

Signalkabel gestern, heute und morgen

Kabeltechnologie in der Leit- und Sicherungstechnik

THOMAS SORGE | INA FALKNER

Signalkabel sind beinahe so alt wie die Bahnsicherungstechnik selbst. Mit ihrer Zuverlässigkeit steht und fällt die Betriebsfähigkeit von heutiger Fahrwegsicherung, Zugbeeinflussung und Bahnübergangssicherung. Da sie für einen Einsatz über viele Jahrzehnte ausgelegt sind, sind Signalkabel extrem robust gegenüber Umwelteinflüssen, allen voran Feuchtigkeit und Wasser. Darüber hinaus muss die elektrische Leistungsfähigkeit während der garantierten Lebensdauer gewährleistet sein. Dieser Beitrag beschreibt gängige Kabelaufbauten, unterschiedliche Einsatzbereiche, wesentliche elektrische Eigenschaften von Signalkabeln und die von außen auf sie einwirkenden Einflüsse. Am Ende erfolgt ein kurzer Ausblick in die digitale Zukunft der Bahnsysteme und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Signalkabeltechnik.

Historische Einordnung
Betrachtet man Bahnsignalkabel im Kontext der industriellen Revolution, sieht man, dass die Stellwerkstechnik und damit die Leit- und Sicherungstechnik (LST) älter ist als die praktisch genutzte Elektrizität [1]. Die ersten elektrifizierten Signalgebungen erfolgten durch Telegrafien, die ankommende Züge vormeldet. Im Laufe der Zeit ergänzten akustische

Signale wie Läutwerke die optischen Signale. Doch erst mit der Erfindung der Relaisstechnik und auch dank der Weiterentwicklung der Kabeltechnologie wurde der Grundstein für die moderne Bahnsicherungstechnik gelegt. (Tab. 1)

Kabelaufbau und Eigenschaften

Als Leitermaterial wird in Bahnsignalkabeln in der Regel Kupfer verwendet. Das aktuell gängigste Material für Außenmantel und Leiterisolierung ist Polyethylen (PE), denn es besitzt ein ausgezeichnetes elektrisches Isoliervermögen und eine gute chemische Beständigkeit. Dieser teilkristalline, unpolare Thermoplast wird sowohl für Verpackungsfolien und Rohre

	1. industrielle Revolution	2. industrielle Revolution	3. industrielle Revolution	4. industrielle Revolution
Beginn	Ende 18. Jahrhundert	Ende 19. Jahrhundert	Beginn 1970er Jahre, 20. Jh.	Heute
Kennzeichen	Mechanisierung	Elektrifizierung, erste Automatisierung	Weitgehende Automatisierung, Anfang der Digitalisierung	Vernetzung, weitgehende Digitalisierung
Beispiel	Dampfmaschine	Elektromotor	analoge und digitale Elektronik, Mikrorechner	Internet
Beispiel für die Sicherungstechnik	Blockfeld	Elektrische Antriebe, Signalrelais	Achszählrechner	IP-basierte Schnittstellen
Umsetzung in der Stellwerkstechnik	Mechanisches Stellwerk	Elektromechanisches Stellwerk, Relaisstellwerk	ESTW	ESTW mit IP-Schnittstellen

Tab. 1: Industrielle Revolution vs. Generationen der Stellwerkstechnik

Quelle: [1]

Normen	Beschreibung
DIN EN 50289-1-2	Kommunikationskabel; Spezifikationen für Prüfverfahren, Teil 1-2: Elektrische Prüfverfahren - Gleichstromwiderstand
DIN EN 50289-1-4	-; Teil 1-4: Elektrische Prüfverfahren - Isolationswiderstand
DIN EN 50289-1-5	-; Teil 1-5: Elektrische Prüfverfahren - Kapazität
DIN EN 50289-3-8	-; Teil 3-8: Mechanische Prüfverfahren - Abriebfestigkeit der Markierung des Kabelmantels
DIN EN 50289-4-2	-; Teil 4-2: Umweltprüfverfahren - Eindringen von Wasser
DIN EN 50290-2-23	-; Teil 2-23: Gemeinsame Regeln für Entwicklung und Konstruktion - Tabelle 1, PE-Isoliermischung
DIN EN 50290-2-24	-; Teil 2-24: Gemeinsame Regeln für Entwicklung und Konstruktion - Tabelle 1, PE-Mantelmischung
DIN EN 50290-2-28	-; Teil 2-28: Gemeinsame Regeln für Entwicklung und Konstruktion, Petrolat-Füllmasse für gefüllte Kabel
DIN EN 60228	Leiter für Kabel und isolierte Leitungen
DIN VDE 0472-507	Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen; Reduktionsfaktor
DIN VDE 0472-509	-; Spannungsfestigkeit von Kabeln, Prüfmart A
DIN EN 10346	Kontinuierliches schmelztauchveredeltes Band und Blech aus weichen Stählen zum Kaltumformen - Technische Lieferbedingungen
DIN IEC 60304	Standardfarben der Isolierung von Niederfrequenz-Kabeln und -Drähten
DIN 1451-3	Schriften; Serifenlose Linear-Antiqua; Druckschriften für Beschriftungen
BS 5099:1992	Specification for spark testing of electric cables
EN 60811-5-1	-; Teil 4: Tropfpunkt der Füllung
DIN EN ISO 9001	Hersteller muss danach zertifiziert sein
DB TK 416.0116	Grenzwerte in Form von Reduktionsfaktorkurven
DB Spezifikationen	Querwasserfestigkeit und Wanddicken, sind in DB Spezifikationen geregelt

Tab. 2: Sammlung Prüfungen und Normen gefüllter Signalkabel nach DB TL 416.0113 und 416.0114

als auch für den Aufbau in Hochspannungs-Gleichstromkabeln (HVDC-Kabeln) verwendet. Thermoplaste wie PE sind Kunststoffe, die bei höherer Temperatur plastisch verformbar sind. Die Makromoleküle von PE neigen aufgrund ihres teilweise parallelen Aufbaus zur Kristallisation (Verhärtung), was die mechanische und chemische Beständigkeit erhöht. PE ist eine Kohlenwasserstoffverbindung. Aufgrund des geringen Unterschieds der Elektronegativität der beiden Bindungspartner C und H ist die Ladungsverteilung relativ homogen. Demzufolge zählt PE zu den unpolaren Stoffen, die sich gut in unpolaren Lösungsmitteln wie Benzol, nicht aber in polaren Lösungsmitteln wie Wasser lösen.

Die Anwendungsbreite zeigt die Einflussmöglichkeiten, die Kunststoff- und Kabelindustrie über die Rezeptur auf die Produkt-

eigenschaften und die Kabelqualität haben. PE trägt aufgrund der hohen Dehnbarkeit und Kälteschlagfestigkeit zu einer einfacheren Verlegung bei und vermindert die Gefahr, dass der Mantel während der Tiefbauarbeiten beschädigt wird. Es ist hydrophob, schnittfest sowie halogenfrei, setzt im Gegensatz zu PVC also keine giftigen Rauchgase und korrosiven Säuren frei. Über spezielle Additive können bei Bedarf Eigenschaften wie Flammwidrigkeit und UV-Beständigkeit in den Kabelmantel eingebracht werden. (Tab. 2)

Einsatzbereiche

Adrig verseilte Signalkabel werden in Stromkreisen eingesetzt, in denen lediglich der ohmsche Widerstand die Reichweite bestimmt (motorische Antriebe, Weichenstromkreise, Beleuchtung etc.), sowie in

Stromkreisen, deren Reichweite durch ohmschen Widerstand und Betriebskapazität begrenzt ist (z. B. Lichtsignalkreise mit Wechselstromspeisung) (Abb. 1).

Bei sternviererveilten Signalkabeln sind jeweils vier Adern kreuzförmig miteinander verdreht. Dies bedeutet einerseits mehr Stabilität und verhindert andererseits das Einkoppeln von Signalen. Einsatzbereiche dieser Signalkabel sind z. B. Stromkreise mit tonfrequenten Wechselströmen (wie Achszählstromkreise) oder digitale Informationsübertragung mit hoher Symmetrieanforderung (Abb. 2).

Abhängig von Anwendung und Verlegeart (in Erde, im Trog, im Freien, im Rohr oder am Schienenfuß) werden Signalkabel mit verstärktem Außenmantel, mit Bandeisenschicht als Nagetierschutz, mit Induktionsschutz sowie längs- und querwasserfest ausgeführt. Auch

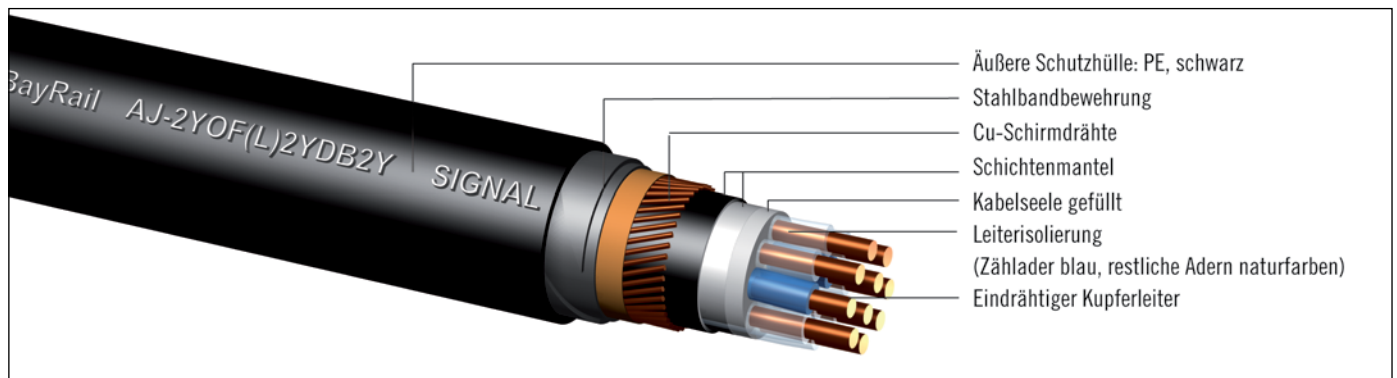


Abb. 1: Aufbau adrig verseilter, gefüllter Bahnsignalkabel

Quelle: Bayerische Kabelwerke

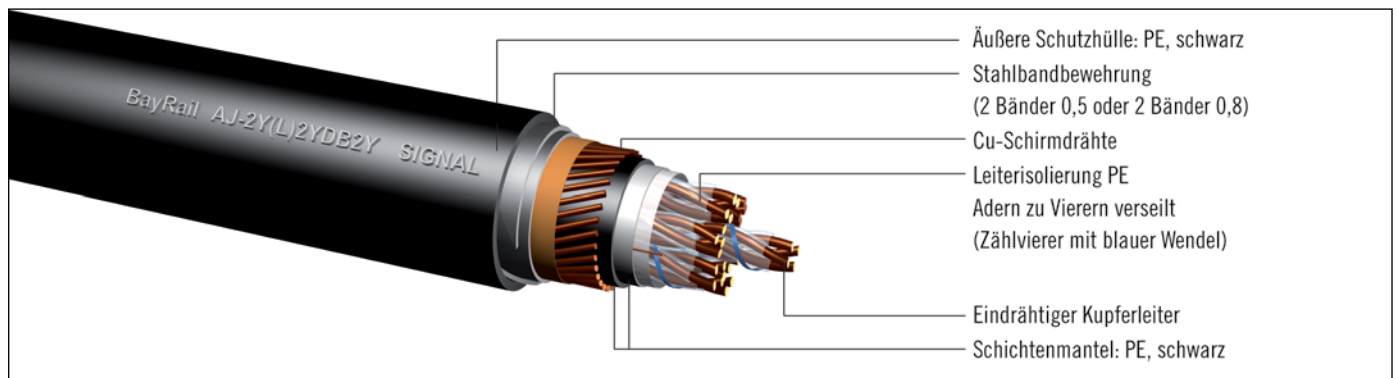


Abb. 2: Aufbau sternviererveilter, gefüllter Bahnsignalkabel

Quelle: Bayerische Kabelwerke

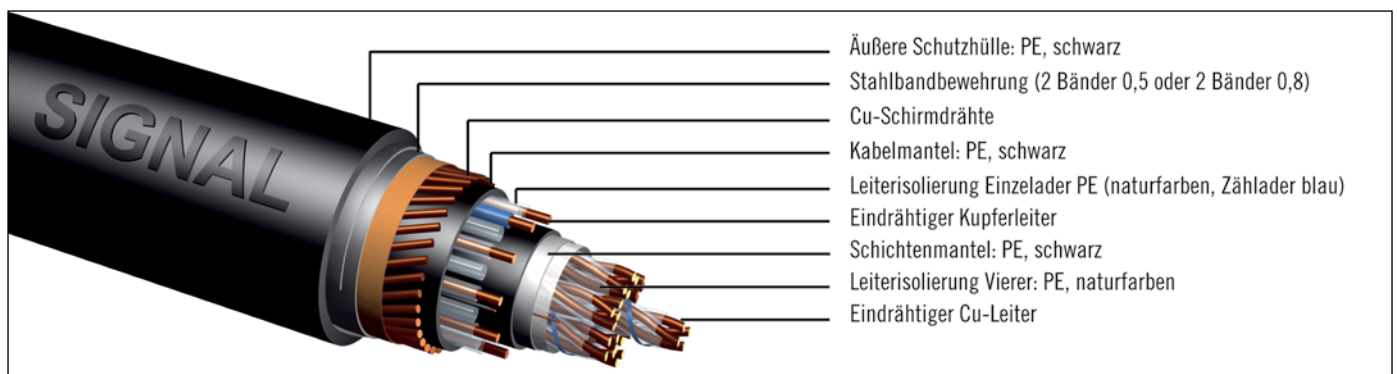


Abb. 3: Aufbau kombinierter adrig- und sternviererveilter, gefüllter Bahnsignalkabel

Quelle: Bayerische Kabelwerke

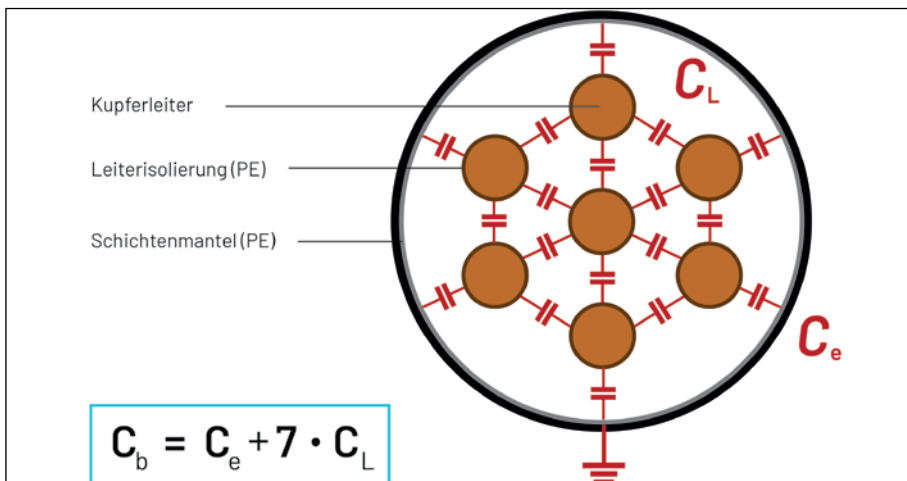


Abb. 4: Die elektrische Kapazität in einem Kupferkabel

eine Kombination aus adriger Verseilung und Sternviererverseilung ist möglich (Abb. 3). Neben diesen Standard-Bahnsignalkabeln werden für die LST noch Spezialkabel wie Schienenfuß-, PZB (Punktförmige Zugbeeinflussung) -, LZB (Linienförmige Zugbeeinflussung) -, Balisen- und Tunnelsicherungskabel verbaut.

Elektrische Eigenschaften

Die elektrische Kapazität C

Die elektrische Kapazität C ist eine physikalische Größe und beschreibt, wieviel elektrische Ladung ein Kondensator speichern kann. Auch Kabel und Leitungen fungieren als Kondensator. Hier übernimmt die Aderisolation die Aufgabe des Dielektrikums. Die miteinander verseilten Leiter bilden die Pole (Abb. 4). Im Signalkabel will man diese Form der Speicherung elektrischer Energie allerdings so klein wie möglich halten, denn Kapazitätsbelag führt zu Verlusten bei der Signalübertragung.

Die SI-Einheit für die elektrische Kapazität ist das Farad. Der Kapazitätsbelag eines Kabels wird in nF oder pF pro Kilometer angegeben und kann durch die Kabelkonstruktion (u. a. Leiterdurchmesser, Abstand der Adern zum Schirm, Wandstärken und Material der Aderisolation) beeinflusst werden. Je geringer der Abstand zwischen den Adern, je größer die Leiteroberfläche und je höher die Dielektrizitätskonstante

(Durchlässigkeit für elektrische Felder), umso höher wird der Wert. Die Deutsche Bahn AG (DB) hat für definierte Kabelquerschnitte die maximale Betriebskapazität zwischen 95 nF/km (H95) und 145 nF/km (H145) festgelegt. Da schon geringe Mengen Feuchtigkeit die Kabelkapazität erhöhen, ist auch eine möglichst robuste Kabelkonstruktion erforderlich, bei der Schäden am Außenmantel und der Isolierung minimiert werden.

Primäre Leitungskonstanten

Signalkabel übertragen physikalisch abgebildete Informationen über einen elektrischen Leiter. Daher wirken sich die elektrischen Kenngrößen der Leitung auf die Signale aus. Die Leitungsbeläge, auch primäre Leitungskonstanten, sind längenbezogen. Über die Kabelgeometrie und die Materialauswahl kann der Kabelhersteller die Werte für die Leitungsbeläge definieren.

Induktivitätsbelag L : Induktivität der Leitung pro Längeneinheit

Kapazitätsbelag C : Kapazität der Leitung pro Längeneinheit

Widerstandsbelag R : Ohmscher Widerstand der Leitung pro Längeneinheit

Ableitungsbelag G : Querleitwert zwischen zwei stromführenden Adern pro Längeneinheit (Aufgrund der Aderisolation meist eine vernachlässigbare Konstante). (Abb. 5)

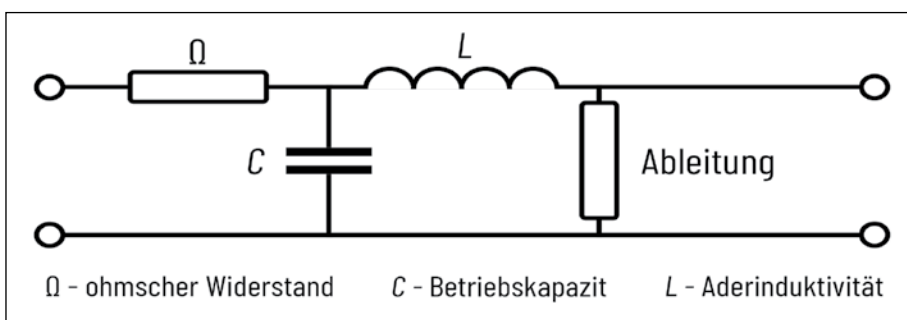


Abb. 5: Ersatzschaltbild einer 2-adrigen Leitung; es wirken ohmscher Längswiderstand R , Leitungsinduktivität L , Isolationswert G und Leitungskapazität C .

Beanspruchung und äußere Einflüsse auf das Kabel

Eine unterbrechungsfreie Signalübertragung ist für die Sicherungstechnik unerlässlich. Elektronische Stellwerke senden daher in regelmäßigen Abständen Prüfsignale. Erfolgt innerhalb einer definierten Zeit keine Signalantwort, wird eine automatische Funktionsprüfung der angeschlossenen Geräte und Systeme ausgelöst, und der Prozess geht in den Haltezustand mit allen negativen Auswirkungen wie Betriebsunterbrechungen, Zugverspätungen und Kosten. Aufgrund der aufwendigen Fehlersuche und -behebung ist ein Defekt im Signalkabel möglichst durch präventive Maßnahmen zu vermeiden. Obwohl Signalkabel weitestgehend in Trögen und Schutzrohren verlegt werden, liegen immer kurze Stücke z. B. zum Signal, zum PZB-Schaltmagnet oder zum Weichenantrieb offen. Diese sind wie alle Bahnkabel einer Vielzahl an Beanspruchungen wie elektrische Beeinflussung, Temperatur, Wasser, Feuchtigkeit, UV-Strahlung, Chemikalien im Boden oder Nagetierverbiss ausgesetzt (Tab. 3). Darüber hinaus kann der Kabelmantel während Transport, Handhabung, Verlegung, Muffenmontage und Baumaßnahmen beschädigt werden. Aufgrund eindringender Feuchtigkeit¹ kann sich – wie oben beschrieben – die Betriebskapazität erhöhen, und in Folge lässt die Qualität der Signalübertragung mehr und mehr nach. Über die Kabelkonstruktion hat die Kabelindustrie die Möglichkeit, diese Einflüsse zu minimieren, abzuschwächen oder ganz zu vermeiden (siehe auch Einsatzbereiche). Signalkabel sind für eine Lebensdauer von mindestens 35 Jahren ausgelegt. Um dies zu gewährleisten, wird die Materialalterung, die infolge dieser Beeinflussungen auftreten kann, mit verschiedenen Prüfungen simuliert, die in kundenspezifischen Lastenheften und diversen Normenreihen (Tab. 3) definiert sind.

Elektrische Beeinflussung eines Signalkabels

Werden Signalkabel über mehrere hundert Meter parallel zu einem Starkstromsystem geführt, werden sie elektromagnetisch beeinflusst. Übersteigt die Beeinflussungsspannung einen Grenzwert, müssen gemäß DB-Richtlinie 819.08 Gegenmaßnahmen getroffen werden. Eine davon ist, das Kabel mit einem Induktionsschutz auszustatten. Mögliche Beeinflussungsquellen sind [3]:

- Bahnstromanlagen der Wechselstrombahn (Ober- und Speiseleitungen, Bahnstromleitungen, Schienenrückströme, Schienenpotential, Erdungsanlagen)
- Drehstromanlagen (Übertragungsleitungen, Erdungsanlagen)
- Energieversorgungssysteme, die die Schiene als Rückleiter mit einbeziehen (z. B. elektrische Zugheizung, Zugvorheizung).

¹: Der Längswasserschutz verhindert die kapillare Weiterleitung von Wasser/Feuchtigkeit in Längsrichtung des Kabels, der Querwasserschutz verhindert, dass Feuchtigkeit durch den Kunststoffmantel diffundieren kann.

Beanspruchung durch	Auswirkung	Beanspruchung hauptsächlich bei	Maßnahmen entsprechend der Anforderungshöhe
Strom	Thermisch	hoher Strombelastung und/ oder Kabelhäufung	Leiterwerkstoff ändern, Leiterquerschnitt erhöhen, Isolierwerkstoff anpassen, Verlegung in Luft statt in Erde
	Thermomechanisch	geschlossenen Räumen und im Freien	Geschlängelte Verlegung
	Dynamische Kräfte	gebündelten Einleiterkabeln in Drehstromnetzen	Kurzschlussfeste Bündelung, Bandage der Kabeladern
	Teilentladungen	VPE isolierten Leitern	Festverbundene Leitschichten, sorgfältige Garniturenmontage
Spannung	Betriebsfeldstärken	Mittelspannungskabeln	Feldbegrenzung, Leiterglättung, Erhöhung der Isolierwanddicken
Frequenz	Veränderung der Belastbarkeit, Netzurückwirkungen	Stromrichteranlagen von Gleichstrombahnen, Oberwellen	Bedämpfungseinrichtungen, Symmetrie der Phasenlage im Aufbau von mehradrigen Kabeln
Zugkräfte	Dehnung der Aufbauelemente	dem Einziehen von Kabeln in Rohrzüge, wenn z. B. die Richtungen in der Trasse häufig wechseln, Flussverlegung	Gleitmittel verwenden, Anzahl der Legerollen erhöhen, motorisch angetriebene Legerollen einsetzen, einfache oder doppelte Drahtbewehrung bei mehradrigen Kabeln
Schlagkräfte	Verformung der Aufbauelemente	häufigen Trassenarbeiten, z. B. mit Baggern und Schaufeln	PE statt PVC-Mantel, Stahlbewehrung
Druckkräfte	Verformung der Aufbauelemente	dem Anschellen der Kabeln und grobem Rückfüllgut	Gummi-Innenmantel, zusätzliche Polster im Kabelaufbau
Schleifen über Böden und Kanten	Abrieb des Außenmantels	Einziehen in Rohre, Ziehen über Schotter, häufige Richtungswechsel in der Trasse	Ggf. verstärkter PE-Mantel, Lege- und Umlenkrollen
Vibrationen	Versprödung von Isolier- und Mantelmaterial	Schwingungen durch Zugverkehr, Verlegung auf Brücken	Mehr- oder feindrähtige Leiter
Nagetiere	Mantelschäden, Kabelzerstörung	starkem Aufkommen von Nagern	Abweisende Additive, harter PE-Mantel, Polyamidüberzug, geschlossene Metallwandbewehrung
Chemikalien, Öle, Benzin, Säuren	Farbveränderung, Aufquellen und Zersetzung von Mantel und Isolationsmaterial	Verlegung in belasteten Böden oder Gleisbereichen	Ölbeständige PVC-Außenmantelmischung, PE-Mantel
Ultraviolettes Licht, UV-Strahlung	Versprödung von Kunststoffen, Ausbleichen der Mantelfarbe	Verlegung im Freien ohne Sonnenschutzabdeckung, Mastauführungen, Anschlüssen	Rußgefüllte Kunststoffmantel, UV-Stabilisatoren, Schrumpfschläuche über die freiliegenden Adern
Feuchtigkeit, Wasser	Korrosion der metallenen Hüllen, Water Treeing	Verlegung in Wasser, Flusskreuzungen	Metallmantel, Schichtenmantel, PE-Mantel, quer- und längswasserdichter Kabelaufbau
Feuer	Brandfortleitung, Zerstörung, korrosive Gase, Rauchgasdichte	Verkehrsanlagen, Bahnhöfe, Tunnelanlagen	FR-PVC-Mantel, flammwidriger Werkstoff (z. B. EVA), Isolations- und Funktionserhalt, mineralische Trennschichten, halogenfreier Werkstoff

Tab. 3: Beanspruchungen und Einflüsse im Bahnbereich sowie mögliche Maßnahmen

Quelle: [2]; Tabelle bezieht sich auf alle im Bahnbetrieb eingesetzten Kabel (nicht nur Signalkabel)

Bei Vorbeifahrt eines Zuges entstehen magnetische Wechselfelder konzentrisch um die Oberleitungen (Hinleiter). Die sich um die Schienen (Rückleiter) bildenden Magnetfelder wirken diesen entgegen. Da die Schienen geerdet sind, fließt ein Teil des Rückstroms über das Erdreich und vermindert die Kompensation. Das verbleibende magnetische Feld kann in das Kabel einkoppeln und eine hohe Spannung erzeugen, die die Funktionsfähigkeit der angeschlossenen Anlagen beeinträchtigen oder ganz außer Kraft setzen kann. Um diese Beeinflussung abzuschirmen, verfügen die meisten Signalkabel über einen längsdurchgehenden Schirm aus Kupferdrähten und einer Stahlbandbewehrung (Abb. 6). Dieser Induktionsschutz funktioniert wie eine um das Kabel gelegte Spule, die durch Induktion von Spannung ein entgegengesetztes Magnetfeld aufbaut. Der im Kabel erzeugte Strom und somit auch die induzierte Spannung werden reduziert. Dazu muss das Kabel an beiden Enden geerdet sein. Für die Beschreibung, in welchem Maß eine

elektrische Beeinflussung im Vergleich zu einem ungeschützten Kabel reduziert wird, zieht man den Reduktionsfaktor heran. Dieser ist im Wesentlichen vom Gleichstromwiderstand des Schirms und dieser wiederum von den ferromagnetischen Eigenschaften der verwendeten Materialien abhängig. [3] Dementsprechend kann der Kabelhersteller über den Kupfereinsatz (Drahtdurchmesser und Anzahl) sowie Bandbreite, Banddicke und Lücken zwischen den Stahlbändern den Reduktionsfaktor beeinflussen. Die von der DB jeweils geforderten Reduktionsfaktoren können dem Technischen Kennblatt DB TK 416.0116 V2.0 [4] entnommen werden, das den Reduktionsfaktor in Abhängigkeit von der induzierten Spannung in den sogenannten Reduktionsfaktorkurven darstellt.

Längs- und querwasserdichtes, gefülltes Signalkabel OF(L)2Y

Wie oben beschrieben, ist die Dielektrizitätskonstante der Aderisolation in einem Kabel entscheidend für die Kapazität. Tab. 4 zeigt,

dass Wasser eine sehr hohe Dielektrizitätskonstante besitzt. Bereits kleine Mengen

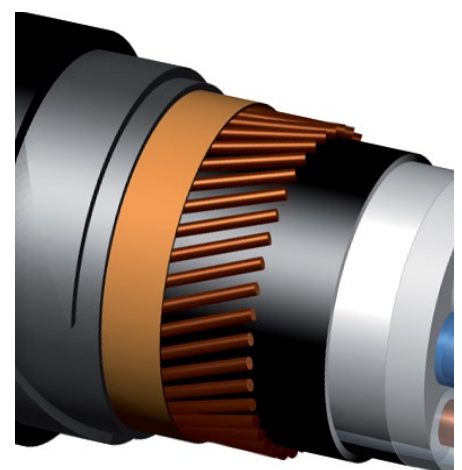


Abb. 6: Längsdurchgehender Induktionsschirm aus Kupferdrähten und Stahlbandbewehrung

	Vakuum	Wasser 40 °C	Wasser 0 °C	Papier	Luft	Petroleum	Barium titanat	PE	PTFE	PVC 50 Hz
Dielektrizitätskonstante	1	73,4	88	3,7	1	2,1	$10^2\text{-}10^3$	2,4	2,1	3,5

Tab. 4: Relative Dielektrizitätskonstante für unterschiedliche Materialien

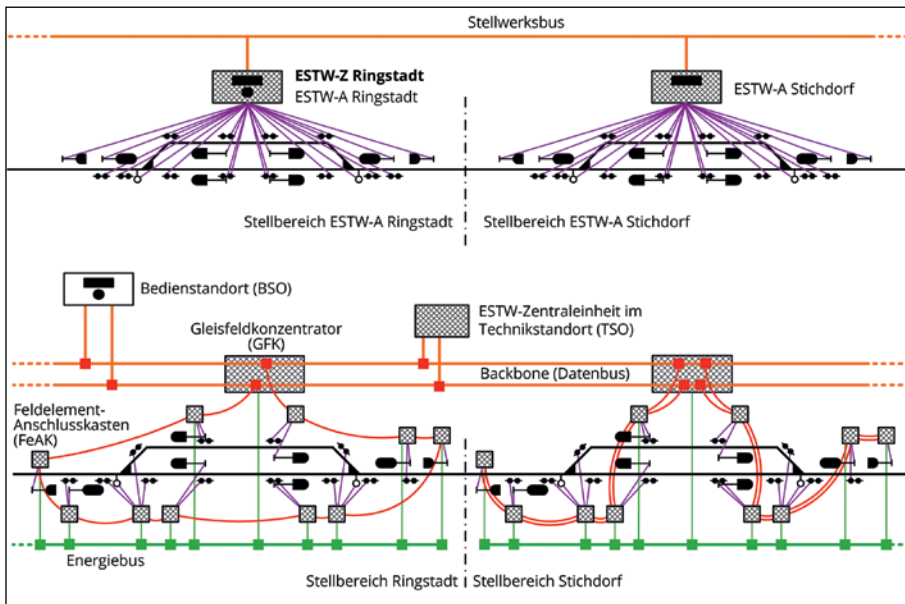


Abb. 7: Herkömmliche Anlagenstruktur (oben) versus zukünftige Anlagenstruktur (unten) eines ESTW

Quelle: [9]

Feuchtigkeit verdrängen die Luft zwischen den Aderisolationen und erhöhen in Folge die Kapazität erheblich. Lange Zeit galten Signalkabel mit einem PE- oder PVC-Mantel in der Fachwelt als querwasserdicht, solange Wasser und Feuchtigkeit von außen nicht durch den Kabelmantel zur Kabelseele vordringen kann [3]. Doch das beobachtete Phänomen, dass Feuchtigkeit in verlegte Kabelstrecken kriechen konnte, bedurfte einer Erklärung und vor allem einer konstruktiven Antwort.

Sind Kabel für längere Zeit Feuchtigkeit und Wasser ausgesetzt, können die Wassermoleküle durch den Mantel diffundieren. Wie alle Kunststoffe besitzen auch die klassischen Mantelwerkstoffe PE, PVC etc. eine Dampfdiffusionszahl. Zwischen den Jahren 2010 und 2014 entwickelten führende Kabelhersteller daher im Auftrag der Bahn alternative Lösungen für strapazierfähige, längs- und querwasserfeste Signalkabel. Die Entscheidung fiel auf eine Kombination aus der kapazitätsarmen fettartigen Füllmasse Füllnidz, um das Ausbreiten von Wasser in Längsrichtung zu verhindern, sowie einem Schichtenmantel für die Querwasserfestigkeit. Der Schichtenmantel besteht aus einem längseinlaufenden Aluminiumband um die Kabelseele, das mit dem PE-Kabelmantel sowie im Überlappungsbereich mit sich selbst verklebt wird. Die Prüfungen für die Querwasserfestigkeit sind in den Lastenheften der Bahn [5, 6] beschrieben.

Ausblick in die Zukunft

Quo vadis? Die Zukunft der Signalkabel

Die Frage zielt in der Regel darauf ab, zu klären, wie lange kupferbasierte Signalkabel noch verbaut werden. Der Zeithorizont hat einerseits einen technologischen und andererseits einen zeitlichen Aspekt: Wann wird die Digitalisierung mit den zwei Hauptprojekten DSTW (digitales Stellwerk) und ETCS Level 2 (standardisiertes europäisches Zugbeeinflussungssystem) umgesetzt sein, und werden damit Signale an der Strecke komplett obsolet?

Nach den Vorstellungen der DB ist mit der Umstellung auf DSTW die Verkabelung mit Glasfaser bis ans Feldelement geplant. Die Stellbefehle sollen zukünftig IP-basiert auf einer Leitung für mehrere Feldelemente übermittelt werden, statt diese einzeln zu verkabeln. Im Zuge dieser Umstellung auf digitale Systeme werden Daten- und Energieübertragung für die primäre Stellentfernung zwischen Stellwerkslogik und Element Controller getrennt. Nur für die sekundäre Stellentfernung zwischen Element Controller und Element (violette Linien in Abb. 7) werden Daten und Energie weiterhin gemeinsam über Kupferkabel übertragen [7, 8]. Da verbindliche Rolloutpläne fehlen, ist auch eine Abkündigung des Kupfer-Signalkabels noch in weiter Ferne. Wie bei jedem Übergang in ein neues, technologisches System existieren die Systeme der vorherigen Generation weiter [1].

Eines kann man aber mit Sicherheit sagen: Keine der kommenden technologischen Entwicklungen in der LST wird an der Kabeltechnologie scheitern. Bereits heute lassen sich über die Kupferleiter analoge und digitale Daten übertragen, und andererseits werden vielerorts bereits Lichtwellenleiter (LWL) für die Signalübertragung genutzt. LWL besitzen nicht nur eine hohe Datenkapazität, sie sind darüber hinaus unempfindlich gegen elektromagnetische Beeinflussung (EMB). Sie sind darüber hinaus sehr weit ausgereift. Aus heutiger Sicht lässt sich daher prognostizieren, dass zusätzliche Anforderungen an Eigenschaften und Funktionalität der Glasfaser, die sich aus der fortschreitenden Digitalisierung ergeben könnten, technisch gelöst werden können. ■

QUELLEN

- [1] Bachurina, D.; Maschek, U.: Die Leit- und Sicherungstechnik im Spiegel der industriellen Revolutionen, DER EISENBÄHNINGENIEUR, 1/2018, S. 10-13
- [2] Baumann, R.; Boldt, A.: Kabelanlagen, in Handbuch Eisenbahninfrastruktur, L. Fendrich; W. Fengler (Hrsg.), Wiesbaden, Springer-Verlag Deutschland, 2019, S. 831-864
- [3] Hoffmann, A.: Physikalische und elektrische Eigenschaften gefüllter Bahnsignalkabel, EIK – EISENBÄHNINGENIEURKALENDER 2014, S. 167-180, 2014
- [4] DB TK 416.0116 V2.0
- [5] DB TL 416.0114
- [6] DB TL 416.0113
- [7] Trinckauf, J.: Digitalisierung in der Bahnsicherungstechnik, Technik in Bayern, 4/2019, S. 14-15
- [8] Maschek, U.: Sicherung des Schienenverkehrs; Grundlagen und Planung der Leit- und Sicherungstechnik, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2018
- [9] Maschek, U.: Vorlesungsunterlage "Das NeuPro-ESTW", Dresden, 2021



Thomas Sorge

Leiter
Marketing und Produktmanagement
Bayerische Kabelwerke AG, Roth
sorge.t@bayka.de



Dipl.-Betriebsw. (FH) Ina Falkner

Freie Fachjournalistin
Marketing on Demand,
Rednitzhembach
falkner@mond-online.com