

## Vorwort

Speichern ist ein Ur-Geschehen, eine Ur-Gewalt. Ohne Speichern gäbe es nicht die Welt, so wie sie ist, gäbe es uns nicht. Dennoch ist Speichern nicht total. Vieles vergeht wie Schall und Rauch. Von unserer leiblichen Hülle bleibt vielleicht nur - und das auch nicht für ewig - ein Häufchen Asche und eine Grabinschrift. Eine echte, nicht manipulierte Photographie ist bestimmt ein sehr detailgetreues gespeichertes Abbild, aber auch sie zeigt nur einen räumlich-zeitlichen Ausschnitt und ist daher immer irgendwie unvollständig. Die technische Speicherung soll, will und muss über solche Grenzen überwinden. Es ist jedoch kaum wahrscheinlich, dass sie eines Tages perfekt sein wird. Vieles wird bereits der Datenschutz - zumindest bezüglich der Privatsphäre - verhindern. Anderes wurde bei der Einführung der Tonbandtechnik und kürzlich bei den beschreibbaren digitalen Audiomedien sichtbar. Hier verhinderten rein kommerzielle Interessen hervorragende technische Möglichkeiten. Andererseits brähe eine unvorstellbare Katastrophe über unsere Zivilisation herein, wenn plötzlich die elektronischen Speicher auch nur etwas weniger zuverlässig würden.

Dieses Buch ist den Grundlagen und Anwendungen technischer Speicher gewidmet. Aber gerade für den Techniker ist es oft wichtig, den allgemeineren Kontext zu kennen. Wie tief bedauernswert ist ein Mensch, der sein Gedächtnis verlor. In der Mythologie wird beim Eintritt in die Unterwelt der Trank des Vergessens verabreicht. In der Nibelungensage ist z.B. Hagen hiervon tief betroffen. Andererseits kann auch das Gegenteil, also das Vergessen (und das Verzeihen), wichtig sein. So gibt es die Tragik des Nicht-Vergessen-Könnens. Sie kommt u.a. in Märchen, Sagen und Anekdoten vor. Das Wissen und Einhalten von Soziologischem und Kulturellem geht über den Einzelnen hinaus und prägt eine Gesellschaft. Hierzu stellte vor einiger Zeit das "Einstein-Forum" fest<sup>1</sup>:

*„Diskussionen um das Vergessen führen in Deutschland fast zwangsläufig zu unterschiedlicher politischer Kritik. ... Die Vorstellungen Nietzsches aber auch Heideggers wurden genauso betrachtet, wie das historische Wissen über die Leistung des Vergessens in der antiken Demokratie Athens. In all diesen unterschiedlichen Sichtweisen wurde deutlich, daß es zum einen zwar illegitimes Vergessen gibt, aber andererseits auch die Notwendigkeit, Bestimmtes zu vergessen. 'Ein Mensch, der nichts vergessen kann, ist wie jemand, dem der Schlaf entzogen wird', hatte Nietzsche einmal gesagt. Man war sich im wesentlichen einig, daß es ein 'heilendes Vergessen' gebe. Allzuoft wird dies in Deutschland jedoch mit Verdrängung gleichgesetzt, denn vergessen kann man nur wirklich, wenn man die Konflikte zuvor gelöst hat.“*

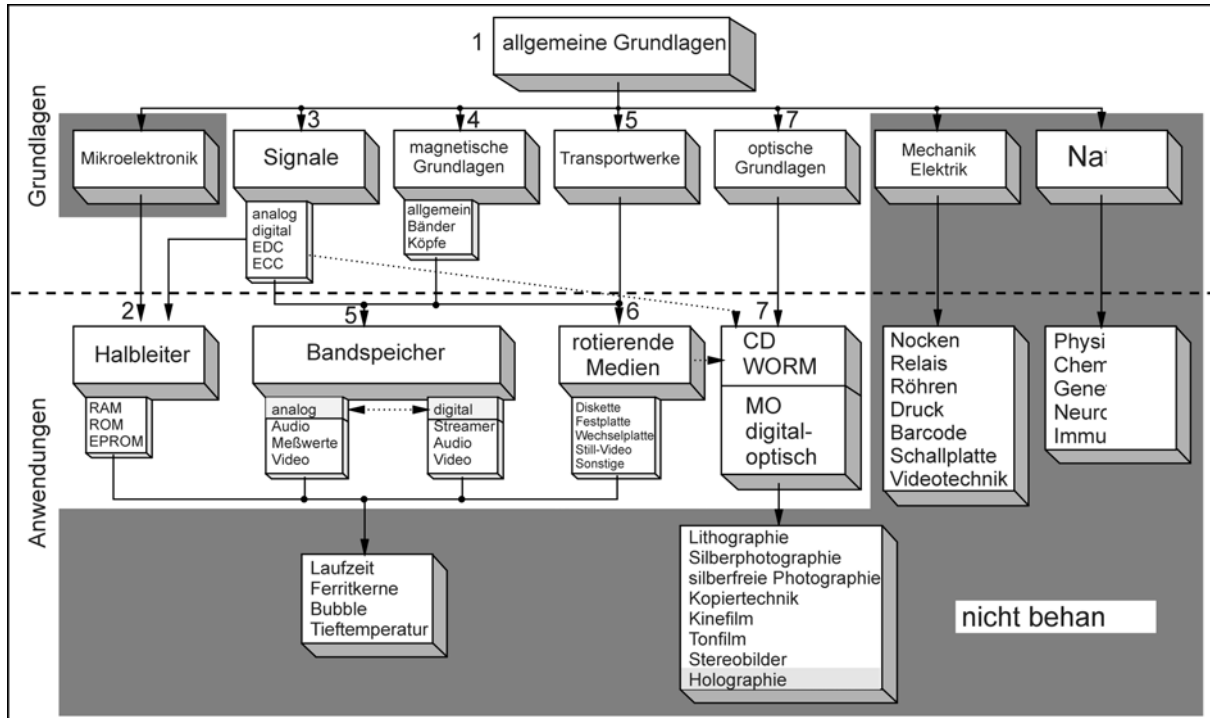


Bild 1. Überblick zu den Speichern und den im Buch behandelten Gebieten.

Dieses Buch war ursprünglich nahezu umfassend angelegt. Einen Überblick gibt Bild 1. Dabei ergab sich ein so großer Umfang, dass nur wenig Akzeptanz im Buchmarkt zu erwarten war. So wurde der Umfang auf etwa 300 Druckseiten festgelegt. Um dennoch die wichtigsten Fakten zu vermitteln, waren mehrere Kompromisse erforderlich. Einmal wurden alle grau unterlegten Gebiete ausgeklammert. Dann wurde ein enges Layout und

kleinere Bildarstellungen gewählt. Bei den Tabellen wurden generell die Legenden fortgelassen<sup>2</sup>. Aus dem Bild 1 ist auch die Struktur des Buches zu erkennen. Das Kapitel 1 betrifft allgemeine Grundlagen der Speicherung. Es ist ebenfalls stark gekürzt und zeigt, was Speichern ist, was es grundsätzlich an Voraussetzungen verlangt, wie weltgeschichtlich sich die technische Speicherung einordnet und wo ihre prinzipiellen Grenzen liegen. Weiter werden dann physikalisch-technische Grundlagen der Speicherung (2. Zeile) und die konkreten technischen Geräte unterschieden. Da Speichern höchst interdisziplinär ist, sind die Abgrenzungen recht schwierig. So sind u.a. die optischen Grundlagen mit der CD, WORM und MO im Kapitel 7 zusammengefasst. Ähnlich sind die allgemeinen Transportwerkprobleme bei den Bandspeichern im Kapitel 5 berücksichtigt. Es erwies sich als wenig sinnvoll, die Spezifika der rotierenden Transportwerke in einem gemeinsamen Grundlagenkapitel zu behandeln. Ein weiteres Problem ist das Verhältnis zwischen analogen und digitalen Speichern. Im Bild ist es nur bei den Bandspeichern ausgewiesen. es tritt aber in allen Abschnitten und Kapiteln auf. Die deutlichste Trennung ist bei der Signalverarbeitung im Kapitel 3 vorhanden. Hier steht auf der digitalen Seite Code, Fehlererkennung und Fehlerkorrektur, auf der analogen, Hf-Vormagnetisierung, Dynamikregelung, Frequenz- und Pulsmodulation. Recht ausführlich sind im Kapitel 4 die magnetischen Grundlagen behandelt. Dies war notwendig, da der Magnetismus in Physik und Technik ein Stiefkind ist und es somit hierzu kaum brauchbare Literatur gibt. Zu diesem Kapitel gehören ja auch die Magnetbänder, die Magnetköpfe und die Magnetooptik. Noch weniger Literatur liegt bei den mechanischen Antrieben vor. Deshalb der Abschnitt im Kapitel 5.

Aus der bisherigen Übersicht und dem Bild 1 scheinen die Halbleiterspeicher fast ein Sonderdasein zu besitzen. So habe ich denn auch mehrmals überlegt, sie auf Kosten anderer Gebiete auszuklammern. Aber leider zeigte dann die Durchsicht der Literatur auch hier zu große Lücken. Es mag der Leser entscheiden, ob vielleicht die Darstellung der genetischen und neuronalen Speicher nicht doch wichtiger gewesen wäre. Die Entscheidung ist mir nicht leicht gefallen, zumal meine Hörer meist beide Gebiete nach den optischen Speichern forderten (siehe Fußnote <sup>2</sup>). Ähnliches gilt auch für die Holographie. Bedauerlich ist weiter, dass auch eine umfangreiche Geschichtstafel entfallen musste.

Der Aufbau des Buches hebt vielleicht die magnetomotorischen Speicher etwas zu sehr hervor. Hierfür gibt es drei Gründe. Einmal machen sie ökonomisch den weitaus größten Marktanteil aus. Zum anderen hat der Autor hier nahezu fünfzig Jahre an der Basis geforscht. Drittens ist dies Gebiet so komplex und interdisziplinär, daß endlich einmal eine solide Monographie erforderlich erschien. Daher sollte man erwarten, daß mittlerweile für die konstruktive Realisierung der magnetomotorischen Speicher eine systematisch-theoretische Beschreibung, eine Theorie vorliegt. Sie müsste sowohl für Detailprobleme als auch für komplexe Zusammenhänge konstruktive/berechenbare Aussagen zur Verfügung stellen. Infolge der Vielzahl der beteiligten Disziplinen - u.a. Elektrodynamik, Magnetismus, Elektronik, Nachrichtentechnik, Feinwerktechnik, Konstruktion, Fertigungstechnik und Technologie - gibt es so etwas leider nicht. Es gibt auch keine Institution bzw. Forschungs- oder Industrieeinrichtung, welche alle wesentlichen Probleme kennt oder gar behandelt<sup>3</sup>. Dadurch ist die Spezialisierung weit fortgeschritten: Einzelne Fabriken/Firmen entwickeln und produzieren Magnetbänder, andere Disketten, wieder andere haben sich auf Festplatten spezialisiert. Die Magnetköpfe werden in dafür spezialisierten Werkstätten aus den Materialien anderer Firmen gefertigt. Je nach Anwendungstyp stellen unterschiedliche Betriebe die Transportwerke her. Die so angedeutete große Komplexität erschwert eine systematische Übersicht. sie wurde auch hier nicht vollständig erreicht. Außerdem konnten wegen der o.g. Einschränkung und meines begrenzten Wissens nur die wichtigsten Probleme und ausgewählte Lösungen aufgezeigt werden. Häufig kann so weder eine wissenschaftliche Tiefe noch eine leidliche Vollständigkeit erreicht werden. Daher bin ich dankbar, für alle Hinweise, Ergänzungen und Kritiken. Die Bilder sind in jedem Kapitel getrennt fortlaufend nummeriert. Nur bei Verweisen auf Bilder in anderen Kapiteln wird daher die Kapitelnummer vorangestellt. So bedeutet Bild 7, das Bild 7 im gleichen Kapitel und Bild 3.56, das Bild 56 im Kapitel 3. Auf Grund der lebenden Kolumnentitel dürfte das Auffinden dann leicht sein. Außerdem wird bei den Verweisen meist die zugehörige Seitenzahl benutzt. Zusätzliche Querverweise sind über das Sachwortverzeichnis erreichbar. Dadurch wird auch ein Auffinden der Erklärung von Begriffen erleichtert. Zur Vereinfachung wurden weiter alle Formeln ohne Nummerierung eingefügt. Die notwendigen Formelzeichen sind dabei immer in unmittelbarer Nachbarschaft erklärt. Dadurch konnte ein Verzeichnis der Formelzeichen entfallen. Bei der Breite des Stoffes ergaben sich zwangsläufig Probleme bezüglich einer einheitlichen Orthographie. So wurden englische Begriffe, sofern sie nicht Eigennamen betreffen oder schon deutschsprachig empfunden werden, konsequent klein und ohne Bindestrich geschrieben. Dabei entstehen natürlich Ungereimtheiten, wie z.B. bei Pits und bumps. Eine andere Schwierigkeit entsteht bei den zusammengesetzten deutschen Substantiven. In einigen Fällen wurden die Teilwörter zur besseren Lesbarkeit durch Bindestriche getrennt und dann jeweils groß geschrieben.

Das Manuskript wurde mehrfach, infolge des technischen Fortschritts, der laufenden Lehrveranstaltungen und nicht zuletzt wegen der Kürzung, überarbeitet. Hinzu kommt, dass die Dateien infolge der vielen Bilder gegen 100 MByte tendieren. So etwas bringt natürlich die Gefahr von Fehlern mit sich. Großer Dank gebührt daher all jenen, die teilweise oder vollständig und sogar wiederholt Ausdrucke gelesen haben und mir so viele nützliche Hinweise gaben. Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Hans Liebig von der TU Berlin, Frau Gundula Czyzewski, Herrn Daniel Blaschkowski, Jürgen Thomas und nicht zuletzt meiner Frau Ruth Roma-Völz. Von

anderen bekam ich nützliche Detailinformationen. Hier sind vor allem Herr Professor Michael Hausdörfer und Axel Säckl zu nennen. Dennoch bleiben alle Mängel und Fehler, meine Schuld. Ich bitte die Leser dafür um Nachsicht. Last but not least gilt mein Dank auch den Mitarbeitern des Verlages. Selten habe ich eine so angenehme und unkomplizierte Zusammenarbeit erlebt.

H. Völz  
im Oktober 1995

1 Auszug aus dem Bericht der Berliner Zeitung vom 14.12.93 S. 29  
3 Das wohl letzte Kollektiv, das diesem Anspruch zu genügen versuchte, bestand bis 1990 an der Akademie der Wissenschaften der DDR aus dem etwa 50 Personen starken Bereich "Magnetomotorische Speicherung" des Zentralinstitutes für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI). Es wurde über 30 Jahre vom Autor geleitet und hat u.a. ca. 50 Speicher für die Forschungssatelliten der Sowjetunion (heutiges Russland) entwickelt und gefertigt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Grundlagen der Speicherung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Was ist Speichern? .....	1
1.2 Was ist Information .....	2
1.3 Evolution der Speicherung .....	5
1.4 Die Medien .....	7
1.5 Wandlungsprozesse .....	8
1.6 Wichtige Kenndaten .....	11
1.7 Theoretische Grenzen .....	17
<b>2 Halbleiterspeicher .....</b>	<b>25</b>
2.1 Elektronikschaltungen .....	25
2.2 Zur Systematik .....	27
2.2.1 Speichervarianten .....	27
2.2.2 Halbleitertechnologien .....	29
2.3 Die Speicherzellen .....	30
2.3.1 Elektrische Kapazität .....	30
2.3.2 Ferroelektrika .....	31
2.3.3 Feldeffekttransistor .....	31
2.3.4 Ladungsspeicher .....	32
2.3.5 Flipflop .....	34
2.4 Randelektronik .....	34
2.5 Einfache Speicher .....	36
2.5.1 Zusammengesetzte Flipflop .....	36
2.5.2 Registertypen und Buffer .....	37
2.5.3 Zähler .....	38
2.5.4 Schieberegister .....	39
2.5.5 Stack .....	40
2.5.6 Cache .....	40
2.6 Schreibbare Speicher, RAM .....	42
2.6.1 SRAM .....	43
2.6.2 DRAM .....	44
2.6.3 VRAM .....	46
2.6.4 FRAM .....	47
2.6.5 NVRAM .....	47
2.7 Festwertspeicher .....	47
2.7.1 ROM .....	49
2.7.2 PROM .....	49
2.7.3 EPROM .....	50
2.7.4 EEPROM und Flash-RAM .....	51
2.8 Ergänzungen .....	53
2.8.1 Assoziativ-Speicher .....	53
2.8.2 Geschichte .....	54
2.8.3 Grenzen .....	55
<b>3 Signale .....</b>	<b>56</b>
3.1 Allgemeines .....	56
3.2 Magnetbandkanal .....	59
3.2.1 Frequenzgänge .....	59

3.2.2	Störungen	64
3.2.3	Kanal und Signalfächen	66
3.2.4	Informationstheorie	68
3.3	Kanalanpassungen	69
3.3.1	Audiospeicherung	70
3.3.2	Rauschminderung	73
3.3.3	Kopiereffekt	75
3.3.4	Messwertspeicher	76
3.3.5	Grundlagen der Frequenzmodulation	78
3.3.6	Videospeicherung	81
3.4	Digitale Speicherung	84
3.4.1	Einzelimpuls	84
3.4.2	Impulsfolgen	86
3.4.3	Signalverfälschungen	87
3.4.4	Laufänge und Takt	87
3.4.5	Signalerkennung	88
3.4.6	Codierungen	90
3.4.7	Augendiagramm	94
3.5	Fehlersicherheit	95
3.5.1	Fehlerarten	95
3.5.2	Einfache Methoden	96
3.5.3	Hamming-Abstand	98
3.5.4	Polynom-Methode	101
3.5.5	CRC-Methode	103
3.5.6	Matrizen-Methode	104
3.5.7	Systematik und Grenzen	105
3.5.8	Interleaving	106
3.5.9	Beispiele	106
3.6	Digitale Analogsignale	108
3.6.1	Audiosignale	109
3.6.2	Videosignale	112
<b>4</b>	<b>Magnetische Grundlagen</b>	<b>114</b>
4.1	Einfache Beschreibung	114
4.2	Zusammenhang mit weiteren Größen	116
4.2.1	Elektrischer Strom	117
4.2.2	Induzierte Spannung	117
4.2.3	Mechanische Kraft	118
4.3	Hysterese-Geschehen	118
4.3.1	Magnetische Permeabilität	120
4.3.2	Magnetischer Kreis	122
4.3.3	Energieprodukt	123
4.3.4	Stabilisierung	123
4.3.5	Entmagnetisierung	124
4.4	Magnetische Effekte	125
4.4.1	Halleffekt	125
4.4.2	Magnetoresistiver Effekt	126
4.4.3	Magnetooptik	127
4.5	Atomare Grundlagen	127
4.5.1	Paramagnetismus	129
4.5.2	Diamagnetismus	129
4.5.3	Ferromagnetismus	130
4.5.4	Ferrimagnetismus	132
4.5.5	Antiferrimagnetismus	132
4.5.6	Seltene Erden	132
4.6	Wände und Bezirke	134
4.6.1	Spontane und pauschale Magnetisierung	134
4.6.2	Gesamtenergie und Wände	135
4.6.3	Magnetisierungsprozesse	135
4.6.4	Anisotropie	136
4.6.5	Einbereichsteilchen	137
4.6.6	Preisach-Darstellung	138
4.7	Magnetische Werkstoffe	140

4.7.1	Metallkristalline Materialien.....	141
4.7.2	Amorphe Materialien.....	143
4.7.3	Oxidische Materialien.....	144
4.7.4	Technische Daten .....	144
4.7.5	Magnetische Flüssigkeiten.....	146
4.8	Magnetband.....	146
4.8.1	Unterlage .....	147
4.8.2	Magnetische Pigmente.....	149
4.8.3	Bindemittel .....	153
4.8.4	Bandherstellung.....	154
4.8.5	Dünnschichtbänder .....	156
4.8.6	Technische Daten .....	157
4.8.7	Spezialbänder.....	159
4.9	Magnetköpfe .....	161
4.9.1	Aufzeichnung.....	161
4.9.2	Wiedergabe.....	166
4.9.3	Ersatzschaltungen .....	166
4.9.4	Störwirkungen .....	167
4.9.5	Reziprozitätstheorem .....	169
4.9.6	Löschen.....	170
4.9.7	Spezialköpfe .....	171
4.9.8	Kopfmaterial.....	174
4.9.9	Technologie .....	178
<b>5</b>	<b>Bandspeicher .....</b>	<b>180</b>
5.1	Einführung.....	180
5.2	Transportwerke.....	181
5.2.1	Lagerung der Medien.....	182
5.2.2	Capstan-System .....	185
5.2.3	Andere Bandantriebe .....	189
5.2.4	Bandzug.....	191
5.2.5	Führung und Kontakt.....	192
5.2.6	Gleichlaufer .....	194
5.2.7	Mechanische Analogien.....	196
5.2.8	Betriebssicherheit .....	197
5.3	Schallspeicher .....	198
5.3.1	Zur Geschichte.....	198
5.3.2	Studiotechnik.....	200
5.3.3	Heimtechnik .....	202
5.3.4	Diktiertechnik.....	205
5.3.5	Magnetfilm .....	206
5.3.6	Sondergeräte .....	208
5.3.7	Vervielfältigung.....	210
5.4	Messwertspeicher .....	211
5.5	Videospeicherung.....	212
5.5.1	Bandbreite als Problem.....	212
5.5.2	Alte Ampex-Technik .....	213
5.5.3	Schrägspurverfahren .....	214
5.5.4	Einige Studiotechniken.....	216
5.5.5	Heimtechniken.....	218
5.5.6	Vervielfältigung.....	224
5.5.7	Still-Video .....	224
5.6	Digitale Geräte .....	225
5.6.1	Erste Geräte .....	225
5.6.2	Backup und Archivierung.....	227
5.6.3	Die klassischen Verfahren.....	229
5.6.4	QIC-Formate.....	230
5.6.5	Mehrspur-Audiospeicherung .....	235
5.6.6	Schrägspur-Audiospeicherung.....	238
5.6.7	Schrägspur-Streamer.....	241
5.6.8	Massendatenspeicher .....	242
5.6.9	Digitale Videospeicher .....	242
<b>6</b>	<b>Rotierende magnetische Speicher .....</b>	<b>245</b>

6.1	Historische Varianten .....	245
6.2	Festplattenspeicher .....	247
6.3	Die beiden Antriebe .....	247
6.4	Kopf und Schichten .....	250
6.5	Disketten .....	252
6.6	Weitere Techniken .....	255
6.7	Datenstrukturen .....	257
6.8	Betriebssicherheit .....	259
6.9	Anwendungen .....	260
<b>7</b>	<b>Digitale Optische Speicher .....</b>	<b>263</b>
7.1	Optische Grundlagen .....	263
7.1.1	Licht als Welle .....	263
7.1.2	Optische Abbildung .....	264
7.1.3	Der Laser .....	266
7.1.4	Anisotropie und Polarisierung .....	267
7.1.5	Optisch aktives Material .....	269
7.1.6	Kristalle und Fehler .....	270
7.1.7	Zur silberfreien Photographie .....	271
7.2	Die Audio-CD .....	272
7.2.1	Aufbau der Platte .....	272
7.2.2	Das optische System .....	273
7.2.3	Elektronik und Servosysteme .....	276
7.2.4	Herstellung der CD .....	277
7.2.5	Pflege und Haltbarkeit .....	279
7.3	Verschiedene CD-Formate .....	279
7.3.1	Die Colour Books .....	279
7.3.2	Die Sektorformate .....	281
7.3.3	Die CD-ROM .....	282
7.4	WORM-Varianten .....	283
7.4.1	Spurkonfigurationen .....	284
7.4.2	Physikalisch-chemische Prinzipien .....	284
7.4.3	Die CD-Recordable .....	286
7.4.4	Die Photo-CD .....	287
7.4.5	Der CD-Brenner .....	288
7.4.6	Optische Bänder und Lasercard .....	288
7.5	Phase-Change-Verfahren .....	289
7.6	Magneto-optische Speicher .....	290
7.6.1	Die MD von Sony .....	293
7.7	Mögliche Weiterentwicklungen .....	294
7.7.1	Die HDCD .....	295
7.8	Digitale optoelektronische Speicher .....	296
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>298</b>
<b>9</b>	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>302</b>