

Inhalt der Nachrichtentechnik



Teil 1: Grundlagen Signalübertragung

2 Pegel und Übertragungsmedien

2.1 Pegel und Pegeldiagramm



Pegelrechnung, Einführung von logarithmischen Größen

2.2 Einführung in die Übertragungsmedien

2.3 Funkssysteme: Kugelwelle und Antennenabstrahlung

2.2.1 Charakteristische Parameter von Antennen

2.2.2 Richtfaktor, Gewinn und Wirkfläche einer Antenne

2.4 Power Link Budget drahtloser Systeme anhand von TV-Satellitenempfang bei 12 GHz

2.5 Entwicklung von neuen Satellitensystemen

Motivation: Berechnung/Design (Power-Link Budget) von

- Drahtgebundenen Übertragungssystemen (Kabelstrecken)
- Drahtlosen Übertragungssystemen (Mobilfunk, SATCOM, Radar)



Informationsübertragung



Wesentliches Ziel/Aufgabe der Kommunikationstechnik

Möglichst ungestörte und wirtschaftliche Übertragung von Informationen

mittels elektrischer Signale über den Kanal

NICHT Effizienz

- über große oder vorgegebene Entfernungen

(von der Informationsquelle zur Informationssenke)

- mit geringstem technischen Aufwand (geringsten Kosten)

ohne die Information zu verfälschen

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \approx 10^{-15}$$

Informationsübertragung \equiv Energieübertragung von Sender zu Empfänger

- **Verluste** im Übertragungskanal \Rightarrow Leistungsänderung entlang der Strecke
Power Link Budget (Kap. 2)

- **Rauschen, Störungen** \Rightarrow Änderungen im Signal-Störverhältnis
Berechnung des Signal-to-Noise Ratio SNR (Kap. 3)

- **Leistungspegel bzw. SNR schwanken stark (mehrere Dekaden)** \Rightarrow Logarith. Darstellung erforderlich!
Leistungspegel in Dezibel [dB]

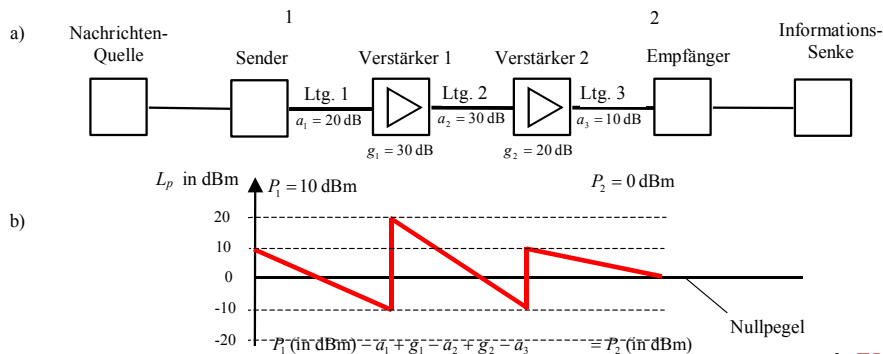


Beispiel: Übertragung über eine Leitung



Kompensation von Leistungsverlusten über die Leitungsabschnitte 1, 2 und 3 durch Einschalten der Zwischenverstärker:

a) Leitungsschema b) Pegeldiagramm der Leitung.

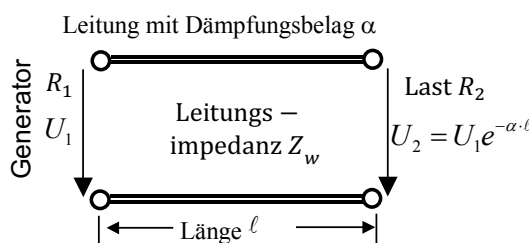


12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakob

3

Pegelrechnung: Leitung $P_2 < P_1 \rightarrow$ Dämpfung

Herleitung



Spannungsverhältnis

Aus/Eingang

$$\frac{U_2}{U_1} = e^{-\alpha \ell}$$

Spannungspegel in [Np]

Leistungspegel in Dezibel [dB]: $\lg(x) = \log_{10}(x)$

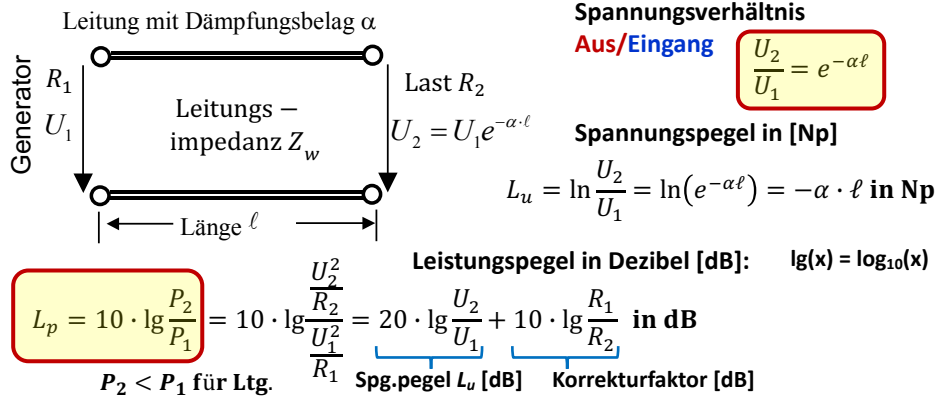


12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakob

4

Pegelrechnung: Leitung $P_2 < P_1 \rightarrow$ Dämpfung

Herleitung

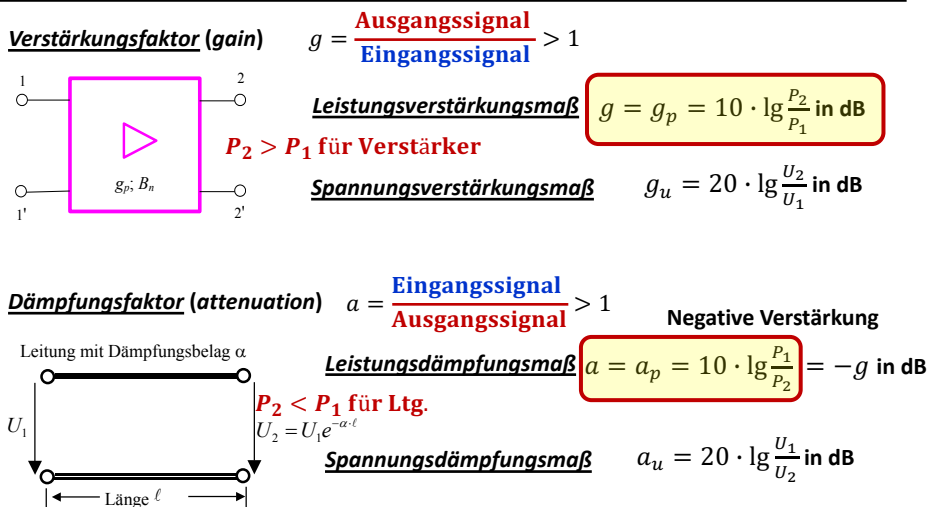


Ein Koeffizientenvergleich führt zu den Umrechnungen

$$10 \text{ dB} \approx 1.151 \text{ Np} \quad \text{und} \quad 1 \text{ Np} \approx 8.686 \text{ dB.}$$

Pegelrechnung: Verstärker & Leitung

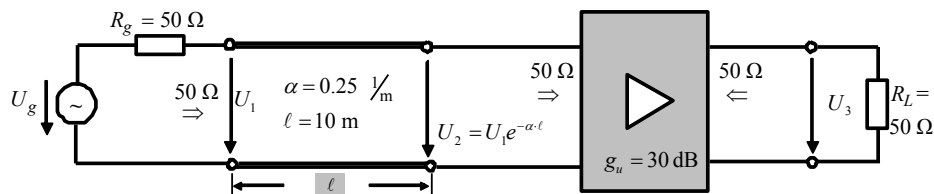
Herleitung



Pegelrechnung: Verstärker & Leitungsschaltung



Beispiel 2-1: Kabelgebundenes Übertragungssystem → siehe Vorlesungsskript



12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakoby



7

Pegelrechnung: Relativer / Absoluter Pegel



Relativer Pegel für beliebige Größe in Dezibel [dB]:

Logarithmisches Verhältnis zweier beliebiger Größen

$$L = 10 \log \frac{A_2}{A_1}$$

▪ entlang der Strecke

▪ **Ausgangs-** und **Eingangsgrößen** ...

P_2 / P_1	Relative Pegel L_p in	
	Np	dB
10000.00	4.600	40
1000.00	3.450	30
100.00	2.300	20
10.00	1.150	10
2.00	0.346	3
1.00	0.000	0
0.50	-0.346	-3
0.10	-1.150	-10
0.01	-2.300	-20

12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakoby



8

Pegelrechnung: Relativer / Absoluter Pegel



Absoluter Pegel für beliebige Größe in Dezibel [dB]:

Größe bezogen auf einen festgelegten
(genormten) **Bezugswert A_0**

$$L = 10 \log \frac{A_2}{A_0}$$

$A_2 (P_2, U_2)$	$A_0 (P_0, U_0)$	$L_p = 10 \lg \frac{P_2}{P_0}$ bzw. $L_u = 20 \lg \frac{U_2}{U_0}$
50.0W	1W	$10 \lg \frac{50W}{1W} = 17 \text{ dBW}$
2W	1W	$10 \lg \frac{2W}{1W} = 3 \text{ dBW}$
50W	1mW	$10 \lg \frac{50W}{10^{-3}W} = 47 \text{ dBm}$
2W	1mW	$10 \lg \frac{2W}{10^{-3}W} = 33 \text{ dBm}$
0.5V	1V	$20 \lg \frac{0.5V}{1V} = -6 \text{ dB}$
0.5V	1 μ V	$20 \lg \frac{0.5V}{1\mu V} = 114 \text{ dB } \mu\text{V}$

12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakob



9

Pegelrechnung: Relativer / Absoluter Pegel



Relativer/Absoluter Pegel auf andere, beliebige Größen ausgedehnt

Praxis für Satellitenstrecken & terrestrische Funkstrecken:

Berechnung G/T pro Hz

Zwei Temperaturen T_2 und T_1 :

$$10 \cdot \lg(T_2/T_1) \quad \text{in dB(K)}$$

Beispiel: 290 K entsprechen einer
relativen Temperatur von

$$10 \cdot \lg(290K / 1K) = 24.62 \text{ dB(K)}$$

Frequenz: Eine **Bandbreite** von 36 MHz
entspricht im logarithmischen Maß:

$$10 \cdot \lg(36 \cdot 10^6 \text{ Hz} / 1 \text{ Hz}) = 75.56 \text{ dB(Hz)}$$

Boltzmann-Konstante,

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K in Joule/Kelvin}$$

ist in logarithmischer Darstellung:

$$k = -228.6 \text{ dB(J/K)}.$$

12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakob



10

Inhalt der Nachrichtentechnik

Teil 1: Grundlagen Signalübertragung

2 Pegel und Übertragungsmedien

2.1 Pegel und Pegeldiagramm

2.2 Einführung in die Übertragungsmedien

2.3 Funksysteme: Kugelwelle und Antennenabstrahlung

2.2.1 Charakteristische Parameter von Antennen

2.2.2 Richtfaktor, Gewinn und Wirkfläche einer Antenne

2.4 Power Link Budget drahtloser Systeme anhand von TV-Satellitenempfang bei 12 GHz

2.5 Entwicklung von neuen Satellitensystemen

- Elektromagnetisches Spektrum
- Anforderungen an Übertragungsmedien
- Beispiele: Übertragungsmedien

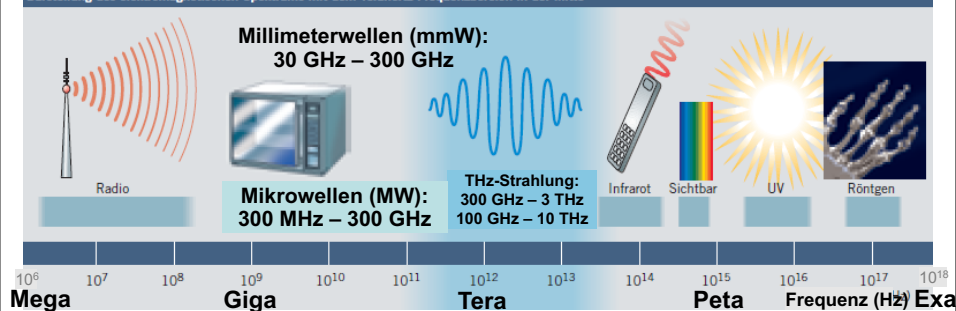
Motivation → Übersicht über die wichtigsten Übertragungsmedien

- Frequenzbereiche
- Frequenzcharakteristik (TP, HP, BP)
- Bandbreite des Übertragungskanal

Elektromagnetisches Spektrum

Elektromagnetische Felder sind ein natürliches Phänomen, z.B. das Licht.
Technisch entstehen sie überall dort, wo Wechselstrom fließt.

Darstellung des elektromagnetischen Spektrums mit dem Terahertz-Frequenzbereich in der Mitte



Frequenz bezeichnet die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. Sie wird in Hertz (Hz=1/s) angegeben:

1 MHz = 1.000.000 Hz

1 GHz = 1.000.000.000 Hz

1 THz = 1.000.000.000.000 Hz

Niederfrequente Felder Hochfrequente Felder



Anforderungen an Übertragungsmedien



Zur physikalischen Übertragung von Signalen zwischen Sender und Empfänger werden in jedem Fall physikalische Übertragungsmedien benötigt. Je nach Anwendungsfall und Anforderungen werden verschiedene leitungsgebundene und drahtlose Übertragungsmedien eingesetzt.

- Frequenzbereich der Übertragung \Rightarrow Mehrfachausnutzung und Reichweite
- Frequenzcharakteristik (TP, HP, BP) und Verluste
- Bandbreite des Übertragungskanal \Rightarrow Übertragungsrate und -kapazität
- Erforderliche Abschirmung der Felder \Rightarrow Störsicherheit, kein Überkoppeln
- Spannungsfestigkeit
- Flexibilität und Mobilität der Teilnehmer \Rightarrow drahtlose Systeme
- Kosten

Exemplarische Beispiele für Übertragungsmedien

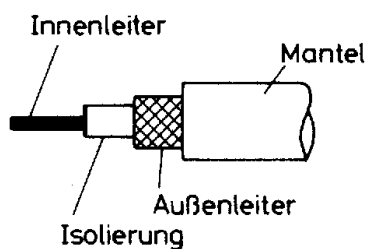
- Koaxialleitung & Hohlleiter
- Glasfaser
- Mobilfunk & Satellitensysteme (wird in Kap. 2.3 & Kap. 3 vertieft)

12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakoby

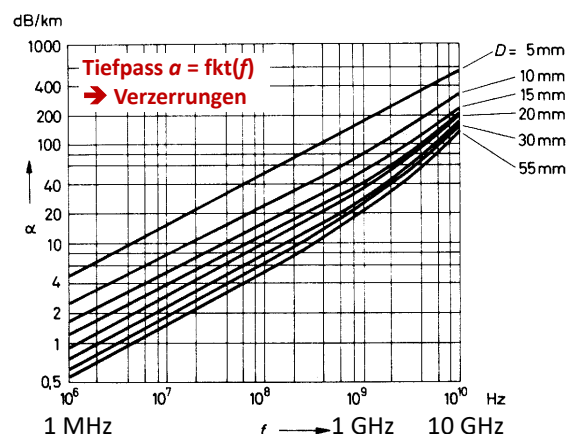
13

Koaxialleitung

Koaxialtg. bis 40 GHz, moderate B,
 \rightarrow mäßige Datenraten



Verluste einer 60 Ω -
Koaxialleitung in dB/km
für unterschiedliche
Außendurchmesser D .

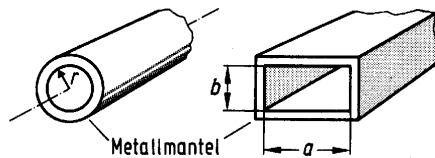


12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakoby

14

Hohlleiter

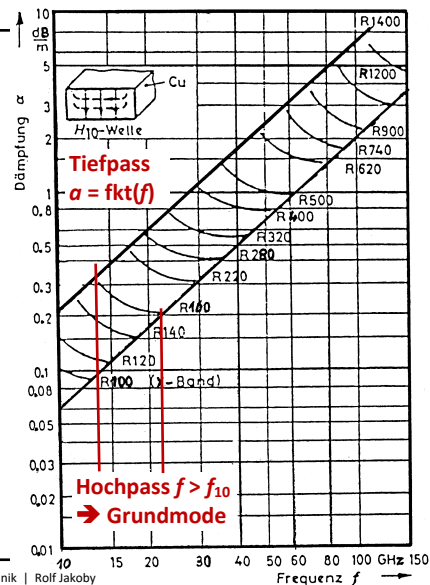
➤ Vorlesung Hochfrequenztechnik 1



Hohlleiter bis 600 GHz, großes B
➔ hohe Datenraten

Dielektrische Wellenleiter bis 10 THz,
sehr große B ➔ sehr hohe Datenraten

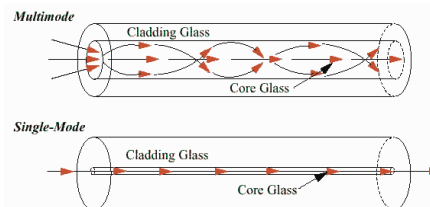
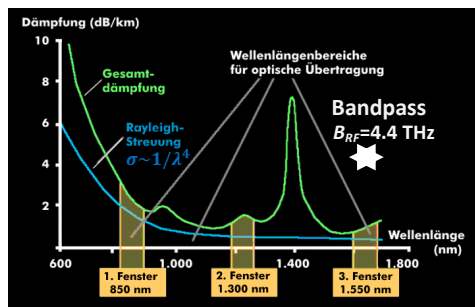
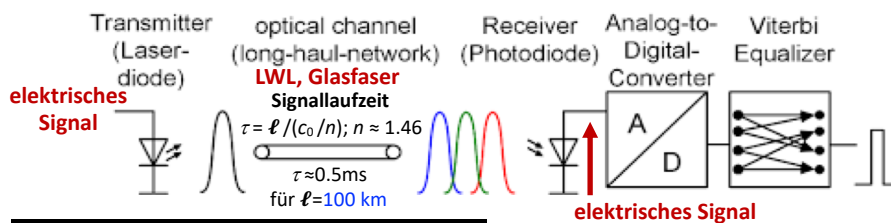
Verluste in dB/m verschiedener
Rechteckhohlleiter für H_{10} -
Grundmodeausbreitung.



12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakob

Prinzip eines optischen Übertragungssystems Drahtgebunden: Lichtwellenleiter (LWL)

➤ Vorlesungen zu Optischen Nachrichtentechnik

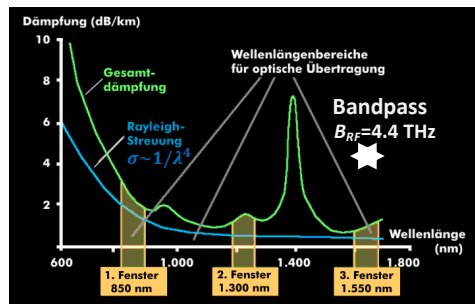
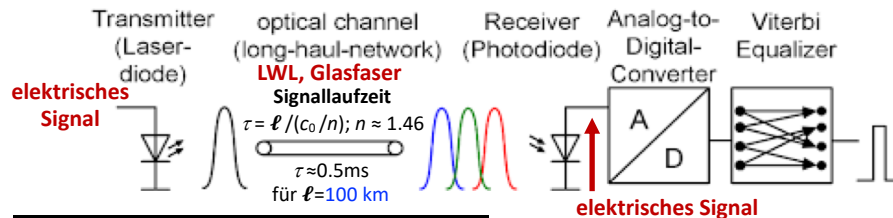


12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakob

16

Prinzip eines optischen Übertragungssystems Drahtgebunden: Lichtwellenleiter (LWL)

➤ Vorlesungen zu Optischen Nachrichtentechnik



Beispiel LWL von $1.53\mu\text{m}$ bis $1.565\mu\text{m}$
 $f = 196.08\text{ THz}$ bis 191.69 THz
 $\rightarrow B_{RF} \approx 4.4\text{ THz} \rightarrow B_{rel} \approx 2.2\%$

Kleine relative Bandbreite B_{rel} , aber
 extrem große absolute Bandbreite B_{RF}
 \rightarrow extrem hohe Übertragungsrate
 $R_b \approx \epsilon_s \cdot B_{RF} \approx 4.4\text{ Tbit/s}$ für 2-ASK
 \rightarrow Datenautobahnen

12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakoby

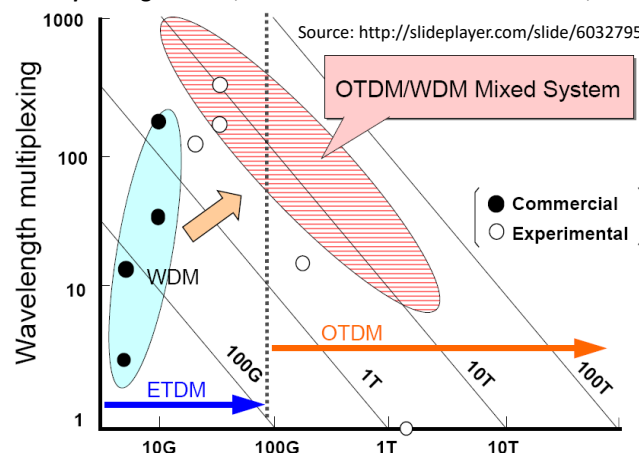
17

Lichtwellenleiter (LWL) Übertragungsraten



Fourth Generation Systems: began in 1994 with deregulation of long-distance market

- $1.55\mu\text{m}$ single-mode, narrow-band semiconductor lasers, development of erbium-doped fiber amplifiers (EDFA)



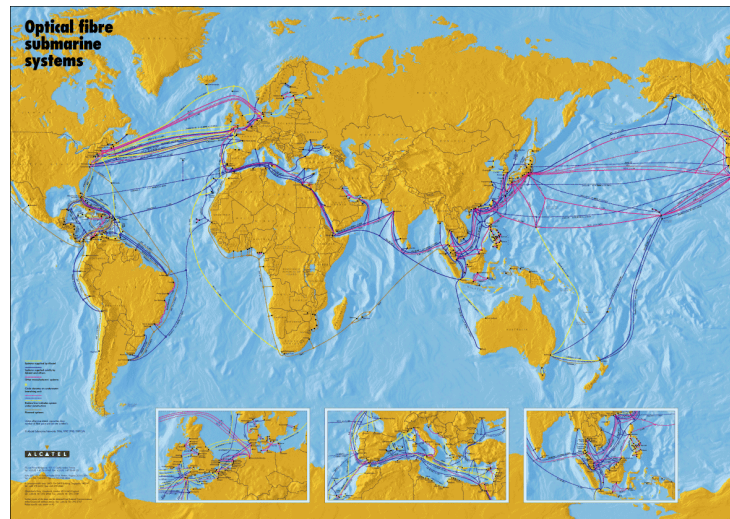
- Wavelength-Division Multiplexing (WDM) of 2.5 or 10 Gbit/s signals
- Nonlinear effects limit the following system parameters:
 - Signal launch power,
 - Propagation distance without regeneration/re-clocking,
 - WDM channel separation,
 - Maximum number of WDM channels per fiber

12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakoby

18

Lichtwellenleiter (LWL)

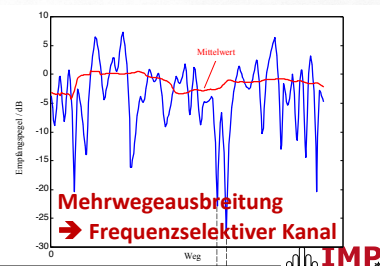
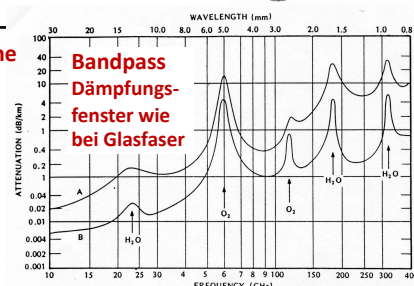
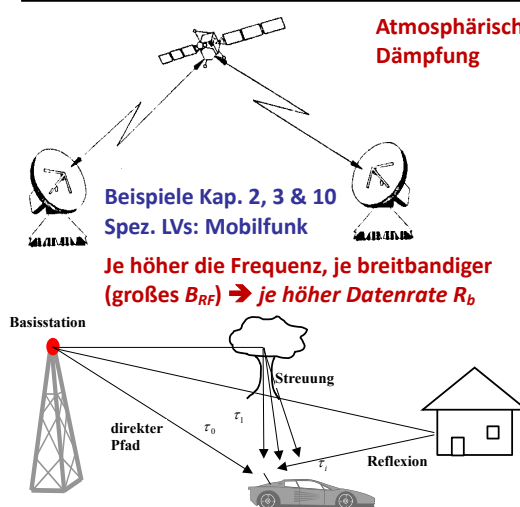
Beispiel: Global Undersea Fiber systems



12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakob

Drahtlose Übertragung: Mobilfunk & Satellitensysteme

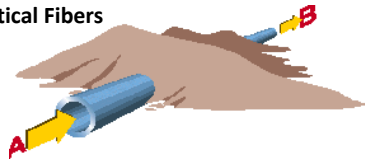
Richt- und Satellitenfunk, 5G Mobilfunk



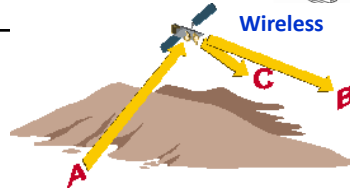
12.04.2022 | etit | Institut für Mikrowellentechnik und Photonik | Nachrichtentechnik | Rolf Jakob

Optical Fibers vs. Wireless Links

Optical Fibers



Wireless



- **Enormous capacity** (1.3 mm-1.55 mm) allocates bandwidth of 4 THz
➔ **Much higher data rates** > 40 Gbit/s [wireless < 150 Mbit/s]
- **Long distances** (low att. 0.2dB/km, dispersion-limited) [also via satellites]
- **Immunity to interference, no cross talk** ⇒ **less EM compatibility problems**
(EM radiation ⇒ multi-path & interference ⇒ large distortions)
- **Expensive installation:** require a great deal of investment to bury fibers in ground
[**easy and flexible installation:** rapid and flexible infra-structure and deployment, can be a quick ⇒ cost-effective solution]
- **Static links** [enables mobility ⇒ mobile communications]

Wireless and optical fiber communication are complementary rather than competing technology.