



## 1. Zweck der Norm

Die Empfehlung soll Anwendern Hilfe bei der Optimierung der Längen oder Querschnitte elektrischer Leitungen und bei ihrer Verlegung geben, damit wegen der räumlichen Ausdehnung der Modellbahnanlagen durch richtige Wahl der Leiterlänge unnötige Spannungsverluste auf den Leitungen und die gleichzeitig bestehende Gefahr der Leitungsüberhitzung (Brand- bzw. Kurzschlussgefahr!) vermieden werden.

## 2. Leitungen in Modellbahnsteuerungen

In Modellbahnanlagen führen Leitungen unterschiedlich große Ströme. Die Installation von Leitungen muss dem tolerierten Spannungsfall bei einem gegebenen Strom gerecht werden. Daher wird eine Berechnung der zulässigen Leiterlänge und des Leiterquerschnittes empfohlen.

### 2.1 Berechnung der zulässigen Leiterlänge

Der Spannungsabfall  $\Delta U$  auf Leitungen hängt ursächlich vom Leiterwiderstand  $R^{1)}$  und der Strombelastung  $I$  ab. Die zulässige Leiterlänge<sup>2)</sup>  $l$  in Abhängigkeit von Querschnitt  $A$ , Spannungsfall  $\Delta U$  und Laststrom  $I$  ergibt sich nach folgender Formel (Einheiten nach Tabelle1):

$$l = (\Delta U / I) * A / p$$

Tabelle 1:

Symbol	Einheit	Beschreibung
$l$	m	Gesamtlänge in Meter (Hin- und Rückleiter)
$p$	$(\Omega \cdot \text{mm}^2) / \text{m}$	Spezifischer Widerstand (Kupfer <sup>3)</sup> 0,0178 bei 20 Grad Celsius)
$\Delta U$	V	Maximaler Spannungsfall in Volt
$A$	$\text{mm}^2$	Leitungsquerschnitt aus $\pi * d^2/4$ oder $\pi * r^2$
$I$	A	Laststrom in Ampere

### 2.2 Der Einfluss der Versorgungsspannung

Der Spannungsfall auf den Leitungen sollte nicht mehr als **10%** der Quellenspannung betragen. Bei gleichen Leiterquerschnitten für Hin- und Rückleitung entfallen auf jeden Leiter **5%**,  $\Delta U = 0,8 \text{ V}$  bei 16 V und  $\Delta U = 0,6 \text{ V}$  bei 12 V Quellenspannung. Für praktische Berechnungen reicht es aus, wenn man allgemein einen Spannungsfall von 1 V verteilt auf Hin- und Rückleiter (je Leiter 0,5 V) annimmt. Wird als Rückleiter ein Leiter mit erheblich größerem Querschnitt (3 – 5-fach) verwendet, so kann der ganze Spannungsfall der Hinleitung zugerechnet werden. Praktisch verdoppelt sich so seine mögliche Länge.

- <sup>1)</sup> Der Leiterwiderstand  $R$  bestimmt den Spannungsfall  $\Delta U$  bei gegebenem Laststrom; deshalb wird  $R$  durch  $\Delta U / I$  ersetzt.
- <sup>2)</sup> Die zulässige Leiterlänge ist die Leiterlänge, bei der bei Einhaltung der Rahmenbedingungen Querschnitt, Maximallaststrom und zulässigem Spannungsfall weder Betriebsstörungen der Verbraucher oder Betriebsgefahren durch Überhitzung entstehen können; Kurzschluss ausgeschlossen.
- <sup>3)</sup> Die Temperaturabhängigkeit von - 0,4% je K Temperaturänderung kann bei den offen in der Anlage verlegten Leitungen vernachlässigt werden.

### 2.3 Der Einfluss des Laststromes

Der Laststrom richtet sich immer nach den elektrischen Betriebsbedingungen des jeweiligen Verbrauchers der Modellbahnanlage; berücksichtigt werden muss stets der maximale Laststrom. Der Laststrom beeinflusst die Leiterlänge in reziproker Form; das bedeutet, dass sich die Länge halbiert, wenn sich der Strom verdoppelt.

### 2.4 Ausgewählte Beispiele

Beispiele für den Spannungsfall von  $\Delta U = 0,5 \text{ V}$  und den Laststrom  $I = 1 \text{ A}$

Tabelle 2: Zulässige Leiterlängen

$d$ in mm	für Drähte		für flexible Leiter	
	$A$ in mm <sup>2</sup>	$l$ in m	$A$ in mm <sup>2</sup>	$l$ in m
0,40	0,13	3,5	0,14	3,9
0,80	0,50	14,1	0,75	21,0
1,50	1,77	49,6	1,50	42,0

Anmerkung:  $d$  = Durchmesser

#### Rechenbeispiel:

Gegeben: Drahtdurchmesser  $d = 0,5 \text{ mm}$   
 Spannungsfall  $\Delta U = 0,5 \text{ V}$   
 Laststrom  $I = 1,2 \text{ A}$

Berechnen  $l$ : Querschnitt:  $A = \pi * d^2 / 4$ ;  $A = 0,20 \text{ mm}^2$ .  
 $(0,5 / 1,2) * 0,20 / 0,0178 = 4,7 \text{ m}$

### 2.5 Umgestellte Formeln

Maximaler Strom bei gegebener Länge, Querschnitt und  $\Delta U$ :  $I = (\Delta U * A) / (l * p)$

Spannungsfall bei gegebenen Querschnitt, Länge und Strom:  $\Delta U = (l * p * I) / A$

Minimaler Querschnitt bei gegebenen Laststrom,  $\Delta U$  und Länge:  $A = (l * p) / (\Delta U / I)$

## 3. Wärmeklasse

Die zum Einsatz kommenden Kabel sollen die Wärmeklasse **Y** (Grenztemperatur  $90^0 \text{ C}$ ) erfüllen.