

## Eigenschaften von Isolations- und Mantelwerkstoffen von Kabeln und Leitungen

Nur für die Grundmaterialien gültig. Abweichungen sind je nach Anwendungszweck/Ausführung möglich. Siehe hierzu die jeweilige Katalogseite.

| Einsatzkriterien   | Werkstoff                       |                        |             |                         |                       |   |
|--|---------------------------------|------------------------|-------------|-------------------------|-----------------------|---|
|  | Bioölbeständiger Werkstoff      | Polyvinylchlorid       | Polyethylen | Polyurethan             | Polytetrafluorethylen | Tetrafluorethylen Hexafluorpropylen Copolymer |
| <b>Parameter</b>   |                                 |                        |             |                         |                       |   |
| Abkürzung  | Spezial-TPE                     | PVC                    | PE          | PUR                     | PTFE                  | FEP   |
| Kurzzeichen nach VDE                                     | –                               | Y                      | 2Y          | 11Y                     | 5Y                    | 6Y  |
| Gebrauchstemperatur                                      | -50<br>+120                     | -30<br>+70             | -50<br>+70  | -50<br>+90              | -190<br>+260          | -100<br>+200                                  |
| Dielektrizitätskonstante                                 | 2,4                             | 4,0                    | 2,3         | 4,0 – 6,0               | 2,1                   | 2,1   |
| Spez. Durchgangswiderstand ( $\Omega \times \text{cm}$ ) | $10^{15}$                       | $10^{12} - 10^{15}$    | $10^{17}$   | $10^{12}$               | $10^{18}$             | $10^{18}$                                     |
| Zugfestigkeit N/mm <sup>2</sup> (MPa)                    | 5 – 20                          | 10 – 25                | 15 – 30     | 15 – 45                 | 15 – 40               | 20 – 25                                       |
| Reißdehnung %  | 400 – 600                       | 150 – 400              | 400 – 800   | 300 – 600               | 240 – 400             | 250 – 350                                     |
| Wasseraufnahme (20 °C) %                                 | 1 – 2                           | 0,4                    | 0,1         | 1,5                     | 0,01                  | 0,01  |
| Witterungsbeständigkeit                                  | sehr gut                        | gut                    | gut         | sehr gut                | sehr gut              | sehr gut                                      |
| Kraftstoffbeständigkeit                                  | gut                             | mäßig                  | mäßig       | gut                     | sehr gut              | sehr gut                                      |
| Ölbeständigkeit  | Bioöl-<br>beständig<br>sehr gut | mäßig                  | mäßig       | gut                     | sehr gut              | sehr gut                                      |
| Brennbarkeit   | entflammbar                     | selbstver-<br>löschend | entflammbar | selbstver-<br>löschend* | nicht<br>entflammbar  | nicht<br>entflammbar                          |

| Einsatzkriterien   | Werkstoff                 |                        |                       |                                 |  |   |
|--|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|--|---|
|  | Ethylen tetrafluorethylen | Chloropren-Kautschuk   | Silikon-Kautschuk     | Ethylen Propylen-Dien-Kautschuk | Thermoplastisches Elastomer auf Polyolefin-Basis | Thermoplastisches Elastomer auf Polyester-Basis |
| <b>Parameter</b>   |                           |                        |                       |                                 |  |   |
| Abkürzung  | ETFE                      | CR                     | SI                    | EPDM                            | TPE-O  | TPE-E   |
| Kurzzeichen nach VDE                                     | 7Y                        | 5G                     | 2G                    | 3G                              | –  | 12Y   |
| Gebrauchstemperatur                                      | -100<br>+150              | -40<br>+100            | -60<br>+180           | -30<br>+120                     | -40<br>+120                                      | -70<br>+125                                     |
| Dielektrizitätskonstante                                 | 2,6                       | 6,0 – 8,0              | 2,8 – 3,2             | 3,2                             | 2,7 – 3,6  | 3,7 – 5,1                                       |
| Spez. Durchgangswiderstand ( $\Omega \times \text{cm}$ ) | $10^{16}$                 | $10^{13}$              | $10^{15}$             | $10^{14}$                       | $5 \times 10^{14}$                               | $10^{12}$                                       |
| Zugfestigkeit N/mm <sup>2</sup> (MPa)                    | 40 – 50                   | 10 – 25                | 5 – 10                | 5 – 25                          | ≥ 6  | 3 – 25  |
| Reißdehnung %  | 100 – 300                 | 300 – 450              | 200 – 350             | 200 – 450                       | ≥ 400  | 280 – 650                                       |
| Wasseraufnahme (20 °C) %                                 | 0,01                      | 1                      | 1,0                   | 0,02                            | 1,5  | 0,3 – 0,6                                       |
| Witterungsbeständigkeit                                  | sehr gut                  | sehr gut               | sehr gut              | gut                             | mäßig  | sehr gut  |
| Kraftstoffbeständigkeit                                  | sehr gut                  | mäßig                  | gering                | mäßig                           | mäßig  | gut   |
| Ölbeständigkeit  | sehr gut                  | gut                    | mäßig                 | mäßig                           | mäßig  | sehr gut  |
| Brennbarkeit   | nicht<br>entflammbar      | selbstver-<br>löschend | schwer<br>entflammbar | entflammbar                     | entflammbar                                      | entflammbar                                     |

\*nur mit zusätzlichem Flammschutzmittel

## Isolationswiderstand

Die Isolation bei Kabeln und Leitungen hat die Aufgabe, die einzelnen Leiter elektrisch zu isolieren. Deshalb soll sie – im Gegensatz zum Leiter – einen möglichst hohen elektrischen Widerstand, bzw. eine möglichst geringe Leitfähigkeit aufweisen.

Für diesen Zweck werden verschiedene Werkstoffe verwendet, die sich in den mechanischen als auch in den elektrischen Eigenschaften unterscheiden. Am häufigsten werden dabei Mischungen auf Basis von PVC, PE oder TPE eingesetzt.

### Begriffe

Im Zusammenhang mit dem Isolationswiderstand werden in der Praxis verschiedene Begriffe verwendet. Zur Unterscheidung und zum besseren Verständnis werden diese im Folgenden kurz erläutert.

### Durchgangswiderstand

Widerstandswert, der sich aus der Messung eines Probekörpers durch Anlegen einer Gleichspannung ergibt. Er resultiert aus der an zwei Elektroden angelegten Prüfspannung, die an den Flächen des Probekörpers (z.B. Aderisolation) anliegen, und der Stromstärke zwischen diesen Elektroden.

### Spezifischer Durchgangswiderstand

Hierbei handelt es sich um einen relativen Wert, der die Eigenschaft des Werkstoffs bzgl. elektrischer Isolation angibt. Dieser Wert wird in der Praxis auf ein Einheitsvolumen bezogen, die Angabe erfolgt üblicherweise in  $\Omega \times \text{cm}$ . Für eine PVC Aderisolation ist typisch:  $> 20 \text{ G}\Omega \times \text{cm}$ .

### Isolationswiderstand

Der Isolationswiderstand lässt sich bei einer Leitung aus dem spezifischen Durchgangswiderstand und dem Verhältnis von Ader-Außendurchmesser zu Leiterdurchmesser ermitteln. Typische Einheiten sind hier  $\text{M}\Omega \times \text{km}$  oder  $\text{G}\Omega \times \text{km}$ .

In Bauartnormen von Kabeln und Leitungen werden typischerweise Mindestwerte für den Isolationswiderstand gefordert. Diese Werte sind für die maximale Betriebstemperatur in Abhängigkeit von Nennquerschnitt und Isolationswanddicke festgelegt.

Beispiel: Für eine ölbeständige Steuerleitung des Typs H05VV5-F sind die Werte in der EN 50525-2-51 definiert. Der Mindestwert des Isolationswiderstands einer Abmessung  $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$  muss  $0,010 \text{ M}\Omega \times \text{km}$  betragen.

Tatsächlich ermittelte Werte liegen oft um mehr als eine Zehnerpotenz höher und damit deutlich über den Normanforderungen.

### Messmethoden

Grundsätzlich zu unterscheiden sind einerseits Labormessungen an einer Ader zur Überprüfung der Isolation und andererseits Messungen in der Praxis an kompletten, eventuell bereits installierten Kabeln und Leitungen.

### Ermittlung Isolationswiderstand und spezifischer Durchgangswiderstand der Ader

Der Nachweis zu oben genannten Anforderungen erfolgt mittels Messung nach EN 50395 (VDE 0481-395). Dazu wird eine 5 m lange Probe der Leitung vollständig abgemantelt und die Adern 2 Stunden in ein Wasserbad gelegt, welches zuvor auf die maximale Betriebstemperatur der Leitung erwärmt wurde (gültig für Leitungen mit einer max. Leitertemperatur von bis zu  $90^\circ\text{C}$ ).

Zwischen jedem Leiter und dem Wasserbad werden  $80 - 500 \text{ V DC}$  angelegt und nach 1 Min. wird an jeder Ader der Isolationswiderstand gemessen. Mit diesem Wert ist für jede Ader der Isolationswiderstand einer 1 km Länge zu berechnen. Keiner der so berechneten Werte darf den in der Bauartnorm festgelegten Mindestwert unterschreiten, siehe o.g. Beispiel unter "Isolationswiderstand".

Der spezifische Durchgangswiderstand dient nur Vergleichszwecken, da er als Materialkonstante zu verstehen ist und unabhängig von der Isolationswanddicke und dem Leiterquerschnitt ist.

Generell dienen diese Werte in der Praxis zum Vergleich unterschiedlicher Materialien und sind für den Hersteller von Kabeln und Leitungen eine reproduzierbare Messmethode.

### Messungen an vollständigen Leitungen

Mit Widerstandswerten, die per „Trockenmessung“ an der fertigen Leitung oder gar an bereits installierten Leitungen ermittelt werden, sind die o.g. Werte nicht vergleichbar. Denn dort erfolgt die Ermittlung des Widerstandswertes durch den zu messenden Ableitstrom zwischen zwei benachbarten Adern innerhalb einer Leitung und der zugrunde liegenden Messspannung des Messgerätes.

Derart ermittelte Werte weisen eine sehr hohe Varianz auf, da sie von vielen Einflussfaktoren abhängen, wie z. B.:

- Konditionierung der Leitung, insbesondere Feuchtigkeitsaufnahme der Isolation
- Klimatische Bedingungen bei der Messung, insbesondere Temperatur der Leitung
- Individuelle Berührungsbedingungen der Isolationen beider Adern
- Leitfähigkeit der Materialien, die einen gemeinsamen Oberflächenkontakt zu den isolierten Adern aufweisen
- Verlegesituation der Leitung, da Stellen an denen die Leitung äußerem Druck z. B. durch Biegung oder Klemmung (Kabelverschraubungen) ausgesetzt ist, zu einer Deformierung der Isolation führen kann. Dadurch vergrößert sich die Kontaktfläche zwischen den isolierten Adern, was den Ableitstrom erhöht und somit ein geringerer Isolationswiderstandswert angezeigt wird.

Die o. g. Einflüsse von Temperatur und Luftfeuchtigkeit sind sehr hoch und variieren in der Praxis stark, da keine normierten Bedingungen vorherrschen. Messreihen haben z. B. gezeigt, dass sich der Isolationswiderstand zwischen  $20^\circ\text{C}$  (häufige Umgebungstemperatur) und  $70^\circ\text{C}$  (max. Betriebstemperatur einer Leitung) um den Faktor 1:100 bis 1:1000 ändern kann. Das heißt, allein die Temperatur bei der Messung hat so großen Einfluss, dass Messergebnisse, die bei unterschiedlichen Temperaturen ermittelt wurden, nicht mehr vergleichbar sind.

### Fazit

Die eingangs genannten Kabeldaten dienen zu Vergleichszwecken von verschiedenen Leitungstypen, können aber zu Vergleichen mit Messungen an der fertigen Leitung oder an elektrischen Anlagen (wie z. B. nach VDE 0100-600 Teil 6) keinesfalls herangezogen werden.