



# ANWENDUNGSHINWEISE TECHNISCHE NOTIZ TN 494

## ZULÄSSIGE LÄNGEN FÜR ELEKTRISCHE ANSCHLUSSLEITUNGEN VON HYDRAULIK- VENTILEN MIT INTEGRIERTER ELEKTRONIK

CA48851-002; Version 1.0, 05/08

**Copyright**

© 2006, 2008 Moog GmbH  
 Hanns-Klemm-Straße 28  
 71034 Böblingen  
 Deutschland

Telefon: +49 7031 622-0  
 Telefax: +49 7031 622-191  
 E-Mail: [sales.germany@moog.com](mailto:sales.germany@moog.com)  
 Internet: <http://www.moog.com/Industrial>

**Alle Rechte vorbehalten.**

Kein Teil dieser TN darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne unsere schriftliche Genehmigung reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz.

**Änderungen vorbehalten.**

Änderungen an dieser TN sind jederzeit und ohne Angabe von Gründen möglich.

**Vollständigkeit**

Diese TN ist nur zusammen mit den für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten produktbezogenen Hard- und Software-Dokumentationen, wie z. B. Betriebsanleitung des Ventils und andere Handbücher, vollständig.

**Personalauswahl und -qualifikation**

Sämtliche Arbeiten mit und an unseren Produkten dürfen – wie in den für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten produktbezogenen Hard- und Software-Dokumentationen spezifiziert – ausschließlich von hierfür qualifizierten und autorisierten Anwendern durchgeführt werden.

**Hinweis**

Diese TN wurde mit großer Sorgfalt unter Berücksichtigung der geltenden Vorschriften, dem Stand der Technik sowie unserer langjährigen Erkenntnisse und Erfahrungen erstellt, der gesamte Inhalt nach bestem Wissen erarbeitet. Trotzdem sind Irrtümer nicht auszuschließen und Verbesserungen möglich. Wir würden uns freuen, wenn Sie uns auf Fehler oder unvollständige Angaben aufmerksam machen würden.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Typ. Werte für Kupferleitungen .....</b>	<b>3</b>
2.1 Widerstand der Leitung .....	3
2.2 Kapazität der Leitung.....	3
<b>3 24-Volt-Versorgungsleitungen .....</b>	<b>3</b>
3.1 Längenbezogener Spannungsabfall.....	3
3.2 Beispiele .....	4
<b>4 Signalleitungen .....</b>	<b>4</b>
4.1 Analoge Signalleitungen.....	4
4.1.1 Einfluss des Widerstands R .....	4
4.1.2 Einfluss des Kapazitätsbelags .....	4
4.1.3 Empfehlungen .....	4
4.2 Digitale Signalleitungen .....	4
4.2.1 Digitale Signaleingangsleitungen .....	4
4.2.2 Digitale Signalausgangsleitungen .....	4
4.2.3 Feldbusleitungen .....	4

## 1 Einleitung

Unsere Hydraulikventile mit integrierter Elektronik werden in der Regel über Versorgungsleitungen mit 24 V versorgt und über analoge oder digitale Signalleitungen gesteuert.

Diese Technische Notiz soll eine Hilfe bei der Dimensionierung und Auslegung der Versorgungs- und Signalleitungen geben um für alle zulässigen Betriebszustände der Ventile eine ausreichende Versorgungsspannungs- und Signalqualität zu gewährleisten.

Die maximal zulässige Länge von Versorgungs- und Signalleitungen wird begrenzt durch den Widerstand und den Kapazitätsbelag der Leitungen.

## 2 Typ. Werte für Kupferleitungen

Die hier genannten typischen Werte werden in den Beispielrechnungen der folgenden Abschnitte verwendet.

### 2.1 Widerstand der Leitung

Der typische Widerstand  $R_{\text{typ}}$  einer Kupferleitung der Länge  $\ell$  wird folgendermaßen berechnet:

$$R_{\text{typ}} = \frac{\rho_{\text{Cu}}}{q_{\text{typ}}} \cdot \ell = 23,73 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} \cdot \ell$$

mit:  $q_{\text{typ}} = 0,75 \text{ mm}^2$  typischer verwendeter Querschnitt für Anschlussleitungen

$\rho_{\text{Cu}} = 0,0178 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$  spezifischer Widerstand von Kupfer bei 20 °C

### 2.2 Kapazität der Leitung

Der typische Kapazitätsbelag von Kupferleitungen liegt bei 50 pF/m.

Die typische Kapazität  $C_{\text{typ}}$  einer Kupferleitung der Länge  $\ell$  wird folgendermaßen berechnet:

$$C_{\text{typ}} = 50 \frac{\text{pF}}{\text{m}} \cdot \ell$$

## 3 24-Volt-Versorgungsleitungen

Die maximal zulässige Länge  $\ell_{\text{max}}$  der Versorgungsleitung wird folgendermaßen berechnet:

$$\ell_{\text{max}} = \frac{U_{\text{ab\_max}}}{\left(\frac{U_{\text{ab}}}{\ell}\right)_{\text{typ}}}$$

$$U_{\text{ab\_max}} = \ell_{\text{max}} \cdot \left(\frac{U_{\text{ab}}}{\ell}\right)_{\text{typ}}$$

mit:  $U_{\text{ab\_max}} = 6 \text{ V}$  maximal zulässiger Spannungsabfall über die Versorgungsleitung  
 $U_{\text{ab\_max}} = 24 \text{ V} - U_{\text{min}}$

$U_{\text{min}} = 18 \text{ V}$  kleinste zulässige Versorgungsspannung des Ventils

$\left(\frac{U_{\text{ab}}}{\ell}\right)_{\text{typ}}$  längenbezogener Spannungsabfall  
 (⇒ "3.1 Längenbezogener Spannungsabfall")

ⓘ Diese Berechnung berücksichtigt nicht eine eventuelle Reduzierung der Ausgangsspannung des Netzteils aufgrund der angeschlossenen Last. Sie berücksichtigt auch keine Spannungseinbrüche die im Moment des Einschaltens weiterer Lasten entstehen können.

### 3.1 Längenbezogener Spannungsabfall

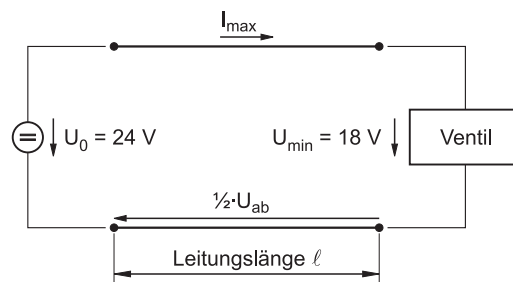


Abb. 1: Spannungsabfall auf der Versorgungsspannungsleitung

Der längenbezogene Spannungsabfall über die Hin- und Rückleitung der Versorgungsleitung wird folgendermaßen berechnet:

$$\left(\frac{U_{\text{ab}}}{\ell}\right)_{\text{typ}} = 2 \cdot I_{\text{max}} \cdot \left(\frac{R_{\text{typ}}}{\ell}\right) = 2 \cdot I_{\text{max}} \cdot 23,73 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}}$$

mit:  $I_{\text{max}}$  maximaler Stromverbrauch des Ventils (kann der Betriebsanleitung des Ventils entnommen werden)

$R_{\text{typ}}$  typischer Widerstand der Leitung  
 (⇒ "2.1 Widerstand der Leitung")

$\ell$  Leitungslänge der Versorgungsleitung

## 3.2 Beispiele

Ventilbaureihe	max. Stromverbrauch $I_{\max}$	Spannungsabfall $\left(\frac{U_{\text{ab}}}{\ell}\right)_{\text{typ}}$	max. zulässige Leitungslänge $\ell_{\max}$
D661	300 mA	14 mV/m	428 m
D941	350 mA	17 mV/m	364 m
D681	800 mA	38 mV/m	157 m
D636/8	1200 mA	57 mV/m	106 m
D634	2200 mA	104 mV/m	58 m

## 4 Signalleitungen

### 4.1 Analoge Signalleitungen

#### 4.1.1 Einfluss des Widerstands R

Der Einfluss des Widerstands R der verwendeten Leitung auf die maximale Leitungslänge  $\ell_{\max}$  bei Signalleitungen ist sehr gering, da die über Signalleitungen fließenden Ströme sehr klein sind.

#### Beispiel:

Bei einer Leitungslänge  $\ell$  von 428 m beträgt der Widerstand R gemäß nachstehender Formel nur 10  $\Omega$ .

$$R = \frac{\rho_{\text{Cu}}}{q_{\text{typ}}} \cdot \ell = 23,73 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} \cdot 428 \text{ m} \approx 10 \Omega$$

#### 4.1.2 Einfluss des Kapazitätsbelags

Der Einfluss des Kapazitätsbelags der verwendeten Leitung auf die maximale Leitungslänge  $\ell_{\max}$  bei Signalleitungen ist wesentlich größer.

Die mit der Leitungslänge zunehmende Kapazität C bildet mit dem Eingangswiderstand R einen Hochpass erster Ordnung, der hochfrequente Störungen beispielsweise auf Signaleingänge koppeln kann. Die Grenzfrequenz  $f_g$  des Hochpasses wird folgendermaßen berechnet:

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

Je länger die Leitung ist, desto niedriger ist demnach die Grenzfrequenz  $f_g$  des Hochpasses.

#### Beispiel:

Bei einer Leitungslänge  $\ell$  von 10 m und einem typischen Analog-Eingangswiderstand R von 10 k $\Omega$  ergibt sich gemäß nachstehender Formel eine Grenzfrequenz  $f_g$  von 32 kHz.

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot 50 \frac{\text{pF}}{\text{m}} \cdot \ell}$$

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ k}\Omega \cdot 50 \frac{\text{pF}}{\text{m}} \cdot 10 \text{ m}}$$

$$f_g = 32 \text{ kHz}$$

### 4.1.3 Empfehlungen

Mit einem differentiellen Spannungssollwert und einer Leitungslänge  $\ell$  von 10 m wurde der EMV-Test gemäß EN 61000-6-2:2001-10 durchgeführt. Die Beeinflussung der Position des Steuerkolbens während der Störungen (elektromagnetische Einkopplung, Transienten) lag unter 1 %. Bei Verlängerung der Leitung kann sich dies verschlechtern.

Die Erfahrung zeigt, dass bei Leitungslängen über 15 m ein Stromeingang verwendet werden sollte, da hier der Eingangswiderstand um den Faktor 50 kleiner ist.

Um den gleichen Faktor wird auch die Grenzfrequenz  $f_g$  des Hochpasses ( $\Rightarrow$  "4.1.2 Einfluss des Kapazitätsbelags") höher, und damit der Eingang unempfindlicher gegen Störungen.

Des Weiteren wirkt sich der Spannungsabfall auf der Leitung bei einem Stromsollwert nicht aus.

Zu empfehlen ist immer ein differentieller Eingang, unabhängig, ob ein Spannungs- oder Stromsignal als Sollwert verwendet wird, da sich eine auf die zwei Eingangsleitungen eingekoppelte Störung zu fast Null subtrahiert.

## 4.2 Digitale Signalleitungen

### 4.2.1 Digitale Signaleingangsleitungen

Digitale Signaleingangsleitungen, wie z. B. Ventilfreigabe, sind unkritischer bezüglich ihrer Leitungslängen, weil die Ströme niedrig ( $< 20$  mA) sind und ein größerer Störpegelabstand leichter einzuhalten ist, da nur zwei Zustände/Pegel unterschieden werden müssen.

### 4.2.2 Digitale Signalausgangsleitungen

Bei digitalen Signalausgangsleitungen, wie z. B. Ventilüberwachung und Ventilbereitschaft, betragen die Ströme bis zu 1,5 A. In diesen Fällen kann der Spannungsabfall über längere Leitungen nicht mehr vernachlässigt werden. Damit gelten für diese Leitungen die gleichen Anforderungen wie für die Spannungsversorgungsleitungen ( $\Rightarrow$  "3 24-Volt-Versorgungsleitungen").

### 4.2.3 Feldbusleitungen

Bei digitalen Feldbusleitungen sind die maximal möglichen Leitungslängen sehr unterschiedlich. Meist sind die Leitungsenden niederohmig abgeschlossen (Leistungsanpassung) um Signalreflexionen zu vermeiden, was längere Leitungslängen erlaubt. Die maximal möglichen Leitungslängen sind in den Normen der entsprechenden Feldbusse festgelegt und hängen unter anderem von der verwendeten Übertragungsrate ab.

Für Ihre Notizen.

# MOOG.COM/INDUSTRIAL

Die Moog-Niederlassungen finden Sie unter  
[moog.com/industrial/globallocator](http://moog.com/industrial/globallocator)

Argentinien	+54	11 4326 5916	<a href="mailto:info.argentina@moog.com">info.argentina@moog.com</a>
Australien	+61	3 9561 6044	<a href="mailto:info.australia@moog.com">info.australia@moog.com</a>
Brasilien	+55	11 3572 0400	<a href="mailto:info.brazil@moog.com">info.brazil@moog.com</a>
China	+86	21 2893 1600	<a href="mailto:info.china@moog.com">info.china@moog.com</a>
Deutschland	+49	7031 622 0	<a href="mailto:info.germany@moog.com">info.germany@moog.com</a>
Finnland	+358	9 2517 2730	<a href="mailto:info.finland@moog.com">info.finland@moog.com</a>
Frankreich	+33	1 4560 7000	<a href="mailto:info.france@moog.com">info.france@moog.com</a>
Großbritannien	+44	1684 296600	<a href="mailto:info.unitedkingdom@moog.com">info.unitedkingdom@moog.com</a>
Hong Kong	+852	2 635 3200	<a href="mailto:info.hongkong@moog.com">info.hongkong@moog.com</a>
Indien	+91	80 4120 8799	<a href="mailto:info.india@moog.com">info.india@moog.com</a>
Irland	+353	21 451 9000	<a href="mailto:info.ireland@moog.com">info.ireland@moog.com</a>
Italien	+39	332 421 111	<a href="mailto:info.italy@moog.com">info.italy@moog.com</a>
Japan	+81	463 55 3615	<a href="mailto:info.japan@moog.com">info.japan@moog.com</a>
Luxemburg	+352	40 46 401	<a href="mailto:info.luxembourg@moog.com">info.luxembourg@moog.com</a>
Niederlande	+31	252 462 000	<a href="mailto:info.netherlands@moog.com">info.netherlands@moog.com</a>
Norwegen	+47	64 94 19 48	<a href="mailto:info.norway@moog.com">info.norway@moog.com</a>
Österreich	+43	664 144 65 80	<a href="mailto:info.austria@moog.com">info.austria@moog.com</a>
Russland	+7	31713 1811	<a href="mailto:info.russia@moog.com">info.russia@moog.com</a>
Schweden	+46	31 680 060	<a href="mailto:info.sweden@moog.com">info.sweden@moog.com</a>
Schweiz	+41	71 394 5010	<a href="mailto:info.switzerland@moog.com">info.switzerland@moog.com</a>
Singapur	+65	6773 6238	<a href="mailto:info.singapore@moog.com">info.singapore@moog.com</a>
Spanien	+34	902 133 240	<a href="mailto:info.spain@moog.com">info.spain@moog.com</a>
Südafrika	+27	12 653 6768	<a href="mailto:info.southafrica@moog.com">info.southafrica@moog.com</a>
Südkorea	+82	31 764 6711	<a href="mailto:info.korea@moog.com">info.korea@moog.com</a>
USA	+1	716 652 2000	<a href="mailto:info.usa@moog.com">info.usa@moog.com</a>

© 2006, 2008 Moog GmbH

Technische Notiz TN 494  
(CA48851-002; Version 1.0, 05/08)

Alle Rechte vorbehalten.  
Änderungen vorbehalten.