

Die grünen Seiten für die Aus- und Weiterbildung

GiG

Inhalt 12/2003

Vom Quarz zur Faser

Herstellung und Aufbau von Lichtwellenleitern

Georg Hummel

In der Datenübertragungstechnik setzt man verschiedene Fasertypen mit unterschiedlichen Eigenschaften ein. Diese hängen u. a. vom Kern- und Mantelmaterial sowie von der Übergangsschicht ab.

Die Fasern der gebräuchlichsten Lichtwellenleiter (LWL) bestehen aus Quarzglas, das in Form von Quarzsand SiO_2 und Gesteinen in der Erdkruste in großen Mengen vorkommt. Um diesen Quarz zur Herstellung von Fasern verwenden zu können, muss er jedoch hochrein sein. Die hierzu verwendeten chemischen und physikalischen Verfahren zur Reinigung sind sehr aufwändig und technisch anspruchsvoll. Um bestimmte Brechungsindizes zu erreichen, werden anschließend Fremdstoffe, z. B. Fluor F oder Germaniumdioxid GeO_2 , hinzugefügt; diesen Vorgang nennt man Dotierung.

Herstellung

Die Herstellung einer Glasfaser erfolgt in zwei Stufen:

- Realisierung einer Vorform, z. B. mit Hilfe eines Drehbanksystems und
- Ausziehen der Vorform zu einer Faser durch Einsatz einer Faserziehanlage.

Beim Ausziehen wird nach dem Abkühlen die erste Schutzschicht, das Primär-Coating, aufgebracht. Das »Coating« macht die Faser flexibel und biegsam. Fehlt diese Schicht oder wird diese Schicht entfernt, bricht die Glasfaser schon bei der geringsten Biegung. Abschließend lässt sich die Faser noch farbig kennzeichnen – sinnvoll für mehradrige Kabel.

Mögliche Fehlerquellen

Sowohl bei der Herstellung als auch bei der Konfektionierung der Fasern können eine Reihe von Fehlern auftreten, die zu einer verstärkten Dämpfung des Signals führen:

- Mikrobiegung,
- Toleranz von Mantel- und Kerndurchmesser, es wird z. B. eine Faser an der unteren Toleranzschwelle (Faserdurchmesser $d = 122 \mu\text{m}$) in einem großen Stecker schlecht zentriert,
- Materialfehler: Einschluss von Schmutzpartikeln, Luftblase am Rand (Lichtaustritt), Strukturveränderung,

Georg Hummel, Marketingservice, Beha GmbH, Glotttartal

1 Informationstechnik
Vom Quarz zur Faser

3 Grundlagen
Blindleistungs-
kompensation [2]

5 Gebäudetechnik
Wärmepumpe
und Fußbodenheizung

7 Gebäudetechnik
Funkbus für die
Komfortinstallation

- Verengung durch schlechte Spleißverbindung,
- Kerbe (Bruchgefahr),
- Kratzer auf den Stirnflächen usw.

Anforderungen

Eine der wichtigsten Anforderungen an den Lichtwellenleiter besteht darin, die Faser vor äußeren Einflüssen zu schützen. In erster Linie handelt es sich hierbei um mechanische Belastungen, die z. B. beim Verlegen oder bei der Montage auftreten können. Der Kabelaufbau und die Beschichtung verhindern jedoch, dass die Faser bei normalem Gebrauch Schaden nimmt.

Aus den Anwendungen leiten sich einige Anforderungen an Lichtwellenleiter ab:

- mechanischer Faserschutz (z. B. Stütz- bzw. Zugelement, Nagetierschutz, Ummantelung, Armierung),
- Erhalten der optischen Eigenschaften,
- Montagefreundlichkeit und
- lange Lebensdauer.

Aufbau

Die beschichteten Einzelfasern werden zu Adern verarbeitet. Hierbei unterscheidet man im Wesentlichen folgende verschiedene Typen (Bild 1):

- **Vollader:** Hier umgibt eine feste Umhüllung aus Kunststoff die Faser.
- **Hohlader ungefüllt:** Hier ist der Leiter lose mit Kunststoff umhüllt, wobei die Umhüllung aus einer Schicht oder aus

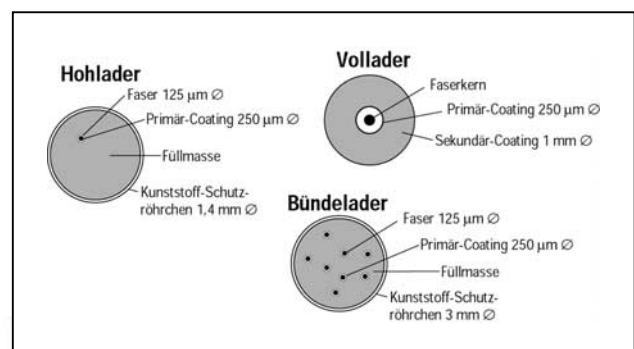


Bild 1: Hohl-, Voll- und Bündelader im Vergleich

Lichtwellenleiter

LWL-Typ	Durchmesser optischer Kern	Durchmesser optischer Mantel	Durchmesser Primär-Coating	Dämpfung bei a) 850 nm b) 1300 nm c) 650 nm d) 1550 nm	Bandbreite bei a) 850 nm b) 1300 nm c) 650 nm	Numerische Apertur
Multimode-Stufenfaser						
980/1000 Kunststoff	0,98±0,06 mm Kunststoff	1,0±0,06 mm Kunststoff	2,2±0,07 mm Kunststoff	c) ≤12dB/50 m	c) bei 100 m ⇒ 2 MHz bei 40 m ⇒ 12 MHz bei 0,5 m ⇒ 40 MHz	0,47±0,03
Multimode-Gradientenfaser						
50/125	50±3 µm Quarzglas	125±3 µm Quarzglas	250±15 µm UV-Acrylat	a) ≤2,6 dB/km b) ≤0,9 dB/km	a) ≥400 MHz · km b) ≥800 MHz · km	0,2±0,02
62,5/125	62,5±4 µm Quarzglas	125±4 µm Quarzglas	250±15 µm UV-Acrylat	a) ≤3,2 dB/km b) ≤0,9 dB/km	a) ≥160 MHz · km b) ≥500 MHz · km	0,27±0,015
Singlemodefaser						
9/125	9,6±0,4 µm Quarzglas	125±1 µm Quarzglas	250±15 µm UV-Acrylat	b) ≤0,36 dB/km d) ≤0,2 dB/km	Dispersion ≤3,5 ps/nm·km bei 1300 nm ≤18 ps/nm·km bei 1550 nm	

Physikalische Eigenschaften von verschiedenen Fasertypen

mehreren bestehen kann. Der Hohlraum innerhalb der Hülle ist ungefüllt.

- **Hohlader gefüllt:** Im Unterschied zum sonst gleichen Aufbau der ungefüllten Hohlader ist der Hohlraum hier mit einer

gelartigen Masse gefüllt. Diese verhindert im Fall der Beschädigung der Hülle das Eintreten von Wasser (Feuchtigkeit).

- **Bündelader ungefüllt:** Zwei bis 48 unterschiedlich eingefärbte LWL sind gemeinsam mit Kunststoff lose umhüllt, wobei die Umhüllung aus einer oder mehreren Schichten bestehen kann. Der Hohlraum innerhalb der Hülle ist ebenfalls ungefüllt.
- **Bündelader gefüllt:** Aufbau ähnlich wie ungefüllte Bündelader, jedoch mit Gelfüllung.

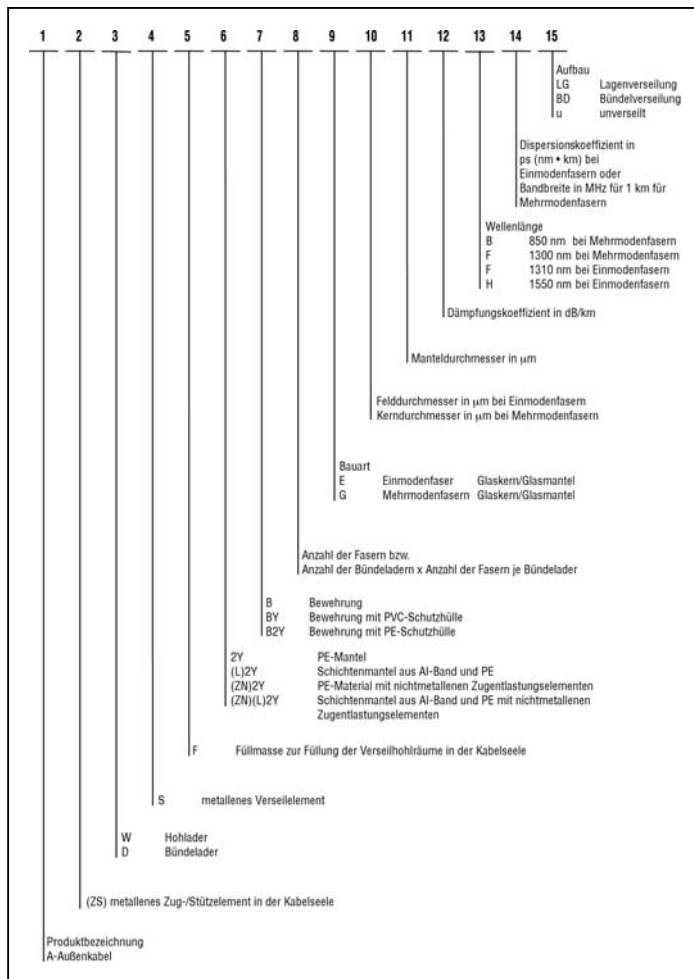


Bild 2: Anordnung und Bedeutung von LWL-Kurzzeichen

Allgemeine Daten

Die DIN VDE 0888 beinhaltet eine ausführliche Beschreibung der charakteristischen Größen von LWL (Bild 2):

- Kerndurchmesser in µm
- Manteldurchmesser in µm
- Art der Beschichtung
- Faserart (Multimode, Singlemode¹⁾)
- Dämpfungskoeffizient in dB / km
- numerische Apertur
- Bandbreite-Länge-Produkt in MHz · km

Die Kabeltypen bezeichnet man nach ihrer Anwendung. Ein gebräuchlicher Kabeltyp ist das »Breakout-Kabel«. Hier sind mehrere Einzelkabel zusammengefasst und verseilt. Sie lassen sich sehr leicht aufteilen und direkt vor Ort mit einem Stecker versehen. Daher trifft man sie im Innenbereich immer häufiger an.

Für die verschiedenen Einsatzfälle verwendet man unterschiedliche Fasertypen, z.B. in lokalen Netzen (LAN) die Multimode-Gradientenfaser und in der Weitverkehrs-technik (WAN) die Singlemode-Faser. Die Parameter dieser verschiedenen Fasertypen zeigt die **Tabelle**.

¹⁾ Weiterführende Informationen zu den Begriffen Multimode-Stufenfaser, Multimode-Gradientenfaser, Singlemodefaser, Dispersion, Numerische Apertur und Bandbreite-Länge-Produkt befinden sich im dreiteiligen Beitrag »Grundlagen von Lichtwellenleitern« in »gig« 21/2002, 22/2002 und 23/2002

Blindleistungskompensation [2]

Helmuth Biechl

Obwohl eine vollständige Blindleistungskompensation erstrebenswert ist, reicht manchmal auch eine teilweise. Darüber hinaus kann sich bei bestimmten Betriebszuständen, z.B. beim Abschalten eines Elektromotors, auch der Betriebsfall »Überkompensation« ergeben.

Im ersten Teil des Beitrags lernten wir u. a. Folgendes:

- Eine parallele Kapazität kann den Blindleistungsbedarf einer ohmsch-induktiven Last teilweise bzw. ganz kompensieren.
- Dadurch reduziert sich die über die Zuleitung zufließende Blindleistung bzw. sie verschwindet ganz.
- Damit sinkt auch der Zuleitungsstrom, was kleinere Leitungsquerschnitte oder kleinere Übertragungsverluste mit sich bringt.
- Auch Transformatoren, Leistungsschalter, Generatoren, ja ganze Umspannwerke lassen sich dann für eine kleinere Scheinleistung, d.h. Bemessungsleistung, auslegen. Das wiederum bedeutet geringere Kosten i. Vgl. zum unkompenzierten Betrieb.

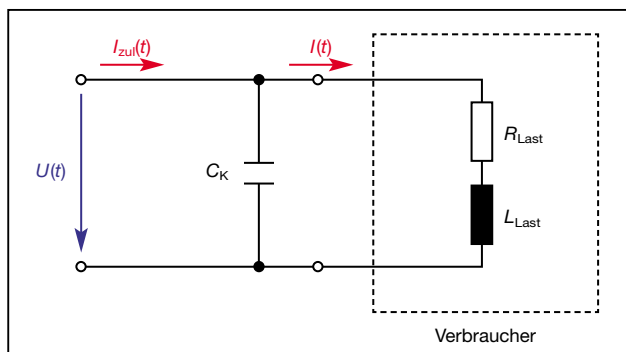


Bild 2: Parallele Kapazität C_K zur Kompensation der Blindleistung einer ohmsch-induktiven Last

Teilweise Blindleistungskompensation

Wir wissen aus dem ersten Teil des Beitrags, wie man die Parallelkapazität C_K bemessen muss,

- um den Blindleistungsbedarf vollständig zu kompensieren:

$$C_K = \frac{Q_{\text{Last}}}{2\pi \cdot f \cdot U^2}$$

- wenn man den Leistungsfaktor von $\cos \varphi_1$ auf $\cos \varphi_2$ anheben will:

$$C_K = \frac{P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{2\pi \cdot f \cdot U^2}$$

Im Folgenden berechnen wir die Blindleistungsverhältnisse bei Parallelschaltung einer bestimmten Kapazität C_K zu einer ohmsch-induktiven Last (Bild 2). Für die Blindleistung der Last können wir ansetzen (siehe »gig« 10/2003, S. 5):

$$Q_{\text{Last}} = U \cdot I \cdot \sin \varphi = U \cdot I \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

Prof. Dr. Helmuth Biechl, Fachjournalist, Kempten
Fortsetzung aus »de« 10/2003

Während es sich bei Q_{Last} um die aufgenommene induktive Blindleistung handelt, auch Blindleistungsaufnahme genannt, erzeugt eine parallele Kapazität C_K die Blindleistung Q_C :

$$Q_C = U^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_K$$

Wenn wir die Differenz

$$\Delta Q = Q_{\text{Last}} - Q_C$$

bilden, erhalten wir den Betrag der noch unkompenzierten Blindleistung ΔQ .

Aufgabe: Wir schalten einem Verbraucher an $U = 230 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ ($\cos \varphi = 0,85$, $P = 1,6 \text{ kW}$) einen Kondensator ($C_K = 15 \text{ }\mu\text{F}$) parallel.

Frage: Wie groß ist die Blindleistungsaufnahme dieser Gesamtlast, welcher Gesamtleistungsfaktor $\cos \varphi^*$ ergibt sich und welcher Zuleitungsstrom stellt sich ein?

Lösung: Die aufgenommene Blindleistung der Last beträgt:

$$Q_{\text{Last}} = U \cdot I \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} \quad \text{mit}$$

$$S = U \cdot I = \frac{P}{\cos \varphi} \Rightarrow$$

$$Q_{\text{Last}} = \frac{P}{\cos \varphi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

$$Q_{\text{Last}} = \frac{1,6 \text{ kW} \cdot \sqrt{1 - (0,85)^2}}{0,85} = 991,6 \text{ Var} \quad (10)$$

Die von der Parallelkapazität C_K erzeugte Blindleistung Q_C ergibt sich zu:

$$Q_C = U^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_K$$

$$Q_C = (230 \text{ V})^2 \cdot 2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 15 \text{ }\mu\text{F}$$

$$Q_C = 249,3 \text{ Var}$$

Somit verbleibt als Differenz noch:

$$\Delta Q = Q_{\text{Last}} - Q_C$$

$$\Delta Q = 991,6 \text{ Var} - 249,3 \text{ Var}$$

$$\Delta Q = 742,3 \text{ Var}$$

Das bedeutet: Die Schaltung nimmt insgesamt immer noch eine Blindleistung von $\Delta Q = 742,3 \text{ Var}$ auf, d.h., bei diesem Beispiel muss trotz Kompensation immer noch Blindleistung zugeführt werden. Die Gesamtlast (d.h. einschließlich C_K) verhält sich weiterhin ohmsch-induktiv.

Mit Hilfe von ΔQ lässt sich der neue Leistungsfaktor $\cos \varphi^*$ ermitteln:

$$\tan \varphi^* = \frac{\Delta Q}{P} = \frac{742,3 \text{ Var}}{1600 \text{ W}} = 0,464$$

Im Beitrag »Die Tangens- und Cotangensfunktion« (»gig« 7/2003, S. 6) haben wir gelernt, wie man aus $\tan \varphi^*$ den $\cos \varphi^*$ bestimmen kann. Es gilt:

$$1 + \tan^2 \varphi^* = \frac{1}{\cos^2 \varphi^*} \Rightarrow$$

$$\cos \varphi^* = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi^*}}$$

$$\cos \varphi^* = \frac{1}{\sqrt{1 + (0,464)^2}} = 0,907$$

Vor der Kompensation betrug der Zuleitungsstrom I_{Zul} :

$$P = U \cdot I_{Zul} \cdot \cos \varphi \Rightarrow$$

$$I_{Zul} = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{1600 \text{ W}}{230 \text{ V} \cdot 0,85}$$

$$I_{Zul} = 8,18 \text{ A}$$

Nach der teilweisen Blindleistungskompensation durch C_K erhalten wir:

$$I_{Zul}^* = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi^*} = \frac{1600 \text{ W}}{230 \text{ V} \cdot 0,907}$$

$$I_{Zul}^* = 7,67 \text{ A}$$

Die Reduzierung des Zuleitungsstromes von 8,18 A auf 7,67 A entspricht einer Abnahme um 6,2 %. Die Übertragungsverluste sinken um 12,1 %.

Überkompensation

Wir können uns nun fragen, wie die Verhältnisse aussehen, wenn der Kondensator mehr Blindleistung erzeugt als die Last benötigt. Es entsteht dann eine überschüssige Blindleistung, die an das Netz abgegeben werden muss. Die Gesamtlast verhält sich dann ohmsch-kapazitiv.

Betrachten wir dazu nochmals ein Beispiel: Die Daten des Verbrauchers sind identisch mit denen des Abschnitts »Teilweise Blindleistungskompensation«, d.h. $U = 230 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$,

AUFGABE ZUR ÜBERKOMPENSATION

Aufgabe:

Eine ohmsch-induktive Last ($\cos \varphi = 0,72$ ind.) nimmt 16 A bei $U = 230 \text{ V}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ auf.

Frage:

Man berechne die Größe der parallel zu schaltenden Kapazität, so dass der Leistungsfaktor der Gesamtlast $\cos \varphi^* = 0,9$ kap. beträgt.

Lösung:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P = 230 \text{ V} \cdot 16 \text{ A} \cdot 0,72$$

$$P = 2649,6 \text{ W}$$

$$Q_{Last} = \frac{P}{\cos \varphi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

$$Q_{Last} = \frac{2649,6 \text{ W}}{0,72} \cdot \sqrt{1 - (0,72)^2}$$

$$Q_{Last} = 2553,8 \text{ Var}$$

$$\Delta Q = \frac{P}{\cos \varphi^*} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi^*}$$

$$\Delta Q = \frac{2649,6 \text{ W}}{-0,9} \cdot \sqrt{1 - (0,9)^2}$$

$$\Delta Q = -1283,3 \text{ Var}$$

$$Q_C = Q_{Last} - \Delta Q$$

$$Q_C = 2553,8 \text{ Var} - (-1283,3 \text{ Var})$$

$$Q_C = 3837,1 \text{ Var}$$

$$C_K = \frac{Q_C}{2\pi \cdot f \cdot U^2} = \frac{3837,1 \text{ Var}}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot (230 \text{ V})^2}$$

$$C_K = 230,9 \mu\text{F}$$

UMWELTASPEKTE

Eine Blindleistungskompensationsanlage leistet immer einen Beitrag zur Schonung der natürlichen Energiereserven und trägt damit zur Reduzierung des Treibhauseffektes bei. Denn wird die Blindleistung nicht kompensiert, muss ein erhöhter Primärenergieaufwand (Öl, Gas, Kohle) in den Kraftwerken die höheren Übertragungsverluste im elektrischen Energieversorgungsnetz decken. Wie viel kg CO_2 dabei in den Kraftwerken erzeugt und in die Atmosphäre abgegeben werden, hängt vom so genannten Energiemix ab.

$\cos \varphi = 0,85$ und $P = 1,6 \text{ kW}$. Doch diesmal nehmen wir eine fünfmal so große Kapazität an, d.h. $C_K = 75 \mu\text{F}$. In diesem Fall erzeugt der Kondensator folgende Blindleistung Q_C :

$$Q_C = U^2 \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_K$$

$$Q_C = (230 \text{ V})^2 \cdot 2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 75 \mu\text{F}$$

$$Q_C = 1246,4 \text{ Var}$$

Nachdem die Last nur 991,6 Var benötigt (vgl. Gl. (10)), beträgt der Überschuss:

$$\Delta Q = Q_{Last} - Q_C$$

$$\Delta Q = 991,6 \text{ Var} - 1246,4 \text{ Var}$$

$$\Delta Q = -254,8 \text{ Var}$$

Das negative Vorzeichen bedeutet kapazitive Blindleistungsaufnahme oder induktive Blindleistungsabgabe. Der Gesamtleistungsfaktor $\cos \varphi^*$ ergibt sich nun zu:

$$\tan \varphi^* = \frac{\Delta Q}{P}$$

$$\tan \varphi^* = \frac{-254,8 \text{ Var}}{1600 \text{ W}} = -0,159$$

$$\cos \varphi^* = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi^*}}$$

$$\cos \varphi^* = \frac{1}{\sqrt{1 + (-0,159)^2}} = 0,988$$

- Wenn C_K mehr Blindleistung erzeugt als die Last benötigt,
- wird die Gesamtlast (d.h. einschließlich C_K) ohmsch-kapazitiv,
 - eilt der Strom der Spannung voraus und
 - der Phasenverschiebungswinkel φ ist negativ.

Zusätzliche Angabe beim Leistungsfaktor

Nachdem $\cos \varphi = \cos (-\varphi)$ gilt, kann man am Funktionswert des Cosinus nicht erkennen, ob es sich um einen positiven oder negativen Phasenverschiebungswinkel handelt, d.h., der Funktionswert $\cos \varphi = 0,8$ kann $\varphi = 36,9^\circ$ oder $\varphi = -36,9^\circ$ bedeuten. Da der Elektrofachmann diese Information aber benötigt, definierte man folgenden Zusatz beim Leistungsfaktor:

$$\cos \varphi = 0,8 \text{ kap. bzw. } \cos \varphi = 0,8 \text{ ind.}$$

Der Zusatz »kap.« bedeutet: Der Strom eilt der Spannung voraus, was gleichbedeutend mit einem negativen Phasenverschiebungswinkel ist.

Der Zusatz »ind.« bedeutet: Der Strom hinkt der Spannung hinterher, das ergibt einen positiven Phasenverschiebungswinkel.

(Fortsetzung folgt)

Wärmepumpe und Fußbodenheizung

Peter P. Elsen

Heizungsanlagen mit Wärmepumpe arbeiten wirtschaftlich und umweltfreundlich, besonders in Kombination mit einer Fußbodenheizung. Übrigens unterliegt eine Heizungsanlage mit Wärmepumpe wegen des hohen Anteils an Umweltenergie (> 70 %) nicht der Energieeinsparverordnung (EnEV).

Mit einer elektromotorisch angetriebenen Wärmepumpe lässt sich das Wasser einer Niedertemperaturheizung kostengünstig erwärmen, und zwar vorwiegend durch Entziehen von Umweltwärme. Durch den Einsatz von Niedrigtemperatur-Wärmequellen lässt sich bis zu 80 % des Gebäudewärmebedarfs mit einer Wärmepumpe decken.

Funktion der Wärmepumpe

Bei der Wärmepumpe, die ähnlich wie ein Kühlschrank arbeitet, läuft ein thermodynamischer Kreisprozess ab. Der Unterschied besteht im Entzug der Wärmeenergie aus der Umwelt, nicht aus dem Kühlgut. Diese entzogene Energie wird:

- mit Hilfe eines Wärmeträgers der Wärmepumpe zugeführt, meist einer weitgehend frostsicheren Solefüllung,
- dort zu einer technisch nutzbaren Ausgangstemperatur aufgewertet und
- den Warmwasserheizkreisen zugeleitet.

Die Temperatur der Wärmeträger am Ein- und Ausgang des Gerätes bestimmt den erzielbaren Nutzungsgrad (Leistungszahl ϵ), wobei die Temperatur am Eingang möglichst hoch und die am Ausgang möglichst niedrig sein sollte. Das Temperaturniveau der Fußbodenheizung mit ihrer niedrigen Ausgangstemperatur (= Vorlauftemperatur einer Heizung) eignet sich also ideal. Eine witterungsgeführte Regelung passt die Ausgangstemperatur der Wärmepumpe dem unterschiedlichen Wärmebedarf an.

Ein möglichst hohes und konstantes Temperaturniveau der Wärmequelle (Erdreich, Grundwasser, Umgebungsluft) steigert die Effizienz der Wärmepumpen. Viele Kunden bevorzugen heute das Erdreich als Wärmequelle, und zwar wegen der relativ konstanten und günstigen Temperatur. Zur Erschließung dienen vorzugsweise Erdbohrungen mit einer Tiefe von 30...60 m, Erdwärmesonden und ein Rohrkreislauf zur Wärmepumpe.

Übrigens richtet sich sowohl die Anzahl als auch die Tiefe der Bohrungen nach der Heizleistung der Wärmepumpe und der Beschaffenheit des Erdreichs. Sind Parallelbohrungen

DIE FUSSBODENHEIZUNG

Eine Fußbodenheizung strahlt die Wärme großflächig ab, deshalb reicht hier eine mäßige Fußbodentemperatur. Außerdem sorgt die Fußbodenheizung für gleichmäßige Temperaturen, und zwar von Fußboden, Raumluft und Raumbegrenzungsflächen. Mit ihr stellt sich also ein angenehmes Raumklima ein, und das bereits unterhalb der DIN-Normtemperatur eines Raumes. Mit einer Fußbodenheizung kann man also Heizenergie sparen.

erforderlich, sollten sie wegen der Gefahr der gegenseitigen Beeinflussung einen Mindestabstand von 6 m haben.

Beträgt die Temperatur in 10 m Tiefe 10 °C, steigt sie nach jeweils 30 m um etwa 1 °C. Als Richtwert gilt¹⁾ für den spezifischen Wärmeentzug des Erdreichs (pro m Sondenlänge): $q = 50...60 \text{ W/m}$.

Die Fußbodenheizung

Die Fußbodenheizung, eine Niedertemperaturheizung, besteht u. a. aus Heizrohren, die unter bzw. im Estrich verlegt sind. Die Temperatur an der Fußbodenoberfläche sollte max. 26 °C betragen und die max. Vorlauftemperatur ca. 30 °C. Damit besteht zwischen der Fußboden- und der Raumtemperatur lediglich eine geringe Differenz. Kommen nun externe Wärmequellen hinzu, z. B. Sonneneinstrahlung, sinkt diese Differenz noch weiter – was zur Folge hat, dass damit die Wärmeabgabe abnimmt. Dieser »Selbstregelleffekt«, der bei niedrigen Fußbodentemperaturen stark ausgeprägt ist, wirkt der Übererwärmung eines Raumes auf natürliche Weise entgegen. Optional lässt sich jeder beliebige Raum mit einem Temperaturregler ausstatten.

Auch die Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Raumbegrenzungsflächen ist gering. Diese gleichmäßige Wärmeverteilung und die leichte Temperaturabnahme vom Fußboden zur Decke sorgen für messbare Behaglichkeit: Das Behaglichkeitsempfinden stellt sich bereits 10 % unterhalb der DIN-Raumtemperatur ein.

Darüber hinaus wirkt das niedrige Temperaturniveau u. a. trockener Raumluft entgegen und verhindert so die Verschwehung von Staubpartikeln. Die Fußbodenheizung erfüllt also gleichermaßen die Anforderungen bzgl. Energieeinsparung, Heizkomfort und Bauphysik.

Die Leistungszahl als Maß für die gewonnene Umweltenergie

Die Leistungszahl ϵ stellt ein Maß für die Leistungsfähigkeit der Wärmepumpenheizung dar und den Ausschöpfungsgrad der Umweltenergie. Sie ist definiert als Verhältnis von gesamter Wärmeleistung einer Wärmepumpe Q_{WP} und aufgenommener elektrischer Leistung P_{el} :

$$\epsilon = \frac{Q_{WP}}{P_{el}} \quad (1)$$

Die Hersteller messen zur Bestimmung der Leistungszahl (Tabelle) sowohl die elektrische Leistungsaufnahme als auch die Heizleistung, und zwar bei Wärmeträger-Normtemperaturen (Erdreich, Luft oder Wasser).

Die Leistungszahl ϵ hängt vom Wirkungsgrad η der Wärmepumpe ab und von der absoluten Temperatur (K) der Wärmeträger am Wärmepumpeneingang (T_E) und -ausgang (T_V):

$$\epsilon = \eta \cdot \frac{T_V}{T_V - T_E}$$

mit $T_E = 273 \text{ K} + t_e \text{ °C}$ (t_e = Erdsondentemperatur)

und $T_V = 273 \text{ K} + t_v \text{ °C}$ (t_v = Vorlauftemperatur) (2)

Sole/Wasser-Wärmepumpen

Nennwerte	Typische Daten von Wärmepumpen				
Leistungsaufnahme	1,2 kW	1,6 kW	1,8 kW	2,2 kW	2,6 kW
Heizleistung	4,6 kW	8,4 kW	10 kW	11,7 kW	14,3 kW
Leistungszahl ε	3,80	5,25	5,55	5,30	5,5
Wärmeträger:					
Sole	0 °C	0 °C	0 °C	0 °C	0 °C
Wasser	35 °C	35 °C	35 °C	35 °C	35 °C

Mit 1,6 kW elektrischer Leistung lässt sich z. B. bei ε = 5,25 eine Wärmeleistung von 8,4 kW gewinnen

Anhand von Gl. (2) erkennt man, dass sich mit der Wahl der Temperaturen die Leistungszahl beeinflussen und auch optimieren lässt und dass die Leistungszahl mit abnehmender Temperaturdifferenz steigt. Sehen wir uns dazu ein Beispiel an: Eine Wärmepumpe habe einen Wirkungsgrad von 0,4. Die Soletemperatur t_e beträgt 10 °C und die Vorlauftemperatur 35 °C. Es ergibt sich folgende Leistungszahl:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \eta \cdot \frac{T_V}{T_V - T_E} \\ \epsilon &= 0,4 \cdot \frac{273 \text{ K} + 35 \text{ °C}}{273 \text{ K} + 35 \text{ °C} - (273 \text{ K} + 10 \text{ °C})} \\ \epsilon &= 4,928 \end{aligned}$$

Wird die Vorlauftemperatur um 5 °C gesenkt, beträgt die Leistungszahl:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \eta \cdot \frac{T_V}{T_V - T_E} \\ \epsilon &= 0,4 \cdot \frac{273 \text{ K} + 30 \text{ °C}}{273 \text{ K} + 30 \text{ °C} - (273 \text{ K} + 10 \text{ °C})} \\ \epsilon &= 6,06 \end{aligned} \quad (3)$$

Man erkennt also an dieser einfachen Rechnung, dass die Vorlauftemperatur t_v prinzipiell möglichst niedrig und die der Erdwärmesonde t_e möglichst hoch sein sollte (Bild 1). Doch während man die Vorlauftemperatur auf ein niedriges Niveau führen kann (z. B. durch den Einsatz einer Niedertemperaturheizung), lässt sich die »Leerlauftemperatur« einer Erdwärmesonde nur wenig beeinflussen, sie beträgt 8...10 °C. Erschwerend kommt hinzu, dass der Wirkungsgrad – i. Ggs. zur Bei-

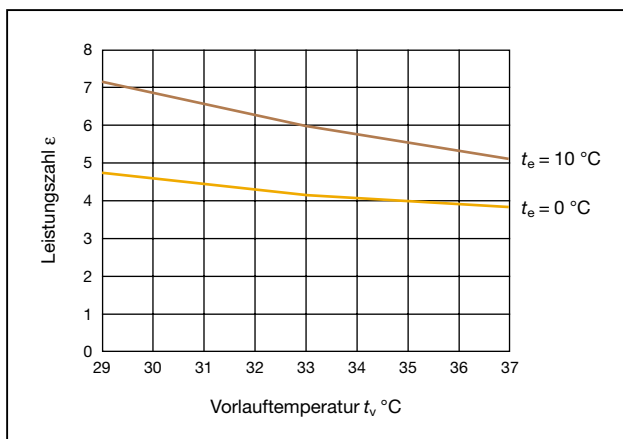


Bild 1: Abhängigkeit der Leistungszahl ε von der Vorlauftemperatur (t_v), dargestellt bei zwei Erdsondентemperaturen (t_e)

spielrechnung – je nach Betriebsbedingungen schwankt, er beträgt ungefähr 0,35...0,45.

Eine niedrige Vorlauftemperatur steigert die Leistungszahl und den Wärmege winn aus dem Erdreich.

Anforderungen an eine Fußbodenheizung

Weil eine niedrige Vorlauftemperatur (max. 30 °C) die installierbare Wärmeleistung begrenzt, erfordern Niedertemperaturheizungen

- eine großflächige Wärmeverteilung, z. B. durch eine Fußbodenheizung,
- eine anspruchsvolle Wärmedämmung der Außenwände, Decken etc.,
- Fenster in Passivhausqualität sowie
- evtl. ein Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung.

Fußbodenheizungen benötigen genügend viele und lange Heizrohrkreise mit geringem Verlegeabstand. Estrich und Bodenbe-

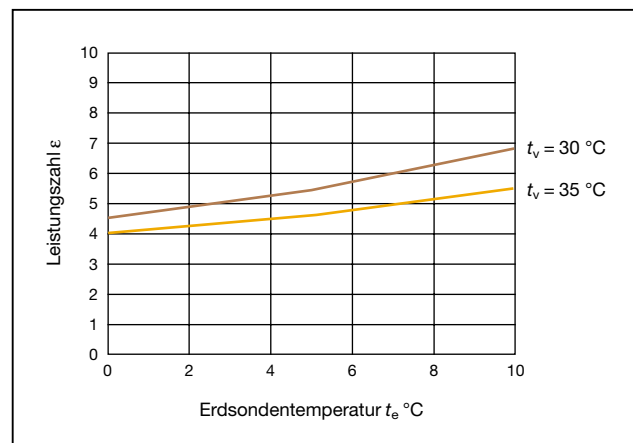


Bild 2: Abhängigkeit der Leistungszahl ε von der Erdsondentemperatur (t_e), dargestellt bei zwei verschiedenen Vorlauftemperaturen (t_v)

lag sollten über eine gute Wärmeleitfähigkeit verfügen. Fliesen bieten z. B. diese Eigenschaft.

Stabilisierung der Erdsondentemperatur

Sowohl die Höhe der Erdsondentemperatur als auch deren Konstanz beeinflussen die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe (Bild 2). Sinkt z. B. die Erdsondentemperatur von 10 °C auf 0 °C, sinkt die Leistungszahl im Vgl. zu Gl. (3) auf:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \eta \cdot \frac{T_V}{T_V - T_E} \\ \epsilon &= 0,4 \cdot \frac{273 \text{ K} + 30 \text{ °C}}{273 \text{ K} + 30 \text{ °C} - (273 \text{ K} + 0 \text{ °C})} \\ \epsilon &= 4,04 \end{aligned}$$

Das entspricht rein theoretisch einer Abnahme der Leistungszahl um 33 %. Damit die Wärmeleistung trotzdem konstant bleibt, benötigt die Wärmepumpe eine dementsprechend höhere elektrische Leistung, d. h., sie muss länger laufen. Deshalb sollte die Erdsondentemperatur lediglich um max. 7 °C abnehmen.

Einen zu starken Entzug der Erdwärme im Sondenbereich vermeiden ausreichend tiefe bzw. parallele Bohrungen. Ein maßvolles Begrenzen der Wärmepumpen-Laufzeit dient der

Regeneration der Erdwärme. Wegen der thermischen Trägheit einer Fußbodenheizung lassen sich moderate Anlagenabschaltzeiten tolerieren. Darüber hinaus kann solarerwärmtes Wasser den Temperaturpegel des Erdwärmekreislaufs erhöhen.

Eine hohe Erdsondentemperatur steigert die Leistungszahl der Wärmepumpe und den Wärmegeinn aus dem Erdreich.

Fazit

Eine attraktive Alternative zur konventionellen Brennstoffheizung bietet das Konzept »Elektrowärmepumpe und Fußbodenheizung« – zum einen, weil hier keine Brennstoffe benötigt werden, und zum anderen wegen des Raumklimas und des Heizkomforts. Darüber hinaus sprechen neben den niedrigen Investitions- und Betriebskosten folgende Merkmale für dieses Konzept:

- Minimaler Platzbedarf (keine Heizöltanks, kein Heizungsraum etc.)
- Zusätzliche Stellflächen in Wohnräumen
- Minimaler Wartungsaufwand
- Keine Emissionen und Kosten für deren Messung
- Keine Kosten für einen Kamin und dessen Wartung
- Keine Lärm- und Geruchsbelästigung
- Keine Verschmelzung von Staubpartikeln
- Geringere Kosten für den Bau und besonders den Betrieb einer Wärmepumpenanlage i. Vgl. mit denen einer vergleichbaren konventionellen Anlage.

Wegen der Erfüllung hoher Umweltkriterien stehen für die Wärmepumpe Fördermittel zur Verfügung.

Die Wärmepumpenhersteller verfolgen das Ziel, mittelfristig Leistungszahlen von $\epsilon > 6$ zu erreichen.

Funkbus für die Komfortinstallation

Christiane Decker

Verfügt heute fast jedes Auto über Zentralverriegelung, Klimaanlage, elektrische Fensterheber und sonstige komfortable Funktionen, ist das bei den eigenen vier Wänden meist Mangelware. Viele Haus- und Wohnungsbesitzer scheuen die Elektroinstallationsarbeiten für die nachträgliche Integration eines Bussystems und bevorzugen die konventionelle Elektroinstallation, welche meist jedoch nur die Grundbedürfnisse deckt. Die Lücke zwischen einfacher Elektroinstallation und der »de Luxe«-Version,

Dipl.-Ing. (FH) Christiane Decker, Redaktion »de«, nach Unterlagen von Berker, Schalkmühle

etwa mittels EIB, schließt ein Funkbussystem, das sich einfach und unkompliziert installieren lässt und dabei viele Annehmlichkeiten bietet.

Bei einem Funkbussystem erübrigt sich das Verlegen neuer Leitungen, da die Komponenten (Sender und Empfänger) per Funk, also drahtlos miteinander kommunizieren. Allerdings muss der Elektrofachmann die Bauteile »einlernen«, d.h., ihnen beibringen, auf welches Signal bzw. welche Signale sie reagieren sollen.

Doch dazu bedarf es lediglich weniger einfacher Schritte:

- Der Elektrofachmann schaltet zunächst den Empfänger in den so genannten Lern-Modus, und
- dann positioniert er den Sender in einem Abstand von 0,5...5 m zum Empfänger. (Der Empfänger arbeitet im Lern-

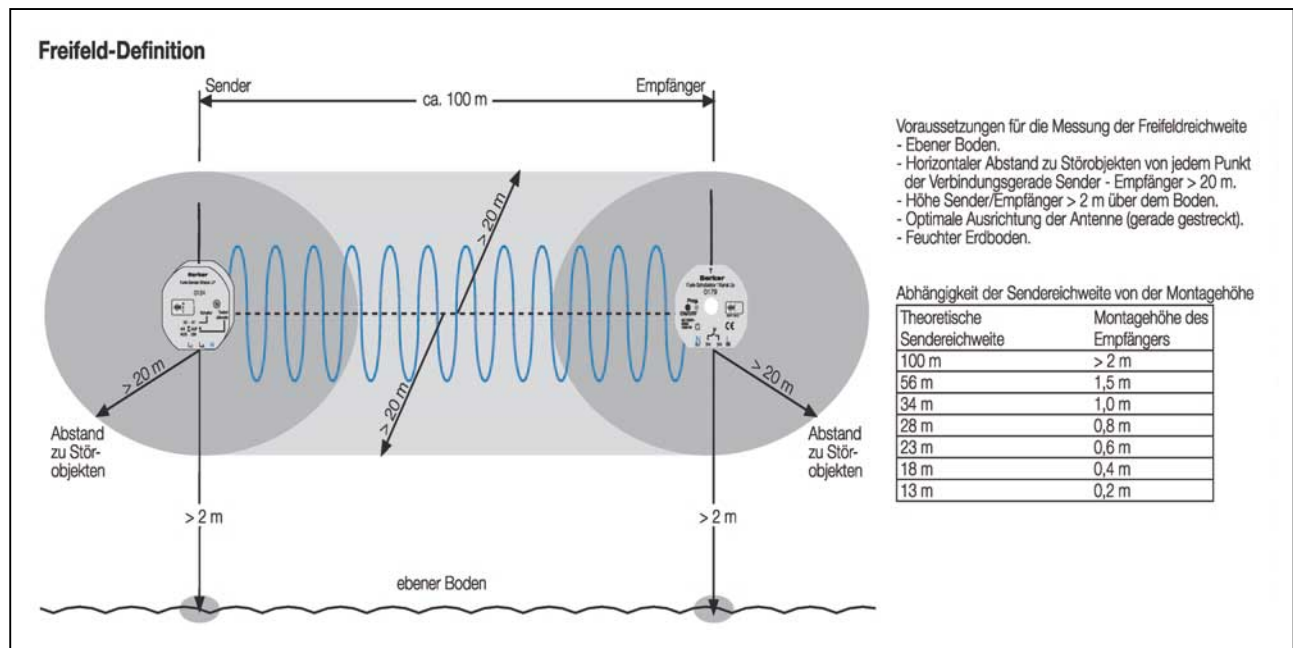


Bild 1: Es gibt in jedem Objekt für die Installation von Funkbusgeräten günstige und ungünstige Orte. Evtl. entscheidet die Auswahl des Montageortes über die einwandfreie Funktion einer Funkverbindung

Modus mit reduzierter Empfindlichkeit zum Vermeiden von Fehlinterpretationen und Störungen durch zufällige andere Funksignale).

Funktionsweise der Kommunikation

Die Sender (Fernbedienung bzw. Taster als Hand- oder Wandgeräte) schicken ein Telegramm, wenn sie betätigt werden. Daraufhin prüfen die Empfänger, ob dieses Telegramm für sie bestimmt ist. Wenn ja, führen sie die einge-lernte Aktion aus. Jedes Telegramm ermöglicht eine eindeutige Zuordnung und besteht aus vier Paketen: Daten, Kanal-Nr., Sender-Nr. und Sendertyp liefern Informationen darüber,

- welche Empfänger angesprochen werden sollen,
- welche Aktion auszuführen ist und
- von welchem Sender der Befehl kommt.

Viele Faktoren beeinflussen dabei allerdings die Reichweite der Sender (Bild 1).

Da es sich bei Funksignalen um elektromagnetische Wellen handelt, wird das Signal auf dem Weg vom Sender zum Empfänger gedämpft (so genannte »natürliche Dämpfung«), d.h., sowohl die elektrische als auch die magnetische Feldstärke nimmt ab, und zwar umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes von Sender und Empfänger ($E, H \approx 1/r^2$).

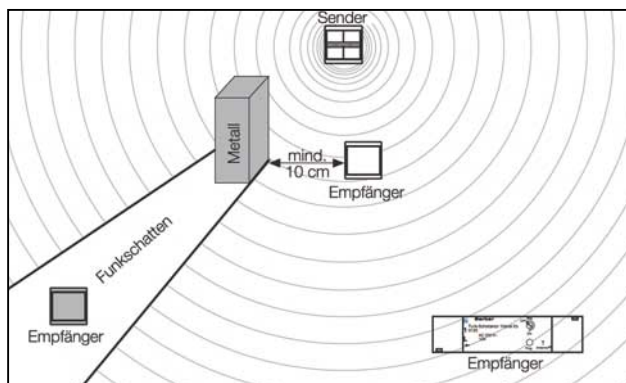


Bild 2: Metallische Teile reflektieren die Funksignale und führen so zu »Funkschatten«. Der Sender erreicht einen Empfänger in diesem Bereich nicht

Neben dieser Reichweitereinschränkung kommen noch weitere Störfaktoren hinzu: Metallische Teile, z.B. Armierungen in Wänden oder Metallfolien von Wärmedämmungen, reflektieren elektromagnetische Wellen. Daher bildet sich hinter ihnen ein so genannter Funkschatten – die Konsequenz: In diesem Schatten liegende Empfänger lassen sich nicht vom Sender ansprechen (Bild 2).

Zwar können Funkwellen Wände durchdringen, doch hierbei steigt die Dämpfung noch mehr als bei der »natürlichen

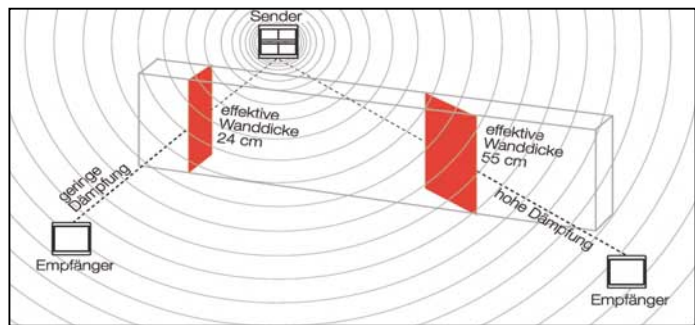


Bild 3: Die Dämpfung durch das Mauerwerk sinkt bei möglichst kurzen Verbindungen zwischen Sender und Empfänger, d.h., die Signale sollten möglichst senkrecht durch das Mauerwerk laufen; Mauernischen sind zu vermeiden

Dämpfung« (Tabelle). Dabei muss die Elektrofachkraft berücksichtigen, in welchem Winkel das gesendete Signal auf die Wand auftrifft, da die effektive Wanddicke dementsprechend zu- oder abnimmt (Bild 3).

Geräte, die ebenfalls mit hochfrequenten Signalen arbeiten, gelten als weitere Störquellen, z.B. Computer, Audio-/Videoanlagen, Funkkopfhörer, Mikrowellen oder elektronische Transformatoren und Vorschaltgeräte. Der Mindestabstand zu diesen Störquellen sollte 0,5 m betragen, dann hat die Feldstärke solcher Quellen nur noch ein Bruchteil seiner Ursprungsintensität ($1/r^2$). Folglich können jene Störer die Wirkungsweise des Funkbussystems nicht mehr maßgeblich beeinflussen.

Signalverstärkung macht das System flexibel

Bei zu hoher Dämpfung, z.B. durch Wände oder Entfernung, kann der Empfänger das gesendete Signal nicht mehr erkennen. Daher empfiehlt sich der Einsatz von Repeatern/Signalverstärkern, die für eine Verdoppelung der Reichweite sorgen. Mit diesen Zusatzbausteinen lassen sich auch jene Bereiche erschließen, die der Sender eigentlich nicht erreichen würde.

Fazit

Der Funkbus eignet sich, um den Komfort und den Leistungsumfang der Gebäudeinstallation mit geringem Aufwand zu steigern. Er funktioniert störungssicher, und er lässt sich intuitiv bedienen. Darüber hinaus entfallen bei diesem System zusätzliche Software- und andere Kosten. Mit dem Funkbus lassen sich also kostengünstige Mehrwertinstallationen realisieren.

Auch im Altbau kann man damit komfortabel und flexibel Licht und Jalousie steuern (Bild 4), denn die erforderlichen (BLC- oder RolloTec-) Einsätze benötigen keinen Neutralleiter.



Bild 4: Funkfernbedienung zum Steuern von Licht oder Jalousien

Durchdringungsfähigkeit

Material	Durchdringung
Holz, Gips, Glas unbeschichtet	90...100%
Backstein, Pressspanplatten	65...95%
Armiertes Beton	10...70%
Metall, Aluminiumkaschierung	0...10%

Während Funksignale Holz und Backstein relativ gut passieren, reflektiert Metall sie