Technische Universität Braunschweig

TPG
THz Photonics Group

Grundlagen der Informationstechnik (Wireless)

Drahtlose Kommunikation / Ausbreitung e/m Wellen

Thomas Schneider

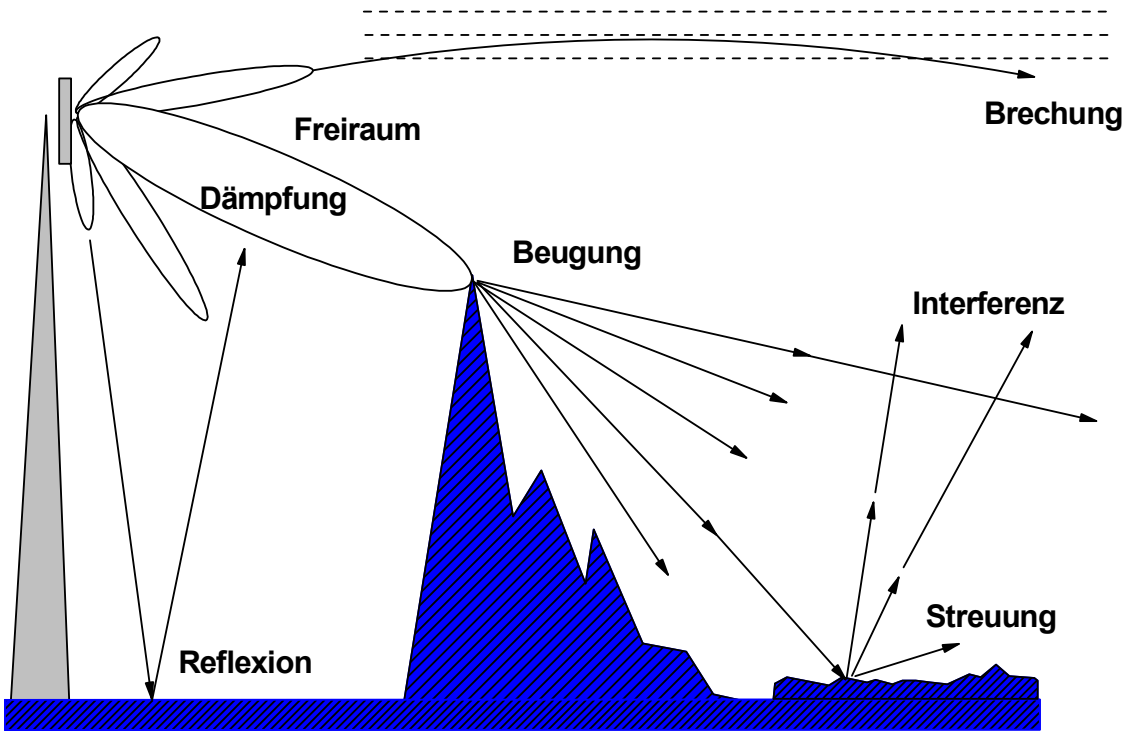
Inhalt

- Motivation und Einführung
- Die elektromagnetische Welle
- Der drahtlose Kanal
- Antennen
- **Ausbreitung e/m Wellen**
- Berechnung von Funkstrecken
- THz-Kommunikation
- Funksysteme
- Optische Kommunikation
- Silizium Photonik
- Plasmonik

Inhalt

- **Dämpfung**
- **Brechung**
- **Streuung**
- **Beugung**

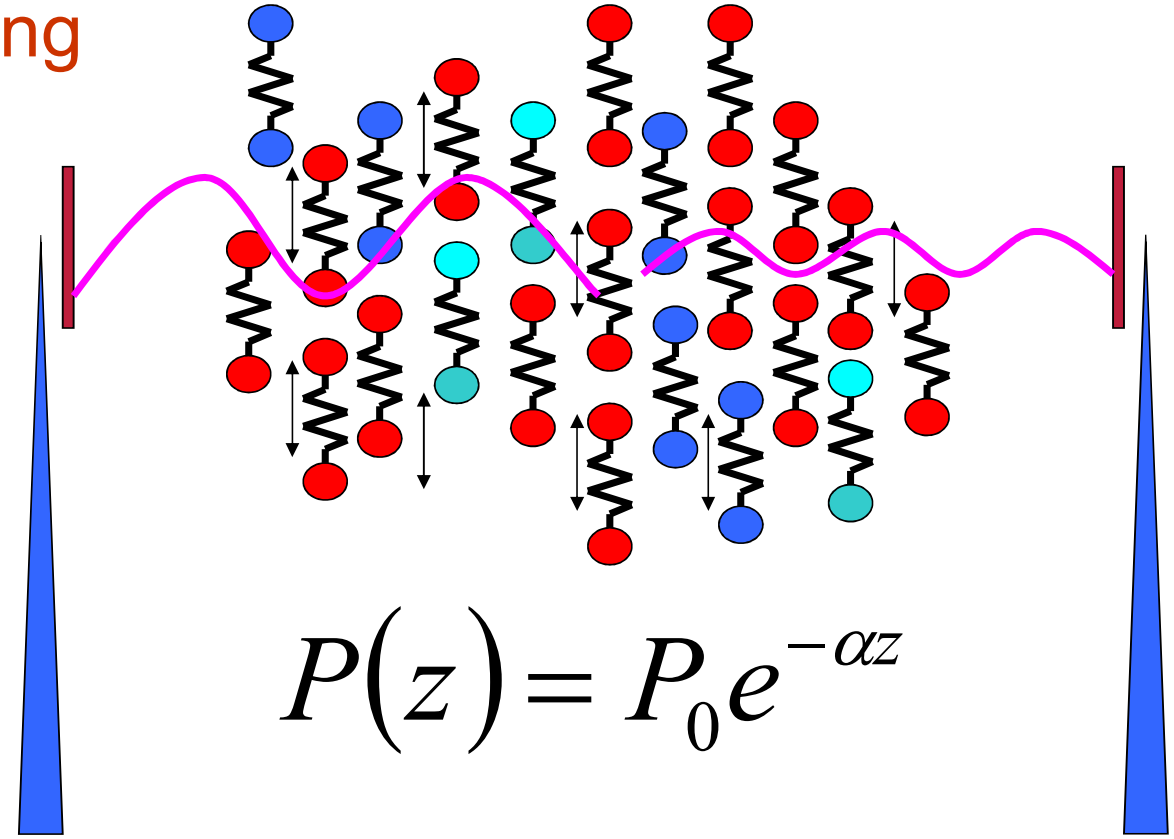
Drahtlose Kommunikation



Inhalt

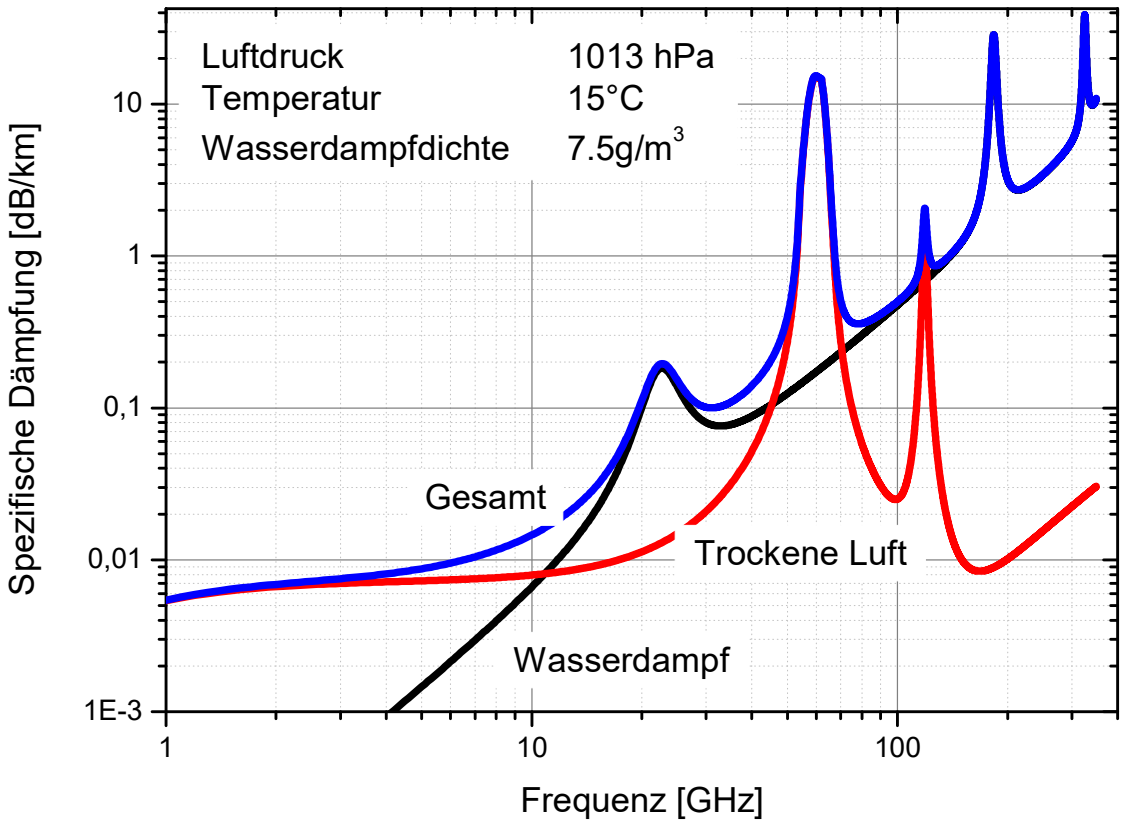
- **Dämpfung**
- Brechung
- Streuung
- Beugung

Atmosphärische Dämpfung



$$P(z) = P_0 e^{-\alpha z}$$

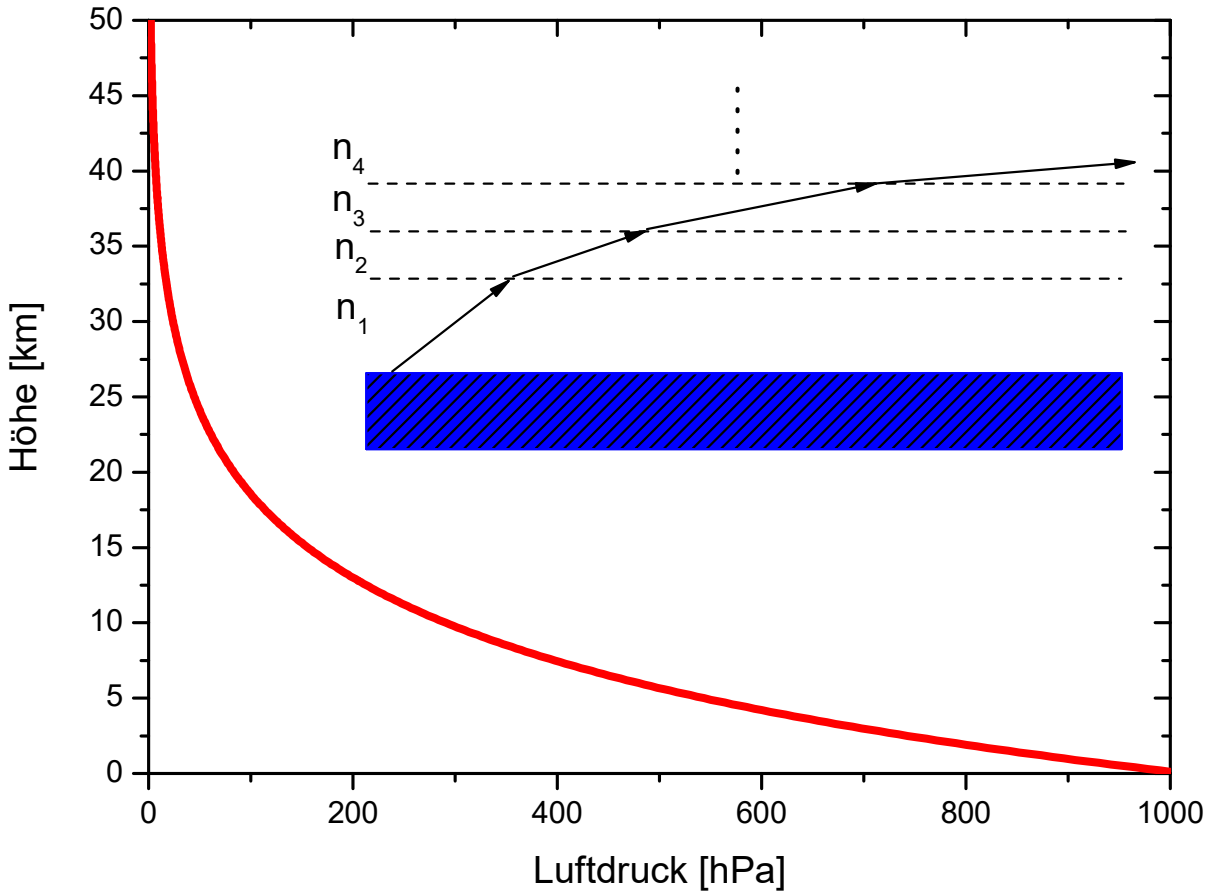
Drahtlose Kommunikation



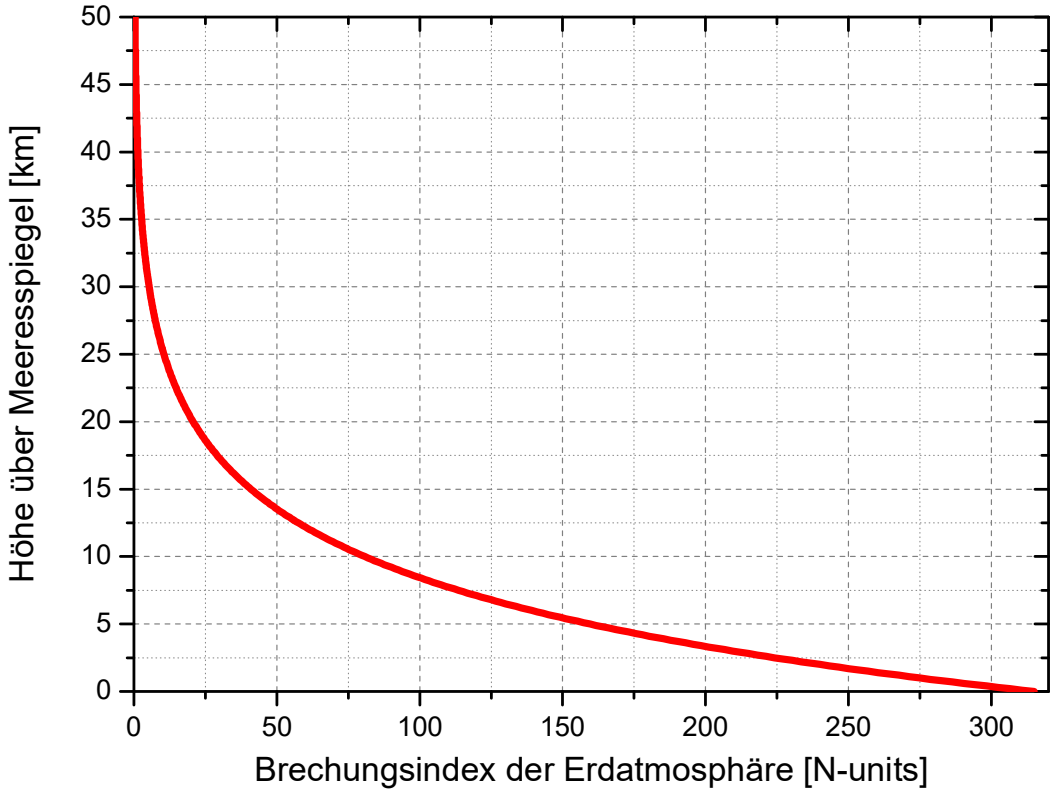
Inhalt

- Dämpfung
- **Brechung**
- Streuung
- Beugung

Brechung


Höhe [km]
Luftdruck [hPa]
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
0
200
400
600
800
1000
n4
n3
n2
n1

Drahtlose Kommunikation

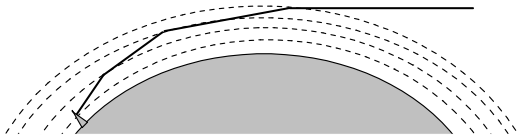


$$N = (n-1) \times 10^6$$

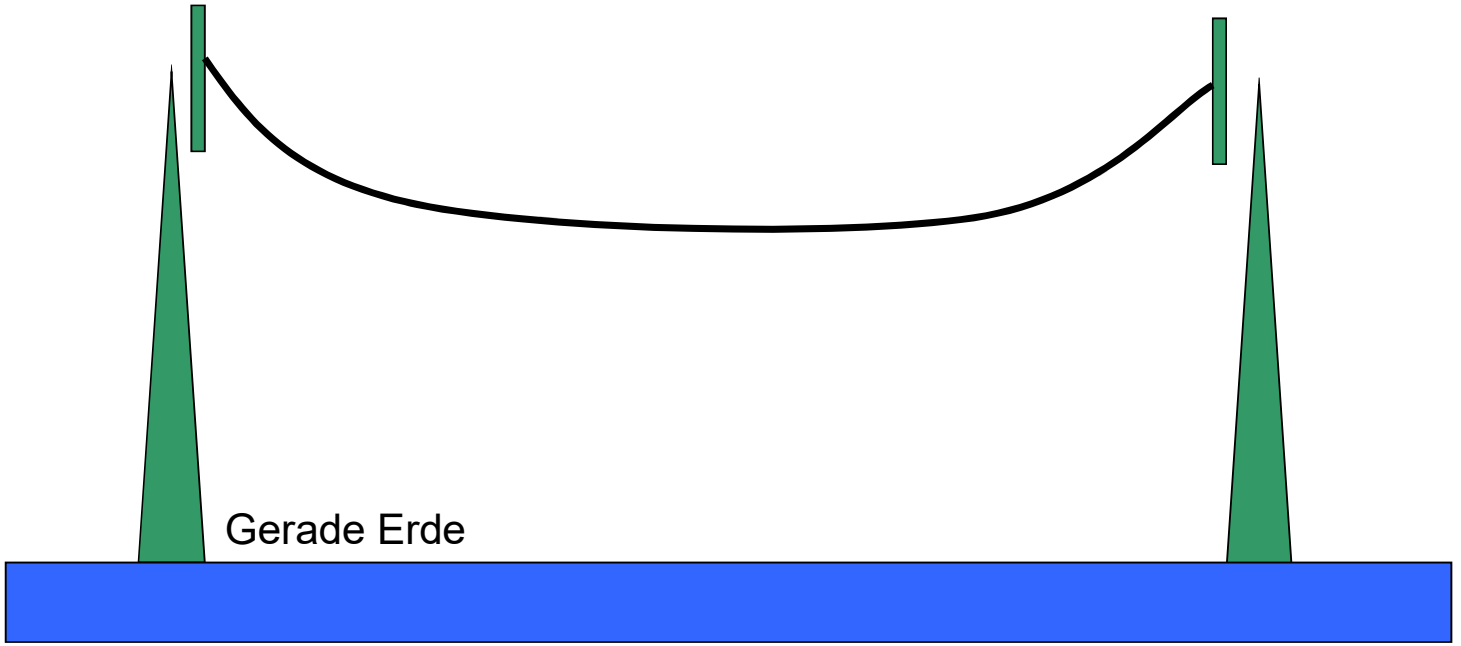
$$N = N_S e^{-\frac{h}{H}}$$

H = 7.35 km
N_S = 315

Drahtlose Kommunikation



$$R_{eff} = \frac{4}{3} \times 6375km = 8500\ km$$

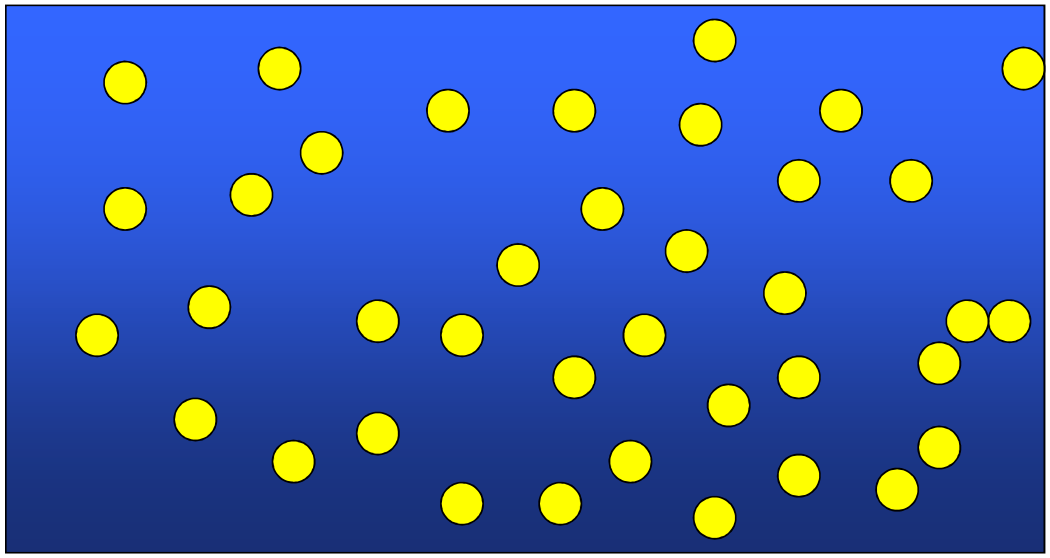


Inhalt

- Dämpfung
- Brechung
- **Streuung**
- Beugung

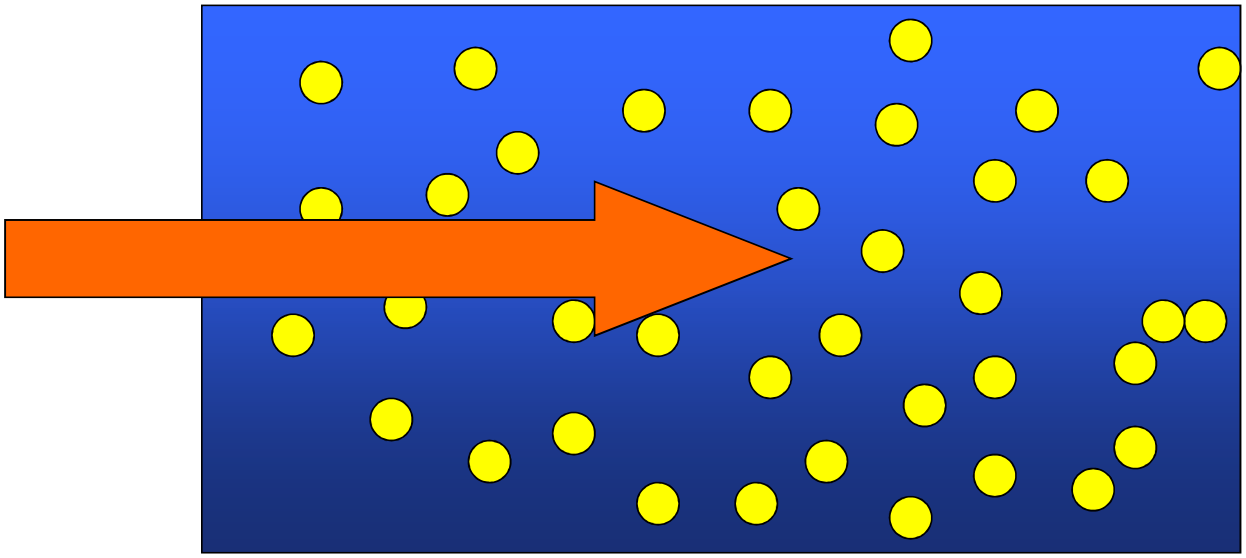
Streuung

Inhomogeneous distribution of optical properties

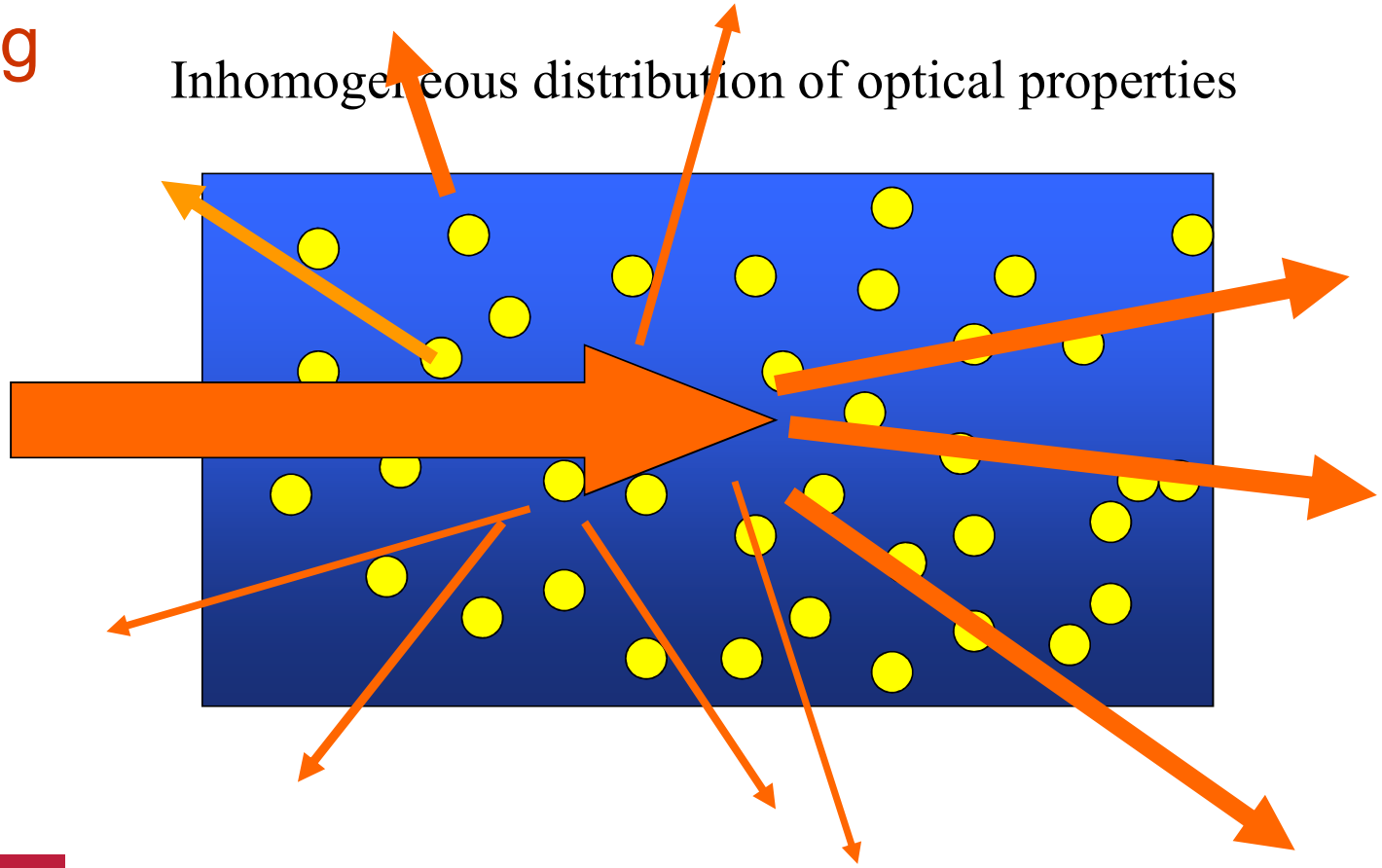


Streuung

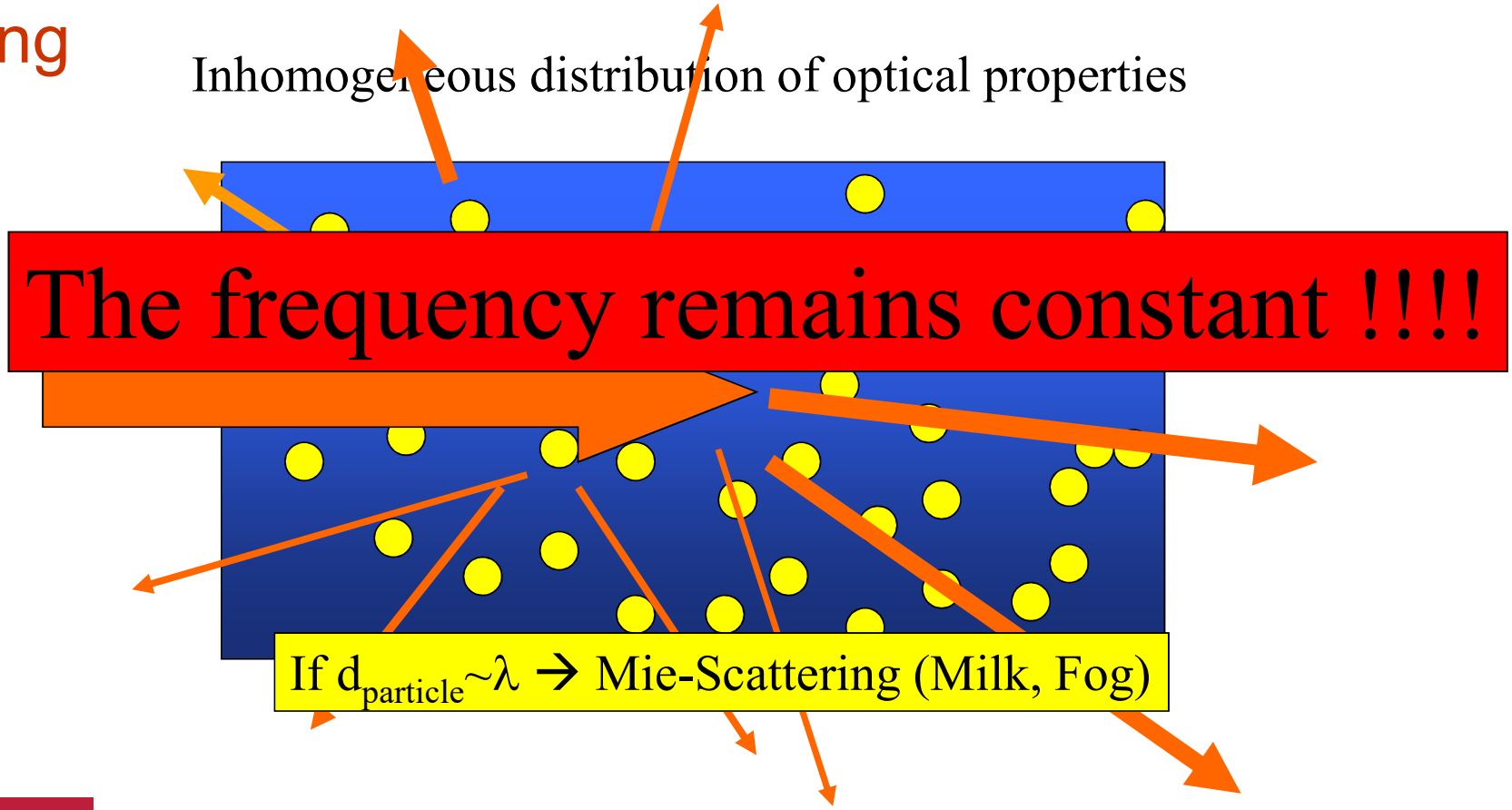
Inhomogeneous distribution of optical properties



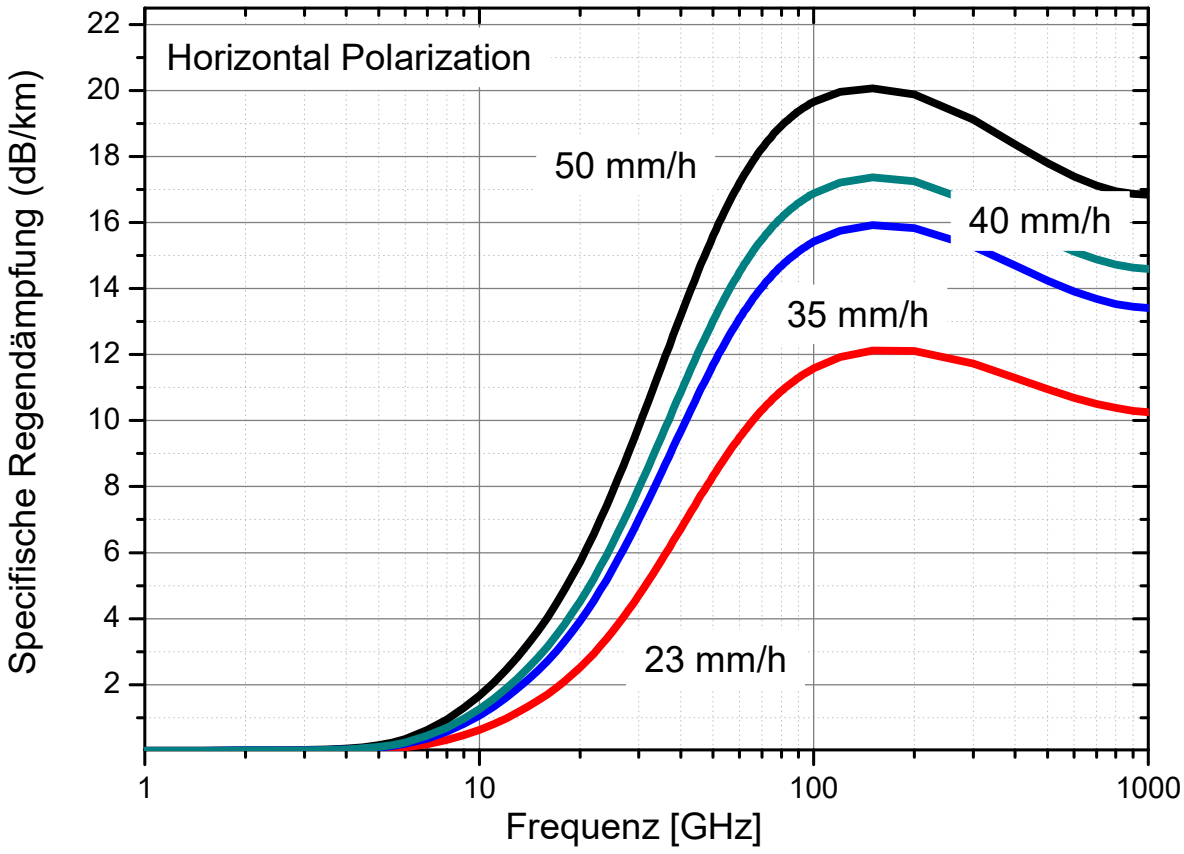
Streuung



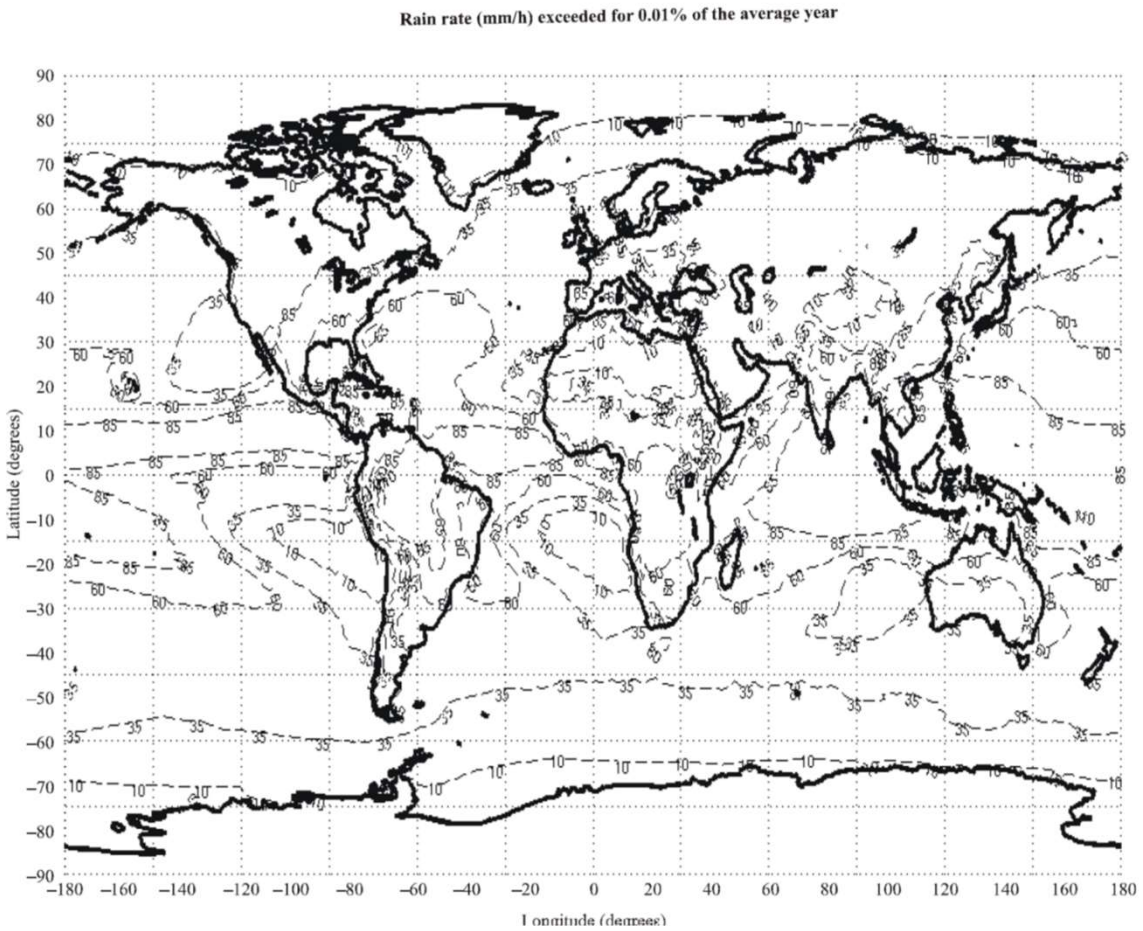
Streuung


Inhomogeneous distribution of optical properties
The frequency remains constant !!!!
If $d_{particle} \sim \lambda \rightarrow$ Mie-Scattering (Milk, Fog)

Regendämpfung



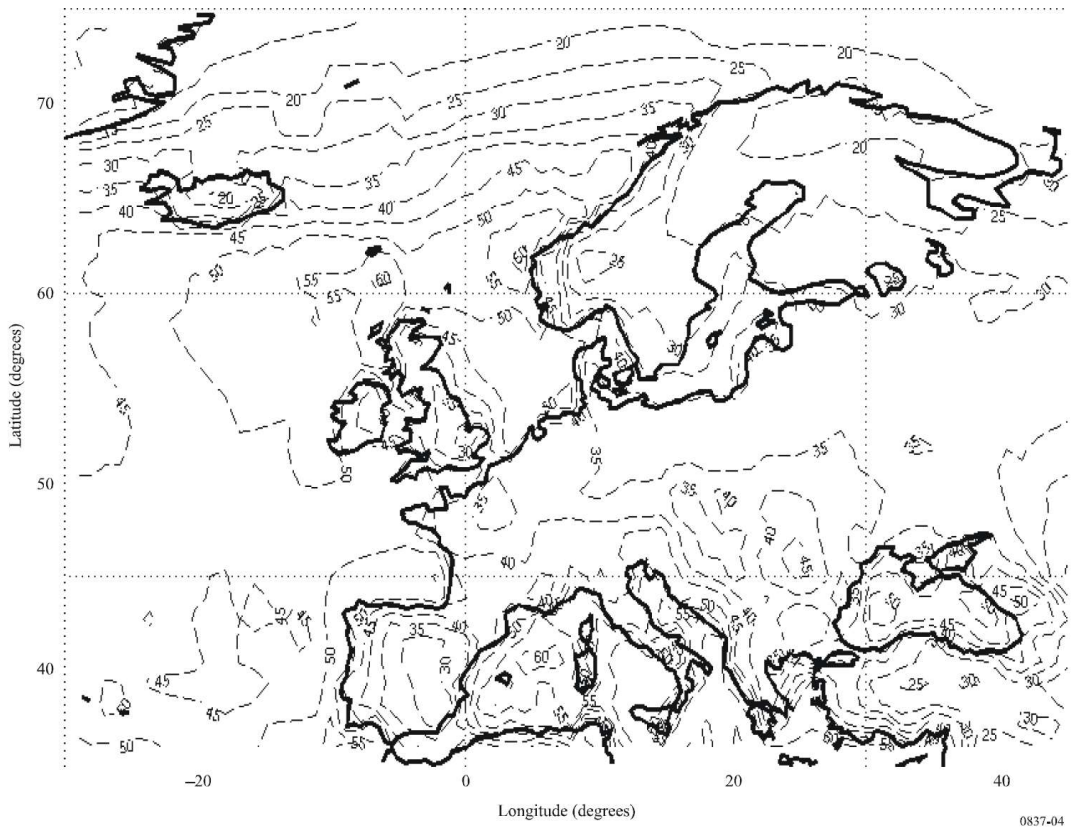
Drahtlose Kommunikation



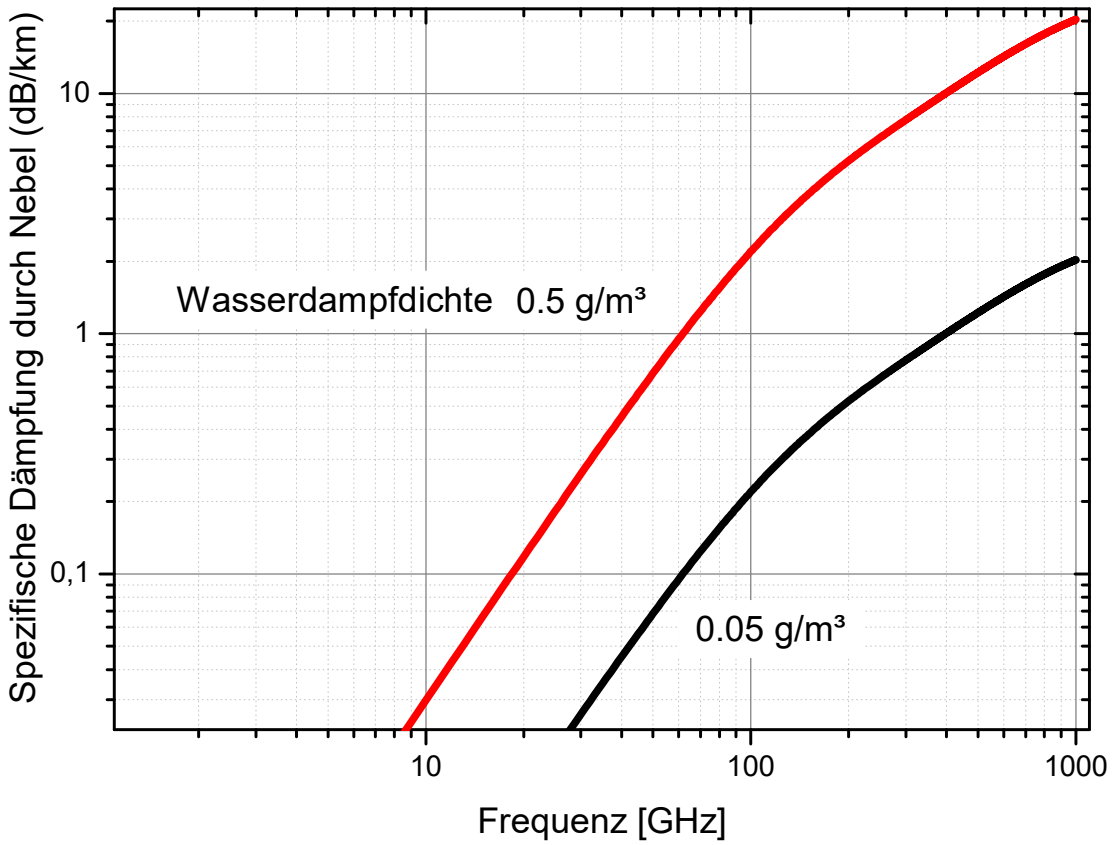
Drahtlose Kommunikation

FIGURE 4

Rain rate (mm/h) exceeded for 0.01% of the average year



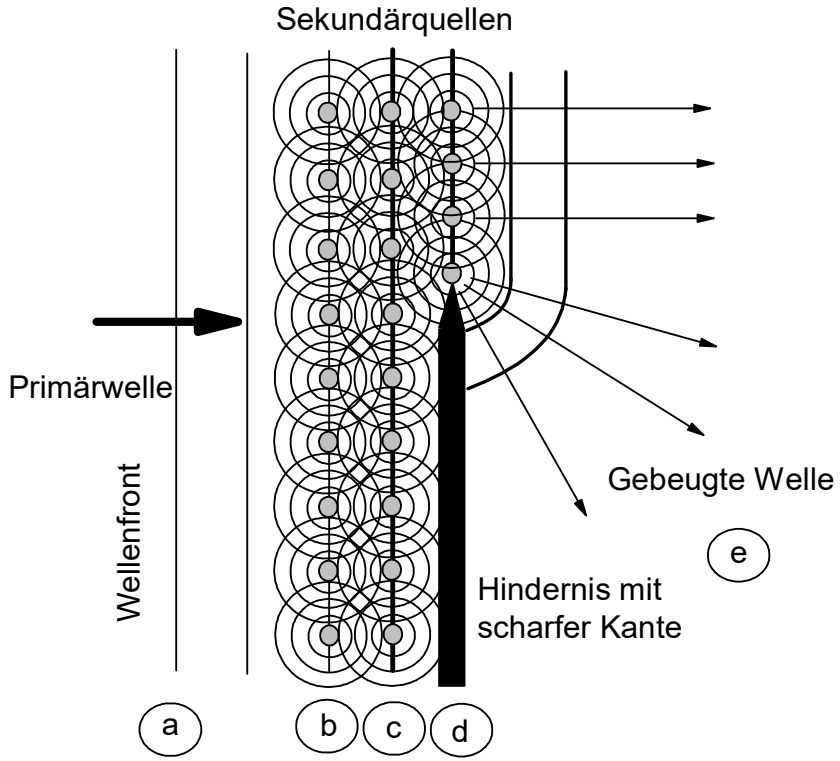
Nebeldämpfung



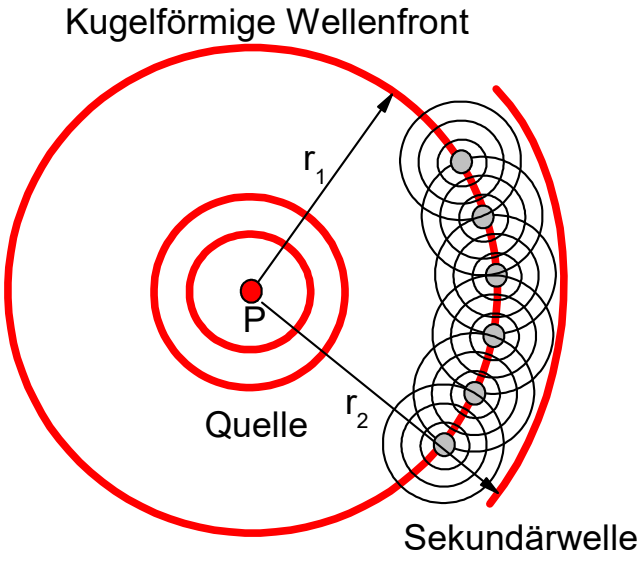
Inhalt

- Dämpfung
- Brechung
- Streuung
- **Beugung**

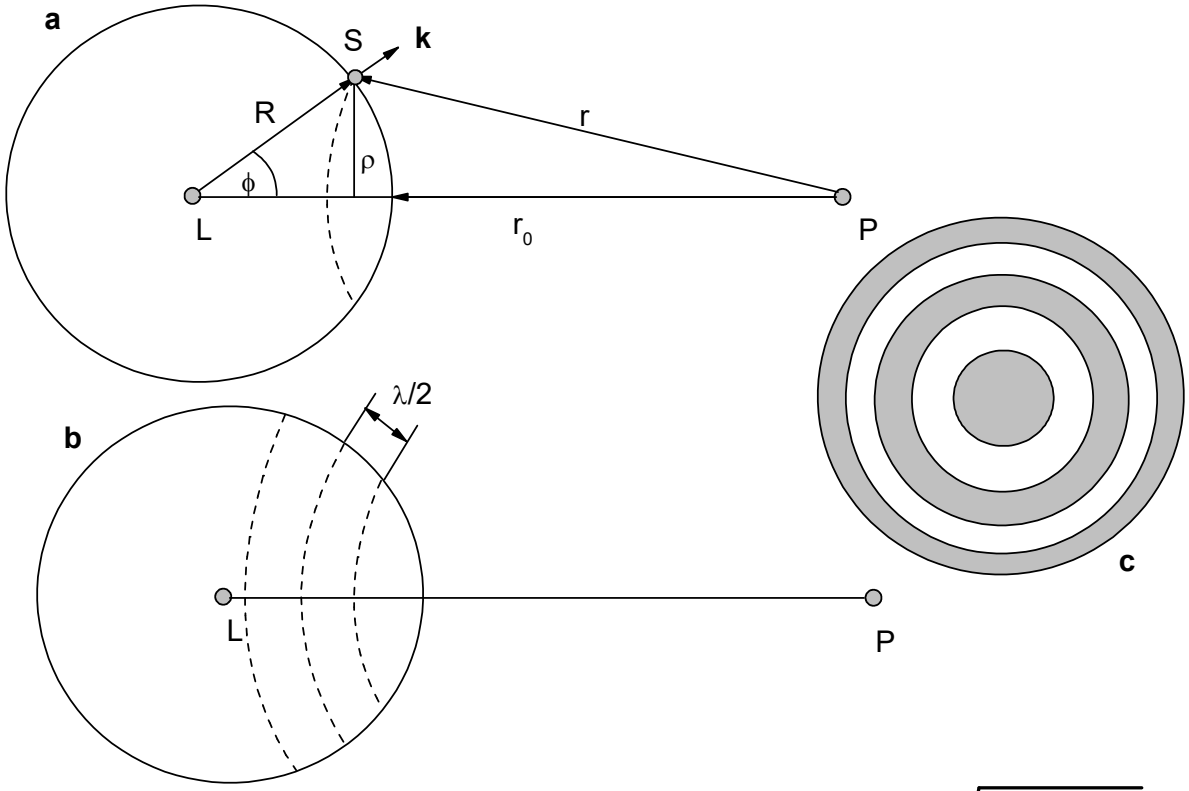
Beugung


Sekundärquellen
Primärwelle
Wellenfront
Gebeugte Welle
e
Hindernis mit
scharfer Kante
a
b
c
d

Drahtlose Kommunikation

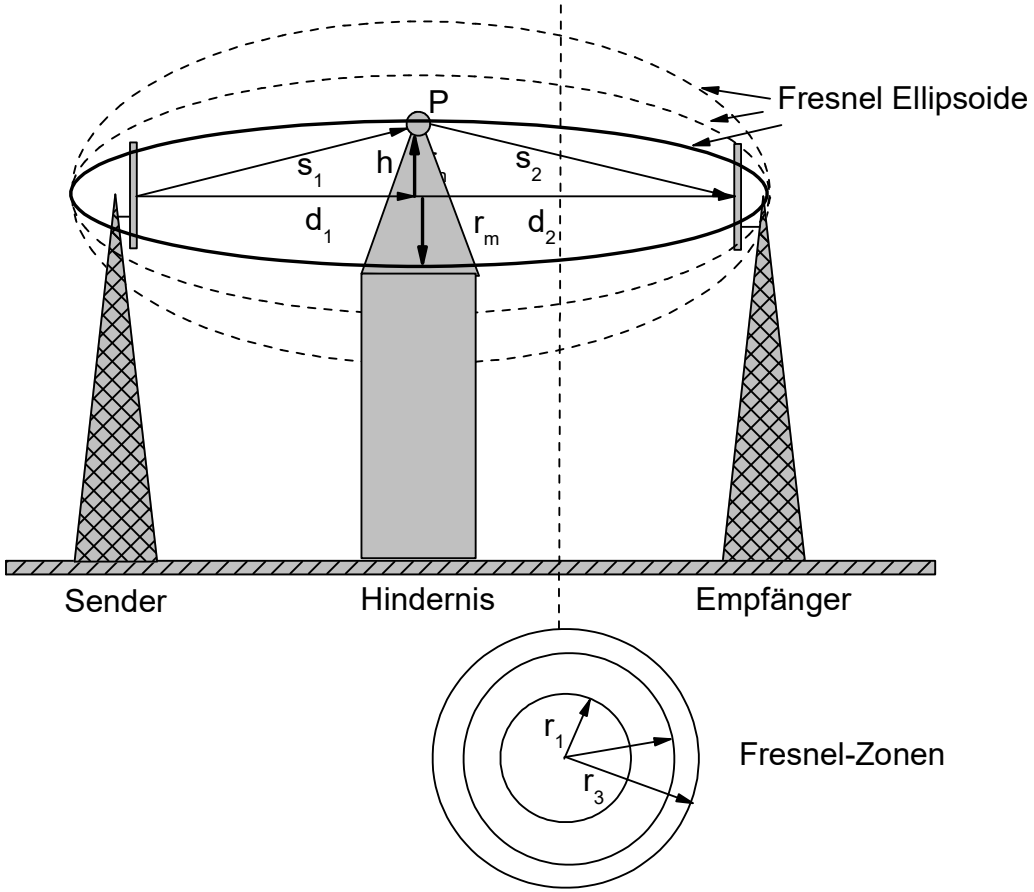


Drahtlose Kommunikation

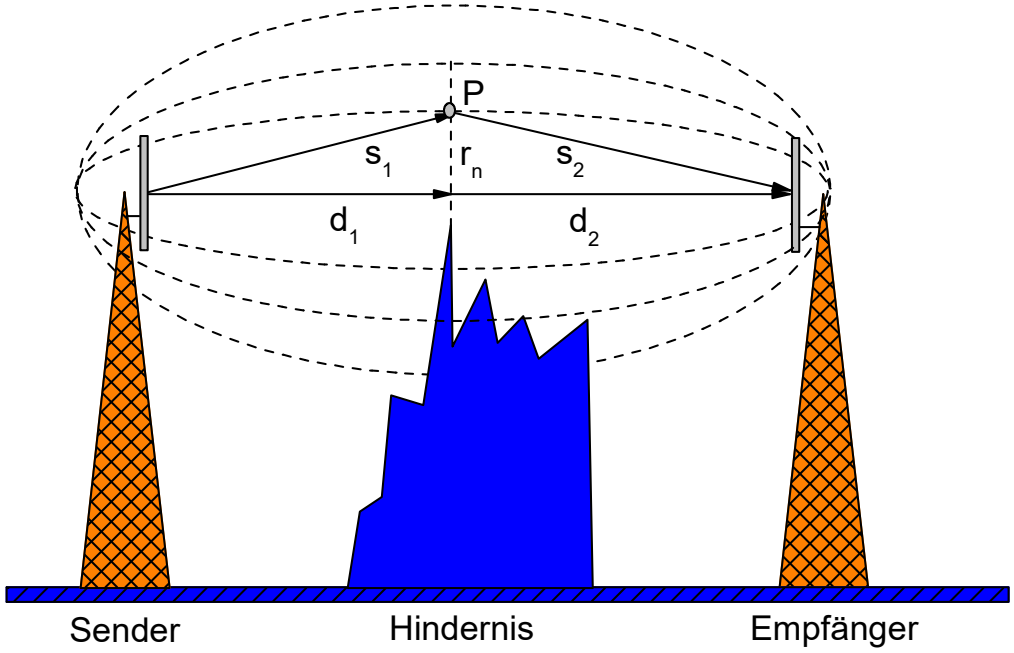


$$\rho_m \approx \sqrt{m r_0 \lambda}$$

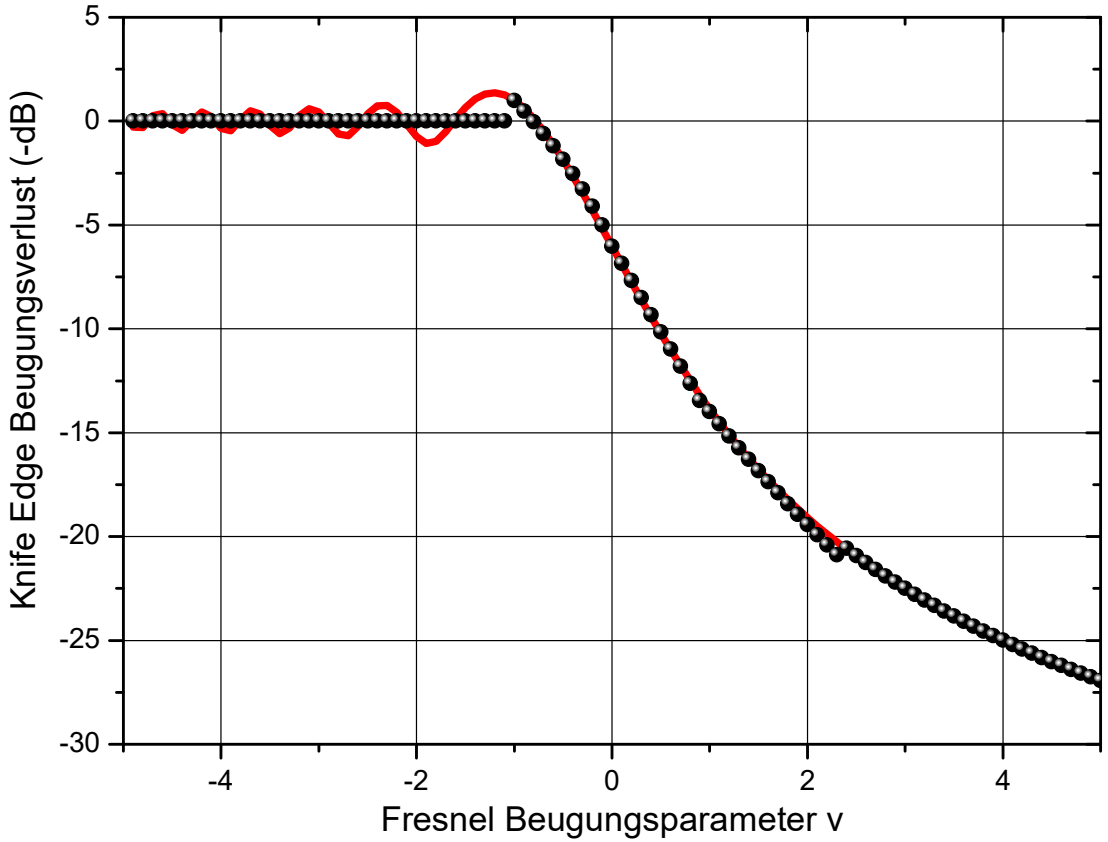
Drahtlose Kommunikation



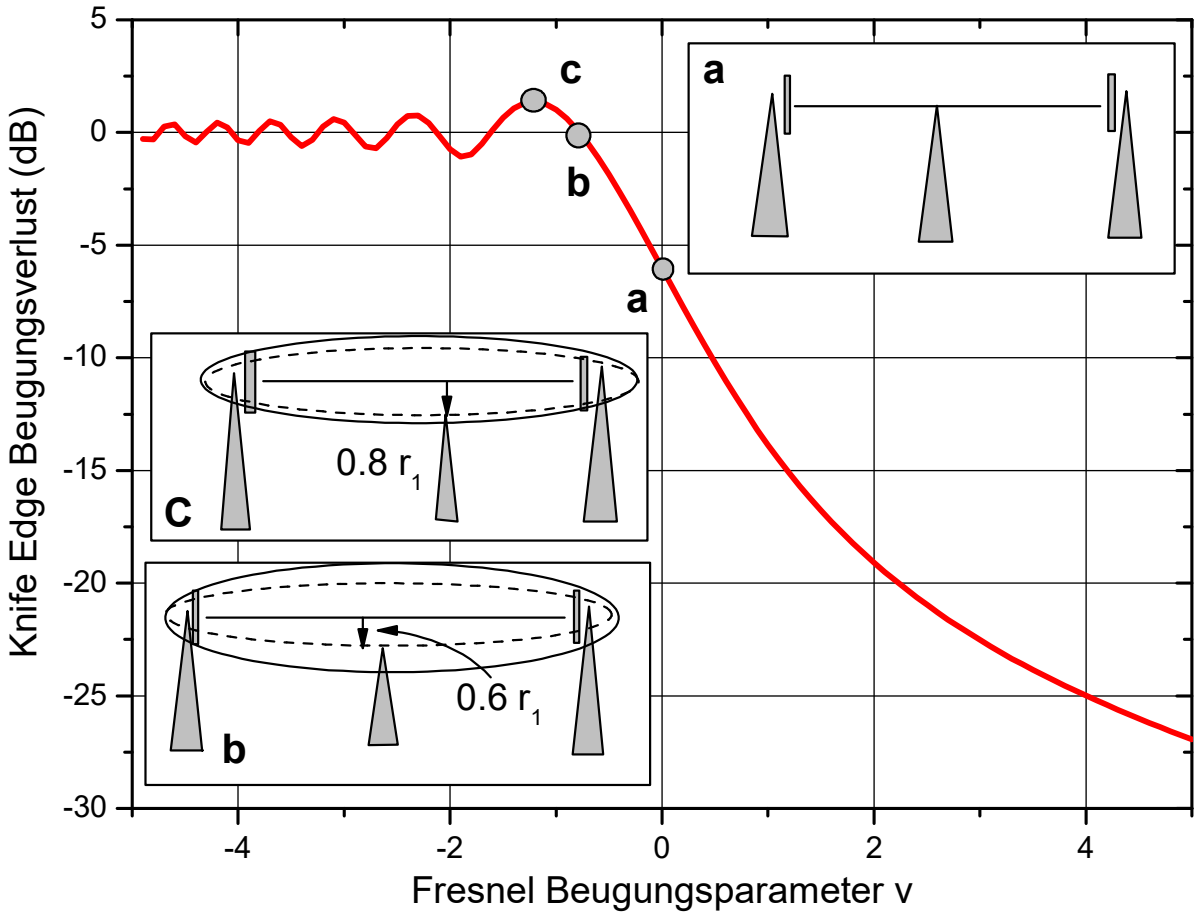
Drahtlose Kommunikation



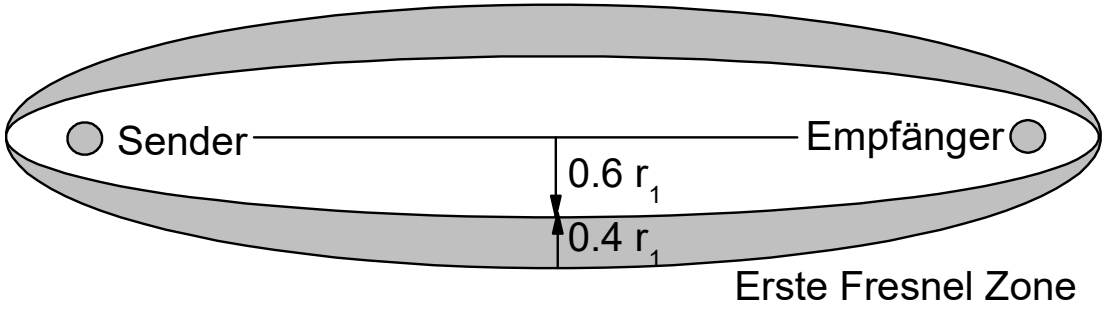
Drahtlose Kommunikation



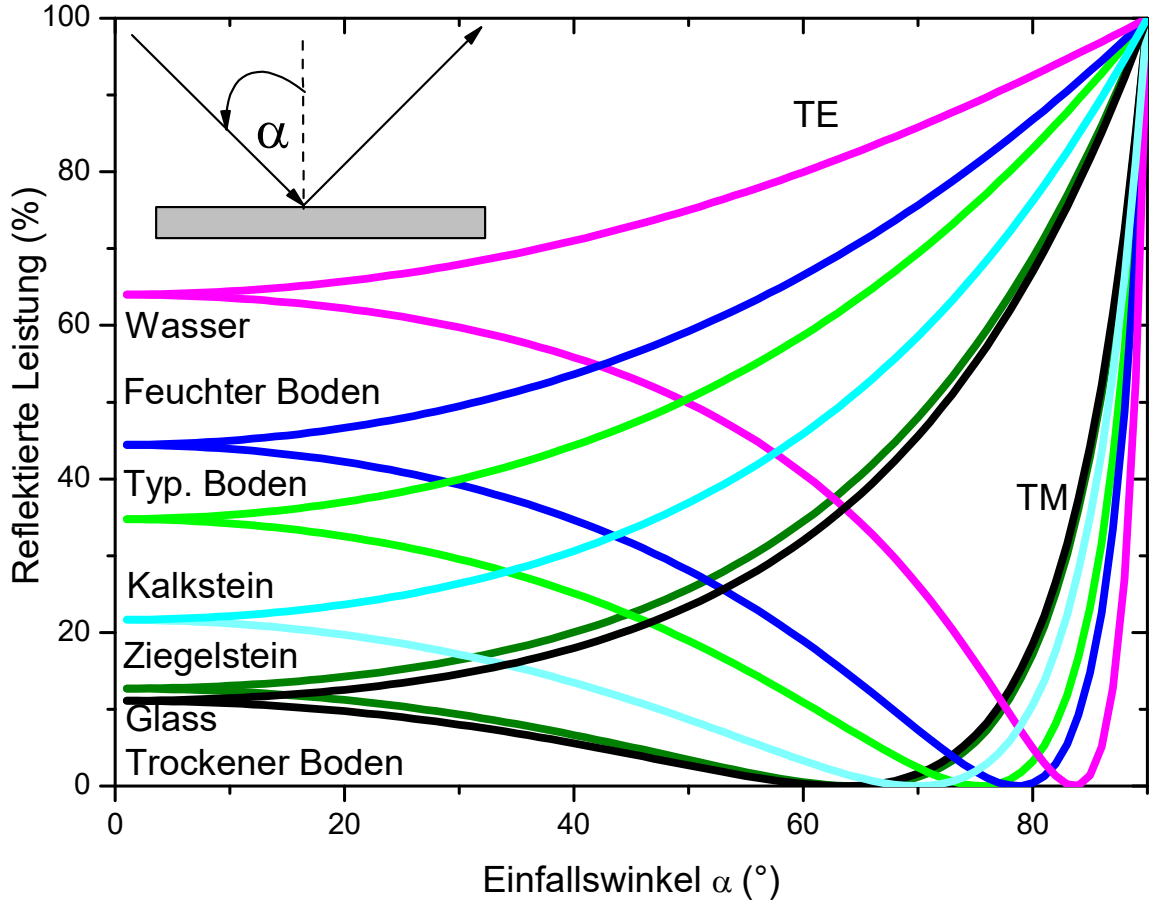
Drahtlose Kommunikation



Drahtlose Kommunikation



Reflexion

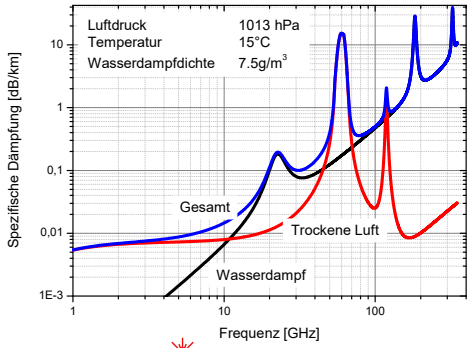

100
80
60
40
20
0
0
20
40
60
80
α
TE
TM
Wasser
Feuchter Boden
Typ. Boden
Kalkstein
Ziegelstein
Glass
Trockener Boden
Reflektierte Leistung (%)
Einfallswinkel α (°)

Drahtlose Kommunikation

- Die Moleküle in der Luft können elektromagnetischen Wellen Energie entziehen und in Wärme verwandeln. Wie gut dieser Prozess funktioniert hängt vom Verhältnis der Frequenz der Welle zur Resonanzfrequenz der Luftmoleküle ab.

- Im GHz-Bereich gibt es 5 Resonanzfrequenzen des O_2 und des H_2O-Moleküls die zu einer starken Dämpfung des Signals führen.

- Regen führt, abhängig von seiner Stärke, ebenfalls zu einer Dämpfung der Welle. Die übertragbare Datenrate einer Richtfunkstrecke kann sich demnach bei starkem Regen drastisch verkleinern und die Richtfunkstrecke kann auch vollständig zusammenbrechen.



Drahtlose Kommunikation

- Durch den nach oben hin abnehmenden Luftdruck nimmt auch der Brechungsindex der Luft mit größer werdender Höhe ab. Elektromagnetische Wellen werden dadurch frequenzabhängig gebrochen. Daher ist der Horizont für Radiowellen weiter als für sichtbares Licht.

- Zur Beschreibung der Beugung muss man den Wellencharakter berücksichtigen.

- Fresnelsche Zonen werden durch einen Wegunterschied der Wellen von $\lambda/2$ gebildet.

- Die reflektierte Leistung einer Welle hängt nicht nur von der Frequenz und dem Brechungsindex des Materials, sondern auch vom Einfallswinkel und der Polarisation der Welle ab.