



Kfz – Elektrik

Notizen

Jan Unger

Version: 17. Juli 2022

Dozent 1

Horst Weinkauff

Dozent 2

Benjamin Herrmann

Zusammenfassung

»Es gibt Abenteuer, die man sich besser erspart. Eine Deutschlandtour mit einem Elektroauto gehört dazu.«

– Dohmen, Frank, Hage, Simon

(Chaos an der Tanke, in Der Spiegel 26/26.6.2020)

Bücher:

- Motormanagement Sensoren, Schneehage [7].
- Techn. Mathe, Bell u. a. [3].
- Formelsammlung, Bell, Elbl und Schüler [1].
- Tabellenbuch, Bell, Elbl und Schüler [2].
- Prüfungsfragen (VOGEL), Schlüter und Deussen [6].
- Fachkunde Kfz-Technik, Brand u. a. [4].

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen der Elektrotechnik	1
1.1 Spannung	1
1.2 Widerstand	1
1.3 Strom	1
1.4 Multimeter (Messen, Besonderheiten)	1
1.5 Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters	2
1.6 Rechte Handregel (Generator Regel)	2
1.7 Linke Handregel (Motor Regel)	2
1.8 Das Ohmsche Gesetz	2
1.9 Festlegen des Nordpols einer stromdurchflossenen Spule	2
1.10 Einsatz von Widerständen	3
1.11 Zusammenhang zwischen Stromdichte und Leitungsquerschnitt	3
1.12 Leiterwiderstand	3
1.13 Reihenschaltung von Widerständen	4
1.14 Innenwiderstand von Spannungsquellen	4
1.15 Relais	4
1.16 Parallelschaltung von Widerständen	4
1.17 Leistung	5
1.18 Spannungsverlust, Spannungsfall	5
1.19 Potenzialbestimmung	5
2 Grundlagen der Elektrotechnik II	7
2.1 Pulsweitenmodulation	7
2.2 Halbleiter	7
2.2.1 P-Leiter und N-Leiter	8
2.2.2 Sensoren und Aktoren	8
3 Formelsammlung – Elektrik	11
3.1 Grundlagen	11
3.2 Fach Elektrotechnik	12
4 Übungen	17
4.1 Ü01 Fragen zum Schaltplan Audi-A3 - Lösung	17
4.2 Ü02 Motor startet nicht. Welche Fragen stellen Sie den Kunden? - Lösung	18
4.3 Ü03 Prüfungshinweise - Automatikgetriebe	19
5 Diagnose	21
5.1 Ablauf der Messungen	24

Inhaltsverzeichnis

6 Sensoren	27
Literaturverzeichnis	31

1 Grundlagen der Elektrotechnik

1.1 Spannung

Spannung ist das Ausgleichsbestreben der Elektronen von negativem Pol zum positiven Pol.

1.2 Widerstand

Widerstand ist das Hemmen der Fortbewegung durch die Atome des Leiterwerkstoffes, auf die die Elektronen treffen, um sich durch den Leiter zu bewegen.

1.3 Strom

Strom ist die gerichtete Bewegung der Elektronen. Ursache für den Stromfluss ist die Spannung.

1.4 Multimeter (Messen, Besonderheiten)

Multimeter ist ein Multifunktionsgerät, das Spannungsmesser, Strommesser, Widerstandsmesser vereint.

Widerstandsmessung Bauteil/Leitung vollständig aus dem Stromkreis trennen. Messgerät legt Prüfstrom an, um den Widerstand zu messen.

Spannungsmessung Potenzialdifferenz bestimmen, hochohmig, Parallel zum Meßobjekt

Strommesser niederohmig, in Reihe zum Meßobjekt

1.5 Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters

Ist die technische Stromflussrichtung in beiden Seiten gleich, dann bildet sich ein Magnetfeld um die beiden Leiter herum.

Im Gegensatz dazu ist die technische Stromflussrichtung nicht gleich, bildet sich das Magnetfeld zwischen den beiden Leitern.

1.6 Rechte Handregel (Generator Regel)

Wir haben einen Dauermagneten, der Nordpol trifft in die Innenhandfläche.

Wenn ich bewege, d. h. die offene Handfläche dreht sich nach rechts, fließt der Strom Richtung Fingerspitzen.

1.7 Linke Handregel (Motor Regel)

Lasse ich Strom fließen, ist die Bewegung nach links.

1.8 Das Ohmsche Gesetz

Das ohmsche Gesetz zeigt die Beziehung zwischen Spannung, Strom und Widerstand im Stromkreis. Die Stromstärke steigt mit zunehmender Spannung und nimmt ab mit zunehmendem Widerstand.

$$\boxed{I = \frac{U}{R}} \quad \left[\frac{V}{\Omega} \right] = A \quad \boxed{R = \frac{U}{I}} \quad \left[\frac{V}{A} \right] = \Omega \quad \boxed{U = R \cdot I} \quad [\Omega \cdot A] = V$$

1.9 Festlegen des Nordpols einer stromdurchflossenen Spule

Wird eine stromdurchflossene Spule mit der rechten Hand so umfasst, dass die Finger in die technische Stromflussrichtung zeigen, so zeigt der abgespreizte Daumen in Richtung des Nordpols.

Anschluss dahinter gewickelt, dann zeigt der Daumen nach oben in Richtung Nordpol.

Anschluss davor gewickelt, dann zeigt der Daumen nach unten in Richtung Nordpol.

1.10 Einsatz von Widerständen

Spannung und Stromfluss zu begrenzen und dadurch Bauteile zu schützen.

Abhängig von Reihen-, Parallel- oder gemischte Schaltung.

Anwendung Reihenschaltung

- (1) Strombegrenzung
- (2) Spannungsteilung

Anwendung Parallelschaltung

- (1) Stromflusserhöhung

- (2) Leistungsteilung $R_{ges} = \frac{R_{Teil}}{n}$

1.11 Zusammenhang zwischen Stromdichte und Leitungsquerschnitt

Je größer die Fläche, desto kleiner die Stromdichte.

Kleine Fläche, große Stromdichte.

$$J = \frac{I}{A} \quad \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

$$A = \frac{\rho \cdot l \cdot I}{U_v} \quad \left[\frac{\Omega \cdot mm^2 \cdot m}{m \cdot \Omega} \right] = mm^2 \text{ (Mindestquerschnitt, Nennquerschnitt)}$$

$$\rho_{Cu} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

1.12 Leiterwiderstand

Leiterwiderstand ist abhängig von der Leiterlänge, Leiterwerkstoff und von der Leiterfläche.

Guter Leiter – ist das Material leitend vs. nicht leitend.

$$R_l = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad \left[\frac{\Omega \cdot mm^2 \cdot m}{m \cdot mm^2} \right] = \Omega \quad \rho_{Cu} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

$$\text{max. Leiterwiderstand} = 1 \Omega$$

1.13 Reihenschaltung von Widerständen

Spannungsteilerschaltung, an den einzelnen Widerständen fällt individuell eine Spannung ab. Alle Einzelspannungen zusammen addiert ergibt die Gesamtspannung.

Der Strom bleibt konstant.

1.14 Innenwiderstand von Spannungsquellen

Ist der Gesamtwiderstand aller Zellen, ist auch Temperaturabhängig.

Die Klemmenspannung unter Last ist um Spannungsfall niedriger als die Leerlaufspannung.

$$U_k = U_q - I \cdot R_i \quad [V - A \cdot \Omega \rightarrow V - V] = V$$

$$R_i = \frac{U_i}{I} \quad U_k = U_q - U_i - U_v \quad R_{ges} = R_i + R_l + R_{\ddot{u}} + R_{La}$$

1.15 Relais

Mit einem kleinen Steuerstrom kann ich einen hohen Laststrom schalten.

Wird unterschieden zwischen Schließer-, Öffner- und Wechselrelais.

Relaispulenwiderstand: 50 – 100 Ω

1.16 Parallelschaltung von Widerständen

Stromteilerschaltung, der abfallende Einzelstrom ergibt, addiert den Gesamtstrom.

Der Gesamtwiderstand der Schaltung ist immer kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.

Spannung ist überall gleich.

Ersatzwiderstand

$$R_{ges} = \frac{R_{Teil}}{n}$$

n = Anzahl der Widerstände (gleich große Widerstände)

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$\rightarrow R_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_{ges}} - \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3}} \quad \rightarrow R_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_{ges}} - \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_3}} \quad \rightarrow R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_{ges}} - \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}$$

1.17 Leistung

Leistung ist das Produkt aus Spannung und Strom.

Mit 1 Volt Spannung und 1 Ampere Strom haben wir 1 Watt Leistung.

$$\boxed{P = U \cdot I} \quad [V \cdot A] = W \quad \boxed{P = \frac{U^2}{R}} \quad \boxed{P = R \cdot I^2}$$

Lampe 12 V/55 W

$$R_{La} = \frac{U^2}{P} \quad I_{tat} = \frac{U_k}{R_{La}} = \frac{U_{ges} - U_v}{R_{La}} \quad P_{tat} = U_k \cdot I_{tat}$$

1.18 Spannungsverlust, Spannungsfall

Spannungsverlust in einem stromdurchflossenen Leiter entsteht in Folge des Leiterwiderstandes, der sich am Verbraucher als Verlust auswirkt.

$$U_{ges} = U_v + U_k \quad U_v = R_l \cdot I \quad U_k = U_{ges} - R_l \cdot I$$

$$\boxed{U_v = \frac{\rho \cdot l \cdot I}{A}} \quad \left[\frac{\Omega \cdot mm^2 \cdot m \cdot A}{m \cdot mm^2} \right] = V \quad \rho_{Cu} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \quad \boxed{U_{v_{max}} = 0,5 V}$$

1.19 Potenzialbestimmung

Um das Potenzial in einem Punkt im Stromkreis zu bestimmen, bezieht man sich auf das Bezugspotenzial. Masse- und Pluspotenzial.

2 Grundlagen der Elektrotechnik II

2.1 Pulsweitenmodulation

1. **PWM-Signal:** Rechtecksignal (vgl. Kennlinie)
2. **Messen:** Oszilloskop
3. **Ansteuerung:** 0 – 100 %, Impuls-Pause-Verhältnisänderung (nur Pulsweite ändert sich), aber Periodendauer / Frequenz bleibt konstant (keine Spannungsänderung!)
4. **Anwendung**
 - Elektromotor (Drehzahl)
 - Glühlampen (Helligkeit, dimmen)
 - Beleuchtung, Beispiel: Einfaden-Glühlampe (Standlicht + Bremslicht)

Die **Pulsweitenmodulation** (PWM) ist eine digitale Modulationsart, bei der eine technische Größe zwischen zwei Werten (Spannungspegel 0 V und VCC) wechselt. Dabei wird bei konstanter Frequenz ein Rechtecksignal moduliert, das in Pulsweite (*oder* Breite bzw. Länge) variiert. Das Verhältnis zwischen Impuls und Pause (Ein- und Ausschaltzeit) wird als **Tastgrad / Tastverhältnis** bezeichnet. **Anwendung** in der Steuer- und Regelungstechnik.

2.2 Halbleiter

Halbleiter ist ein kristalliner Stoff, der sich bei tiefen Temperaturen wie ein Isolator verhält und bei höheren Temperaturen nimmt die elektrische Leitfähigkeit zu. Der Widerstand ist temperaturabhängig.

Material Beispiel: reines Silizium / Germanium

Anwendung Beispiel: Diode, Transistor

Dotieren reines Silizium / Germanium wird verunreinigt, um die elektrische Leitfähigkeit zu verbessern.

2.2.1 P-Leiter und N-Leiter

1. **P-Leiter** entsteht, wenn das Leitermaterial Silizium verunreinigt wird mit Bohr und bei *Elektronenmangel* enthält es freie positive Ladungen
2. **N-Leiter** entsteht, wenn das Leitermaterial Silizium verunreinigt wird mit Phosphor und bei *Elektronenüberschuss* enthält es freie negative Ladungen.

→ Legt man an den Halbleiterkristall eine elektrische Spannung an, dann kommt es zum Elektronenfluss, weil die Elektronen versuchen sich auszugleichen.

2.2.2 Sensoren und Aktoren

Sensoren erfassen physikalische Effekte (Druck, Temperatur) und wandeln diese in elektrische Signale um. (Sinne des Autos)

Aktoren wandeln elektrische Spannungssignale in physikalische Effekte um (Stellglieder, Ausführen).

NTC und PTC

1. **Heißleiter** → NTC-Widerstände bis 250°C
 - *negativer Temperatur-Koeffizient* → fallender Widerstand bei steigender Temperatur ↑↓
 - vgl. Kennlinie (x = Temperatur, y = Widerstand)
 - **Anwendung:** Temperatursensoren (Kühlmittel-, Kraftstoff-, Luft-, Motortemperaturfühler)
 - Schaltsymbol
 - typische Werte: Kalt: 2 – 4 kΩ und Warm: 200 – 400 Ω
 - *Leitfähigkeit* steigt mit zunehmender Temperatur
 - Widerstand und Spannungsfall am NTC werden kleiner
2. **Kaltleiter** → PTC-Widerstände bis 950 – 1000°C
 - *positiver Temperatur-Koeffizient* → zunehmender Widerstand bei steigender Temperatur ↑↑
 - vgl. Kennlinie (x = Temperatur, y = Widerstand)
 - **Anwendung:** Hochtemperaturbereich (Diesel-Abgastemperatursensoren), Glühkerzen, Heizungen von Lambdasonden
 - Schaltsymbol
 - *Leitfähigkeit* verringert sich mit zunehmender Temperatur

- Widerstand und Spannungsfall am PTC werden größer
- »Je höher der Widerstand, desto geringer der Stromfluss.«

3 Formelsammlung – Elektrik

3.1 Grundlagen

Eingabe Rechner

z. B. $20 \text{ mV} = 20.0 \times 10^{-3} \curvearrowright$ Rechner: $20\text{EE} - 3 = 0,02$

$$10^3 = 1.000 = 1.0 \times 10^3$$

$$10^{-3} = \frac{1}{1000} = 0,001 = 1.0 \times 10^{-3}$$

$$10^6 = 1.000.000 = 1.0 \times 10^6$$

$$10^{-6} = \frac{1}{1.000.000} = 0,000.001 = 1.0 \times 10^{-6}$$

Größen

$$K = 1.0 \times 10^3 \quad M = 1.0 \times 10^6 \quad G = 1.0 \times 10^9 \quad T = 1.0 \times 10^{12}$$

$$m = 1.0 \times 10^{-3} \quad \mu = 1.0 \times 10^{-6} \quad n = 1.0 \times 10^{-9} \quad p = 1.0 \times 10^{-12}$$

Einheiten

Faktor Länge 10, Fläche 100, Volumen 1000

$$\mu\text{m} \quad \text{mm} \quad \text{cm} \quad \text{dm} \quad \text{m} \quad \text{km}$$

$$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 \quad 10 \text{ ml} = 1 \text{ cl} = 0,01 \text{ l}$$

$$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \quad \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Prozent } 10 \% = \frac{10}{100} = 0,1$$

$$\text{km/h in m/s} \Rightarrow \frac{\text{km/h}}{3,6} \quad \frac{\text{km}}{\text{h}} \Rightarrow \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow \frac{1000}{3600}$$

$$\text{Stunden:Min:Sek in Dezimalstunden} \Rightarrow \text{h} + \frac{\text{Min}}{60} + \frac{\text{Sek}}{60 \cdot 60}$$

$$\text{Zoll in mm } 1 \text{ Zoll} = 25,4 \text{ mm}$$

$$\text{Kreisfläche } \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \quad \text{Hinweis: } \frac{\pi}{4} \approx 0,785$$

$$\text{Masse } m = V \cdot \rho \quad \text{Dichte bleibt immer gleich} \rightarrow \text{Volumen ändert sich}$$

$$\text{Volumen } V = A \cdot h$$

Umfang $Umfang = d \cdot \pi$

Drehmoment $M = F \cdot r$

3.2 Fach Elektrotechnik

SPANNUNG U Volt $[V]$

STROM I Ampere $[A]$

WIDERSTAND R Ohm $[\Omega]$

Reihe

1. Strombegrenzung
2. Spannungsteilung

Parallel

1. Stromflusserhöhung

2. Leistungsteilung $R_{ges} = \frac{R_{Teil}}{n}$

OHMSCHE GESETZ

$$I = \frac{U}{R} \quad \left[\frac{V}{\Omega}\right] = A \quad R = \frac{U}{I} \quad \left[\frac{V}{A}\right] = \Omega \quad U = R \cdot I \quad [\Omega \cdot A] = V$$

STROMDICHT

$$J = \frac{I}{A} \quad \left[\frac{A}{mm^2}\right] \quad I = J \cdot A \quad \left[\frac{A \cdot mm^2}{mm^2}\right] = A \quad A = \frac{I}{J} \quad \left[\frac{A \cdot mm^2}{A}\right] = mm^2$$

LEITWERT S Siemens

$$G = \frac{1}{R} \quad \left[\frac{1}{\Omega}\right] = S \quad R = \frac{1}{G} \quad \left[\frac{1}{S} = \Omega\right]$$

LEITERWIDERSTAND

$$R_l = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad \left[\frac{\Omega \cdot mm^2 \cdot m}{m \cdot mm^2}\right] = \Omega \quad A = \frac{\rho \cdot l}{R_l} \quad \left[\frac{\Omega \cdot mm^2 \cdot m}{m \cdot \Omega}\right] = mm^2$$

$$l = \frac{R_l \cdot A}{\rho} \quad \left[\frac{\Omega \cdot mm^2 \cdot m}{\Omega \cdot mm^2}\right] = m$$

SPEZIFISCHER WIDERSTAND ρ rho

$$\rho \quad \left[\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right] \quad \rho_{Cu} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

ELEKTRISCHE LEITFÄHIGKEIT κ Kappa

$$\kappa = \frac{1}{\rho} \quad \left[\frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right] \quad \kappa_{Cu} = 56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$$

REIHENSCHALTUNG

$$U_{ges} = U_{R_1} + U_{R_2} + U_{R_3} + \dots + U_{R_n} \quad [V + V + V] = V$$

$$U_{teil} = \frac{U_{ges}}{n} \quad \left[\frac{V}{1} \right] = V$$

$$I_{ges} = I_{R_1} = I_{R_2} = I_{R_3} = \dots = I_{R_n} \quad [A = A = A] = A$$

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad [\Omega + \Omega + \Omega] = \Omega$$

SPANNUNGSVERLUST (Spannungsfall)

$$U_{ges} = U_v + U_k; \quad U_k = U_{ges} - U_v; \quad U_v = U_{ges} - U_k$$

$$U_v = R_l \cdot I; \quad R_l = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad \left[\frac{\Omega \cdot mm^2 \cdot m}{m \cdot mm^2} \right] = \Omega$$

$$U_k = U_{ges} - R_l \cdot I$$

$$U_v = \frac{\rho \cdot l \cdot I}{A} \quad \left[\frac{\Omega \cdot mm^2 \cdot m \cdot A}{m \cdot mm^2} \right] = V \quad \rho_{Cu} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

$$U_v \% = \frac{U_v \cdot 100}{U_{ges}} \quad \left[\frac{V \cdot \%}{V} \right] = \%$$

$$U_{v_{max}} = 0,5 V$$

$$\text{max. Leiterwiderstand} = 1 \Omega \quad (\text{außer Starterhauptleitung})$$

INNENWIDERSTAND (von Spannungsquellen)

$$U_q = U_k + U_i \quad [V + V] = V$$

$$U_k = U_q - U_i \quad [V - V] = V$$

$$U_i = U_q - U_k \quad [V - V] = V$$

$$U_i = I \cdot R_i \quad [A \cdot \Omega] = V$$

$$U_k = I \cdot R_a \quad [A \cdot \Omega] = V$$

$$I = \frac{U_i}{R_i} \quad \left[\frac{V}{\Omega} \right] = A$$

$$I = \frac{U_k}{R_a} \quad \left[\frac{V}{\Omega} \right] = A$$

$$I = \frac{U_q}{R_{ges}} \quad \left[\frac{V}{\Omega} \right] = A$$

$$I = \frac{U_q}{R_i + R_a} \quad \left[\frac{V}{\Omega + \Omega} \right] = A$$

$$U_k = U_q - I \cdot R_i \quad [V - A \cdot \Omega \rightarrow V - V] = V$$

3 Formelsammlung – Elektrik

$$R_i = \frac{U_i}{I} \quad \left[\frac{V}{A} \right] = \Omega$$

$$U_k = U_q - U_i - U_v \quad R_{ges} = R_i + R_l + R_{\dot{u}} + R_{La}$$

Herleitung

$$U_k = U_q - I \cdot R_i \quad | + I \cdot R_i$$

$$U_k + I \cdot R_i = U_q - I \cdot R_i + I \cdot R_i \quad | - U_k$$

$$-U_k + U_k + I \cdot R_i = U_q - U_k \quad | : I$$

$$\frac{I \cdot R_i}{I} = \frac{U_q - U_k}{I} \quad \left[\frac{V - V}{A} \rightarrow \frac{V}{A} \right] = \Omega$$

$$R_i = \frac{U_i}{I}$$

PARALLELSCHALTUNG

$$I_{ges} = I_{R_1} + I_{R_2} + I_{R_3} + \dots + I_{R_n} \quad [A + A + A] = A$$

$$U_{ges} = U_{R_1} = U_{R_2} = U_{R_3} = \dots = U_{R_n} \quad [V = V = V] = V$$

$$R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}} \quad \left[\frac{1}{\frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega} + \frac{1}{\Omega}} = \frac{1}{\frac{3}{\Omega}} = \frac{\Omega}{3} \right] = \Omega$$

$$\text{Ersatzwiderstand} \quad R_{ges} = \frac{R_{Teil}}{n} \quad \left[\frac{\Omega}{1} \right] = \Omega \quad \rightarrow \text{Anzahl } n = \frac{R_{Teil}}{R_{ges}} \quad \left[\frac{\Omega}{\Omega} \right] = 1$$

n = Anzahl der Widerstände (gleich große Widerstände)

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$\rightarrow R_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_{ges}} - \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3}} \quad \rightarrow R_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_{ges}} - \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_3}} \quad \rightarrow R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_{ges}} - \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}$$

LEISTUNG P (Power) Watt, [W], [kW]

$$P = U \cdot I \quad [V \cdot A] = W$$

$$U = \frac{P}{I} \quad \left[\frac{W}{A} \rightarrow \frac{V \cdot A}{A} \right] = V$$

$$I = \frac{P}{U} \quad \left[\frac{W}{V} \rightarrow \frac{V \cdot A}{V} \right] = A$$

wenn I fehlt (Einsetzverfahren)

$$P = U \cdot I \quad [V \cdot A] = W, \quad I = \frac{U}{R} \quad \left[\frac{V}{\Omega} \right] = A$$

$$P = U \cdot \frac{U}{R} \rightarrow \boxed{P = \frac{U^2}{R}} \quad \left[\frac{V \cdot V}{\Omega} \rightarrow A \cdot V \right] = W$$

wenn U fehlt (Einsetzverfahren)

$$P = U \cdot I \quad [V \cdot A] = W, \quad U = R \cdot I \quad [\Omega \cdot A] = V$$

$$P = R \cdot I \cdot I \rightarrow \boxed{P = R \cdot I^2} \quad [\Omega \cdot A \cdot A \rightarrow V \cdot A] = W$$

Lampe 12 V/55 W

1. $R_{La} = \frac{U^2}{P}$
2. $I_{tat} = \frac{U_k}{R_{La}} = \frac{U_{ges} - U_v}{R_{La}}$
3. $P_{tat} = U_k \cdot I_{tat}$

4 Übungen

4.1 Ü01 Fragen zum Schaltplan Audi-A3 - Lösung

1. Beschreiben Sie die Spannungsversorgung für die Pumpe für Kühler der Abgasrückführung.

1. Stromverteiler (87)
2. über Sicherung (24)
3. Steckverbindung ($T_{40/11}$)
4. Plusverbindung B_{321}
5. Pumpe für Kühler der Abgasrückführung V_{400} (Pin 2)
6. Steckverbindung ($T_{14/9}$)
7. Masseverbindung (394)
8. Massepunkt (655) am Scheinwerfer links

2. Welche Fehler können auftreten und welche Auswirkungen haben diese?

Welches Signal erwarten wir? PWM-Signal

1. Bauteil defekt
2. Sicherung defekt
3. Leitungsunterbrechung (Signalleitung, Plusleitung, Masseleitung)
4. Übergangswiderstand (Spannungsfall im Stecker oder Leitungen)
5. Masseschluss oder Plusschluss

Mögliche Fehler

1. MIL-Lampe an → Abgas relevanter Fehler (Steuerhinterziehung)
2. AGR-Ventil klemmt fest, wenn offen → Leistungsverlust im warmen Zustand

3. Fehler Abgastemperaturgeber 1, 3, 4 sind im Fehlerspeicher abgelegt. Nennen Sie mögliche Fehlerursachen.

1. Bauteil defekt (Temperatursensoren)

4 Übungen

2. plusseitig

4. Motordrehzahlgeber hat kein Signal. Welche möglichen Ursachen liegen vor?

Was erwarten wir? Hallgeber, Versorgungsspannung (5 V)

1. Masseverbindung
2. Bauteil defekt
3. Plusverbindung (5 V)

5. Ihnen liegt ein Fehler zur Kraftstoffvorratsanzeige vor. Nennen Sie mögliche Fehler.

1. Geber defekt
2. Gebermasse
3. Übergangswiderstand
4. Leitungsunterbrechung von (Pin 3 + 4) zum Kombiinstrument
5. Widerstand defekt

4.2 Ü02 Motor startet nicht. Welche Fragen stellen Sie den Kunden? - Lösung

Fragen an den Kunden

1. Dreht der Motor?
2. Seit wann ist der Fehler?
3. Ist der Motor zwischendurch angesprungen? (sporadischer Fehler)
4. Fängt die Beleuchtung an zu flackern?
5. Stand das Fahrzeug länger?
6. Brauchte der Motor lange, um zu starten?
7. Wurde Starthilfe gegeben?

Prüfung am Fahrzeug

1. Batterie prüfen (Quellenspannung messen)
2. Anlasser macht keine Geräusche beim Versuch den Motor zu starten
3. Spannungsversorgung am Anlasser prüfen (Sicherung / Relais ausschließen)
4. Masseversorgung prüfen: Widerstandsmessung, Spannungsfallmessung

Diagnose

Das Masseband ist durch einen Übergangswiderstand defekt.

Erklärung an den Kunden

Das Masseband klaut dem Anlasser die Spannung.

Erklärung an den Lehrling

Das Masseband vom Motor ist durch einen Übergangswiderstand beschädigt, damit haben wir eine geringe Leitfähigkeit und dadurch einen geringen Stromfluss.

4.3 Ü03 Prüfungshinweise - Automatikgetriebe

1) Dialogannahme – Fragen an den Kunden, die das Problem eingrenzen.

1. Welche Fehlermeldung?
2. Wann und wo tritt der Fehler auf? (Betriebszustand: Drehzahl, Geschwindigkeit, Temperatur?)
3. Problem reproduzierbar?

2) Prüfvoraussetzung

1. Batteriespannung prüfen
2. Spannungsversorgung am SG (Sicherung)
3. Ölstand Getriebe (Prüftemperatur)
4. Stecker vom Getriebe → Kontrolle auf Feuchtigkeit und Korrosion

3) Welche Sicherung prüfen Sie zuerst?

vgl. Schaltplan

4) Funktionsprüfung Magnetventil

1. Stellgliedtest
2. Oszilloskop
3. Widerstand messen von Spule

Am Ende ... Getriebesteuergerät defekt.

5 Diagnose

Fehlersuche in einem immer stärker vernetzten Fahrzeugsystem (Respondeck [5]).

1. Fahrzeugannahme

- Das Fahrzeug sollte im Beisein des Kunden einer *Sicht- und Funktionsprüfung* unterzogen werden und den Kunden zu dem Fehler befragen.
- kurzen »Rundum-Check« des Fahrzeugs, um weitere (sicherheitsrelevante) Mängel aufdecken. In diesem Zusammenhang können auch Vorschäden dokumentiert und dem Kunden gezeigt werden, um etwaigen Ansprüchen nach Rückgabe des Fahrzeugs entgegenzuwirken. Ein Foto von allen Seiten hilft im Streitfall bei der Klärung.
- Bei **sporadischen Fehlern** zu hinterfragen, unter welchen Umständen und bei welchen Bedingungen der Fehler aufgetreten ist, um ihn zu reproduzieren, zu können.
 - Betriebszustand und Fahrsituation (Motor kalt/warm; Last; Drehzahl; Fahrgeschwindigkeit; Beschleunigen/Verzögern; Rechts-/Linkskurve usw.)
 - Einsatzbedingungen (hohe/geringe Außentemperatur; Witterung Beispiel: Nässe, Regen)
 - Schaltzustände von Teilsystemen (Licht an/aus; Klimaanlage, Sitzheizung etc. an/aus)
 - Besonderheiten (Anhängerbetrieb; Zubehör im Innenraum → elektromagnetische Störungen/Störung des Bordnetzes durch angeschlossene Geräte)
 - Technische Änderungen (Motoreingriffe; Umbereifung; Fahrwerksänderungen)
 - Kürzlich von einer anderen Werkstatt durchgeführte Reparaturen
- korrekten **Fahrzeugschlüssel** vom Kunden übernehmen. (sog. Benutzer-Adaption)
 - Sitz und Spiegeleinstellung, Radiosender und -lautstärke
 - Aktivierung/Deaktivierung von Assistenzsystemen (Fahrlichtsteuerung, Regen-/Lichtsensor, Einparkassistent, Spurhalteassistent)
 - Tipplinken

- Automatisches Verriegeln während der Fahrt, automatisches Wiederver-schließen
- Ansprechverhalten des Fahrpedals
- Schaltzeitpunkt des automatischen Getriebes

2. Fehlerspeicher auslesen

- bei »Mehreren Kundenbeanstandungen« im ersten Schritt sollte bei der Bewertung der Fehler eine gemeinsame Ursache in Betracht gezogen und erst, wenn diese auszuschließen ist, jeder Fehler für sich betrachtet werden.
- gesamten Fehlerspeicher des Fahrzeugs auslesen und bei mehreren Fehlern zunächst eine gemeinsame Ursache zu suchen.
- Vor dem Löschen eines Fehlerspeichers dokumentieren
- **Klassische Fehler vs. Plausibilitätsfehler**

3. Messwerte/Istwerte/Parameter auslesen

- Prüfen, ob die vom SG mithilfe der Sensorik erfassten Daten der Realität entsprechen.
- Im Zweifel sollten die Werte mithilfe eines separaten Messgerätes ermittelt und abgeglichen werden.

4. Stellgliedtest bei Fehlern im Bereich der Aktorik

- Bauteil mithilfe des Diagnosegeräts ansteuern oder anhand von Messwerten überprüfen, ob es reagiert. Prüfen, ob das gewünschte Ergebnis tatsächlich erzielt wird.
- Der Stellgliedtest sollte über das Diagnosegerät durchgeführt werden. Eine Überprüfung durch »Provozieren« einer Ansteuerung ist nicht aussagekräftig, da oftmals nicht alle Bedingungen für das Ansteuern des jeweiligen Aktors bekannt sind. Selbst der Vergleich mit einem anderen Fahrzeug (gleiches Modell, gleicher Motor, gleiches Baujahr) scheitert, wenn sich der Stand der Software der SG unterscheidet.

5. Messungen mit Multimeter und Oszilloskop

- sollte es Hinweise auf fehlerhafte Sensoren, Aktoren oder Systeme geben. Ursache des Fehlers ermitteln.
- Die Größen Spannung, Strom und Widerstand müssen mithilfe der Prüfanleitung des Herstellers gemessen werden.

Sporadischer Fehler also wiederkehrend, aber nicht permanent vorhanden

Klassische Fehler sind solche, bei denen das SG ein Problem des jeweiligen Bauteils messtechnisch ermittelt und den Fehler (Beispiel: »Signalspannung zu hoch«) als solchen im SG hinterlegt hat. Beim Auftreten solcher Fehler kann man sofort mit der Fehlersuche im Rahmen von Messungen im Bereich des jeweiligen Bauteils beginnen.

Plausibilitätsfehler legt das SG dagegen im Fehlerspeicher ab, wenn die ankommenden Informationen unplausibel sind, also nicht zueinanderpassen oder Sprünge enthalten, die ohne weitere Informationen nicht zu erklären sind. Beim Auftreten von Plausibilitätsfehlern sollte man klären, welche unpassenden Informationen zu dem Fehler geführt haben.

Beispiel 1) Fehler: Heißfilmluftmassenmesser (Diesel) »Signal unplausibel«

Der Heißfilmluftmassenmesser hat beim Diesel hauptsächlich die Aufgabe, die Volllastmenge zu begrenzen und die Abgasrückführrate zu ermitteln.

Die AGR-Rate wird bestimmt, indem das SG die Soll-Luftmasse im aktuellen Betriebszustand aus Hubraum, Drehzahl, Ladedruck usw. ermittelt, und die vom Luftmassenmesser ermittelte Ist-Luftmasse hiervon abzieht. Bei einer AGR-Rate von 10 % sollte die vom Luftmassenmesser ermittelte Luftmasse also 10 % geringer sein, als die theoretisch unter den aktuellen Bedingungen angesaugte Luftmasse. Wäre nun beispielsweise die Abgasrückführung verrußt, so reduziert sich die rückgeführte Abgasmenge bei gleicher Stellung des AGR-Ventils. Der Rückgang der vom Heißfilmluftmassenmesser ermittelten Luftmasse läge dann unter 10 % und das SG meldet, dass das »Signal unplausibel« ist.

Beispiel 2) Fehler: Heißfilmluftmassenmesser (Diesel) »Signal unplausibel«

Der gleiche Fehler des Heißfilmluftmassenmessers kann auftreten, wenn der Luftfilter erneuert wird, ohne dies dem SG durch das Bestätigen der jeweiligen Wartung mitzuteilen. Das SG erkennt nach dem Motorstart, dass sich die Luftmasse unter sonst gleichen Bedingungen gegenüber dem letzten Fahrzyklus, deutlich erhöht hat. Da es keine Informationen über einen Luftfilterwechsel erhalten hat, ist dieser »Sprung« der Luftmasse unplausibel. Der Fehler wird im Fehlerspeicher abgelegt.

Beispiel 3) Fehler: steigender Kraftstoffverbrauch, Fehler in AGR-System oder Vorglühanlage

Ist es am Motortemperaturfühler zu einem Übergangswiderstand gekommen (Beispiel: durch Korrosion am Steckkontakt), so steigt der ohmsche Widerstand der Messschaltung. Den erhöhten Widerstand nimmt das SG als geringere Temperatur auf. Motortemperaturfühler sind in der Regel NTC-Widerstände → negativer Temperatur-Koeffizient → fallender Widerstand bei steigender Temperatur. Solange die ermittelten Werte innerhalb des plausiblen Bereichs bleiben (Beispiel: $> -40^{\circ}\text{C}$), wertet das SG die Information aus. Der Fehler wird nicht erkannt, zeigt jedoch seine Auswirkungen (Beispiel: steigender Kraftstoffverbrauch, Fehler in AGR-System oder Vorglühanlage). Beim Blick in die Messwerte fällt jedoch schnell auf, dass eine Motortemperatur von -20°C an einem warmen Sommertag nicht stimmen kann.

Digital ziffernmäßig, stufenweise, sprungweise

Analog gleichartig, stetig, stufenlos

Multimeter

- Bei Widerstandsmessungen darf das Bauteil nicht unter Spannung stehen.
- Vor dem Ablegen des Messgerätes den Messbereichsschalter in den höchsten Wechselspannungsbereich schalten. Dies schützt Gerät und Anwender bei unsachgemäßem Einsatz ohne vorherige Einstellungen.

Oszilloskop dynamische Messungen (frequente Spannungen oder eine pulsweitenmodulierte Ansteuerung erfassen, Spannungsverläufe darstellen). Ermöglicht eine Auswertung des kompletten Arbeitsbereichs des Sensors.

- Signalspannung des Potenziometers
- Drehzahl- und Bezugsmarkengeber
- Messen des Tastverhältnisses
- Induktionsgeber
- Hallgebersignal

5.1 Ablauf der Messungen

»Alle Spannungsmessungen erfolgen unter Last, d.h., es werden keine Stecker abgezogen.« Erfolgt die Spannungsmessung bei abgezogenem Stecker, ist der Stromkreis unterbrochen. Da jetzt kein Strom mehr fließt, wirken sich Übergangswiderstände nicht mehr aus und die durchgeführten Messungen sind nicht aussagekräftig.

Sensor-Prüfung

1. Erfassen der Signalspannung am SG

- prüfen, ob SG tatsächlich ein fehlerhaftes Signal bekommt, oder ob ein fehlerfreies Signal fehlerhaft ausgewertet wird.

2. Erfassen der Signalspannung am Sensor

- Ist die Signalspannung in Ordnung und am SG fehlerhaft, ist die Signalleitung zu überprüfen.
- Ist die Signalspannung hier fehlerhaft, muss zwischen zwei Fällen unterschieden werden:
 1. Signalspannung 0 V: Signalleitung auf Masseschluss prüfen (→ Messung 3)
 2. Signalspannung $\neq 0$ V (→ Messung 3)

3. Überprüfen der Spannungsversorgung am Sensor

- Sollwert: $5 \pm 0,02 \text{ V}$ (vgl. Werkstatthandbuch)

4. Überprüfen der Spannungsversorgung am SG

- Ist die Spannungsversorgung hier in Ordnung und am Sensor gestört, sind die Leitungen zum Sensor zu prüfen.
- Ist die Spannungsversorgung hier gestört, muss geprüft werden, ob alle Voraussetzungen gegeben sind, damit das SG eine Versorgungsspannung bereitstellt.

5. Überprüfen der Leitungen

- Spannungsfall über jede elektrische Leitung messen. Hierzu werden die beiden Enden der Leitung mit dem Multimeter verbunden und die Spannung gemessen. Sie sollte gerade im Bereich der Sensorik nahe 0 V liegen.
- Prüfen, ob Leitungen mit einer Plusleitung oder mit Masse verbunden sind. Hierzu wird die Leitung aus dem Stromkreis getrennt (alle Stecker ab) und anschließend mit dem Multimeter an beiden Enden der Leitung jeweils einmal gegen Plus und Masse gemessen. Alle Messungen sollten mit dem Ergebnis 0 V enden.

6. Überprüfung des SGs

- SG-Eingänge lassen sich mithilfe einer simulierten Signalspannung überprüfen. (Beispiel: geeignete Spannungsquelle oder einer Widerstandsdekade)

Aktor-Prüfung

1. Überprüfen der Spannungsversorgung am Aktor

- Hierzu muss der jeweilige Aktor eingeschaltet werden. Dies geschieht entweder manuell (Beispiel: Licht, Heckscheibenheizung) oder mittels Stellgliedtest (Beispiel: AGR-Ventil, Stellmotor-Saugrohr). Da viele Aktoren aktuell pulsweitenmoduliert angesteuert werden, empfiehlt sich das Oszilloskop. Die gemessene Spannung liegt i.d.R. bei Bordnetzspannung.
- Ist die Versorgungsspannung in Ordnung, der Aktor reagiert jedoch nicht, kann von einem Defekt des Aktors ausgegangen werden.
- Ist die gemessene Spannung nicht in Ordnung (\rightarrow Messung 2).

2. Überprüfen der Spannungsversorgung am SG

- Ist die Spannungsversorgung hier in Ordnung und am Sensor gestört, sind die Leitungen zum Sensor zu prüfen.
- Ist die Spannungsversorgung hier gestört, muss geprüft werden, ob alle Voraussetzungen gegeben sind, damit das SG eine Versorgungsspannung bereitstellt (Beispiel: Sicherung, Spannungsversorgung des SGs)

3. Überprüfen der Leitungen

- Spannungsfall über jede elektrische Leitung messen. Hierzu werden die beiden Enden der Leitung mit dem Multimeter verbunden und die Spannung gemessen. Sie sollte unter 0,5 V liegen.
- Prüfen, ob Leitungen mit einer Plusleitung oder Masse verbunden sind. Hierzu wird die Leitung aus dem Stromkreis getrennt (alle Stecker ab) und anschließend mit dem Multimeter an beiden Enden der Leitung jeweils einmal gegen Plus und Masse gemessen. Alle Messungen sollten mit dem Ergebnis 0 V enden.

4. Überprüfung des SGs

- SG-Endstufen lassen sich nur unter Last prüfen. Ist der Stromkreis zum Aktor gestört, sollte daher ein »Ersatzverbraucher«, dessen Leistung in der Nähe des originalen Aktors liegt (Beispiel: 21 W-Glühlampe), angeschlossen werden.
- Anschließend erfolgt die Spannungsmessung (→ Messung 2).

6 Sensoren

Sensoren (Respondeck [5]).

1. **Schalter**

- Bremslichtschalter (mechanisch)
- Bremspedal-, Kupplungspedalpositionssensor
- Warndruckschalter bei Druckluftbremsen (pneumatisch)
- Öldruckschalter (hydraulisch)
- Thermoschalter (thermisch)
- Reedkontakt (magnetisch)

2. **Temperatursensoren** (NTC/PTC, Thermistor, Widerstandsthermometer)

- Motor-, Luft- oder Kraftstofftemperaturfühler

3. **Reedkontaktschalter** (offen/geschlossen, Schutzgas vermindert Funkenbildung)

- Grenzstandgeber, Füllstandsensor, Positionsschalter, Sicherheitsschalter, Stromflussüberwachung, Reedrelais

4. **Potenzimeter** / Positionssensoren (Spannungsteiler)

- AGR-Ventil, Schaltsaugrohr, Last, Luftmenge, Leuchtweite
- Drosselklappenstellung
- Fahrpedalgeber
- Tankfüllstandsgeber

5. **Dehnungsmessstreifen** (DMS, basiert auf der Veränderung des elektrischen Leistungswiderstands, Brückenschaltung)

- Drucksensor

6. **Hallsensor** (arbeitet magnetfeldabhängig)

- Zündimpulsgeber, Positionsgeber NW, Raddrehzahlfühler, Näherungsschalter, Strommessung
- Hallgeber an KW mit Impulsgeberrad

- Hallgeber als Drehwinkelgeber
- 7. **Magnetoresistive Sensoren** (Magnetfeld abhängige Widerstände)
 - Drehzahlsensor
- 8. **Induktive Sensoren** (basieren auf der Induktivität von Spulen)
 - Induktiver Drehzahlsensor, linearer Wegsensor, Ultraschallwandler
- 9. **Kapazitive Sensoren** (basieren auf einer Änderung der Kapazität eines Plattenkondensators durch physikalische Messgrößen)
 - Füllstandsgeber, Wegsensor
- 10. **Piezoelektrische Wegsensoren** (wird Druck oder Zug ausgeübt, ist eine Spannung messbar)
 - Klopfsensor, Ultraschallwandler
- 11. **Fotoelektrische Wegsensoren** (Arbeiten nach dem Lichtschrankenprinzip)
 - Lenkwinkelsensor, Erfassen von Längs- und Drehbewegung
- 12. **Kraft-, Druck- und Drehmomentsensoren** (Geometriesensoren erfassen Längenänderung oder Verdrehung)
 - Luft- und Flüssigkeitsdruckerfassung, Brennraumdruckmessung, Lenkmomenterfassung
 - Kraftstoffdrucksensor
 - Ladedrucksensor
 - Atmosphärendrucksensor
 - Abgasdifferenzdrucksensor
 - AdBlue-Drucksensor
 - Öldrucksensor
 - Reifendruck-Kontrollsystem
 - Sitzbelegungsmatten
- 13. **Fluidsensoren**
 - Luftmengenmesser
 - Ultraschall-, Hitzdraht-Luftmassenmesser
 - Heißfilm-Luftmassenmesser, Heißfilm-Luftmassenmesser mit Rückstromerkennung
- 14. **Lambdasonden / O₂-Sensoren** (Erfassen des Restsauerstoffgehalts im Abgas)

- Spannungssprungsonde
 - Widerstandssprungsonde
 - Breitbandlambdasonde
15. **NO_x-Sensor** / Gassensoren (NO_x-Gehalt im Abgas)
16. **Spezialsensoren** (die Dichte eines Gases verändert sich mit steigender Erwärmung und sich dieses Gas anders verhält)
- Thermoelektrische Beschleunigungssensoren

Literaturverzeichnis

- [1] Marco Bell, Helmut Elbl und Wilhelm Schüler. *Formelsammlung Fahrzeugtechnik*. ger. 10., überarbeitete und erweiterte Auflage. Hamburg: Handwerk und Technik, 2020. ISBN: 9783582515902.
- [2] Marco Bell, Helmut Elbl und Wilhelm Schüler. *Tabellenbuch Fahrzeugtechnik*. ger. 29., völlig überarbeitete Auflage. Fahrzeugtechnik. Hamburg: Handwerk und Technik, 2021. ISBN: 9783582939579.
- [3] Marco Bell, Helmut Elbl, Wilhelm Schüler und Bell. *Technische Mathematik Fahrzeugtechnik*. ger. 5., überarbeitete Auflage. Fahrzeugtechnik. Stuttgart: Handwerk und Technik, 2016. ISBN: 9783778235409.
- [4] Monika Brand, Richard Fischer, Rolf Gscheidle, Tobias Gscheidle, Uwe Heider, Berthold Hohmann, Wolfgang Keil, Rainer Lohuis, Jochen Mann, David Renz, Bernd Schlögl und Alois Wimmer. *Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik*. ger. 31., neubearbeitete Auflage, korrigierter Nachdruck. Europa-Fachbuchreihe für Kraftfahrzeugtechnik. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 2020. ISBN: 9783808523254.
- [5] Michael Respondeck. *Servicetechniker Band 1*. German. Vogel Business Media GmbH & Co. KG, 2019. ISBN: 9783834333759.
- [6] Volkert Schlüter und Ralf Deussen. *Prüfungsfragen und Antworten für das Kfz-Techniker-Handwerk*. German. 2021. ISBN: 9783834362742. URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-2021060315504020014374> (besucht am 3. Nov. 2021).
- [7] Gerald Schneehage. *Motormanagement Sensoren Aufbau, Funktion und Prüfung mit dem Oszilloskop*. German. Krafthand Medien GmbH, 2021. ISBN: 9783874411868.