

# Inhaltsverzeichnis

- 1 Grundlagen der Gebäudeautomation
  - 1.1 Geschichte der Gebäudeautomation ..... 1
  - 1.2 Gebäudeautomation – wichtig wie nie..... 4
  - 1.3 Gebädefunktionalität..... 4
  - 1.4 Die Gebäudeautomation im Mittelpunkt der Systeme..... 5
  - 1.5 Der Lebenszyklus von Gebäuden ..... 6
    - 1.5.1 Lebenszyklen ..... 6
      - 1.5.1.1 Allgemeine Lebenszyklusphasen ..... 7
      - 1.5.1.2 Entstehungsphase ..... 7
      - 1.5.1.3 Nutzungsphase..... 7
      - 1.5.1.4 Verwertungsphase ..... 8
      - 1.5.1.5 Lebenszyklusphasen aus Sicht des Facility-Managements (FM)..... 8
    - 1.5.2 Investitionskosten ..... 8
    - 1.5.3 Betriebskosten ..... 9
    - 1.5.4 Lebenszykluskosten/Life Cycle Costing (LCC) – Optimierungsmöglichkeiten ..... 9
  - 1.6 Gebäudeautomation ..... 11
    - 1.6.1 Gebäudeautomation in DIN 276..... 11
    - 1.6.2 Normungen in der Gebäudeautomation ..... 12
      - 1.6.2.1 Aktuelle Normungen ..... 12
      - 1.6.2.2 Die Zukunft ..... 14
    - 1.6.3 Struktur der Gebäudeautomation ..... 15
      - 1.6.3.1 Struktur der Gebäudeautomation gemäß DIN EN ISO 16484 ..... 15
      - 1.6.3.2 Funktionen der Gebäudeautomation ..... 16
  - 1.7 Raumautomation ..... 19
    - 1.7.1 Grundlagen..... 19
    - 1.7.2 Struktur der Raumautomation ..... 19
      - 1.7.2.1 Segment ..... 19
      - 1.7.2.2 Raum ..... 20

|              |                                                           |           |
|--------------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 1.7.2.3      | Bereich.....                                              | 20        |
| 1.7.2.4      | Gebäude.....                                              | 20        |
| 1.7.2.5      | Liegenschaft.....                                         | 20        |
| 1.7.2.6      | Liegenschaftsportfolio.....                               | 20        |
| <b>1.7.3</b> | <b>Funktionen und Funktionsgruppen.....</b>               | <b>21</b> |
| 1.7.3.1      | Anwendungsfunktionen.....                                 | 21        |
| 1.7.3.2      | Anzeige-/Bedienfunktion.....                              | 22        |
| 1.7.3.3      | Service- und Diagnosefunktion.....                        | 22        |
| 1.7.3.4      | Managementfunktionen.....                                 | 22        |
| <b>1.7.4</b> | <b>Raumnutzungsarten.....</b>                             | <b>22</b> |
| 1.7.4.1      | Normalnutzung.....                                        | 23        |
| 1.7.4.2      | Sondernutzung.....                                        | 24        |
| 1.7.4.3      | Außer Betrieb.....                                        | 24        |
| <b>1.8</b>   | <b>Assistenzfunktionen zum Wohnen gemäß VDI 3812.....</b> | <b>24</b> |
| <b>1.9</b>   | <b>Steuerung und Regelung.....</b>                        | <b>25</b> |
| <b>1.9.1</b> | <b>Grundlagen.....</b>                                    | <b>25</b> |
| <b>1.9.2</b> | <b>Steuerung.....</b>                                     | <b>26</b> |
| <b>1.9.3</b> | <b>Regelung.....</b>                                      | <b>26</b> |
| <b>1.9.4</b> | <b>Regelungssystem und Kenngrößen.....</b>                | <b>28</b> |
| 1.9.4.1      | Grundlagen.....                                           | 28        |
| 1.9.4.2      | Kenngrößen.....                                           | 29        |
| 1.9.4.2.1    | Führungsgröße $w$ .....                                   | 30        |
| 1.9.4.2.2    | Führungsbereich $w_h$ .....                               | 30        |
| 1.9.4.2.3    | Regeleinrichtung.....                                     | 30        |
| 1.9.4.2.4    | Regelkreis.....                                           | 30        |
| 1.9.4.2.5    | Regelstrecke.....                                         | 30        |
| 1.9.4.2.6    | Regelgröße $x$ .....                                      | 30        |
| 1.9.4.2.7    | Regelbereich $x_h$ .....                                  | 30        |
| 1.9.4.2.8    | Istwert.....                                              | 30        |
| 1.9.4.2.9    | Sollwert $x_g$ .....                                      | 30        |
| 1.9.4.2.10   | Regeldifferenz $e$ .....                                  | 31        |
| 1.9.4.2.11   | Rückführgröße $r$ .....                                   | 31        |
| 1.9.4.2.12   | Stellgröße $y$ .....                                      | 31        |
| 1.9.4.2.13   | Stellbereich.....                                         | 31        |
| 1.9.4.2.14   | Stellglied im Regelkreis.....                             | 31        |
| 1.9.4.2.15   | Störgröße $z$ .....                                       | 31        |
| 1.9.4.2.16   | Störbereich $z_h$ .....                                   | 31        |

|               |                                                                              |           |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.9.5</b>  | <b>Regelstrecken .....</b>                                                   | <b>31</b> |
| 1.9.5.1       | Grundlagen .....                                                             | 31        |
| 1.9.5.2       | Statisches Verhalten von Regelstrecken .....                                 | 32        |
| 1.9.5.3       | Dynamisches Verhalten von Regelstrecken .....                                | 33        |
| 1.9.5.3.1     | Grundlagen .....                                                             | 33        |
| 1.9.5.3.2     | Regelstrecken mit Ausgleich .....                                            | 34        |
| 1.9.5.3.3     | Regelstrecken ohne Ausgleich .....                                           | 42        |
| <b>1.9.6</b>  | <b>Regler und Reglerparameter .....</b>                                      | <b>43</b> |
| 1.9.6.1       | Regler ohne Hilfsenergie .....                                               | 44        |
| 1.9.6.2       | Regler mit Hilfsenergie .....                                                | 44        |
| 1.9.6.3       | Unstetige Regler .....                                                       | 44        |
| 1.9.6.3.1     | Zweipunktregler .....                                                        | 44        |
| 1.9.6.3.2     | Dreipunktregler .....                                                        | 47        |
| 1.9.6.4       | Stetige Regler .....                                                         | 50        |
| 1.9.6.4.1     | P-Regler .....                                                               | 50        |
| 1.9.6.4.2     | I-Regler .....                                                               | 53        |
| 1.9.6.4.3     | D-Anteil .....                                                               | 54        |
| 1.9.6.4.4     | PI-Regler .....                                                              | 54        |
| 1.9.6.4.5     | PD-Regler .....                                                              | 56        |
| 1.9.6.4.6     | PID-Regler .....                                                             | 58        |
| 1.9.6.4.7     | Reale Übergangsfunktionen von Reglern .....                                  | 59        |
| 1.9.6.5       | Reglerwirksinn .....                                                         | 61        |
| 1.9.6.6       | Regelgüte von Regelkreisen .....                                             | 62        |
| 1.9.6.6.1     | Anregelzeit $T_{cr}$ .....                                                   | 63        |
| 1.9.6.6.2     | Ausregelzeit $T_{cs}$ .....                                                  | 63        |
| 1.9.6.6.3     | Überschwingweite $x_m$ .....                                                 | 63        |
| <b>1.9.7</b>  | <b>Wahl der geeigneten Regeleinrichtung bei gegebener Regelstrecke .....</b> | <b>64</b> |
| <b>1.9.8</b>  | <b>Einfache Optimierung von Reglern .....</b>                                | <b>64</b> |
| <b>1.9.9</b>  | <b>Beispiele für eine Anwendung der Kaskadenregelung .....</b>               | <b>67</b> |
| <b>1.10</b>   | <b>Signale .....</b>                                                         | <b>69</b> |
| <b>1.10.1</b> | <b>Signalformen .....</b>                                                    | <b>69</b> |
| 1.10.1.1      | Analoges Signal .....                                                        | 69        |
| 1.10.1.2      | Binäres Signal .....                                                         | 69        |
| <b>1.10.2</b> | <b>Einheitssignale .....</b>                                                 | <b>70</b> |
| 1.10.2.1      | Spannungswerte .....                                                         | 70        |
| 1.10.2.2      | Stromwerte .....                                                             | 71        |

|               |                                                               |            |
|---------------|---------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1.11</b>   | <b>Grundlegender Aufbau einer Automationseinrichtung.....</b> | <b>72</b>  |
| <b>1.11.1</b> | <b>Rechnerarchitektur nach von Neumann.....</b>               | <b>73</b>  |
| <b>1.11.2</b> | <b>Prozessschnittstellen.....</b>                             | <b>76</b>  |
| 1.11.2.1      | Schalten.....                                                 | 76         |
| 1.11.2.2      | Stellen.....                                                  | 77         |
| 1.11.2.3      | Melden.....                                                   | 78         |
| 1.11.2.4      | Zählen.....                                                   | 79         |
| 1.11.2.5      | Messen.....                                                   | 79         |
| <b>1.11.3</b> | <b>Kommunikationsschnittstellen.....</b>                      | <b>80</b>  |
| <b>1.11.4</b> | <b>Digitaler Regelkreis.....</b>                              | <b>82</b>  |
| <b>1.11.5</b> | <b>Anwendungsprogramm.....</b>                                | <b>83</b>  |
| 1.11.5.1      | Zahlensysteme.....                                            | 83         |
| 1.11.5.2      | Verknüpfungsbausteine.....                                    | 88         |
| 1.11.5.3      | Schaltalgebra.....                                            | 90         |
| 1.11.5.4      | Wertetabelle.....                                             | 90         |
| 1.11.5.5      | K-V-Tafeln.....                                               | 90         |
| 1.11.5.6      | Arten der Programmierung.....                                 | 93         |
| 1.11.5.6.1    | Anweisungsliste.....                                          | 94         |
| 1.11.5.6.2    | Zustandsgraph gemäß VDI 3814 Blatt 6.....                     | 94         |
| 1.11.5.6.3    | Funktionsplan.....                                            | 95         |
| 1.11.5.7      | Phasen der Programmentwicklung.....                           | 96         |
| 1.11.5.7.1    | Aufgaben definieren.....                                      | 96         |
| 1.11.5.7.2    | Aufgaben analysieren.....                                     | 96         |
| 1.11.5.7.3    | Lösungskonzept erstellen.....                                 | 97         |
| 1.11.5.7.4    | Systementwurf erstellen.....                                  | 97         |
| 1.11.5.7.5    | Programme entwerfen.....                                      | 99         |
| 1.11.5.7.6    | Codieren/Assemblieren.....                                    | 103        |
| 1.11.5.7.7    | Einzeltest.....                                               | 103        |
| 1.11.5.7.8    | Integrationstest.....                                         | 104        |
| 1.11.5.8      | Lastenheft und Pflichtenheft.....                             | 104        |
| <b>1.12</b>   | <b>Schnittstellen in der Gebäudeautomation.....</b>           | <b>105</b> |
| <b>1.12.1</b> | <b>Serielle Schnittstelle.....</b>                            | <b>105</b> |
| <b>1.12.2</b> | <b>Parallele Schnittstelle.....</b>                           | <b>106</b> |
| <b>1.12.3</b> | <b>Elektrische Schnittstelle RS 485.....</b>                  | <b>106</b> |
| <b>1.12.4</b> | <b>Netzwerkkarten.....</b>                                    | <b>107</b> |
| <b>1.12.5</b> | <b>ISDN-Schnittstelle.....</b>                                | <b>107</b> |
| <b>1.12.6</b> | <b>DSL.....</b>                                               | <b>108</b> |

|               |                                                         |            |
|---------------|---------------------------------------------------------|------------|
| <b>1.13</b>   | <b>Netzwerke in der Gebäudeautomation .....</b>         | <b>109</b> |
| <b>1.13.1</b> | <b>Kommunikationsnetze .....</b>                        | <b>109</b> |
| 1.13.1.1      | WAN (Wide Area Network) .....                           | 109        |
| 1.13.1.2      | MAN (Metropolitan Area Network) .....                   | 109        |
| 1.13.1.3      | LAN (Local Area Network) .....                          | 109        |
| 1.13.1.4      | Terminalnetze .....                                     | 109        |
| <b>1.13.2</b> | <b>OSI-Referenzmodell.....</b>                          | <b>110</b> |
| 1.13.2.1      | Bitübertragungsschicht/Schicht 1 (Physical).....        | 110        |
| 1.13.2.2      | Datensicherungsschicht/Schicht 2 (Link).....            | 110        |
| 1.13.2.3      | Vermittlungsschicht/Schicht 3 (Network) .....           | 111        |
| 1.13.2.4      | Transportschicht/Schicht 4 (Transport).....             | 111        |
| 1.13.2.5      | Sitzungsschicht/Schicht 5 (Session).....                | 111        |
| 1.13.2.6      | Darstellungsschicht/Schicht 6 (Representation).....     | 111        |
| 1.13.2.7      | Anwendungsschicht/Schicht 7 (Application).....          | 111        |
| <b>1.13.3</b> | <b>Betriebsarten der technischen Kommunikation.....</b> | <b>111</b> |
| 1.13.3.1      | Grundsätze .....                                        | 111        |
| 1.13.3.2      | Duplex-Betrieb (Gegenbetrieb).....                      | 112        |
| 1.13.3.3      | Halbduplex-Betrieb (Wechselbetrieb) .....               | 112        |
| 1.13.3.4      | Simplex-Betrieb (Richtungsbetrieb).....                 | 112        |
| <b>1.13.4</b> | <b>Übertragungsmedium .....</b>                         | <b>113</b> |
| 1.13.4.1      | Kupferkabel.....                                        | 113        |
| 1.13.4.2      | Lichtwellenleiter (Glasfaserkabel).....                 | 115        |
| 1.13.4.3      | Strukturierte Verkabelung .....                         | 116        |
| <b>1.13.5</b> | <b>Netzstrukturen .....</b>                             | <b>118</b> |
| 1.13.5.1      | Sternstruktur .....                                     | 118        |
| 1.13.5.2      | Ringstruktur .....                                      | 118        |
| 1.13.5.3      | Busstruktur.....                                        | 118        |
| 1.13.5.4      | Baumstruktur .....                                      | 118        |
| <b>1.13.6</b> | <b>Netzwerkkomponenten .....</b>                        | <b>119</b> |
| 1.13.6.1      | Repeater .....                                          | 119        |
| 1.13.6.2      | Bridge .....                                            | 119        |
| 1.13.6.3      | Gateway.....                                            | 119        |
| 1.13.6.4      | HUB .....                                               | 119        |
| 1.13.6.5      | Switch .....                                            | 119        |
| 1.13.6.6      | Router .....                                            | 120        |
| <b>1.13.7</b> | <b>WLAN (Wireless Local Area Network) .....</b>         | <b>120</b> |

|               |                                                 |            |
|---------------|-------------------------------------------------|------------|
| <b>1.13.8</b> | <b>Telefonnetz .....</b>                        | <b>120</b> |
| 1.13.8.1      | Analoge Telekommunikationsgeräte .....          | 121        |
| 1.13.8.2      | ISDN .....                                      | 121        |
| 1.13.8.3      | Mobilfunknetze.....                             | 122        |
| 1.13.8.3.1    | GSM.....                                        | 122        |
| 1.13.8.3.2    | UMTS.....                                       | 123        |
| 1.13.8.4      | Wireless Application Protocol (WAP) .....       | 124        |
| <b>1.13.9</b> | <b>Internet.....</b>                            | <b>124</b> |
| 1.13.9.1      | Grundlagen .....                                | 124        |
| 1.13.9.2      | HTML .....                                      | 126        |
| 1.13.9.3      | XML.....                                        | 126        |
| <b>1.14</b>   | <b>Protokolle in der Gebäudeautomation.....</b> | <b>126</b> |
| 1.14.1        | BACnet.....                                     | 126        |
| 1.14.2        | LON .....                                       | 130        |
| 1.14.3        | Profibus .....                                  | 132        |
| 1.14.4        | CAN .....                                       | 133        |
| 1.14.5        | M-Bus .....                                     | 133        |
| 1.14.6        | FND .....                                       | 134        |
| 1.14.7        | KNX.....                                        | 134        |
| 1.14.8        | Andere genutzte Protokolle .....                | 134        |
| 1.14.9        | Kommunikationsformen in Netzwerken .....        | 135        |
| 1.14.9.1      | Point-to-Point-Verbindung.....                  | 135        |
| 1.14.9.2      | Peer-to-Peer-Verbindung.....                    | 135        |
| 1.14.9.3      | Client-Server-Modell .....                      | 135        |
| 1.14.9.4      | Bidirektional .....                             | 135        |
| 1.14.10       | Protokollfamilien und Schichtenmodelle .....    | 135        |
| <b>1.15</b>   | <b>Wärmeübertragung .....</b>                   | <b>137</b> |
| 1.15.1        | Wärmeleitung .....                              | 137        |
| 1.15.2        | Konvektion .....                                | 137        |
| 1.15.3        | Strahlung .....                                 | 137        |
| <b>1.16</b>   | <b>Gesetze der feuchten Luft.....</b>           | <b>138</b> |
| 1.16.1        | Zustandsgrößen.....                             | 138        |
| 1.16.2        | Temperatur .....                                | 138        |
| 1.16.3        | Teildruck des Wasserdampfes .....               | 139        |

|                |                                                                                    |            |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1.16.4</b>  | <b>Relative Feuchte .....</b>                                                      | <b>140</b> |
| <b>1.16.5</b>  | <b>Feuchtegehalt .....</b>                                                         | <b>140</b> |
| <b>1.16.6</b>  | <b>Enthalpie.....</b>                                                              | <b>141</b> |
| <b>1.16.7</b>  | <b>Dichte.....</b>                                                                 | <b>141</b> |
| <b>1.16.8</b>  | <b>Abhängigkeiten vom Gesamtdruck .....</b>                                        | <b>142</b> |
| <b>1.16.9</b>  | <b><math>h_{(1+x)}</math>-Diagramm (Mollier-Diagramm) .....</b>                    | <b>143</b> |
| <b>1.16.10</b> | <b>Verdunstung.....</b>                                                            | <b>144</b> |
| <b>1.16.11</b> | <b><math>t,x</math>-Diagramm (Carrier-Diagramm).....</b>                           | <b>146</b> |
| <b>1.17</b>    | <b>Grundlagen zur Strömung .....</b>                                               | <b>146</b> |
| <b>1.17.1</b>  | <b>Grundlagen.....</b>                                                             | <b>146</b> |
| <b>1.17.2</b>  | <b>Reibungsfreie Strömung.....</b>                                                 | <b>146</b> |
| 1.17.2.1       | Kontinuitätsgleichung .....                                                        | 146        |
| 1.17.2.2       | Venturi-Effekt .....                                                               | 148        |
| 1.17.2.3       | Energiegleichung für die reibungsfreie Strömung<br>(Gleichung von Bernoulli) ..... | 148        |
| 1.17.2.4       | Gesamtdruck, statischer und dynamischer Druck .....                                | 151        |
| <b>1.17.3</b>  | <b>Reibungsbehaftete Strömung .....</b>                                            | <b>153</b> |
| 1.17.3.1       | Grundsätze .....                                                                   | 153        |
| 1.17.3.2       | Energiegleichung für die reibungsbehaftete Strömung.....                           | 153        |
| 1.17.3.3       | Viskosität von Fluiden.....                                                        | 154        |
| 1.17.3.4       | Ähnlichkeitsgesetz .....                                                           | 156        |
| 1.17.3.5       | Strömungsformen .....                                                              | 156        |
| 1.17.3.6       | Turbulenzgrad.....                                                                 | 157        |
| 1.17.3.7       | Rohreinlaufströmung und Grenzschicht .....                                         | 158        |
| <b>1.18</b>    | <b>Hydraulische Systeme .....</b>                                                  | <b>160</b> |
| <b>1.18.1</b>  | <b>Grundlagen.....</b>                                                             | <b>160</b> |
| <b>1.18.2</b>  | <b>Nennweite.....</b>                                                              | <b>161</b> |
| <b>1.18.3</b>  | <b>Nenndruck .....</b>                                                             | <b>161</b> |
| <b>1.18.4</b>  | <b>Berechnung von hydraulischen Netzen .....</b>                                   | <b>161</b> |
| 1.18.4.1       | Hydraulische Grundschaltungen.....                                                 | 161        |
| 1.18.4.1.1     | Drosselschaltung mit Durchgangsventil.....                                         | 161        |
| 1.18.4.1.2     | Beimischschaltung mit Mischventil .....                                            | 162        |
| 1.18.4.1.3     | Beimischschaltung mit Verteilventil.....                                           | 163        |
| 1.18.4.1.4     | Verteilerschaltung mit Verteilventil .....                                         | 164        |
| 1.18.4.1.5     | Verteilerschaltung mit Mischventil.....                                            | 165        |

|               |                                                               |            |
|---------------|---------------------------------------------------------------|------------|
| 1.18.4.1.6    | Einspritzschaltung mit Dreiwegeventil .....                   | 166        |
| 1.18.4.1.7    | Beimischschaltung mit differenzdrucklosem Verteiler.....      | 167        |
| 1.18.4.1.8    | Einspritzschaltung mit Durchgangsventil .....                 | 168        |
| 1.18.4.1.9    | Auswahl der hydraulischen Schaltung .....                     | 168        |
| 1.18.4.1.10   | Grundlagen für die Berechnung hydraulischer Schaltungen ..... | 169        |
| 1.18.4.2      | Berechnungen der Einzelwiderstände .....                      | 174        |
| 1.18.4.3      | Auslegung und Kennlinien von hydraulischen Komponenten.....   | 181        |
| 1.18.4.3.1    | Regelarmaturen .....                                          | 181        |
| 1.18.4.3.2    | Stellkräfte der Antriebe .....                                | 181        |
| 1.18.4.3.3    | Ventilautorität .....                                         | 181        |
| 1.18.4.3.4    | Stellventile .....                                            | 182        |
| 1.18.4.3.5    | Pumpe .....                                                   | 193        |
| <b>1.18.5</b> | <b>Hydraulischer Abgleich.....</b>                            | <b>202</b> |
| <b>1.18.6</b> | <b>Regelgrößen im Gewerk Heiztechnik.....</b>                 | <b>204</b> |
| 1.18.6.1      | Temperatur.....                                               | 204        |
| 1.18.6.1.1    | Kesseltemperatur.....                                         | 204        |
| 1.18.6.1.2    | Fernwärmeanlagen .....                                        | 210        |
| 1.18.6.1.3    | Vorlauftemperatur .....                                       | 213        |
| 1.18.6.1.4    | Raumtemperatur .....                                          | 213        |
| 1.18.6.1.5    | Fußbodenheizungen.....                                        | 214        |
| 1.18.6.1.6    | Trinkwassertemperaturen .....                                 | 216        |
| 1.18.6.2      | Regelgrößen an einer Umwälzpumpe .....                        | 221        |
| 1.18.6.2.1    | Regelung einer Pumpe durch Drehzahländerung .....             | 221        |
| 1.18.6.2.2    | Differenzdruckregelung.....                                   | 221        |
| 1.18.6.2.3    | Temperaturführung/Temperaturüberlagerung .....                | 226        |
| <b>1.18.7</b> | <b>Zu überwachende Größen im Gewerk Heiztechnik .....</b>     | <b>226</b> |
| 1.18.7.1      | Sicherheitstechnische Ausrüstung von Warmwasserheizungen..... | 226        |
| 1.18.7.1.1    | Anlagentypen bei der Wärmeerzeugung .....                     | 227        |
| 1.18.7.1.2    | Ausdehnungsgefäß.....                                         | 228        |
| 1.18.7.2      | Trinkwarmwasseranlagen .....                                  | 230        |
| 1.18.7.3      | Heizungsanlagen .....                                         | 230        |
| 1.18.7.4      | Fußbodenheizungen.....                                        | 230        |
| 1.18.7.5      | Gesamtnetz .....                                              | 230        |
| <b>1.18.8</b> | <b>Regelgrößen im Gewerk Kältetechnik .....</b>               | <b>230</b> |
| 1.18.8.1      | Kälteerzeugung.....                                           | 230        |
| 1.18.8.1.1    | Kühltürme .....                                               | 231        |
| 1.18.8.1.2    | Offene Sorptionskältemaschinen.....                           | 232        |
| 1.18.8.1.3    | Kompressionskältemaschinen (Kreisprozess).....                | 233        |
| 1.18.8.1.4    | Absorptionskältemaschinen .....                               | 236        |
| 1.18.8.1.5    | Regelung der Kühlleistung.....                                | 236        |

|               |                                                                  |            |
|---------------|------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.18.8.2      | Ansteuerung der Kälteerzeugung .....                             | 238        |
| 1.18.8.3      | Regelung der Kälteverbraucher .....                              | 240        |
| 1.18.8.4      | Zu überwachende Größen im Gewerk Kälte .....                     | 240        |
| <b>1.19</b>   | <b>Lüftungssysteme .....</b>                                     | <b>240</b> |
| <b>1.19.1</b> | <b>Erläuterungen zum Lüftungssystem .....</b>                    | <b>240</b> |
| 1.19.1.1      | Berechnung von Luftkanalsystemen .....                           | 240        |
| 1.19.1.1.1    | Hydraulischer Durchmesser .....                                  | 241        |
| 1.19.1.1.2    | Gleichwertiger Durchmesser .....                                 | 241        |
| 1.19.1.1.3    | Einzelwiderstände .....                                          | 241        |
| 1.19.1.2      | Raumluftströmungen .....                                         | 242        |
| 1.19.1.2.1    | Freie Lüftung .....                                              | 242        |
| 1.19.1.2.2    | Mechanische Lüftung .....                                        | 244        |
| 1.19.1.2.3    | Mischlüftung .....                                               | 244        |
| 1.19.1.2.4    | Verdrängungslüftung .....                                        | 249        |
| 1.19.1.2.5    | Quelllüftung .....                                               | 249        |
| <b>1.19.2</b> | <b>Zustandsänderungen feuchter Luft in Geräten der RLT .....</b> | <b>250</b> |
| 1.19.2.1      | Erhitzer .....                                                   | 250        |
| 1.19.2.2      | Kühler .....                                                     | 250        |
| 1.19.2.2.1    | Kühlung ohne Entfeuchtung .....                                  | 250        |
| 1.19.2.2.2    | Kühlung mit Entfeuchtung .....                                   | 251        |
| 1.19.2.3      | Luftwäscher .....                                                | 252        |
| 1.19.2.4      | Dampfbefeuchter .....                                            | 252        |
| 1.19.2.5      | Mischklappe (Mischkammer) .....                                  | 254        |
| 1.19.2.6      | Wärmerückgewinnung (WRG) .....                                   | 255        |
| 1.19.2.6.1    | WRG ohne Feuchteübertragung .....                                | 255        |
| 1.19.2.6.2    | WRG mit Feuchteübertragung .....                                 | 255        |
| 1.19.2.7      | Zu- und Abluftventilator .....                                   | 256        |
| 1.19.2.8      | Klimaanlagen im $h_{(1+x)}$ -x-Diagramm .....                    | 258        |
| 1.19.2.8.1    | Klimaanlage mit Dampfbefeuchter .....                            | 258        |
| 1.19.2.8.2    | Klimaanlage mit Luftwäscher .....                                | 259        |
| <b>1.19.3</b> | <b>Kennlinien von Komponenten in Lüftungsanlagen .....</b>       | <b>259</b> |
| 1.19.3.1      | Ventilator .....                                                 | 259        |
| <b>1.19.4</b> | <b>Regelgrößen im Gewerk Lüftungstechnik .....</b>               | <b>259</b> |
| 1.19.4.1      | Zulufttemperaturregelung .....                                   | 259        |
| 1.19.4.2      | Kaskadenregelung .....                                           | 260        |
| 1.19.4.3      | Lüftungsanlagen mit variablem Volumenstrom (VVS) .....           | 262        |
| 1.19.4.4      | Lüftungsanlagen mit Umluftbeimischung .....                      | 263        |
| 1.19.4.5      | Druckregelungen von Ventilatoren .....                           | 264        |
| 1.19.4.6      | Volumenstromregler .....                                         | 264        |

- 1.19.4.7      Regelung von RLT-Anlagen..... 265
  - 1.19.4.7.1    Regelung einer Klimaanlage mit Dampfbefeuchter ..... 265
  - 1.19.4.7.2    Regelung einer Klimaanlage mit Luftwäscher ..... 267
- 1.19.5      Zu überwachende Größen im Gewerk Lüftungstechnik ..... 273**
  - 1.19.5.1      Frostschutz ..... 273
    - 1.19.5.1.1    Stetiger Frostschutz..... 273
    - 1.19.5.1.2    Schaltender Frostschutz ..... 273
  - 1.19.5.2      Keilriemenüberwachung ..... 273
    - 1.19.5.2.1    Grundlagen ..... 273
    - 1.19.5.2.2    Keilriemenüberwachung mit Druckschalter ..... 274
    - 1.19.5.2.3    Keilriemenüberwachung mit induktivem Sensor..... 274
    - 1.19.5.2.4    Keilriemenüberwachung mit  $\cos \varphi$ -Wächter..... 274
  - 1.19.5.3      Endlagenüberwachung von Lüftungsklappen ..... 274
  - 1.19.5.4      Brandschutzklappen ..... 275
    - 1.19.5.4.1    Nicht motorische Brandschutzklappen ..... 275
    - 1.19.5.4.2    Motorische Brandschutzklappen..... 275
  - 1.19.5.5      Kontakte von Brandmeldeanlagen..... 275
  - 1.19.5.6      Rauchmelder ..... 275
  - 1.19.5.7      Zuluftfeuchteüberwachung ..... 276
  - 1.19.5.8      Strömungsüberwachung..... 276
  - 1.19.5.9      Anfahrschaltung..... 276
  - 1.19.5.10     Filterüberwachungen ..... 276
- 1.20      Messgrößen/Fühler und Feldgeräte ..... 277**
  - 1.20.1      Messgrößen..... 277**
    - 1.20.1.1      Temperatur..... 277
    - 1.20.1.2      Druck ..... 277
    - 1.20.1.3      Feuchte..... 277
      - 1.20.1.3.1    Absolute Feuchte..... 277
      - 1.20.1.3.2    Relative Feuchte..... 277
      - 1.20.1.3.3    Taupunkt ..... 278
  - 1.20.2      Messgenauigkeit und Einbauort ..... 278**
    - 1.20.2.1      Messbereich ..... 278
    - 1.20.2.2      Art der Messelemente..... 278
    - 1.20.2.3      Messfehler/Messgenauigkeit ..... 278
  - 1.20.3      Analoge Messwertgeber ..... 280**
    - 1.20.3.1      Temperaturfühler..... 280
      - 1.20.3.1.1    Pt100 ..... 280
      - 1.20.3.1.2    Pt1000 ..... 280
      - 1.20.3.1.3    Ni1000 ..... 280

|               |                                                                   |            |
|---------------|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.20.3.1.4    | NTC .....                                                         | 280        |
| 1.20.3.1.5    | PTC.....                                                          | 280        |
| 1.20.3.2      | Druckfühler .....                                                 | 280        |
| 1.20.3.3      | Differenzdrucksensor .....                                        | 281        |
| 1.20.3.4      | Luftqualitätsfühler .....                                         | 281        |
| 1.20.3.5      | Feuchtefühler .....                                               | 281        |
| <b>1.20.4</b> | <b>Digitale Messwertgeber.....</b>                                | <b>281</b> |
| 1.20.4.1      | Temperaturwächter (TW) .....                                      | 281        |
| 1.20.4.2      | Sicherheits-Temperaturwächter/Schutztemperaturwächter (STW).....  | 281        |
| 1.20.4.3      | Temperaturbegrenzer (TB) .....                                    | 281        |
| 1.20.4.4      | Schutz-Temperaturbegrenzer (STB).....                             | 281        |
| 1.20.4.5      | Druckwächter .....                                                | 282        |
| 1.20.4.6      | Druckbegrenzer .....                                              | 282        |
| 1.20.4.7      | Sicherheits-Druckbegrenzer (SDB) .....                            | 282        |
| 1.20.4.8      | Feuchtwächter relative Feuchte.....                               | 282        |
| 1.20.4.9      | Strömungswächter .....                                            | 282        |
| 1.20.4.10     | Taupunkt wächter.....                                             | 282        |
| 1.20.4.11     | Rauchmelder/Rauchscharter .....                                   | 282        |
| <b>1.20.5</b> | <b>Dimensionierung und Positionierung von Messwertgebern.....</b> | <b>283</b> |
| 1.20.5.1      | Einbauort der Geräte .....                                        | 283        |
| 1.20.5.1.1    | Tauchtemperaturgeber.....                                         | 283        |
| 1.20.5.1.2    | Anlegetemperaturgeber/-fühler .....                               | 285        |
| 1.20.5.1.3    | Luftkanalgeber .....                                              | 285        |
| 1.20.5.1.4    | Speichertemperaturgeber.....                                      | 285        |
| 1.20.5.1.5    | Raummesswertgeber.....                                            | 285        |
| 1.20.5.1.6    | Außenfühler .....                                                 | 286        |
| 1.20.5.2      | Auswahl und Dimensionierung der Messgeräte .....                  | 286        |
| <b>1.21</b>   | <b>Grundlagen der Elektrotechnik .....</b>                        | <b>287</b> |
| <b>1.21.1</b> | <b>Grundwissen Elektrotechnik .....</b>                           | <b>287</b> |
| 1.21.1.1      | Einfacher Stromkreis .....                                        | 287        |
| 1.21.1.2      | Elektrische Ladung .....                                          | 288        |
| 1.21.1.3      | Elektrischer Strom (Stromstärke).....                             | 288        |
| 1.21.1.4      | Stromdichte.....                                                  | 288        |
| 1.21.1.5      | Stromrichtung .....                                               | 289        |
| 1.21.1.6      | Elektrische Spannung.....                                         | 289        |
| 1.21.1.6.1    | Leerlaufspannung.....                                             | 289        |
| 1.21.1.6.2    | Spannungsabfall .....                                             | 289        |
| 1.21.1.7      | Elektrischer Widerstand .....                                     | 289        |
| 1.21.1.8      | Spezifischer Widerstand .....                                     | 290        |

|             |                                                         |     |
|-------------|---------------------------------------------------------|-----|
| 1.21.1.9    | Elektrische Leitfähigkeit .....                         | 290 |
| 1.21.1.10   | Leiterwiderstand .....                                  | 291 |
| 1.21.1.11   | Widerstand und Temperatur.....                          | 291 |
| 1.21.1.12   | Elektrische Leistung.....                               | 291 |
| 1.21.1.13   | Elektrische Arbeit .....                                | 292 |
| 1.21.1.14   | Wirkungsgrad.....                                       | 293 |
| 1.21.1.15   | Reihenschaltung von Widerständen (Spannungsteiler)..... | 293 |
| 1.21.1.16   | Parallelschaltung von Widerständen (Stromteiler).....   | 294 |
| 1.21.1.17   | Gemischte Schaltungen.....                              | 295 |
| 1.21.1.18   | Maschenregel .....                                      | 296 |
| 1.21.1.19   | Knotenregel .....                                       | 296 |
| 1.21.1.20   | Elektrisches Feld .....                                 | 297 |
| 1.21.1.21   | Elektrische Feldstärke .....                            | 297 |
| 1.21.1.22   | Elektrische Flussdichte .....                           | 298 |
| 1.21.1.23   | Kapazität.....                                          | 298 |
| 1.21.1.24   | Energiedichte .....                                     | 298 |
| 1.21.1.25   | Kondensator .....                                       | 299 |
| 1.21.1.26   | Parallelschaltung von Kondensatoren/Kapazitäten .....   | 300 |
| 1.21.1.27   | Reihenschaltung von Kondensatoren/Kapazitäten.....      | 300 |
| 1.21.1.28   | Magnetismus .....                                       | 301 |
| 1.21.1.29   | Magnete.....                                            | 301 |
| 1.21.1.30   | Magnetisches Feld.....                                  | 302 |
| 1.21.1.31   | Elektromagnetismus .....                                | 302 |
| 1.21.1.32   | Magnetfeld einer Spule .....                            | 303 |
| 1.21.1.33   | Magnetische Durchflutung .....                          | 303 |
| 1.21.1.34   | Magnetische Feldstärke.....                             | 303 |
| 1.21.1.35   | Magnetischer Fluss.....                                 | 304 |
| 1.21.1.36   | Magnetische Flussdichte .....                           | 304 |
| 1.21.1.37   | Induktivitäten.....                                     | 305 |
| 1.21.1.38   | Reihenschaltung von Induktivitäten .....                | 305 |
| 1.21.1.39   | Parallelschaltung von Induktivitäten .....              | 305 |
| 1.21.1.40   | Stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld .....          | 306 |
| 1.21.1.41   | Motorregel.....                                         | 307 |
| 1.21.1.42   | Stromdurchflossene Spule im Magnetfeld .....            | 307 |
| 1.21.1.43   | Stromwender .....                                       | 307 |
| 1.21.1.44   | Induktion .....                                         | 308 |
| 1.21.1.44.1 | Induktion der Bewegung .....                            | 308 |
| 1.21.1.45   | Induktionsgesetz.....                                   | 308 |
| 1.21.1.45.1 | Induktion durch Flussänderung .....                     | 308 |
| 1.21.1.45.2 | Induktion durch Stromänderung .....                     | 308 |

|               |                                                                                        |            |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.21.1.46     | Lenzsche Regel .....                                                                   | 309        |
| 1.21.1.47     | Generatorprinzip .....                                                                 | 309        |
| 1.21.1.48     | Transformatorprinzip .....                                                             | 310        |
| <b>1.21.2</b> | <b>Wechselstromtechnik .....</b>                                                       | <b>310</b> |
| 1.21.2.1      | Wechselgrößen .....                                                                    | 310        |
| 1.21.2.2      | Scheitelwert .....                                                                     | 310        |
| 1.21.2.3      | Frequenz .....                                                                         | 311        |
| 1.21.2.4      | Zeiger .....                                                                           | 311        |
| 1.21.2.5      | Kreisfrequenz .....                                                                    | 311        |
| 1.21.2.6      | Effektivwert .....                                                                     | 311        |
| 1.21.2.7      | Phasenverschiebung .....                                                               | 312        |
| 1.21.2.8      | Scheinwiderstand .....                                                                 | 313        |
| 1.21.2.9      | Wirkwiderstand .....                                                                   | 313        |
| 1.21.2.10     | Spule im Wechselstromkreis .....                                                       | 313        |
| 1.21.2.10.1   | Spule bei einer Gleichspannung .....                                                   | 313        |
| 1.21.2.10.2   | Induktiver Blindwiderstand im Wechselstromkreis .....                                  | 314        |
| 1.21.2.10.3   | Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und induktivem Blindwiderstand .....                | 315        |
| 1.21.2.10.4   | Spannungsdreieck .....                                                                 | 316        |
| 1.21.2.10.5   | Widerstandsdreieck .....                                                               | 317        |
| 1.21.2.10.6   | Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und induktivem Blindwiderstand .....              | 319        |
| 1.21.2.10.7   | Stromdreieck .....                                                                     | 319        |
| 1.21.2.10.8   | Leitwertdreieck .....                                                                  | 320        |
| 1.21.2.10.9   | Reihenschaltung von Spulen .....                                                       | 320        |
| 1.21.2.10.10  | Parallelschaltung von Spulen .....                                                     | 322        |
| 1.21.2.11     | Wechselstromleistung .....                                                             | 323        |
| 1.21.2.11.1   | Wirkleistung .....                                                                     | 323        |
| 1.21.2.11.2   | Blindleistung .....                                                                    | 324        |
| 1.21.2.11.3   | Scheinleistung .....                                                                   | 325        |
| 1.21.2.11.4   | Leistungsdreieck .....                                                                 | 325        |
| 1.21.2.11.5   | Leistungsfaktor .....                                                                  | 327        |
| 1.21.2.11.6   | Verlustleistung bei Spulen .....                                                       | 327        |
| 1.21.2.12     | Kondensator im Wechselstromkreis .....                                                 | 328        |
| 1.21.2.12.1   | Kapazitiver Blindwiderstand .....                                                      | 328        |
| 1.21.2.12.2   | Reihenschaltung aus Wirkwiderstand und kapazitivem Blindwiderstand .....               | 329        |
| 1.21.2.12.3   | Parallelschaltung aus Wirkwiderstand und kapazitivem Blindwiderstand .....             | 331        |
| 1.21.2.12.4   | Verlustleistung bei Kondensatoren .....                                                | 334        |
| 1.21.2.13     | Schaltungen aus Spulen, Kondensatoren und Wirkwiderständen .....                       | 335        |
| 1.21.2.13.1   | Reihenschaltung aus Wirkwiderstand, induktivem und kapazitivem Blindwiderstand .....   | 335        |
| 1.21.2.13.2   | Parallelschaltung aus Wirkwiderstand, induktivem und kapazitivem Blindwiderstand ..... | 336        |

|                |                                                                                           |            |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.21.2.14      | Dreiphasenwechselstrom .....                                                              | 337        |
| 1.21.2.14.1    | Erzeugen einer Dreiphasenwechselspannung .....                                            | 337        |
| 1.21.2.14.2    | Verkettung.....                                                                           | 338        |
| 1.21.2.14.3    | Sternschaltung (Zeichen Y) .....                                                          | 339        |
| 1.21.2.14.4    | Dreieckschaltung (Zeichen $\Delta$ ).....                                                 | 343        |
| 1.21.2.14.5    | Anwendung von Sternschaltung und Dreieckschaltung .....                                   | 344        |
| 1.21.2.14.6    | Leistung bei Dreiphasenwechselstrom .....                                                 | 345        |
| 1.21.2.14.7    | Drehfeld .....                                                                            | 347        |
| 1.21.2.14.8    | Kompensation .....                                                                        | 349        |
| <b>1.21.3</b>  | <b>Überlastschutz und Kurzschlusschutz von Leitungen .....</b>                            | <b>350</b> |
| 1.21.3.1       | Überlastschutz .....                                                                      | 350        |
| 1.21.3.2       | Kurzschlusschutz .....                                                                    | 351        |
| <b>1.21.4</b>  | <b>Kurzschlussströme und deren Berechnung .....</b>                                       | <b>352</b> |
| 1.21.4.1       | Generatorferner Kurzschluss.....                                                          | 352        |
| 1.21.4.1.1     | Anfangs-Kurzschlusswechselstrom $I''_{K1}$ .....                                          | 352        |
| 1.21.4.1.2     | Wirk- und Blindwiderstände von Transformatoren.....                                       | 354        |
| 1.21.4.1.3     | Wirk- und Blindwiderstände des Leitungsnetzes .....                                       | 356        |
| 1.21.4.1.4     | Stoßkurzschlussstrom $i_p$ .....                                                          | 357        |
| 1.21.4.2       | Kleinster Kurzschlussstrom $I''_{K1}$ .....                                               | 358        |
| 1.21.4.2.1     | Kurzschlussimpedanz $Z_k$ .....                                                           | 359        |
| 1.21.4.2.2     | Berechnung von $I''_{K1}$ .....                                                           | 360        |
| <b>1.21.5</b>  | <b>Elektrische Schmelzsicherungen.....</b>                                                | <b>361</b> |
| 1.21.5.1       | Aufbau und Funktion.....                                                                  | 361        |
| 1.21.5.2       | Bauformen und Auslösecharakteristik .....                                                 | 362        |
| 1.21.5.2.1     | Geräteschutzsicherungen.....                                                              | 362        |
| 1.21.5.2.2     | Niederspannungssicherungen .....                                                          | 363        |
| <b>1.21.6</b>  | <b>Leitungsschutzschalter.....</b>                                                        | <b>367</b> |
| 1.21.6.1       | Aufbau und Funktion.....                                                                  | 367        |
| 1.21.6.2       | Bauformen .....                                                                           | 367        |
| 1.21.6.3       | Auslösecharakteristik.....                                                                | 367        |
| <b>1.21.7</b>  | <b>Fehlerstromschutzschalter (RCD).....</b>                                               | <b>369</b> |
| 1.21.7.1       | Aufbau und Funktion.....                                                                  | 369        |
| 1.21.7.2       | Bauformen .....                                                                           | 370        |
| 1.21.7.3       | Prüfen eines FI-Schutzschalters.....                                                      | 370        |
| <b>1.21.8</b>  | <b>Gefahren durch Ströme in elektrischen Netzen/Auswahl von Schutzeinrichtungen .....</b> | <b>370</b> |
| <b>1.21.9</b>  | <b>Selektivität von Sicherungen.....</b>                                                  | <b>372</b> |
| <b>1.21.10</b> | <b>Schutz gegen den elektrischen Schlag .....</b>                                         | <b>372</b> |
| <b>1.21.11</b> | <b>Schutzart .....</b>                                                                    | <b>373</b> |

|                |                                                                         |            |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1.21.12</b> | <b>Schutzklasse .....</b>                                               | <b>374</b> |
| <b>1.21.13</b> | <b>Schutzbereich .....</b>                                              | <b>376</b> |
| <b>1.21.14</b> | <b>Netzformen elektrischer Netze .....</b>                              | <b>376</b> |
| 1.21.14.1      | Systemunterscheidung nach Art der Erderverbindung .....                 | 376        |
| 1.21.14.1.1    | TT-System .....                                                         | 376        |
| 1.21.14.1.2    | IT-System.....                                                          | 377        |
| 1.21.14.1.3    | TN-System.....                                                          | 377        |
| 1.21.14.2      | Systemunterscheidung nach Schutzeinrichtung und Abschaltbedingung ..... | 378        |
| 1.21.14.2.1    | TN-C-System .....                                                       | 378        |
| 1.21.14.2.2    | TN-S-System .....                                                       | 379        |
| 1.21.14.2.3    | TN-C-S-System .....                                                     | 379        |
| 1.21.14.2.4    | TT-System .....                                                         | 380        |
| 1.21.14.2.5    | IT-System.....                                                          | 380        |
| <b>1.21.15</b> | <b>Erdungsanlagen und Hauptpotenzialausgleich.....</b>                  | <b>380</b> |
| <b>1.21.16</b> | <b>Brandgefahren in elektrischen Netzen .....</b>                       | <b>382</b> |
| 1.21.16.1      | Zu hohe Leitertemperaturen .....                                        | 382        |
| 1.21.16.2      | Isolationsfehler.....                                                   | 382        |
| 1.21.16.3      | Kontaktfehler.....                                                      | 382        |
| 1.21.16.4      | Kabel und Leitungen als Brandlast .....                                 | 383        |
| 1.21.16.5      | Wärmegeräte .....                                                       | 383        |
| <b>1.21.17</b> | <b>Explosionsgefahren in elektrischen Netzen .....</b>                  | <b>383</b> |
| <b>1.21.18</b> | <b>Funktionserhalt in elektrischen Anlagen.....</b>                     | <b>384</b> |
| <b>1.21.19</b> | <b>Blitzschutz- und Überspannungsschutzkonzept.....</b>                 | <b>385</b> |
| 1.21.19.1      | Äußerer Blitzschutz.....                                                | 385        |
| 1.21.19.2      | Inneres Blitzschutzsystem .....                                         | 385        |
| <b>1.21.20</b> | <b>Arbeiten an elektrischen Netzen .....</b>                            | <b>386</b> |
| 1.21.20.1      | Fünf Sicherheitsregeln .....                                            | 386        |
| 1.21.20.2      | Elektrischer Schlag, Stromunfall.....                                   | 387        |
| <b>1.21.21</b> | <b>Elektrische Maschinen .....</b>                                      | <b>387</b> |
| 1.21.21.1      | Leistung und Drehmoment .....                                           | 387        |
| 1.21.21.2      | Aufbau von umlaufenden elektrischen Maschinen .....                     | 388        |
| 1.21.21.3      | Kennwerte und Leistungsschild .....                                     | 388        |
| 1.21.21.4      | Drehsinn elektrischer Maschinen.....                                    | 389        |
| 1.21.21.5      | Drehstrommotoren ohne Stromwender .....                                 | 389        |
| 1.21.21.5.1    | Drehstromasynchronmotoren .....                                         | 389        |
| 1.21.21.5.2    | Motoren mit Kurzschlussläufer .....                                     | 390        |
| 1.21.21.5.3    | Schleifringläufermotoren .....                                          | 395        |
| 1.21.21.5.4    | Polumschaltbare Motoren .....                                           | 397        |
| 1.21.21.5.5    | Bremsbetrieb von Drehstromasynchronmaschinen .....                      | 398        |

|             |                                                                                       |     |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.21.21.6   | Weitere Drehfeldmotoren.....                                                          | 400 |
| 1.21.21.6.1 | Dreiphasenwechselstrommotoren an<br>Einphasenwechselspannung/Steinmetzschtaltung..... | 400 |
| 1.21.21.6.2 | Einphasenwechselstrommotor mit Widerstandshilfsstrang .....                           | 401 |
| 1.21.21.6.3 | Kondensatormotor .....                                                                | 401 |
| 1.21.21.7   | Stromwendermaschinen .....                                                            | 402 |
| 1.21.21.8   | Betriebsarten elektrischer Maschinen.....                                             | 403 |
| 1.21.21.9   | Bauformen elektrischer Maschinen .....                                                | 404 |
| 1.21.21.10  | Isolierstoffklassen .....                                                             | 405 |

## **2            Nutzung von Gebäuden – Anforderungen an die Technik**

|            |                                                                                       |            |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>2.1</b> | <b>Grundlagen des Baurechts .....</b>                                                 | <b>407</b> |
| 2.1.1      | Baurecht .....                                                                        | 407        |
| 2.1.2      | Normenpyramide .....                                                                  | 408        |
| 2.1.3      | Bauordnung .....                                                                      | 409        |
| 2.1.3.1    | Musterbauordnung (MBO) .....                                                          | 409        |
| 2.1.3.2    | Bauordnung der Bundesländer .....                                                     | 409        |
| 2.1.4      | Muster-Industriebau-Richtlinie (MIndBauRL) .....                                      | 409        |
| 2.1.5      | Verordnungen und Richtlinien .....                                                    | 409        |
| 2.1.5.1    | Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV).....                                             | 410        |
| 2.1.5.2    | Sonderbauverordnungen .....                                                           | 410        |
| 2.1.5.2.1  | Versammlungsstättenverordnung .....                                                   | 410        |
| 2.1.5.2.2  | Verordnung für Beherbergungsstätten.....                                              | 410        |
| 2.1.5.2.3  | Verkaufsstättenverordnung .....                                                       | 410        |
| 2.1.5.2.4  | Hochhausrichtlinie .....                                                              | 410        |
| 2.1.5.2.5  | Garagenverordnung.....                                                                | 411        |
| 2.1.5.2.6  | Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für<br>elektrische Anlagen (EltBauV) ..... | 411        |
| 2.1.5.3    | Prüfverordnung .....                                                                  | 411        |
| 2.1.5.4    | Energieeinsparverordnung (EnEV).....                                                  | 412        |
| 2.1.5.5    | Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie (M-LÜAR).....                                       | 412        |
| 2.1.5.6    | Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie (MLAR) .....                                        | 412        |
| 2.1.6      | Anerkannte Regeln der Technik .....                                                   | 412        |
| 2.1.7      | Unfallverhütungsvorschriften .....                                                    | 413        |
| 2.1.8      | Brandschutzkonzept .....                                                              | 413        |
| 2.1.9      | Baugenehmigung .....                                                                  | 414        |

|               |                                                                             |            |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>2.1.10</b> | <b>Brandschutzmanagement .....</b>                                          | <b>415</b> |
| <b>2.1.11</b> | <b>Bauabnahme .....</b>                                                     | <b>415</b> |
| 2.1.11.1      | Öffentlich-rechtliche Abnahme .....                                         | 415        |
| 2.1.11.2      | Privatrechtliche Abnahme .....                                              | 415        |
| <b>2.1.12</b> | <b>Anwendung der baurechtlichen Vorschriften .....</b>                      | <b>416</b> |
| <b>2.2</b>    | <b>Unterschiedliche Gebäudenutzungen .....</b>                              | <b>416</b> |
| <b>2.2.1</b>  | <b>Arten der Gebäudenutzung .....</b>                                       | <b>416</b> |
| 2.2.1.1       | Nutzungskategorien/Nutzungsgruppen .....                                    | 416        |
| 2.2.1.2       | Formen der Mischnutzung .....                                               | 417        |
| 2.2.1.3       | Nutzungsbereiche nach DIN 277 .....                                         | 417        |
| <b>2.3</b>    | <b>Strukturen von Gebäuden .....</b>                                        | <b>419</b> |
| <b>2.4</b>    | <b>Grundlagen der Bauphysik .....</b>                                       | <b>419</b> |
| <b>2.4.1</b>  | <b>Fassaden .....</b>                                                       | <b>419</b> |
| 2.4.1.1       | Gestaltung der Fassade .....                                                | 420        |
| 2.4.1.2       | Funktion der Fassade .....                                                  | 420        |
| 2.4.1.3       | Material der Fassade .....                                                  | 420        |
| 2.4.1.4       | Konstruktion der Fassade .....                                              | 421        |
| 2.4.1.5       | Durchgangswerte bei Fassaden .....                                          | 422        |
| 2.4.1.5.1     | Sonnenstrahlung .....                                                       | 422        |
| 2.4.1.5.2     | Arten der Verglasung .....                                                  | 424        |
| 2.4.1.5.3     | Energieeinsparverordnung (EnEV) .....                                       | 430        |
| 2.4.1.5.4     | Energieeffizienz von Gebäuden mit Gebäudeautomation –<br>DIN EN 15232 ..... | 431        |
| 2.4.1.5.5     | Sommerlicher Wärmeschutz .....                                              | 431        |
| 2.4.1.5.6     | Winterlicher Wärmeschutz .....                                              | 431        |
| <b>2.4.2</b>  | <b>Wärmebedarf .....</b>                                                    | <b>432</b> |
| 2.4.2.1       | Meteorologische Randbedingungen und der Berechnungszeitraum .....           | 433        |
| 2.4.2.2       | Bestimmung der Wärmeverluste .....                                          | 434        |
| 2.4.2.3       | Wärmegewinne .....                                                          | 434        |
| 2.4.2.4       | Heizwärmebedarf .....                                                       | 435        |
| <b>2.4.3</b>  | <b>Kältebedarf/Kühllast .....</b>                                           | <b>435</b> |
| 2.4.3.1       | Innere Kühllasten .....                                                     | 436        |
| 2.4.3.2       | Äußere Kühllasten .....                                                     | 436        |
| 2.4.3.3       | Sommerkompensation .....                                                    | 436        |
| <b>2.4.4</b>  | <b>Speicherfähigkeit von Bauteilen .....</b>                                | <b>437</b> |

**2.5 Anforderungen an ein Gebäude .....439**

**2.5.1 Physiologische Grundlagen – der Mensch im Mittelpunkt der Technik .. 439**

2.5.1.1 Wärmehaushalt des Menschen ..... 439

2.5.1.2 Energiestoffwechsel..... 439

2.5.1.3 Körpertemperatur..... 440

2.5.1.4 Bekleidung ..... 440

**2.5.2 Die menschlichen Sinne ..... 440**

2.5.2.1 Temperatursinn ..... 440

2.5.2.2 Sehen ..... 440

2.5.2.3 Hören ..... 440

2.5.2.4 Riechen..... 440

2.5.2.5 Die Sinne des Menschen und die Gebäudeautomation ..... 440

**2.5.3 Behaglichkeit in Räumen ..... 441**

2.5.3.1 Behaglichkeit und Raumklima ..... 441

2.5.3.2 Thermische Behaglichkeit..... 442

2.5.3.3 Nicht thermische Behaglichkeit..... 442

2.5.3.4 Einflussgrößen auf die Behaglichkeit..... 443

2.5.3.4.1 Temperatur und operative Raumtemperatur ..... 443

2.5.3.4.2 Luftgeschwindigkeit und Turbulenzen..... 444

2.5.3.4.3 Luftfeuchte ..... 445

2.5.3.4.4 Luftbedarf des Menschen und Mindestaußenluftvolumenstrom ..... 447

2.5.3.4.5 Geräusche ..... 449

2.5.3.4.6 Licht ..... 450

**2.5.4 Meteorologische Daten und Elemente..... 452**

**2.6 Systeme der Technischen Gebäudeausrüstung .....453**

**2.6.1 Brandmeldeanlagen ..... 453**

2.6.1.1 Schnittstellen zur Brandmeldeanlage ..... 453

**2.6.2 Elektroakustische Warnanlagen..... 456**

2.6.2.1 Schnittstellen zur Elektroakustischen Warnanlage ..... 456

**2.6.3 Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA) ..... 458**

2.6.3.1 Wirkprinzipien ..... 458

2.6.3.1.1 Rauchabfuhr durch Verdünnung..... 458

2.6.3.1.2 Rauchabfuhr durch Schichtung ..... 458

2.6.3.1.3 Rauchfreihaltung durch Überdruck ..... 458

2.6.3.2 Schnittstellen zur Rauch- und Wärmeabzugsanlage..... 459

2.6.3.3 Projektierung von Schaltschränken für RWA..... 459

2.6.3.3.1 Grundlagen ..... 459

2.6.3.3.2 Klärung der Vorgaben und Schritte der Projektierung ..... 460

|        |                                                                      |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.6.4  | Schnittstellen zu Feuerlöschanlagen .....                            | 465 |
| 2.6.5  | Schnittstelle von der Gebäudeautomation zu Lüftungsanlagen.....      | 466 |
| 2.6.6  | Schnittstellen und Funktionen des Sonnenschutzes .....               | 466 |
| 2.6.7  | Schnittstellen und Funktionen des Blendschutzes.....                 | 466 |
| 2.6.8  | Schnittstellen und Funktionen der natürlichen Lüftung .....          | 466 |
| 2.6.9  | Schnittstellen und Klärungen zum Blitz- und Überspannungsschutz .... | 467 |
| 2.6.10 | Schnittstellen und Klärungen zur Elektrotechnik.....                 | 468 |
| 2.6.11 | Schnittstellen und Funktionen zu Beleuchtungsanlagen.....            | 469 |
| 2.6.12 | Schnittstellen zur Heizungsanlage .....                              | 469 |
| 2.6.13 | Schnittstellen zur Kälteanlage.....                                  | 469 |

### **3 Planung der Gebäudeautomation**

|       |                                                            |     |
|-------|------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1   | Vertragsverhältnisse und Vertragspartner im Bauwesen.....  | 471 |
| 3.1.1 | Planungsteam .....                                         | 472 |
| 3.1.2 | VOF/HOAI .....                                             | 472 |
| 3.1.3 | Fachkoordinator .....                                      | 473 |
| 3.1.4 | Fachingenieur .....                                        | 473 |
| 3.2   | Notwendigkeit einer Planung der Gebäudeautomation.....     | 474 |
| 3.2.1 | Herausforderungen .....                                    | 474 |
| 3.2.2 | Business as usual .....                                    | 474 |
| 3.2.3 | Gewerbliche Verkehrssitte.....                             | 475 |
| 3.2.4 | Datenpunkt als Schätzbasis .....                           | 475 |
| 3.2.5 | Nachteile der Datenpunkt-Kalkulation.....                  | 476 |
| 3.2.6 | Freier und fairer Wettbewerb .....                         | 476 |
| 3.2.7 | „Eingefahrene Leistung?“ .....                             | 477 |
| 3.2.8 | „1 Stück offene Kommunikation?“ .....                      | 477 |
| 3.2.9 | Koordination und Verantwortung.....                        | 477 |
| 3.3   | Gliederung in Kostengruppen nach DIN 276 .....             | 478 |
| 3.3.1 | Kostengruppe 481 Automationssysteme .....                  | 479 |
| 3.3.2 | Kostengruppe 482 Schaltschränke.....                       | 479 |
| 3.3.3 | Kostengruppe 483 Management- und Bedieneinrichtungen ..... | 479 |

3.3.4      **Kostengruppe 484 Raumautomationssysteme..... 480**

3.3.5      **Kostengruppe 485 Übertragungsnetze..... 480**

3.3.6      **Kostengruppe 489 Gebäudeautomation, Sonstiges ..... 480**

3.4        **Kostenermittlungsarten.....480**

3.4.1      **Kostenschätzung ..... 480**

3.4.2      **Kostenberechnung ..... 480**

3.4.3      **Kostenanschlag ..... 480**

3.4.4      **Kostenfeststellung ..... 481**

3.5        **Planungsphasen der HOAI für die Gebäudeautomation .....481**

3.5.1      **Leistungsphase 0 – Bedarfsplanung außerhalb der HOAI ..... 481**

3.5.1.1    Lastenheft und Pflichtenheft ..... 482

3.5.2      **Leistungsbild der Technischen Gebäudeausrüstung in der HOAI ..... 482**

3.5.2.1    Leistungsphase 1 – Grundlagenermittlung ..... 482

3.5.2.2    Leistungsphase 2 – Vorplanung ..... 483

3.5.2.3    Leistungsphase 3 – Entwurfsplanung ..... 483

3.5.2.4    Leistungsphase 4 – Genehmigungsplanung ..... 484

3.5.2.5    Leistungsphase 5 – Ausführungsplanung ..... 485

3.5.2.6    Leistungsphase 6 – Vorbereiten der Vergabe..... 486

3.5.2.7    Leistungsphase 7 – Mitwirken bei der Vergabe ..... 486

3.5.2.8    Leistungsphase 8 – Objektüberwachung..... 487

3.5.2.9    Leistungsphase 9 – Objektbetreuung ..... 488

3.5.2.10   Besondere Leistungen nach HOAI ..... 488

3.6        **Bestandteile der Planung der GA gemäß  
DIN EN ISO 16484-1.....488**

3.6.1      **Bestimmung der Projektanforderungen..... 488**

3.6.2      **Projektplanung und -organisation ..... 489**

3.6.3      **Auslegungsdokumente und technische Spezifikationen ..... 489**

3.7        **Ausschreibung und Vergabe.....489**

3.7.1      **Rechtliche Stellung der VOB ..... 489**

3.7.2      **Eine kurze Einführung in die VOB ..... 491**

3.7.2.1    Vergabeunterlagen ..... 491

3.7.2.2    VOB/A..... 492

3.7.2.3    VOB/B..... 493

3.7.2.4    VOB/C..... 493

|              |                                                                                   |            |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>3.7.3</b> | <b>Ausschreibungs- und Vergabeverfahren .....</b>                                 | <b>494</b> |
| <b>3.7.4</b> | <b>Ausschreibung.....</b>                                                         | <b>496</b> |
| 3.7.4.1      | Leistungsbeschreibung mit Leistungsverzeichnis (LV) .....                         | 496        |
| 3.7.4.2      | Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm<br>(„Funktionale Ausschreibung“)..... | 497        |
| <b>3.7.5</b> | <b>Leistungsverzeichnis (LV).....</b>                                             | <b>498</b> |
| 3.7.5.1      | Gliederung des Leistungsverzeichnisses .....                                      | 498        |
| 3.7.5.2      | Aufteilung in Fachlose .....                                                      | 498        |
| 3.7.5.3      | Teilleistungen .....                                                              | 499        |
| 3.7.5.4      | Wahlposition (Alternativposition).....                                            | 499        |
| 3.7.5.5      | Bedarfsposition (Eventualposition) .....                                          | 500        |
| 3.7.5.6      | Änderung der zu erbringenden Leistung .....                                       | 500        |
| 3.7.5.7      | Stückpreislisten.....                                                             | 500        |
| 3.7.5.8      | Einzukalkulierende Nebenleistungen.....                                           | 501        |
| 3.7.5.9      | Besondere Leistungen in der Gebäudeautomation .....                               | 501        |
| <b>3.7.6</b> | <b>Grundgedanke des GAEB und des Standardleistungsbuches .....</b>                | <b>502</b> |
| <b>3.7.7</b> | <b>Dokumentation der GA-Planung .....</b>                                         | <b>503</b> |
| <b>3.7.8</b> | <b>Technische Regeln als Planungshilfe.....</b>                                   | <b>504</b> |
| <b>3.7.9</b> | <b>Rationalisierung der GA-Planung .....</b>                                      | <b>505</b> |
| <b>3.8</b>   | <b>Klärung der Anforderungen .....</b>                                            | <b>506</b> |
| <b>3.8.1</b> | <b>Anforderungen aus dem Baurecht.....</b>                                        | <b>507</b> |
| <b>3.8.2</b> | <b>Vertragliche Anforderungen des Bauherrn .....</b>                              | <b>507</b> |
| 3.8.2.1      | Qualitäten und Umfang.....                                                        | 507        |
| 3.8.2.2      | Vorgaben durch Lastenhefte.....                                                   | 507        |
| <b>3.8.3</b> | <b>Strategien des Betriebes und Betreiberkonzept .....</b>                        | <b>508</b> |
| 3.8.3.1      | Betreiberkonzept und Bedienphilosophie .....                                      | 508        |
| 3.8.3.2      | Anlagenkennzeichnungssystem .....                                                 | 509        |
| 3.8.3.3      | Störmeldepriorisierung.....                                                       | 510        |
| 3.8.3.4      | CAFM-Systeme .....                                                                | 510        |
| 3.8.3.5      | Ausbau für Funktionalitäten aus anderen Systemen.....                             | 510        |
| 3.8.3.6      | Einbindung externer Firmen .....                                                  | 510        |
| <b>3.8.4</b> | <b>Anforderung an die Systeme aufgrund der Gebäudenutzung .....</b>               | <b>511</b> |
| <b>3.8.5</b> | <b>Planungsgrundlagen und Varianten in der Gebäudeautomation.....</b>             | <b>512</b> |
| 3.8.5.1      | Automationssysteme – Kostengruppe (KG) 481 .....                                  | 512        |
| 3.8.5.1.1    | Verfügbarkeit von Automationseinrichtungen .....                                  | 512        |
| 3.8.5.1.2    | Anordnung der Automationseinrichtungen.....                                       | 514        |
| 3.8.5.1.3    | Sicherheitssysteme in der Gebäudeautomation .....                                 | 516        |

|              |                                                                                 |            |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.8.5.1.4    | Feldgeräte.....                                                                 | 516        |
| 3.8.5.1.5    | Umfang des Feldbussystems .....                                                 | 517        |
| 3.8.5.1.6    | Aufbau des Feldbussystems.....                                                  | 518        |
| 3.8.5.1.7    | Anbindung von Fremdgeräten.....                                                 | 519        |
| 3.8.5.2      | Schaltschränke – Kostengruppe (KG) 482 .....                                    | 520        |
| 3.8.5.2.1    | Vorgaben aus Pflichtenheften.....                                               | 520        |
| 3.8.5.2.2    | Vorgaben an die Bedienbarkeit vor Ort.....                                      | 521        |
| 3.8.5.3      | Management- und Bedieneinrichtungen – Kostengruppe (KG) 483.....                | 522        |
| 3.8.5.3.1    | Visualisierung auf der Management- und Bedieneinrichtung (MBE).....             | 522        |
| 3.8.5.3.2    | Implementierung von weiteren Funktionalitäten in die MBE.....                   | 523        |
| 3.8.5.4      | Raumautomationssysteme – Kostengruppe (KG) 484 .....                            | 524        |
| 3.8.5.4.1    | Umfang der Integration der Geräte in das Bussystem.....                         | 524        |
| 3.8.5.4.2    | Lichtsteuerung .....                                                            | 525        |
| 3.8.5.4.3    | Sonnenschutz .....                                                              | 526        |
| 3.8.5.5      | Übertragungsnetze – Kostengruppe (KG) 485 .....                                 | 528        |
| 3.8.5.5.1    | Verfügbarkeit der Netzwerke und Bussysteme.....                                 | 528        |
| 3.8.5.5.2    | Aufbau eines redundanten Netzwerkes.....                                        | 528        |
| 3.8.5.5.3    | Klärung der Kommunikationsstrukturen im Netzwerk der GA.....                    | 529        |
| 3.8.5.6      | Gebäudeautomation, Sonstiges – Kostengruppe (KG) 489 .....                      | 530        |
| <b>3.9</b>   | <b>Auslegen und Dimensionieren des GA-Systems .....</b>                         | <b>530</b> |
| <b>3.9.1</b> | <b>Implementierung der Planungsgrundlagen und Anforderungen .....</b>           | <b>530</b> |
| <b>3.9.2</b> | <b>Festlegung eines Anlagenkennzeichnungssystems.....</b>                       | <b>530</b> |
| <b>3.9.3</b> | <b>Anforderungen an die Inbetriebnahme von Systemen .....</b>                   | <b>530</b> |
| <b>3.9.4</b> | <b>Klären der Informationen aus Fremdgeräten (VDI 3814 Blatt 5).....</b>        | <b>531</b> |
| <b>3.9.5</b> | <b>Planung der Schnittstellen innerhalb der GA und zu anderen Gewerken.....</b> | <b>532</b> |
| <b>3.9.6</b> | <b>Planung der Interoperabilität bei Systemintegrationen .....</b>              | <b>533</b> |
| 3.9.6.1      | Zeitsynchronisierung.....                                                       | 533        |
| 3.9.6.2      | Festlegung der Bediener-Zugriffskontrolle .....                                 | 533        |
| 3.9.6.3      | Gateway-Einsatz.....                                                            | 533        |
| 3.9.6.3.1    | Erweiterungen .....                                                             | 533        |
| 3.9.6.3.2    | Gateway Alarm- und Ereignisbehandlung .....                                     | 534        |
| 3.9.6.3.3    | GA-Funktionsliste .....                                                         | 534        |
| 3.9.6.4      | Systemerweiterungen .....                                                       | 534        |
| 3.9.6.5      | Gemeinsame systemweit genutzte Datenpunkte .....                                | 534        |
| 3.9.6.5.1    | Auftragspriorität .....                                                         | 534        |
| 3.9.6.5.2    | Zustandstexte und Anlagenparameter.....                                         | 535        |
| 3.9.6.6      | BACnet .....                                                                    | 535        |
| 3.9.6.6.1    | Zeichensatz .....                                                               | 536        |
| 3.9.6.6.2    | BACnet Beiblatt 070-12 im STLB-Bau.....                                         | 536        |

|               |                                                                                                                         |            |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>3.9.7</b>  | <b>Festlegen der Regelstrategien und nutzungsspezifischer Steuerungsaufgaben .....</b>                                  | <b>537</b> |
| 3.9.7.1       | Raumautomation .....                                                                                                    | 537        |
| 3.9.7.2       | Anlagenautomation .....                                                                                                 | 539        |
| <b>3.9.8</b>  | <b>Planung der Feldgeräte und Messstellen .....</b>                                                                     | <b>540</b> |
| 3.9.8.1       | Prüfen der notwendigen Feldgeräte .....                                                                                 | 540        |
| 3.9.8.2       | Festlegen der Messstellen und Einbauorte .....                                                                          | 540        |
| 3.9.8.3       | Dimensionierung der Sensoren und Aktoren/Stellgeräte .....                                                              | 541        |
| <b>3.9.9</b>  | <b>Zuordnen der GA- und Raumfunktionen zu den Automationseinrichtungen .....</b>                                        | <b>542</b> |
| 3.9.9.1       | Funktionen der Automationseinrichtung in der Raumautomationsfunktionsliste gemäß VDI 3813 Blatt 2 .....                 | 542        |
| 3.9.9.2       | Funktionen der Automationseinrichtung in der GA-Funktionsliste gemäß VDI 3814 Blatt 1 .....                             | 544        |
| <b>3.9.10</b> | <b>Planung der Management- und Bedieneinrichtung .....</b>                                                              | <b>545</b> |
| 3.9.10.1      | Anzeigen auf der Management- und Bedieneinrichtung .....                                                                | 545        |
| 3.9.10.1.1    | Bedienfunktionen .....                                                                                                  | 545        |
| 3.9.10.1.2    | Informationsdarstellung .....                                                                                           | 545        |
| 3.9.10.1.3    | Parameter-Bedienung .....                                                                                               | 545        |
| 3.9.10.1.4    | COV für analoge Eingabe, Ausgabe und Analogwert .....                                                                   | 545        |
| 3.9.10.1.5    | Datenpunktzustandsinformationen .....                                                                                   | 546        |
| 3.9.10.1.6    | Alarmer und Ereignisse .....                                                                                            | 546        |
| 3.9.10.1.7    | Anzeige und Bedienung von Zeitplänen .....                                                                              | 548        |
| 3.9.10.1.8    | Passwortschutz .....                                                                                                    | 549        |
| 3.9.10.1.9    | Meldungsklassenpriorität .....                                                                                          | 549        |
| 3.9.10.1.10   | Berichte und Berichtsprotokolle .....                                                                                   | 549        |
| 3.9.10.1.11   | Statischer und dynamischer Bildanteil .....                                                                             | 549        |
| 3.9.10.1.12   | Farbauswahl der Bildbestandteile .....                                                                                  | 549        |
| 3.9.10.2      | Management- und Bedienfunktionen in der Raumautomationsfunktionsliste gemäß VDI 3813 Blatt 2 .....                      | 550        |
| 3.9.10.3      | Management- und Bedienfunktionen in der GA-Funktionsliste gemäß VDI 3814 Blatt 1 .....                                  | 551        |
| <b>3.9.11</b> | <b>Erstellen der Raumautomations-Funktionslisten und des Raumautomationsschemas (RA-S) gemäß VDI 3813 Blatt 2 .....</b> | <b>552</b> |
| <b>3.9.12</b> | <b>Erstellen der GA-Funktionslisten und Automationsschemata gemäß VDI 3814 Blatt 1 .....</b>                            | <b>552</b> |
| <b>3.9.13</b> | <b>Planung des Netzwerkes der Gebäudeautomation .....</b>                                                               | <b>553</b> |
| 3.9.13.1      | Architektur des Netzwerkes .....                                                                                        | 553        |
| 3.9.13.2      | Verfügbarkeit .....                                                                                                     | 554        |
| 3.9.13.3      | Reaktionszeiten .....                                                                                                   | 554        |
| 3.9.13.4      | IP-Subnetze .....                                                                                                       | 554        |

|               |                                                                                              |            |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.9.13.5      | Protokollanalysatoren .....                                                                  | 556        |
| 3.9.13.6      | EMV für das GA-Netzwerk.....                                                                 | 556        |
| 3.9.13.7      | Struktur des Netzwerkes.....                                                                 | 556        |
| 3.9.13.8      | Erstellen des Netzwerkschemas.....                                                           | 558        |
| <b>3.9.14</b> | <b>Erstellen der elektrischen Leistungsbilanz.....</b>                                       | <b>558</b> |
| <b>3.9.15</b> | <b>Koordination mit dem Gewerk Elektrotechnik.....</b>                                       | <b>560</b> |
| <b>3.9.16</b> | <b>Erstellen der Trassen- und Installationsplanung.....</b>                                  | <b>561</b> |
| <b>3.9.17</b> | <b>Elektrische Betriebsmittelkoordination der Feldgeräte .....</b>                           | <b>562</b> |
| <b>3.9.18</b> | <b>Kabeldimensionierung und Kabellisten .....</b>                                            | <b>562</b> |
| 3.9.18.1      | Zulässiger Spannungsfall auf elektrischen Kabeln und Leitungen .....                         | 563        |
| 3.9.18.1.1    | Grundlagen .....                                                                             | 563        |
| 3.9.18.1.2    | Spannungsfall bei Gleichstrom .....                                                          | 563        |
| 3.9.18.1.3    | Spannungsfall bei Einphasenwechselstrom .....                                                | 564        |
| 3.9.18.1.4    | Spannungsfall bei Dreiphasenwechselstrom .....                                               | 565        |
| 3.9.18.2      | Schutz durch Abschaltung .....                                                               | 566        |
| 3.9.18.2.1    | TN-System mit Überstromschutzeinrichtung .....                                               | 567        |
| 3.9.18.2.2    | TN-System mit Fehlerstromschutzeinrichtung.....                                              | 568        |
| 3.9.18.2.3    | TT-System mit Fehlerstromschutzeinrichtung .....                                             | 569        |
| 3.9.18.2.4    | Erdungswiderstand $R_A$ .....                                                                | 569        |
| 3.9.18.3      | Strombelastbarkeit von Kabeln und Leitungen nach DIN VDE 0298.....                           | 571        |
| 3.9.18.3.1    | Strombelastbarkeit von Leitungen mit Grenztemperatur 70 °C .....                             | 571        |
| 3.9.18.3.2    | Strombelastbarkeit von Kabeln mit Grenztemperatur 70 °C.....                                 | 576        |
| 3.9.18.3.3    | Strombelastbarkeit von Leitungen und Kabeln mit anderen<br>Grenztemperaturen als 70 °C ..... | 579        |
| 3.9.18.3.4    | Strombelastbarkeit als quadratischer Mittelwert .....                                        | 579        |
| 3.9.18.3.5    | Strombelastbarkeit bei Kurzzeit- und Aussetzbetrieb .....                                    | 580        |
| 3.9.18.3.6    | Strombelastbarkeit bei parallel geschalteten Kabeln und Leitungen .....                      | 582        |
| 3.9.18.3.7    | Strombelastbarkeit bei gleichzeitig mehreren Umrechnungsfaktoren .....                       | 582        |
| 3.9.18.4      | Schutz vor Überlast bei Kabeln und Leitungen.....                                            | 582        |
| 3.9.18.4.1    | Auswahl der geeigneten Schutzeinrichtung.....                                                | 583        |
| 3.9.18.4.2    | Zuordnen der jeweiligen Überlastschutzeinrichtung .....                                      | 583        |
| 3.9.18.5      | Schutz von Leitungen und Kabeln bei Kurzschluss gemäß<br>DIN VDE 0100 Teil 430 .....         | 584        |
| 3.9.18.5.1    | Gemeinsame Schutzeinrichtung für Überlast und Kurzschluss.....                               | 584        |
| 3.9.18.5.2    | Berechnung der zulässigen Ausschaltzeit .....                                                | 584        |
| 3.9.18.6      | Dimensionierung/Bemessung von Kabeln und Leitungen .....                                     | 587        |
| 3.9.18.6.1    | Leitungen ohne Funktionserhalt .....                                                         | 587        |
| 3.9.18.6.2    | Leitungen mit Funktionserhalt.....                                                           | 587        |
| 3.9.18.7      | Dimensionierung des Schutzleiters gemäß DIN VDE 0100 Teil 540 .....                          | 589        |
| 3.9.18.7.1    | Bemessung von Schutzleitern durch Tabellen.....                                              | 589        |

|               |                                                                                                      |            |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.9.18.7.2    | Bemessung von Schutzleitern durch Berechnung .....                                                   | 589        |
| 3.9.18.7.3    | Bemessen der Potenzialausgleichsleiter .....                                                         | 590        |
| 3.9.18.8      | Selektivität .....                                                                                   | 590        |
| 3.9.18.8.1    | Planungsschritte für die Selektivitätsbetrachtung .....                                              | 593        |
| 3.9.18.8.2    | Selektivitätsnachweis .....                                                                          | 593        |
| 3.9.18.9      | Besonderheiten von Fassaden und integrierter Technik .....                                           | 594        |
| <b>3.9.19</b> | <b>Schaltschrankplanung und Planung der elektrischen Anlage .....</b>                                | <b>595</b> |
| 3.9.19.1      | Vorgaben des Bauherrn .....                                                                          | 595        |
| 3.9.19.2      | Software .....                                                                                       | 595        |
| 3.9.19.3      | Gehäuse des Schaltschranks .....                                                                     | 595        |
| 3.9.19.4      | Einspeisung des Schaltschranks .....                                                                 | 597        |
| 3.9.19.5      | Normalbetrieb und Sicherheitsbetrieb .....                                                           | 597        |
| 3.9.19.6      | Ab- und Zuschaltbedingungen aus externen Vorgaben .....                                              | 598        |
| 3.9.19.7      | Überspannungsschutz .....                                                                            | 598        |
| 3.9.19.8      | EMV-Kriterien .....                                                                                  | 599        |
| 3.9.19.9      | Auslösebedingungen und Stoßkurzschlussstrom .....                                                    | 601        |
| 3.9.19.10     | Bedienvorrichtungen am Schaltschrank .....                                                           | 601        |
| 3.9.19.11     | Erstellen der Kabellisten .....                                                                      | 601        |
| 3.9.19.12     | Planung des Leistungsteils der Komponenten .....                                                     | 602        |
| 3.9.19.13     | Planung des Steuerungsteils der Komponenten .....                                                    | 602        |
| 3.9.19.14     | Verlustwärme im Schrank .....                                                                        | 603        |
| 3.9.19.15     | Klimatisierungen .....                                                                               | 603        |
| <b>3.9.20</b> | <b>Erstellen des Leistungsverzeichnisses .....</b>                                                   | <b>604</b> |
| 3.9.20.1      | ATV und ZTV .....                                                                                    | 604        |
| 3.9.20.1.1    | ATV nach VOB Teil C Abschnitt 0 .....                                                                | 605        |
| 3.9.20.1.2    | ATV nach VOB Teil C Abschnitt 1 .....                                                                | 605        |
| 3.9.20.1.3    | ATV nach VOB Teil C Abschnitt 2 .....                                                                | 605        |
| 3.9.20.1.4    | ATV nach VOB Teil C Abschnitt 3 .....                                                                | 606        |
| 3.9.20.1.5    | ATV nach VOB Teil C Abschnitt 4 .....                                                                | 606        |
| 3.9.20.1.6    | ATV nach VOB Teil C Abschnitt 5 .....                                                                | 606        |
| 3.9.20.1.7    | ZTV (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen) .....                                               | 606        |
| 3.9.20.2      | Besondere Leistungen – Gebäudeautomation .....                                                       | 606        |
| 3.9.20.3      | Gliederung des Leistungsverzeichnisses .....                                                         | 607        |
| 3.9.20.4      | Leistungspositionen .....                                                                            | 607        |
| 3.9.20.5      | Nutzen des STLB-Bau LB 070 Gebäudeautomation für die Erstellung<br>des Leistungsverzeichnisses ..... | 608        |
| 3.9.20.5.1    | Gliederung .....                                                                                     | 608        |
| 3.9.20.5.2    | Standardbeschreibungen .....                                                                         | 608        |
| 3.9.20.5.3    | Bedieneinrichtungen, Managementeinrichtungen,<br>Automationseinrichtungen (Hardware) .....           | 608        |

3.9.20.5.4    Software Managementeinrichtungen ..... 609

3.9.20.5.5    Funktionen der Anlagen- und Raumautomation ..... 609

3.9.20.5.6    Netzwerke-GA, MSR-Verbindungen ..... 610

3.9.20.5.7    Gebäudesystemtechnik ..... 610

3.9.20.5.8    Schaltschränke ..... 610

3.9.20.5.9    Feldgeräte..... 611

3.9.20.5.10    Datenschnittstelleneinheiten ..... 611

3.9.20.5.11    Beiblätter und Anhänge ..... 611

3.9.20.6    Checkliste systemneutrales GA-Leistungsverzeichnis ..... 612

**4            Vergabe der Gebäudeautomation**

4.1            Angebot.....613

4.2            Angebotsprüfung und Vergabe .....616

**5            Errichten der Anlagen im Gewerk Gebäudeautomation**

5.1            Vorgaben durch die VOB.....617

5.2            Bestandteile der Ausführung der GA gemäß  
DIN EN ISO 16484 Teil 1 .....617

5.3            Prüfung der Planunterlagen .....619

5.4            Montageplanung.....619

5.4.1           Schritte der Montageplanung in der GA ..... 620

5.4.2           Erstellen der Automationsschemata und Funktionslisten  
mit Belegungslisten..... 621

5.4.3           Erstellen der Stromlaufpläne von Schaltschränken..... 621

5.4.3.1        Schaltplanerstellung ..... 624

5.4.4           Montageplanprüfung durch den Auftraggeber ..... 625

5.5            Schaltschrankbau .....626

5.6            Montage auf der Baustelle .....626

5.7            Schaltschrankkontrolle.....626

|             |                                                                                                            |            |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5.8</b>  | <b>Montagekontrolle.....</b>                                                                               | <b>627</b> |
| <b>5.9</b>  | <b>Baubegehung .....</b>                                                                                   | <b>627</b> |
| <b>5.10</b> | <b>Inbetriebnahme der Gebäudeautomation .....</b>                                                          | <b>628</b> |
| 5.10.1      | Inbetriebnahme nach DIN EN ISO 16484-1 .....                                                               | 628        |
| 5.10.2      | Installation.....                                                                                          | 629        |
| 5.10.3      | Inbetriebnahme des Schaltschranks .....                                                                    | 629        |
| 5.10.4      | Inbetriebnahme der Feldgeräte bis zur Automationseinrichtung .....                                         | 630        |
| 5.10.5      | Inbetriebnahme des Netzwerkes der Gebäudeautomation.....                                                   | 630        |
| 5.10.6      | Inbetriebnahme der Programme der Automationseinrichtungen .....                                            | 630        |
| 5.10.7      | Inbetriebnahme der Management- und Bedieneinrichtung .....                                                 | 631        |
| 5.10.8      | Inbetriebnahme der Verbindung der Automationsstation<br>sowie von anderen Netzwerkteilnehmern zur MBE..... | 632        |
| 5.10.9      | Inbetriebnahme des Gesamtsystems der Gebäudeautomation.....                                                | 632        |
| 5.10.10     | Inbetriebnahme und Einregulierung nach VOB .....                                                           | 632        |
| 5.10.11     | Funktionskontrolle .....                                                                                   | 633        |
| 5.10.12     | Vollprobetest .....                                                                                        | 633        |
| <b>5.11</b> | <b>Systemdokumentation .....</b>                                                                           | <b>633</b> |
| <b>5.12</b> | <b>Einweisung/Systemschulung.....</b>                                                                      | <b>634</b> |
| <b>5.13</b> | <b>Abnahme der Gebäudeautomation gemäß VOB .....</b>                                                       | <b>634</b> |
| 5.13.1      | Klassifizierung der Mängel .....                                                                           | 635        |
| 5.13.2      | Schlusskontrolle .....                                                                                     | 635        |
| <b>6</b>    | <b>Betreiben der Gebäudeautomation</b>                                                                     |            |
| <b>6.1</b>  | <b>Facility-Management und Gebäudeautomation .....</b>                                                     | <b>637</b> |
| <b>6.2</b>  | <b>Notwendigkeit der Instandhaltung der Systeme<br/>der Gebäudeautomation.....</b>                         | <b>637</b> |
| <b>6.3</b>  | <b>Wiederkehrende Prüfungen.....</b>                                                                       | <b>637</b> |
| <b>6.4</b>  | <b>Änderungen im Bestand.....</b>                                                                          | <b>638</b> |

**6.5            Optimierungen ..... 638**

**6.5.1        Optimierung von Betriebsabläufen ..... 638**

**6.5.2        Optimierung der Temperaturregelung ..... 638**

**6.5.3        Optimierung der Zentralanlagen ..... 638**

**6.5.4        Wiederholende Inbetriebnahme nach DIN EN ISO 16484-1 ..... 638**

  

**Anhang ..... 639**

**Anhang A: Widerstandstabelle Pt100 ..... 639**

**Anhang B: Widerstandstabelle Pt1000 ..... 640**

**Anhang C: Checkliste systemneutrales GA-LV mit BACnet ..... 641**

  

**Bildquellenverzeichnis..... 649**

  

**Internetadressen..... 651**

  

**Grafische Symbole RLT-Anlagenelemente..... 653**

  

**Abkürzungsverzeichnis..... 655**

  

**Literaturverzeichnis..... 661**

  

**Sachwortverzeichnis..... 687**