

Messen, Steuern und Regeln in der Chemischen Technik

Herausgegeben von
J. Hengstenberg · K.H. Schmitt · B. Sturm
O. Winkler

Dritte Auflage · Band IV



Springer-Verlag
Berlin · Heidelberg · New York · Tokyo

Messen, Steuern und Regeln in der Chemischen Technik

Herausgegeben von
J. Hengstenberg · K.H. Schmitt · B. Sturm
O. Winkler

Dritte neubearbeitete Auflage

Band IV Meßwertverarbeitung
zur Prozeßführung II
(Digitale Verfahren)

Mit 225 Abbildungen in 248 Teilbildern

Springer-Verlag
Berlin · Heidelberg · New York · Tokyo · 1983

Herausgeber

Dr. phil. nat. JOSEF HENGSTENBERG
Limburgerhof/Pfalz, ehem. BASF AG, Ludwigshafen

Dr. rer. nat. KARLHEINZ SCHMITT
Bayer AG, Leverkusen

Dr. phil. Dr. sc. techn. h. c. BERTHOLD STURM
Görwihl, ehem. Bayer AG, Leverkusen

Dr. phil. OTTO WINKLER †
ehem. Chemische Werke Hüls AG, Marl

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Messen, Steuern und Regeln in der Chemischen Technik/hrsg. von J. Hengstenberg ... — Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

1. u. 2. Aufl. u. d. T.: Messen und Regeln in der Chemischen Technik.

NE: Hengstenberg, Josef [Hrsg.]

Bd. 4. Meßwertverarbeitung zur Prozeßführung 2: Digitale Verfahren / [Autoren Brombacher, M. ...]. — 3., neu-
bearb. Aufl. — 1983. NE: Brombacher, M. [Mitverf.]

ISBN 3-540-11668-0 3. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo
ISBN 0-387-11668-0 3rd edition Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin Tokyo

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Weg und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2 UrbG, werden durch die „Verwertungsgesellschaft Wort“, München, wahrgenommen.

© Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1957, 1964 and 1983

Printed in G.D.R.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bindearbeiten: K. Triltsch, Würzburg

2061/3020-543210

Autoren

- Brombacher, Manfred**, Dipl.-Ing., Bayer AG, Leverkusen
Bussmann, Bernhard, Dipl.-Ing., Bayer AG, Leverkusen
Dubil, Helmut, Dr., Chemische Werke Hüls AG, Marl
Eppler, Kurt, Dr. rer. nat., EC Erdölchemie GmbH, Köln-Worringen
Fink, Peter A., Dr., Elesta AG, Bad Ragaz/Schweiz
Hofmann, Winfried, Dipl.-Ing., Hoechst AG, Frankfurt (M)-Höchst
Kaufmann, Hans, Dipl.-Ing., Bayer AG, Krefeld-Uerdingen
Kreiß, Manfred, Dr., Erdöl-Raffinerie Mannheim GmbH, Mannheim
Müller, Herbert, Dipl.-Ing., EC Erdölchemie GmbH, Köln-Worringen
Röck, Helmut, Dr.-Ing., Bayer AG, Leverkusen
Rosier, Siegbert, Dipl.-Ing., Bayer AG, Dormagen
Schmitt, Karlheinz, Dr. rer. nat., Bayer AG, Leverkusen

Vorwort zur dritten Auflage

Die 2. Auflage hat 18 Jahre als Standardwerk des Fachgebiets Meßtechnik, Steuerungstechnik und Regelungstechnik gedient. In der 3. Auflage, die wegen technischer und struktureller Neuerungen notwendig geworden ist, wird im Titel der Begriff „Steuern“ mit aufgenommen und das gesamte Werk in folgende 5 Bände unterteilt:

- Band I Betriebsmeßtechnik I
Messung von Zustandsgrößen, Stoffmengen und Hilfsgrößen
- Band II Betriebsmeßtechnik II
Messung von Stoffeigenschaften und Konzentrationen (Physikalische Analytik)
- Band III Meßwertverarbeitung zur Prozeßführung I
(Analoge und binäre Verfahren)
- Band IV Meßwertverarbeitung zur Prozeßführung II
(Digitale Verfahren)
- Band V Projektieren und Betreiben von Meß-, Steuer- und Regelsystemen

In dem vorliegenden Band IV wird die digitale MSR-Technik, soweit sie über die bitverarbeitenden Systeme der Steuerungstechnik hinausgeht, behandelt. Alle Themen sind gegenüber der zweiten Auflage neu aufgenommen. Damit wird dem Strukturwandel Rechnung getragen, der — als Folge der raschen Entwicklung der Mikroelektronik — Prozeßrechner und digitale Automatisierungssysteme zu Mitteln der MSR-Technik gemacht hat. Der Wandel findet sichtbaren Ausdruck in Prozeß-Leitwarten, die nicht mehr durch eine Vielzahl von Meß- und Regelgeräten, sondern durch einige wenige Bildschirme geprägt sind.

Die Anwendung digitaler Verfahren führt über die Aufgaben der „klassischen“ Regelungs- und Steuerungstechnik hinaus in den Bereich prozeßorientierter Leitaufgaben nach optimalen Strategien, sowie betriebsorientierter, dispositiver und administrativer Leitaufgaben. Diesem Trend sind die Kapitel über Prozeßoptimierung und Produktions-/Betriebsdatenerfassung und -verarbeitung gewidmet.

Es war nicht leicht, den sich rasch wandelnden Fortschritt der digitalen Technik gewissermaßen vorausschauend zu berücksichtigen. Während der Einsatz insbesondere zentral strukturierter Prozeßrechner für Aufgaben des Messens, Steuerns und Regels eher rückläufig ist, kommen dezentrale Prozeßrechner- und Automatisierungssysteme mehr und mehr zur Anwendung. Daher werden neben den noch immer gültigen zentralen Automatisierungskonzepten auch erste Erfahrungen dezentraler Automatisierungskonzepte vorgestellt, die in den Themen über das Lager- und Transportwesen und die Laborautomatisierung ebenfalls anklingen. Einige der Themen sind so neuartig, daß keine Literatur zitiert werden konnte.

Der Zuverlässigkeit digitaler Systeme ist ein eigener Beitrag gewidmet. Wegen ihrer zentraleren Struktur ist ein Ausfall schwerwiegender als der eines einzelnen Gerätes in konventioneller Technik, so daß neuartige Sicherungsverfahren der Fehlererkennung und Fehlerkompensation durch Fehlertoleranz erforderlich werden.

Dr. O. Winkler war bis zu seinem Tod an den herausgeberischen Arbeiten der 3. Auflage maßgeblich beteiligt. Auf ihn gehen viele wertvolle Anregungen zurück. Dr. Th. Ankel, Dr. W. Breuer † und Dr. B. Will haben das Werk nachdrücklich gefördert. Das Sachverzeichnis wurde von Dr. K. Eppler, Dormagen, aufgestellt. Unser besonderer Dank gilt den zahlreichen Fachgenossen aus dem Kreise der NAMUR, die die Beiträge verfaßt haben und während der Vorbereitungszeit mehrfach auf den neuesten Stand bringen mußten.

Dem Verlag danken wir für die gute Zusammenarbeit und die hervorragende Ausstattung des Werkes.

April 1983

J. Hengstenberg
Limburgerhof/Pfalz

K. H. Schmitt
Krefeld

B. Sturm
Görwihl

Vorwort zur ersten Auflage

Für den Betrieb chemischer Anlagen sind genau und zuverlässig arbeitende Meß- und Regeleinrichtungen eine unerläßliche Voraussetzung. So müssen für den Ablauf der Verfahren wichtige Energie- und Massenströme, Zustandsgrößen und Stoffeigenschaften laufend gemessen oder geregelt werden. Solche Messungen sind auch zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit, insbesondere für Ausbeutebestimmungen chemischer Prozesse erforderlich.

In neuerer Zeit ist durch die gesteigerten Anforderungen an Menge und Qualität der chemischen Produkte die Regelung vieler Meßgrößen besonders bedeutungsvoll geworden. Damit werden an die Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit der Meß- und Regeleinrichtungen erhöhte Anforderungen gestellt, weil der Ausfall einer Regelung den gesamten Fabrikationsablauf stören kann. Auch die Zahl der Regelaufgaben ist im Zusammenhang mit Rationalisierungsbestrebungen stark angestiegen. Aus diesen Gründen hat sich der Arbeitsumfang und Verantwortungsbereich der mit der Planung, dem Betrieb und der Wartung von Meß- und Regelanlagen betrauten Physiker und Ingenieure in der chemischen Industrie wesentlich erweitert. Viele Chemiewerke haben daher für dieses Arbeitsgebiet eine eigene Abteilung, die „Betriebskontrolle“, geschaffen.

Die Ausbildungsmöglichkeiten für Meß- und Regeltechniker sind vielfach beschränkt. Es gibt auch nur wenige zusammenfassende Darstellungen, die dem Neuling eine Einarbeitung in die Betriebskontrolltechnik ermöglichen. Dieser Umstand führte zu dem Plan, eine zusammenfassende Darstellung dieses wichtigen Sachgebietes als Gemeinschaftswerk der NAMUR (Normenarbeitsgemeinschaft für Meß- und Regeltechnik in der chemischen Industrie) herauszugeben. Daher ist das vorliegende Werk vorwiegend auf die Verhältnisse in der chemischen Industrie im weitesten Sinne abgestimmt. Die Vielgestaltigkeit des Arbeitsgebietes hat es notwendig gemacht, eine große Anzahl von Mitarbeitern heranzuziehen. Da sich das Werk in erster Linie nicht an den Konstrukteur und Hersteller, sondern an den Benutzer von Meß- und Regelgeräten wendet, wurde besonderer Wert auf die Mitarbeit von Physikern und Ingenieuren gelegt, die eigene Erfahrungen in der Praxis der chemischen Industrie gesammelt haben. Die Herausgeber haben sich bemüht, dem gesamten Werk eine einheitliche Linie zu geben, ohne die Eigenart der Darstellung der einzelnen Mitarbeiter allzusehr einzuschränken. Die Darstellungsweise ist bewußt einfach gehalten, da das NAMUR-Gemeinschaftswerk sowohl als Nachschlagewerk für den Fachmann zur Orientierung in ihm ferner liegenden Sachgebieten, wie auch als Einführungsbuch für den Lernenden gedacht ist.

Allen Verfassern der Einzelbeiträge gebührt unser besonderer Dank, daß sie sich trotz starker beruflicher Beanspruchung zur Mitarbeit an dem Gemeinschaftswerk bereit gefunden haben. Dem Springer-Verlag danken wir für seine großzügige Unterstützung.

März 1957

J. Hengstenberg
Ludwigshafen/Rh.

B. Sturm
Leverkusen

O. Winkler
Marl

Aus dem Vorwort zur zweiten Auflage

Die erste Auflage hat in Fachkreisen einen solchen Anklang gefunden, daß schon 3 Jahre nach ihrem Erscheinen ein unveränderter Neudruck herausgegeben werden mußte, der inzwischen ebenfalls vergriffen ist. Für die nunmehr notwendig gewordene Neuauflage war im Hinblick auf die schnell fortschreitende Entwicklung der Meß- und Regelungstechnik eine gründliche Neubearbeitung erforderlich.

In der vorliegenden 2. Auflage sind alle Kapitel überarbeitet und teilweise neu gefaßt worden. Das Kapitel „Physikalische Analysenverfahren“ wurde durch neue Beiträge über die Gaschromatographie und die Massenspektroskopie ergänzt. Das Kapitel „Regelungs- und Steuerungstechnik“ wurde von Grund auf umgestaltet und in enger Verflechtung von Theorie und Praxis systematisch aufgebaut. Im Hinblick auf die wachsende Bedeutung der Datenerfassungs- und -verarbeitungsmethoden für die Betriebskontrolle erschien es zweckmäßig, das 9. Kapitel „Zur Organisation der Betriebskontrolle“ aufzuteilen; die erweiterten Abschnitte über Erfassung und Auswertung der Meßergebnisse sind jetzt zu einem selbständigen 10. Kapitel zusammengefaßt. Obwohl durch die Neubearbeitung der Umfang des Werkes nicht unwesentlich zugenommen hat, erscheint die 2. Auflage weiterhin als ein Band.

Alle Beiträge der 2. Auflage — auch die neu hinzugekommenen — stammen wiederum von Fachleuten aus dem Mitgliederkreis der NAMUR (Normenarbeitsgemeinschaft für Meß- und Regeltechnik in der chemischen Industrie).

Besonders wichtig schien es uns, eine einheitliche Schreibweise für die in den einzelnen Beiträgen verwendeten Größen und Gleichungen anzustreben. Es wurden daher nach Möglichkeit alle theoretischen und empirischen Gleichungen als Größengleichungen geschrieben und nur in einigen Fällen zugeschnittene Gleichungen als Auswerteformeln angegeben. Die Größendefinitionen entsprechen der Deutschen Norm und den ISO-Empfehlungen R 31. Für die Maßeinheiten wurde das internationale Einheitensystem bevorzugt verwendet. Alle anderen Maßeinheiten völlig zu vermeiden, schien uns nicht empfehlenswert, da einige von ihnen sehr gebräuchlich sind und als anschaulich empfunden werden. Dies trifft insbesondere für die Kräfteinheit k_p und die Druckeinheiten at, Torr und mm WS zu.

November 1963

J. Hengstenberg
Ludwigshafen/Rh.

B. Sturm
Leverkusen

O. Winkler
Marl

Inhaltsverzeichnis

1. Grundlagen der Prozeßrechentechnik	1
Einleitung. Von <i>M. Brombacher</i>	1
1.1. Gerätetechnische Komponenten von Prozeßrechensystemen	2
1.1.1. Aufbau und Arbeitsweise der Prozeßrechner-Zentraleinheit. Von <i>M. Brombacher</i>	2
1.1.2. Aufbau und Arbeitsweise peripherer Einheiten. Von <i>B. Bussmann</i> ..	21
1.1.3. Datenübertragung, Rechnerkopplung. Von <i>B. Bussmann</i>	66
1.2. Programmierung von Prozeßrechnern. Von <i>W. Hofmann</i>	74
1.2.1. Prozeßrechner-Betriebssystem	75
1.2.2. Echtzeit-Programmiersprachen für Prozeßrechner	82
1.2.3. Systemprogramme	98
1.2.4. Programmieretechnik	100
1.2.5. Betreuung des Programmsystems	107
1.2.6. Programmdokumentation	108
2. Allgemeine Gesichtspunkte beim Einsatz von Prozeßrechnern.	
Von <i>K. H. Schmitt, H. Kaufmann</i>	113
2.1. Einleitung	113
2.2. Kriterien, Aufgaben, Strukturen und Kommunikation beim Einsatz von Prozeßrechnern	114
2.2.1. Kriterien für den Einsatz von Prozeßrechnern	115
2.2.2. Aufgaben für Prozeßrechner	116
2.2.3. Strukturen von Prozeßrechensystemen	118
2.2.4. Kopplung Prozeß — Prozeßrechensystem	125
2.2.5. Kommunikationseinrichtungen für Prozeßrechner	127
2.3. Abwicklung von Prozeßrechnerprojekten	132
2.3.1. Das Automatisierungsprojekt	133
2.3.2. Die Phasen des Prozeßrechnerprojektes	135
2.3.3. Die Projektvorbereitung	136
2.3.4. Die Projektdurchführung	139
2.3.5. Die Betriebsphase	145
3. Prozeßüberwachung, Regelung und Steuerung mit Prozeßrechnern	147
Einleitung. Von <i>K. H. Schmitt</i>	147
3.1. Meßwerterfassung. Von <i>K. H. Schmitt</i>	147
3.1.1. Ein- und Ausgangssignale	148
3.1.2. Erfassungsmodi	151
3.2. Meßwertverarbeitung. Von <i>K. H. Schmitt</i>	152
3.2.1. Analogwertverarbeitung	152
3.2.2. Binärwertverarbeitung und Zählerstandserfassung	155
3.3. Die Überwachung von Produktionsanlagen mit Prozeßrechnern Von <i>K. H. Schmitt</i>	158
3.3.1. Erkennen von Störungen	159
3.3.2. Analyse von Störungen	162

3.4. Regelung mit Prozeßrechnern. Von <i>H. Röck</i>	166
3.4.1. Einleitung	166
3.4.2. Grundzüge der digitalen Regelung	168
3.4.3. Grundzüge der experimentellen Modellbildung	172
3.4.4. Digitale Regelalgorithmen	176
3.4.5. Adaptive Regelalgorithmen	191
3.4.6. Adaptive Regelung einer technischen Trocknungsstrecke	197
3.4.7. Mathematischer Anhang	200
3.5. Ablaufsteuerungen mit Prozeßrechnern. Von <i>K. H. Schmitt</i>	208
3.5.1. Kriterien und Methoden für den Rechnerinsatz	208
3.5.2. Beispiel für eine Ablaufsteuerung. Von <i>H. Kaufmann</i>	210
4. Prozeßoptimierung. Von <i>H. Dubil</i>	215
4.1. Aufgabenstellung	215
4.2. Prozeßanalyse und Aufgabenformulierung	217
4.3. Optimierungskonzeptionen für stationäre Prozesse	222
4.3.1. Datenverarbeitende Regelung	222
4.3.2. Optimierung mit Hilfe von Suchverfahren am realen Prozeß	222
4.3.3. Prozeßoptimierung mit Hilfe des Modellverfahrens	224
4.4. Optimierkonzeptionen für dynamische Prozesse	226
4.5. Die Bildung des mathematischen Modells eines Prozesses	227
4.5.1. Modellstruktur und Modellparameter	227
4.5.2. Lineare Regressionsanalyse und Parameterschätzung bei stationären Prozessen	230
4.5.3. Parameterschätzung bei dynamischen Prozessen	234
4.6. Optimiermethoden für stationäre Prozesse	238
4.6.1. Optimum und Optimierverfahren	238
4.6.2. Lineares Programmieren	239
4.6.3. Nichtlineares Programmieren	244
4.6.4. Dynamisches Programmieren	250
4.7. Optimierung dynamischer Prozesse	255
4.7.1. Variationsrechnung und das Maximumprinzip von Pontryagin	255
4.7.2. Methoden zur numerischen Lösung des Optimierungsproblems	260
4.8. Abschließende Bemerkungen	266
5. Produktions-/Betriebsdatenerfassung und -verarbeitung.	
Von <i>M. Brombacher</i>	267
5.1. Einführung	267
5.2. Aufgabenstellung	267
5.3. Programmkonzept	270
5.3.1. Begriffe, Übersicht	270
5.3.2. Rezeptverwaltung	272
5.3.3. Betriebliche Disposition	274
5.3.4. Produktflußverfolgung	282
5.3.5. Stammdatenbeschreibung	292
5.4. Schlußbemerkung	295
6. Zentrale Automatisierungskonzepte zur Prozeßüberwachung und Prozeßführung. Von <i>P. A. Fink</i>	297
6.1. Einführung	297
6.2. Vier Beispiele von ausgeführten zentralen Prozeßsteuerungen	297
6.2.1. Das Automatisierungskonzept einer prozeßrechnergesteuerten Farb- stoff-Fabrik mit Handbackup und zentralisiertem Leitstand	297

6.2.2.	Die Automatisierung einer zweistufigen Batch-Reaktion mit Taktsteuergerät und pneumatischen Analogreglern	308
6.2.3.	Das Kontrollsystem einer rechnergesteuerten Produktionsanlage mit minimalem Backup	315
6.2.4.	Die hierarchische Steuerung und multivariable Prozeßregelung einer Zementfabrik	327
7.	Dezentrale Automatisierungskonzepte zur Prozeßüberwachung und Prozeßführung.	341
7.1.	Einführung. Von <i>M. Brombacher, S. Rosier</i>	341
7.2.	Dezentrale Automatisierungskonzepte mit Prozeßrechnern. Von <i>M. Brombacher</i>	343
7.2.1.	Das hierarchische Zweirechnersystem	343
7.2.2.	Das hierarchische Mehrrechnersystem	349
7.3.	Dezentrale Prozeßautomatisierungssysteme. Von <i>S. Rosier</i>	357
7.3.1.	Einleitung	357
7.3.2.	Automatisierungskonzept: Anforderung und Realisierung	359
7.3.3.	Dezentrale Automatisierungssysteme auf der Basis von dedizierten parametrierbaren Mikrorechnern	363
7.3.4.	Systemauswahl	377
7.3.5.	Anwendungen von dezentralen Automatisierungssystemen	381
8.	Prozeßrechner im Lager- und Transportwesen	387
8.1.	Lagerung und Transport von Stückgütern. Von <i>M. Brombacher</i>	387
8.1.1.	Einführung	387
8.1.2.	Aufgaben des Automatisierungssystems	388
8.1.3.	Anforderungen an den Prozeßrechner	392
8.2.	Flüssigkeiten und Gase. Von <i>M. Kreiß</i>	397
8.2.1.	Wesen und Vorteile des Produkttransportes durch Fernleitungen	397
8.2.2.	Prozeßrechnereinsatz zur Lösung von Projektierungs-, Betriebs- und Sicherheitsaufgaben	402
8.3.	Förderung und Lagerung von Schüttgütern. Von <i>H. E. Müller</i>	409
8.3.1.	Grundprinzipien der pneumatischen Förderung	409
8.3.2.	Aufgaben des Prozeßrechners	410
8.3.3.	Realisierungsaufwand und praktische Erfahrungen	415
8.3.4.	Wirtschaftliche Vorteile des Prozeßrechnereinsatzes	416
9.	Rechner im Labor. Von <i>K. H. Schmitt</i>	417
9.1.	Einleitung	417
9.2.	Kriterien und Aufgaben für den Rechnereinsatz im Labor	418
9.2.1.	Kriterien der Laborrechenteknik	418
9.2.2.	Aufgaben der Laborrechenteknik	419
9.3.	Automatisierung von Geräten mit Geräterechnern	421
9.3.1.	Lösungskonzepte	421
9.3.2.	Anwendungen von Geräterechnern	423
9.4.	Automatisierung von Arbeitsabläufen	426
9.4.1.	Lösungskonzept	426
9.4.2.	Anwendungen der Automatisierung von Arbeitsabläufen	428
9.5.	Automatisierung in Laboratorien	432
9.5.1.	Lösungskonzept	432
9.5.2.	Ablauf einer Analyse in einem automatisierten analytischen Zentrallaboratorium	433

10. Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von digitalen Systemen.	
Von <i>K. H. Schmitt</i>	435
10.1. Begriffe	435
10.2. Maßnahmen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit	438
10.2.1. Konstruktive Maßnahmen zur Verbesserung der Zuverlässigkeit ..	439
10.2.2. Fehlererkennung vor der Inbetriebnahme	441
10.2.3. Verbesserung der Zuverlässigkeit durch fehlertolerante Systeme ...	442
10.2.4. Verbesserung der Verfügbarkeit durch rasche Behebung von Stö- rungen	447
10.3. Die Erfassung von Zuverlässigkeitswerten bei Einsatz digitaler Systeme ..	448
10.4. Einsatz digitaler Systeme für Sicherheitsaufgaben	449
10.4.1. Konstruktive Sicherheitsmaßnahmen	450
10.4.2. Nachweisverfahren der Fehlerfreiheit	451
10.4.3. Sicherheitsbedeutsame Prüfverfahren nach Inbetriebnahme	451
Sachverzeichnis	457

1. Grundlagen der Prozeßrechentchnik

Einleitung

von **M. Brombacher**, Leverkusen

Mit Beginn der 70er Jahre nahm der Einsatz von Prozeßrechnern in der chemischen Industrie stetig zu. Entsprechend den Fortschritten in der Entwicklung der Hardwaretechnologie hätte man allerdings eine höhere Zuwachsrates erwarten können, als sie sich tatsächlich eingestellt hat; der große Prozeßrechnerboom ist ausgeblieben. Für diese Entwicklung lassen sich mehrere Gründe anführen: Viele Projekte haben — zumindest nicht rechtzeitig — den Erfolg gebracht, den der Anwender erwartet hat; die Entwicklung der Mikroelektronik hat zu neuartigen Technologien geführt, die als dezentrale Automatisierungssysteme — zumindest für Aufgaben des Steuerns und Regeln — den Prozeßrechnern Konkurrenz machen; und schließlich hat die wirtschaftliche Entwicklung, die speziell der chemischen Industrie ständig sinkendes Wachstum gebracht hat, manches Prozeßrechner-Projekt verhindert. Die effektive Handhabung des zentralen Prozeßrechners im Betrieb bleibt trotz vieler Verbesserungen nach wie vor den Spezialisten überlassen. Ihr Arbeitsfeld hat sich — im Vergleich zur Pionierzeit — stetig in Richtung Softwaretechnik verschoben.

In den beiden folgenden Kapiteln (1.1 und 1.2) wird versucht, dem mit der Prozeßrechentchnik nicht vertrauten Anwender den Einstieg in dieses Fachgebiet zu vermitteln. Obwohl die Hardware mehr und mehr in den Hintergrund rückt, scheint es doch zweckmäßig, Aufbau und Arbeitsweise eines Rechners im Verbund mit seiner Peripherie kennenzulernen. Dabei wird auf die den Prozeßrechner auszeichnende Peripherie, die Prozeßperipherie, die der Erfassung, Ausgabe und Übertragung der Prozeßsignale dient, besonderer Wert gelegt. Im Bereich der Programmierung zielten alle Bemühungen darauf hin, die Assembler-Sprachebene zu umgehen, indem leistungsfähige Anwenderpakete und Anwendersprachen, mehr oder weniger eingebettet in komfortable Betriebssysteme, geschaffen wurden. Die Vielfalt der heutigen Möglichkeiten bietet dem Anwender Werkzeuge, um die gestiegenen Anforderungen wesentlich besser und schneller zu befriedigen.

1.1. Gerätetechnische Komponenten von Prozeßrechen-systemen

1.1.1. Aufbau und Arbeitsweise der Prozeßrechner-Zentraleinheit¹

Von **M. Brombacher**, Leverkusen

1.1.1.1. Übersicht

Die funktionelle Aufteilung der Zentraleinheit einer Datenverarbeitungsanlage in die drei Glieder:

- Speicherwerk (Zentralspeicher ZSp),
- Zentralprozessor (Rechenwerk und Leit- oder Steuerwerk),
- Ein/Ausgabewerk

hat sich schon bei der Entstehung dieser Technik abgezeichnet und ist bis heute gültig, wenn auch die Zuordnung einzelner Untereinheiten nicht einheitlich definiert wird. Prozeßrechner (PR) unterscheiden sich hierin nicht von kommerziellen oder technisch-wissenschaftlichen Datenverarbeitungsanlagen; die Hauptunterscheidungsmerkmale bezüglich der Hardware liegen in peripheren Komponenten.

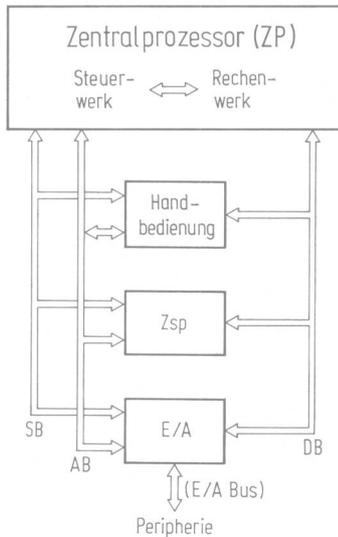


Abb. 1.1. Funktionelle Struktur der Zentraleinheit (von Neumann-Maschine). Nach Pleßmann.
 AB Adressbus; SB Steuerbus; DB Datenbus;
 Zsp Zentralspeicher; E/A Ein-Ausgabewerk;

Abbildung 1.1 gibt einen vereinfachten Überblick über die genannten Funktionsgruppen der Zentraleinheit mit ihren organisatorischen, adress- und datenmäßigen Verflechtungen. Der Informationsaustausch wird in der Regel über Sammel-

¹ Anke, K.; Kaltenecker, H.; Oetker, R.: Prozeßrechner, Wirkungsweise und Einsatz. Oldenbourg 1970. — Lauber, R.: Prozeßautomatisierung I, Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1976. — Syrbe, M.: Messen, Steuern, Regeln mit Prozeßrechnern, Band 1. Akadem. Verlagsgesellschaft Frankfurt 1972. — Pleßmann, K. W.: Einführung in die Mikroprozessortechnologie. VDI-Bildungswerk 1977. — Schöne, A.: Prozessrechnersysteme in der Verfahrensindustrie. München: Hanser 1969.

leitungen (Bus) realisiert, die aus einem Steuer-, Adress- und Datenteil bestehen:

- Der Steuerbus faßt alle Leitungen zur Synchronisierung und Koordinierung des gesamten Datentransfers einschließlich der abzuarbeitenden Bearbeitungsfolgen zusammen (z. B. Taktsignale zur Synchronisation, Unterbrechungssignale, Start/Stop- oder Schreib/Lesesignale, Quittierungen).
- Der Adressbus enthält die Leitungen zur Adressierung der Anschlußmoduln und -geräte.
- Der Datenbus ermöglicht den Austausch von Daten und Befehlen.

1.1.1.2. Zentralspeicher

1.1.1.2.1. Logik

Der Zentralspeicher enthält jeweils die aktuellen Daten und Programme sowie den Teil des Betriebssystems, der zu deren Verwaltung erforderlich ist. Jedes auf einem Externspeicher abgelegte Programm muß in den Zentralspeicher umgeladen werden, ehe es zur Ausführung gelangt. Seine Struktur ist in der Regel Wortorientiert, d. h. die adressierbaren Einheiten bestehen aus mehreren Bits, deren Zahl, abhängig vom Hersteller, unterschiedlich ist. Während viele Fabrikate der ersten Generation mit einer Wortlänge von 24 bit (z. B. Siemens 30X, Ferranti ARGUS 500 oder AEG 60/50) oder in der niedrigeren Leistungsklasse mit 12 bit (AEG 60/10 oder PDP 8 von DEC) ausgestattet waren, läßt sich heute ein deutlicher Trend zu 16-Bit- (z. B. Siemens 3X0, AEG 80 oder Ferranti A 700) oder seltener Byte-Strukturen (z. B. MINCAL 621 von Dietz) feststellen. Ebenso deutlich ist der Trend zu größeren Kapazitäten des Zentralspeichers, da dessen Elemente einem besonders rapiden Preisverfall unterworfen waren und moderne Softwarestrukturen diese Entwicklung geradezu herausforderten. Das Adressvolumen der ersten PR reichte von 8 K bis maximal 64 K (1 K = 1024 Speicherworte); heute sind Speichergrößen von 128 K, 256 K oder mehr gebräuchlich.

Eine 16-Bit-Wortstruktur erlaubt jedoch nur eine physikalische Adressierung bis 64 K; darüber hinaus muß eine Möglichkeit vorgesehen werden, aus der virtuellen Adresse mit Hilfe geeigneter Einrichtungen eine physikalische zu erzeugen. Diese Hardware-Einheiten sind unter der Bezeichnung „Memory Management“ allgemein bekannt und eingeführt.

Als Beispiel soll im folgenden die für die PDP-11/34-Maschine von DEC gewählte Lösung kurz beschrieben werden:

Der logische Adressraum dieses 16-Bit-Rechners ist in 8 Seiten (3 bit) aufgeteilt, die aus 128 Blöcken (7 bit) zu je 32 Wörtern (64 byte \triangleq 6 bit) bestehen. Abbildung 1.2 zeigt die Sequenz zur Ermittlung der physikalischen Adresse aus der

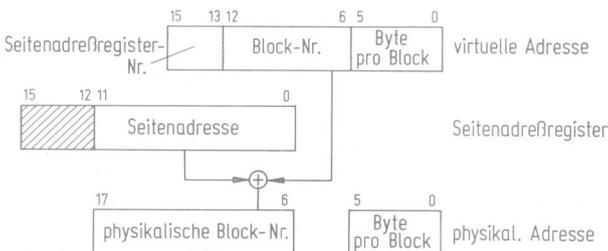


Abb. 1.2. Ermittlung der physikalischen aus der virtuellen Adresse. Nach *Processor Handbook PDP 11/34* von DEC

virtuellen, wie sie im ersten Wort dargestellt ist. Das Seitenregister (3-Bit-Adresse) enthält die Seitenadresse in Form einer physikalischen Blocknummer, die zu der Blocknummer in der virtuellen Adresse hinzuaddiert wird, um die endgültige physikalische Blocknummer zu erhalten. Zusammen mit der Byte-Adresse pro Block (Displacement) bildet diese dann die physikalische Adresse mit 18 bit zur Adressierung von maximal 256 kbyte.

Die angegebene Wortlänge enthält nur die Nutzinformation, die einen Befehl (-steil) oder eine Date darstellt. Die meisten Zentralspeicher verfügen aber zusätzlich noch über eine mehr oder weniger umfangreiche redundante Information, mit deren Hilfe eine Prüfung oder gar Korrektur der Nutzinformation ermöglicht wird. Bei 16-Bit-Strukturen findet man häufig 2 Redundanzbits, die beim Einschreiben des Wortinhalts durch byteorientierte Paritätsbildung eines Wortes erzeugt werden. Beim Auslesen läßt sich durch erneute Paritätsbildung und Vergleich der Ergebnisse eine ungerade Zahl von Bit-Fehlern pro Byte erkennen; sie werden über eine Unterbrechungsmeldung dem Betriebssystem übermittelt. Zur Abwicklung dieser Prozedur ist eine spezielle Hardwareeinheit vorzusehen.

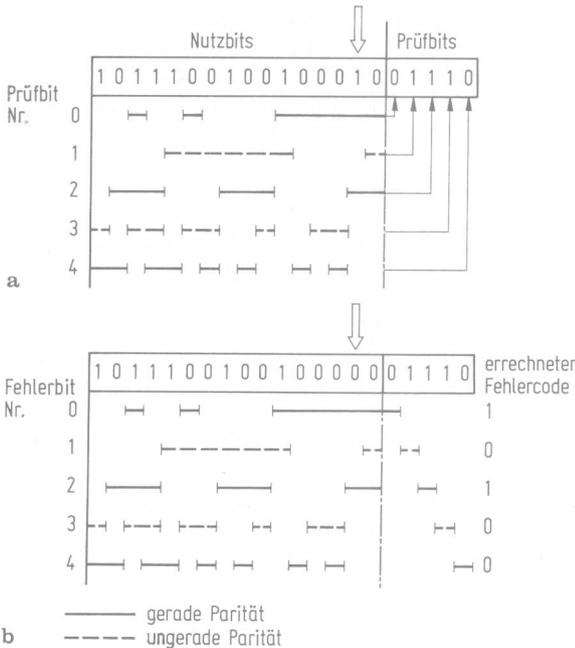


Abb. 1.3a u. b. Verfahren zur Fehlerkorrektur. Nach *Product Note* von Data General. a schreiben eines Wortes, b lesen des obigen Wortes mit Fehler an Position 14 (↓)

Im Zusammenhang mit der Einführung von Halbleiterspeichern, deren Zuverlässigkeit anfänglich im Vergleich mit den Kernspeichern nicht zufriedenstellend war, kam bei einigen Herstellern eine höhere Redundanzstufe zur Realisierung, die die häufigste Fehlerart (1-Bit-Fehler) nicht nur erkennt, sondern auch zu korrigieren erlaubt. Diese Hardwareeinrichtung ist unter der Bezeichnung ERCC (Error Checking and Correcting) verbreitet. Ein Beispiel der Arbeitsweise einer solchen Einheit zeigt Abb. 1.3 (Verfahren von Data General).

Zu jedem 16-Bit-Wort werden beim Einschreiben in den Speicher nach dem dargestellten Verfahren (modifizierter Hamming-Code) 5-Paritätsbits erzeugt und abgespeichert. Beim Lesen erfolgt die Paritätsberechnung unter Einschluß der vorher abgelegten Prüfbits, so daß eine „1“ als Ergebnis einer Prüfung auf einen Fehler im Nutz- oder Prüfwort hinweist. Der so entstehende 5-Bit-Fehlercode erlaubt neben der Erkennung von Mehrbitfehlern eine eindeutige Lokalisierung von 1-Bit-Fehlern und ermöglicht somit deren Korrektur.

Eine weitere Hardwareeinheit, die in leistungsfähigen PR-Zentraleinheiten häufig anzutreffen ist, läßt sich mit dem Begriff „Speicherschutz“ umschreiben. Diese Maßnahme trägt z. B. dazu bei, die Daten- und Programmsicherheit im Vordergrund zu gewährleisten, wenn im Hintergrund Programmentwicklung betrieben wird. Es gibt verschiedene Schutzarten, von denen für PR ausschließlich der Schreibschutz interessiert. Das einfachste Verfahren, Speicherwörter vor unerlaubtem Überschreiben zu schützen, besteht in einem zusätzlichen Wortschutzbit, das per Programm gesetzt und gelöscht werden kann.

Ein nicht zugelassener Schreibbefehl führt zu einer Meldung an das Betriebssystem. Eine andere Methode sieht spezielle Register vor, in denen die Grenzadressen zwischen geschütztem und ungeschütztem Bereich gespeichert sind (Blockschutz). Der hierfür notwendige Hardwareaufwand ist aber beträchtlich, so daß man in der Regel auf Blöcke konstanter Länge (z. B. 1-K-Einheiten) übergeht.

Für den Zugriff zu der im Zentralspeicher abgelegten Wortinformation durch die übrigen Werke der Zentraleinheit zeichnen zwei Register verantwortlich,

- das Adressregister (MA = Memory address),
- das Datenregister (MD = Memory data).

Eine Leseoperation wird ausgeführt, indem der Inhalt der Adresse in MA in das Datenregister MD übertragen wird:

$$((MA)) \rightarrow MD.$$

Die Klammer bezeichnet den Inhalt des Registers.

Eine Schreiboperation ist gleichbedeutend mit einer Übertragung des MD-Inhalts in die Speicherstelle mit der Adresse in MA:

$$(MD) \rightarrow (MA).$$

Zur Charakterisierung der Arbeitsgeschwindigkeit von Zentralspeichern verwendet man üblicherweise zwei Begriffe, wie sie in Abb. 1.4 dargestellt sind: die Zugriffszeit und die Zykluszeit.



Abb. 1.4. Zugriffszeit, Zykluszeit

Die Zugriffszeit ist die Zeit, die von der Anwahl bis zur Übergabe der Information ins Leseregister verstreicht. Wird die gespeicherte Information beim Lesevorgang gelöscht, so muß sie erneut eingeschrieben werden. In diesem Fall stellt die Zykluszeit die maßgebliche Kenngröße dar, da sie den Wiedereinschreibvorgang mit einschließt.