

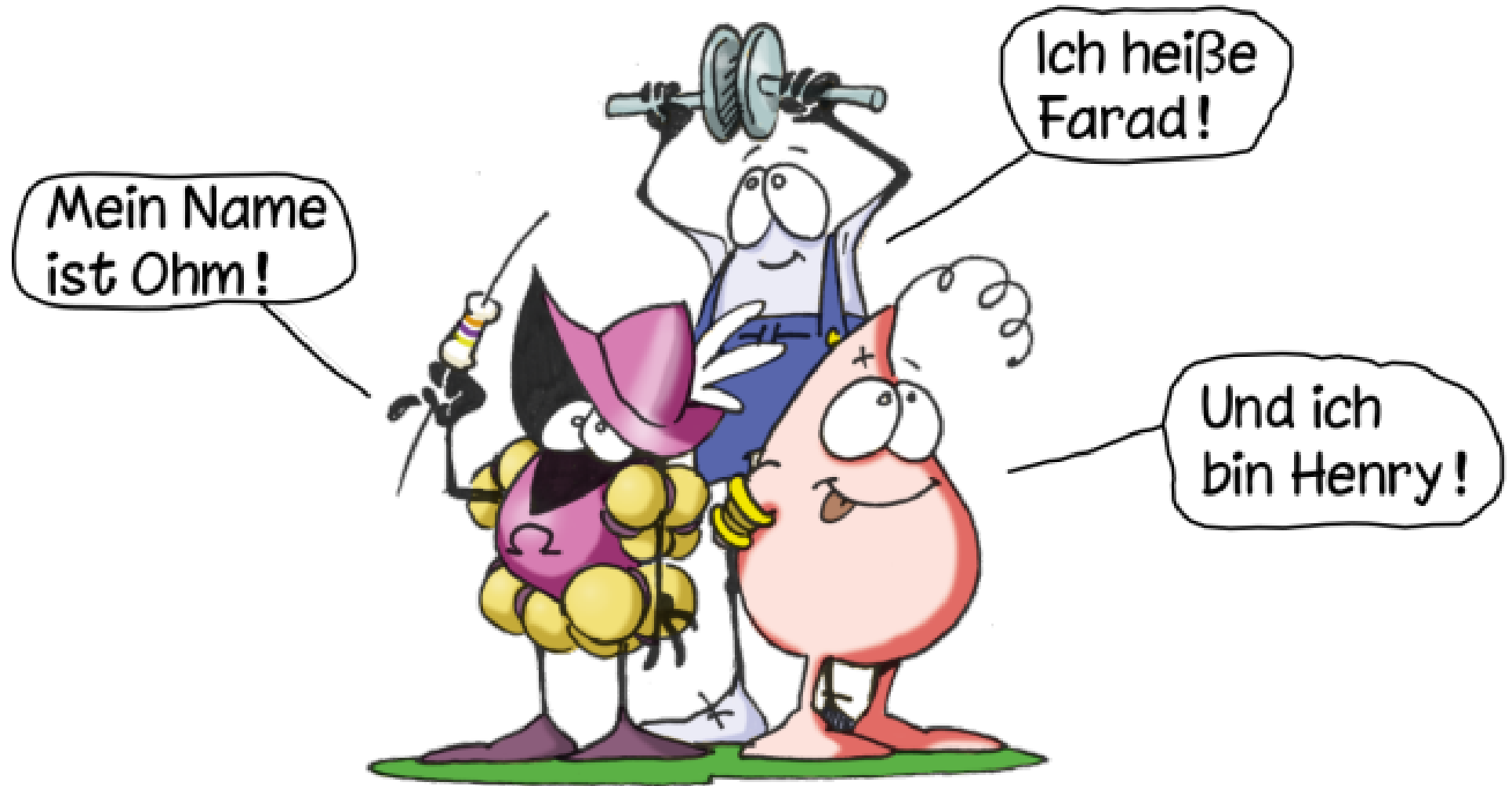
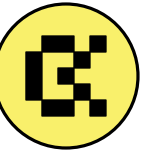
# Lehrbücher zur Elektrotechnik

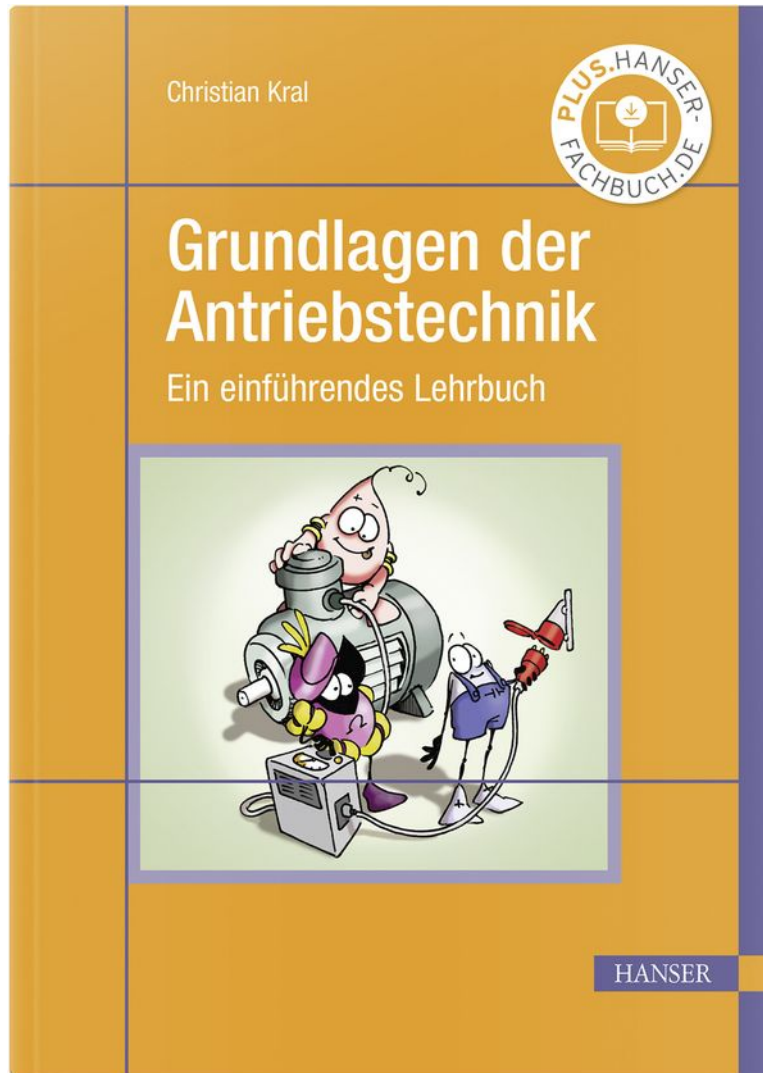
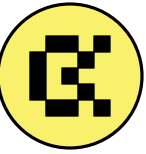
## Energiesysteme im Umbruch XII

Christian Kral  
TGM, Wexstraße 19-21, 1200 Wien  
mailto: ckral@tgm.ac.at



# Figuren in den Büchern

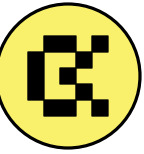




- 1 Grundlegendes Handwerkszeug
- 2 Mechanik
- 3 Betriebsumfeld
- 4 Magnetfeld
- 5 Einphasen-Transformator
- 6 Drehstrom-Transformator
- 7 Gleichstrommaschine
- 8 Gleichstromsteller
- 9 Netzgeführter Gleichrichter
- 10 Drehfeldmaschine
- 11 Asynchronmaschine
- 12 Synchronmaschine
- 13 Selbstgeführter Stromrichter
- A Technologievergleich

Auflage 1: Juli 2023

In der Schulbuchliste ab 2025-26



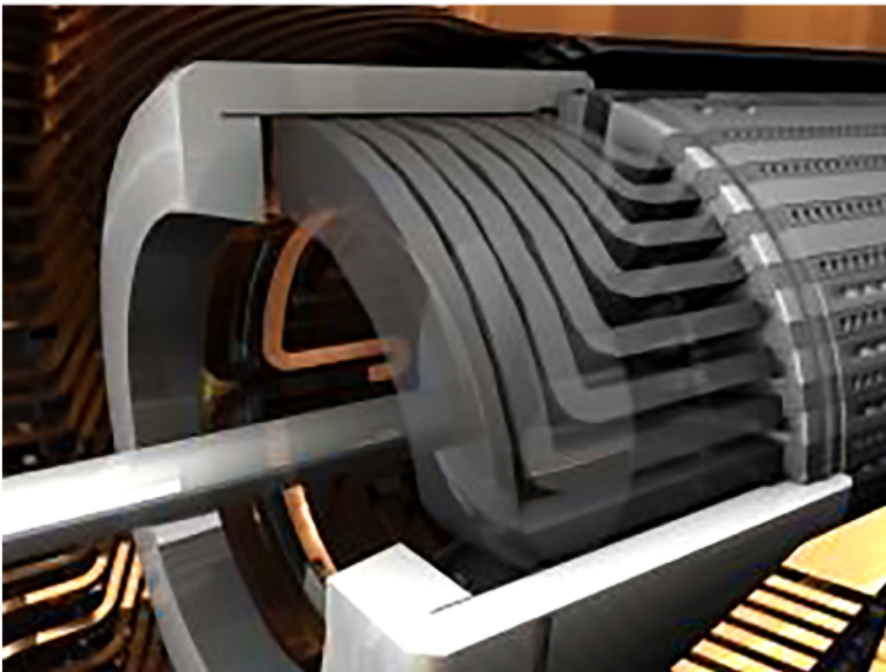
- Lehrstoff Antriebstechnik (AT)
  - 2. Jahrgang: Mechanik, Betriebsumfeld
  - 3. Jahrgang: Transformator, GM, ASM
  - 4. Jahrgang: ASM, SM, Leistungselektronik



Die **Ströme** der beiden Wicklungen verhalten sich – abgesehen vom Vorzeichen – **umgekehrt proportional** zu ihren **Windungszahlen**:



- Zeitgemäße Inhalte
- Praxisnahe Bilder (Buch und LeTTo)
- Erweiterte Inhalte

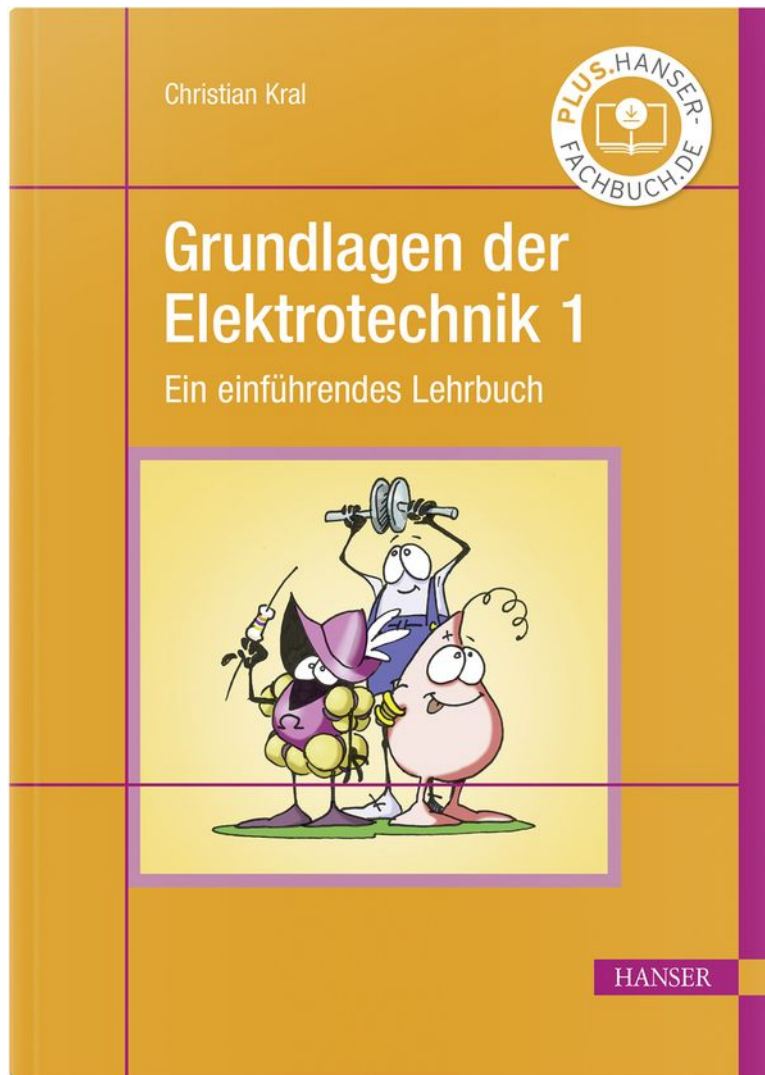
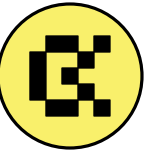


(a)



(b)

**Bild 12.4** Erregerwicklung einer Vollpolmaschine (a) mit Läuferkappenring (b) in der Fertigung: ① Leiter der Erregerwicklung, ② Rotoreisen, ③ Läuferkappenring (Fotos: © Siemens Energy, 2023)



Auflage 1: Juli 2024

- 1 Grundlegendes Handwerkszeug
- 2 Gleichstrom
- 3 Elektrisches Feld
- 4 Trigonometrie
- 5 Vektorrechnung
- 6 Magnetisches Feld

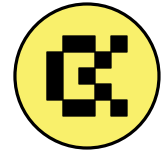
Lehrstoff Energiesysteme (ES)

- 1. Jahrgang
  - Gleichstrom
  - Elektrisches Feld

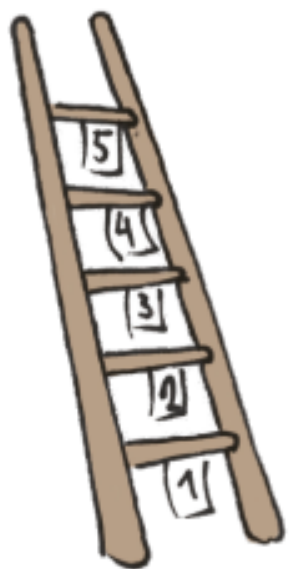
Lehrstoff Antriebstechnik (AT)

- 2. Jahrgang:
  - Trigonometrie
  - Vektorrechnung
  - Magnetisches Feld

# Illustrationen



- Illustration statt technischer Zeichnung
- Förderung der Vorstellung und der Erinnerung
- Darstellung von Sachverhalten
  - Vereinfachen und das Wesentliche zeigen
  - Inhaltlich genau bleiben



(a)



(b)

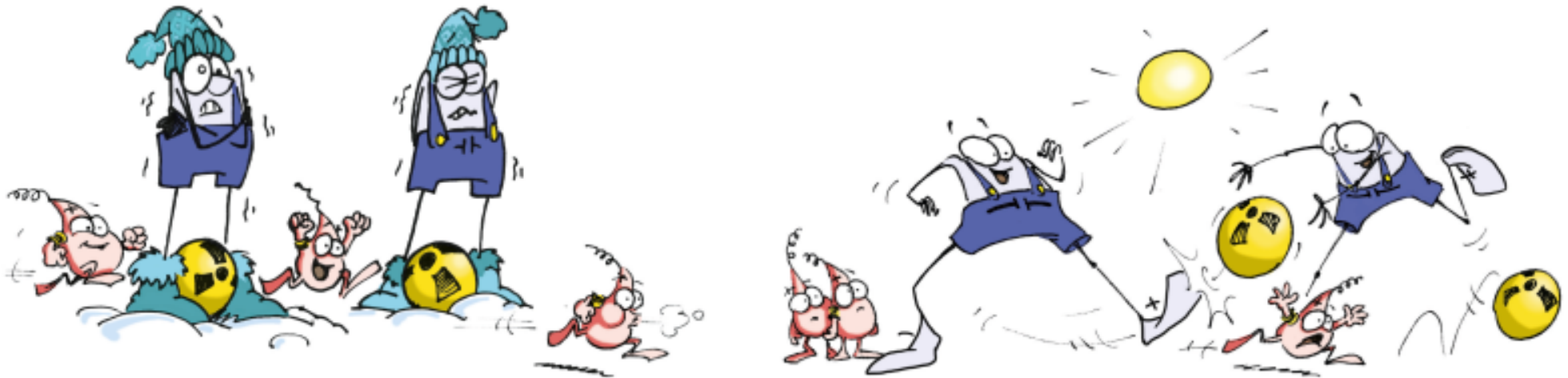


(c)



(d)

Beispiel: Das elektrische Potenzial



Die Wärmebewegung der Atome behindert die "freie" Bewegung der Elektronen



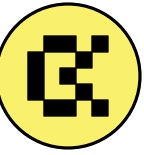
Der Widerstand ist umso größer, je länger der Leiter und je geringer der Querschnitt des Leiters ist

## 2.7.6 Kirchhoffsche Knotenregel



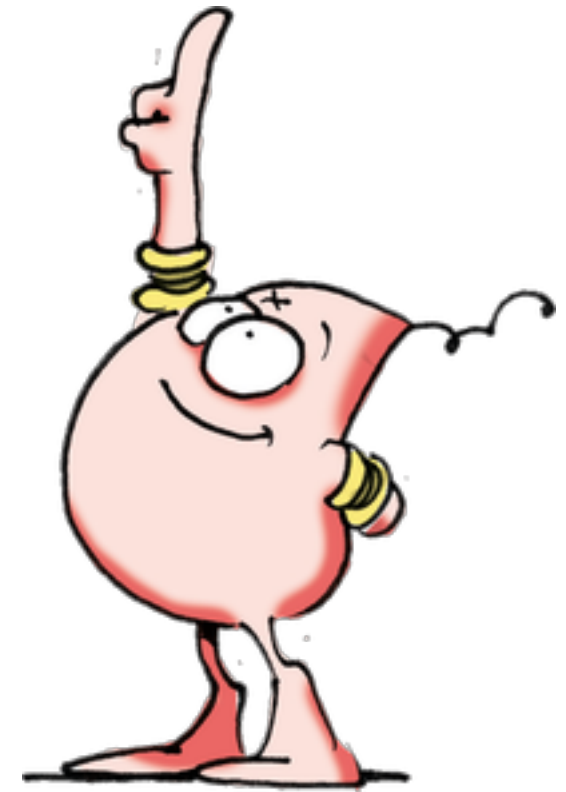
**Bild 2.35** Stadt Passau am Zusammenfluss dreier Flüsse; ① Inn, ② Donau, ③ Ilz, ④ die Vereinigung dieser drei Flüsse wird als Donau bezeichnet (Foto © Carsten Steger, [CC BY-SA 4.0](#), via [Wikimedia Commons](#))

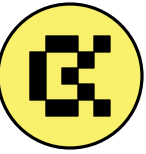
# LeTTo-Aufgaben



- Grundlagen der Antriebstechnik: ca. 850 Aktivitäten
- Grundlagen der Elektrotechnik 1: ca. 900 Aktivitäten

Aufgabensammlung auf <https://s5.letto.at/kral/open>





## Fragesammlungen - kral

- ▶ Arbeiten mit LeTTo
- ▶ Grundlagen der Antriebstechnik (Kral)
- ▶ Grundlagen der Elektrotechnik 1 (Kral)
  - ▶ 1 Grundlegendes Handwerkszeug
  - ▶ 2 Gleichstrom
    - ▶ 2.1 Strom
    - ▶ 2.2 Stromkreis
    - ▶ 2.3 Stromdichte
    - ▶ 2.4 Potenzial und Spannung
    - ▶ 2.5 Widerstand und Leitwert
    - ▶ 2.6 Ideale Quellen
    - ▶ 2.7 Serien- und Parallelschaltung
      - ▶ 2.7.1 Kirchhoffsche Maschenregel
      - ▶ 2.7.2 Serienschaltung von Widerständen
      - ▶ 2.7.3 Spannungsteilerregel
      - ▶ 2.7.4 Serienschaltung von Spannungsquelle
      - ▶ 2.7.5 Amperemeter
      - ▶ 2.7.6 Kirchhoffsche Knotenregel
      - ▶ 2.7.7 Parallelschaltung von Widerständen
      - ▶ 2.7.8 Stromteilerregel
    - Stromteiler 1
    - Stromteiler 2
    - Stromteiler 3
    - R\*R max 1
    - R\*R max 2
    - R\*R max 3
    - R\*R\*R max 1A
    - R\*R\*R max 1B
  - ▶ 2.7.9 Voltmeter
  - ▶ 2.8 Widerstandsnetzwerke

R\*R\*R max 1B

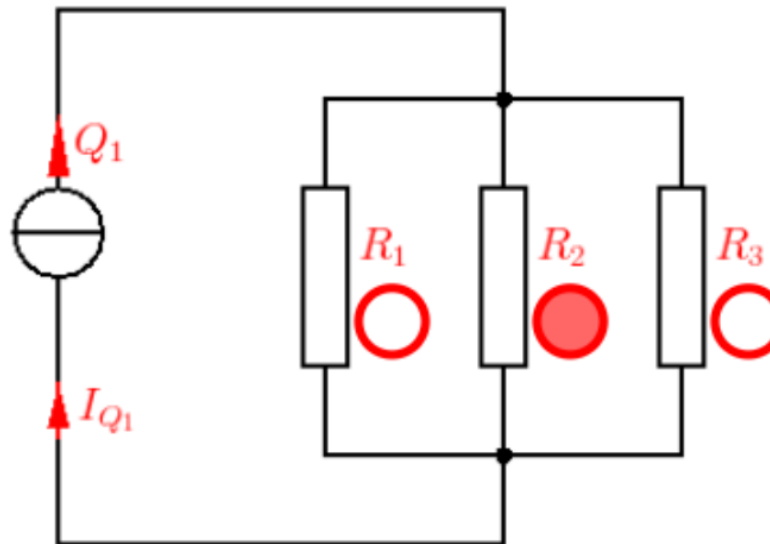
◀ Last

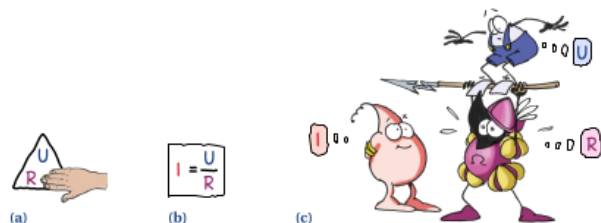
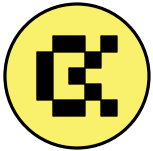
▶ Next

## Grundlegende Aufgabe

Die Widerstände  $R_1 = 200 \Omega$ ,  $R_2 = 360 \Omega$  und  $R_3 = 340 \Omega$  werden von einer Gleichstromquelle mit Energie versorgt.

Kennzeichnen Sie jenen Widerstand, durch den der **kleinste** Strom fließt.





**Bild 2.22** (a) URI-Dreieck mit abgedecktem  $I$ , (b) Ohmsches Gesetz mathematisch formuliert, (c) Ohmsches Gesetz dargestellt von Ohm, Farad und Henry



**Bild 2.23** (a) URI-Dreieck mit abgedecktem  $U$ , (b) Ohmsches Gesetz mathematisch formuliert, (c) Ohmsches Gesetz dargestellt von Ohm, Farad und Henry

**Strom.** Wenn wir nun im URI-Dreieck von Bild 2.22a den Strom  $I$  abdecken, bleiben die Spannung  $U$  oben und der Widerstand  $R$  unten stehen. In Bild 2.22c haben Ohm und Henry gegenüber Bild 2.21c einfach nur Plätze getauscht. Das Ohmsche Gesetz ist in der zugehörigen Umformung lautet:

$$I = \frac{U}{R} \quad I = G \cdot U \quad (2.22)$$

**Spannung.** Damit bleibt jene Umformung des Ohmschen Gesetzes übrig, bei der wir die Spannung  $U$  im URI-Dreieck von Bild 2.23 abdecken. Der Widerstand  $R$  und der Strom  $I$  stehen nun unmittelbar nebeneinander, wie Ohm und Henry. Der Widerstand  $R$  und der Strom  $I$  treten in der umgeformten Gleichung als Produkt auf, woraus sich die Spannung  $U$  ergibt:

$$U = R \cdot I \quad U = \frac{1}{G} \cdot I = \frac{I}{G} \quad (2.23)$$



Das **Ohmsche Gesetz** gilt für jeden Ohmschen Widerstand einer elektrischen Schaltung mit

- der jeweiligen **Spannung am Widerstand** und
- dem jeweiligen **Strom durch den Widerstand**.

**Zahlenwertbeispiel 2.7.** Der Widerstand  $R_1 = 20 \Omega$  in Bild 2.19b ist vom Strom  $I_{R1} = 1,5 A$  durchflossen. Wir bestimmen die Spannung  $U_{R1}$  am Widerstand:

$$U_{R1} = R_1 \cdot I_{R1} = 20 \Omega \cdot 1,5 A = 30 V$$

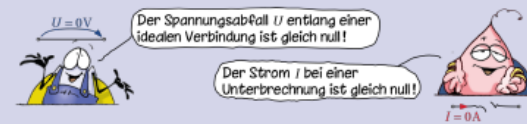
**Zahlenwertbeispiel 2.8.** Der Widerstand  $R_2 = 40 \Omega$  in Bild 2.19c wird an der Spannung  $U_{R2} = 50 V$  betrieben. Damit können wir den Strom durch den Widerstand berechnen:

$$I_{R2} = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{50 V}{40 \Omega} = 1,25 A$$



**Sonderfälle** von Widerständen bzw. Leitwerten:

- Eine **ideale Verbindung**<sup>14</sup> weist den Widerstand  $R = 0 \Omega$  auf.
- Eine **Unterbrechung**<sup>15</sup> weist den Leitwert  $G = 0 S$  auf.



## 2.5.4 Widerstands- und Leitwertgerade

Da der Ohmsche Widerstand  $R$  bzw. der Leitwert  $G$  konstant sind, weist das Ohmsche Gesetz einen linearen Zusammenhang zwischen der Spannung  $U$  und dem Strom  $I$  auf:

$$U = R \cdot I = \frac{1}{G} \cdot I = \frac{I}{G} \quad I = G \cdot U = \frac{U}{R} \quad (2.24)$$

Wenn man diesen Zusammenhang grafisch darstellt, erhält man eine Gerade. Wir betrachten dazu beispielhaft den Ohmschen Widerstand  $R = 100 \Omega$ , zu dem gleichwertig der Leitwert  $G = 1/R = 1/100 \Omega = 0,01 S$  gehört:

**Widerstandsgerade.** Bei der Widerstandsgeraden in Bild 2.24a tragen wir die Spannung  $U$  auf der vertikalen Achse und den Strom  $I$  auf der horizontalen Achse auf.

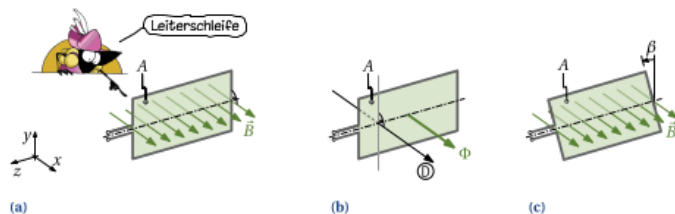
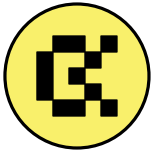
**Steigung.** Die Steigung der Geraden, also das Verhältnis der Spannung  $U$  zum Strom  $I$ , ergibt den Widerstand  $R$  gemäß Gl. (2.21).

**Nullpunkt.** Die Widerstandsgerade geht durch den Koordinatenursprung, da die Spannung  $U$  gleich null ist, wenn auch der Strom gleich null ist.

**Konstruktion.** Für die Konstruktion der Widerstandsgeraden ist es ausreichend, einen Punkt über das Ohmsche Gesetz gemäß Gl. (2.24) zu bestimmen, da die Widerstandsgerade durch den Nullpunkt geht. Wir wählen beispielhaft  $I = 0,5 A$  und erhalten dafür  $U = R \cdot I = 100 \Omega \cdot 0,5 A = 50 V$ : Dieser Punkt ist in Bild 2.24a mit ① gekennzeichnet.

<sup>14</sup> Wir nennen das auch einen idealen «Kurzschluss».

<sup>15</sup> Statt Unterbrechung verwenden wir mitunter auch den Begriff «Leerlauf».



**Bild 6.25** Perspektivische Ansicht einer Spule bzw. Leiterschleife in einem homogenen Magnetfeld  $\vec{B}$ , (a) senkrecht zum Magnetfeld, (b) mit Durchtrittssinn ① und magnetischem Fluss  $\Phi$ , (c) um den Winkel  $\beta$  aus der Normallage verdreht

**Erweitertes Wissen.** In manchen technischen Anwendungen stehen der Vektor der magnetischen Flussdichte  $\vec{B}$  und die Querschnittsfläche  $A$  nicht senkrecht aufeinander. Wir untersuchen eine derartige Situation anhand der Berechnung des magnetischen Flusses  $\Phi$  für eine Spule bzw. Leiterschleife<sup>16</sup>, wie sie in Bild 6.25 gezeigt ist:

**Homogenes Magnetfeld.** Wir beginnen unsere Überlegungen mit dem in Bild 6.25a dargestellten homogenen Magnetfeld. Der magnetische Flussdichtevektor ist in diesem Fall in die positive  $x$ -Achse gerichtet:

$$\vec{B} = B \cdot \vec{e}_x \quad (6.19)$$

Die Größe  $B$  repräsentiert hier die  $x$ -Koordinate der magnetischen Flussdichte  $\vec{B}$ .

**Fläche und Durchtrittssinn.** Wir setzen vereinfachend voraus, dass die Leiterschleife eben ist. Die beiden Zuleitungen zur Leiterschleife liegen so eng beisammen, dass sie keinen nennenswerten Beitrag zur Fläche  $A$  der Leiterschleife liefern. Um den magnetischen Fluss  $\Phi$  allgemeingültig berechnen zu können, wählen wir den Durchtrittssinn ① durch die Fläche, wie er in Bild 6.25b eingezeichnet ist:

**Richtung des Durchtrittssinns.** Wir zeichnen den Durchtrittssinn ① stets orthogonal zur Fläche  $A$ . Wenn wir die Fläche neigen, bleibt der Durchtrittssinn – wie angeschraubt – fest mit der Fläche verbunden.

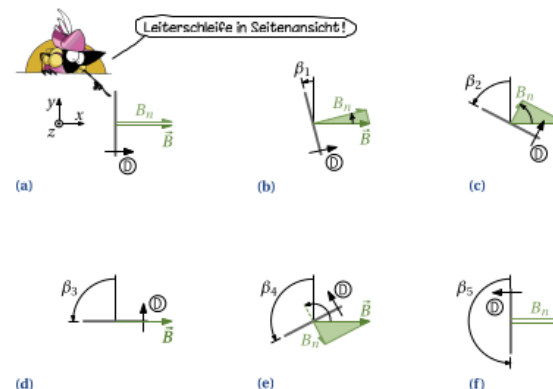
**Flussrichtung.** Wir wählen als Bezugsrichtung für die Berechnung des magnetischen Flusses  $\Phi$  den Durchtrittssinn ①. Die Bezugsrichtung des magnetischen Flusses ist damit ebenso – wie angeschraubt – fest mit der Fläche  $A$  verbunden.

**Verdrehung der Leiterschleife.** Wir verdrehen die Leiterschleife um den Winkel  $\beta$ , wie das in Bild 6.25c perspektivisch gezeigt ist.

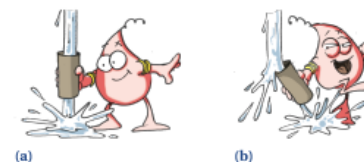
**Flussberechnung.** Für die Berechnung des magnetischen Flusses leistet nur die Normalkomponente  $B_n$  der magnetischen Flussdichte einen Beitrag:

$$\Phi = B_n \cdot A \quad (6.20)$$

<sup>16</sup> Ob wir eine Spule bzw. Leiterschleife oder einen Eisenschenkel betrachten, macht grundsätzlich keinen Unterschied. Für eine Spule bzw. Leiterschleife gibt es jedoch praktische Anwendungen, die wir in Abschnitt 6.4.2 aufgreifen.



**Bild 6.26** Berechnung des magnetischen Flusses  $\Phi$  einer Leiterschleife aus der Normalkomponente  $B_n$  des magnetischen Flussdichtevektors  $\vec{B}$  und der Fläche  $A$  für insgesamt sechs unterschiedliche Winkel: (a)  $\beta_0 = 0^\circ$ , (b)  $\beta_1 = 12^\circ$ , (c)  $\beta_2 = 60^\circ$ , (d)  $\beta_3 = 90^\circ$ , (e)  $\beta_4 = 120^\circ$ , (f)  $\beta_5 = 180^\circ$ ; Durchtrittssinn ①



**Bild 6.27** Wasserstrahl (a) geht vollständig durch das senkrechte Rohr und (b) teilweise durch das geneigte Rohr

Diese Normalkomponente ist in Bild 6.26 für unterschiedliche Verdrehwinkel  $\beta$  in einer Seitenansicht dargestellt. In Abhängigkeit des Verdrehwinkels  $\beta$  verändert sich die Normalkomponente  $B_n$  der magnetischen Flussdichte und damit der magnetische Fluss  $\Phi$ .

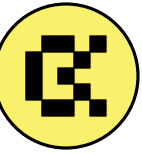


Die **Normalkomponente** der magnetischen Flussdichte ist

- **positiv**, wenn sie **in Richtung** des Durchtrittssinns ① zeigt und
- **negativ**, wenn sie **gegen die Richtung** des Durchtrittssinns ① zeigt.

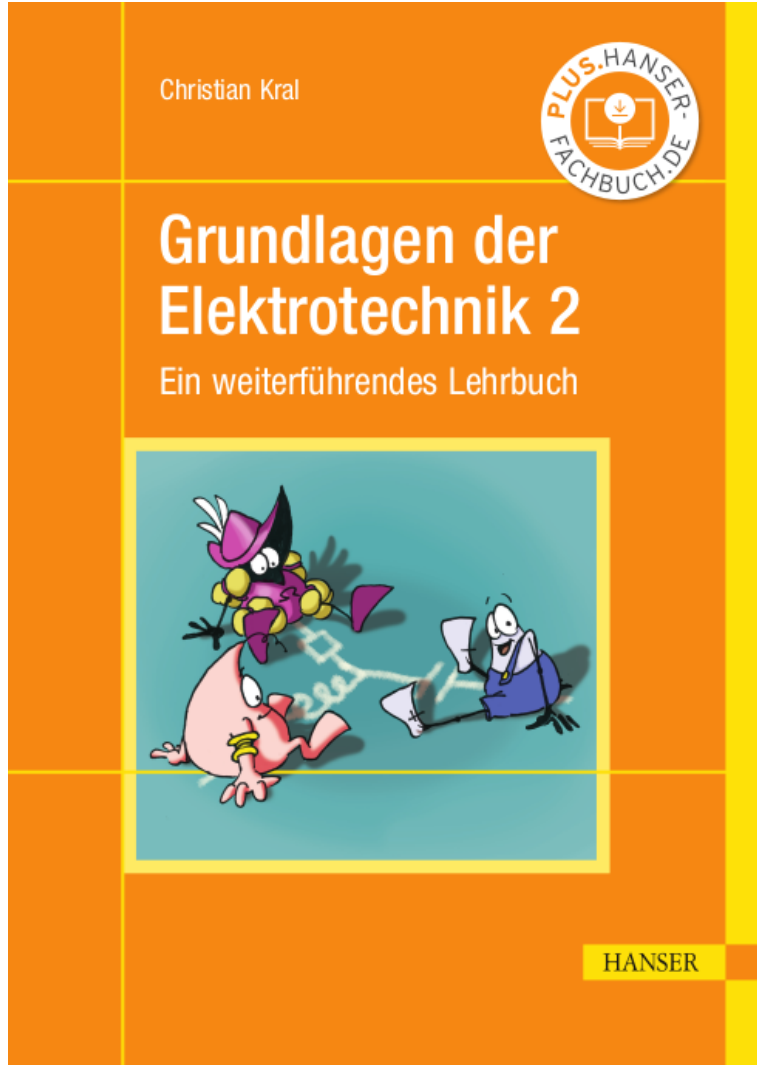
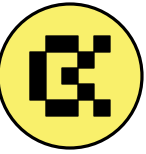
**Normalkomponente.** Die Bedeutung der Normalkomponente lässt sich anhand von Bild 6.27 erläutern. Die Wassermenge durch das von Henry gehaltene Rohr ist abhängig von der Winkellage, unter der das Rohr zur Richtung des Wasserstrahls gehalten wird. Das Rohr kann nur die Normalkomponente des Wasserstroms aufnehmen. Diese

# Feedback zum Buch



- Fehler des Inhalts und der Darstellung
  - im Buch
  - in den LeTTo-Aufgaben
- Aktuelle Errata
- Verfügbar über GitHub → GitHub-Account
  - <https://github.com/christiankral/Grundlagen-der-Antriebstechnik>
  - <https://github.com/christiankral/Grundlagen-der-Elektrotechnik>
- Transparenter Prozess
  - Öffentlich
  - Reproduzierbar



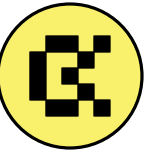


- 1 Grundlegendes Handwerkszeug
- 2 Komplexe Rechnung
- 3 Wechselstrom
- 4 Drehstrom
- 5 Schaltvorgänge

## Lehrstoff Energiesysteme (ES)

- 2. Jahrgang
  - Wechselstrom
- 3. Jahrgang
  - Drehstrom
  - Schaltvorgänge

Geplante Auflage: Juli 2025



- Grundlagen der Antriebstechnik

<https://www.hanser-fachbuch.de/fachbuch/artikel/9783446473751>

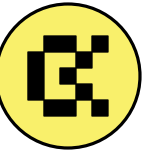
- Grundlagen der Elektrotechnik 1

<https://www.hanser-fachbuch.de/fachbuch/artikel/9783446473768>

- Portal für Dozierende <https://dozierende.hanser.de/>



- Alle (!) Hanser-Bücher online
- Anmeldung über Schulkenzahl (Bearbeitungszeit)
- Ältere Accounts müssen erneuert werden
- Print- und PDF-Prüfexemplare auf Anfrage
- Derzeit nicht über digi4school.at verfügbar



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Christian Kral  
TGM, Wexstraße 19-21, 1200 Wien  
[mailto: ckral@tgm.ac.at](mailto:ckral@tgm.ac.at)

tgm