Elektrische Steckverbinder

Technologien, Anwendungen und Anforderungen

Dr. Helmut Katzier

1. Auflage mit 259 Abbildungen
und 60 Tabellen

LEUZE VERLAG
seit 1902

Fachverlag für
Oberflächentechnik – Galvanotechnik
Produktion von Leiterplatten und Systemen

Vorwort

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

Schon die ersten einfachen elektrischen Stromkreise benötigten mehrfach lösbare elektrische Kontakte zur flexiblen Handhabung der elektrischen Schaltung. Diese ersten Steckverbinder waren einfache metallische Verbindungselemente mit geringen elektrischen und mechanischen Anforderungen. In den heutigen elektronischen Systemen sind Steckverbinder vielfach komplexe Bauelemente mit unterschiedlichen elektrischen, mechanischen und Umgebungsanforderungen. Diese Anforderungen sind sehr vielfältig 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 Steckverbinderindustrie.

Das Buch widmet sich folgenden Themenbereichen:

- den konstruktiven Basiskomponenten von Steckverbindern,
- den Materialien und Werkstoffen,
- den elektrischen Anforderungen und Eigenschaften,
- den Methoden und Verfahren zur Simulation,
- der Qualifizierung,
- den Richtlinien, Normen und Patenten sowie
- einzelnen Steckverbindertypen und Familien.

Zunächst werden die konstruktiven Basiskomponenten von Steckverbindern beschrieben. Dabei stehen die Anforderungen an den elektrischen Kontakt, die verschiedenen Anschlussmöglichkeiten an die Übertragungsmedien, Leiterplatte und Kabel, und die Steckverbindergehäuse im Blickpunkt der Beschreibung.

Der zweite Teil behandelt die Materialien und Werkstoffe, die zur Herstellung von Steckverbindern benötigt werden. Die verschiedenen mechanischen, thermischen und elektrischen Anforderungen werden für verschiedene Metalle und Kunststoffe behandelt. Für eine Vielzahl von Materialien sind typische Kennwerte und die Verfahren zu deren messtechnischer Bestimmung beschrieben.

Zentraler Punkt dieses Buches sind die elektrischen Anforderungen, Eigenschaften und Kennwerte von Steckverbindern. Für unterschiedlich elektrische Anwendungen, Hoch-

2 Konstruktive Basiskomponenten

Alle Steckverbinder lassen sich unabhängig von ihrer Bauform und ihrer Anwendung in folgende Basiskomponenten zerlegen:

- den Kontakt
- die Ankontaktierung an die Anschlussmedien
- das Gehäuse

Innerhalb dieser drei Basiskomponenten unterscheiden sich die Steckverbinder erheblich. Prinzipiell bestehen Steckverbinder aber immer aus zwei Teilen, die zusammengesteckt werden. Diese beiden Komponenten sind wiederum mit verschiedenen Systemkomponenten verbunden.

2.1 Der elektrische Kontakt

Wesentlicher Bestandteil jedes Steckverbinders ist elektrischer Kontakt. Dabei gibt es zwei unterschiedliche Kontaktfunktionen:

- Die trennbaren Kontakte. Dies sind Kontakte, die mehrfach geöffnet und geschlossen werden müssen
- Die stationären Kontakte. Dies sind Kontakte, die normalerweise nur einmal hergestellt werden müssen und über ihre Lebensdauer geschlossen bleiben. Die Anschlüsse an die Übertragungsmedien sind zum Beispiel stationäre Kontakte

Die wesentliche Funktion eines Steckverbinders ist es, einen elektrischen Kontakt zwischen zwei Übertragungsmedien herzustellen. Dieser elektrische Kontakt muss je nach Anforderung mehrfach geöffnet und geschlossen werden können. Dabei muss der elektrische Kontakt nach Vorgabe der maximal zulässigen Kontaktierungsanzahl (Steckzyklen) immer zuverlässig gewährleistet sein. Auch wenn ein Kontakt über einen sehr langen Zeitraum nicht geöffnet oder geschlossen wurde, muss er beim Öffnen und Schließen immer einwandfrei funktionieren. Aus diesen Anforderungen lässt sich folgende Definition für einen elektrischen Kontakt eines Steckverbinders ableiten: *Ein elektrischer Kontakt ist ein Zustand zweier Kontaktstücke zum Zwecke der Stromleitung. Die Kontaktstücke müssen einen elektrischen Kontakt zuverlässig herstellen und aufheben können*.

Hinsichtlich der trennbaren Kontakte gibt es noch zwei unterschiedliche Anwendungen:

- das Öffnen und Schließen eines nicht aktiven Stromkreises
- das Öffnen und Schließen eines aktiven Stromkreises, das heißt öffnen und schließen unter Last

Steckverbinder dienen im Allgemeinen zur Herstellung eines Kontakts von Stromkreisen, die nicht aktiv sind. Es gibt jedoch auch Anwendungen, bei denen auch unter Last der Kontakt betätigt werden muss. Hierbei spielen die Größe des Stroms und die Größe der Spannung, die durch den Kontakt geschaltet werden muss, eine entscheidende Rolle auf die Gestaltung des Kontakts.

Um einen zuverlässigen Kontakt herzustellen ist es erforderlich, einen möglichst geringen elektrischen Kontaktwiderstand herzustellen. Dieser geringe Kontaktwiderstand muss über die erforderlichen Kontaktierungen (Anzahl des Schließens und Öffnens des Kontaktes) und die geforderte Lebensdauer gewährleistet werden. Die Zuverlässigkeit des elektrischen Kontakts hat unmittelbare Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit des elektronischen Geräts, in dem der Steckverbinder eingesetzt wird. In nahezu allen Anwendungsbereichen steigt die Anzahl der eingebauten elektrischen Kontakte stetig an. Durch die zunehmende Anzahl der elektrischen Kontakte darf die Zuverlässigkeit der elektrischen Geräte nicht schlechter werden. Ein Maß für die Zuverlässigkeit von elektronischen Geräten ist die Ausfallrate. Sie wird in *fit* (*failures in time*) angegeben. Dabei bedeutet 1 fit einen einzigen Ausfall pro 10^9 Betriebsstunden. Für komplexe elektronische Systeme sind Ausfallraten von 0,1 fit keine Seltenheit. Je mehr Steckverbinder in einem elektronischen System enthalten sind, desto zuverlässiger müssen auch die elektrischen Kontakte sein, um die geforderten Ausfallraten des Gesamtsystems zu gewährleisten.

Das Standardwerk zu elektrischen Kontakten wurde von *Ragnar Holm* verfasst [5]. Weitere Ausführungen zu dem Thema elektrische Kontakte finden sich zum Beispiel in [1-3, 6, 14].

2.1.1 Prinzip des elektrischen Kontakts

In den folgenden Kapiteln werden zunächst die physikalischen Aspekte von lösbaren Kontakten behandelt. Dabei ist es sinnvoll, zwischen folgenden vier Zuständen und Bewegungsabläufen zu unterscheiden:

- dem geschlossenen Kontakt
- dem sich öffnenden Kontakt
- dem sich schließenden Kontakt
- dem offenen Kontakt

2.1.1.1 Geschlossener Kontakt

Die physikalischen Vorgänge eines geschlossenen Kontakts lassen sich durch die Betrachtung des zunächst statischen Kontakts und des statischen Kontakts mit einer überlagerten Gleitbewegung veranschaulichen.

Der statische Kontakt

Der statische Kontakt ist ein theoretisches Modell zur prinzipiellen Veranschaulichung der physikalischen Vorgänge eines elektrischen Kontakts. Bei einem elektrischen Kontakt

handelt es sich, vereinfacht dargestellt, um einen stromdurchflossenen Leiter mit einer geringfügigen Störstelle.

Zur Erläuterung des elektrischen Kontaktes wird zunächst ein stromdurchflossener Draht ohne Störstelle betrachtet (*Abb. 13*). In einem von einem Strom I durchflossenen Leiter entsteht an beiden Enden des Leiters eine Spannung U. Dem Strom wird innerhalb des Leiters ein elektrischer Widerstand R entgegengesetzt. Die Verknüpfung zwischen dem Strom I, der Spannung U und dem Widerstand R beschreibt das Ohmsche Gesetz:

$$U = R \cdot I \qquad <1>$$

Der elektrische Widerstand R hängt von der Länge l des Abstands der beiden Messpunkte ab (*Abb. 14*).

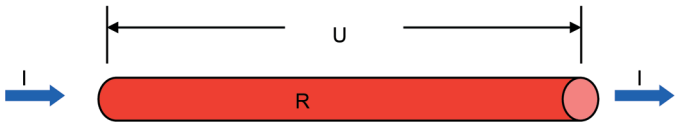


Abb. 13: Stromdurchflossener Draht mit einem Widerstand R

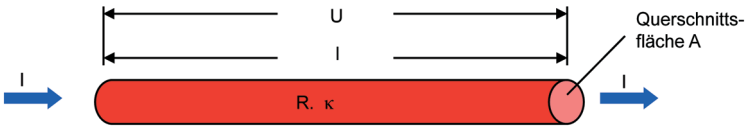


Abb. 14: Stromdurchflossener Draht mit einem Querschnitt A, der Leitfähigkeit κ und der Länge l

Je länger der Abstand der Messpunkte desto größer der Widerstand. Außerdem hängt der elektrische Widerstand R umgekehrt proportional von dem Querschnitt des Stabs ab. Der Widerstand ist umso kleiner, je größer die Querschnittsfläche A ist. Jeder metallische Leiter besitzt eine typische elektrische Leitfähigkeit κ, die ebenfalls den elektrischen Widerstand bestimmt. Der elektrische Widerstand R ist umgekehrt proportional zur elektrischen Leitfähigkeit κ des Leiters. Diese drei Material- und Geometrieparameter sind über folgende Formel miteinander verknüpft:

$$R = l / (\kappa \cdot A) \qquad <2>$$

Die Leitfähigkeit beträgt für Kupfer zum Beispiel $\kappa = 55\ mS/mm^2$.

Schneidet man einen metallischen Draht auseinander und presst die beiden Teile anschließend mit einer Kraft F_K zusammen, dann ergibt sich bei gleicher Stromstärke I an den beiden Enden des Leiters eine um ΔU größere Spannung als bei dem massiven Draht (*Abb. 15*). Zu dem elektrischen Widerstand R des metallischen Leiters ist aufgrund der

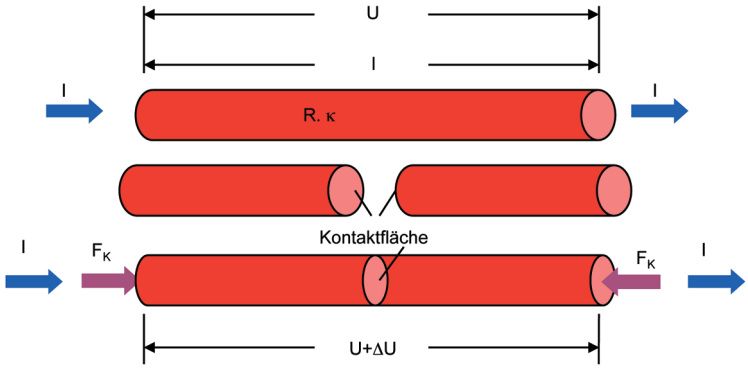


Abb. 15: Stromdurchflossener Draht mit einer Störstelle (Kontaktfläche)

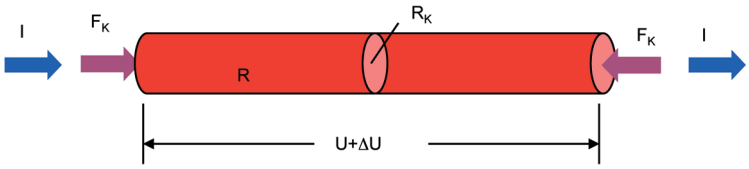


Abb. 16: Stromdurchflossener Draht mit Kontaktwiderstand R_K

Störstellen der Schnittflächen ein weiterer Widerstand, der Kontaktwiderstand R_K hinzugekommen (*Abb. 16*). Das Ohmsche Gesetz lautet nun:

$$U = (R + R_K) \cdot I \qquad <3>$$

Der Kontaktwiderstand R_K ist umgekehrt proportional zur Kontaktkraft F_K:

$$R_K \sim 1/F_K \qquad <4>$$

Für den Kontaktwiderstand R_K gibt es unterschiedliche physikalische Ursachen. Eine Ursache ist die Rauheit an den Metalloberflächen der Kontakte.

Eine Ursache für die Erhöhung des Widerstandes um den Kontaktwiderstand liegt in der Rauheit der beiden Materialflächen, die aneinander gedrückt werden. Dieser Widerstand wird als Engewiderstand R_E bezeichnet. Dabei wird zunächst vorausgesetzt, dass keinerlei Verunreinigungen zwischen den Kontaktflächen bestehen. Jede Festkörperoberfläche besitzt eine Rauheit. *Abbildung 17* zeigt dazu eine Fotografie einer Metalloberfläche aus Kupfer. Die Aufnahme veranschaulicht deutlich die Oberfläche, die aus mikroskopischen Metallspitzen und Tälern besteht.

Die beiden Kontaktflächen berühren sich nicht vollständig über die Kontaktflächen. Aufgrund der mikroskopisch kleinen erhabenen Stellen – der Rauheit – berühren sich die beiden Kontaktflächen nur partiell (*Abb. 18*). Durch die Kontaktkraft F_K werden die Mikrospitzen verformt. Diese Verformung der Mikrospitzen wird umso größer, je höher die Kontaktkraft die Kontaktflächen zusammen drückt.

3 Materialien und Werkstoffe

Steckverbinder bestehen prinzipiell aus zwei Materialklassen, aus Metallen und Kunststoffen (*Abb. 92*). Der Anteil von Metallen und Kunststoffen ist stark abhängig vom jeweiligen Steckverbindertyp.

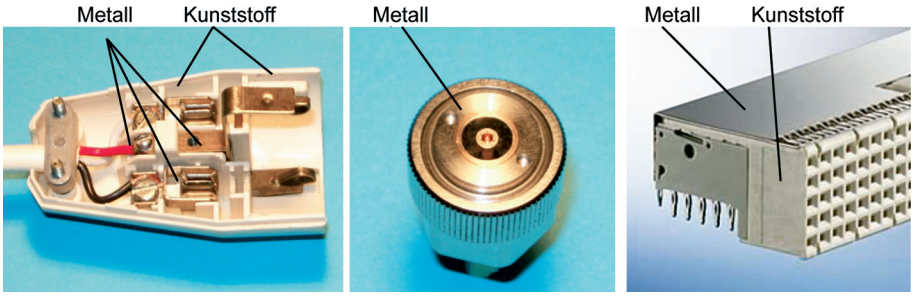


Abb. 92: Steckverbindertypen mit unterschiedlichen Metall- und Kunststoffanteilen

Die Metalle haben im Wesentlichen folgende Aufgaben:

- elektrischer Anschluss an die Übertragungsmedien
- Kontaktträger
- Kontakte
- elektrische Schirmung
- Gehäuse
- Arretierung und Verriegelung

Die Metalle werden dabei als reine Metalle oder auch Metalllegierungen verwendet.

Die Kunststoffe werden für folgende Funktionen benötigt:

- Gehäuse
- Halterung der Kontaktträger
- Arretierung und Verriegelung
- Definierte Isolation zwischen den Kontaktträgern

Abbildung 92 zeigt drei Steckverbindertypen mit unterschiedlichen Metall- und Kunststoffanteilen. Das linke Beispiel zeigt einen Haushaltssteckverbinder. Als Kontaktträger, Kontakte und Anschluss an die Übertragungsmedien wird ein einziges Metall verwendet.

Zusätzlich werden Schrauben für die Kontaktierung des Kabels und der Gehäusehälften verwendet. Der Kunststoff dient gleichzeitig als Gehäuse, Isolator zwischen den metallischen Leitern und Halterung für die Anschlusskabel. Im mittleren Beispiel von *Abbildung 92* ist ein Hochfrequenzsteckverbinder dargestellt. Hierbei bestehen Gehäuse, Verschraubung und Kontakte ausschließlich aus Metall. Der Kunststoff dient lediglich als Isolator zwischen dem Innenleiter und dem Außenleiter des Koaxialsteckers. Im rechten Beispiel ist ein High-Speed-Baugruppensteckverbinder dargestellt. Die sehr filigranen Kontakte für die Anschlussmedien, die Kontaktträger und der elektrische Kontakt sind aus Metall. Außerdem besitzt der Steckverbinder einen metallischen Schirm. Der größte Teil des Steckverbinders besteht aus Kunststoff, der als Gehäuse und Isolator zwischen den Kontaktträgern dient.

Wichtigste Kenngröße ist eine hohe Temperaturbeständigkeit für die Dauergebrauchstemperaturen:

- Fahrzeuginnenraum: -40 °C bis +80 °C
- Fahrzeugmotorraum: -40 °C bis +150 °C
- Elektronische Geräte: -40 °C bis 80 °C
- Installationen: 40 °C bis 120 °C

und die Prozesstemperaturen:

- Schwalllöten: 240 °C
- Reflow-Löten: 260 °C
- Vergießen: 180 °C

3.1 Metalle

Metallische Werkstoffe werden in Steckverbindern für unterschiedliche Funktionen mit unterschiedlichen Anforderungen verwendet:

- für trennbare Kontakte als Kontaktwerkstoff: Gold, Palladium, Silber, Zinn
- für feste Kontakte zum Anschluss an Übertragungsmedien: Kupfer, Zinn, Silber
- als Kontaktträger: Kupfer, Messing
- als Schirmung: Kupfer, Mu-Metall, Neusilber
- für Gehäuse: Kupfer, Messing, Neusilber

Die Eigenschaften der Metalle werden durch verschiedene Kenngrößen charakterisiert. Im Folgenden werden diese Kenngrößen näher erläutert und Kennwerte für verschiedene Metalle und Metalllegierungen angegeben. Dabei werden typische Kennwerte genannt. 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.

Informationen zu Kennwerten, Messverfahren und Eigenschaften von Metallen finden sich zum Beispiel in [2, 49, 50].

3.1.1 Schmelztemperatur

Die Schmelztemperatur gibt die Temperatur T_m an, bei der das Metall von dem festen in den flüssigen Zustand wechselt. Für Metalle, die in 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 93* sind für verschiedene Metalle die Schmelztemperaturen dargestellt.

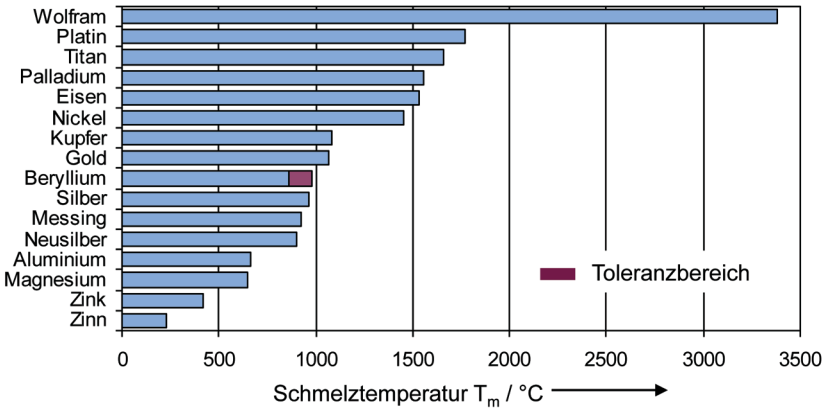


Abb. 93: Schmelztemperatur T_m verschiedener Metalle

3.1.2 Temperaturkoeffizient der Länge

Alle Materialien ändern ihre Abmessungen in Abhängigkeit von der Temperatur. Diese Eigenschaft wird unter anderem durch den Temperaturkoeffizienten der Länge α_l beschrieben. Bei Schichtaufbauten mit Materialien von deutlich unterschiedlichen Temperaturkoeffizienten der Länge kann es bei den unvermeidlichen Temperaturveränderungen zu einem thermischen Stress und dem Aufbau von mechanischen Spannungen kommen, die den Materialaufbau im Extremfall zerstören. *Abbildung 94* zeigt für verschiedene Metalle den Temperaturkoeffizienten der Länge. Durch Legierungen wird der Temperaturkoeffizient verändert.

3.1.3 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit λ gibt an, wie gut das Material Wärme leiten kann. Die Wärmeleitfähigkeit wird in W/(Km) angegeben (*Abb. 95*). In Steckverbindern kann es lokal, insbesondere an den Kontakten, zu sehr hohen Temperaturerhöhungen kommen. Das Material muss eine gute Wärmeleitfähigkeit besitzen, um möglichst rasch die Wärme an die Nachbarumgebung abzuführen und es nicht zu einer Zerstörung des Kontaktes kommen kann. Die Wärmeleitfähigkeit ist daher ein wichtiger Kennwert für die Auswahl des Kontaktträgers und der Gehäuse.

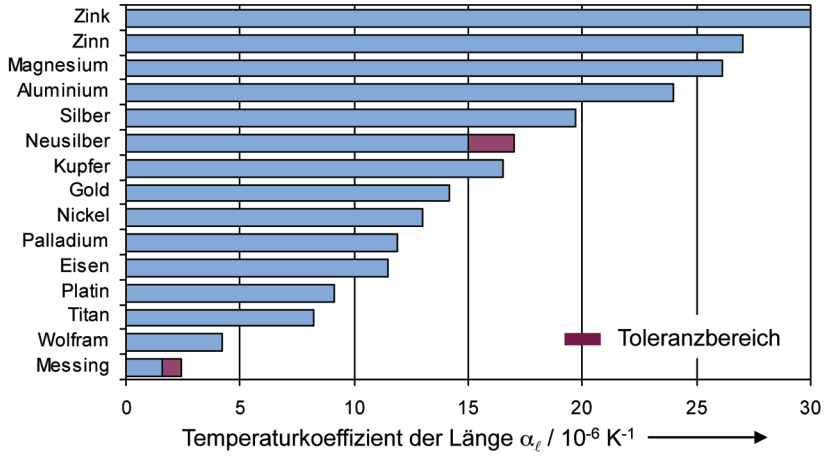


Abb. 94: Temperaturkoeffizient der Länge α_l verschiedener Metalle

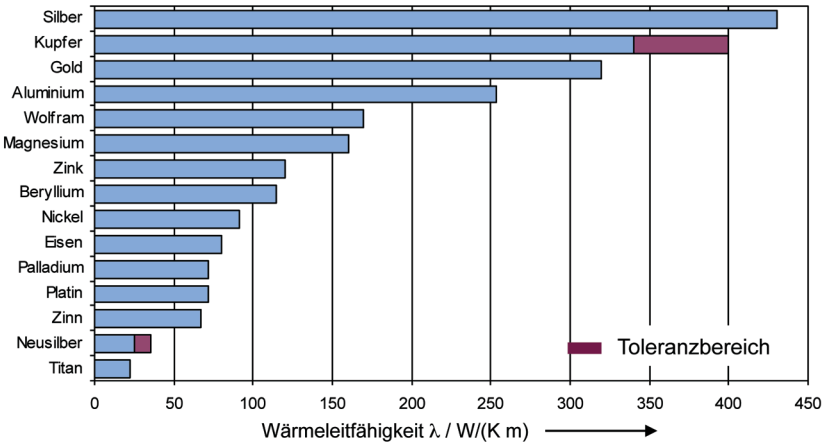


Abb. 95: Wärmeleitfähigkeit λ verschiedener Metalle

Die Wärmeleitfähigkeit und die elektrische Leitfähigkeit sind eng miteinander verknüpft. Metalle mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit besitzen auch eine hohe elektrische Leitfähigkeit. Beide Kenngrößen hängen wiederum von der Temperatur ab.

3.1.4 Spezifische Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität c kennzeichnet diejenige Energiemenge pro Masse, die erforderlich ist, um das Material um ein Kelvin zu erwärmen. Die spezifische Wärmekapazität wird in J/(kg K) angegeben. *Abbildung 96* zeigt eine Übersicht der spezifischen Wär-

4 Elektrische Eigenschaften

Zentrale Aufgabe eines Steckverbinders ist es, elektrische Leistung und elektrische Signale zwischen zwei Systemkomponenten eines elektrischen Systems zu übertragen. Die elektrischen Eigenschaften eines Steckverbinders 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. 145*). Bei zeitlich konstanter Übertragung von Strömen (linkes Bild in *Abb. 145*) handelt es sich um Gleichströme oder Gleichspannungen. Sie dienen ausschließlich zur Übertragung von Leistung zur Versorgung von elektronischen Systemen. Batterieversorgungen (zum Beispiel im Automobil) sind typische Anwendungen. Hierbei fließen häufig hohe Ströme durch den Steckverbinder. 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 50 Hz,

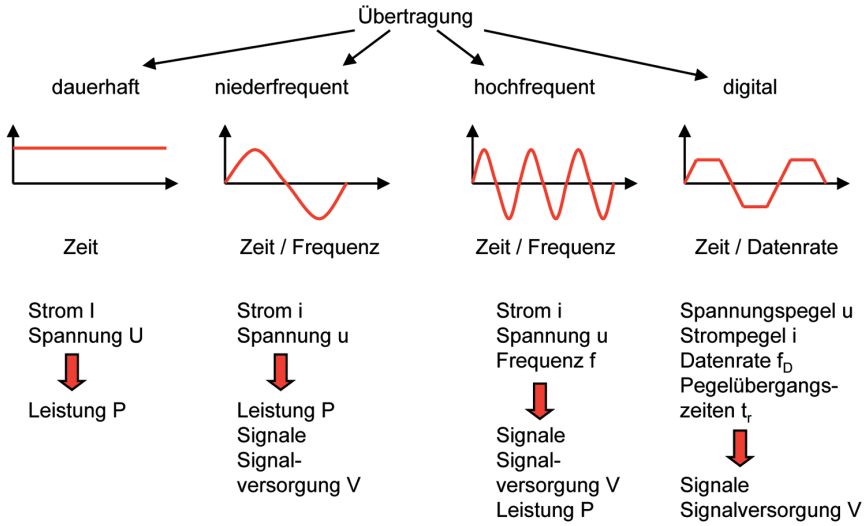


Abb. 145: Klassifizierung der Übertragung

oder der Bahnversorgung mit 16 2/3 Hz (zweites Bild von links *Abb. 145*) oder auch 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 den Steckverbinder 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. 145*). Typische Beispiele für die Anwendung von Hochfrequenzübertragungen sind Steckverbinder für 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 der Signale, mit der sich die Signale zeitlich ändern.

Eine weitere Kategorie von elektrischen Signalen sind die digitalen Signale (rechtes Bild in *Abb. 145*). Charakteristische Kenngrößen sind die Datenrate f_D, die Pegelübergangszeiten t_r, die Pegelspannungen U und die Pegelströme I.

Zur Beschreibung der elektrischen Eigenschaften gibt es neben den oben genannten charakteristischen Kenngrößen noch eine Vielzahl an unterschiedlichen Kennwerten. Zur besseren Unterscheidung der Kenngrößen ist es sinnvoll, die Kenngrößen hinsichtlich der verschiedenen Übertragungsarten, der Leistung, den Signalen und der Signalversorgungen zu unterscheiden.

Tab. 42: Kenngrößen zur Charakterisierung der Leistungsübertragung

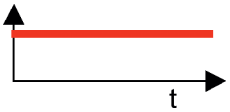
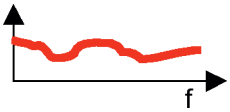
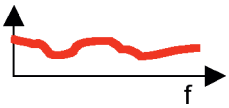
Gleichstrom / -spannung			*Frequenzbereich*		
					
Leistungsübertragung					
Kenngröße	*Sy.*	*Ein.*	*Kenngröße*	*Sy.*	*Ein.*
Strom	I	A	Strom	i(f)	A
Strombelastbarkeit		I/m	Strombelastbarkeit		i/m
Kriechströme			Kriechströme		
Widerstände	R	Ω	Impedanzen	Z(f)	Ω
Gleichstromwiderstand	R_{DC}	Ω			
Isolationswiderstand		Ω	Isolationswiderstand		Ω
Spannung	U	V	Spannung	u(f)	V
Spannungsbelastbarkeit		V/m	Spannungsbelastbarkeit		V/m
Leistung	P	W	–		
–			Streuparameter	S(f)	–

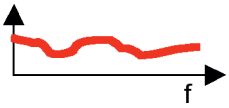
Tabelle 42 gibt einen Überblick zu den wichtigsten Kenngrößen zur Charakterisierung einer Leistungsübertragung. Dabei werden die Kenngrößen, die für Gleichstrom und Gleichspannung benötigt werden und die Kenngrößen, die für die Beschreibung im Frequenzbereich verwendet werden, aufgezeigt.

Die größte Anzahl an charakteristischen Kenngrößen gibt es zur Beschreibung des Übertragungsverhaltens hinsichtlich der Signalübertragung. *Tabelle 43* zeigt einen Überblick über die wichtigsten Kenngrößen. Dabei sind Kenngrößen im Frequenzbereich und Zeitbereich dargestellt. Einige Kenngrößen sind sowohl im Frequenzbereich als auch im Zeitbereich definiert, zum Beispiel Reflexionsfaktoren oder Impedanzen. Je nach Bereich liefern die Kenngrößen aber unterschiedliche Informationen zu dem elektrischen Verhalten des betrachteten Systems. Einige Kenngrößen sind nur in einem Bereich definiert, zum Beispiel Modenkonversion im Frequenzbereich oder Bitfehler im Zeitbereich. Aus den Kenngrößen des einen Bereiches können jedoch Rückschlüsse auf das Verhalten im jeweils anderen Bereich geschlossen werden. So hat zum Beispiel die Bandbreite, die nur im Frequenzbereich definiert ist, Auswirkungen auf die Signalintegrität im Zeitbereich. Diese Zuordnung ist jedoch nicht immer eindeutig. So kann eine schlechte Signalintegrität (Zeitbereich) unterschiedliche Ursachen haben, die wiederum an unterschiedlichen Parametern im Frequenzbereich erkennbar sind. Bei kritischen Anwendungen sind charakteristische Kenngrößen im Frequenz- und Zeitbereich zur vollständigen Charakterisierung erforderlich.

Tab. 43: Kenngrößen zur Charakterisierung der Signalübertragung

Frequenzbereich				*Zeitbereich*		
						
Signalübertragung						
Kenngröße	*Sy.*	*Ein.*		*Kenngröße*	*Sy.*	*Ein.*
Frequenz	f	Hz		Datenrate	f_D	Bit/s
Wellenlänge	λ	m		Periodendauer	T	s
				Pegelübergangszeiten	t_r	s
Streuparameter	S	-		Signalpegel & -verformung	u, i	V, A, %
Reflexionsfaktor	S_{ii}			Reflexionsfaktor	r_{ii}	V, A, %
Transmissionsfaktor	S_{ij}			Transmissionsfaktor	t_{ij}	V, A, %
Dämpfung	α	dB	⇒	Signalintegrität		
Gleichstromwiderstand	R_{DC}	Ω	⇒	Signalintegrität		
Skineffekt	R_{sk}	Ω	⇒	Signalintegrität		
dielektrische	α	dB	⇒	Signalintegrität		
Phasengeschwindigkeit	v_p	m/s		Signalgeschwindigkeit	v_s	m/s
Phasenlaufzeit				Signallaufzeit	t	s
Übersprechen	S_{ij}			Übersprechen	U, I	V, A, %
Nahübersprechen	S_{ij}			Nahübersprechen	U_N, I_N	V, A, %
Fernübersprechen	S_{ij}			Fernübersprechen	U_F, I_F	V, A, %

Forts. Tab. 43: Kenngrößen zur Charakterisierung der Signalübertragung

Frequenzbereich				*Zeitbereich*		
						
Signalübertragung						
Kenngröße	*Sy.*	*Ein.*		*Kenngröße*	*Sy.*	*Ein.*
Impedanz	Z	Ω		Impedanz	Z	Ω
				Impedanzprofil	Z(l)	
Bandbreite	Δf	Hz	⇒	Signalintegrität		
Modenkonversion						
Intermodulationsprodukte	IM_i		⇒	Signalintegrität		
Schirmung						
Schirmdämpfung	α_s	dB	⇒	Signalintegrität		
Koppelimpedanz	Z_K	Ω	⇒	Signalintegrität		
Strahlungsfelder			⇒	Signalintegrität		
–				Augenöffnung		
–				Jitter		
–				Bitfehler		
Betriebszustände				Betriebszustände		
Single-Ended				Single-Ended		
Gleichtakt				Gleichtakt		
Gegentakt				Gegentakt		
Frequenzbänder	Δf	Hz		Protokolle	f_D	Bit/s

Bei Steckverbindern, die zur Übertragung von Signalen dienen, ist es meist auch erforderlich, die notwendigen Versorgungsspannungen zu übertragen. Es handelt sich hierbei nicht um eine Leistungsübertragung mit hohen Leistungen sondern um meist niedrige Spannungen, die jedoch hinsichtlich ihrer Anforderungen an die Übertragung von der reinen Signalübertragung unterschieden werden müssen. *Tabelle 44* gibt einen Überblick zu den charakteristischen Kenngrößen, die zur Beschreibung einer Versorgungsübertragung für Signale benötigt werden. Auch hierbei sind zwischen Kenngrößen, die im Frequenzbereich und im Zeitbereich definiert sind zu unterscheiden.

Wie bereits erwähnt, bedient man sich in der Elektrotechnik 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 unterschiedliche Beschreibungsmöglichkeiten 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 besser zu verstehen.