

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Überblick .....	1
1.2	Der Begriff des Analogrechnens .....	2
<b>2</b>	<b>Mechanische Analogrechner</b>	<b>13</b>
2.1	Rechenschieber .....	14
2.2	Planimeter .....	21
2.2.1	Weitere Entwicklungen .....	23
2.3	Mechanische Rechenelemente .....	25
2.3.1	Funktionen einer Veränderlichen .....	26
2.3.2	Funktionen zweier Veränderlicher .....	26
2.3.3	Differentialgetriebe .....	28
2.3.4	Integrierer .....	30
2.4	Gezeitenrechner .....	35
2.5	Harmonische Synthesizer .....	39
2.6	Mechanische Feuerleitrechner .....	41
2.7	Mechanische Differentialanalysatoren .....	44
2.8	Elektromechanische Differentialanalysatoren .....	49
2.9	Spezialrechner .....	53
<b>3</b>	<b>Die ersten elektronischen Analogrechner</b>	<b>55</b>
3.1	Feuerleitrechner .....	55
3.1.1	Der Feuerleitrechner T-10 .....	56
3.1.2	Der Feuerleitrechner T-15 .....	65
3.1.3	Weitere Entwicklungen .....	67
3.2	HELMUT HOELZERS Arbeiten .....	68
3.2.1	Das „Mischgerät“ .....	68
3.2.2	HELMUT HOELZERS Analogrechner .....	82

<b>4</b>	<b>Grundlegende Rechenelemente</b>	<b>91</b>
4.1	Koeffizientenpotentiometer .....	92
4.2	Der idealisierte Operationsverstärker .....	92
4.3	Summierer .....	95
4.3.1	Offene Verstärker .....	97
4.4	Integrierer .....	97
4.4.1	Betriebsarten .....	99
4.4.1.1	Pause .....	100
4.4.1.2	Rechnen .....	101
4.4.1.3	Halt .....	101
4.4.2	Integrierer als Speicher .....	102
4.5	Funktionsgeber .....	103
4.5.1	Die Bildung inverser Funktionen .....	103
4.6	Multiplizierer .....	104
4.6.1	Division und Wurzeln .....	105
4.7	Komparatoren .....	107
4.8	Koordinatenwandler .....	108
4.9	Totzeitglieder .....	109
4.10	Rauschgeneratoren .....	110
4.11	Ausgabegeräte .....	111
4.12	Bedienung des Analogrechners .....	112
4.12.1	Das Programmierfeld .....	112
4.12.2	Betriebsarten .....	114
4.12.2.1	Null .....	115
4.12.2.2	Potentiometereinstellung .....	116
4.12.2.3	Statischer Test .....	117
4.12.2.4	Dynamischer Test .....	118
4.12.2.5	Zeitskalierungstest .....	119
4.12.2.6	Pause .....	119
4.12.2.7	Rechnen .....	120
4.12.2.8	Halt .....	120
4.12.2.9	Rechnen mit Halt .....	120
4.12.2.10	Repetierendes Rechnen .....	121
4.12.2.11	Iterierendes Rechnen .....	121
4.12.3	Zeitgeber .....	121
4.12.4	Durchführen einer Rechnung .....	122
<b>5</b>	<b>Programmierung</b>	<b>125</b>
5.1	Aufstellen von Rechenplänen .....	125
5.1.1	Vollständige Rückführung .....	127

5.1.2	Schrittweise Rückführung .....	129
5.1.3	Partielle Differentialgleichungen .....	132
5.1.3.1	Differenzenquotientenmethode .....	133
5.1.3.2	Trennung der Veränderlichen .....	135
5.1.4	Integralgleichungen .....	140
5.2	Normierung und Zeitskalierung .....	142
5.3	Beispiele .....	145
5.3.1	$y = a \sin(\omega t + \varphi)$ und Gleitfrequenz .....	146
5.3.1.1	Aufstellen des Rechenplans und Normierung .....	146
5.3.1.2	Durchführen der Rechnung .....	147
5.3.1.3	Gleitfrequenz .....	149
5.3.2	Masse-Feder-Dämpfer-System .....	152
5.3.2.1	Aufstellen des Rechenplans .....	153
5.3.2.2	Durchführen einer qualitativen Rechnung .....	155
5.3.2.3	Normierung .....	157
5.3.2.4	Statischer Test .....	158
5.3.3	Räuber/Beute-System .....	159
5.3.3.1	Aufstellen des Rechenplans .....	160
5.3.3.2	Durchführen der Rechnung .....	162
5.3.4	Springender Ball in einer Kiste .....	164
5.3.4.1	Aufstellen des Rechenplans .....	165
5.3.4.2	Durchführen der Rechnung .....	169
5.3.5	Simulation einer Automobilfederung .....	171
5.3.5.1	Aufstellen des Rechenplans .....	172
5.3.5.2	Durchführen der Rechnung .....	173
5.3.6	Projektion rotierender Körper .....	175
5.3.6.1	Aufstellen des Rechenplans .....	175
5.3.6.2	Durchführen der Rechnung .....	179
<b>6</b>	<b>Systembeispiele</b> .....	<b>181</b>
6.1	Telefunken RA 1 .....	181
6.2	EAI 231-R .....	185
6.3	Telefunken RAT 700 .....	189
6.4	Telefunken RA 800 und RA 800H .....	194
6.5	EAI TR-10 .....	197
6.6	Telefunken RA 770 .....	201
6.7	Telefunken RA 742 .....	203
6.8	Dornier DO-80 .....	205
<b>7</b>	<b>Hybridrechner</b> .....	<b>209</b>
7.1	Systeme .....	209
7.2	Programmierung hybrider Rechanlagen .....	217

<b>8</b>	<b>Digitale Differentialanalysatoren</b>	<b>221</b>
8.1	Grundlegende Rechenelemente .....	222
8.1.1	Integrierer .....	222
8.1.2	Servo .....	226
8.1.3	Summierer .....	229
8.2	Rechenbeispiele .....	229
8.3	Schwierigkeiten .....	232
8.4	Beispielimplementationen .....	233
8.4.1	MADDIDA .....	234
8.4.2	Bendix D-12 .....	235
8.4.3	TRICE .....	242
<b>9</b>	<b>Simulation von Analogrechnern</b>	<b>245</b>
9.1	Grundlagen .....	245
9.2	CSMP .....	249
9.3	Weitere Verfahren .....	253
9.4	Spezifische Probleme .....	256
<b>10</b>	<b>Anwendungsgebiete</b>	<b>259</b>
10.1	Mathematik .....	259
10.1.1	Differentialgleichungen .....	259
10.1.1.1	Lineare gewöhnliche Differentialgleichungen .....	260
10.1.1.2	Nichtlineare Differentialgleichungen .....	261
10.1.1.3	Randwertprobleme .....	261
10.1.1.4	Partielle Differentialgleichungen .....	262
10.1.2	Integrale und Integralgleichungen .....	263
10.1.3	Nullstellenbestimmung .....	263
10.1.4	Orthogonalfunktionen .....	264
10.1.5	Konforme Abbildungen .....	265
10.1.5.1	Umströmung eines Joukowski-Profiles .....	266
10.1.6	Lineare Algebra .....	269
10.1.6.1	Lineare Gleichungssysteme .....	271
10.1.6.2	Eigenvektoren und Eigenwerte .....	272
10.1.7	Fouriersynthese und -analyse .....	273
10.1.8	Stochastik und Statistik .....	274
10.1.9	Monte-Carlo-Verfahren .....	275
10.1.10	Optimierungsprobleme .....	275
10.1.11	Mehrdimensionale Darstellungen .....	278
10.2	Physik .....	279
10.2.1	Planetenbahnen .....	279
10.2.2	Teilchenbahnen und Strahloptik .....	280
10.2.3	Optik .....	283

10.2.4	Wärmeleitung und verwandte Fragestellungen.....	283
10.2.5	Halbleiterphysik .....	288
10.2.6	Ferromagnetische Dünnschichten .....	290
10.3	Chemie.....	290
10.3.1	Reaktionskinetik .....	291
10.3.2	Quantenchemie .....	293
10.4	Mechanik und Maschinenbau .....	295
10.4.1	Schwingungen und Vibrationen .....	295
10.4.1.1	Stoßdämpferentwicklung .....	296
10.4.1.2	Erdbebensimulation .....	296
10.4.2	Rotierende Systeme .....	299
10.4.2.1	Lager .....	299
10.4.2.2	Kompressoren .....	300
10.4.2.3	Kurbeltriebe .....	300
10.4.3	Materialwissenschaft .....	301
10.4.3.1	Nicht destruktives Testen .....	301
10.4.3.2	Plastomechanik .....	301
10.4.4	Pneumatik und Hydraulik .....	302
10.4.5	Steuerung von Werkzeugmaschinen .....	306
10.4.6	Servosysteme .....	307
10.5	Kerntechnik .....	308
10.5.1	Forschung .....	308
10.5.2	Training .....	309
10.5.3	Steuerung .....	311
10.6	Biologie und Medizin .....	312
10.6.1	Ökosysteme und Populationsdynamik .....	313
10.6.2	Stoffwechseluntersuchungen .....	314
10.6.3	Kardiovaskulärsysteme .....	315
10.6.4	CO <sub>2</sub> -Regulation .....	317
10.6.5	Pupillenregelung .....	317
10.6.6	Neurophysiologie .....	319
10.6.7	Epidemiologie .....	320
10.6.8	Luft- und Raumfahrtmedizin .....	323
10.6.9	Bewegungsapparate .....	324
10.7	Geologie und Meereskunde .....	324
10.7.1	Bodenschätze.....	325
10.7.2	Seismologie.....	328
10.7.3	Ausbreitung von Schallwellen .....	329
10.8	Wirtschaftswissenschaften .....	330
10.9	Energietechnik .....	333
10.9.1	Generatoren.....	333
10.9.2	Transformatoren .....	334

10.9.3	Wechselrichter und Gleichrichtersysteme .....	334
10.9.4	Übertragungsleitungen .....	336
10.9.5	Elektrische Versorgungsnetze .....	336
10.9.5.1	Netzsimulation .....	336
10.9.5.2	Frequenzsteuerung, Netzsynchronisation und Verbundnetzregelung .....	339
10.9.6	Betrieb von Kraftwerken .....	340
10.10	Elektronik und Nachrichtentechnik .....	341
10.10.1	Schaltungssimulation .....	341
10.10.2	Spektralanalyse, Frequenzgangbestimmung und Resonanzuntersuchungen .....	344
10.10.3	Filterentwurf .....	344
10.10.4	Modulatoren und Demodulatoren .....	345
10.11	Mess-, Steuer- und Regeltechnik .....	346
10.11.1	Datenerfassung und -verarbeitung .....	346
10.11.2	Korrelationsanalyse .....	347
10.11.3	Regelkreise .....	347
10.11.3.1	Servosysteme .....	348
10.11.3.2	Abtastsysteme .....	349
10.11.3.3	Dedizierte Rechner in Regelanwendungen .....	349
10.12	Verfahrenstechnik .....	350
10.12.1	Mischtanks, Wärmetauscher, Verdampfer, Kolonnen .....	353
10.12.2	Prozesssimulation .....	356
10.12.3	Adaptive Regelungen .....	357
10.12.4	Parameterbestimmung und -optimierung .....	357
10.12.4.1	Nichtlineare Regelkreise .....	358
10.13	Verkehrssysteme .....	359
10.13.1	Automobiltechnik .....	359
10.13.1.1	Rundlaufprüfung von Rädern .....	359
10.13.1.2	Federungs- und Stoßdämpfersysteme .....	360
10.13.1.3	Lenksysteme .....	361
10.13.1.4	Getriebeentwicklung .....	362
10.13.1.5	Verkehrsflusssimulation .....	365
10.13.2	Schienenfahrzeuge .....	365
10.13.2.1	Dynamisches Verhalten von Schienenfahrzeugen .....	365
10.13.2.2	Der Ablaufberg .....	367
10.13.2.3	Triebwagensimulation .....	367
10.13.3	Luftkissenfahrzeuge und Magnetschwebbahnen .....	367
10.13.4	Schiffahrtstechnik .....	368
10.13.4.1	Bootsbewegungen und Bootsstabilisation .....	368
10.13.4.2	Antriebstechnik .....	369
10.13.4.3	Schiffssimulatoren .....	369
10.13.4.4	Torpedosimulation .....	370

10.14	Luftfahrttechnik .....	371
10.14.1	Flugtische .....	372
10.14.2	Fahrgestelle .....	374
10.14.3	Fangseilsysteme .....	376
10.14.4	Triebwerksentwicklung .....	377
10.14.5	Hubschrauberrotoren .....	377
10.14.6	Flugleitsysteme .....	378
10.14.7	Flugsimulation .....	378
10.14.7.1	Bilderzeugung .....	391
10.14.8	In-flight-Simulationen .....	393
10.15	Raketentechnik .....	396
10.15.1	Raketentriebwerke .....	396
10.15.2	Flugverhalten .....	398
10.15.3	Raketensteuerung .....	399
10.15.3.1	Nike .....	399
10.15.3.2	Polaris .....	403
10.16	Raumfahrttechnik .....	405
10.16.1	Trägerraketen und Startfenster .....	406
10.16.2	Umlaufbahnberechnungen und Steuermanöver .....	407
10.16.3	Rendezvousmanöver .....	410
10.16.4	Mercury, Gemini und Apollo .....	412
10.17	Militärische Anwendungen .....	415
10.18	Ausbildung und Lehre .....	416
10.19	Kunst, Musik und Unterhaltung .....	417
10.19.1	Kunst .....	417
10.19.2	Musik .....	421
10.19.3	Unterhaltung .....	422
10.20	Analogrechenzentren .....	425
<b>11</b>	<b>Zukunft und Chancen</b> .....	<b>429</b>
11.1	Niedergang des Analogrechnens .....	429
11.2	Zukunft des Analogrechnens .....	432
<b>Literaturverzeichnis</b> .....		<b>437</b>
<b>Index</b> .....		<b>475</b>