Elektrische Kabel und Leitungen

Technologien, Anwendungen und Anforderungen

Dr. Helmut Katzier

Erste Auflage mit 299 Abbildungen
und 94 Tabellen

LEUZE VERLAG
seit 1902

Fachverlag für
Oberflächentechnik – Galvanotechnik
Produktion von Leiterplatten und Systemen

Vorwort

Elektrische Kabel und Leitungen sind wesentliche Bestandteile in elektronischen Systemen. In allen Elektronikbranchen werden Kabel und Leitungen unterschiedlicher Bauformen und Komplexität mit einer großen Technologievielfalt eingesetzt.

Schon die ersten einfachen elektrischen Stromkreise benötigten Leitungen zur Energieübertragung. Später war es die Nachrichtenübertragung, die die Entwicklung elektrischer Kabel und Leitungen entscheidend vorangetrieben hatte. Die beiden Anwendungsbereiche *Energieübertragung* und *Signalübertragung* sind auch heute noch die Technologietreiber für elektrische Kabel. Die Vielfalt an Typen, Konstruktionen, Bauformen und Anforderungen elektrischer Kabel und Leitungen ist unüberschaubar.

In den heutigen elektronischen Systemen stellen elektrische Kabel und Leitungen in vielen Anwendungen komplexe Bauelemente dar, an die unterschiedliche elektrische, thermomechanische und Umgebungsanforderungen gestellt werden. Diese Anforderungen sind teilweise sehr vielschichtig und anspruchsvoll. Das ist einerseits auf die rasante Weiterentwicklung in der Halbleitertechnologie und die Forderung nach immer größerem Integrationsgrad zurückzuführen. Andererseits ist die Notwendigkeit, die Kosten in den elektronischen Systemen zu begrenzen und zu reduzieren, ein starker Motor für die aktuellen Entwicklungen in der Kabelindustrie.

Das Buch widmet sich folgenden Themenbereichen:

- den konstruktiven Basiskomponenten von elektrischen Kabeln und Leitungen
- den Materialien und Werkstoffen
- den elektrischen Anforderungen und Eigenschaften
- den mechanischen und thermischen Anforderungen
- den Anschlusstechnologien für Steckverbinder und Kabelgarnituren
- die Herstellung von elektrischen Kabeln und Leitungen
- der Qualifizierung
- den Normen, Standards und Richtlinien
- sowie einzelnen Kabeltypen und Familien

Zu Beginn des Buches werden die konstruktiven Basiskomponenten von elektrischen Kabeln und Leitungen beschrieben. Dabei werden alle prinzipiell möglichen Aufbaukomponenten aufgeführt und ihre Eigenschaften, Funktionsweisen und Normung dargelegt.

Der zweite Teil behandelt die Materialien und Werkstoffe, die zur Herstellung von elektrischen Kabeln und Leitungen benötigt werden. Die verschiedenen mechanischen, ther-

mischen und elektrischen Anforderungen für verschiedene Metalle und Kunststoffe werden hier behandelt. Für eine Vielzahl von Materialien sind typische Kennwerte und die Verfahren zu deren messtechnischen Bestimmung beschrieben.

Zentraler Punkt dieses Buches sind die elektrischen Anforderungen, Eigenschaften und Kennwerte von elektrischen Kabeln und Leitungen. Für unterschiedliche elektrische Anwendungen der Energie- und Signalübertragung, werden die elektrischen Parameter und deren messtechnische Ermittlung ausführlich beschrieben.

Die beiden folgenden Kapitel widmen sich der Vielzahl an mechanischen und thermischen Anforderungen elektrischer Kabel und Leitungen, die bei vielen Anwendungen von besonderer Bedeutung sind.

Die elektrischen Kabel müssen mit Anschlusselementen an die zu verbindenden elektronischen Komponenten angeschlossen werden. Diese Anschlusskomponenten haben einen signifikanten Einfluss auf die Eigenschaften der elektrischen Verbindung. Kabel und Kabelanschlusskomponenten können daher nicht isoliert betrachtet werden. Zu dem wichtigen Thema *Kabelkonfektionierung* findet sich in diesem Buch daher auch ein ausführliches Kapitel. Dort werden alle relevanten Verbindungstechnologien der Kabelkonfektionierung erläutert.

Weitere Kapitel finden sich zur Qualifizierung, den Richtlinien, der Normung, den Standards und die Herstellung elektrischer Kabel und Leitungen.

Das Buch trägt den Titel *Elektrische Kabel und Leitungen*. Kabel und Leitungen werden zur Übertragung von Energie und Informationen verwendet. Leitungen werden ohne Isolation und mit Isolation hergestellt. Hinsichtlich ihrer Beanspruchung sind Leitungen nicht gleichwertig mit Kabeln. Aufgrund ihres Aufbaues können Kabel in Luft, im Erdreich und im Wasser verlegt werden ohne die elektrische Funktion zu beeinträchtigen. Bei der Behandlung elektrischer Kabel und Leitungen müssen jedoch unterschiedliche Fachgebiete beachtet werden. Grundlage vieler elektrischer Eigenschaften ist zum Beispiel die Leitungstheorie. Hier gibt die Theorie den Begriff *Leitung* vor. In den Datenblättern der Hersteller finden sich eine Vielzahl von Kabelbezeichnungen, sowohl mit den Begriffen Kabel als auch Leitung. Im letzten Kapitel wird versucht, diese Bezeichnungen anhand von Klassifizierungen nach den Bauformen, den Eigenschaften, den Anwendungen und den Normen einzuordnen. Es werden in diesem Kapitel etwa 200 verschiedene Kabel- und Leitungstypen behandelt.

Ziel dieses Buches ist es, den Anwendern, das heißt den Entwicklern von elektronischen Systemen, den Kabelherstellern und Konstrukteuren, einen fundierten Überblick über die verschiedenen Aspekte bei dem Einsatz und der Herstellung von elektrischen Kabeln und Leitungen zu geben. Das Buch soll auch als Nachschlagewerk dienen, mit dem die wichtigen Begrifflichkeiten der elektrischen Kabel und Leitungen schnell gefunden werden können.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei Frau *Ingrid Matzke* und Herrn *Rudi Ganss* für die vielfältigen Anregungen und Unterstützungen, die sie mir bei der Erstellung des Buches gegeben haben. Weiterhin bedanke ich mich bei der *Eugen G. Leuze Verlag KG* für die Veröffentlichung des Buches.

Helmut Katzier München, im März 2015

2 Konstruktive Basiskomponenten

Elektrische Kabel bestehen im Allgemeinen aus mehreren Aufbaukomponenten für verschiedene Funktionen. *Abbildung 2* zeigt den prinzipiellen Aufbau eines zweiadrigen Kabels mit allen Aufbaukomponenten.

Für die Kabelkomponenten werden folgende Bezeichnungen verwendet:

– Massive Leiter werden als Drähte bezeichnet. Besteht der Leiter aus vielen Einzelleitern, so werden die Einzelleiter als Litzen und der gesamte Leiter als Litzenleiter bezeichnet.
– Die isolierten Leiter oder Litzenleiter heißen Adern.
– Die Gesamtzahl der Adern wird als Kabelseele bezeichnet.

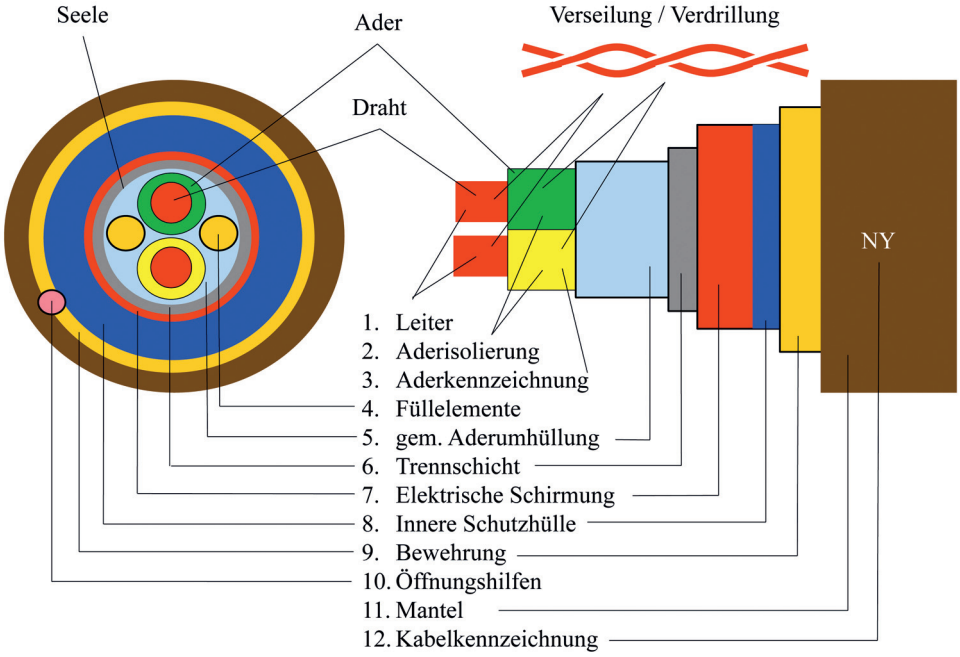


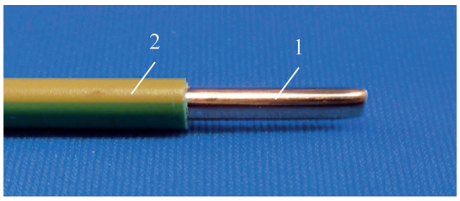
Abb. 2: Prinzipieller Aufbau eines zweiadrigen Kabels mit den Basisaufbaukomponenten

Bei der Herstellung der Kabel werden die Litzen eines Leiters und die Adern der Kabelseele verseilt (verdrillt). Für das Verseilen (Verdrillen) gibt es mehrere Gründe:

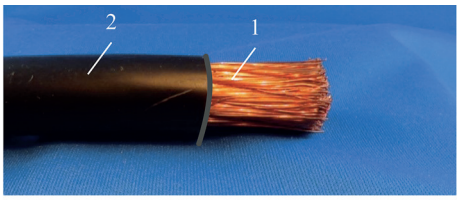
– höhere mechanische Flexibilität des Kabels
– kleinere Außendurchmesser und damit geringerer Platzbedarf
– Rundheit des Kabels

In vielen Kabeln werden zusätzlich auch die Aderpaare (paarige Adern) miteinander verdrillt. Diese Maßnahme dient zur Verbesserung der mechanischen Stabilität und der elektrischen Schirmung.

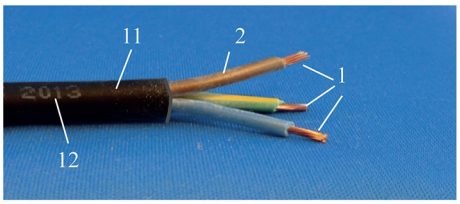
Nicht alle Kabeltypen benötigen sämtliche Aufbaukomponenten. *Abbildung 3* zeigt einige Beispiele für verschiedene Aufbauvarianten. Ein einfacher Drahtleiter besteht zum Beispiel nur aus einem Leiter und einer Aderisolierung *(Abb. 3 a)*. Ein Litzenleiter für sehr hohe Ströme zeigt *Abbildung 3 b.* Auch dieses Kabel besteht lediglich aus dem Litzenleiter und der Aderisolierung. *Abbildung 3 c* zeigt eine dreiadrige Gummileitung mit Litzenleiter. In *Abbildung 3 d* ist ein dreiadriges Erdkabel mit gemeinsamer Aderumhüllung abgebildet.



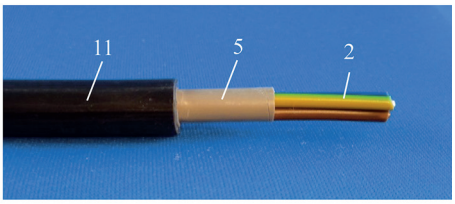
a) Aderleitung mit massivem Leiter



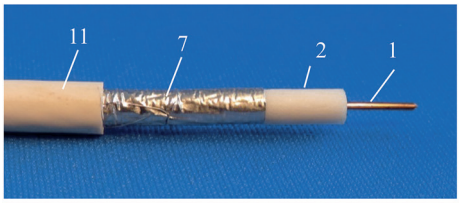
b) Hochstromleitung mit Litzenleiter



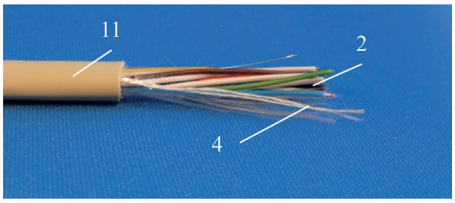
c) Dreiadrige Gummileitung mit Litzenleiter



d) Erdkabel NYY-J



e) Antennenkabel mit Folienschirm



f) Telefonkabel mit Füllelemente

Abb. 3: Aufbauelemente einer Einzelader (a), einer Litzenader für hohe Ströme (b), einer dreiadrigen Gummileitung (c), einer Erdleitung (d), eines Antennenkabels (e) und eines Telefonkabels (f)

Ein Antennenkabel mit einer elektrischen Schirmung aus einer dünnen Metallfolie zeigt *Abbildung 3 e.* In *Abbildung 3 f* ist ein Telefonkabel mit Füllelementen dargestellt.

Die Aufbaukomponenten können wiederum in sehr unterschiedlichen Bauformen und aus unterschiedlichen Materialien realisiert werden. In den folgenden Kapiteln wird auf diese Aufbaukomponenten und ihre verschiedenen Bauformen und Materialien eingegangen.

2.1 Elektrischer Leiter

Die elektrischen Leiter dienen zur Übertragung der elektrischen Energie oder der elektrischen Signale. In manchen Anwendungen werden Energie und Signale gleichzeitig über den elektrischen Leiter übertragen.

Für die Qualität eines Kabels spielt das Material und die konstruktive Gestaltung des Leiters eine wesentliche Rolle.

2.1.1 Materialien

Die Leiter bestehen meist aus Kupfer, Aluminium oder Legierungen dieser Metalle. Edelmetalle (Silber, Gold) werden als Beschichtung verwendet. Leitfähige Papier-, Gewebebänder oder leitfähiger Kunststoff dienen zur Verbesserung der Leitereigenschaften. *Tabelle 1* zeigt eine Übersicht zu den wichtigsten Leiter- und Beschichtungsmaterialien.

Die wesentlichen Materialeigenschaften des metallischen Leiters sind eine gute Leitfähigkeit und eine geringe Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit. Für besondere Anwendungen spielen höhere Festigkeit oder das Gewicht des Drahtes eine wichtige Rolle. Bei solchen Anwendungen werden besondere Kupferlegierungen oder Aluminium verwendet.

Tabelle 1: Übersicht zu Metallen für die elektrischen Leiter

Abkürzung	*Name*	*Anwendung*
Cu	Kupfer	Leiter
Cu	Kupferlegierungen	Leiter
Al	Aluminium	Leiter
E-AlMgSi	Aldrey	Leiter
Ag	Silber	Leiterbeschichtung
Au	Gold	Leiterbeschichtung
Ni	Nickel	Leiterbeschichtung
Zn	Zink	Leiterbeschichtung
Sn	Zinn	Leiterbeschichtung
	Leifähiges Papier	Leiterbeschichtung
	Leitfähiger Kunststoff	Leiterbeschichtung

Im Fokus steht jedoch immer die Leitfähigkeit des Materials. Kupferleiter können mit anderen metallischen Materialien, wie Zinn, Silber, Zink oder Nickel, beschichtet sein.

Die Materialien und deren Kennwerte werden in *Kapitel 3.1* ausführlich behandelt.

2.1.2 Leiteraufbau und -geometrie

Wesentliche Eigenschaften der Leiter werden durch deren Aufbau und der geometrische Gestaltung bestimmt. *Tabelle 2* zeigt einen Überblick zu den verschieden Aufbauvarianten und Geometrien von Leiteranordnungen. Dabei sind in der ersten Spalte (*) die Kennbuchstaben nach DIN VDE 0271/0276 (Starkstromkabel) in der zweiten Spalte (**) nach DIN VDE 0292/0292 (Harmonisierte Kabel und Leitungen) angegeben.

Durch den Aufbau und die Geometrie sowie durch die Materialien werden die thermischen, mechanischen, elektrischen und Umwelteigenschaften entscheidend beeinflusst. Die Leiter

Tabelle 2: Aufbau und Geometrie von Leiter

DIN *	**	*Aufbau und Geometrie*
	A	konzentrische Aluminiumleiter
	A6	konzentrischer Aluminiumleiter, mäanderförmig
C	C	konzentrischer Kupferleiter
	C6	konzentrischer Kupferleiter, mäanderförmig
	C9	aufgeteilter Konzentrischer Kupferleiter
CE		konzentrischer Kupferleiter, pro Einzelader
CW		konzentrischer Kupferleiter, wellenförmig
	D	feindrähtiger Leiter für Schweißleitungen
	E	feinstdrähtige Leiter für Schweißleitungen
	F	feindrähtiger Leiter einer flexiblen Leitung nach VDE 0295, Klasse 5
	H	feinstdrähtige Leitung einer flexiblen Leitung nach VDE 0295 Klasse 6
	K	feindrähtiger Leiter einer Leitung für feste Verlegung nach VDE 0295, Klasse 6
	M	Milliken-Leiter
	R	mehrdrähtiger Rundleiter
	S	mehrdrähtiger Sektorleiter
r	U	eindrähtiger Rundleiter
s	W	eindrähtiger Sektorleiter
	Y	Lahnlitzenleiter
o		ovaler Leiter
e		eindrähtiger Leiter
m		mehrdrähtiger Leiter
h		Hohlleiter
/V		verdichteter Leiter

3 Materialien und Werkstoffe

Kabel bestehen prinzipiell aus zwei Materialklassen, aus metallischen Werkstoffen und aus Kunststoffen. Der Anteil von Metallen und Kunststoffen ist stark abhängig vom jeweiligen Kabeltyp. Die Metalle haben im Wesentlichen die Aufgabe, den elektrischen Strom oder die elektrische Energie zu übertragen und das Kabel vor störenden elektrischen Einstrahlungen oder die Umgebung vor störender Ausstrahlung zu schützen. Die Kunststoffe dienen als elektrischer Isolator gegenüber unterschiedlichen metallischen Leitern und zum mechanischen Schutz des Kabelaufbaues. Die Auswahl der Werkstoffe und deren konstruktive Gestaltung bestimmen die Eigenschaften des Kabels. Eine genaue Kenntnis der Materialeigenschaften ist daher sowohl für die Entwickler und Konstrukteure als auch für die Anwender von elektrischen Kabeln von großer Bedeutung. Die Kennwerte für Werkstoffe können hinsichtlich ihrer Bedeutung in zwei Kategorien unterteilt werden:

– Materialkennwerte, die sich durch den Aufbau und die Konstruktion des Kabels nicht verändern. Hierzu gehören zum Beispiel die Leitfähigkeit metallischer Leiter oder die Dielektrizitätszahl von Kunststoffen.
– Materialkennwerte, die sich durch den Aufbau und die Konstruktion des Kabels verändern. Hierzu gehören zum Beispiel die Kriechstrom- und Spannungsfestigkeit von Kunststoffen.

Zuverlässige Kennwerte sind notwendige aber nicht hinreichende Voraussetzung für zuverlässige Kabeleigenschaften. Die Materialkennwerte sind abhängig von unterschiedlichen Einflüssen, zum Beispiel Temperatur, Feuchte, Frequenz usw.

Diese Randbedingungen müssen bei der Angabe von Materialkennwerten immer gekennzeichnet werden.

Im Folgenden werden die wichtigsten Kenngrößen der beiden Werkstoffe behandelt.

3.1 Metallische Werkstoffe

Metallische Werkstoffe werden in Kabeln für den Leiter, die Schirmung und die Bewehrung verwendet. *Tabelle 15* gibt eine Übersicht zu den wichtigsten metallischen Werkstoffen, die in elektrischen Kabeln Anwendung finden. Es gibt verschiedene Kenngrößen, die die Eigenschaften der Metalle charakterisieren. Im Folgenden werden diese Kenngrößen näher erläutert und Kennwerte für verschiedene Metalle und Metalllegierungen

Tabelle 15: Metallische Werkstoffe und deren Anwendungsbereiche bei elektrischen Kabeln

Abk.	*Name*	*Anwendung*
Cu	Kupfer	Leiter, Schirmung, Mantel
Al	Aluminium	Leiter, Schirmung, Mantel
E-AlMgSi	Aldrey	Leiter, Schirmung, Mantel
	Aluman 100	Leiter, Schirmung, Mantel
	Alumweid	Leiter, Schirmung, Mantel
Ag	Silber	Leiter, Leiterbeschichtung
Ni	Nickel	Leiterbeschichtung
Au	Gold	Leiterbeschichtung
Sn	Zinn	Leiterbeschichtung
Zn	Zink	Leiterbeschichtung
	Neusilber	Schirmung
	Stahl	Mantel
	Edelstahl	Mantel
Pb	Blei	Mantel, Bewehrung
Fe	Eisen	Mantel, mag. Schirmung
	Bronze	Mantel, Bewehrung
	Messing	Mantel, Bewehrung

genannt. Dabei sind jeweils typische Kennwerte angegeben. In den Datenblättern der Hersteller können bisweilen Abweichungen zu den hier dargestellten Werten auftreten. Insbesondere die Kenngrößen für die thermomechanischen Eigenschaften sind sehr stark von der verwendeten Messmethode abhängig. In den Balkendiagrammen geben die farblich abgesetzten Bereiche am Ende der Balken mögliche Toleranzbereiche der Kennwerte an. Darüber hinaus ist zu beachten, dass manche Kennwerte die Materialeigenschaften im unverarbeiteten Zustand beschreiben. Nach dem Zusammenbau im Kabel können diese Kennwerte deutlich andere Werte aufweisen. Die meisten Kennwerte haben einen eingeschränkten Gültigkeitsbereich hinsichtlich der elektrischen, thermischen, mechanischen und Umgebungsbedingungen. In seriösen Datenblättern sollten daher alle relevanten Randparameter, zum Beispiel Temperatur, Frequenz, Feuchtigkeit usw., angegeben werden.

Informationen zu Kennwerten, Messverfahren und Eigenschaften von Metallen finden sich zum Beispiel in [2, 18, 19, 23, 24, 57, 59].

3.1.1 Kennwerte

Tabelle 16 zeigt eine Übersicht zu den wesentlichen thermischen, mechanischen, elektrischen und Umwelteigenschaften metallischer Werkstoffe, die für elektrische Kabel von Bedeutung sind. In der zweiten Spalte sind die üblichen Symbole und in der dritten Spalte die Einheiten der Kenngrößen angegeben.

Tabelle 16: Kennwerte für metallische Werkstoffe

Kennwert	*Symbol*	*Einheiten*
Thermisch		
Schmelztemperatur	T_m	°C
Temperaturkoeffizient der Länge	α_ℓ	10^{-6} K^{-1}
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/K m
Absoluter Wärmewiderstand	R_{th}	K/W
Wärmekapazität	C	J/K
Spezifische Wärmekapazität	c	J/kgK
Wärmespeicherzahl	s	k J/m^3 K
Mechanisch		
Dichte	ρ	g/cm^3
Elastizitätsmodul	E	N/mm^2
Schubmodul	G	N/mm^2
Poisson-Zahl	μ	–
Streckgrenze	R_e	N/mm^2
Obere Streckgrenze	R_{eH}	N/mm^2
Untere Streckgrenze	R_{eL}	N/mm^2
Dehngrenze	$R_{p0,2}$	N/mm^2
Zugfestigkeit	R_m	N/mm^2
Gleichmaßdehnung	A_g	%
Bruchdehnung	A	%
Federbiegegrenze	R_{FB}	N/mm^2
Biegewechselfähigkeit	σ_{bw}	N/mm^2
Brinellhärte	HB	–
Vickershärte	HV	–
Rockwellhärte	HRB	–
Elektrisch		
Elektrische Leitfähigkeit	κ	m/Ω mm^2
Spezifischer elektrischer Widerstand	ρ	Ω mm^2/m
Temperaturkoeffizient von ρ	α_ρ	K^{-1}
Relative Permeabilität	μ_r	–
Elektrische Suszeptibilität	χ_e	
Magnetische Suszeptibilität	χ_m	–
Umwelt		
Korrosionsbeständigkeit	–	–
Spannungsrisskorrosion	–	–
Chemische Beständigkeit	–	–

3.1.2 Schmelztemperatur

Die Schmelztemperatur gibt die Temperatur T_m an, bei der das Metall von dem festen in den flüssigen Zustand wechselt. Für Metalle, die im Zusammenhang mit Lötprozessen verwendet werden, ist dieser Kennwert wichtig, da er in der Nähe der Schmelztemperatur der Lotmaterialien liegen muss. Zinn besitzt zum Beispiel eine Schmelztemperatur von T_m = 231 °C. Daher wird dieses Material hauptsächlich als Oberflächenmaterial bei Lötprozessen verwendet. In *Abbildung 30* sind für verschiedene Metalle die Schmelztemperaturen dargestellt.

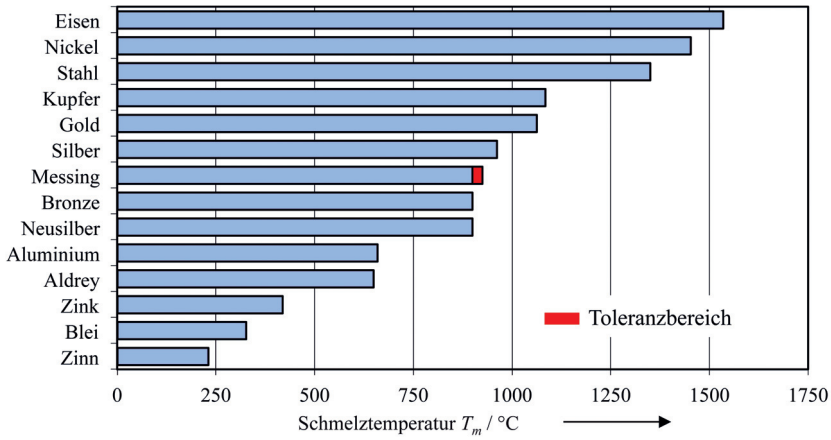


Abb. 30: Schmelztemperatur T_m verschiedener Metalle

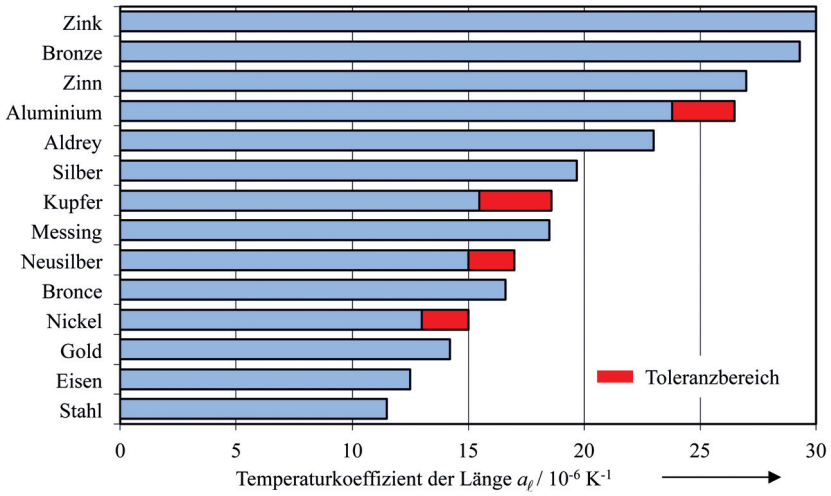


Abb. 31: Temperaturkoeffizient der Länge α_ℓ verschiedener Metalle

4 Elektrische Eigenschaften

Aufgabe eines Kabels ist es, elektrische Leistung und elektrische Signale zwischen zwei Systemkomponenten eines elektrischen Systems zu übertragen. Die elektrischen Eigenschaften des Kabels sind daher von wesentlicher Bedeutung. Dabei gibt es entsprechend der großen Vielfalt unterschiedlicher Anwendungen sehr große unterschiedliche elektrische Anforderungen.

Die elektrische Übertragung kann in vier Kategorien unterteilt werden *(Abb. 83)*. Bei zeitlich konstanter Übertragung von Strömen (linkes Bild in *Abb. 83*) handelt es sich um Gleichströme oder Gleichspannungen. Sie dienen ausschließlich zur Übertragung von Leistung zur Versorgung von elektronischen Systemen. Batterieversorgungen oder Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) sind typische Anwendungen. Hierbei fließen häufig hohe Ströme und hohe Leistungen durch das Kabel. Die wesentlichen charakteristischen Kenngrößen zur Leistungsübertragung sind die Gleichströme I, die Gleichspannung U und die Leistung P.

Wechselströme und Wechselspannungen mit niedrigen Frequenzen können sowohl zur Übertragung von Leistung dienen, zum Beispiel bei der Haushaltsversorgung mit $f = 50$ Hz oder der Bahnversorgung mit $f = 16\ 2/3$ Hz (zweites Bild von links *Abb. 83*) oder auch

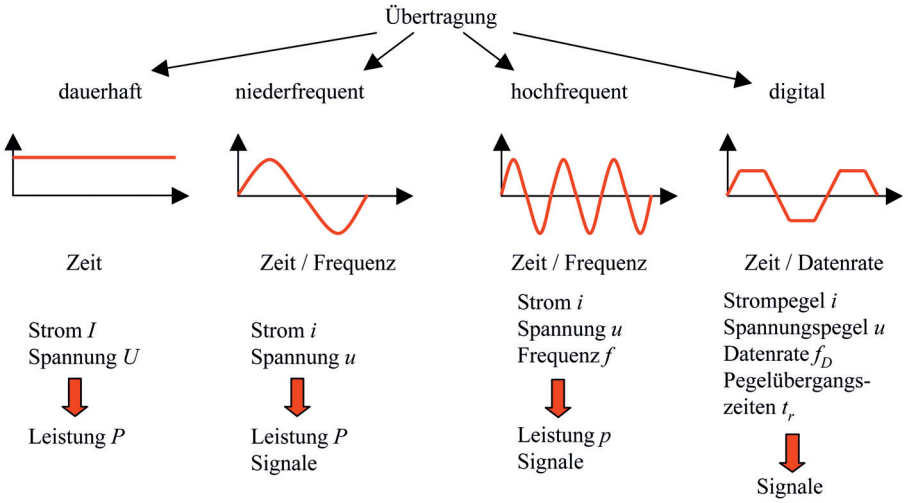


Abb. 83: Klassifizierung der Übertragung

zur Übertragung von Signalen. Bei manchen Anwendungen, zum Beispiel bei der Power Line Technologie, werden Leistung und Signale gleichzeitig übertragen. Bei der Leistungsübertragung mittels Wechselströmen können Stromstärken von bis zu mehreren hundert Ampère durch das Kabel fließen. Die wesentlichen charakteristischen Kenngrößen für eine Übertragung mit niedrigen Frequenzen sind die Frequenz f, die Wechselspannung u, der Wechselstrom i und die Leistung p.

Bei hohen Frequenzen werden Signale übertragen (drittes Bild von links in *Abb. 83*). Typische Beispiele für die Anwendung von Hochfrequenzübertragungen sind Mobilfunksysteme oder Richtfunksysteme. Bei der Übertragung im Hochfrequenzbereich ist zu unterscheiden, ob Signale mit niedriger Leistung oder Signale mit hoher Leistung übertragen werden. Die Übertragung von Mobilfunksignalen zur Mobilfunkantenne muss zum Beispiel mit hoher Leistung vom Antennenverstärker zur Antenne übertragen werden. Charakteristisches Merkmal für solche Anwendungen ist die Frequenz f und die Wellenlänge λ der Signale, mit der sich die Signale zeitlich ändern.

Eine weitere Kategorie von elektrischen Signalen sind die digitalen Signale (rechtes Bild in *Abb. 83*). Charakteristische Kenngrößen sind die Datenrate f_D, die Pegelübergangszeiten t_r, die Pegelspannungen $u(t)$ und die Pegelströme $i(t)$.

In der Elektrotechnik bedient man sich unterschiedlicher Beschreibungen im Zeit- und Frequenzbereich. Das Design, die Messungen und Berechnungen, die Analyse und Synthese, und auch die Dokumentation von elektronischen Systemen und Systemkomponenten werden durch diese unterschiedlichen Beschreibungen des elektrischen Verhaltens vereinfacht. Bei der Übertragung von Zeitbereichssignalen ist es zum Beispiel sinnvoll, bestimmte charakteristische Kenngrößen im Frequenzbereich zu betrachten, um die Systemanforderungen besser zu messen, zu berechnen oder zu verstehen.

Im Folgenden werden die charakteristischen Kenngrößen für Kabel sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich erläutert.

4.1 Zeitbereich

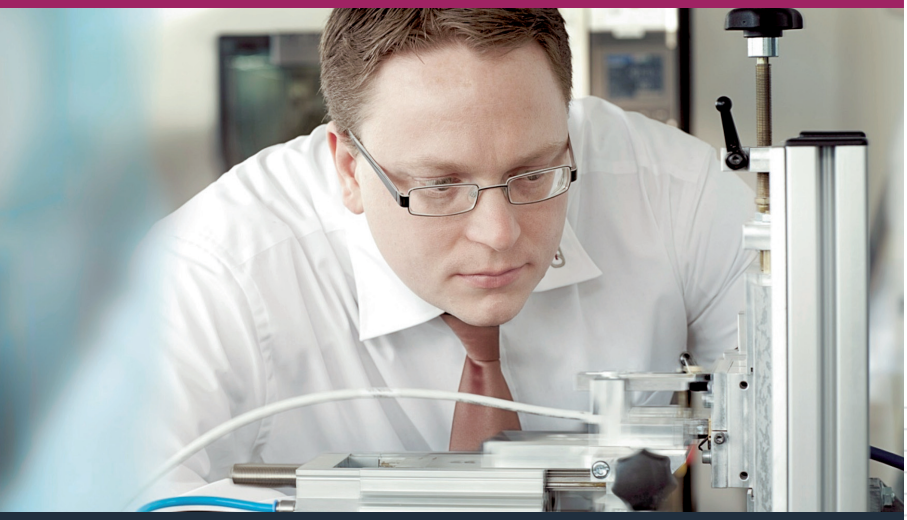
4.1.1 Zeitkonstante Beschreibung

Die einfachste Möglichkeit der Beschreibung elektrischer Kenngrößen liegt vor, wenn sich diese zeitlich nicht oder nur geringfügig ändern. *Abbildung 84* zeigt den idealen Verlauf zeitkonstanter Ströme oder Spannungen. Bei der Gleichstromübertragung im Kraftfahrzeug oder Energieübertragung mittels Gleichstrom ändern sich die elektrischen Kenngrößen nur geringfügig, so dass eine Beschreibung über zeitunabhängige elektrische Kenngrößen ausreichend ist. Strom I, Spannung U, Widerstände R_{DC} und Leistung P sind dann skalare Kenngrößen ohne Phasenbeziehung zueinander.

4.1.1.1 Powerintegrität

Bei der Übertragung zeitlich konstanter elektrischen Kenngrößen, zum Beispiel Spannungsversorgungen, unterliegen diese unvermeidlichen elektrischen Störungen. Elektro-

Glauben Sie noch oder lassen Sie schon bei uns messen?!



Nutzen Sie unsere einzigartige Erfahrung aus über 10.000 erfolgreichen Messtechnik-Projekten!

Unsere Dienstleistungen für Sie:

- Prüfung und Validierung von passiven LWL- und Kupfer-Verkabelungssystemen und -komponenten (GHMT Zertifizierung)
- Prüfung von Produkten nach Bauartspezifikation (GHMT Typenprüfung)
- Power over Ethernet (PoE) Tauglichkeitsprüfung
- Prüfung an Sonderbauformen (HDMI, DVI, USB, SATA etc.)
- Messtechnisch unterstützte Begutachtung sowie baubegleitende Qualitätssicherung (GHMT IT-Check)
- Erstellung eindeutiger Vorgaben für Planung und Umsetzung strukturierter Verkabelung (GHMT Planning Guidelines)
- Expertenberatung zum EMV-Schutz in Rechenzentren und Sonderanlagen
- Konzeption von Funknetzen sowie Technologieberatung bei modernen Funklösungen

GHMT®

GHMT AG
In der Kolling 13
66450 Bexbach

www.ghmt.de

Herstellerunabhängiger und neutraler Dienstleister

Akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 und KTA1401 für Prüfungen in den Bereichen:

- Hochfrequenztechnik (HF)
- Niederfrequenztechnik (NF)
- Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Passive LWL-Komponenten
- Umweltprüfungen

CABLING & SYSTEMS

EMC IN FACILITIES

WIRELESS APPLICATIONS

HOCHVERFÜGBARKEIT IM GANZEN BEDINGT PRÄZISION IM DETAIL.

Abb. 84: Zeitkonstante Darstellung von elektrischen Kenngrößen

nische Systeme stellen immer elektrische Energiespeicher dar. Bei schnellen elektrischen Veränderungen, zum Beispiel bei einem Ein- und Ausschalten von Systemkomponenten oder bei dem Schalten vieler Transistoren in digitalen Schaltkreisen, kommt es zu einer Entladung beziehungsweise Aufladung der einzelnen Energiespeicher. Diese Ladungsveränderungen führen wiederum dazu, dass sich die Pegel der Versorgungsspannungen oder auch die Masseversorgung verändern. Der Schaltungsdesigner versucht diese Schwankungen, insbesondere bei dem Design der Versorgungseinheiten (Netzteile, Batterie usw.), so gering wie möglich zu halten. Sie lassen sich aber mit vertretbarem Aufwand nicht vollständig vermeiden. Es gibt daher mehr oder weniger große Abweichungen von den eigentlich gewünschten zeitlich konstanten Werten der Versorgungsspannungen und der Masseversorgungen.

Abbildung 85 zeigt hierzu prinzipiell eine Spannungsversorgung von $U_V = 1$ V und eine Masseversorgung mit $U_G = 0$ V in einem elektronischen System. Aufgrund der Störungen gibt es Spannungsschwankungen um die Idealwerte von $U_V = 1$ V und $U_G = 0$ V. Der Systementwickler muss dafür Sorge tragen, dass diese Schwankungen innerhalb bestimmter Grenzen (U_{min}, U_{max}) bleiben, damit es zu keinen Störungen im Gesamtsystem kommt.

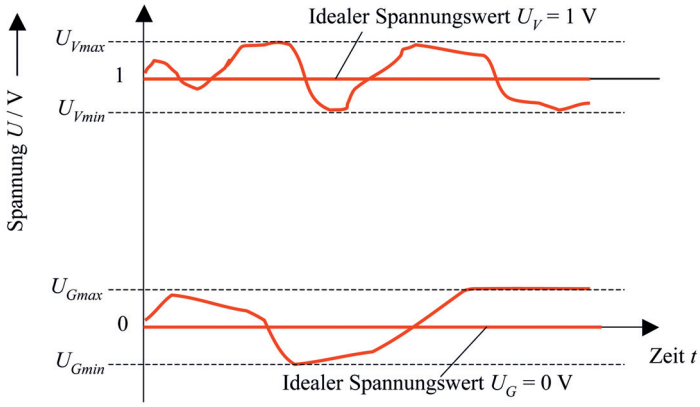


Abb. 85: Störungen der Spannungsversorgung und Masseanbindung