

# **Elektrische Energie elektronisch gemessen**

*Meßgerätetechnik · Prüfmittel · Anwendungen*

*Dr.-Ing. Martin Kahmann (Hrsg.)*

**vde-verlag gmbh** · Berlin · Offenbach



# Inhalt

<b>1</b>	<b>Hintergrundwissen zum Thema „Elektronische Elektrizitätszähler“</b>	<b>19</b>
1.1	Elektrizitätsmessung und Gesetzliches Meßwesen ( <i>N. Otto, M. Kahmann</i> )	19
1.1.1	Meßbare Güter	19
1.1.2	Mitwirkende	20
1.1.2.1	Verbraucher, Versorgungspartner, Energiekunden, Stromkunden	20
1.1.2.2	Energieversorgungsunternehmen (EVU)	20
1.1.2.3	Hersteller	21
1.1.2.4	Staatlich anerkannte Prüfstellen für Meßgeräte für Elektrizität	21
1.1.2.5	Eichaufsichts- bzw. Eichbehörden	21
1.1.2.6	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)	22
1.1.2.7	Vollversammlung für das Eichwesen	22
1.1.3	Regelwerk	22
1.1.3.1	Eichgesetz	23
1.1.3.2	Eichordnung, Allgemeine Vorschriften	25
1.1.3.3	Anlage 20 zur Eichordnung	29
1.1.3.4	PTB-Anforderungen	29
1.1.3.5	Eichanweisung – PTB-Prüfregeln – Technische Richtlinien	30
1.1.4	Schlußbemerkung	30
1.1.5	Literatur	30
1.2	Entwicklung von elektronischer Energiemeßtechnik in der DDR ( <i>P. Renner, R. Raatz</i> )	31
1.3	Zuverlässigkeit elektronischer Energiemessung ( <i>J. Glimm</i> )	36
1.3.1	Einleitung	36
1.3.2	Systematik der Begriffe	37
1.3.2.1	Zuverlässigkeitstechnische Begriffe	38
1.3.2.2	Einige Begriffe aus dem Gesetzlichen Meßwesen	39
1.3.3	Anwendungsklassen für Meßgeräte im Gesetzlichen Meßwesen	41
1.3.4	Messungen elektrischer Energie sind nicht unterbrechbar	42
1.3.5	Verfügbarkeit: Zuverlässigkeitskenngröße für Meßstellen mit statischen Zählern	43
1.3.6	Zusammenhang zwischen Systemzuverlässigkeit, Systemverfügbarkeit und Instandhaltung	45
1.3.7	Rolle der Gültigkeitsdauer der Beglaubigung bzw. Eichung	48
1.3.8	Einige Schlußfolgerungen und Konsequenzen	49
1.3.9	Zusammenfassung	50
1.3.10	Literatur	50

<b>2</b>	<b>Konstruktiver Aufbau elektronischer Elektrizitätszähler .....</b>	<b>53</b>
2.1	Netzteiltechnik, Netzschutz ( <i>G. Steinmüller</i> ) .....	53
2.1.1	Einleitung .....	53
2.1.2	Schaltungstechnik .....	53
2.1.2.1	Kondensatornetzteil .....	53
2.1.2.2	Transformatornetzteile .....	55
2.1.2.3	Getaktete Netzteile .....	55
2.1.3	Ausführungsbeispiel .....	55
2.1.4	Schlußbemerkung .....	55
2.2	„Kalt“ multiplizierende Schaltungen in Elektrizitätszählern ( <i>M. Kahmann</i> ) .....	58
2.2.1	Einleitung .....	58
2.2.2	Allgemeines zu Multiplizierschaltungen .....	58
2.2.3	Standard-Multiplizierer-IC .....	59
2.2.4	Steilheits- oder Transkonduktanzmultiplizierer .....	60
2.2.5	Zwei-Parabel-Multiplizierer .....	62
2.2.6	Modulative Multiplizierer .....	63
2.2.6.1	Analogschalter als Multiplizierer .....	63
2.2.6.1.1	Grundsätzliches .....	63
2.2.6.1.2	Impulshöhen/Impulsbreiten-, Mark-Space- oder Time-Division-Multiplikation (TDM) .....	64
2.2.6.1.3	Verwandte Konzepte .....	66
2.2.6.2	Digitale Gatter als Multiplizierer .....	67
2.2.7	Exkurs und Schluß .....	69
2.2.8	Literatur .....	70
2.3	Meßwerterfassung und digitale Verarbeitung ( <i>J. G. Herrmann, R. Moesch</i> ) .....	71
2.3.1	Abtastung .....	72
2.3.2	Meßschaltung .....	77
2.3.3	Fehlerkorrektur und Selbstkalibrierung .....	81
2.3.4	Schlußbemerkung .....	87
2.3.5	Literatur .....	87
2.4	Techniken nichtflüchtiger Datenspeicherung und Anzeige ( <i>O. Lang, D. Ebel</i> ) .....	87
2.4.1	Rollenzählwerk .....	87
2.4.2	Vollelektronische Zählwerke .....	89
2.4.2.1	Zur Anforderung „Nichtflüchtigkeit der Zählwerksdaten“ .....	90
2.4.2.2	Zur Forderung „Maßnahmen zum Datenerhalt bei Fehlfunktion des Systems“ .....	92
2.4.2.2.1	Erkennung von Datenfehlern .....	93
2.4.2.2.2	Korrektur von Datenfehlern .....	93
2.4.2.2.3	Redundante Datenspeicherung .....	94
2.4.2.2.4	Erkennung von Programmablauf-Fehlern .....	94

2.4.2.3	Zur Forderung „Datenanzeige“ .....	95
2.4.2.4	Zur Forderung „Parametrierbarkeit“ .....	97
2.4.3	Schlußbemerkung .....	97
2.5	Transformatorisch wirkende Meßumformer für elektronische Elektrizitätszähler ( <i>M. Kahmann</i> ) .....	98
2.5.1	Einführung .....	98
2.5.2	Wandler für Zähler mit besonders hoher Genauigkeit .....	98
2.5.2.1	Frequenzgangkorrektur .....	99
2.5.2.2	Negativer Widerstand .....	100
2.5.2.3	Fehlerkompensierter Einkernwandler nach Boyajian .....	100
2.5.2.4	Fehlerkompensierter Zweikernwandler nach Boyajian .....	101
2.5.2.5	Weitere Arten fehlerkompensierter Wandler .....	102
2.5.3	Wandler für Zähler zum direkten Anschluß („Haushaltszähler“) ..	103
2.5.3.1	Nebenschluß .....	104
2.5.3.2	Gegeninduktivitäten .....	105
2.5.4	Schlußbemerkung .....	105
2.5.5	Literatur .....	106
2.6	Stromsensor-Lösung des ersten in Deutschland zugelassenen elektronischen Haushaltszählers ( <i>G. Steinmüller</i> ) ...	107
2.6.1	Vorwort .....	107
2.6.2	Strom-Spannung-Umformer .....	107
2.6.3	Literatur .....	109
2.7	Eisenlose Stromwandler als Basis der Elektrizitätsmessung ( <i>H. Ratzenhofer</i> ) .....	109
2.7.1	Einführung .....	109
2.7.2	Österreichische Lösung und andere Vorschläge zur potentialfreien Stromstärkemessung .....	110
2.8	Hall-Sensoren – eine Einführung ( <i>R. H. Profos, R. F. Hausegger</i> )	113
2.8.1	Hall-Effekt .....	113
2.8.2	Hall-Sensor im Vergleich mit anderen bekannten Meßverfahren für elektronische Zähler .....	115
2.8.2.1	Meßdynamikbereich .....	115
2.8.2.2	Verhalten bei Oberschwingungen und Gleichstrom, Spannungsspitzen, HF .....	116
2.8.2.3	Langzeitstabilität und Temperaturverhalten .....	116
2.8.2.4	Schlußbemerkung .....	117
2.8.3	Literatur .....	117
2.9	Einchip-Elektrizitätszähler auf der Basis des integrierten Hall-Sensors ( <i>M. Rozman, S. Žlebir</i> ) .....	117
2.9.1	Einleitung .....	117
2.9.2	Integrierter Hall-Sensor .....	118
2.9.3	Speiseeinheit für den Multiplizierer mit dem Hall-Sensor .....	123

2.9.4	A/D-Wandler auf der Basis eines chopper-stabilisierten Sigma-Delta-Modulators .....	124
2.9.5	Temperaturkompensation .....	126
2.9.6	Dreiphasiges System .....	127
2.9.7	Beschreibung der integrierten Schaltung .....	129
2.9.8	Schlußbemerkung .....	130
2.10	Hall-Sensoren in einem diskret aufgebauten Leistung-Frequenz-Wandler ( <i>N. Malek, D. Ebel</i> ) .....	130
2.10.1	Einleitung .....	130
2.10.2	Hall-Sensoren als multiplizierende Meßwertaufnehmer .....	131
2.10.3	Focus-Field-Prinzip .....	132
2.10.4	Innere Fehlergrößen .....	133
2.10.5	Korrektur von Fehlergrößen .....	134
2.10.6	Applikationsbeispiel eines elektronisch wirkenden Leistung-Frequenz-Wandlers .....	136
2.10.7	Schlußbemerkung .....	138
2.10.8	Literatur .....	138
2.11	Eisenarmer Sensor auf der Basis des „Vertical Hall Element“ ( <i>R. H. Profos, R. F. Hausegger</i> ) .....	138
2.11.1	„Vertical Hall Element“ .....	138
2.11.2	„VH“-Chip und sein Magnetkreis .....	141
2.11.3	Signalverarbeitung .....	142
2.11.4	Mechanischer Aufbau des Direct Field Sensors (DFS) .....	143
2.11.5	Heutiger technischer Stand des DFS und erreichte Ergebnisse .....	143
2.11.6	Anwendung des „Vertical Hall Element“ bzw. des „Direct Field Sensor“ .....	145
2.11.7	Technischer Ausblick .....	146
2.12	Auslegung eines Shunts für elektronische Wechselstromzähler ( <i>G. Bach</i> ) .....	147
2.12.1	Theoretische Gesichtspunkte .....	147
2.12.2	Praktische Gesichtspunkte .....	148
2.12.3	Auswahl des Materials .....	149
2.12.4	Meßwerte .....	150
2.12.5	Geometrie des Shunts .....	151
2.12.6	Stromdichte- und Temperaturverteilung im Shunt .....	152
2.12.7	Optimierungsaufgaben .....	153
2.12.8	Literatur .....	154
2.13	Soft- und Hardware-Modularität – richtungsweisendes Konzept für die zukunftsorientierte Energiemessung ( <i>P. Rusconi</i> ) .....	154
2.13.1	Einführung .....	154
2.13.2	Produktekonzept .....	155
2.13.3	Schlußbemerkung .....	156

<b>3</b>	<b>Prüfmittel und ihre Anwendung</b> .....	159
3.1	Verlustarme Leistungsquellen mit getakteten Verstärkern ( <i>G. Schneider, D. Ebel</i> ) .....	159
3.1.1	Einleitung .....	159
3.1.2	Funktionsprinzip des getakteten Verstärkers .....	159
3.1.3	Einsatz getakteter Verstärker in Präzisionsquellen .....	164
3.1.3.1	Anforderungen an die Qualität des Ausgangssignals .....	164
3.1.3.2	Aufbau eines getakteten Verstärkers .....	164
3.1.3.2.1	Modulator .....	165
3.1.3.2.2	Endstufe mit Potentialtrennung und Treiber .....	166
3.1.3.2.3	Filter .....	167
3.1.3.2.4	Freilauf- und Kommutierungsprobleme .....	168
3.1.3.2.5	Auskopplung und Anpassung der Ausgangsgröße .....	169
3.1.3.3	Regelung .....	170
3.1.3.3.1	Effektivwertregelung .....	170
3.1.3.3.2	Phasenregelung .....	171
3.1.3.4	Gesamtschaltung einer getakteten Quelle .....	173
3.1.3.5	Schlußbemerkung .....	173
3.2	Technik synthetischer Prüfsignalerzeugung ( <i>F. Mikloweit</i> ) .....	174
3.2.1	Erzeugung eines Basissignals .....	174
3.2.2	Periodische Zusatzsignale .....	178
3.2.2.1	Phasenanschnitt .....	178
3.2.2.2	Oberschwingungen .....	178
3.2.2.3	DC-Anteile .....	180
3.2.3	Asynchrone Zusatzsignale .....	180
3.2.3.1	Signalsequenzen .....	181
3.2.4	Auf- und Abschalten der Prüfgrößen .....	183
3.2.5	Digitaler Regelkreis .....	184
3.2.6	Signalübertragung und Leistungsteil .....	185
3.2.7	Zusammenfassung .....	186
3.3	Schrader und andere – Zur Messung der elektrischen Energie und Leistung mit Thermoumformern ( <i>M. Kahmann</i> ) .....	187
3.3.1	Einleitung .....	187
3.3.2	Thermoumformer .....	187
3.3.2.1	Wirkungsprinzip klassischer Thermoumformer .....	188
3.3.2.1.1	Klassische Thermoumformer mit aktiven Temperatursensoren ...	188
3.3.2.1.2	Klassische Thermoumformer mit passiven Temperatursensoren ..	189
3.3.2.2	Nichtklassische Thermoumformer .....	190
3.3.3	Echttreffektivwertmessung und Gleichstrom-Wechselstrom- Transfer .....	191
3.3.4	Leistung-Frequenz-Wandler auf thermischer Grundlage .....	193
3.3.5	Aktivitäten am Institut Berlin der PTB .....	197

3.3.5.1	Normal-Meßeinrichtung .....	197
3.3.5.2	Komparator .....	199
3.3.6	Und sonst? .....	200
3.3.7	Schlußbemerkung .....	201
3.3.8	Literatur .....	202
3.4	Thermischer Leistungskomparator ( <i>O. Rättsch</i> ) .....	203
3.4.1	Einführung .....	203
3.4.2	Waagen-Analogon .....	204
3.4.2.1	Stufe 1: Passives thermisches Wattmeter .....	205
3.4.2.2	Stufe 2: Schraders Leistung-Frequenz-Wandler auf thermischer Grundlage .....	206
3.4.2.3	Stufe 3: AC/DC-Transfer-Prinzip .....	208
3.4.3	Berliner Lösung .....	209
3.4.3.1	AC/DC-Transfereinheit .....	209
3.4.3.2	Anpaß-Stufen .....	210
3.4.3.3	Frequenzanaloge und digitale Baugruppen .....	211
3.4.3.4	Anwendungen, Spezifikationen, Betriebserfahrungen .....	211
3.4.4	Schlußbemerkung .....	212
3.4.5	Literatur .....	212
3.5	Leistungskomparatoren nach dem digitalen Prinzip ( <i>U. Putensen-Manthey, D. Ebel</i> ) .....	213
3.5.1	Entwicklung der digitalen Komparatoren .....	213
3.5.2	Funktionsprinzip des digitalen Komparators .....	214
3.5.2.1	Umwandlung der analogen Größen .....	214
3.5.2.2	Anbindung des Analogteils eines Komparators mit transformatorischen Wandlern an Analog-Digital-Wandler .....	215
3.5.2.3	Arbeitsweise des Analog-Digital-Wandler-Teils .....	215
3.5.2.4	Realisierung der Rechenoperationen .....	216
3.5.3	Überprüfbarkeit mit dem Normalelement und Überprüfung der internen Zeitbasis .....	216
3.5.3.1	Theoretische Überlegungen zum Normalelement-Test .....	216
3.5.3.2	Eine Möglichkeit zur praktischen Realisierung des Normalelement-Tests .....	217
3.5.3.3	Test der internen Zeitbasis .....	219
3.5.4	Bedienung und Menüführung .....	219
3.5.5	Anwendungsmöglichkeiten .....	220
3.5.5.1	Manuelle Ermittlung des Meßfehlers eines Prüfzählers .....	220
3.5.5.2	Automatische Erstellung von Meßfehler-Korrekturtabellen .....	220
3.5.6	Schlußbemerkung .....	220
3.6	Digital und analog arbeitende Prüfzähler im Vergleich ( <i>P. Scheew, U. Putensen-Manthey, D. Ebel</i> ) .....	221
3.6.1	Entwicklung elektronischer Prüfzähler .....	221
3.6.2	Nach analogen Verfahren arbeitende Prüfzähler .....	221

3.6.3	Prüfzähler nach dem digitalen Prinzip .....	225
3.6.3.1	Entwicklung der digitalen Prüfzähler .....	225
3.6.3.2	Erzeugung einer leistungsproportionalen Ausgangsfrequenz .....	226
3.6.3.3	Digitaler Konsens .....	227
3.6.4	Schlußbemerkung .....	227
3.6.5	Literatur .....	227
3.7	Digitale Prüfzähler als integraler Bestandteil geregelter Zählerprüfstationen ( <i>F. Mikloweit</i> ) .....	228
3.7.1	Wandel der Aufgabenstellung des Prüfzählers .....	228
3.7.2	Anforderungen und Ausführung bisheriger Prüfzähler .....	229
3.7.2.1	Gleichlastprüfzähler .....	229
3.7.2.2	Großbereichsprüfzähler .....	230
3.7.3	Prüfzähler und Prüfgrößenregelung .....	230
3.7.4	Konzept „Digitaler Prüfzähler“ .....	232
3.7.4.1	Meßwerterfassung .....	232
3.7.4.2	Analog-Digital-Umsetzung .....	233
3.7.4.3	Digitale Signalverarbeitung .....	233
3.7.4.4	Meßwertkorrektur und Genauigkeitsverbesserung .....	236
3.7.4.5	Meßwertausgabe und Meßwertanzeige .....	236
3.7.5	Zusammenfassung .....	237
3.8	Typische Parameter digitaler Multifunktions-Prüfzähler ( <i>A. Röthlin</i> ) .....	237
3.8.1	Übersicht .....	237
3.8.2	Merkmale des Multifunktions-Prüfzählers .....	238
3.8.3	Merkmale des Meßsystems mit digitaler Signalverarbeitung .....	238
3.8.4	Vorzüge des digitalen Prinzips .....	238
3.8.5	Digitale Signalverarbeitung bei einem Multifunktions-Prüfzähler .....	239
3.8.6	Aufbau und Funktionsbeschreibung des Prüfzählers .....	240
3.8.7	Meßprinzip .....	243
3.8.8	Schlußbemerkung .....	244
3.9	Vorgehen bei der Prüfung von Meßgeräten mit Tarif- Funktionen ( <i>D. Reischböck</i> ) .....	244
3.9.1	Einführung .....	244
3.9.2	Sinn und Aufgabe der Prüfung .....	245
3.9.3	Fehlerbetrachtungen .....	246
3.9.4	Aufbau der Geräte .....	247
3.9.5	Prüfverfahren .....	248
3.9.6	Beispiel 1: Prüfung von Hybridzählern mit LZ-96-Tarif- Funktion nach DIN 43 863 Teil 2 Entwurf .....	250
3.9.7	Beispiel 2: Prüfen von externen Tarifgeräten für 1/4-h-Maxima nach DIN 43 863 Teil 1 .....	253
3.9.8	Vollelektronischer Zähler mit integriertem Tarifgerät .....	256
3.9.9	Weitere Prüfungen .....	257



3.9.10	Abspeichern der Daten .....	257
3.9.11	Schlußbemerkung .....	258
3.9.12	Literatur .....	258
3.10	Prüfung von Zählern mit eingebauten komplexen Tarifgeräten ( <i>M. Rüeegger</i> ) .....	258
3.10.1	Einleitung .....	258
3.10.2	Technische Anforderungen an eine zeitgerechte Speisestation .....	260
3.10.3	Praktische Lösungsansätze .....	261
3.10.3.1	Basisfunktionen .....	262
3.10.3.2	Funktionsbeschreibung .....	262
3.10.3.2.1	Daten-Computer .....	262
3.10.3.2.2	Zentraler Steuer-Computer .....	265
3.10.3.2.3	Leistungseinheiten .....	266
3.10.3.2.4	Meßschaltungen der Station .....	268
3.10.3.2.5	Fehlerrechner- und Auswertesystem .....	268
3.10.3.2.6	Tarifgeräte-Auslesemodul .....	269
3.10.3.2.7	Kommunikationsdefinition .....	271
3.10.3.2.8	Datensatz-Definition .....	272
3.10.3.2.9	Rundsteuer-Signale .....	272
3.10.4	Zukunft .....	274
<b>4</b>	<b>Spezielle Probleme</b> .....	<b>275</b>
4.1	Schaltungen zur Phasenverschiebung bei der Blindverbrauchmessung ( <i>M. Kahmann</i> ) .....	275
4.1.1	Einführung .....	275
4.1.2	Sonderfall Kunstschaltung .....	276
4.1.3	Natürliche Schaltungen .....	278
4.1.3.1	Prinzip 1: Lineare, unregelte Filter .....	278
4.1.3.2	Prinzip 2: Geregelte Filter .....	284
4.1.3.3	Nutzung diskreter Signale .....	286
4.1.4	Schlußbemerkung .....	288
4.1.5	Literatur .....	289
4.2	Größen der elektrischen Energie- und Leistungsmessung, dargestellt auf der Grundlage der Vier-Quadrant-Messung ( <i>K. Roßwog</i> ) .....	290
4.2.1	Einführung .....	290
4.2.2	Vorzeichenregeln für Ströme und Spannungen in elektrischen Netzen .....	292
4.2.3	Leistung in Wechselstromsystemen .....	293
4.2.3.1	Definition der Begriffe „Wirk“, „Blind“, „Bezug“, „Lieferung“, „induktiv“ und „kapazitiv“ .....	294
4.2.3.2	Leistungskreise im VZS .....	298

4.2.3.2.1	Leistungskreis nach DIN 410/03.68 .....	298
4.2.3.2.2	Leistungskreis nach der Europäischen Norm EN 60 387 .....	299
4.2.3.2.3	Zusammenhang zwischen Winkelfunktionen und Leistungsfaktoren am Beispiel des LK 1 .....	299
4.2.4	Meßeinrichtungen für die Mehr-Quadrant-Messung .....	304
4.2.5	Schlußbemerkung .....	307
4.2.6	Literatur .....	307
4.3	Fernzähltechnik mit elektronischen Präzisionszählern ( <i>H. Seeger</i> )	307
4.3.1	Einleitung: Anwendungsgebiet und Aufgaben der Fernzählung ...	307
4.3.2	Messen der elektrischen Energie mit elektronischen Präzisionszählern .....	309
4.3.3	Abrechnungs- und Vergleichs-Zähler und Vergleichs- Fernzählgeräte .....	310
4.3.4	Zählimpuls-Technik und Richtlinien für Impuls-Fernzählung .....	311
4.3.4.1	Impulsarten und Impulsüberprüfung .....	311
4.3.4.2	Impulsfrequenz, Wahl der Impulswerte .....	311
4.3.4.3	Zahlengleichheit von parallel betriebenen Fernzählgeräten und Fernzählssystemen .....	312
4.3.4.4	Anzeigeformat, Auflösungsvermögen und Durchlaufzeit (Kapazität) von Zählregistern .....	313
4.3.5	Vor-Ort-Verarbeitung von Zählimpulsen und Fernzähldaten .....	313
4.3.5.1	Summen- und Summendifferenzmessungen mit Zählimpulstechnik .....	313
4.3.5.2	Impulswert-Anpassung und Quantisierung für Zahlengleichheit ..	314
4.3.5.2.1	Impulswert-Anpassung in elektronischen Fernzählgeräten .....	314
4.3.5.2.2	Quantisierung von Resultaten für Zahlengleichheit .....	315
4.3.5.3	Fiktive Zähler: Typische Anwendungsbeispiele für Summen- und Summendifferenzen .....	315
4.3.5.4	Zählen und Kumulieren, Energieregister, Energievorschubregister	317
4.3.5.5	Überblick über die Funktionen eines „Universellen Fernzählgeräts“ .....	317
4.3.6	Speichern und Weitergabe von Fernzähldaten; Anschluß an Systeme .....	317
4.3.7	Zentrale Verarbeitung von Fernzähldaten in (Fernzähl-) Systemen .....	318
4.3.8	Beispiele für Zusatzfunktionen: Leistungsmessung, Scheinenergie, Verluste usw. ....	319
4.3.8.1	Leistungsmessung mit Impulsfrequenz-/Gleichstrom- Meßumformern .....	319
4.3.8.2	Scheinenergie-Berechnung VAh aus Wh- und varh-Impulsen .....	320
4.3.8.3	Leerlauf- und Last-Verlust-Berechnungen mit Fernzählgeräten ...	321
4.3.9	Original-Zählwertübertragung mit Zähler-Zahlenschnittstellen ...	321

4.3.9.1	Zusammenfassung „Vor-Ort-Zählimpulstechnik und Fernzähl-Systeme“ .....	321
4.3.9.2	Original-Zählerstand-Fernübertragung mit Zählregister-Kommunikation .....	322
4.3.10	Literatur .....	324
4.4	Kommunizierende Zähler – ein neuer Weg ( <i>J. G. Herrmann</i> ) .....	324
4.4.1	Zählerablesung heute .....	324
4.4.2	Von der automatischen Auslesung zur lokalen Fernablesung .....	325
4.4.3	Neue Anforderungen .....	326
4.4.4	EURIDIS-Konzept .....	327
4.4.5	Einzelssystem im Einfamilienhaus .....	328
4.4.6	Datensicherheit .....	329
4.4.7	Anforderungen an einen Hausbus .....	330
4.4.8	EURIDIS-Bus .....	332
4.4.9	Weiterführende Systeme .....	335
4.4.10	Literatur .....	337
4.5	Redundanzkonzepte für Geräte zur elektronischen Energiemessung ( <i>J. Glimm</i> ) .....	337
4.5.1	Einleitung .....	337
4.5.2	Formen der Redundanz .....	338
4.5.2.1	Funktionsbeteiligte Redundanz .....	339
4.5.2.2	Nicht funktionsbeteiligte Redundanz .....	343
4.5.3	Ausfallerkennung .....	343
4.5.4	Zusammenfassung .....	347
4.5.5	Literatur .....	347
<b>5</b>	<b>Tarifgeräte</b> .....	<b>349</b>
5.1	Rundsteuertechnik ( <i>J. Dobberstein</i> ) .....	349
5.1.1	Einleitung .....	349
5.1.2	Grundlagen der Rundsteuertechnik .....	349
5.1.3	Rundsteuersender, Ankopplungsarten und Signalausbreitung im Netz .....	353
5.1.4	Rundsteuerempfänger .....	355
5.1.5	Rundsteuerempfänger als Modul im statischen Zähler .....	358
5.1.6	Betriebsführung .....	358
5.1.7	Ausblick .....	360
5.1.8	Literatur .....	361
5.2	Tarifschaltuhren ( <i>K. Baumann</i> ) .....	361
5.2.1	Literatur .....	370
5.3	Leistungstarife und ihre Erfassung – die Entwicklung der Maximumzähler mit elektronischen Tarifeinrichtungen ( <i>P. Meffert</i> ) .....	370
5.4	LZ 96-Zähler ( <i>E. Blumenthal</i> ) .....	379
5.4.1	Einleitung .....	379

5.4.2	96-h-Tarif (Energiesmessung im Eintarif) .....	380
5.4.3	96-h-Tarif (Energiesmessung im Doppeltarif) .....	381
5.4.4	Aufbau der LZ 96-Zähler .....	382
5.4.4.1	Allgemeine Anforderungen .....	382
5.4.4.2	Hardware .....	383
5.4.4.2.1	Aufbau des Tarifmoduls .....	384
5.4.4.2.2	Netzteil mit Signal-Ein- und Signal-Ausgangs-Baugruppe .....	384
5.4.4.3	Betriebsverhalten .....	385
5.4.4.3.1	Verhalten bei Netzausfall .....	385
5.4.4.3.2	Zeitbasis .....	385
5.4.4.3.3	Tarifsteuerung .....	385
5.4.4.3.4	Rückstellung und Kumulierung .....	385
5.4.4.4	Anzeige der Daten .....	386
5.4.4.4.1	Dauernde Anzeige .....	386
5.4.4.4.2	Datenabruf .....	386
5.4.5	Kennziffernsystem .....	387
5.4.6	Funktionsablauf LZ 96 .....	391
5.4.6.1	Allgemeine Bemerkungen .....	391
5.4.6.2	Funktion der Steuerklemmen und Impulserfassen .....	393
5.4.6.3	Verhalten des Tarifgeräts nach beendeter 1-h-Meßperiode oder Rückstellung .....	393
5.4.6.4	Zusatzroutinen nach Ablauf einer 1-h-Meßperiode .....	394
5.4.6.5	Zusatzroutinen nach Ablauf eines Tages (24 × 1 h) .....	394
5.4.6.6	Funktionen nach Ablauf einer 30-Tage-Periode (30 × 24 h) .....	394
5.4.6.7	Zusatzroutinen nach einer Rückstellung .....	395
5.4.7	Ausführungsformen der in Zählern integrierten LZ 96- Maximumwerke .....	396
5.4.8	Schlußbemerkung .....	398
5.5	Überverbrauch- und Mehrtarifzählung ( <i>W. Weippert</i> ) .....	398
5.5.1	Tarifphilosophische Betrachtungen und grundsätzliche Kriterien .....	398
5.5.2	Tarifgestaltungen und daraus resultierende Anforderungen .....	400
5.5.2.1	Überverbrauchstarif .....	400
5.5.2.2	Mehrtarif .....	402
5.5.3	Technische Realisierung mittels Mikroelektronik .....	404
5.5.3.1	Tarifrechner-Hardware .....	404
5.5.3.2	Basisfunktionalität durch Betriebssoftware .....	406
5.5.3.3	Tarifartbezogene Funktionalität .....	409
5.5.3.3.1	Funktionsablauf bei der Überverbrauchszählung .....	409
5.5.3.3.2	Datenanzeige und Ausgabe bei der Überverbrauchszählung .....	411
5.5.3.3.3	Funktionsablauf bei der Mehrtarifzählung .....	412
5.5.3.3.4	Datenanzeige und Ausgabe bei der Mehrtarifzählung .....	413
5.5.4	Schlußbemerkung .....	415

5.6	Datenschnittstelle D0 für Tarifgeräte ( <i>W. Joachim</i> ) .....	416
5.6.1	Einleitung .....	416
5.6.2	Anwendungen .....	416
5.6.2.1	Mobile Datenauslesung .....	416
5.6.2.2	Datenfernübertragung .....	417
5.6.2.3	Auslösung von Gerätefunktionen .....	417
5.6.2.4	Dateneingabe an der Meßstelle .....	417
5.6.2.5	Geräteparametrierung in der Fertigung .....	418
5.6.2.6	Geräteprüfung .....	418
5.6.3	Eigenschaften der Datenschnittstelle D0 .....	418
5.6.3.1	Allgemeines .....	418
5.6.3.2	Optische Datenschnittstelle .....	419
5.6.3.2.1	Funktion und Aufbau .....	419
5.6.3.2.2	Mechanische Eigenschaften des optischen Auslesekopfes .....	420
5.6.3.2.3	Physikalische Eigenschaften des Auslesekopfes .....	420
5.6.3.2.4	Zeichenübertragung .....	422
5.6.3.2.5	Datenübertragungsprotokoll – Telegrammarten .....	422
5.6.3.2.6	Datendarstellung .....	428
5.6.3.2.7	Kennziffer .....	428
5.6.3.3	Elektrische Schnittstelle CLO .....	430
5.6.3.3.1	Funktion und Aufbau .....	430
5.6.3.3.2	Elektrische Eigenschaften .....	431
5.6.3.3.3	Schaltungsbeispiel .....	431
5.6.4	Spezielle Probleme .....	432
5.6.4.1	Auslesekopf .....	432
5.6.4.2	Abfrageschleife .....	433
5.6.5	Schlußbemerkung .....	433
<b>6</b>	<b>Anwendungen</b> .....	<b>435</b>
6.1	Moderne Stromtarife ( <i>H. Meier</i> ) .....	435
6.1.1	Einführung .....	435
6.1.2	Strompreisbildung .....	435
6.1.3	Stromversorgung und Bereitstellung von Leistung .....	437
6.1.4	Reformen .....	438
6.1.5	96-h-Leistung als neue Bemessungsgröße .....	438
6.1.6	Vorzüge der Leistungsmessung .....	442
6.1.7	Hemmnisse .....	443
6.1.8	Zeitzone-Tarife zum Vergleich .....	443
6.1.9	Varianten der 96-h-Leistungsmessung .....	445
6.1.10	Weiterer Nutzen .....	445
6.1.11	Zukünftige Entwicklung .....	446
6.1.12	Zusammenfassung .....	447

6.1.13	Literatur .....	447
6.2	Saarländisches Modellvorhaben „Zeitvariabler linearer Stromtarif“ (W. Leonhardt) .....	447
6.2.1	Vorwort .....	447
6.2.2	Erste Untersuchungen bereits 1980 .....	448
6.2.3	Saarländisches Modellvorhaben als wissenschaftlich begleiteter Feldversuch .....	450
6.2.4	Zehn Schritte – zwei Untersuchungshypothesen .....	451
6.2.5	Berechnung des Modelltarifs .....	452
6.2.6	Untersuchungsdesign .....	453
6.2.7	Konzeption von SESAM .....	455
6.2.8	Drei unterschiedliche Auswertungsebenen .....	456
6.2.9	Beurteilung durch die Teilnehmer .....	457
6.2.10	Analyse der Stromverbrauchsmeßdaten .....	458
6.2.11	Kostenbelastung für die Verbraucher .....	461
6.2.12	Hochrechnung der Meßdaten auf die Gesamtlast eines EVU .....	462
6.2.13	Übertragbarkeit abhängig vom Lastverlauf .....	462
6.2.14	Wertung des saarländischen Wirtschaftsministeriums .....	463
6.2.15	Zukünftiger Tarif der Saarbrücker Stadtwerke .....	463
6.3	Dynamischer Tarif im Feldversuch (J. Voß, W. Möhring-Hüser, M. Siebers) .....	464
6.3.1	Motivation zum Feldversuch .....	464
6.3.2	Technische Durchführung des Feldversuchs .....	466
6.3.3	Tarifleitsystem .....	467
6.3.4	Elektronischer Impulszähler als Abrechnungs- und Speichermedium .....	468
6.3.5	Zusätzliche Geräteinstallation .....	470
6.3.6	Ergebnisse des Feldversuchs .....	471
6.3.7	Schlußbetrachtung .....	475
6.3.8	Literatur .....	475
6.4	Erfahrungen mit der Einführung des 96-h-Tarifs (J. Aengenheister) .....	476
6.4.1	Einführung .....	476
6.4.2	Höchster Leistungswert (HLW) und Ausnutzungsgrad ( $a$ -Wert) ..	476
6.4.3	Planungs- und Einführungsphase .....	476
6.4.4	Verbraucher-Verhalten .....	479
6.4.5	Schlußbemerkung .....	482
7	<b>Epilog</b> (M. Kahmann) .....	483
7.1	Kritische Schlußbemerkung (W. Sdunzig) .....	483
8	<b>Autoren und ihre Beiträge</b> .....	487
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	491