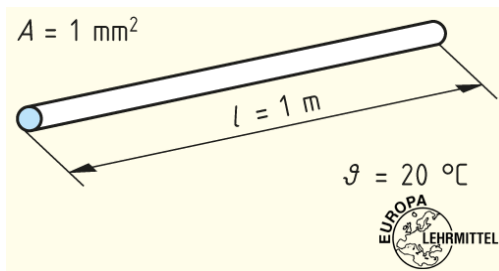


4. PoE – Power over Ethernet

4.1. Leiterwiderstand

Der spezifische elektrische Widerstand ϱ (rho) ist so groß wie der Widerstand eines Leiters von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt.

Die elektrische Leitfähigkeit γ (gamma) ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes.



$$R = \frac{\varrho \cdot l}{A}$$

$$[R] = \frac{\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot \text{m}}{\text{mm}^2} = \Omega$$

R Widerstand

l Leiterlänge

A Leiterquerschnitt

ϱ spezifischer Widerstand (rho)

γ elektrische Leitfähigkeit (gamma)

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot A}$$

$$\gamma = \frac{1}{\varrho}$$

$$[\gamma] = \frac{1}{\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}} = \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$$

Werkstoff	Leitfähigkeit γ	Spezifischer Widerstand ϱ
Aluminium (Al)	35	0,0286
CuMn 12 Ni	2,3	0,4350
CuNi 44 (Konstantan)	2,04	0,490
Kupfer (Cu)	56	0,01786
Silber	60	0,0167
Stahl (WM13)	7,7	0,13
Zink (Zn)	16	0,06250

4.2. Spannungsfall Gleichstrom

$$\Delta U = U_1 - U_2$$

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot A}$$

ΔU Spannungsfall

I Leiterstrom

U_1 Spannung am Leitungsanfang

γ elektr. Leitfähigkeit

U_2 Spannung am Leitungsende

A Leiterquerschnitt

$$\Delta u = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U}$$

Δu Spannungsfall in % der Netznennspannung

Beispiel:

An einem USB Kabel mit einem Adern-Durchmesser von 0,5 mm liegen 5 V Spannung und 0,5 A Stromstärke an.

Berechnen Sie a) den Spannungsfall ΔU in V bei einer Kabellänge von 5 m.
b) den Spannungsfall ΔU in V bei einer Kabellänge von 10 m.

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,5^2 \cdot \pi}{4} = 0,196 \text{ mm}^2$$

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot A} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 5}{56 \cdot 0,196} = 0,455 \text{ V}$$

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot A} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10}{56 \cdot 0,196} = 0,911 \text{ V}$$

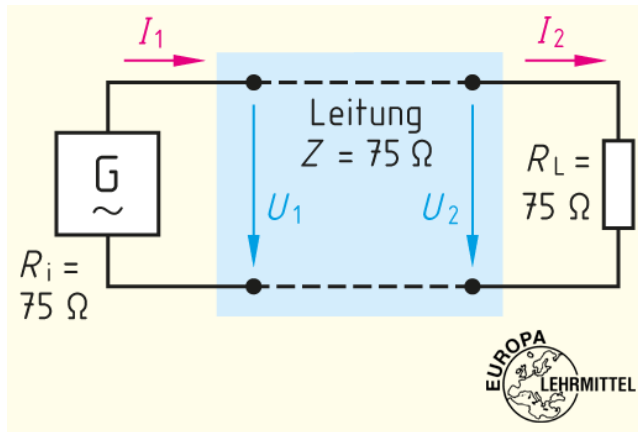
USB Speccification 2.0

Supply Voltage:

High-power Port 4.75 - 5.25 V

Low-power Port 4.40 - 5.25 V

4.3. Verstärkungsmaß, Dämpfungsmaß



$$A_u = 20 * \lg \frac{U_1}{U_2}$$

$$G_u = 20 * \lg \frac{U_2}{U_1}$$

$$A_p = 10 * \lg \frac{P_1}{P_2}$$

$$G_p = 10 * \lg \frac{P_2}{P_1}$$

A_u Spannungs­dämpfungs­maß in dB
 U_1 Eingangsspannung in V
 U_2 Ausgangsspannung in V

G_u Spannungs­verstärkungs­maß in dB

A_p Leistungs­dämpfungs­maß in dB
 P_1 aufgenommene Leistung in W
 P_2 abgegebene Leistung in W

G_p Leistungs­verstärkungs­maß in dB

4.4. Beispiel Spannungsfall / Dämpfung

UC300 HS24 Cat.5e

SF/UTP AWG24/1 Installationskabel 85 m

PATCH-C6AQ 1 BL

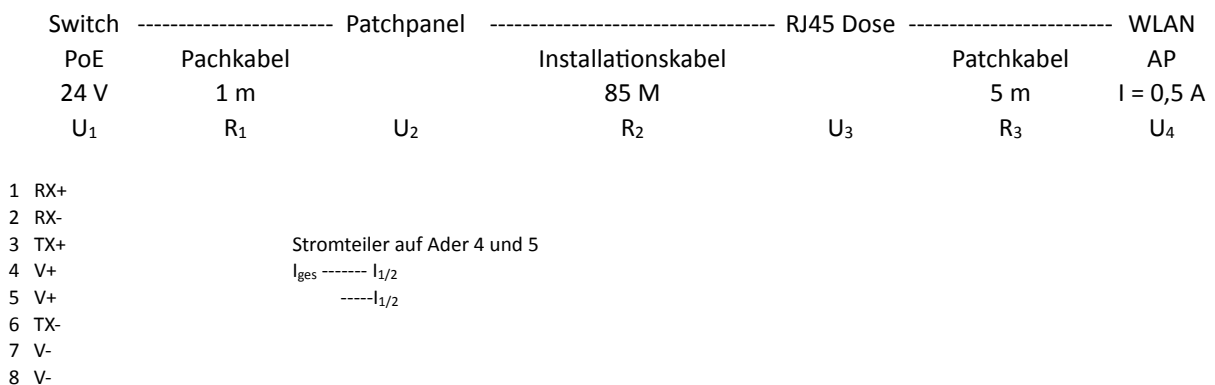
Cat.6a High Quality-Patchkabel, blau, 1,0M

Kabeltyp: 4x2 AWG 26/7

PATCH-C6AQ 5 BL

Cat.6a High Quality-Patchkabel, blau, 5M

Kabeltyp: 4x2 AWG 26/7



$$R_1 = \frac{122}{1000} = 0,122 \, \Omega$$

$$R_1 = \frac{l}{\gamma \cdot A} \rightarrow \gamma_1 = \frac{l}{R \cdot A} = \frac{1}{0,122 \cdot 0,141} = 58,132$$

$$\Delta U_1 = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot A} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 1}{58,132 \cdot 0,141} = 0,061 \, V$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_1 = 24 \, V - 0,061 \, V = 23,939 \, V$$

$$R_2 = \frac{89,4}{1000} \cdot 85 = 7,599 \, \Omega$$

$$R_2 = \frac{l}{\gamma \cdot A} \rightarrow \gamma_2 = \frac{l}{R \cdot A} = \frac{85}{7,599 \cdot 0,205} = 54,564$$

$$\Delta U_2 = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\gamma_2 \cdot A} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 85}{54,564 \cdot 0,205} = 3,799 \, V$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_2 = 23,939 \, V - 3,799 \, V = 20,140 \, V$$

$$R_3 = \frac{122}{1000} \cdot 5 = 0,61 \, \Omega$$

$$R_3 = \frac{l}{\gamma \cdot A} \rightarrow \gamma_3 = \frac{l}{R \cdot A} = \frac{5}{0,61 \cdot 0,141} = 58,132$$

$$\Delta U_3 = \frac{2 \cdot I \cdot l}{\gamma_3 \cdot A} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 5}{58,132 \cdot 0,141} = 0,305 \, V$$

$$U_4 = U_3 - \Delta U_3 = 20,140 \, V - 0,305 \, V = 19,835 \, V$$

$$A_u = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2} = 20 \cdot \lg \frac{24}{19,835} = 1,655 \, dB$$

AWG Tabelle	AWG Nr.	AWG AUFBAU nxAWG	LEITER QUERSCHNITT nxDraht-Ø mm	LEITER AUFBAU mm ²	AUßEN DURCHMESSER mm	LEITER WIDERSTAND Ohm/ km	LEITER GEWICHT kg/ km
AWG 26	26	massiv	massiv	0.128	0.409	143.0	1.14
	26	10/36	10x0.127	0.127	0.533	137.0	1.13
	26	19/38	19x0.102	0.155	0.508	113.0	1.38
	26	7/34	7x0.160	0.141	0.483	122.0	1.25
AWG 24	24	massiv	massiv	0.205	0.511	89.4	1.82

4.5.

4.6. Pegel

$L_u = 20 * \lg \frac{U}{U_0}$	L_u Spannungpegel in <i>dB μV</i> U Spannung in μV U_0 Bezugsspannung <i>1 μV an 75 Ω</i>
$L_p = 10 * \lg \frac{P}{P_0}$	L_p Leistungspegel in <i>dB mW</i> P Leistung <i>mW</i> P_0 Bezugsleistung <i>1 mW</i>

4.6. **Arbeitsblatt 11**

Pegel

1. Berechnen Sie folgende Größen in der Tabelle.

L_u in dB μV		1	46		62
U in μV	240			100	
L_p in dB mW		1	28		87
P in mW	36,3			123	

2. Am Eingang eines Antennenverstärkers wird eine Spannung von $0,1\text{ mV}$, am Ausgang eine Spannung von 14 mV gemessen. **a)** Berechnen Sie den Spannungsverstärkungsfaktor V_u **b)** die Spannungspegel am Ein- und am Ausgang und **c)** das Spannungsverstärkungsmaß G_u des Verstärkers.
3. An einer Empfangsantenne wurde ein Pegel von $46\text{ dB}\mu V$ gemessen. Die Verbindungsleitung zwischen Antenne und Empfänger hat eine Länge von 24 m . Die Dämpfung der Leitung beträgt $8,4\text{ dB}$ pro 100 m . **a)** Welcher Spannungspegel ist am Empfänger vorhanden? **b)** Welches Verstärkungsmaß ist notwendig, wenn ein Mindestpegel von $60\text{ dB}\mu V$ am Empfänger anliegen muss?
4. In eine $75\ \Omega$ Antennenleitung mit einer Dämpfung von 12 dB wird mit einem Messsender ein Pegel von 58 dBmW eingespeist. Die Antennenleitung ist mit einem $75\ \Omega$ Widerstand abgeschlossen. Berechnen Sie für das Ende der Antennenleitung **a)** den Leistungspegel, **b)** die Spannung und **c)** den Spannungspegel.

4.7. **Arbeitsblatt 11 Lösung**

Pegel

1. Berechnen Sie folgende Größen in der Tabelle.

217/1.	L_u in dB μ V	47,6	1	46	40	62
	U in μ V	240	1,12	199,53	100	1259
	L_p in dB mW	15,6	1	28	20,9	87
	P in mW	36,3	1,26	631	123	$5 \cdot 10^8$

2. Am Eingang eines Antennenverstärkers wird eine Spannung von $0,1 \text{ mV}$, am Ausgang eine Spannung von 14 mV gemessen. **a)** Berechnen Sie den Spannungsverstärkungsfaktor V_u **b)** die Spannungspegel am Ein- und am Ausgang und **c)** das Spannungsverstärkungsmaß G_u des Verstärkers.

217/4. a) $V_u = \frac{U_2}{U_1} = \frac{14 \text{ mV}}{0,1 \text{ mV}} = 140$

b) Eingang: $L_{uE} = 20 \cdot \lg \frac{U}{U_0} = 20 \cdot \lg \frac{0,1 \text{ mV}}{1 \mu\text{V}} = 20 \cdot \lg \frac{100 \mu\text{V}}{1 \mu\text{V}} = 20 \cdot 2 = 40 \text{ dB } \mu\text{V}$

Ausgang: $L_{uA} = 20 \cdot \lg \frac{U}{U_0} = 20 \cdot \lg \frac{14 \text{ mV}}{1 \mu\text{V}} = 20 \cdot \lg \frac{14000 \mu\text{V}}{1 \mu\text{V}} = 20 \cdot 4,15 = 83 \text{ dB } \mu\text{V}$

c) $G_u = L_{uA} - L_{uE} = 83 \text{ dB} - 40 \text{ dB} = 43 \text{ dB}$

3. An einer Empfangsantenne wurde ein Pegel von $46 \text{ dB } \mu\text{V}$ gemessen. Die Verbindungsleitung zwischen Antenne und Empfänger hat eine Länge von 24 m . Die Dämpfung der Leitung beträgt $8,4 \text{ dB}$ pro 100 m . **a)** Welcher Spannungspegel ist am Empfänger vorhanden? **b)** Welches Verstärkungsmaß ist notwendig, wenn ein Mindestpegel von $60 \text{ dB } \mu\text{V}$ am Empfänger anliegen muss?

217/5. a) $A_K = 8,4 \text{ dB} \cdot \frac{24 \text{ m}}{100 \text{ m}} = 2 \text{ dB}$; $L_u = L_e - A_K = 46 \text{ dB } \mu\text{V} - 2 \text{ dB} = 44 \text{ dB } \mu\text{V}$

b) $G_u = L_{min} - L_u = 60 \text{ dB } \mu\text{V} - 44 \text{ dB } \mu\text{V} = 16 \text{ dB}$

4. In eine 75Ω Antennenleitung mit einer Dämpfung von 12 dB wird mit einem Messsender ein Pegel von 58 dBmW eingespeist. Die Antennenleitung ist mit einem 75Ω Widerstand abgeschlossen. Berechnen Sie für das Ende der Antennenleitung **a)** den Leistungspegel, **b)** die Spannung und **c)** den Spannungspegel.

217/7. a) $L_p = L_{p1} - L_{p2} = 58 \text{ dB} - 12 \text{ dB} = 46 \text{ dB}$

b) $L_p = \frac{U^2}{R} \Rightarrow U = \sqrt{L_p \cdot R} = \sqrt{46 \text{ mW} \cdot 75 \Omega} = \sqrt{0,046 \text{ W} \cdot 75 \Omega} = 1,85 \text{ V}$

c) $L_u = 20 \cdot \lg \frac{U}{U_0} = 20 \cdot \lg \frac{1,85 \text{ V}}{1 \mu\text{V}} = 20 \cdot \lg \frac{1,85 \cdot 10^6 \mu\text{V}}{1 \mu\text{V}} = 125 \text{ dB } \mu\text{V}$

4.8. **Arbeitsblatt 12**

WLAN / CableModem

1. Ein WLAN-Router mit zwei 2,4 GHz Antennen hat eine Sendeleistung von 100 mW je Antenne. Diese ist die höchste erlaubte Sendeleistung in Österreich.

Eine der beiden Antennen muss in den Außenbereich montiert werden um diesen abzudecken.

Dämpfungen

- Je Antenne 4,5 dBi
- Antennenkabel RF-240 Koaxial 0,38 dB/m
- TNC-Buchse 1,5 dB
- TNC-Stecker 1,5 dB

Es werden zwei Kabel für die Verlagerung der Antenne benötigt, eines mit 9 m und ein zweites mit 7 m.

- Mit welcher Leistung sendet die Außenantenne?
- Wie könnte man den Leistungsverlust ersetzen?