



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für elektrotechnische
und elektronische Berufe

Informationstechnik, Kommunikation, Neue Netze

9. Auflage

Herausgegeben von Bernhard J. Hauser

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 36217

Autoren von Informationstechnik, Kommunikation, Neue Netze:

Christian Duhr	Studiendirektor	Rednitzhembach
Bernhard J. Hauser	Dipl.-Ing.	Bisingen
Gerd Siegmund	Prof. Dr.-Ing.	Stuttgart

Lektorat: Bernhard J. Hauser

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel GmbH & Co. KG, Ostfildern

9. Auflage 2021

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke der selben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-3947-7

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2021 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt
Druck: UAB BALTO print, 08217 Vilnius (LT)

Vorwort

Die Entwicklung der Kommunikationsnetze nimmt kein Ende. Im Gegenteil – die Netze entwickeln sich immer rascher. Vom analogen Telefonnetz haben sie sich über gemultiplexte Netze bis zu den heutigen Hochgeschwindigkeits-Datennetzen weiterentwickelt. Lag der Fokus lange Zeit auf der Telefonie, kam mit der Zeit auch die Datenkommunikation hinzu. Mittlerweile sind wir bei hocheffizienten Datennetzen angelangt – die quasi nebenher auch noch der Telefonie dienen. Der Fokus hat sich grundlegend verändert.

Die Grenze zwischen lokalen Netzen (LANs) und Fernverkehrsnetzen (WANs) verschwimmt zunehmend.

Die Glasfaser hat als neues Leitungsmedium die Kupferleitung in LANs und in WANs bereits teilweise ersetzt. Als Anschlussleitung, also die letzten Meter von einem Netzwerkknoten bis zum Endgerät, wird großteils noch Kupfer eingesetzt. Die Zahl der mobilen Endgeräte steigt stetig, wodurch diese letzte Strecke Kupfer immer mehr durch Funkanbindung ersetzt wird.

In diesem Buch werden Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik soweit behandelt, dass eine gute Basis für weitergehende Inhalte vorhanden ist. Das gleiche gilt für den Aufbau von Rechnern und Speichern. Die Grundlagen der Übertragungsnetze bereiten auf die großen Themengebiete Weitverkehrsnetze und lokale Netzwerke vor.

Die inhaltliche Konzeption des Buches ist so angelegt, dass es auch über den Berufsschulunterricht hinaus als Fachinformation verwendet werden kann.

Die geltenden Normen für Fachbegriffe, Bezeichnungen und Schaltzeichen wurden beachtet. Die dargestellten Sachverhalte wurden in Wort und Bild so beschrieben, dass sie auch im Selbststudium erarbeitet werden können. Dies betrifft insbesondere die Themen, die im Unterricht nicht in diesem Umfang behandelt werden können. Teilweise sind am Ende der Kapitel Übungsaufgaben zum Repetieren und Vertiefen des Stoffes enthalten. Die Lösungen dazu sind online verfügbar. Sie können auf der Verlags-Homepage www.europa-lehrmittel.de heruntergeladen werden. In dieser 9. Auflage wurden einige neue Themen eingearbeitet und ältere Inhalte entfernt. Neu hinzu gekommen ist u. a. ein Kapitel über 5G-Netze und IP-Telefonie. Auch die Virtualisierung und Clouddienste haben Eingang gefunden.

Autoren und Verlag sind allen Anwendern dieses Fachbuches dankbar für Hinweise und Anregungen, damit die künftige Entwicklung und Anpassung des Buches auch weiterhin gelingt. Schreiben Sie uns unter lektorat@europa-lehrmittel.de.

Sommer 2021

Die Verfasser

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	9	2	Digitaltechnik	49
1.1	Informationsübertragung und Energieversorgung	9	2.1	Einführung in die Digitaltechnik	49
1.2	Elektrischer Stromkreis	12	2.2	Kombinatorische Elemente	49
1.2.1	Elektrische Größen	13	2.2.1	UND-Element	50
1.2.2	Ohmsches Gesetz	15	2.2.2	ODER-Element	51
1.2.3	Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad	16	2.2.3	NICHT-Element	52
1.2.4	Reihenschaltung	16	2.2.4	NAND-Element (NOT-AND)	53
1.2.5	Reale Spannungsquelle	17	2.2.5	NOR-Element (NOT-OR)	53
1.2.6	Parallelschaltung	18	2.3	Schaltalgebra	55
1.2.7	Spannungsteiler und Brückenschaltung	19	2.3.1	Rechenregeln	55
1.2.8	Anpassung	20	2.3.2	Gesetz von De Morgan	56
1.2.9	Übertragen von Spannungen, Stromstärken und Widerstandswerten	21	2.3.3	Anwendungsbeispiele	57
1.2.10	Betriebsspannungsversorgung	22	2.4	Zahlensysteme	58
1.2.11	Gleich-, Wechsel und Mischspannungen	24	2.4.1	Dezimalsystem	58
1.2.12	Sinus- und nichtsinusförmige Spannungen	24	2.4.2	Dualsystem	59
1.3	Bausteine zur Signalverarbeitung	25	2.4.3	Oktal- und Sedezimalsystem	59
1.3.1	Kondensator	25	2.4.4	Umwandlung: Dezimalzahlen in Dualzahlen	60
1.3.2	Spule	29	2.4.5	Rechnen mit Dualzahlen	61
1.3.3	Tiefpass, Hochpass und Bandpass ..	31	2.5	Binärcodes	62
1.3.4	Resonanzkreise	32	2.5.1	BCD-Code (BCD: binär codierte Dezimalziffer) ..	62
1.3.5	Bandfilter	33	2.5.2	Gewichtete Codes	62
1.3.6	Transistor	34	2.5.3	Ungewichtete Codes	62
1.3.7	Operationsverstärker	35	2.5.4	Fehlererkennende Codes	63
1.4	Optoelektronik	37	2.6	Grundlegende Schaltnetze	64
1.4.1	Allgemeines zur Optoelektronik	37	2.6.1	Addierer	64
1.4.2	Empfänger-Bauelemente	37	2.6.2	Arithmetisch-Logische-Einheit (ALU)	66
1.4.3	Emitter-Bauelemente	38	2.6.3	Äquivalenz-Element (lat.: Gleichwertigkeit)	67
1.5	Installation elektrischer Betriebsmittel	40	2.6.4	Pseudotetraden-Erkennen	67
1.5.1	Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie	40	2.6.5	Zahlen-Komparator	68
1.5.2	Dokumentationsunterlagen für die Elektroinstallation	41	2.6.6	Bustreiber, 3-state-Treiber	69
1.5.3	Schutzmaßnahmen	43	2.7	Codierer	70
1.5.4	Bemessung von Leitungen und Sicherungen	46	2.7.1	Dezimal-BCD(8421)-Codierer	70
1.5.5	Prüfen von Schutzmaßnahmen	47	2.7.2	BCD(8421)-Dezimal-Codierer	71
1.5.6	Projekt: Installation einer Energieversorgung für 24 PCs	48	2.7.3	Binär-Gray-Codierer	72
			2.8	Multiplexer, Demultiplexer	73
			2.8.1	Multiplexer (MUX)	74
			2.8.2	Demultiplexer (DMUX)	74

2.9	Bistabile Elemente, Flipflops	75	3	Arbeitsplatzrechner	108
2.9.1	RS-Flipflop	75	3.1	Allgemeines	108
2.9.2	D-Flipflop	77	3.1.1	Möglichkeiten der Vernetzung	108
2.9.3	Einflankengesteuerte Flipflops	78	3.1.2	Aufbau eines Arbeitsplatzrechners	109
2.9.4	Umwandlung von Flipflops	79	3.2	PC-Gehäuseformen	110
2.9.5	Zweisppeicher-Flipflop (Master-Slave-Flipflop)	80	3.2.1	Stationäre Geräte	110
2.9.6	Codeumsetzer	81	3.2.2	Mobile Geräte	110
2.10	Zählschaltungen	82	3.3	Aufbau eines Arbeitsplatzrechners	111
2.10.1	Asynchron-Zähler	82	3.3.1	Mikroprozessor (CPU)	111
2.10.2	Synchron-Zähler	84	3.3.2	Hauptplatine (Motherboard, Mainboard)	112
2.10.3	Integrierte Zählschaltungen	85	3.3.3	Kenngößen	113
2.11	Register	87	3.3.4	Chipsatz	114
2.11.1	Schieberegister	87	3.3.5	Arbeitsspeicher	115
2.11.2	Parallel-Seriell-Umsetzer	89	3.3.6	Interne Bussysteme	117
2.11.3	Seriell-Parallel-Umsetzer	90	3.4	Eingabe und Ausgabe	118
2.11.4	Scrambler, Descrambler	90	3.4.1	Tastatur	118
2.11.5	Latch	92	3.4.2	Maus	119
2.12	Rechenwerke	92	3.4.3	Touchpad	119
2.12.1	Seriellles Addierwerk	92	3.4.4	TrackPoint	119
2.12.2	Seriellles Subtrahierwerk	93	3.4.5	Periphere Schnittstellen	119
2.12.3	Seriellles Multiplizierwerk	95	3.4.6	Grafikkarten	122
2.12.4	Paralleler Addierer	96	3.4.7	Monitore	123
2.13	Digital-Analog-Umsetzer	97	3.4.8	Möglichkeiten der Eingabe-Ausgabe-Kommunikation	124
2.13.1	DA-Umsetzer mit gestuften Widerständen	97	3.5	Massenspeicher	124
2.13.2	DA-Umsetzer mit Widerstandskettenleiter/R2R-Netzwerk	98	3.5.1	Festplatten	124
2.14	Analog-Digital-Umsetzer	100	3.5.2	Partitionieren und Formatieren	125
2.14.1	AD-Umsetzer mit Widerstandsnetzwerk	100	3.5.3	Anschlüsse von Festplatten	128
2.14.2	AD-Umsetzer nach dem Sägezahnverfahren	101	3.5.4	RAID-Systeme	129
2.14.3	AD-Umsetzer nach dem Wägeverfahren	102	3.5.5	Optische Aufzeichnungssysteme	131
2.14.4	AD-Umsetzer nach dem Parallelverfahren	103	4	Übertragungsnetze	133
2.14.5	AD-Umsetzung durch Delta-Modulation	103	4.1	Übertragungstechnik	134
2.15	Halbleiterspeicher	104	4.1.1	Informationstechnische Grundlagen	134
2.15.1	Festwertspeicher	104	4.1.2	Übertragungsverfahren	135
2.15.2	Schreib-Lese-Speicher	105	4.1.3	Übertragungswege	136
2.16	Rechnerarchitektur	106	4.1.4	Signalarten	136
2.16.1	Von-Neumann-Architektur	106	4.1.5	Elektroakustik	137
2.16.2	Harvard-Architektur	106	4.2	Leitungsgebundene Signalübertragung	143
2.16.3	Mikrocontroller-Architektur	106	4.2.1	Übertragungskabel mit Kupferadern	143

4.2.2	Lichtwellenleiterkabel (LWL-Kabel)	146	5.3.4	Verbindungssteuerung mit dem Signalisierungs-Protokoll SIP (Session Initiation Protocol)	235
4.2.3	Kabelnetzaufbau	149	5.3.5	Architekturen der öffentlichen Netze	251
4.2.4	Grundgrößen einer Leitung	150			
4.2.5	Dämpfung auf Leitungen	161			
4.2.6	Pegel	164			
4.2.7	Übertragungsstörungen	166			
4.3	Mehrfachausnutzung von Übertragungswegen	172	5.4	WAN-Netzarchitekturen	254
4.3.1	Verfahren zur Mehrfachausnutzung	173	5.5	TeraStream	255
4.3.2	Modulationsverfahren	174			
4.3.3	Modulationsarten bei Sinusschwingungen	175	5.6	5G-Campusnetze	256
4.3.4	Modulationsarten bei Pulsfolgen	178	5.6.1	Die 5G-Architektur	257
4.3.5	Wellenlängen-Multiplexverfahren WDM	179	5.6.2	Luftschnittstellen	258
4.3.6	Digitale Modulationsverfahren mit sinusförmigem Träger	180	5.6.3	Ein privates 5G-Netz	259
4.3.7	Digitaler Teilnehmeranschluss ADSL	181	5.6.4	Private Unternehmen als Mobilfunknetzbetreiber	260
4.3.8	Zeitmultiplex-Verfahren PCM	182			
4.3.9	Messtechnik	186	5.7	Zugangsnetze (Access)	261
4.4	Datenkommunikation mit dem Internet-Protokoll IP	192	5.7.1	Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL)	262
4.4.1	OSI-Referenzmodell und seine Protokolle	192	5.7.2	Very high bit rate Digital Subscriber Line (VDSL)	262
4.4.2	TCP/IP-Referenzmodell und OSI	193	5.7.3	Vectoring	263
4.4.3	Internet-Transport-Protokoll TCP	194	5.7.4	Bonding	264
4.4.4	TCP-Segment-Header (L4)	195	5.7.5	Breitbandkabel-Anschlüsse	266
4.4.5	User Datagram Protocol, UDP	196	5.7.6	LTE-Anschluss	267
4.4.6	Das Internet	196	5.7.7	Optische Zugangssysteme	268
4.4.7	Header des IP-Protokolls	197	5.7.8	Multi-Service Access Node (MSAN)	269
4.4.8	IP-Adressen	198	5.7.9	Private Netze (TK-Anlagen)	271
4.4.9	Domain Name System DNS	198			
5	Weitverkehrsnetze	199	6	Lokale Netze	279
5.1	Einführung	199	6.1	Grundlagen der lokalen Netze	279
5.2	Transportnetz	200	6.2	Netzwerk-Topologien	280
5.2.1	Multiprotocol Label Switching (MPLS)	200	6.2.1	Bus	280
5.2.2	Software-defined Networking	201	6.2.2	Stern	281
5.2.3	Data Center	212	6.2.3	Ring	281
5.3	Netze der nächsten Generation – NGN	217	6.2.4	Masche	281
5.3.1	Grundlagen	217	6.2.5	Linie	281
5.3.2	IP Multimedia Subsystem IMS	224	6.2.6	Zell-Topologie	281
5.3.3	Übertragung von Echtzeitinformationen über NGN	228	6.2.7	Hybride Topologien	282
			6.2.8	Erweiterter Stern	282
			6.2.9	Logische und physikalische Topologie	282
			6.3	Strukturierte Verkabelung	283
			6.4	Schichtenmodelle	283
			6.4.1	ISO/OSI-Modell	283
			6.4.2	Schichten des OSI-Modells	285
			6.4.3	DoD- oder TCP/IP-Modell	286

6.5	Übertragungsmedien	286	6.8.2	Bluetooth	293
6.5.1	Koaxial-Kabel	286	6.8.3	Li-Fi – ein kommender Standard? ...	293
6.5.2	Twisted-Pair-Kabel	286			
6.5.3	Netzwerkklassen und Netzwerkkategorien	287	6.9	Netzwerkspeicher	294
6.5.4	Lichtwellenleiter (LWL)	288	6.9.1	Network Attached Storage – NAS ..	294
			6.9.2	Storage Area Network – SAN	294
6.6	Ethernet	290	6.10	Virtualisierung im LAN	294
			6.10.1	Servervirtualisierung	294
6.7	Netzkopplungen	291	6.10.2	Desktopvirtualisierung	295
6.7.1	Repeater und Hub	291			
6.7.2	Bridge und Switch	291	6.11	Cloud-Dienste nutzen	295
6.7.3	Router	292			
6.8	Drahtlose Netzwerke	292	Sachwortverzeichnis		297
6.8.1	WLAN/WIFI	292	Glossar der Abkürzungen		303

1.1 Informationsübertragung und Energieversorgung

„Die Telephonie (das Fernsprechen) ist die Kunst, mit Hilfe der Elektrizität in die Ferne sprechen zu können. Dieselbe ist eng verwandt mit der elektrischen Telegraphie. Während aber letztere dem Grossverkehr, ja dem Weltverkehr dient, macht sich die Telephonie dem Kleinverkehr in vielen Beziehungen nutzbar ...“, so in einem „Taschenbuch der Elektrizität“ aus dem Jahre 1900. Es geht damals wie heute darum, Informationen zwischen den angeschlossenen Teilnehmern über ein weltweites Fernmeldenetz auszutauschen. Dazu erwerben die Benutzer Zugangsberechtigungen. Sie bezahlen die kommunikationstechnischen Dienstleistungen nach vertraglich festgelegten Tarifen. Außerdem bezahlt der Benutzer seinen Anteil an der notwendigen elektrischen Stromversorgung.

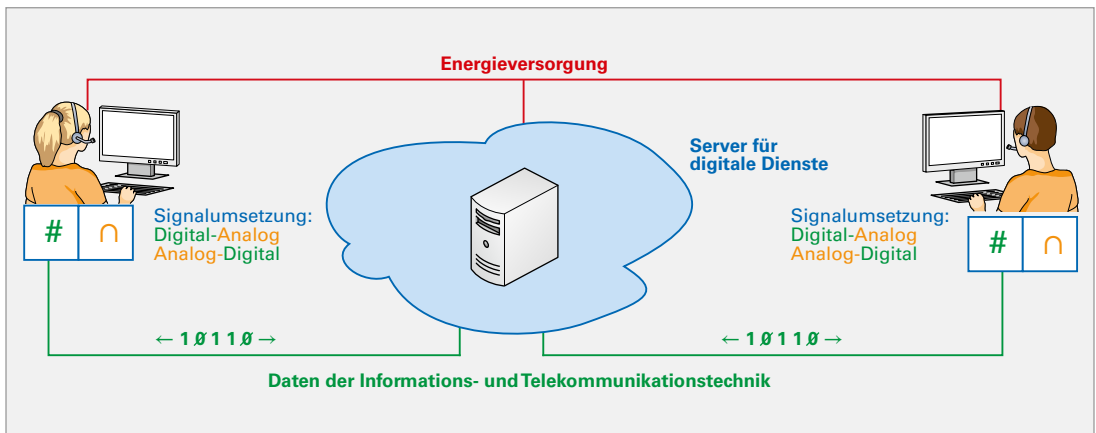


Bild 1: Multimedialer Informationsaustausch über IT/TK-Netze

Bild 1 zeigt die Verschmelzung der Informations- und Telekommunikationstechnik am Beispiel einer Online-Konferenz. Zwei Multimedia-PCs kommunizieren gleichzeitig über eine Sprachverbindung und über eine Datenverbindung. Sie tauschen sich verbal über **Headsets** aus und arbeiten parallel dazu über Tastatur und Bildschirm gemeinsam an einem Text.

Die Signale der Tastatur-Eingabe und die Signale für die Bildschirmausgabe werden als digitale 1-0-Folgen erzeugt und miteinander verknüpft. Gleichzeitig wird das örtliche Bildschirm-Signal zum entfernten Teilnehmer übertragen und dort in einem zweiten Bildfenster als Dialog dargestellt.

Das Mikrofon erzeugt aus akustischen Sprachsignalen elektrische Spannungswerte, die in ihrem Wert und in ihrer Frequenz der eingegebenen Sprache folgen. Sie werden über einen Analog-Digital-Umsetzer ebenfalls als 1-0-Folge codiert und digital übertragen. In der Gegenstelle entsteht aus der ankommenden 1-0-Folge wieder ein analoges elektrisches Signal, das über den Wandler-Prozess für den Gesprächspartner verständlich wird.

Sämtliche Geräte in diesem Kommunikationsprozess sind mit elektrischer Energie zu versorgen. IT/TK-Geräte und -Anlagen benötigen dazu Gleichspannungen und Gleichströme. Alle Installationen beim Kunden müssen fachgerecht sein. Gefährdungen sind durch Schutzeinrichtungen auszuschließen (**VDE 0100**). Zwischen dem häuslichen Versorgungsnetz und den Kommunikationsnetzen kann es zu unerwünschten Wechselwirkungen kommen. Daher müssen auch die Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit (**EMV-Gesetz**) erfüllt werden. Hierbei kommt den Elektroberufen mit ihrer Qualifikation zur Elektrofachkraft besondere Bedeutung zu. Typisch für die Lern- und Arbeitsfelder der IT/TK-Berufe ist das sorgfältige Installieren, Warten und Ändern an Breitband- und Funknetzen in Verbindung mit den Energienetzen, damit kein unerwünschtes Stören oder „Mithören“ entstehen kann.

■ Aufgabe

Beschreiben Sie (Bild 1) weitere Anwendungen (Apps) zur Informations- und Telekommunikationstechnik.

Die aktuellen Informations- und Telekommunikationstechnologien (**IT + TK → ITK-Branche**) gelten als technische Kernbereiche des Dienstleistungssektors. Mit ihrer Hilfe soll sich unsere Gesellschaft zur Informations- und **Wissensgesellschaft** entwickeln. Das gilt für die Elektrotechnik von Anfang an: erste Telegrafie-Anwendungen um 1840 dienten der Informationsübertragung durch zeitcodiertes Ein- und Ausschalten von Stromkreisen im Sinne des Fernmeldens – und die ersten elektrotechnischen Berufe entstanden in der **Fernmeldetechnik**. Kein Wunder, dass ständig erweiterte Bezeichnungen wie Nachrichtentechnik, Übertragungs- und Vermittlungstechnik, Kommunikationssysteme und -netze, Kommunikations- und Sicherheitstechnik, Informationstechnik und Telekommunikationstechnik diese Wachstumsbranche umschreiben. Nachrichtentechnik versteht sich als Mensch-zu-Mensch-Kommunikation bzw. als Mensch-zu-Maschine-Kommunikation. Informationstechnik versteht sich als Maschine-zu-Maschine-Kommunikation bzw. als Maschine-zu-Mensch-Kommunikation.

Das Telefon mit der Sprachsignalübertragung im analogen Basisband ist das klassische Endgerät der Fernmeldetechnik. Daten lassen sich als codierte Tonfolge im Sprachband von 300 Hz bis 3400 Hz übertragen. Moderne Modem-Technologien erlauben Datenübertragungsraten bis zu 56 kbit/s an der analogen Schnittstelle im Teilnehmeranschlussbereich. Alle anderen Netzebenen sind in Deutschland seit 1996 vollständig digitalisiert. Und seit 2002 gibt es mehr Mobilfunk-Teilnehmer als Festnetz-Teilnehmer. Die IT/TK-Netze entwickeln sich nun weiter zu integrierten IP-Netzen (**IP: Internet Protocol**).

Als **Überblickswissen** (Bild 1) lassen sich IT/TK-Anwendungen über **ITK-Inhalte** (Content) strukturieren. Da alle Inhalte im Netz digitalisiert werden, interessiert sich der **ITK-Netzprozess** (Switching, Routing) nur für den Ziel- und Zeitbezug der Datenmengen. Aus der Sicht des Anwenders bestimmen die Eigenschaften seines **ITK-Systems** (Terminal) die Möglichkeiten zur Telekommunikation.

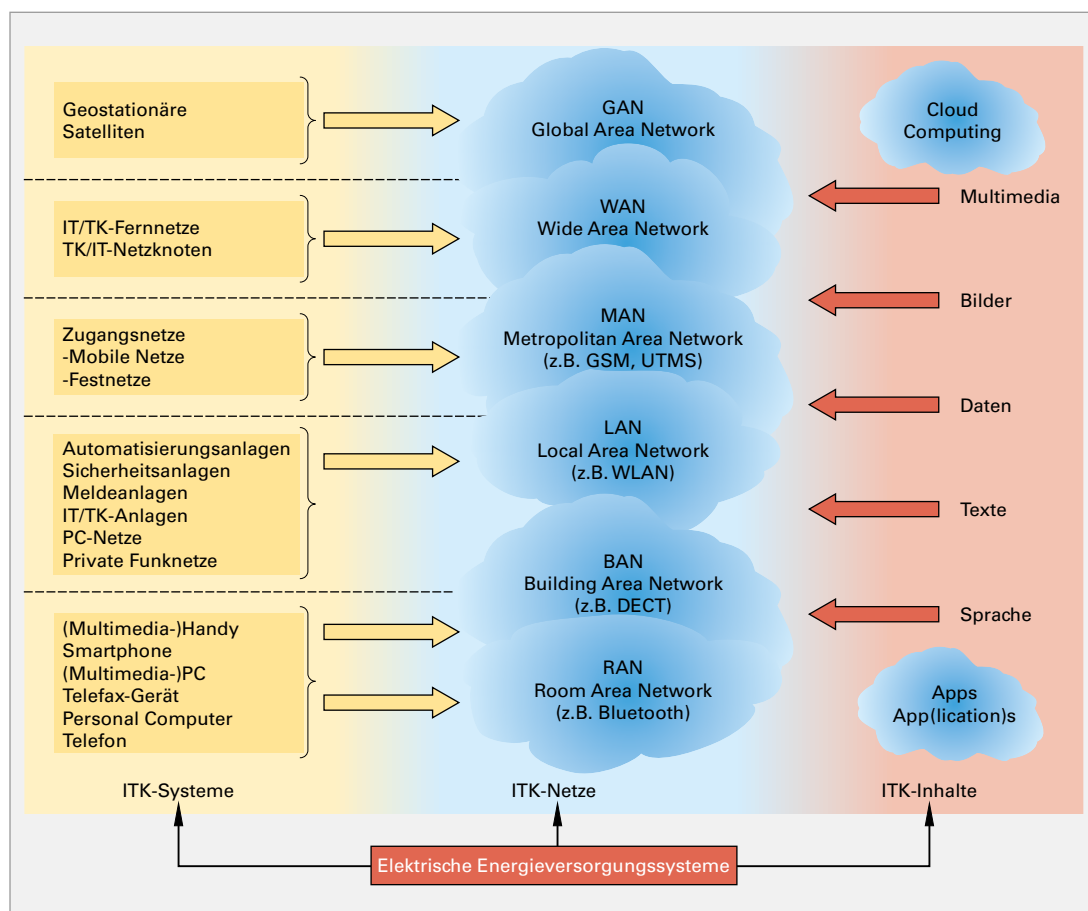


Bild 1: Systeme, Netzprozesse und Inhalte der Informations- und Telekommunikationstechnik (Überblicksstruktur)

Allerdings: **Ohne elektrische Energieversorgung funktioniert nichts.** Wohl dem, der ein drahtgebundenes Standard-Telefon mit Fernspeisung aus dem Netzknoten besitzt. Wehe, wenn beim Handy der Akku-Zustand nur noch letzte Warnzeichen abgibt. Viele Endgeräte lassen sich nur noch über Akkus betreiben. Andere benötigen ein (ganz bestimmtes) externes **Netzgerät** (Steckernetzgerät).

Es ist auffällig, wie viele externe Netzgeräte inzwischen in einem Normalhaushalt notwendig sind. Zählen Sie doch mal durch ... und notieren Sie den jeweiligen Leistungsbedarf ...

Und wenn ein Fehltritt passiert und die Anschlussleitung daneben liegt? Gehäuse von Festwert-Steckernetzgeräten sind aus Kunststoff und aus gutem Grunde verschweißt. Also muss ein Ersatzteil her. Suchen Sie es im Internet ... Oder hat es ein Kunde sehr eilig? Dann muss ein geeignetes **Universal-Netzgerät** mit einstellbarer Ausgangsspannung (Bilder 1, 3, 5) die lange Lieferzeit überbrücken.

Ausgehend vom Schaltzeichen eines einstellbaren Netzgerätes (Bild 1) interessieren die möglichen Eingangs- und Ausgangsgrößen. So darf die Netzspannung von 230 V um $\pm 10\%$ schwanken. Ein **Mindmap** (Bild 2) hilft bei der Arbeitsplanung. Das **Leistungsschild** (Bild 3) gilt als Dokument über die Eigenschaften des Netzgerätes. Wesentlich sind dabei die Hinweise zur **Elektrosicherheit** und zum **Einsatzbereich**.

Über das **Systemverhalten** eines Gerätes geben Datenblätter Auskunft. Hier interessiert das Verhalten bei Netzspannungsschwankungen und bei Laständerungen.

Und schließlich sollte auch ein Schaltplan (Bild 5) zur Geräte-Dokumentation gehören, um im Falle eines Fehlers an gezielten Stellen messen zu können. Und wenn alles nicht hilft: Fachgerechte Entsorgung bedeutet, dass Elektroschrott an besonders ausgewiesenen Stellen gesammelt wird.

Arbeitsauftrag: Informieren Sie sich über die Eigenschaften eines verfügbaren Steckernetzgerätes. Erläutern Sie alle Angaben auf dem Leistungsschild. Messen Sie, wenn möglich, die Leistungsaufnahme bei Leerlauf und bei Belastung. Schätzen Sie ab, welche Stand-By-Werte in o. a. Normalhaushalt zusammenkommen. Machen Sie Vorschläge zur Verbesserung der Energieeffizienz von Steckernetzgeräten. Suchen Sie im Internet nach geeigneten Produkten mit besserem Wirkungsgrad.

Hinweis: Es gibt inzwischen Schaltnetzteile in Steckerform mit Wirkungsgraden besser als 75 %.

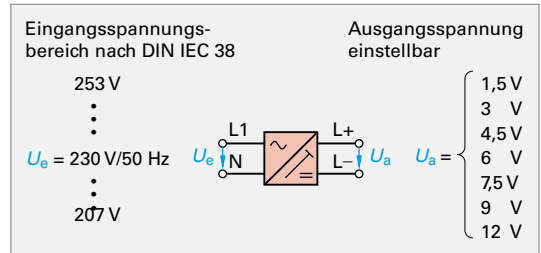


Bild 1: Schaltzeichen des einstellbaren Netzgerätes

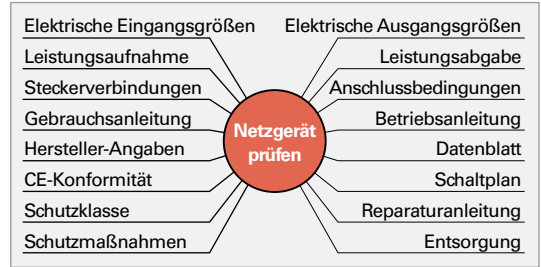


Bild 2: Mindmap zur Geräte-Prüfung

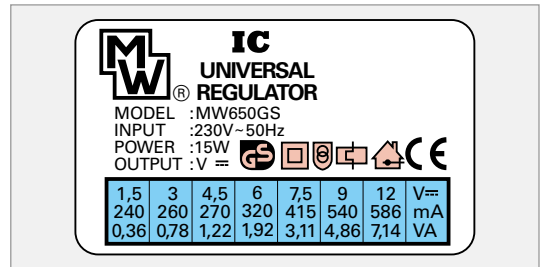


Bild 3: Leistungsschild eines Netzgerätes

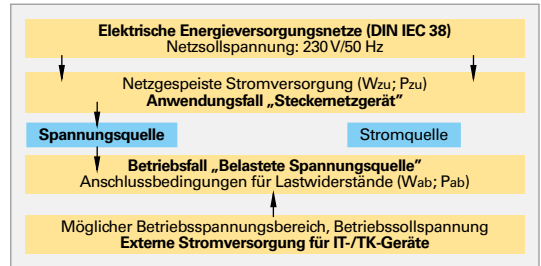


Bild 4: Systemverhalten eines Netzgerätes

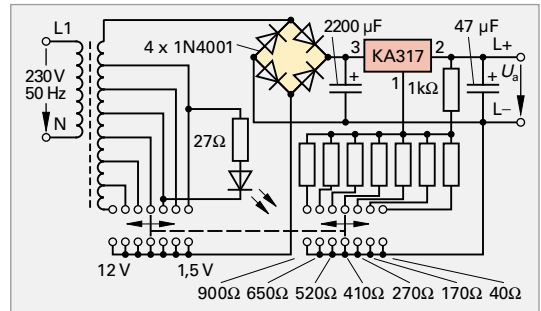


Bild 5: Schaltplan des Netzgerätes (von Bild 3)

1.2 Elektrischer Stromkreis

Ohne elektrische Energie ist eine Übertragung von Informationen nicht möglich!

Allen Verfahren zur Bereitstellung elektrischer Energie ist gemeinsam, dass es sich um die Umwandlung einer anderen Energieform in elektrische Energie handelt:

- **Chemische Energie** in elektrische Energie in **Batterien** für Kleinverbraucher, z.B. Armbanduhr, Laptop, Handy.
- **Lichtenergie** in elektrische Energie in **Solarzellen**, z.B. Taschenrechner.
- **Windenergie** in elektrische Energie in **Windkraftträdern**.
- **Wärmeenergie** in elektrische Energie in **Wärmekraftwerken**, z.B. Kohle-, Öl-, Gas- und Kernkraftwerke.

Die in Kraftwerken durch Umwandlung bereitgestellte elektrische Energie wird über ein großes Verteilernetz an die Verbraucher herangeführt. Je nach der Höhe der elektrischen Spannung, mit der die Energie transportiert wird, unterscheidet man

- Höchstspannungsfernleitungen mit 400 kV oder 230 kV (kilo Volt)
- Hochspannungsfernleitungen mit 110 kV
- Mittelspannungsortsleitungen mit 20 kV oder 10 kV
- Niederspannungs-Verbraucherzuleitungen mit 400 V/230 V

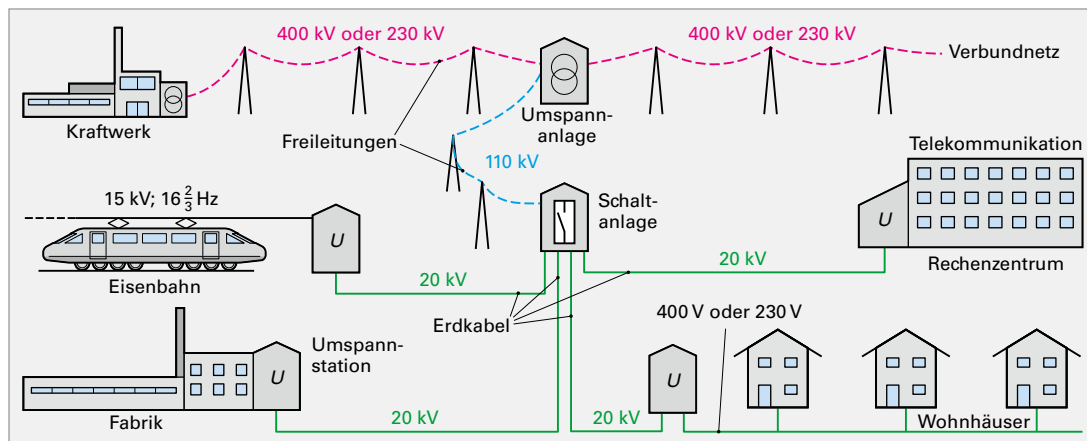


Bild 1: Schematische Darstellung der Energieversorgung (U: Umspanner, Umformer)

In **Umspannstationen** werden die Spannungen auf die jeweils erforderlichen Werte transformiert. Da dies nur mit Wechselspannung möglich ist, wird diese Spannungsart mit einer Frequenz von $f = 50$ Hz (Hertz, Schwingungen je Sekunde) in Deutschland fast überall benutzt. Ausnahmen bilden beispielsweise die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung zur Übertragung sehr großer Leistungen über große Entfernungen mit 1500 kV (z.B. Verbundnetz Ost- und Westeuropa), der Telefon-Fernmeldebereich mit 48 V/60 V Gleichspannung und der Fahrbetrieb der Deutschen Bahn mit 15 kV Wechselspannung mit der Frequenz von $f = 16 \frac{2}{3}$ Hz.

Das Prinzip der Leitungsführung der Energieversorgung im **Niederspannungsnetz** (z.B. für Wohnhäuser) zeigt Bild 2. Die Leiter L1, L2 und L3 führen gegeneinander jeweils die Spannung von 400 V, gegen den gemeinsamen Neutraleiter jeweils die Spannung

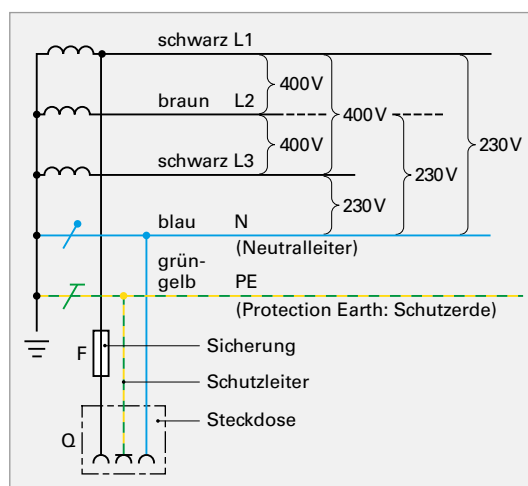


Bild 2: Energieversorgung im Niederspannungsnetz

von 230 V. Der Anschluss von 230-V-Steckdosen erfolgt von L1, L2 oder L3 und vom Neutralleiter N an die stromführenden Kontakte. Die Schutzkontakte werden immer mit dem grün-gelben Schutzleiter PE (Protection Earth: Schutzterde) verbunden. Es gibt Stromnetze, in denen der Neutralleiter N und die Schutzterde PE miteinander zum PEN-Leiter verbunden sind, der dann auch in der Farbe grün-gelb verlegt werden muss.

1.2.1 Elektrische Größen

Elektrische Betriebsmittel bestehen aus einer Vielzahl von Stromkreisen. Bild 1 zeigt einen Stromlaufplan, der einen einfachen Stromkreis darstellt. Der Kreis besteht aus einer **Energiequelle** U , die auch als Spannungs- oder Stromquelle bezeichnet wird, einem **Schalter** S und einem elektrischen **Widerstand** R (Resistor: Widerstand). Verbunden sind die Bestandteile des Kreises durch einen elektrischen **Leiter**.

Spannung U

Die Energiequelle liefert die **Spannung** U (U : Ursache). Sie entsteht durch die Trennung von elektrischen Ladungen. Negative Ladungen (Elektronen) werden von positiven Ladungen (Atomkerne) getrennt. Bei dieser Trennung muss Arbeit (Energie) aufgewendet werden, da die Anziehungskräfte zwischen den beiden unterschiedlichen Ladungen überwunden werden müssen. Dies gilt für alle elektrischen Energiequellen, wie z.B. Batterien, Akkumulatoren, Netzgeräte und Generatoren. Durch die Ladungstrennung entsteht ein **Minuspol** mit Elektronenüberschuss und ein **Pluspol** mit Elektronenmangel. Zwischen den beiden Polen herrscht eine elektrische Spannung. Sie entsteht durch das Ausgleichsbestreben der unterschiedlichen elektrischen Ladungen.

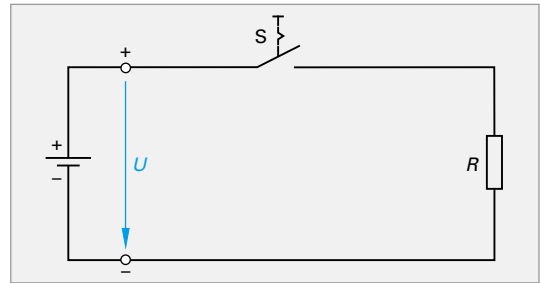


Bild 1: Elektrischer Stromkreis

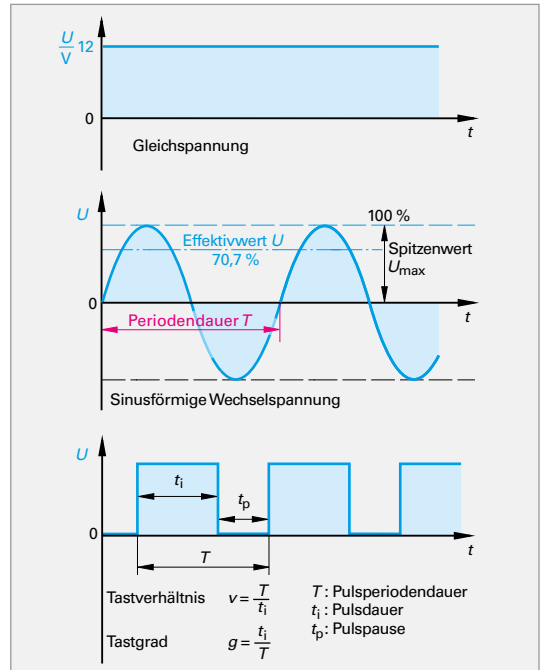


Bild 2: Zeitlicher Verlauf verschiedener Spannungsarten

Die **elektrische Spannung** hat das Formelzeichen U . Der Spannungswert wird in Volt (V) gemessen: $[U] = V$. Die eckigen Klammern bedeuten: „Einheit von“. – Beispiel: $U = 3 V$

Bild 2 zeigt verschiedene Spannungsarten, die in der Informations- und Telekommunikationstechnik eine große Rolle spielen. Die Gleichspannung dient als Betriebsspannung für elektronische Geräte. Sie wird aus der sinusförmigen Wechselspannung erzeugt, die das Niederspannungsnetz liefert.

Wichtige Kennwerte einer Wechselspannung sind:

- Die **Spitzenspannung (Amplitude)** U_{\max} .
- Die **Effektivspannung** U , die 70,7 % von U_{\max} beträgt.
- Die **Periodendauer** T als Zeit für eine volle Schwingung.
- Die **Frequenz** f als Kehrwert der Schwingungsdauer, sie gibt die Anzahl der Schwingungen je Sekunde an und trägt die Einheit Hertz (Hz).
- Die **Kreisfrequenz (Winkelgeschwindigkeit)** ω , als *Rechengröße*.

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} \quad f = \frac{1}{T}$$

$$U_t = U_{\max} \cdot \sin(\omega t)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$[T] = s$$

$$[f] = \frac{1}{s} = \text{Hz}$$

$$[\omega] = \frac{1}{s}$$

Zusammenhang der Kenngrößen für sinusförmige Wechselspannung

Die rechteckförmige Pulsspannung wird in der digitalen Signalverarbeitung eingesetzt.

• Stromstärke I

Wird der Schalter S des Stromkreises (Bild 1, siehe vorhergehende Seite) geschlossen, werden sich die Elektronen vom Minuspol (Elektronenüberschuss) der Energiequelle über den Schalter und dem Widerstand R zum Pluspol (Elektronenmangel) bewegen. Die Bewegung von Ladungen bezeichnet man als einen elektrischen Strom. Die elektrische Spannung bewirkt den Strom.

Die Stromstärke hat das Formelzeichen I (I : Intensität = Stärke). Die Einheit der Stromstärke ist das Ampere (A). – Beispiel: $I = 1,5 \text{ A}$

• Widerstand R

Der Widerstand als konkretes Bauteil im Stromlaufplan (Bild 1, siehe vorhergehende Seite) bestimmt neben der elektrischen Spannung die Stromstärke im Stromkreis.

Der **elektrische Widerstand** hat das Formelzeichen R , sein Widerstandswert wird in Ohm (Ω) gemessen. – Beispiel: $R = 12 \Omega$

• Leiterwiderstand R_L

Folgende Größen bestimmen den **Widerstandswert** eines Leiters:

– Spezifischer Widerstandswert ρ

Der **spezifische Widerstandswert** ist der Widerstandswert eines Materials von $l = 1 \text{ m}$ Länge und $A = 1 \text{ mm}^2$ Querschnittsfläche bei der Temperatur von $\vartheta = 20^\circ\text{C}$.

Der **spezifische Widerstandswert** hat das Formelzeichen ρ (rho). Sein Wert wird in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ gemessen.

– Länge l

Je größer die Länge eines Widerstandsdrahtes ist, desto größer ist der Widerstandswert: $R \sim l$.

– Querschnittsfläche A

Je größer die Querschnittsfläche A eines Widerstandsmaterials ist, desto geringer ist sein Widerstandswert: $R \sim 1/A$.

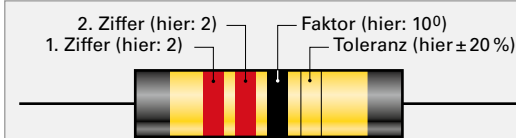
Daraus ergibt sich der Widerstandswert eines Leiters:

$$R = \frac{l \cdot \rho}{A} \quad [R] = \Omega$$

Der Wert eines Widerstandes wird auf dem Bauteil durch Farbringe gekennzeichnet (Bild 1).

• Temperaturabhängige Widerstände

Für die meisten Widerstandsmaterialien gilt, dass ihr Widerstandswert mit zunehmender Temperatur ϑ auch zunimmt (positiver Temperaturkoeffizient). Widerstände aus Materialien, bei denen der Widerstandswert mit zunehmender Temperatur besonders stark zunimmt, werden als **PTC-Widerstände** (Positiver-Temperatur-Koeffizient α) bezeichnet (Bild 1, siehe nachfolgende Seite).



Farbring	Ziffer	Faktor	Toleranz	Temp.-Koeffizient
schwarz	0	10^0		$250 \cdot 10^{-6}/\text{K}$
braun	1	10^1	$\pm 1,0 \%$	$100 \cdot 10^{-6}/\text{K}$
rot	2	10^2	$\pm 2,0 \%$	$50 \cdot 10^{-6}/\text{K}$
orange	3	10^3		$15 \cdot 10^{-6}/\text{K}$
gelb	4	10^4		$25 \cdot 10^{-6}/\text{K}$
grün	5	10^5	$\pm 0,5 \%$	$20 \cdot 10^{-6}/\text{K}$
blau	6	10^6	$\pm 0,25 \%$	$10 \cdot 10^{-6}/\text{K}$
violett	7		$\pm 0,1 \%$	$5 \cdot 10^{-6}/\text{K}$
grau	8			$1 \cdot 10^{-6}/\text{K}$
weiß	9			
silber		10^{-2}	$\pm 10,0 \%$	
gold		10^{-1}	$\pm 5,0 \%$	
keine			$\pm 20,0 \%$	

Bild 1: Kennzeichnung von Widerständen

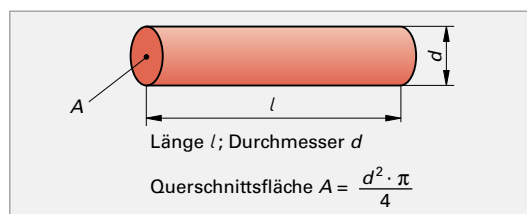


Bild 2: Abmaße zur Berechnung von Widerstandswerten

Widerstände aus Materialien, bei denen der Widerstandswert mit zunehmender Temperatur stark abnimmt, werden als **NTC-Widerstände** (Negativer-Temperatur-Coeffizient α) bezeichnet.

• Leiter, Nichtleiter, Halbleiter

Aufgrund ihrer elektrischen Leitfähigkeit werden drei Arten von Leitern unterschieden:

- **Leiter:** Dies sind Stoffe, die sehr viele freie Ladungsträger (Elektronen oder Ionen) haben, sodass sie als elektrische Leiter bezeichnet werden: z.B. Silber, Kupfer, Aluminium, aber auch Elektrolyte als Flüssigkeiten.
- **Nichtleiter:** Dies sind Stoffe, die aufgrund ihrer sehr niedrigen Anzahl freier elektrischer Ladungsträger eine so geringe Leitfähigkeit haben, dass sie als Nichtleiter oder Isolatoren bezeichnet werden: z.B. Glas, Keramik, Kunststoffe.
- **Halbleiter:** Dies sind Stoffe, deren elektrische Leitfähigkeit zwischen derjenigen der Leiter und der Nichtleiter liegt: z.B. Germanium, Silizium. Der Widerstandswert der Halbleiter nimmt mit steigender Temperatur stärker ab als bei üblichen Leitern.

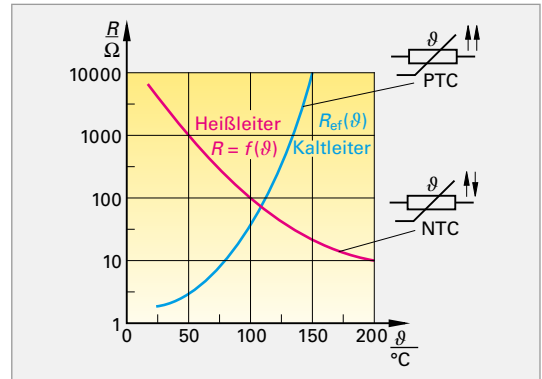


Bild 1: Schaltzeichen und Kennlinie eines Heißleiters und eines Kaltleiters

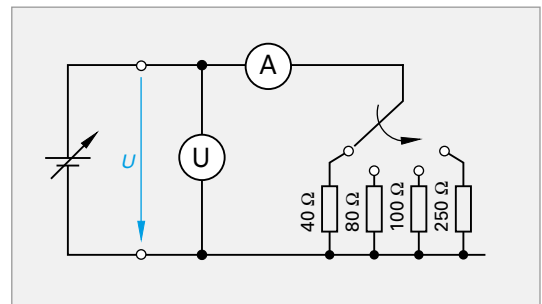


Bild 2: Messschaltung zum Ohmschen Gesetz

1.2.2 Ohmsches Gesetz

Das **Ohmsche Gesetz** beschreibt den Zusammenhang der elektrischen Größen **Spannung**, **Stromstärke** und **Widerstandswert**.

Bild 2 zeigt die Schaltung, mit der das Ohmsche Gesetz messtechnisch ermittelt werden kann. Die Messschaltung besteht aus einer Energiequelle mit einstellbaren Spannungswerten, die das Spannungsmessgerät anzeigt. Das Strommessgerät zeigt die Stärke des Stromes an, der durch den gewählten Widerstand R fließt. Wird der Widerstandswert konstant gehalten und der Spannungswert verändert, steigt die Stromstärke linear an (Bild 3).

Bei konstantem Widerstandswert verhält sich die Stromstärke I proportional zur Spannung U :
 $I \sim U$

Wird der Spannungswert auf einen festen Wert eingestellt und der Widerstandswert verändert, ergibt sich ein Stromverlauf, wie er in Bild 4 dargestellt ist. Die Stromstärke verhält sich im umgekehrten Verhältnis zum Widerstand.

Bei konstanter Spannung verhält sich die Stromstärke I umgekehrt proportional zum Widerstandswert R : $I \sim 1/R$

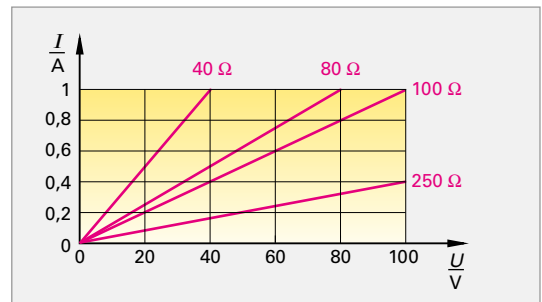


Bild 3: Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung für Widerstände mit unterschiedlichen Werten

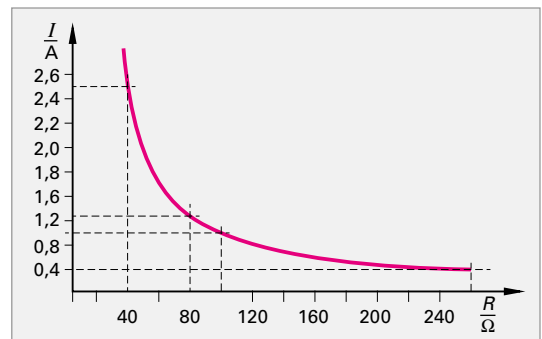


Bild 4: Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstand für $U = 100 \text{ V}$ (konstant)

Die beiden Abhängigkeiten lassen sich zu einer Gleichung, dem **Ohmschen Gesetz**, zusammenfassen.

1.2.3 Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad

Unter dem Einfluss der elektrischen Spannung werden in einem geschlossenen Stromkreis Elektronen (negative Ladungsträger) bewegt. Es fließt ein Strom. Da sich Ladungen bewegen, wird eine **elektrische Arbeit** verrichtet. Sie lässt sich mit der nebenstehenden Formel bestimmen:

Die **elektrische Leistung** P (engl. Power) ist die auf die Zeit bezogene Arbeit, in der sie verrichtet wird.

Wenn ein Gerät eingeschaltet wird, so wird ihm eine elektrische Leistung P_{zu} zugeführt. Ein Anteil dieser zugeführten Leistung wird für die gewünschte Wirkung als P_{ab} an das Gerät abgegeben. Der Rest der Leistung geht als Verlustleistung P_v in Form von Wärme verloren.

Als **Wirkungsgrad** η (eta) eines Gerätes bezeichnet man das Verhältnis der vom Gerät abgegebenen Nutzleistung P_{ab} zu der zugeführten Gesamtleistung P_{zu} .

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

Da die zugeführte Leistung wegen der Verluste immer größer ist als die abgegebene, ist der Wirkungsgrad η immer kleiner als 1 bzw. < 100 %.

Die Formel $P = U \cdot I$ gilt nur für ohmsche Widerstände an Gleichspannung. In der Energietechnik werden jedoch oftmals keine reinen ohmschen Widerstände (R), sondern sog. Scheinwiderstände (Z) mit Wechselspannung (U_{\sim}) bzw. Dreiphasen-Wechselspan-

nung ($U_{3\sim}$) versorgt. In diesen Fällen gelten folgende Formeln:

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

$$P = \frac{W}{t} = U \cdot I \quad [P] = \frac{V \cdot A \cdot s}{s} = V \cdot A = W$$

Hinweis: $P = U \cdot I$ gilt für Gleichspannung

$$P_{\sim} = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) \\ P_{3\sim} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$$

$\cos(\varphi)$: Wirkungsfaktor

φ : Phasenverschiebungswinkel

$$W = U \cdot I \cdot t \quad [W] = V \cdot A \cdot s = Ws$$

W: elektrische Arbeit (engl. work)

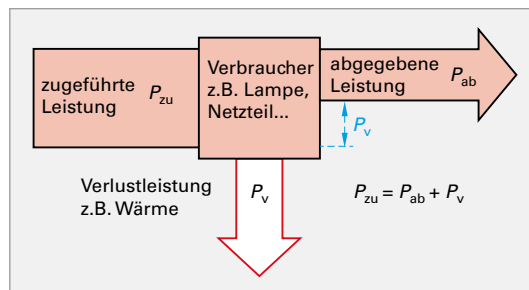


Bild 1: Leistungsfluss an einem elektrischen Verbraucher

■ Aufgaben: Elektrische Grundgrößen

1. Ein Stromkreis ist für $U = 230 \text{ V}$ durch eine 16-A-Sicherung geschützt. Welche Leistung dürfen die angeschlossenen Geräte höchstens haben, damit die Sicherung nicht auslöst?
2. Welchen Wirkungsgrad besitzt ein Netzteil, wenn es bei einer Leistungsaufnahme von 200 W eine Verlustleistung von 25 W besitzt?

1.2.4 Reihenschaltung

Soll eine Signallampe mit der Lampenspannung $U_L = 6 \text{ V}$ an einer Energiequelle (Batterie) mit der angegebenen Betriebsspannung $U_b = 12 \text{ V}$ betrieben werden, so muss in diesem Stromkreis die Differenzspannung von $U_v = 6 \text{ V}$ an einem **Vorwiderstand** R_v in Verlustwärme oder in einer zweiten Lampe in Lichtenergie umgesetzt werden. Am Vorwiderstand wird dies als ein **Spannungsfall** U_v an R_v bezeichnet. Für Berechnungen kann die Signallampe als Arbeitswiderstand R_a (hier der Glühfaden) gekennzeichnet werden. Da in einer Reihenschaltung der Strom nur einen Pfad hat, ist die Stromstärke in allen Punkten des Stromkreises gleich groß.

In einer Reihenschaltung ist die Stromstärke an jeder Stelle gleich groß.

Um die Spannungsverhältnisse innerhalb einer Schaltung beschreiben zu können, verwendet man die Maschenregel:

1. Alle Spannungspfeile von + nach – zeigend einzeichnen.
2. Beliebigen Startpunkt, beliebigen Umlaufsinn wählen.

3. Vom Startpunkt aus im Umlaufsinn alle Teilspannungen aufaddieren (vorzeichenrichtig). Spannungspfeile **im** Umlaufsinn zählen positiv, Pfeile **entgegen** dem Umlaufsinn negativ.
4. Der Umlauf ist beendet, wenn man wieder am Startpunkt angelangt ist, nun werden alle aufaddierten Teilspannungen gleich null gesetzt.

Die so aufgestellte Gleichung kann nun nach der gewünschten Teilspannung umgestellt werden. Für die Reihenschaltung aus Bild 1 bedeutet dies:

1. Einzeichnen von U_b , U_v und U_L .
2. Startpunkt z.B. bei Umlaufsinn entgegen dem Uhrzeiger
3. $+ U_b$ (1 nach 4), $0 V$ (4 nach 3), $- U_L$ (3 nach 2), (2 nach 1) $- U_v$
4. $U_b - U_L - U_v = 0$
 $\rightarrow U_b = U_L + U_v$ (Die Summe der Teilspannungen ergibt die Gesamtspannung)
 $\rightarrow U_v = U_b - U_L$
 $\rightarrow U_L = U_b - U_v$

$$U_b = U_L + U_v$$

In einer Reihenschaltung ist die Summe der Teilspannungen gleich der Gesamtspannung.

$$R_{\text{gesamt}} = R_v + R_a$$

In einer Reihenschaltung ist die Summe der Einzelwiderstände gleich dem Gesamtwiderstand.

Allgemeingültig formuliert:

$$U_{\text{gesamt}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$R_{\text{gesamt}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$I_{\text{gesamt}} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

1.2.5 Reale Spannungsquelle

Eine reale Spannungsquelle besitzt keinen Innenwiderstand R_i . Somit würde sie an ihren Klemmen immer ihre Leerlaufspannung U_0 liefern. In der Realität besitzt jedoch jede Spannungsquelle einen Innenwiderstand, der möglichst klein sein sollte. Der R_i resultiert aus dem Aufbau bzw. der verwendeten Materialien (Elektrolyte, Bleiplatten, Halbleitern, Drähte usw.)

Leerlaufbetrieb: Wird an einer realen Spannungsquelle kein Verbraucher angeschlossen, so spricht man vom Leerlaufbetrieb. Es fließt somit kein Strom durch den R_i , wodurch auch kein Spannungsabfall entsteht $\rightarrow U_{KL} = U_0$

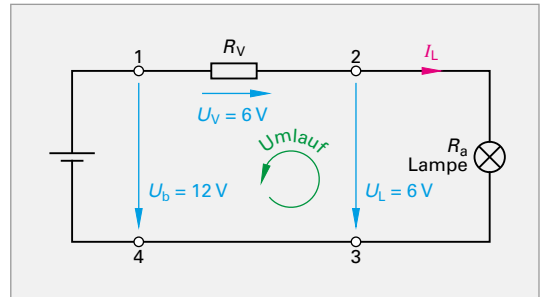


Bild 1: Anschluss einer Glühlampe mit einem Vorwiderstand

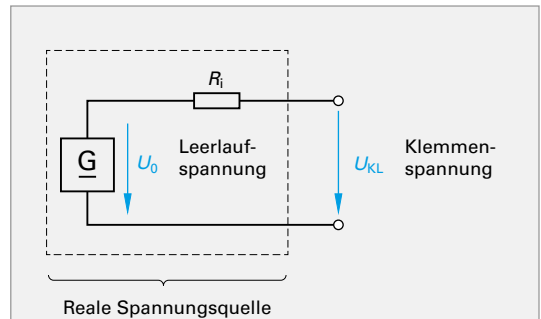


Bild 2: Reale Spannungsquelle, im Leerlauf

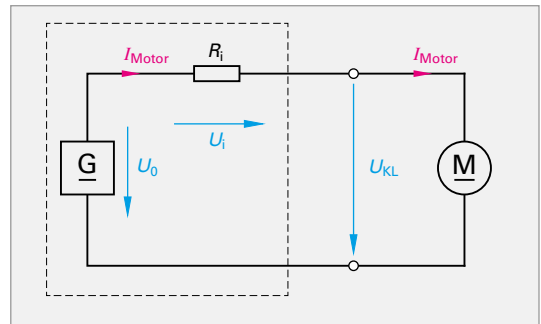


Bild 3: Reale Spannungsquelle, belastet

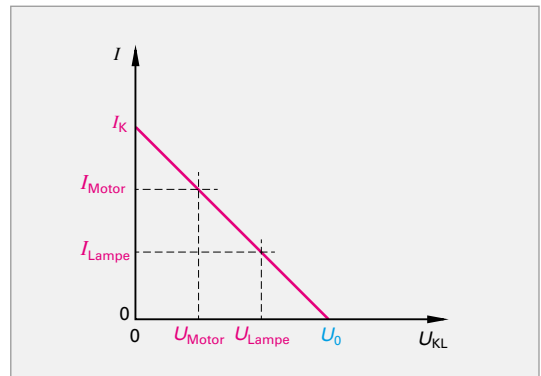


Bild 4: Abhängigkeit der Klemmenspannung U_{KL} von der Stromentnahme an einer Energiequelle

Belastung: Wird ein Verbraucher angeschlossen, so fließt ein Verbraucherstrom (auch) durch den Innenwiderstand der Spannungsquelle, wodurch der Spannungsabfall U_i entsteht (Bild 3, siehe vorhergehende Seite).

Der Motor erhält die Klemmenspannung U_{KL} , welche nun um den Betrag von U_i verringert wurde.

$$U_{KL} = U_0 - U_i$$

$$U_{KL} = U_0 - I_{\text{last}} \cdot R_i$$

Die zur Verfügung stehende Klemmenspannung fällt somit mit der Höhe der Belastung und der Größe des Innenwiderstandes R_i . Dieser Zusammenhang ist auf der vorhergehenden Seite in Bild 4 wiedergegeben.

Wird der Wert des Arbeitswiderstandes R_a geringer, so steigt die Stromstärke und auch die Spannung U_i an R_i , womit die Klemmenspannung U um diesen Betrag geringer wird. Werden die Anschlussklemmen der Spannungsquelle kurzgeschlossen, so sind $R_a = 0 \Omega$ und $U = 0 \text{ V}$. Durch die dann fließende **Kurz-**

schlussstromstärke I_K wird der Spannungsfall U_i genau so groß wie die Quellenspannung U_0 :

$$I_K = \frac{U_0}{R_i} \Rightarrow R_i = \frac{U_0}{I_K}$$

Die **Quellenspannung** U_0 , der **Innenwiderstands-**wert R_i und die **Kurzschlussstromstärke** I_K heißen **Kennwerte** einer Energiequelle.

Wird eine höhere Betriebsspannung benötigt, so kann man Energiequellen in Reihenschaltung betreiben. Dabei werden die Quellenspannungen und die Innenwiderstandswerte zu Gesamtwerten addiert.

Die Lampe (geringere Stromaufnahme) erhält eine größere Spannung als der Motor (größere Stromaufnahme). Schließt man die Klemmen kurz, so begrenzt allein der R_i den Stromfluss auf den Wert I_K (Kurzschlussstrom).

■ Aufgabe: Reale Spannungsquelle

Zeigen Sie durch Anwendung der Maschenregel, dass in Bild 3, siehe vorhergehende Seite, die Formel $U_{KL} = U_0 - U_i$ gilt.

1.2.6 Parallelschaltung

Eine **Parallelschaltung** liegt dann vor, wenn alle angeschlossenen Geräte an eine Energiequelle angeschlossen sind. Dies ist bei allen Hausinstallationen der Fall. Die Geräte einer Rechenanlage, wie PC, Drucker und Scanner, liegen alle an einer Betriebsspannung von 230 V.

Der **Gesamtstrom** I_g verzweigt sich im Punkt A in die **Teilströme** I_1 bis I_n , im Punkt B fließen die Teilströme wieder zusammen.

In der Parallelschaltung hilft die Knotenpunktregel, die Stromverhältnisse zu beschreiben:

1. Alle Ströme, die in einen Punkt hineinfließen, werden negativ gezählt.
2. Alle Ströme, die aus einem Punkt herausfließen, werden positiv gezählt.
3. Die so gebildete Summe aller Teilströme in einem Punkt ist immer null.

$$\begin{aligned} -I_g + I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n &= 0 \\ \rightarrow I_g &= I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \end{aligned}$$

Der Gesamtstrom einer Parallelschaltung (auch Ersatzwiderstand genannt) berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$R_{\text{gesamt}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Besteht eine Parallelschaltung aus nur zwei Widerständen, kann alternativ auch mit folgender Gleichung gerechnet werden:

$$R_{\text{gesamt}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

In einer Parallelschaltung erhalten alle Widerstände die gleiche Spannung.

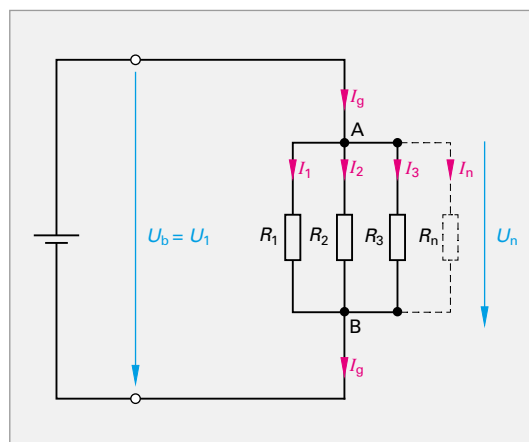


Bild 1: Parallelschaltung von Widerständen

1.2.7 Spannungsteiler und Brückenschaltung

Zu den **Gruppenschaltungen** von Widerständen gehören der Spannungsteiler und die Brückenschaltung.

Der **Spannungsteiler** ist eine Reihenschaltung von Widerständen, da die Gesamtspannung U durch diese Widerstände im Verhältnis ihrer Widerstandswerte aufgeteilt wird. Damit besteht die Möglichkeit, eine bestimmte Teilspannung an einem Widerstand abzugreifen. Ohne die Zuschaltung eines Widerstandes oder Gerätes an eine Teilspannung nennt man diese Schaltung einen **unbelasteten Spannungsteiler** (Bild 1).

An einem unbelasteten Spannungsteiler verhalten sich die Spannungen wie die zugehörigen Widerstandswerte.

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Schaltet man einen Arbeitswiderstand R_a an einen Teilwiderstand R_1 oder R_2 , so heißt diese Schaltung **belasteter Spannungsteiler** (Bild 2).

Zur Berechnung wird zuerst der Widerstand R_p der Parallelschaltung aus R_2 und R_a berechnet und dann der Gesamtwiderstand R_G der Reihenschaltung von R_1 und R_p . Daraus ergibt sich z. B.:

$$U_2 = U \cdot \frac{R_p}{R_1 + R_2}$$

Die Stabilität der Lastspannung U_2 ist umso größer, je weniger die Laststromstärke I_L die Gesamtstromstärke I_g verändert, d. h. je größer der Widerstandswert von R_L gegenüber dem von R_2 ist.

Werden R_1 und R_2 als Stellwiderstand (**Potentiometer**) ausgeführt, so ist die Ausgangsspannung U_2 verstellbar (z. B. Lautstärkeeinstellung).

Bild 3 zeigt eine Brückenschaltung, die in der Elektronik oft zu verschiedensten Messzwecken verwendet wird. Meist wird hierzu die Spannung zwischen den Punkten A und B verwendet (U_{AB}).

Abgegliche Brückenschaltung

Von einer abgeglichenen Brückenschaltung spricht man, wenn $U_{AB} = 0 \text{ V}$ ist. Dies ist genau dann der Fall, wenn die sog. Abgleichbedingung erfüllt ist:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Nicht abgegliche Brückenschaltung

Ist obige Abgleichbedingung nicht erfüllt, so ist $U_{AB} \neq 0 \text{ V}$, die Brückenschaltung ist nicht abgeglichen (bzw. verstimmt). Zur Berechnung der Brückendiagonalspannung U_{AB} verwendet man die Maschen-

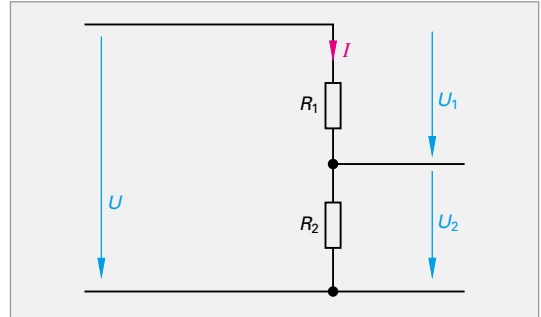


Bild 1: Unbelasteter Spannungsteiler

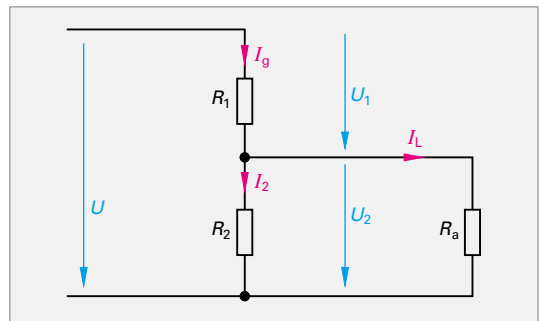


Bild 2: Belasteter Spannungsteiler

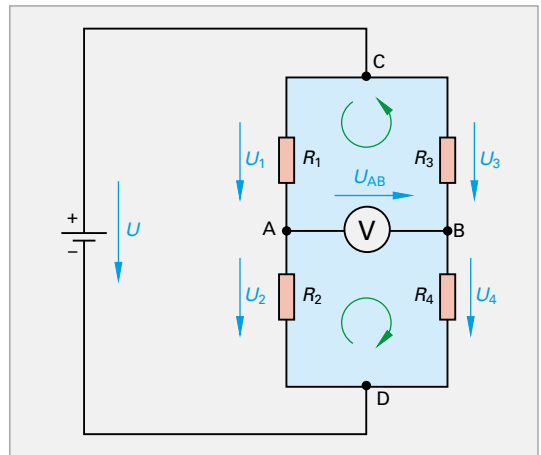


Bild 3: Brückenschaltung

und Knotenpunktregel. Dies soll am Beispiel (Bild 3) gezeigt werden: $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 200 \Omega$, $R_3 = 500 \Omega$, $R_4 = 1000 \Omega$, $U = 12 \text{ V}$. Wie groß ist nun die Brückendiagonalspannung? Eine Überprüfung der Abgleichbedingung ergibt, dass die Brücke abgeglichen ist, denn $R_1/R_2 = 100 \Omega/200 \Omega = R_3/R_4 = 500 \Omega/1000 \Omega$.

Daraus folgt $U_{AB} = 0 \text{ V}$. Jetzt wird die Brückenschaltung verstimmt, indem der Wert von R_4 auf 1500Ω erhöht wird. Wie groß ist nun U_{AB} ? Die Reihenschaltung aus $R_1 = 100 \Omega$ und $R_2 = 200 \Omega$ an 12 V liefert $U_1 = 4 \text{ V}$ und $U_2 = 8 \text{ V}$. Die Reihenschaltung aus $R_3 = 500 \Omega$ und $R_4 = 1500 \Omega$ an 12 V liefert $U_3 = 3 \text{ V}$ und $U_4 = 9 \text{ V}$. Die Maschenregel liefert nun: $U_1 + U_{AB} - U_3 = 0 \rightarrow U_{AB} = U_3 - U_1 = 3 \text{ V} - 4 \text{ V} = -1 \text{ V}$ oder aber $-U_2 + U_{AB} + U_4 = 0 \rightarrow U_{AB} = U_2 - U_4 = 8 \text{ V} - 9 \text{ V} = -1 \text{ V}$.

■ Aufgaben: Widerstandsschaltungen

1. Beschreiben Sie den Zusammenhang zwischen den Teilspannungen und der Gesamtspannung in einer Reihenschaltung von Widerständen.
2. Wie verhalten sich in einer Parallelschaltung die Teilstromstärken und die Widerstandswerte zueinander?
3. Eine Spannungsquelle hat im unbelasteten Betriebsfall eine Spannung von 24 V . Der Innenwiderstand hat den Wert $R_i = 0,2 \Omega$. Berechnen Sie die Kurzschlussstromstärke.
4. Die Länge einer Leitung soll mit einer Messbrücke bestimmt werden. Dazu wird das Leitungsende kurzgeschlossen. Der Abgleichwiderstand wird durch den Schleifer in $R_1 = 200 \Omega$ und in $R_2 = 300 \Omega$ geteilt. Der Widerstand R_3 hat den Wert 100Ω . Der Leitungsdurchmesser beträgt $d = 0,5 \text{ mm}$. Der spezifische Widerstand der Kupferadern beträgt $\rho = 0,00178 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

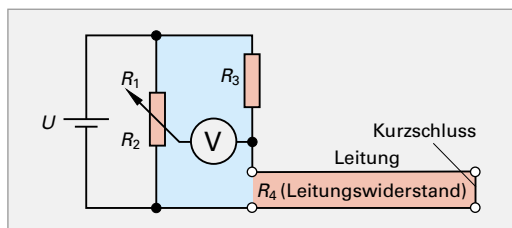


Bild 1: Bestimmung der Leitungslänge

1.2.8 Anpassung

Bei der Belastung von Energiequellen, dazu gehören auch Signalgeneratoren, können drei verschiedene Belastungsarten kommen, die unterschiedliche Wirkungen haben. Entscheidend ist dabei das Verhältnis des Innenwiderstandes R_i zum Lastwiderstand R_a . Der Arbeitswiderstand kann ein elektrisches Gerät oder aber auch ein Messgerät sein.

$R_a > R_i$: Am Arbeitswiderstand wird eine hohe Spannung wirksam. Es liegt eine **Spannungsanpassung** vor.

Spannungsanpassung: Eine hohe und weitgehend stabile Spannung am Arbeitswiderstand R_a (oder einem Gerät) erhält man, wenn der Arbeitswiderstandswert R_a sehr groß gegenüber dem Innenwiderstandswert R_i ist:

Für die Spannungsanpassung gilt: $R_a \geq 10 R_i$

Die Spannungsanpassung wird überwiegend in der Netzversorgung der Energie-Versorgungs-Unternehmen (EVU) und bei Netzgeräten angewendet, um die Versorgungsspannung möglichst stabil zu halten.

$R_a < R_i$: Am Arbeitswiderstand wird eine hohe Stromstärke wirksam. Es liegt eine **Stromanpassung** vor.

Stromanpassung: Die größtmögliche Stromstärke I_k durch den Arbeitswiderstand R_a (oder ein Gerät) erhält man, wenn der Arbeitswiderstandswert R_a sehr klein gegenüber dem Innenwiderstandswert R_i ist:

Für die Stromanpassung gilt: $R_a \leq 10 R_i$

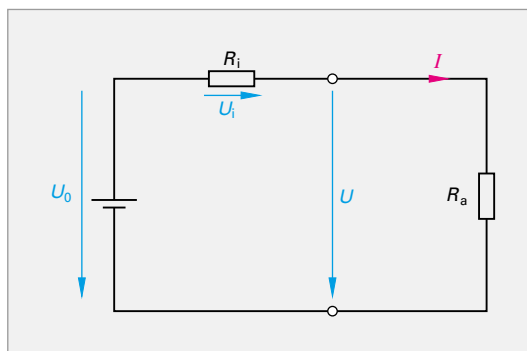


Bild 2: Spannungsquellen-Ersatzschaltung mit angeschlossenem Arbeitswiderstand R_a

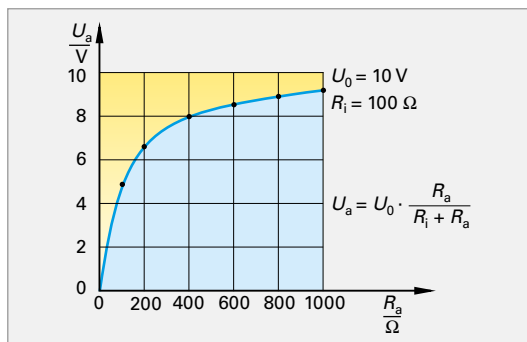


Bild 3: Spannungsanpassung