit und die umständliche Handhabung der elektrolytischen Verfahren, bei denen eine ganze Reihe von Arbeitsschritten zu durchlaufen war. Den entscheidenden Faktor bildeten aber die besonders hohen Übertragungskosten, die sich aus der "Langsamkeit der elektrochemischen Wirkungen" ergaben (Korn, 1905, S. 1134). Skaleneffekte waren bei diesen hohen Betriebskosten nicht möglich, weder der erhoffte allgemeine Dienst noch ein sich selbst tragender Nischenmarkt kamen unter diesen Bedingungen zustande.

Die *zweite Entwicklungsphase* setzte nach der Jahrhundertwende ein, als vor allem Alexander Korn und Bruno Glatzel zwischen 1902 und 1906 mechanische Abtast- und elektrochemische Aufzeichnungsverfahren durch ein elektrooptisches System ersetzen (Korn 1904, 1905, 1916, 1923). Eine Licht- oder Selenzelle übernahm hierbei die Abtastung der Lichtwerte und deren Umwandlung in elektrische Werte, ein Ablenkspiegel und ein fotografisches Papier diente der Aufzeichnung von getönten Bildern. Die sofortige reguläre Einführung der "Phototelegraphie" scheiterte entgegen dem anfänglichen "übertriebenen Optimismus" aber an den geringen Stromschwankungen und der Trägheit der Selenzellen sowie den dadurch störanfälligen niedrigen Signalpegeln auf den Übertragungsstrecken. Korn selber kam daher zu der resignierenden Einschätzung, daß ungeachtet der Fortschritte bei der technischen und experimentellen Entwicklung die praktische Nutzung der Bildtelegraphie "über ein primitives, wenn auch recht interessantes Anfangsstadium nicht hinausgekommen" sei (Korn, 1916, S. 689; Korn, 1924, S. 180 ff.; Stahl, 1935, S. 341). Eine Lösung dieses Problems brachte erst die Nutzung der Elektronenröhre als Verstärkerelement auch in der Faxtechnik, besonders in dem System Telefunken-Karolus. Erst dadurch wie auch durch den nun möglichen Einsatz fotoelektrischer Zellen für die Bildabtastung konnte sich die fotografische Methode gegenüber den unangenehmeren, aber robusteren elektrochemischen und elektromechanischen Facsimile-Verfahren durchsetzen. Mit diesem System gelang im Dezember 1927 zwischen Berlin und Wien nun auch endlich die Eröffnung der ersten regulären "Bildtelegraphen-Linie":

"Mit dieser Inbetriebnahme wird eine neue Technik in den Nachrichtendienst gestellt, nach deren praktischer Vervollkommnung man schon fast so lange strebt, als man die elektrische Telegraphie kennt. Die Grundtatsachen des Verfahrens sind längst bekannt; aber ihre praktische Ausnutzung ist erst durch die großen Fortschritte der letzten Jahre möglich geworden." (Moench, 1927, S. 508)

Die Annäherung der nun auch "Bildtelegraphie" genannten Faksimiletechnik an die Fotografie machte aus ihr seit der zweiten Hälfte der zwanziger Jahre eine qualitativ hochstehende Bildkommunikationstechnik, die sich gut für die Übertragung von Pressefotos, Wetterkarten, Fahndungsfotos und Fingerabdrücken eignete, doch für den geschäftlichen Alltagseinsatz noch immer zu empfindlich und störanfällig war. Die Ablösung der wenig funktionstauglichen früheren Wirkprinzipien, die Vermeidung teurer Metallfolien und ätzender Chemikalien zugunsten der üblichen Fotochemikalien beseitigte zwar manche Gebrauchsmängel der ersten Phase, sie löste aber nicht das Problem des hohen Zeichenaufwandes und der gewaltigen Übertragungskosten. Da die Apparate nun sogar noch teurer wurden, kamen auch auf der erneuerten technischen Basis keine kritischen Massen zustande, die ein selbsttragendes Wachstum eines allgemeinen Kommunikationsdienstes ermöglicht hätten. Es blieb bei einer teuren Nischentechnik spezieller Bildschreiber vor allem für die Presse und Wetterdienste und zum geringeren Teil für Militär und Polizei. Die Technik wurde also nur für solche Anwendungen herangezogen, wo es keine billigeren, schnelleren oder gar keine Alternativen gab. Die ursprünglichen Erwartungen, mit dem Bildtelegrafendienst in erster Linie Telegramme und dringende Briefe sowie technische Zeichnungen, Patentunterlagen und Röntgenbilder für ärztliche Beratungen zu übertragen und damit "ganz neue Möglichkeiten der Fernbearbeitung" zu schaffen, erfüllten sich nicht: "Die mit der Bildtelegraphie gemachten Betriebserfahrungen haben wieder einmal gezeigt, daß nicht immer richtig vorausgesehen werden kann, welche Anwendung eine neue Technik finden wird. [...] Noch nicht 5% aller übertragenen Bilder entfallen auf die erwähnten Arten, der Rest sind ausschließlich Lichtbilder für die Presse." (Stahl, 1935, S. 342 f.; Korn, 1926, S. 718).

In der *dritten Entwicklungsphase* kündigte sich, ausgehend von den USA, eine Schwerpunktverlagerung von der bisher dominierenden professionellen Spezialtechnik zu einem allgemeinerem Geschäftsmedium an. Dieser Vorgang ging einher mit der Abspaltung einer qualitativ anspruchsloseren direktaufzeichnenden, schwarz-weißen Dokumenten-Faxtechnik von der anspruchsvolleren fotografischen Grauton-Bildtelegrafie. Diese wurde durch Erfindungen auf dem Gebiet der elektroresistiven Trockenkopierverfahren sowie durch nachrichtentechnische Fortschritte der Bild-

und Festbildübertragung ausgelöst. Es war vor allem die Western Union Telegraph Co. in den USA, die Anfang der dreißiger Jahre auf der Basis eines "direct recording facsimile"-Verfahrens besonders kompakte automatische Fax-Geräte auf den Markt brachte (Costigan, 1978, S. 6 f., 79 ff.). Anstelle eines elektrolytischen bzw. fotochemischen Prozesses trat hier ein elektrothermisches Verfahren, bei dem eine Elektrode in Stiftform die Deckschicht eines mehrschichtigen elektroresistiven Papiers wegbrannte. Auch bei dem Brennvorgang entstanden in der Regel Dämpfe, die je nach der Papieraustattung störend oder gar toxisch sein konnten. Die Haltbarkeit der Trockenfaxpapiere war gegenüber elektrolytischen Papieren wesentlich besser, doch dafür lag der Preis auch deutlich höher. Die Hersteller von Faxsystemen hofften aber seit den 30er und 40er Jahren durch eine stark vereinfachte Funktionalität und Bauweise der Geräte wie auch durch eine verbesserte Bedientechnik auf den Absatz größerer Stückzahlen. Als neues Leitbild entstand ein von Laien bedienbares "Desk-Fax", mit dem prinzipiell eine Faxübertragung von Dokumenten, Grafiken, aber auch Zeitungen und Bildern in die Privathaushalte möglich wurde. Erste Systeme wurden 1948 in den USA installiert und allein von der Western Union insgesamt ca. 50.000 Geräte Desk-Fax-Geräte hergestellt.

Doch erst in der ersten Hälfte der sechziger Jahre kam die Diffusion dieser Faxtechnik langsam in Gang, u. z. vornehmlich als Büro-Inhouse-Kommunikationsdienst. Der Gerätepreis und die Betriebskosten blieben auf diese Weise langezeit noch so hoch, daß die Faxtechnik weiterhin nur für die Grafik- und Bildübertragung kommerzieller oder institutioneller Anwender in Frage kam, während sich die Privathaushalte mit dem Kauf noch zurückhielten. Neben Kostengründen und komparativen Nutzungsnachteilen war es vor allem die fehlende oder uneinhaltliche Standardisierung, die die Massenausbreitung in dieser Phase verhinderte. Widersprüchliche Normfestlegungen bei nachrichtentechnischen und gerätetechnischen Merkmalen hatten zwischen 1956 und 1968 in der später sogenannten Gruppe-1 zu einer Vielzahl nur teilweise kompatibler Dokumenten-Faxgeräte geführt (Bohm, Wolf u.a., S. 178 f.). Die dominierenden Hersteller in den USA und Deutschland blieben letztlich weiterhin auf den zahlungskräftigen Kreis der Spezialanwender, vor allem das Militär, fixiert, sie wetteiferten mit Features und höheren Leistungsparametern, insbesondere der möglichst feinstufigen Wiedergabe von Halbtonbildern. Sie hielten angesichts der kleinen Stückzahlen auch zu lange an der traditionellen Röhrentechnik fest, die die Abtastungs- und Aufzeichnungssysteme groß, schwer und teuer machte: der Übergang von Röhren- zu Transistorgeräten erfolgte hier erst um 1965 und erst in den 70er Jahren fand auch die Faxtechnik Anschluß an die integrierte Schaltungstechnik.

Der endgültige Wechsel von einer Spezial- und Nischentechnik bzw. vom Inhouse-Kommunikationsmedium zu einem weltweit standardisierten Faxdienst für die allgemeine Geschäftskommunikation erfolgte um 1975. Es waren vor allem die Deutschen Bundespost und Siemens, die zwischen 1973 und 1976 die Standardisierung der analogen Geräte der Gruppe-2 forcierten. Doch mit Blick auf den höheren Übertragungsaufwand sah die nachrichtentechnische Industrie die Faxtechnik weiterhin als ein überwiegend professionelles Medium der Bildkommunikation an und plante demgemäß den Markteinstieg mit teureren Komfortgeräten. Die Bundespost setzte demgegenüber anfangs auf Billiggeräte einfacher Konstruktion, die sie unter der Bezeichnung "Volksfax" sehr preisgünstig auch im Mittelstand und Heimbereich zu vermieten gedachte (Gabel, 1978, 1979). Da dieses der japanischen Upgrading-Strategie nahekommende Vermarktungs-Konzept jedoch die Downgrading-Strategie der deutschen Hersteller gefährdet hätte, stoppte die nachrichtentechnische Industrie über den Bundesinnenminister die Postpläne und drängte nach der heftigen "Telefax-Kontroverse" die DBP weitgehend aus dem Endgerätemarkt heraus. Nach dem Ende des Regulierungskonfliktes und bei Diensteröffnung im Januar 1979 fielen die Schätzungen des mittelfristig erreichbaren Marktvolumens entsprechend bescheiden aus: für 1985 erwartete man lediglich 50.000 Fernkopierer in der BRD und für 1990 maximal 200.000, d. h. so viel, wie in Japan bereits 1979 installiert waren (Bohm, 1979, S. 295).

Die *vierte Phase*, die noch andauert, die Entwicklung zu einer Mainstreamtechnik, ging dann auch nicht von der bisher dominierenden Telekommunikationsindustrie in den USA und Westeuropa aus, sondern von der Nippon Telegraph & Telephone Co. und Herstellern in Japan. Da in diesem Land wegen der verwendeten Bildzeichenschrift die auf dem klassischen Zeichensatz beruhenden elektrischen bzw. elektronischen Textkommunikationstechniken Telex und E-Mail nie eine umfassendere Ausbreitung erlangt hatten, wurden hier zuerst die Chancen der punktcodierten Technik für einen allgemeinen Massendienst erkannt. Nach anfänglicher Nutzung von Faksimile als Zubringerdienst für die öffentliche Telegraphie und nach schneller Ausbreitung als amtliches und geschäftliches Medium ab 1972 (Bestand ca. 100.000 Anschlüsse im Jahre 1977) kam es 1975 in Japan zu einer Neukonzipierung der Telefaxtechnik. NTT verkündete als neues Leitbild ein "low cost nation-wide facsimile network" als allgemeine Ergänzung des Telefondienstes und entwickelte in Kooperation mit Fujitsu, Hitachi, Matsushita, NEC und Toshiba bis 1978 das Homefax-System "Minifax". Die zentralen Designkriterien dieses Billigsystems: "low-priced, small-sized, highly reliable, and easy-to-handle" führten zu einem grundlegenden Redesign nach skalenökonomischen Gesichtspunkten, wobei nicht so sehr völlig neue Techniken entwickelt als vielmehr bereits vorhandene Lösungen zusammen-

geführt und konsequent auf einander abgestimmt wurden. (Maeda, Kobayashi, 1978, S. 378ff.). Mit dem Übergang zur digitalen Abtastung und Aufzeichnung konnten massenreproduzierbare integrierte Schaltkreis-Techniken für zentrale Systemkomponenten eingesetzt werden. Durch die bei digitaler Technik mögliche Redundanzunterdrückung gelang es zugleich die Übertragungszeiten von bisher 6 Min. (Gruppe-1) bzw. 3 Min. (Gruppe 2) auf eine Minute pro Seite zu reduzieren und damit die Versandkosten deutlich zu senken, die bis dahin die Massenausbreitung von Telefax wesentlich behindert hatten. Dabei nahm man die Senkung der Abbildungsqualität infolge des Wechsels von der Halbton- zur Schwarz-Weiß-Wiedergabe ebenso in Kauf wie anfangs die Verkleinerung des Papierformates auf DIN A5.

Diese neue Generation von Faxgeräten, die nach der 1980 erfolgten weltweiten Standardisierung als Gruppe-3-Geräte sehr bald auch in den USA und Westeuropa die früheren analogen Faxsysteme verdrängte, wurde eine der erfolgreichsten Techniken der Telekommunikation überhaupt. Während es die früheren Generationen nur auf einen weltweiten Gesamtbestand von 200.000 Faxmaschinen bis 1970 und 500.000 bis 1976 gebracht hatten, erreichte die Gruppe-3-Technik 1980 bereits die erste Million und schon 1984 die zweite. Im Jahr 1988 wuchs die Zahl der installierten Geräte auf 4 Millionen und 1990 auf 7,7 - 8 Millionen. Bis 1990 explodierte der Bestand auf 18-20 Millionen und er betrug 1996 zwischen 50 und 85 Millionen (Mache, 1993; Becker, 1990; Bodson u.a., 1992, S. 1; Aigner, 1995, S.13; Anonym, 1996, S. 36). Allein 1996 kamen weltweit ca. 12 Mill. Fernkopierer hinzu und der Geräteabsatz wächst seitdem noch immer jährlich mit ca. 7% (Heim, 1997, S. 14 f.). Da die Apparate nun so kompakt wurden, daß Kombigeräte von Telefon, Anrufbeantworter und Fax bzw. von Scannern, Kopier- und Faxgeräten immer größere Verbreitung finden, werden Faxgeräte in den Statistiken vielfach als Komforttelefone oder Kombinationsgeräte gezählt, woraus sich auch die beträchtliche Schwankungsbreite der kursierenden Bestands- und Absatz-Zahlen erklärt. Von dieser rasanten Ausbreitung profitierten aber vor allem die japanischen bzw. ostasiatischen Hersteller, der Markt ist zu 80 bis 90 % in ihrer Hand.

Untersucht man nun die Ursachen dieses Markterfolges, so stößt man bei den ostasiatischen Herstellern nicht auf einen gegenüber den amerikanischen und europäischen Produkten völlig neuartigen technischen Lösungsansatz, etwa ein revolutionär neues Abtast- oder Aufzeichnungsprinzip. Das japanische Erfolgsrezept bestand vielmehr in einer systematischen Durchleuchtung der Schwachstellen in der Problemstruktur des bisherigen Faxsystems, die die Massenausbreitung bisher verhindert hatten: so des hohen Zeichenaufwandes der Analogtechnik, der

komplizierten Endgeräte mit Trommelabtastung bzw. einer Frühform der Flachbett-
abtastung. Hinzu kam die überholte Bauelementebasis, die zu voluminösen Bau-
größen und nicht zuletzt die für die Massenproduktion ungeeignete Baustruktur. Der
als allgemeines Medium für Büros und Privathaushalte geplante Telefaxdienst wurde
daher, ungeachtet der weiterhin analogen Übertragungstechnik, voll digitalisiert,
wodurch erstmals das Zeichenvolumen stark komprimiert werden konnte. Für die
Abtast- und Aufzeichnungseinheiten ging man von den komplizierten Bauweisen
der Feinwerktechnik mit beweglichen Teilen zu integrierten Bausteinen über: Zu den
1970 in den Bell-Laboratorien entwickelten CCD-Bauelementen³ für die Abtastung
und zu Thermohalbleiterelementen für die Aufzeichnung, die mit einem Mal sehr
kompakte Baugrößen zuließen. Sie sicherten auch die Kompatibilität zu der
bisherigen Gruppe-2 und verschafften sich dadurch einen Startvorteil. Schließlich
führten die Vereinfachung der Funktionalität, die Standardisierung und weitgehende
Automatisierung der Endgeräte-Funktionen sowie eine umfassende ergonomische
Durchgestaltung zu einer wirklich laiengerechten Bedientechnik.

Der schnelle Erfolg der japanischen Massenabsatz-orientierten Strategie bewog die
amerikanischen und europäischen Hersteller, nun im Gegenzug stärker auf an-
spruchsvolle Entwicklungen wie Tintenstrahlfaxe und Laserfaxgeräte zu setzen. Sie
verkündeten seit der Mitte der 80er Jahre den Siegeszug der avancierteren Normal-
papier-Faxgeräte, obwohl diese so teuer waren wie ein Kleinwagen, Laserfax lag mit
26.000 DM sogar noch deutlich darüber. So brachte etwa Siemens in der Erwartung
eines schnellen Durchbruchs der avancierteren Drucktechniken 1979 sein erstes
Normalpapierfax auf xerografischer Basis auf den Markt und bereits 1981 folgte ein
Tintenstrahlgerät. Die höhere Störanfälligkeit des Ink-Jet-Aufzeichnungsverfahrens
sollte dabei durch eine besonders wartungsfreundliche modulare Baustruktur
aufgefangen werden (Karius, Puhze, 1981). Doch litt die erste Generation der
Tintenstrahlfaxe an den Unzulänglichkeiten des Ink-Jet-Verfahrens, nämlich der
erforderlichen Verwendung besonders saugfähiger Spezialpapiere und der
unzureichenden Randschärfe der Buchstaben und Grafiken. Diese Mängel, konnten
erst durch das Bubble-Jet-Verfahren überwunden werden (Brües, 1989; Aigner, 1995,
S. 22) Die Laserfax-Geräte kannten derartige Probleme zwar nicht, doch waren sie
dafür so teuer, daß sie überhaupt nur als Hochleistungsdrucker für große Firmen
oder Institutionen in Frage kamen. Die ausdrücklich mit der besseren Handhabung
und Umweltfreundlichkeit begründeten Produktinnovationen wurden so im ersten
Anlauf von den wesentlich kostengünstigeren Thermofaxgeräten gebremst bzw. auf
sehr kleine Nischenmärkte verwiesen. Seit dem Ende der 80er Jahre setzten euro-

³ Charge-Coupled Devices, d.h. ladungsgekoppelter Halbleiter-Sensoren, die die Helligkeitswerte zeilenweise oder matrixförmig erfassen und in elektrische Signalketten umwandeln.

päische und US-Hersteller zu einem neuen Angriff auf den Markt für Bürofaxgeräte an, doch sie erreichten nur bescheidene Geländegewinne. Im Jahre 1993 standen dem 84% Marktanteil der Thermofaxgeräte in Europa lediglich 16% Normalpapier-Systeme gegenüber, ein Verhältnis, das sich - entgegen den optimistischen Prognosen für einen schnellen Verdrängungsprozeß - nur sehr langsam verschob (Funkschau 11/1993, S. 40; Adamek, 1993; Weidelich, 1997).

Außerdem arbeiteten die amerikanischen und europäischen Hersteller mit Hochdruck an der Standardisierung der auch übertragungstechnisch digitalen Gruppe-4, des ISDN-Fax. 1980 gab es hierfür schon die erste Spezifikation und bereits 1984 den Standard. Da diese Faxsysteme jedoch mit den Gruppe-3-Geräten nicht kompatibel sind, wurde ihre Markteinführung und Ausbreitung von den wachsenden Bestandsmassen der Gruppe-3 behindert, und zwar bis heute (Schoblick, 1997, S. 60-62). Die kontinuierliche Verbesserung der Modemleistungen verringerte den Druck zu einem Umstieg auf ISDN-Fax weiter und verhinderte einen Einstieg in das Mengengeschäft. So lag der Preis bei G4-Geräten - fünf Jahre nach der Markteinführung Anfang 1990 - noch immer bei 5-6000 DM und erst für 1998 sind Preise unter 3000 DM angekündigt. Die Strategie der amerikanischen und europäischen Hersteller, den ostasiatischen Anbietern von Massenprodukten mit Systemen höherer Leistung und Funktionalität entgegenzutreten, führte nur noch weiter in die Sackgasse des Nischenmarktes. Dagegen erleben die immer billigeren Gruppe-3-Systeme, speziell die Thermofax-Geräte, entgegen den Niedergangsprognosen erst jetzt den breiten Einzug in die Privathaushalte. Der Wettlauf mit E-Mail dürfte in diesem Marktsegment noch eine ganze Weile andauern, jedenfalls hat sich die Meinung vieler E-Mail-Promotoren, das Fax werde durch das Anwachsen von E-Mail schnell zu einer "aussterbenden Spezies", bislang nicht bestätigt.

3. Die ökologische Problematik der telefax-spezifischen Funktionswerkstoffe

Der Markterfolg der vorherrschenden Gruppe-3-Thermofaxgeräte ist zugleich ein Siegeszug der japanischen Qualitätsphilosophie: der konsequenten Orientierung an den Kundenwünschen nach preisorientierten, leicht zu bedienenden, kleinvolumigen Kompaktgeräten. Das an der ökonomischen Erfolgsperspektive scheinbar so eindeutige Ergebnis gerät freilich ins Wanken, wenn man die ökologischen Aspekte einbezieht. Die ergonomisch so benutzerfreundliche Faxtechnik ist nämlich in ökologischer Hinsicht alles andere als unbedenklich, und die erfolgreichsten, zunehmend in den Privathaushalten verwendeten Thermofaxgeräte sind sogar besonders problematisch. Im folgenden sollen einige der ökologischen Mängel der

Faxtechnik dargestellt werden, u. z. nicht die mehr oder weniger vielen elektronischen Geräten eigentümlichen Problemwirkungen, sondern allein die faxspezifischen. Dazu gehören in erster Linie die Steigerung des Papierverbrauchs, einige faxgerätespezifische Funktionswerkstoffe, vor allem des Thermopapiers, und der Energieverbrauch als Folge energetischer Fehlgestaltung.

Die Kehrseite des rasanten Aufstiegs dieser benutzerfreundlichen Trotztechnik Telefax in der zweiten Hälfte der achtziger Jahre und ersten Hälfte der neunziger Jahre war nämlich ein weiterer Anstieg des Verbrauchssegments der Büro- und Administrationspapiere. Hier wuchs der jährliche Verbrauch zwischen 1979 und 1989 trotz zunehmender Verbreitung elektronischer Techniken von 4,7 auf über 6 Mio. Tonnen, und auch in der erste Hälfte der 90er Jahre ging der Verbrauchsanstieg, nur leicht gebremst, weiter (Statistik des Verbandes Deutscher Papierfabriken; Grote, 1993, S. 69-96). Die Faxtechnik hat dabei nach der Kopiertechnik und den PC-Druckern besonders zu dem rasanten Wachstum des geschäftlichen Papierverbrauchs beigetragen. Zwar benötigt Fax keinen Briefumschlag und das Original verbleibt beim Absender. Doch die mangelnde Archivierungsfähigkeit der Chemo- und Thermopapiere führt in Behörden und Unternehmen häufig zu einer nochmaligen Kopie für die Akten. Dadurch wird die Einsparung gegenüber der Briefpost wieder aufgehoben.

Im Vergleich zu E-Mail dagegen ist Telefax ein Papierfresser in der elektronischen Telekommunikation. Genaue Zahlen über das Ausmaß des gesamten Faxpapierkonsums gibt es nicht, da der faxbezogene Verbrauch von Normalpapier nicht erfaßt werden kann und für den Umsatz der Faxspezialpapiere nur gelegentlich Angaben vom Verband Deutscher Papierfabriken gemacht werden. Nach Schätzungen der "American Facsimile Association" wurden allein in den USA 1989 30 Mrd. Seiten gefaxt, 1990 sollten es bereits 43 Mrd. Seiten sein, und dies bei einem Gerätebestand von lediglich 2-3 Millionen (ElektronikPraxis Nr. 18/20.9.1990, S. 8). Im Jahre 1988, also noch vor der Explosion des Absatzes billiger Thermofaxgeräte, lag der Verbrauch in der BRD bei ca. 660.000 t Spezialpapier für Faxzwecke und andere Spezialsysteme. 1992 betrug die jährliche Produktionskapazität der japanischen Papierindustrie bei Faxpapieren 180.000 t, die der europäischen 150.0000 t. Für 1994 und 1995 gibt die ETPA den Verbrauch von Thermopapieren in Europa mit 90.300 t und in Deutschland mit 27.000 bzw. 22.300 t an, davon 65% für Faxpapiere (BMU-Pressemitteilung 7/96, 2.2.1996).

Im Vergleich zu den anderen Papierfressern sind diese Verbrauchszahlen aber noch immer bescheiden. Die Problematik liegt hier auch nicht primär beim Mengenaspekt,

sondern eher bei der Beschaffenheit der meisten Faxpapiere. Die für thermische Aufzeichnungsverfahren bzw. Thermodrucker erforderlichen Papiere sind Spezialpapiere, die nur noch zu 50 bis 70 % aus eigentlicher Papiermasse bestehen (Baumann, Herberg-Liedtke, 1993, S. 122 ff.). Der Rest sind Beimengungen zum Basispapier und die Beschichtungssubstanzen der chemisch aktiven Thermo-Funktionsschicht. Letztere besteht aus farblosen Farbstoffvorgängern (Triphenylmethan und Fluoranverbindungen, sauren Farbgebern (meist ein Phenol), Farbwicklern, Aufhellern, und Bindemitteln. Hinzu kommen eine Reihe von Stoffbeimengungen zur Prozeß- und Qualitätsverbesserung: Sensibilisatoren, Schmelzhilfsmittel und Coreaktanten wie Bishenol A, Para-Benzylbiphenyl und Benzyloxynaphthalin, um einen niedrigeren Energiebedarf und ein höheres Drucktempo zu fördern; Stabilisatoren, UV-Absorbtionsstoffe, ölhaltige Tinten, Alterungsschutzmittel und eine Deckschicht aus einem Polymerisat, um die Beschreibbarkeit und Beständigkeit der Faxpapiere zu verbessern; schließlich Pigmente, Füllstoffe, Wachse sowie Leime, die die chemisch-aktiven Flächen mit der Zellstoffschicht verbinden.⁴

In dieser nur ca. 5 Mikrometer dicken thermosensitiven Funktionsschicht (5-8g/m²) vollzieht sich, ausgelöst durch Thermoköpfe oder Thermokämme, ein komplizierter chemischer Prozeß, der aus einem weißen Rollenpapier eine "belichtete" und "fixierte" Faxseite macht. Die Hochgenauigkeitsanforderungen des Prozesses - einzeln ansteuerbare Mikrowiderstände für 1.728 Bildelemente (PEL's bzw. Pixel in einer Zeile) - erfordern ebenso präzise wirkende chemische Agentien, Die Arbeitstemperatur des wärmeübertragenden Aggregates und die mithilfe der gewählten chemischen Substanzen eingestellte Schmelztemperatur der Farbstoffe sind hierbei eng miteinander gekoppelt. Dadurch ist die Art und Zahl der in Frage kommenden Wirkstoffe begrenzt, sie ist aber noch so groß, daß die Hersteller für jede der betreffenden Teilschichten zwischen maximal bis zu 50 oder minimal zwischen 5 - 10 Stoffen wählen und aus diesen jeweils einen speziellen Mix entwickeln können (vgl. die Aufstellung der Substanzen bei Baumann, Herberg-Liedtke, 1993, S. 124-128). Insgesamt geht aber nur ein kleiner Teil der im Herstellungsverfahren eingesetzten Chemikalien in das Endprodukt ein, denn für die Produktion einer Tonne Thermopapier sind ca. 250 Kilo Chemikalien erforderlich, d.h. 25 mal so viel wie bei Zeitungspapier! (Öko-TEST-Magazin 7/1994)

Die Vielfalt der Stoffzusammensetzung ist auch eine Folge der Konkurrenz um möglichst akzeptable Eigenschaften der Thermopapiere: Alle früheren Fabrikate

⁴ Angaben nach Sodeyama, 1985 S. 4 ff.; ETPA -Selbstverpflichtungserklärung, Sept. 1995 und nach Vorträgen beim Zellcheming-Fachausschuß am 8.11.1996

hatten nämlich gegenüber Normalpapier erhebliche Qualitätsmängel. Die Papiere rollten sich, verblaßten unter Lichteinwirkungen oder wurden braun und schwarz unter stärkerer Sonnen- und Wärmebestrahlung. Sie waren so glatt, daß man nicht auf ihnen schreiben konnte. Die Versuche, dies zu bessern, erhöhten den chemischen Stoffaufwand beträchtlich. Es kamen vor allem immer mehr in ihrer Langzeitwirkung nicht absehbare oder gar umweltschädliche Stoffe hinzu. Nach Ermittlungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz im Jahre 1993 enthielten allein schon die von der Industrie neu angemeldeten Faxpapiere und Durchschreibepapiere 39 Chemikalien mit einer teilweise hohen Wassertoxizität. Das bedeutet, sie wirken, wenn sie in freier Natur deponiert werden oder bei der Aufbereitung von Altpapier ins Abwasser gelangen hoch bis mäßig toxisch gegenüber Wasserorganismen und sind damit trinkwassergefährdend bzw. gehen als Schadstoffe in die Nahrungskette ein. Bei Verbrennung können nicht überschaubare Prozesse ablaufen und sogar krebs-erregende Stoffe entstehen.

Außerdem wird durch diese Faxpapiere auch die Qualität von Recyclingpapier beeinträchtigt. Die Farbstoffe entfalten sich bei der Aufarbeitung und ergeben eine zusätzliche Graufärbung und Verunreinigung, die im sogenannten Wash-Deinking durch zusätzliche Reinigungsvorgänge und Chemikalien wieder beseitigt werden müssen. Einige akut toxische Stoffe kommen zudem über das Recycling immer wieder neu in Umlauf.⁵ Weitere sehr wahrscheinliche allgemeine Wirkungen der Faxpapiere sind bisher lediglich bei den teilweise mit Thermopapier übereinstimmenden Druckschreibpapieren nachgewiesen worden. Das Umweltbundesamt empfahl daher 1993 vorsorglich, Thermodruckpapiere nicht mehr als Rohstoffe zur Herstellung von Recyclingpapier zu verwenden. Da jeder Hersteller von Faxpapieren seine Mixtur als strenges Fabrikgeheimnis hütet, ist der Untersuchungsaufwand bei der Umweltprüfung gewaltig. Eine grundlegende Veränderung der chemischen Zusammensetzung ist andererseits auch nicht einfach möglich: Die von der Gerätetechnik her geforderte Feinkörnigkeit und Arbeitstemperatur von 70 bis 80 Grad Celsius, die zur Verfügung stehende Reaktionszeit in dem quasi synchronen Übertragungsprozeß engt den Kreis der Stoffe stark ein. Die Grundrezeptur ist so auch seit fünf Jahren relativ unverändert, nur die Zusatzstoffe variieren stark.

Die entscheidenden Gestaltungsfestlegungen für die thermosensitive Faxpapiertechnik liegen schon Jahrzehnte zurück. 1967 von dem Briten Barret K. Green erfunden und von NCR entwickelt, erfolgte die Durchgestaltung der Technologien in den

⁵ Die ETPA begegnet diesem Vorwurf mit dem Argument, daß der Anteil aller Fax- und Selbstdurchschreibe-Papiere am deutschen Papierverbrauch von 1995 nur 1 % (=150.000 t) betrage und daß selbst bei einem Totalrecycling die Weiße nicht besonders beeinträchtigt werde und maximal 5000 t SD-spezifische Inhaltsstoffe in das Altpapier kämen (ETPA-Erklärung, Nov. 1996).

siebziger Jahren in Japan (Aigner, Piller, S. 18; Sodeyama, S. S. 3). Die Entwickler und Hersteller der Geräte und die Papierhersteller legten in einem branchenübergreifenden Kooperationsprozeß die Wirk- und Herstellungsverfahren fest. Dadurch wurde die gerätetechnische Umsetzung des Aufzeichnungsprinzips eng an die Wahl bestimmter Spezialpapiere gekoppelt. Es trat damit ein Schließungseffekt ein, denn weitergehende Änderungen an der Thermofaxtechnik waren nun weder von seiten der Gerätetechnik noch von den Funktionswerkstoffen her allein möglich, es bedurfte hierzu in jedem Fall einer erneuten Abstimmung beider Akteursgruppen. So übernahm man auch in Europa und den USA dann auch einfach per Technologietransfer die japanische Entwicklung en bloc und variierte sie nur noch unbedeutend.

Für den Massenmarkt der Billiggeräte wie auch für die Kombigeräte bot sich auch hier das Thermodruckverfahren an, da es eine ganze Reihe von Vorteilen bot. So ermöglichte es nach der Ablösung der anfänglichen CCD-Scanner in Camera-Bauweise durch direkt-kontaktierende CIS-Scanner ("contact image sensor scanner") relativ einfache und raumsparende Konstruktionen, die so verkleinerbar waren, daß sie auch Kombinationen mit anderen Geräten wie Telefonen, Anrufbeantwortern usw. zuließen. Denn das Verfahren ist einfacher als bei anderen Drucktechniken, da hier weder die Zugabe von Pigmentpulver, Toner noch ein Fixierungsgang erforderlich ist. Der Stromverbrauch ist hierbei im Vergleich zu anderen Verfahren auch niedriger, was einen Niederspannungsbetrieb erlaubt. Die Thermofaxgeräte arbeiten zudem weitgehend geräuschlos und ohne Verbrennungsgase und entsprechende Geruchsbelästigungen. Schließlich erfordern sie außer dem Spezialpapier keine weiteren Verbrauchsmaterialien wie Tonerkartuschen oder Farbbänder und sind überhaupt nicht wartungsintensiv, auch dies ein Vorteil für den Massenmarkt. Lediglich hinsichtlich des Auflösungsvermögens, der Druckgeschwindigkeit und des Preises sind Thermogeräten anderen Druckverfahren unterlegen, doch diese Defizite werden angesichts des billigen Gerätepreises in Kauf genommen. (Sodeyama, 1985, S. 1-4)

Die vor allem skalenökonomisch motivierte Produktstrategie der Geräte- und Faxpapier-Hersteller traf und trifft auch bei den Verbrauchern auf volle Unterstützung. Trotz der anfänglich erheblichen Qualitätsmängel und vor allem der hohen Papierkosten (50 Pfennig pro Seite) kauften die Kunden vor allem diese Technik, da die Anschaffungskosten deutlich unter denen der konkurrierenden Faxtechniken lagen. Das Verbraucherverhalten orientiert sich nämlich noch immer vorwiegend am Beschaffungsaufwand und nicht an den Life-Cycle-Kosten. Dies gilt sogar für die Verbrauchsmaterialien, wo vielfach billigste Faxpapiere gekauft werden, obwohl

dadurch die Lebensdauer der Druckköpfe, des teuersten Bausteins von Faxgeräten, deutlich herabgesetzt werden. Die durch das Ineinandergreifen von Herstellerstrategien und Verbraucherverhalten forcierte Skalenökonomie führte über immer weitere Preissenkungen am Ende zu so großen Bestandsmassen, daß schon von daher ein Wechsel des Druckverfahrens oder auch nur tiefergehende Veränderungen der Thermotechnik immer unwahrscheinlicher werden, zumal es offenbar auch so gut wie keine Kooperation zwischen Geräte- und Papierherstellern mehr gibt. In den letzten Jahren ist es daher lediglich zu partiellen Bestrebungen gekommen, die Stoffzusammensetzung der Faxpapiere zu überprüfen und gegebenenfalls leicht zu verändern.

Auch Bemühungen zu einer Verbrauchsminderung durch kleinere Papierformate und Papiersparfunktionen hatten bislang keine durchgreifende Wirkung. Während der Basis-Standard der Gruppe-3 ausschließlich die DIN A 4-Seite als Abtast- und Aufzeichnungsformat zugrundelegte, führte die Überarbeitung von 1989 zusätzlich die Option von zwei "small page sizes" ein, nämlich DIN A 5 und 6. Diese zielte aber nicht auf Reduktion des Faxpapierverbrauches, sondern auf noch kompaktere und billigere Homefax-Geräte. Doch die Hersteller machten kaum von dieser Möglichkeit Gebrauch, da die Formatverkleinerung entweder zu nur mit Lupe lesbaren Texten oder - bei Vergrößerung der Zeichen mit Informationsverlust- zu einer Vergrößerung des Schriftbildes führte. Die aufgrund der Datenkompression mit dem modifizierten Huffman-Code in den Gruppe-3-Geräten mögliche Weglassung von Weißbereichen wurde von den Herstellern ebenfalls kaum genutzt, sie wird nur in wenigen Produkten als Papiersparfunktion zusätzlich angeboten, damit die Geräte beim Wochenend- oder Ferienbetrieb länger mit der Papierrolle auskommen (Bodson u.a. S. 70 ff.).

Die Sorge vor möglichen staatlichen Auflagen und das - nicht zuletzt von den Herstellern von Tintenstrahlfax-, -Laserfax- und Thermotransferfax-Geräten geschürte - schlechte Image der Thermofaxpapiere in der Öffentlichkeit gaben den Anlaß, daß der europäische Verband der Thermopapier-Hersteller im September 1995 beim Bundesumweltministerium eine Selbstverpflichtung zur Verminderung von Umweltbelastungen abgegeben hat. Die "European Thermal Paper Association" (ETPA) hat darin zugesagt, "spezifische Inhaltsstoffe" der Papiere von den eigenen Mitgliedsfirmen bzw. von einer vom Verband benannten neutralen Institution auf ihre Toxizität überprüfen zu lassen und künftig auf nachweislich umweltschädliche Agentien zu verzichten: "Die ETPA und ihre Mitglieder verpflichten sich, keine Stoffe einzusetzen, die ein Risiko für die Umwelt bedeuten. Solche spezifischen Inhaltsstoffe werden in einer Liste von der ETPA festgelegt." (ETPA, 1996; BMU, 1996). Durch die Selbstverpflichtung ist erst einmal der unmittelbare Druck von der

Branche genommen. Es bleibt abzuwarten, ob und wann sich Wesentliches an der Zusammensetzung der Faxpapiere ändern wird. Es wird vermutlich in Zukunft der eine oder andere Stoff herausgenommen, aber Grundlegendes wird sich nicht ändern. Die beträchtliche chemische Aktivität der eingesetzten Funktionswerkstoffe ist nach wie vor notwendig, weil gerade sie die vereinfachte und massenfabrikations-taugliche Gerätetechnik ermöglicht hat. Da angesichts der Konkurrenz durch Normalpapier-Faxgeräte und noch mehr durch E-Mail die weitere Marktzyklus-Dauer unsicher ist, wird die Branche kaum zu einem grundlegenden Redesign geneigt sein. Es zeigt sich auch hier, daß nachträgliche Änderungen am Produktdesign in der Diffusionsphase nur noch schwer durchsetzbar sind,

Die Hersteller können zudem darauf verweisen, daß auch die anderen Faxtechniken bei den Gerätewerkstoffen und Verbrauchsmaterialien ökologisch nicht unbedenklich waren und sind. Die Tintenstrahl-Drucktechnik arbeitete sehr lange mit giftigen Tinten, die halogenorganische Verbindungen enthielten. Die Laserfaxe hatten auf der Trommel, auf der das Ladungsbild erzeugt wird, das sondermüllpflichtige Selen, dieses ist erst in den letzten Jahren durch organische Verbindungen abgelöst worden. Die Ozon-Ausdünstung von Lasergeräten am Einsatzort wurde ebenfalls erst im letzten Jahrzehnt durch den Einbau von Filtern reduziert bzw. beseitigt. Auch die Toner borgen und bergen gefährliche Stoffe wie Styrol, halogenorganische Verbindungen und die Tonerkartuschen enthalten PVC, das über den Hausmüll in die Müllverbrennungsanlagen gelangt und dort Dioxine freisetzen kann. Die Thermotransfergeräte hatten ähnliche Probleme, vor allem war der Materialaufwand überproportional hoch, da die Kartuschen mit den Farbfolien nur für wenige hundert Blatt reichten.

Ein umfassender Testbericht von Connecta und dem Öko-Magazin vom Mai 1997, der erstmals ökologische Kriterien in die Produktbewertung einbezieht, ergibt denn auch, daß keine der unterschiedlichen Faxtechnologien ohne ökologische Bedenken ist (Becker, 1997). Der Test macht darüber hinaus deutlich, daß die Belastungsprofile *innerhalb* der Gerätegruppen sehr stark voneinander abweichen. Die Fortschritte beim produktintegrierten Umweltschutz, etwa bei der Vermeidung von halogenierten Flammschutzmitteln, Antimontrioxyd, chlorierten Kunststoffen wie PVC im Gehäuse sowie beim Verzicht auf halogenorganische Verbindungen und aromatische Kohlenwasserstoffe bei Toner und Tinte, wurden von den Entwicklern nur sehr unsystematisch aufgegriffen. Dies zeigt, daß es vor allem eine Frage der Aufmerksamkeit der Entwicklungsabteilungen ist und nicht unbedingt eine Frage der zugrunde liegenden Faxtechnologie. Es gibt trotz erkennbarer Anstrengungen, wie es z.B. bei der durchgängigen Austauschbarkeit von Verschleißteilen, der Kennzeichnung der Kunststoffe und den recycling-gerechten Baustrukturen zum

Ausdruck kommt, überall auch erhebliche blinde Flecken, die wohl vor allem auf die mangelhafte Sensibilität der einzelnen Abteilungen und Konstrukteure sowie auf unzureichende Kooperation zwischen ihnen zurückzuführen ist. Diese Beobachtung bzw. Vermutung wird durch eine Analyse der energetischen Gestaltung von Faxgeräten bestätigt.

4. Die ökologische Problematik der energetischen Gestaltung von Telefaxgeräten

Die Höhe des Energieumsatzes eines technischen Anwendungsprozesses hängt von der Art des Prozesses, dem Nutzerverhalten, insbesondere von den Gebrauchserwartungen und -gewohnheiten ab. So benötigen z.B. elektrothermische, elektrolytische und elektrosensitive Aufzeichnungsverfahren pro Zeichen wesentlich mehr Energie als die Tintenstrahltechnik, die Elektrografie oder gar fotografische Verfahren (Eißfeldt, 1979, S. 160 ff.) Doch zu einem Großteil erfolgt die entscheidende Festlegung des Verbrauchsniveaus eines Artefaktes, Verfahrens oder Systems in der Konstruktion. Durch den Problemlösungsansatz, die Wahl der Werkstoffe, der Wirk- bzw. Arbeitsprinzipien und Leistungs- bzw. Prozeßparameter bestimmen Konstrukteure sehr wesentlich, wieviel Energie für die Herstellung, den Betrieb bzw. Gebrauch und die Entsorgung einer Technik während des Produktlebenszyklus benötigt wird. Das gilt selbst für die Software-Konstrukteure, die z.B. über die Prozessoranforderungen komplexer Betriebs- und Textverarbeitungssysteme den Strom- bzw. Batterieverbrauch in Notebook-Computern beeinflussen.

Obwohl Konstrukteure einen wesentlichen Einfluß auf die Energieströme haben, spielte das Energiesparen in der Geschichte der Konstruktion außerhalb der eigentlichen Energietechnik nur in Phasen der Knappheit eine größere Rolle. In der konstruktionsmethodischen Fachliteratur taucht der Energieumsatz bis in die Gegenwart selten als strategische Festlegung auf. Es gibt auch noch immer keine VDI-Richtlinie für energiesparendes Konstruieren von Geräten, die nicht zum engen Kreis energieumwandelnder Maschinen und Systeme gehören. Dies gilt vor allem für den Elektronikbereich, der bis vor einem Jahrzehnt von bewußten Sparaktivitäten fast völlig ausgelassen wurde, obwohl der spezifische Energieverbrauch der westdeutschen Haushalte für Informations- und Kommunikationstechniken zwischen 1970 und 1990 von 150 auf 225 kWh angestiegen ist (ARGE-Prüfgemeinschaft Stromsparen im Haushalt, S. 69). Die Unterhaltungselektronik, Telekommunikation und Informationstechnik galten als ein per se energiesparender Bereich, der energieintensivere Produkte und Dienstleistungen substituiert und allein schon

durch die weitere Miniaturisierung der Mikroelektronik den Energieverbrauch reduziert. Tatsächlich hat sich der Durchschnittsstromverbrauch von Fernsehapparaten zwischen 1970 bis 1990 von ca. 370 auf 120 Watt reduziert. Die Reduktion war hier eine Folge der Bauelemente-Entwicklung, aber auch der systematischen Anstrengungen zur Senkung der hitzebedingten Implosionsgefahren.

Im Rechnerbereich erfolgten die größten Verbesserungen bei den batterieabhängigen Mobilgeräten, also bei Laptops, Notebooks, Handhelds und Palmtops. Doch die dabei erzielten Lösungen zur Senkung des spezifischen Stromverbrauchs wurden zunächst nicht auf den Normal-PC übertragen. Es bedurfte erst der Androhung gesetzlicher Auflagen durch das "Energy-Star-Program" Mitte 1992 in den USA, um die Gerätehersteller zur Weitergabe der Einspareffekte an das weit überwiegende Marktsegment der Desktop-PC's zu bewegen. Innerhalb kürzester Zeit konnte der durchschnittliche spezifische Stromverbrauch durch konstruktive Maßnahmen deutlich gesenkt werden und zwar besonders durch den Übergang von 5,5 auf 3,3V-IC's und noch mehr durch die Installierung des Sleep-Modus bei PC's, Monitoren und Druckern (Young, 1993). Die hierzu erforderlichen Abstimmungsprozesse zwischen IC-Herstellern, Computer-Designern und -Herstellern und Betriebssystem-Software-Entwicklern kamen nur durch das konsequente Auftreten eines der größten PC-Kunden zustande. Anlaß hierzu waren energiewirtschaftliche Modellrechnungen der EPA in den USA, wonach der Stromverbrauchsanteil der PC's und der Elektronik von 5 % im Jahre 1990 auf 10 % im Jahre 2000 klettern würde. Dies wäre der am meisten steigende Verbrauchssektor. Zugleich versprach sich aber die US-Regierung von dem "Energy-Star-Program" neue Wachstumsimpulse für die schwächer zunehmende US-PC-Produktion (Anzovin, 1993, S. 35-51).

Neben der abermals erweiterten Funktionalität und verbesserten Leistungsparametern wurde die Senkung des Energieverbrauch ein entscheidender Anreiz zu einem vor-schnellen Ausmustern an sich noch betriebstüchtiger Personalcomputer. Die ökologisch motivierte Energiesparoffensive trug damit dazu bei, daß sich der Produktlebenszyklus bei PCs, der zu Beginn der Entwicklung in den 80er Jahren im gewerblichen Bereich noch vier bis sechs Jahre betragen hatte, sich im Laufe der 90er Jahre auf 2-3 Jahre verkürzt hat. Dadurch aber wurden die in der PC-Benutzung reduzierten spezifischen Stromverbräuche in der PC-Herstellung mehr als überkompensiert. Denn zur Herstellung eines PC werden mehr als 5.000 Kilowattstunden Strom benötigt, das entspricht dem 20fachen des durch energiesparenden Betrieb eingesparten Stroms bei gewerblicher Nutzung und dem 100fachen bei privater Nutzung (Markt & Technik 3/13.1.1995, S. 20f.). Aus der Sicht einer umfassenden Ökobilanz, bei der der kumulierte Energieaufwand des gesamten Lebenszyklus

zugrunde gelegt würde, - d. h. von den Roh- und Halbstoffen über die Herstellung, den Gebrauch einschließlich der Verbrauchsmaterialien bis zu Recycling und Entsorgung - ist die Energy-Star-Stromsparoffensive der PC-Hersteller eine problematische Verlagerung des Energieaufwandes aus dem Nutzungs- in den Herstellungsbereich. (Grote, 1994, S. 96 f.)

Eine vergleichbare Energiesparoffensive wie bei Fernsehern und PC's gab es in der Faxtechnik nicht. Der Stromverbrauch der Geräte galt als *quantité négligeable* und spielt selbst in den letzten Jahren als Verkaufsargument kaum eine Rolle. Während die Hersteller von Normalpapierfaxgeräten mit dem ausdrücklichen Hinweis auf die höhere ökologische Qualität des Normalpapiers massiv werben - schon weil diese Geräte im Schnitt noch immer beachtlich teurer sind als Thermofaxgeräte - finden sich in den Prospekten der Thermofaxhersteller nur selten Angaben über den Stromverbrauch. Und doch hat sich in der Folge der Aktivitäten im PC-Bereich auch bei den Faxgeräten in den letzten Jahren einiges bewegt. Die Ursache war hier kein dominanter Akteur oder die Nachfragemacht der Verbraucher, sondern der Trend zu immer kleineren Geräten und insbesondere zu extrem kompakten Kombigeräten für den Home- bzw. SOHO-Markt. Die Verkleinerung der Baugröße auf Komforttelefongröße und damit der deutlich verringerte Abstand zwischen den elektrischen Baugruppen ließ die früher üblichen Leistungsaufnahmen für den Sende- und Kopierbetrieb nicht mehr zu. Noch Ende der 80er und Anfang der 90er Jahre konnten Thermodruck-Faxgeräte beim Aufzeichnen bzw. Kopieren 200 bis 500 Watt Leistung beanspruchen (Siemens Gruppe II und III = 200 Watt im Betrieb). Und noch 1994/95 wurden dafür bis zu 150 Watt benötigt, während der Sendevorgang nur 15 Watt brauchte (Aigner, 1995, S. 225). Der Stromverbrauch der im Augenblick angebotenen Geräte schwankt bei der Thermofaxtechnik zwischen 30 und 70 Watt und bei Tintenstrahlgeräten zwischen 30 und 50 Watt. Beim Gesamtverbrauch fallen aber nicht die relativ kurzen Augenblicke des Sendens, Empfangens und Aufzeichnens ins Gewicht, sondern der dauernde Stand-by-Betrieb.

Bei der Entstehung des Faxdienstes hatten die Netzbetreiber, die PTT, nach dem Vorbild der Fernschreibtechnik die ständige Betriebsbereitschaft der Faxgeräte als ein zentrales Dienstmerkmal festgelegt und weltweit standardisiert. Dahinter stand das Interesse, auch ohne teure Zwischenspeicherung der Nachrichten eine hohe Dienstgüte zu gewährleisten, den Kunden nicht mehrmaliges Absenden zuzumuten und vor allem das Netz nicht mit zahllosen Fehlversuchen zu belasten. Besondere Gestaltungsmaßnahmen zur Senkung des Stand-by-Verbrauches gerieten bei Herstellern und Netzbetreibern zum Zeitpunkt der Standardisierung nicht in den Blick, da man überwiegend an die geschäftliche Nutzung und nicht an einen Massendienst

dachte. Die frühere Entscheidung wurde aber auch nicht korrigiert, als seit der zweiten Hälfte der 80er Jahre die Massenausbreitung von Fax begann und die Benutzerzahlen weltweit pro Jahr um mehrere Millionen zunahm. Auch von den Homefaxgeräten wurde weiterhin die ständige Betriebsbereitschaft verlangt, so daß Apparate, die nur bei Bedarf ans Netz geschaltet werden, langezeit nur illegal betrieben werden konnten.

Erst in der Folge der Energiesparstrategien beim PC wurde auch der Stand-by-Stromverbrauch von Faxgeräten gesenkt, allerdings nicht durchgängig bei allen Fabrikaten. Schon Anfang der achtziger Jahre gab es Geräte, die nur 15 Watt im Stand-by benötigten, während die Mehrheit bei 30 Watt und mehr lag. Anfang der 90er Jahre schwankte der Verbrauch zwischen 5 und 30 Watt. In den letzten Jahren sank der Verbrauch bei den besten Geräten um den Faktor 5, bei den schlechtesten nur um das 2,5 fache. Das bei Tintenstrahlfaxen gleicher Bauweise die Spannweite bei 0,9 bis 12,4 Watt und auch bei Laserfaxen bei 0,6 bis 11,5 Watt liegt, zeigt, daß die energetische Dimensionierung vor allem auf das Konto des mangelnden Problembewußtseins der Entwickler und Konstrukteure geht (Becker, 1997, S. 34-37). Die geringe Aufmerksamkeit der Konsumenten für den Stromverbrauch trägt ihrerseits dazu bei, daß die F&E-Abteilungen der Energieeinsparung keine hohe Priorität einräumen. Die vom Qualitätsmanagement geforderte Kundenorientierung verstärkt auf der Herstellerseite die vor allem auf niedrigpreisorientierte Skalenökonomie und Feature-Maximierung ausgerichteten Gestaltungsmerkmale.

Dabei zeigt eine Modellrechnung, was bei einer derzeit angenommenen Bestandszahl von 75 Millionen Einheiten weltweit die Differenz von minimalen zur maximalen Leistungsaufnahme in der Summe bedeutet. Das beste Gerät verbraucht pro Jahr 5,3 Kilowattstunden, das schlechteste dagegen das 20fache, 109 Kilowattstunden. Das ergibt weltweit 0,4 bzw. 8,2 Terawattstunden, wobei die Differenz genau der Gesamtjahresarbeit eines AKW's entsprechen würde. Wäre der Stand-by-Verbrauch auf dem Stand der 80er Jahre von durchschnittlich 30 Watt stehengeblieben, hätten insgesamt $2\frac{1}{2}$ AKW's für den rechnerischen Mehrverbrauch aufkommen müssen. Das ganze Ausmaß der energetischen Fehldimensionierung würde freilich erst deutlich, wenn man auch noch die gewaltigen Unterschiede beim Sende- und Kopierbetrieb einbeziehen könnte. Mangelndes Problembewußtsein bei den Konstrukteuren, Netzbetreibern und Benutzern ist so aufgrund der Summierungs-effekte einer Massenausbreitung einer Technik sehr folgenreich. Doch auch bei der Faxtechnik wäre wie bei den PC's ein schneller Wechsel auf weniger energieintensive Geräte nicht opportun, da auch hier der Energieinhalt der Apparate weitaus stärker

ins Gewicht fallen würde als die durch den Umstieg erzielbaren Stromverbrauchs-Reduzierungen.

Aus der Entwicklung der Faxtechnologie und aus dem Vergleich mit dem PC und Fernseher lassen sich folgende mögliche Energiesparstrategien erkennen. Auf der Herstellerseite sind zu nennen:

- Vermeiden der Aufzeichnungsverfahren mit einem höheren spezifischen Energiebedarf
- Senkung des Energieverbrauches der Heizelemente durch technologische Verfahrensänderungen
- Senkung des Energieverbrauches durch empfindlicheres Fax-/Thermopapier (allerdings sind hier ökologische Konsequenzen zu beachten)
- Senkung des spezifischen Energieaufwandes der Faxgeräte durch konstruktive Maßnahmen
- Senkung des Chips-seitigen Stromverbrauches
- Nutzung der Datenkompression zur Verkürzung des Ausdrucks
- Einführung des Stand-by-Betriebes (Sleep-Funktion)
- Senkung des Stand-by-Verbrauches
- Einführung einer Aufweckfunktion zur Vermeidung des dauernden Stand-by-Betriebes
-

Die meisten dieser Energiesparmaßnahmen sind nur durch eine mehr oder weniger intensiver Kooperation von Informationstechnikern und Fertigungsingenieuren, von Geräteherstellern und Netzbetreibern möglich. Denn die Netzbetreiber müssen die Energiesparstrategien auch in ihren Übertragungsprotokollen und Anforderungen an den Sendevorgang berücksichtigen. Schließlich kann auch der Anwender durch sein Verhalten zu einer Senkung des faxspezifischen Energieverbrauches beitragen: Er sollte den Stromverbrauch als Kaufkriterium einbeziehen, wobei allerdings das Verhältnis des Ressourcenverbrauches in den verschiedenen Lebenszyklusphasen des Produktes zu bedenken wäre. In der Alltagspraxis scheitert aber die für eine wirksame Reduktion des Ressourcenverbrauches notwendige Kooperation der beteiligten Akteursgruppen meist an den eingefahrenen Einstellungen und Verhaltensweisen, die eher Externalisierungsstrategien begünstigen. Ökobilanzen bzw. Produkdanalysen und Problemstrukturpläne könnten hier eine Verständigungsbasis über die Grenzen der Akteursgruppen hinweg bieten. Es gibt meines Wissens aber noch keine umfassende Ökobilanz für Faxgeräte, die alle stofflichen und energetischen Aspekte berücksichtigt. Das liegt zum größeren Teil daran, daß der Faxmarkt überwiegend in ostasiatischen Händen liegt und der Aufwand einer Ökobilanz für Importprodukte zu hoch wäre. Das energiesparende Konstruieren müßte also schon vor Beginn der Massenausbreitung einer Technik zur Richtschnur der Konstrukteure werden. Doch dies müßte durch Richtlinien und

Anreize von außen angestoßen werden, da sich die Unternehmen gerade beim Übergang zu billigeren Massenprodukten einem kostenspieligen Redesign widersetzen.

Literatur

- Adamek, Petra, Preiswert faxen auf Normalpapier, in: VDI-Nachrichten, 19.3.1993
- Aigner, Markus; Piller, Rudolf, Fax richtig einsetzen. Ratschläge, die sich bezahlt machen, München 1991
- Aigner, Markus, Das Fax-Handbuch. Technik, Tips und Trends, Düsseldorf 1995
- Albert, Arthur Lemuel, Electrical Communication, 2. Aufl. New York u. a. 1940
- Anonym, Der Faxgeräte-Markt, in: Funkschau 25/1996, S. 36-37
- Anzovin, Steven, The Green PC. Making Choices that Make a Difference, New York, San Francisco, Washington, D. C. 1993
- Banks, Michael A., Understanding FAX and Electronic Mail, (Sams Understanding Series.), Carmel, Ind. 1990
- Baumann, Werner; Herberg-Liedtke, Bettina, Papierchemikalien : Daten und Fakten zum Umweltschutz,- Berlin, Heidelberg, New York 1994.
- Becker, Dietrich; Schneider, Manfred; Zeidler, Gerhard, Neue Wege der Text- und Bildkommunikation. Ein Konzept für die elektronische Briefübermittlung, in: Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz) 29 (1976) 3, S. 222-228
- Becker, F. K. u. a., An Experimental Visual Communication System, in: The Bell System Technical Journal 38 (1959) 1, S. 141-176
- Becker, Herman, Papierlos? Tendenzen beim Fernkopieren und die Auswirkungen aus den digitalen Datenaustausch, in: Maschinenmarkt 96 (1990) 7, S. 66-70
- Becker, Stefan, Test Faxgeräte: Ein klares Jein, in: Öko-TEST-Magazin 5/1997, S. 27-37
- BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Industrie übergibt Bundesumweltministerium Selbstverpflichtungserklärungen zur Verminderung von Umweltbelastungen, BMU-Pressemitteilung, Bonn 2. 2. 1996
- Bodson, Dennis; MacConnell, Kenneth R.; Schaphorst, Richard, FAX : Digital Facsimile Technology and Applications (The Artech House Telecommunications Library), 2. Aufl. Boston, Mass., London 1992 (zur Geschichte: S. 279-309)
- Bohm, Jürgen, Einführung des Telefaxdienstes der Deutschen Bundespost, in: Nachrichten Elektronik (1979) 9, S. 295-296
- Bohm, Jürgen; Wolf, Roswitha; Nitsch, Hartmut; Bardua, Friedrich, Der Telefaxdienst der Deutschen Bundespost, in: Jahrbuch der Deutschen Bundespost 29 (1979), S. 172-228
- Brües, S., Der Druck der Zukunft, in: Wochenblatt für Papierfabrikation 21 (1989), S. 976-981
- Costigan, Daniel M., Fax: The Principles and Practice of Facsimile Communication, Philadelphia 1971
- Costigan, Daniel M., Electronic Delivery of Documents and Graphics, New York, Cincinnati, Atlanta 1978
- Deider, Clemens, Fernkopieren: Telefax - die Kopie über das Telefonnetz, Berlin 1989
- Eißfeldt, Erich, Technologien für Hardcopygeräte, in: Bilddarstellende Systeme und Technologien für neue Kommunikationsformen (NTG-Fachberichte, Bd. 67), Berlin 1979, S. 158-165
- ETPA, European Thermal Paper Association, Selbstverpflichtungserklärung der ETPA, Paris 1996
- Fishman, D; King, E., The Book of Fax: An Impartial Guide to Buying and Using Facsimile Machines, Chapel Hill, NC 1988

- Fleck, Konrad (Hrsg.), Neue Fernmeldedienste für die Textübermittlung Telex, Telefax, Bildschirmtext. Vortragsreihe der Arbeitsgemeinschaft des VDE-Bezirksvereins, Frankfurt a. M., Berlin 1980
- Friedel, W., Elektrisches Fernsehen, Fernkinematographie und Bildfernübertragung, Berlin 1925
- Fuchs, G., Die Bildtelegraphie, Berlin 1926
- Fukatsu, Yoshiharu; Sawada, Genbei; Minami, Toshi, Facsimile Technology in Japan. Present Status of the Art and Future Trend, in: Bilddarstellende Systeme und Technologien für neue Kommunikationsformen (NTG-Fachberichte, Bd. 67), Berlin 1979 S. 33-39
- Gabel, Jürgen, Telefax in der Kontroverse, in: Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz) 31 (1978) 9, S. 650-651
- Gabel, Jürgen, Telefax-Start am 1.1.79, in: ntz 31 (1978) 12, S. 868-869
- Gabel, Jürgen, Praktische Hinweise fürs Fernkopieren, in: ntz 32 (1979) 8, S. 553-558
- Göttsching, Lothar, (Hrsg.), Papier in unserer Welt : ein Handbuch, Düsseldorf, Wien 1990
- Goetzler, Herbert, 50 Jahre öffentliche Bildtelegraphie in Deutschland, in: ntz 30 (1977) 1, S. 888-891
- Grallert, Hans-Joachim; Hammer, Bernhard, Faksimileübertragung. Eine Übersicht, in: Nachrichten Elektronik 4 (1979), S. 112-117
- Grote, Andreas, Umwelt und Computer. Ein Weg zum engagierten Umweltschutz in der elektronischen Datenverarbeitung, Attenkirchen 1993
- Grote, Andreas, Grüne Rechnung. Das Produkt Computer in der Ökobilanz, in: c't 1994/12, S. 92-98
- Grote, Andreas, Punktgenau. Schweizer Studie präzisiert die Ökobilanz des PC, in: c't 1996/10, S. 102-104
- Grote, Andreas; Malley, Jürgen, Schwergewicht. Der PC hinterläßt enorme Spuren in der Umwelt, in: c't 1997/5, S. 170-173
- Gruppen, Peter, Leistungsmerkmale und Anwendung von Fernkopiergeräten, in: Wolfgang Kaiser, Elektronische Textkommunikation, Berlin, Heidelberg, New York 1978, S. 353-363
- Gruppen, Peter; Gaiser, Rainer, Fernkopieren, in: Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz) 29 (1976) 3, S. 215-218
- Gruppen, Peter; Karius, H.; Peters, H. W.; Sommer, R.; Maier, K.; Preuß, D.; Rittberg, E. H., Stand und Entwicklungstendenzen der Faksimiletechnik, Forschungsbericht T 77-33, BMFT (1/1979)
- Heinzl, J., Schnell und lautlos drucken mit Tintenstrahl, in: Kaiser, Wolfgang (Hrsg.), Elektronische Textkommunikation, Berlin, Heidelberg, New York 1978, S. 238-248
- Ilberg, Waldemar, Ein Jahrzehnt Bildtelegraphie und Fernsehen Telefunken-Karolus, in: Telefunken-Zeitung 14 (1933) Nr. 65, S. 5-26
- Ilberg, Waldemar, Bildaufzeichnung und Bildsteuerung, Bildaufzeichnung und Bildsteuerung, in: Schröter, Fritz (Hrsg.), Handbuch der Bildtelegraphie und des Fernsehens, Berlin 1932, Kapitel 5
- Ives, Horton E. u. a., The Transmission of Pictures over Telephone Lines, in: The Bell System Technical Journal, Apr. 1925, S. 187-214
- Johnson, T., Hat Faksimile (Fernkopieren) eine Zukunft ?, in: Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz) 29 (1976) 8, S. 570-571
- Jones, Charles, Facsimile, New York 1949
- Karius, Helmut; Puhze, Udo, Tinte setzt sich durch, in: telcom report 4 (1981) 2, S. 181-186
- Korn, Arthur, Elektrische Fernphotographie und Ähnliches, Leipzig 1904
- Korn, Arthur, Elektrische Fernphotographie, in: Elektrotechnische Zeitschrift (1905) 50, S. 1131-1134

- Korn, Arthur, Über die Entwicklung der Bildtelegraphie in den letzten zehn Jahren, in: die Naturwissenschaften 4 (1916) 46, S. 689-696
- Korn, Arthur, Bildtelegraphie, Berlin, Leipzig 1923
- Korn, Arthur, Die telegraphische Übertragung von Zeichnungen und Photographien. Zusammenfassender Bericht, in: Elektrische Nachrichtentechnik (E.N.T.), 1 (1924) 6, S. 175-187
- Korn, Arthur, Der gegenwärtige Stand der Bildtelegraphie in: Elektrotechnische Zeitschrift 47 (1926) 25, S. 717-719
- Korn, Arthur; Glatzel, Brono, Handbuch der Phototelegraphie und Teleautographie, Leipzig 1911
- Kniestedt, J., Die historische Entwicklung des Fernsehens, in: Archiv für das Post- und Fernmeldewesen 37 (1985), S. 185-207
- Kunert, Artur, Die Entwicklung des Fernmeldewesens für den öffentlichen Verkehr (ein geschichtlicher Überblick). Teil I. Telegraphie. Berlin 1931
- Lertes, P., Fernbildtechnik und elektrisches Fernsehen, Frankfurt a. M. 1926
- Leue, Günter, Fernkopieren. Stand in den USA, in: in: Kaiser, Wolfgang (Hrsg.), Elektronische Textkommunikation, Berlin, Heidelberg, New York 1978, S. 330-352
- Mache, Wolfgang, Lexikon der Text- und Datenkommunikation, 2. Aufl. München, Wien 1993, S. 413
- Maeda, K.; Kobayashi, N., A New Network for Nation-Wide Facsimile Communication, in: Kaiser, Wolfgang (Hrsg.), Elektronische Textkommunikation, Berlin, Heidelberg, New York 1978, S. 378-389
- Moench, F., Bildtelegraphie, in: Elektrische Nachrichten-Technik (E. N. T.) 4 (1927) 12, S. 507-508
- Musmann, Hans Georg; Preuß, Dieter, Stand und Entwicklungstendenzen der Faksimiletechnik, in: Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz) 30 (1977) 6, S. 475-478
- Németh, K.; Tantow, R, Möglichkeiten und Grenzen der Faksimiletechnik im Bürobereich, in Text- und Bildkommunikation (NTG-Fachberichte, Bd. 74), Berlin 1980 S. 228-234
- Perabo, Richard, Technik der Fernkopierer, in: Nachrichten Elektronik 36 (1982) 2, S. 49-53
- Puhze, Udo, TELEFAX - Fernkopieren, in: K. Fleck (Hrsg.), Neue Fernmeldedienste für die Textübermittlung (Teletex, Telefax, Bildschirmtext), Berlin, Offenbach 1980, S. 39-61
- Puhze, Udo, Telefax - Fernkopieren, in: Fellbaum, Klaus u.a. Elektronische Textkommunikation. Technik, Einsatz, Erfahrungen, Berlin, Offenbach 1983, S. 323-349
- Quinn, Gerald V., The Fax Handbook, Blue Ridge Summit, Pa. 1989.
- Reynolds, F. W., A New Teleautograph System, in: Electrical Engineering, Sept. 1936, S. 996-1007
- Riding, G. H., Facsimile Communications. Past, Present, Future, in: Signal (1962) Nov, S.
- Robinson, Lawrence, The Facts on Fax, Dallas, Tex. u.a. 1986
- Rothgordt, U., Elektrostatische Druckverfahren, in: Wolfgang Kaiser, Elektronische Textkommunikation, Berlin, Heidelberg, New York 1978, S. 250-261
- Sandermann, Wilhelm, Kulturgeschichte des Papiers, Berlin u.a. 19; 2. Aufl. unter dem Titel: Papier: eine spannende Kulturgeschichte, Berlin u.a. 1992
- Schoblick, Robert, Hat G4-Fax Zukunft?, in: Funkschau 17/1997, S. 60-62
- Schröter, Fritz, Drahtlose Bildtelegraphie, in: Elektrotechnische Zeitschrift 47 (1926) 25, S. 719-
- Schröter, Fritz, Drahtlose Bildtelegraphie, in: in: Elektrische Nachrichten-Technik (E. N. T.) 3 (1926) 2, S. 41-55

- Schröter, Fritz, Fortschritte in der Bildtelegraphie, in: Elektrische Nachrichten-Technik (E. N. T.) 5 (1928) 11, S. 449-458
- Schröter, Fritz, Die Übertragung von Halbtonbildern mittels kurzer Wellen, in: Elektrische Nachrichten-Technik (E. N. T.) 9 (1932) 9, S. 49-56
- Schröter, Fritz, Die Zerlegungsmethoden der Fernbildschrift, in: ders. (Hrsg.), Fernsehen, S. 1-25
- Schröter, Fritz, Handbuch der Bildtelegraphie und des Fernsehens, Berlin 1932
- Schröter, Fritz, Möglichkeiten einer Weiterentwicklung in der Bildtelegraphie, in: Telefunken-Zeitung 14 (1933) Nr. 70, S. 35-43
- Schulz, Ulrich, Fax mit dem PC. Schnelle und einfache Lösungen ; Installation und Anwendung; Faxen mit ISDN, Haar bei München 1996
- Segin, P., Faksimileübertragung auf dem öffentlichen Telfonwählnetz mit 9600 Bit/S Übertragungsgeschwindigkeit, in Text- und Bildkommunikation (NTG-Fachberichte, Bd. 74), Berlin 1980 S. 235-240
- Sodeyama, H., Thermopapier und seine Anwendungen - Thermal Paper and Its Application - Le Papier thermique et ses applications, in: JUJO Paper Co. LT, Finat News 1985/1, S. 1-18
- Stahl, Hans, Die bildtelegraphische Übertragung von Nachrichten (Pantelegraphie), in: Elektrische Nachrichten-Technik (E. N. T.) 1 (1924) 6, S. 187-190
- Stahl, Hans, Stand der Bildtelegraphie in: Elektrotechnische Zeitschrift (1935) 12, S. 341-344
- Thielecke, K., Das Bain-Patent von 1843, in: Nachrichtentechnik Elektronik 43 (1993) 2, S. 98
- Weidelich, Friedhelm, Faxgeräte: Normalpapier liegt im Trend, in: VDI-Nachrichten, 7.3.1997, S. S12
- Wyle u. a., Reduced-Time Facsimile Transmission by Digital Coding, in: IRE Transactions on Communications Systems (1961) Sept, S. 215-222
- Young, John, Der gesunde Büroschlaf des Computers kommt nur langsam, in: Computerwoche 29 /16.7.1993, S 20
- Zetsche, Karl Eduard, Die Copiertelegraphen, die Typendrucktelegraphen und die Doppeltelegraphie, Leipzig 1865
- Zetsche, Karl Eduard, Geschichte der elektrischen Telegraphie, in: ders., Handbuch der elektrischen Telegraphie Band I, Berlin 1877

<p>FAXTECHNOLOGIE:</p> <p>PROBLEMSTRUKTURPLAN NACH AKTEURSPERSPEKTIVEN</p>
--

ENGERE PERSPEKTIVE DES ENTWICKLUNGSBEREICHES: PRODUKT

- **Problemlösungsansatz**
zentrales Wirkprinzip
komparative Nutzungsvor- und nachteile
- **Funktionsstruktur**
Funktionsumfang, Funktionsspezialisierung, Funktionskombination (Mehrfunktionsgeräte)
- **System- bzw. Leistungsparameter**
Einzelparameter-Dimensionierung
Geräte- / System-Durchsatz
System- und Trade-off-Charakter der Leistungs- und System-Parameter
Systemkonfiguration für unterschiedliche Nutzergruppen (Mini-/Maxi-/System-Fax)
- **Informationstechnische Aspekte**
Informationsvolumen : Abtastformat ,Vorlagengröße, Zeilenzahl, Auflösungsgrad
Übertragungstechnik: Modulationsverfahren, Abtastgeschwindigkeit
Bandbreite: Kapazität des Nachrichtenkanals
Netzanbindung, Übertragungsgeschwindigkeit
- **Gerätekonstruktions-Aspekte**
Leistungsgerechte Werkstoffwahl bei Struktur- und Funktionswerkstoffen
Abtastverfahren: Trommel- / Flachbettabtastung
Aufzeichnungsverfahren: Trommel- / Flachbettaufzeichnung, Drucktechnik
Leistungsniveau des Ein- / Ausgabesystems
- **Skalenökonomie: Produktmengen**
Nischenprodukt
Massenprodukt
- **Standardisierung, Normung**
nicht-standardisierte Inhouse-Technik
standardisierter Allgemeindienst

ENGERE PERSPEKTIVE DES ENTWICKLUNGSBEREICHES: PRODUKTION

Fertigungsgerechte / Montagegerechte Baustruktur
Sicherheitsrisiken und Schadstoffbelastungen am Arbeitsplatz

PERSPEKTIVE DES NETZBETREIBERS

- Netzauslastung, Netzökonomie
- Dienstprofil: Konkurrenz zu anderen Diensten

PERSPEKTIVE DES NUTZUNGSBEREICHES

- Funktionsaufteilung zwischen Benutzer und technischem System
- Geräte-Ergonomie,
 - Mensch-Maschine-Schnittstelle, Mensch-Maschine-Interaktion, Bedientechnik, Bedienungskompatibilität verschiedener Systeme
- Software-Ergonomie bei digitalen Faxsystemen
 - Benutzungsoberfläche, Fehlerfreundlichkeit
- Kommunikations-Ergonomie
 - Faxqualität, Lesbarkeit (Auflösung, Graustufen), Übertragungsfehler
 - Arbeitskontext, Vorlagenerstellung, -eingabe, Faxempfang, -verteilung
- Kommunikations-Ökologie
 - Ungleichverteilung der Nutzungs-Vor- und Nachteile
 - Unleserlichkeit, Zwang zur Texterfassung beim Empfänger
 - Junkfax-Problematik
- Datenschutz, Datensicherheit
- Sicherheitsrisiken und Schadstoffbelastungen im Nutzungsbereich
 - Geräusch-, Geruchsbelästigungen, Ozonbelastung bei Laserdruckern
- Wartungsfreundlichkeit / Reparaturfreundlichkeit
- Lebensdauer von Geräten und Kopien

PERSPEKTIVE DER UMWELT UND GESELLSCHAFT

- Stoffumsatz bei Geräten: spezifisches Stoffinventar:
- Mengenaspekt
- Schadstoffaspekt
 - Selen-Beschichtung der Laserdrucker-Trommel, Halbleitermaterialien, Platinen-Werkstoffe, Flammschutzmittel, Kunststoff-Mix
- Emissionen
 - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Stoffumsatz bei Verbrauchsmaterialien:
- Mengenaspekt:
 - Papierverbrauchssteigerung gegenüber E-Mail
 - Tonerkartuschen
- Schadstoffaspekt:
 - Chemopapier, Thermopapier, Toner, Druckertinten, Ozon
- Energieumsatz bei bei Geräten und Verbrauchsmaterialien:
 - Energieverbrauch für Materialien und Herstellung
 - Energieverbrauch bei Betrieb und Stand-by

- Recyclinggerechtigkeit (Geräte, Verbrauchsmaterialien)
- Deponierung von Schadstoffen:
 - Deponiemengen
 - Dauerschädlichkeit
- Lebensdauer von Geräten
- Langfristiger Ressourcenumsatz im Telefaxbereich

Hans Dieter Hellige - artec - Universität Bremen