

**Fachhochschule**  
Wilhelmshaven  
Oldenburg  
Elsfleth

Vorlesung  
**Grundlagen der**  
**Elektrotechnik I**  
(EG I)

für Studierende  
des  
1. Semesters

Standort Wilhelmshaven  
Fachbereich Ingenieurwissenschaften  
Bereich Elektrotechnik

Prof. Dr.-Ing. H. Ahlers



## Literaturhinweise:

Auf dem Gebiet "Grundlagen der Elektrotechnik" gibt es eine Menge brauchbarer Lehrbücher, hier sei nur eines erwähnt:

- /1/ Moeller; Fricke; Frohne; Vaske:  
Grundlagen der Elektrotechnik;  
Teubner Verlag, Stuttgart 1986.

## Übersicht: Grundlagen der Elektrotechnik I bis III

1. Semester (6 Stunden)
1. Einführung
  2. Der einfache Gleichstromkreis
  3. Berechnung linearer Gleichstromnetze
  4. Energie und Leistung bei Gleichstrom
  5. Sonderabschnitte
  6. Wechselstrom, Einführung
2. Semester (6 Stunden)
6. Wechselstrom, Fortsetzung
  7. Elektrisches Strömungsfeld
  8. Elektrostatisches Feld
3. Semester (4 Stunden)
9. Magnetisches Feld
  10. Schaltvorgänge

# Gliederung: Grundlagen der Elektrotechnik I

## 1. Einführung

- 1.1. Schreibweise physikalischer und technischer Gleichungen
- 1.2. Numerisches Rechnen, Rechnen mit Näherungswerten
- 1.3. Das Internationale Maßsystem: SI-System
- 1.4. Schreibweise und Konventionen
- 1.5. Ein paar Daten zur Geschichte der Elektrotechnik

## 2. Der einfache Gleichstromkreis

- 2.1. Definitionen und Grundbegriffe
- 2.2. Ohmsches Gesetz
- 2.3. Kirchhoffsche Regeln
- 2.4. Ersatzwiderstände
- 2.5. Strom- und Spannungsteiler
- 2.6. Strom- Spannungs- und Widerstandsmessungen
- 2.7. Ersatzquellen

## 3. Berechnung linearer Gleichstrom-Netze

- 3.1. Einleitung
- 3.2. Anwendung Ohmscher und Kirchhoffscher Gesetze
- 3.3. Maschenstrom-Verfahren
- 3.4. Netz-Umwandlung
  - 3.4.1. Ersatzwiderstand
  - 3.4.2. Quellenumwandlung
  - 3.4.3. Stern-Dreieck- und Dreieck-Stern-Umwandlung
  - 3.4.4. Verlegung idealer Stromquellen
  - 3.4.5. Umwandlung idealer Quellen
- 3.5. Überlagerungssatz
- 3.6. Ersatzquelle
- 3.7. Knotenpunkt-Potential-Verfahren
- 3.8. Tricks bei Netzwerksberechnungen
  - 3.8.1. Symmetrie-Überlegungen
  - 3.8.2. Netzwerkentkopplung durch ideale Spannungsquellen
  - 3.8.3. Netzwerkentkopplung durch ideale Stromquellen

## 4. Energie und Leistung

- 4.1. Spannung, Potential, Feldstärke, Kraft
- 4.2. Bestimmungsgleichung der elektrischen Energie
- 4.3. Energiearten
- 4.4. Energiewandler
- 4.5. Elektrische Leistung
- 4.6. Elektrisches Erwärmen
- 4.7. Mechanische Leistung und Energie
- 4.8. Energieübertragung über Gleichstromleitungen

## 5. Sonderabschnitte

- 5.1. Leiter, Halbleiter, Isolatoren
- 5.2. Nichtlineare Gleichstromkreise
- 5.3. Thermoelektrische Erscheinungen
- 5.4. Elektrochemische Vorgänge

# Inhaltsverzeichnis: Grundlagen der Elektrotechnik I

|   |    |
|---|----|
| 1. Einführung   | 1  |
| 1.1. Schreibweise physikalischer und technischer Gleichungen                            | 1  |
| 1.2. Numerisches Rechnen, Rechnen mit Näherungswerten                                   | 1  |
| 1.3. Das Internationale Maßsystem: SI-System  | 2  |
| 1.3.1. Die SI-Grundeinheiten  | 2  |
| 1.3.2. Vielfache der Grundeinheiten   | 3  |
| 1.3.3. Abgeleitete Einheiten  | 3  |
| 1.3.4. Das Rechnen mit Einheiten  | 9  |
| 1.4. Schreibweise und Konventionen  | 11 |
| 1.5. Ein paar Daten zur Geschichte der Elektrotechnik                                   | 12 |
| 1.6. Aufgaben und Fragen  | 13 |
| 2. Der einfache Gleichstromkreis  | 17 |
| 2.1. Definitionen und Grundbegriffe   | 17 |
| 2.1.1. Atommodelle und Molekülmodelle   | 17 |
| 2.1.2. Was ist Strom  | 18 |
| 2.1.3. Was ist Spannung   | 19 |
| 2.1.4. Stromleitung im Elektrolyten   | 20 |
| 2.1.5. Stromleitung in Metallen   | 21 |
| 2.1.6. Ladung   | 21 |
| 2.1.7. Zusammenhang Ladung und Strom  | 22 |
| 2.1.8. Stromdichte  | 22 |
| 2.1.9. Ladungsträger-Geschwindigkeit in einem Leiter                                    | 22 |
| 2.1.10. Minimal-Stromkreis  | 24 |
| 2.1.11. Wirkung des elektrischen Stromes  | 24 |
| 2.1.12. Übungen, Aufgaben und Fragen zu Abschnitt 2.1                                   | 25 |
| 2.2. Ohmsches Gesetz  | 30 |
| 2.2.1. Formabhängigkeit des Widerstandes  | 31 |
| 2.2.2. Temperaturabhängigkeit von Widerständen  | 33 |
| 2.2.3. Material-Werte   | 34 |
| 2.2.4. Übungen, Aufgaben und Fragen zu Abschnitt 2.2                                    | 35 |
| 2.3. Kirchhoffsche Regeln   | 38 |
| 2.3.1. Erstes Kirchhoffsche Gesetz  | 38 |
| 2.3.2. Zweites Kirchhoffsche Gesetz   | 39 |
| 2.3.3. Übungen, Aufgaben und Fragen zu Abschnitt 2.3                                    | 40 |
| 2.4. Ersatzwiderstände  | 43 |
| 2.4.1. Ersatzreihenwiderstand   | 43 |
| 2.4.2. Ersatzparallelwiderstand   | 44 |
| 2.4.3. Berechnung von Netzen mit einer Spannungsquelle mit Hilfe des Ersatzwiderstandes | 45 |
| 2.4.4. Fragen und Aufgaben zu Abschnitt 2.4   | 48 |
| 2.5. Strom- und Spannungsteiler   | 49 |
| 2.5.1. Spannungsteiler  | 49 |
| 2.5.2. Stromteiler  | 51 |
| 2.5.3. Potentiometer als Spannungsteiler  | 52 |
| 2.5.3.1. Unbelastetes Potentiometer   | 52 |
| 2.5.3.2. Belastetes Potentiometer   | 53 |
| 2.5.4. Übungen, Aufgaben und Fragen zu Abschnitt 2.5                                    | 54 |
| 2.6. Strom- Spannungs- und Widerstandsmessungen   | 56 |
| 2.6.1. Strom-Messung  | 56 |
| 2.6.1.1. Prinzip und ESB  | 56 |
| 2.6.1.2. Messbereichserweiterung  | 57 |
| 2.6.2. Spannungsmessung   | 58 |
| 2.6.2.1. Prinzip und ESB  | 58 |
| 2.6.2.2. Messbereichserweiterung  | 59 |
| 2.6.3. Widerstandsmessung   | 60 |
| 2.6.3.1. Ohmsches Gesetz  | 60 |
| 2.6.3.2. Direkt anzeigende Widerstandsmessgeräte  | 60 |
| 2.6.3.3. Widerstands-Messbrücke   | 61 |

|   |     |
|---|-----|
| 2.6.3.3.1. Prinzip  | 61  |
| 2.6.3.3.2. Messung mit dekadischen Normal-Widerständen        | 64  |
| 2.6.3.3.3. Messung mit Potentiometer                          | 64  |
| 2.6.4. Aufgaben und Fragen zu Abschnitt 2.6                   | 65  |
| 2.7. Ersatzquellen  | 66  |
| 2.7.1. Ersatz-Spannungsquelle                                 | 66  |
| 2.7.1.1. Ersatzschaltbild                                     | 66  |
| 2.7.1.2. Kennlinie der Quelle                                 | 67  |
| 2.7.1.3. Grafische U-Bestimmung                               | 68  |
| 2.7.2. Ersatz-Stromquelle                                     | 70  |
| 2.7.2.1. Ersatzschaltbild                                     | 70  |
| 2.7.2.2. Kennlinie  | 70  |
| 2.7.2.3. Belastete Stromquelle                                | 71  |
| 2.7.3. Umrechnung zwischen Ersatz- Strom- und Spannungsquelle | 71  |
| 2.7.4. Geregelttes Netzteil                                   | 72  |
| 2.7.5. Aufgaben und Fragen zu Abschnitt 2.7                   | 73  |
| <br>  |     |
| 3. Berechnung linearer Gleichstrom-Netze                      | 75  |
| 3.1. Einleitung   | 75  |
| 3.1.1. Allgemeines  | 75  |
| 3.1.2. Begriffe   | 75  |
| 3.1.3. Normierung   | 76  |
| 3.1.4. Beispielnetze  | 77  |
| 3.1.5. Fragen und Aufgaben zu Abschnitt 3.1                   | 82  |
| 3.2. Anwendung Ohmscher und Kirchhoffscher Gesetze            | 83  |
| 3.2.1. Methode  | 83  |
| 3.2.2. Berechnung des Beispiel-Netzwerkes                     | 85  |
| 3.2.3. Zusammenfassung  | 89  |
| 3.2.4. Beispiele zu Knoten und Maschenanalyse                 | 90  |
| 3.2.5. Fragen und Aufgaben zu Abschnitt 3.2                   | 91  |
| 3.3. Maschenstrom-Verfahren                                   | 94  |
| 3.3.1. Einführung von Maschenströmen                          | 94  |
| 3.3.2. Schema zum Maschenstrom-Verfahren                      | 97  |
| 3.3.3. Beispiele zum Maschenstromverfahren                    | 98  |
| 3.3.4. Maschenstrom-Verfahren für Rechner                     | 100 |
| 3.3.4.1. Allgemeine Herleitung                                | 100 |
| 3.3.4.2. Herleitung am Beispiel                               | 104 |
| 3.3.5. Fragen und Aufgaben zu Abschnitt 3.3                   | 109 |
| 3.4. Netz-Umwandlung  | 111 |
| 3.4.1. Ersatzwiderstand                                       | 111 |
| 3.4.2. Quellenumwandlung                                      | 112 |
| 3.4.2.1. Umwandlung Strom- und Spannungsquellen               | 112 |
| 3.4.2.2. Reihenschaltung idealer Spannungsquellen             | 112 |
| 3.4.2.3. Parallelschaltung idealer Stromquellen               | 112 |
| 3.4.2.4. Beispiele zur Umwandlung Strom- und Spannungsquellen | 113 |
| 3.4.3. Stern-Dreieck- und Dreieck-Stern-Umwandlung            | 115 |
| 3.4.3.1. Vorbetrachtung                                       | 115 |
| 3.4.3.2. Dreieck-Stern-Umwandlung                             | 116 |
| 3.4.3.3. Stern-Dreieck-Umwandlung                             | 119 |
| 3.4.4. Verlegung idealer Strom-Quellen                        | 121 |
| 3.4.5. Umwandlung idealer Quellen                             | 122 |
| 3.4.5.1. Umwandlung idealer Spannungsquellen                  | 122 |
| 3.4.5.2. Umwandlung idealer Stromquellen                      | 122 |
| 3.4.6. Aufgaben zu Abschnitt 3.4                              | 124 |
| 3.5. Überlagerungssatz  | 126 |
| 3.5.1. Fragen und Aufgaben zu Abschnitt 3.5                   | 128 |
| 3.6. Ersatzquelle   | 129 |
| 3.6.1. Mathematische Theorie                                  | 129 |
| 3.6.2. Physikalische Theorie                                  | 131 |
| 3.6.3. Schema zu Ersatz-Spannungsquelle                       | 132 |
| 3.6.4. Beispiele und Aufgaben                                 | 132 |
| 3.7. Knotenpunkt-Potenzial-Verfahren                          | 135 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.7.1. Einführung von Knotenpunkt-Potenzialen . . . . .                      | 135 |
| 3.7.2. Ableitung des Knotenpunkt- Potenzial-Verfahrens am Beispiel . . . . . | 136 |
| 3.7.3. Schema zum manuellen Knotenpunkt-Potenzial-Verfahren . . . . .        | 137 |
| 3.7.4. Knotenpunkt-Potenzial-Verfahrens für Rechner . . . . .                | 140 |
| 3.7.4.1. Mathematische Herleitung . . . . .                                  | 140 |
| 3.7.4.2. Physikalische Herleitung am Beispiel . . . . .                      | 142 |
| 3.7.4.3. Auswertung der Formeln . . . . .                                    | 144 |
| 3.7.5. Schema zum Knotenpunkt-Potenzial-Verfahren für Rechner . . . . .      | 145 |
| 3.7.6. Fragen und Aufgaben . . . . .   | 147 |
| 3.8. Tricks bei Netzwerksberechnungen . . . . .                              | 150 |
| 3.8.1. Symmetrie-Überlegungen . . . . .                                      | 150 |
| 3.8.2. Netzwerkentkopplung durch ideale Spannungsquellen . . . . .           | 151 |
| 3.8.3. Netzwerkentkopplung durch ideale Stromquellen . . . . .               | 154 |
| 3.8.4. Aufgaben zu Abschnitt 3.8 . . . . .                                   | 156 |
| 3.9. Zusammenfassung der Verfahren für lineare Netzwerke . . . . .           | 159 |
| <br>   |     |
| 4. Energie und Leistung . . . . .  | 160 |
| 4.1. Spannung, Potenzial, Feldstärke, Kraft . . . . .                        | 160 |
| 4.1.1. Potenzial und Feldstärke . . . . .                                    | 160 |
| 4.1.2. Spannung in SI-Einheiten . . . . .                                    | 161 |
| 4.1.3. Beispiele, Fragen und Aufgaben zu Abschnitt 4.1 . . . . .             | 162 |
| 4.2. Bestimmungsgleichung der elektrischen Energie . . . . .                 | 164 |
| 4.3. Energiearten . . . . .  | 165 |
| 4.3.1. Energie und Arbeit . . . . .  | 165 |
| 4.3.2. Potentielle mechanische Energie . . . . .                             | 165 |
| 4.3.3. Kinetische Energie . . . . .  | 165 |
| 4.3.4. Druckenergie . . . . .  | 166 |
| 4.3.4.1. Druckenergie eines geschlossenen Systems . . . . .                  | 166 |
| 4.3.4.2. Arbeit im Druckfeld bei Volumenstrom . . . . .                      | 166 |
| 4.3.5. Thermische Energie . . . . .  | 166 |
| 4.3.6. Schmelzwärme und Verdampfungsenergie . . . . .                        | 167 |
| 4.3.7. Mechanische Reibungsverluste . . . . .                                | 167 |
| 4.3.8. Magnetische Energie . . . . .   | 167 |
| 4.3.9. Energie des elektrischen Feldes . . . . .                             | 168 |
| 4.3.10. Elektromagnetische Energie . . . . .                                 | 168 |
| 4.3.11. Bindungsenergie . . . . .  | 168 |
| 4.3.11.1. Chemische Energie . . . . .  | 169 |
| 4.3.11.2. Kernenergie . . . . .  | 169 |
| 4.3.12. Fragen zu Abschnitt 4.3 . . . . .                                    | 170 |
| 4.4. Energiewandler . . . . .  | 171 |
| 4.4.1. Wandlung in elektrische Energie . . . . .                             | 171 |
| 4.4.1.1. Generatoren . . . . .   | 171 |
| 4.4.1.2. Akkumulator, Batterie . . . . .                                     | 171 |
| 4.4.1.3. Thermoelemente . . . . .  | 171 |
| 4.4.1.4. Fotoelement, Fozelle, Solarzelle . . . . .                          | 171 |
| 4.4.2. Wandlung der elektrischen Energie . . . . .                           | 171 |
| 4.4.2.1. Motore . . . . .  | 171 |
| 4.4.2.2. Elektrowärme . . . . .  | 171 |
| 4.4.2.3. Elektrochemie . . . . .   | 172 |
| 4.4.2.4. Beleuchtung . . . . .   | 172 |
| 4.4.3. Turbine . . . . .   | 172 |
| 4.4.4. Kraftwerke . . . . .  | 172 |
| 4.4.5. Fragen und Aufgaben zu Abschnitt 4.4 . . . . .                        | 173 |
| 4.5. Elektrische Leistung . . . . .  | 174 |
| 4.5.1. Leistung an einem ohmschen Widerstand . . . . .                       | 174 |
| 4.5.2. Leistungsbilanz und Wirkungsgrad . . . . .                            | 175 |
| 4.5.3. Leistungsanpassung . . . . .  | 175 |
| 4.5.4. Fragen und Aufgaben zu Abschnitt 4.5 . . . . .                        | 181 |
| 4.6. Elektrisches Erwärmen . . . . .   | 183 |
| 4.6.1. Beispiele und Aufgaben zu Abschnitt 4.6 . . . . .                     | 184 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.7. Mechanische Leistung und Energie . . . . .                      | 186 |
| 4.7.1. Beispiele und Aufgaben zu Abschnitt 4.7 . . . . .             | 186 |
| 4.8. Energieübertragung über Gleichstromleitungen . . . . .          | 187 |
| 4.8.1. Beispiele, Fragen und Aufgaben zu Abschnitt 4.8 . . . . .     | 188 |
| 5. Sonderabschnitte . . . . .  | 190 |
| 5.1. Leiter, Halbleiter, Isolatoren . . . . .                        | 190 |
| 5.1.1. Bereiche des spezifischen Widerstandes . . . . .              | 190 |
| 5.1.2. Bändermodell . . . . .  | 191 |
| 5.1.3. Die elektrische Leitfähigkeit . . . . .                       | 192 |
| 5.1.4. Halbleitung . . . . .   | 193 |
| 5.1.4.1. Eigenleitung . . . . .                                      | 193 |
| 5.1.4.2. Störstellenleitung . . . . .                                | 196 |
| 5.1.5. Der p-n-Übergang . . . . .                                    | 198 |
| 5.1.6. Opto-Elektronik . . . . .                                     | 205 |
| 5.1.7. Maximale Verlustleistung (Verlustleistungshyperbel) . . . . . | 206 |
| 5.1.8. VDR-Widerstände . . . . .                                     | 206 |
| 5.1.9. Fragen und Aufgaben zu Abschnitt 5.1 . . . . .                | 207 |
| 5.2. Nichtlineare Gleichstromkreise . . . . .                        | 211 |
| 5.2.1. Grafische Methode . . . . .                                   | 211 |
| 5.2.2. Grafische Reihenschaltung . . . . .                           | 213 |
| 5.2.3. Grafische Parallelschaltung . . . . .                         | 214 |
| 5.2.4. Polynom-Annäherung . . . . .                                  | 215 |
| 5.2.5. Linearisierung im Arbeitspunkt . . . . .                      | 216 |
| 5.2.6. Lineare Ersatzschaltung . . . . .                             | 218 |
| 5.2.7. Beispiele, Fragen und Aufgaben zu Abschnitt 5.2 . . . . .     | 220 |
| 5.3. Thermoelektrische Erscheinungen . . . . .                       | 237 |
| 5.3.1. Temperaturabhängigkeit des Widerstandes . . . . .             | 237 |
| 5.3.1.1. Metalle und Halbleiter . . . . .                            | 237 |
| 5.3.1.2. NTC und PTC Widerstände . . . . .                           | 240 |
| 5.3.1.3. Temperaturkompensation . . . . .                            | 241 |
| 5.3.2. Übergang zwischen zwei Materialien . . . . .                  | 245 |
| 5.3.2.1. Seebeck-Effekt, Thermoelement . . . . .                     | 245 |
| 5.3.2.2. Peltier-Effekt . . . . .                                    | 247 |
| 5.4. Elektrochemische Vorgänge . . . . .                             | 250 |
| 5.4.1. Elektrolyt . . . . .  | 250 |
| 5.4.2. Elektrolyse und Stromleitung . . . . .                        | 251 |
| 5.4.3. Elektrochemische Spannungserzeugung . . . . .                 | 253 |
| 5.4.3.1. Galvanische Elemente . . . . .                              | 257 |
| 5.4.3.2. Akkumulator . . . . .                                       | 258 |
| 5.4.4. Frage und Aufgaben zu Abschnitt 5.4 . . . . .                 | 260 |