

Elastomere Optische Fasern (EOF)

Fasern aus amorphen Thermoplasten erreichen bei manchen Anwendungen ihre Grenzen, bei denen eine höhere Dauerdehnung oder ein erweiterter Temperaturbereich gefordert wird. Schon bei Beanspruchungswerten über 2% Dauerdehnung oder bei Dauertemperaturen deutlich über 60°C muss man z.B. bei PMMA-Fasern mit Materialschädigung und der Bildung von Mikrorissen rechnen. Eine Abhilfe stellt der Übergang zu vernetzten Polymeren dar, z.B. die Verwendung von Elastomeren. Durch das Vernetzen der Makromoleküle wird die Formbeständigkeit in der Wärme verbessert und die Bildungshäufigkeit und das Weiterreißen von Mikrorissen vermindert. Bei Elastomeren kann man Dauerdehnungswerte weit über 10% erreichen, bei den in dieser Arbeit gewählten Polysiloxanelastomeren („Silikongummi“) sind Dauergebrauchstemperaturen über 100°C, ja bis zu 150°C vorstellbar.

Zwei Varianten der optischen Silikongummi-Faser werden vorgestellt:

- 1.) Eine Faser mit einem Kern aus Polymethylsiloxan und einem Mantel aus einem Fluorcopolymer und Werten der numerischen Apertur um 0,4
- 2.) Eine Faser mit einem Kern aus einem modifizierten Polyphenylsiloxan und einem Mantel aus Polymethylsiloxan und einer numerischen Apertur um 0,2 und einer damit erhöhten Übertragungsbandbreite.

Will man eine niedrige Streudämpfung erreichen, so muss man die MIE-Streuung an grösseren Inhomogenitäten, wie sekundären Überstrukturen, Blasen und Ablösungen im Kern-Mantelbereich vermeiden.

Obwohl bei vernetzten Polymeren generell mit einer etwas erhöhten Dämpfung zu rechnen ist, konnten bereits in Handversuchen Dämpfungswerte um 1 dB/m erreicht werden, was für manche Kurzstreckenanwendung (z.B. in der Automobiltechnik) ausreichen dürfte. Der Charme der Silikongummifaser liegt weiterhin in den breiten optischen Nutzbändern. Wählt man z.B. als Kriterium einen Grenzwert der Dämpfung von 1,5 dB/m, so sind folgende Wellenlängenbänder erlaubt: Ein recht breites Band vom grünen Wellenlängenbereich bei 540 nm bis ins nahe Infrarot bei 725nm, weiterhin 3 Bänder im Infraroten, von 750 nm bis 800 nm, von 819 nm bis 838 nm und von 933 nm bis 975 nm. Das absolute Minimum der Dämpfung liegt bei 764 nm. Bei dieser Wellenlänge wurden in den Handversuchen bisher 0,8 dB/m erreicht, eine Auswertung zu den verschiedenen Dämpfungsmechanismen lässt eine Minimaldämpfung von 0,2 dB/m als theoretisch möglich erscheinen.

Beim weiteren Verkabeln dieser neuen Faser sind die besonderen thermomechanischen Werte des Materialsystems zu beachten, eine Ummantelung mit einem hochelastischen Material ist anzustreben.

Anhänge:

Bilder aus dem Vortrag

EOF: WERKSTOFFPROBLEME BEI OPTISCHEN FASERN

- Optische Fasern müssen aus amorphen Materialien bestehen
- Amorphe Thermoplaste, wie PMMA, PC, PETP, etc. sind bei Dauerbeanspruchung anfällig für Mikrorisse
- Schon bei einer Dauerdehnung über 2% bilden sich an Trennflächen Mikrorisse aus („craze formation“)
- Thermoplaste relaxieren und kriechen, besonders bei erhöhten Dauertemperaturen
- Fluorpolymere kriechen besonders stark und haften schlecht an anderen Thermoplasten (Mantelablösungen bei POF)
- Der Nutzer möchte optische Plastikfasern „um den Finger wickeln“ dürfen (Randfaserdehnung um 10%)
- Er möchte den Anwendungsbereich haben, den er auch bei Cu-Kabeln gewöhnt ist, z.B. einen erlaubten Dauertemperaturbereich von -30 bis + 80°C

EOF: VERNETZTE AMORPHE POLYMERE ALS NEUE MÖGLICHKEIT

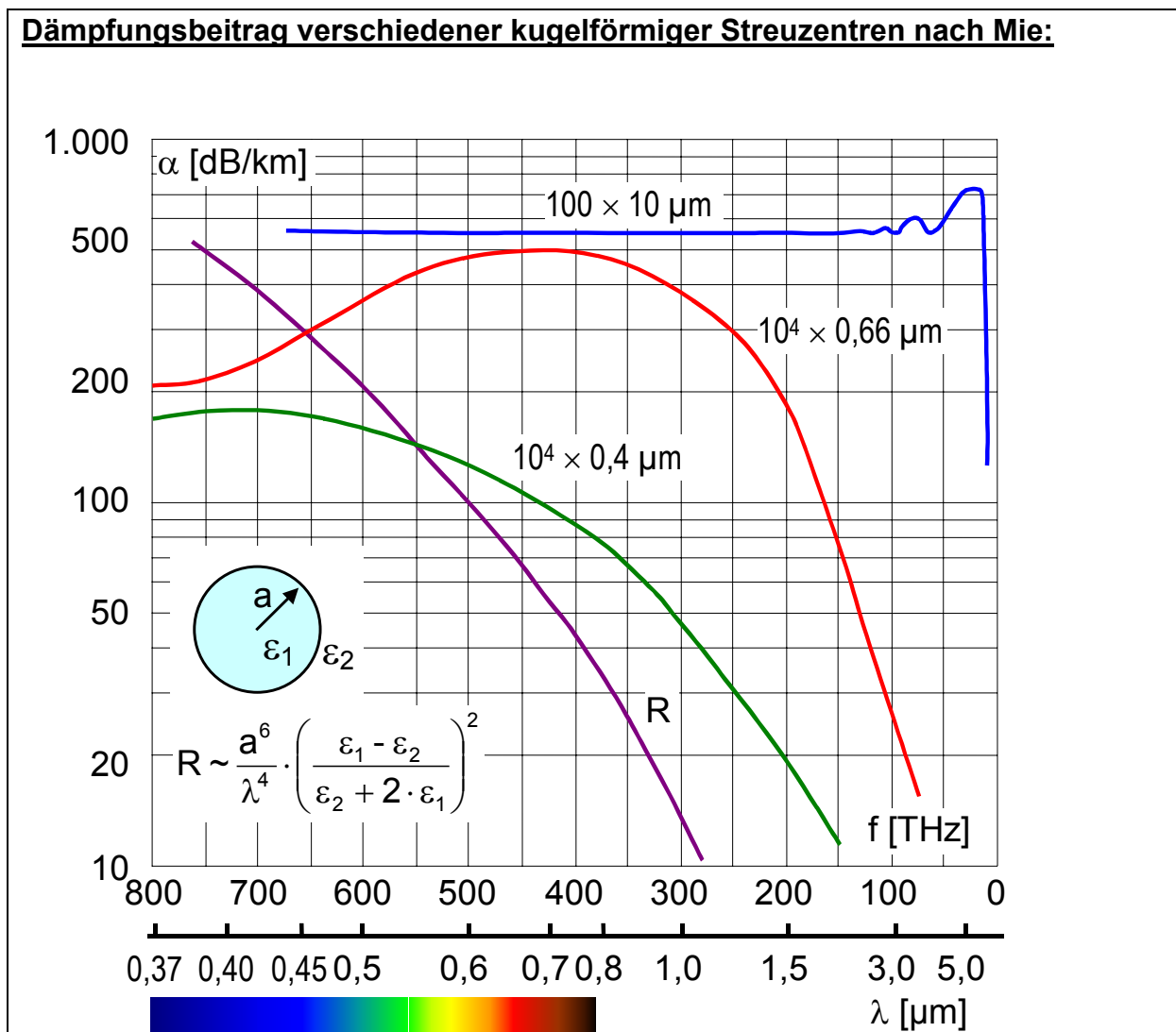
- Vernetzung erhöht die Dauerfestigkeit gegen mechanische und thermische Beanspruchung
- Vernetzung kann zu Dämpfungserhöhungen führen (Katalysator bei Vinylvernetzung, Farbzentren bei Strahlenvernetzung,..)
- Vernetzte Polymere mit steifen Ketten und hoher Vernetzungsdichte sind spröde und nicht allzu transparent (Beispiel Giessharze, wie Epoxyde, etc.)
- Als Ausweg bieten sich vernetzte Polymere mit flexiblen Molekülketten und niedriger Vernetzungsdichte an („Gummi“)
- Eine neue Klasse optischer Fasern: Die elastomere optische Faser (EOF, „Gummifaser“) für ermäßigte Dämpfungsanforderung aber gesteigerte Anforderungen hinsichtlich Dehnung, Formbeständigkeit, Temperaturbereich

EOF: OPTISCHE FASERN AUS POLYSILOXANEN („SILIKONGUMMI“)

- Grosse erlaubte Dauerdehnung (weit über 10%, ja bis 100%) und weiter Temperaturbereich (-50 bis +150°C)
- Hochreine, transparente Vormaterialien sind verfügbar (Anwendung in der Elektronik)
- Der optische Brechungsindex der Polyorganodisiloxane ist durch Auswahl der funktionellen organischen Seitengruppen einstellbar (z.B. Methyl- oder Phenylgruppen)
- Additionsvernetzung zweier Komponenten (über Wasserstoff an Vinylgruppen mittels Pt-Katalysatoren).

EOF: DÄMPFUNGSMECHANISMEN IN POLYSILOXANEN

- Infrarotbanden durch Molekülschwingungen, insbesondere durch Oberwellen der -CH₂-CH₂- Deformationsschwingungen bei 21,6 THz, der -CH₃- Deformationsschwingung bei 41,2 THz, der -CH₃-Streckschwingung bei 88,7 THz und der -Si-O-Si-Grundschiwingung bei 30 THz
- UV-Bandkante durch Elektronenübergänge in den einzelnen Atomen (H, C, Si, O)
- Lichtstreuung an Inhomogenitäten:
Grosse Störungen, wie Blasen und Ablösungen, zufolge der Mie-Formeln, kleine Störungen nach der Rayleigh-Näherung (Abnahme mit der 4. Potenz der Wellenlänge)
- Absorption durch „Dreck“ (Katalysator, Ionen,..)

Dämpfungsbeitrag verschiedener kugelförmiger Streuzentren nach Mie:

HERSTELLUNG DER EOF-MUSTER IM LABORMASSSTAB

Filtern, Rühren, Entgasen der Präpolymermischung aus Siloxanmonomeren, Ölen, Katalysatoren, etc.

Druckfüllung von Mantelschläuchen (Fluorcopolymer oder Silikongummi), Innendurchmesser 0,8 oder 1,0mm

Polymerisation entsprechend einem Druck-Temperatur-Zeitprogramm (Minuten bis Tage)

Musterlängen 3-10 Meter

Visuelle und mikroskopische Analysen

Messungen, z.B. der Dämpfung mittels LED (660nm)

Spektrale Dämpfungsmessung beim POFAC in Nbg. (Hr.Dröge)

EOF: DÄMPFUNG

Die Dämpfung wird im Wesentlichen durch die Lichtstreuung und die Absorption an den Molekülschwingungen bestimmt (IR-Kante)

Die Lichtstreuung führt zu einer Dämpfungsgrundlinie, bei der die Abnahme mit der Wellenlänge eine Mischung aus dem Rayleigh-Verhalten.(4.Potenz) und dem Mie-Verhalten (in etwa konstant) gegeben ist.

Die Mie-Streuung findet hauptsächlich an Ablösungen und Blasen an der Kernmantel-Trennfläche statt

Die Abmessungen dieser Störzentren reichen vom submikroskopischen (100nm) bis in den makroskopischen Bereich, abhängig von Druck/Sog und Festigkeit/Haftung an der Trennfläche

Mäntel aus Fluorcopolymeren sind wegen der niedrigen Haftung und des starken Kriechens besonders kritisch (Kabeldesign!)

Am Besten ist es, Kern und Mantel aus chemisch ähnlichen Materialien vorzusehen

SI-EOF: DIE FASER FÜR DEN INDUSTRIELLEN BEREICH

Breite spektrale Nutzfenster (z.B.):

540 bis 725 nm	< 1,5 dB/m
640 bis 700 nm	< 1,0 dB/m
750 bis 800 nm	< 1,5 dB/m
760 bis 780 nm	< 0,9 dB/m
819 bis 838 nm	< 1,0 dB/m
933 bis 975 nm	< 1,5 dB/M

Dämpfungsminimum bei 764 nm

0,8dB/m im Handversuch erreicht, 0,5 dB/m erscheint mit kommerziellen Monomeren erreichbar, 0,2-0,3 dB/m mit angepassten Monomeren denkbar

Numerische Apertur z.B. 0,44 (Polymethylsiloxan/Fluorcopolymer) oder 0,25 (Polyphenylsiloxan/Polymethylsiloxan)

Weiter Bereich für Dauerdehnung (bis 100%) und Temperatur (-50 bis +150°C)

Bild 1:
Vergleich verschiedener Fasern

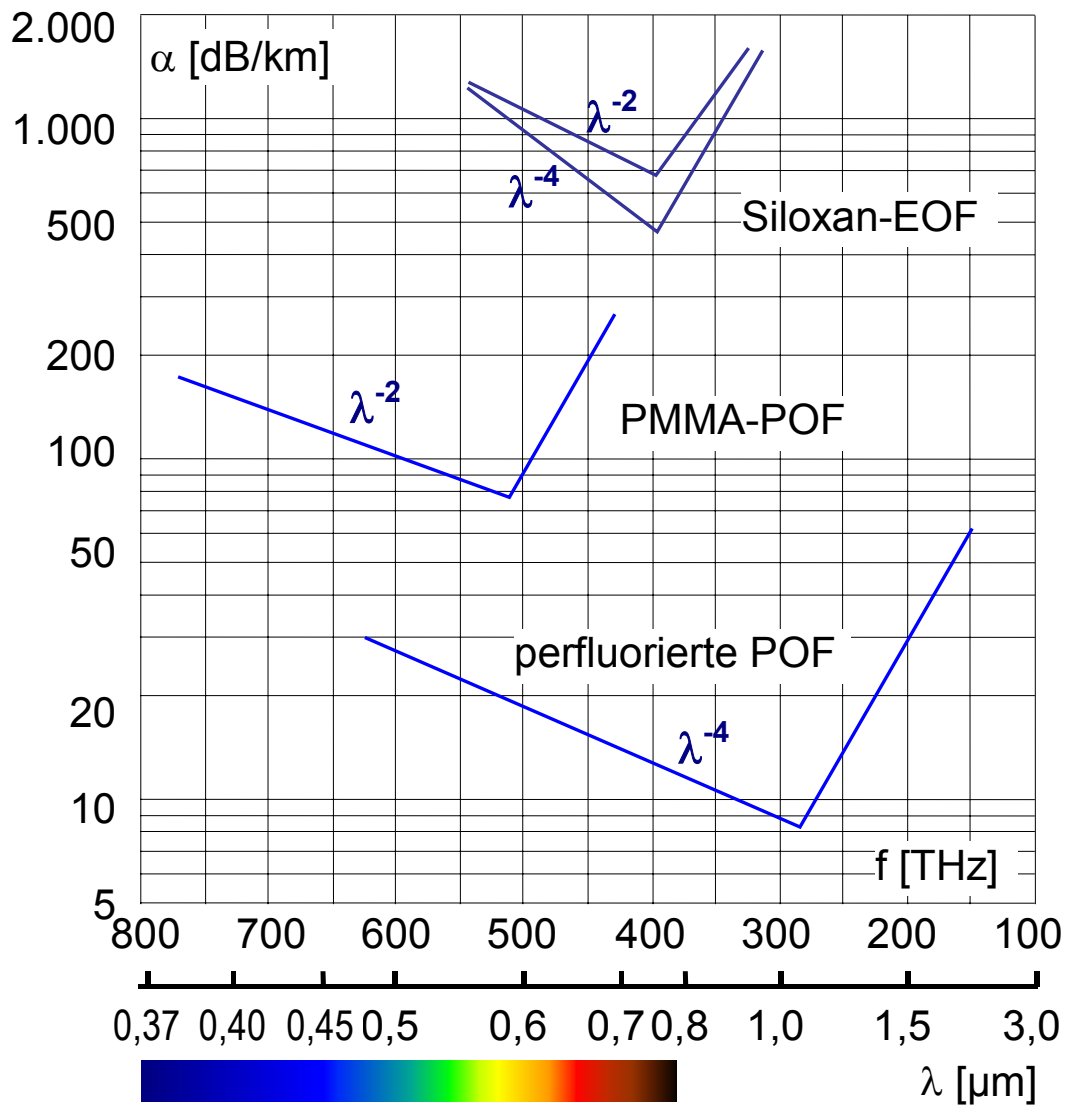


Bild 2:

Spektrale Dämpfung einer SI:EOF

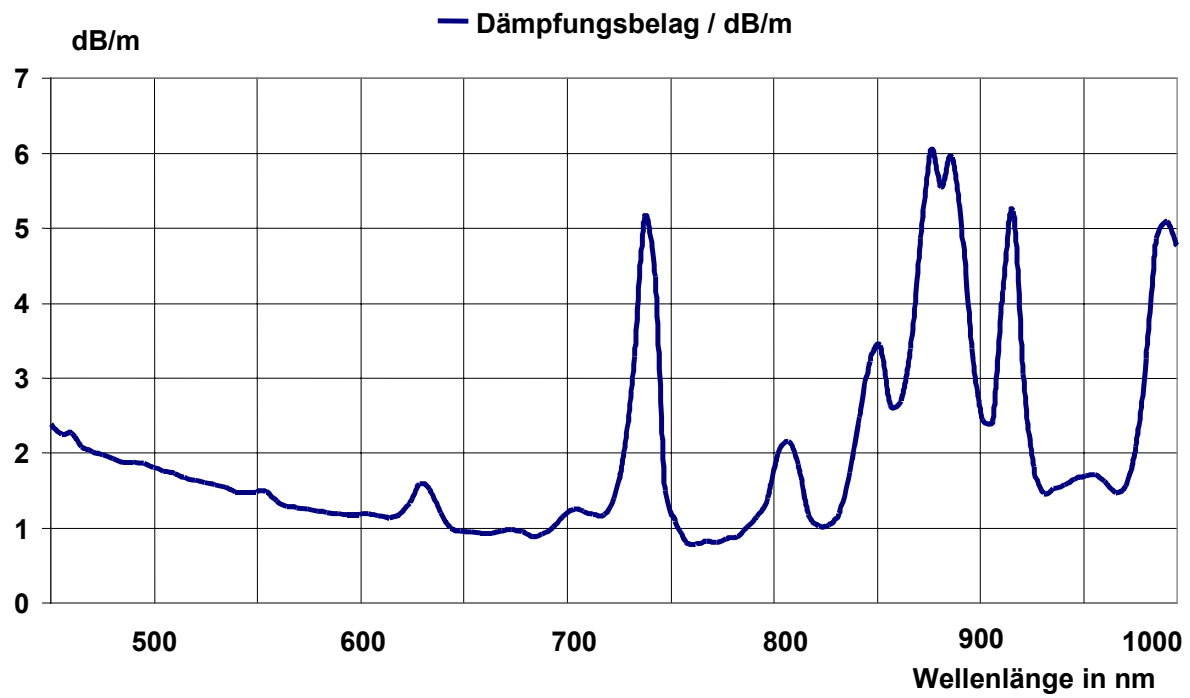


Bild 3:

Dämpfung einer SI:EOF und Grenzen

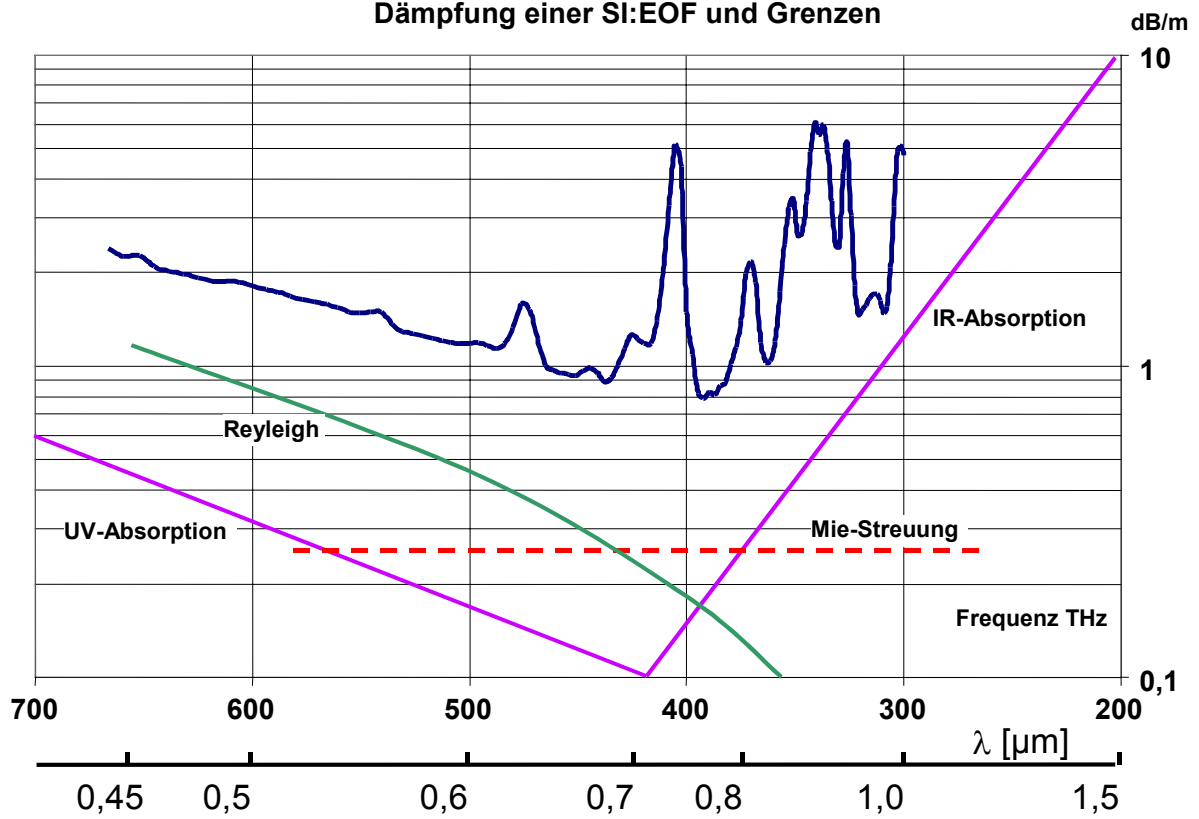


Bild 4:

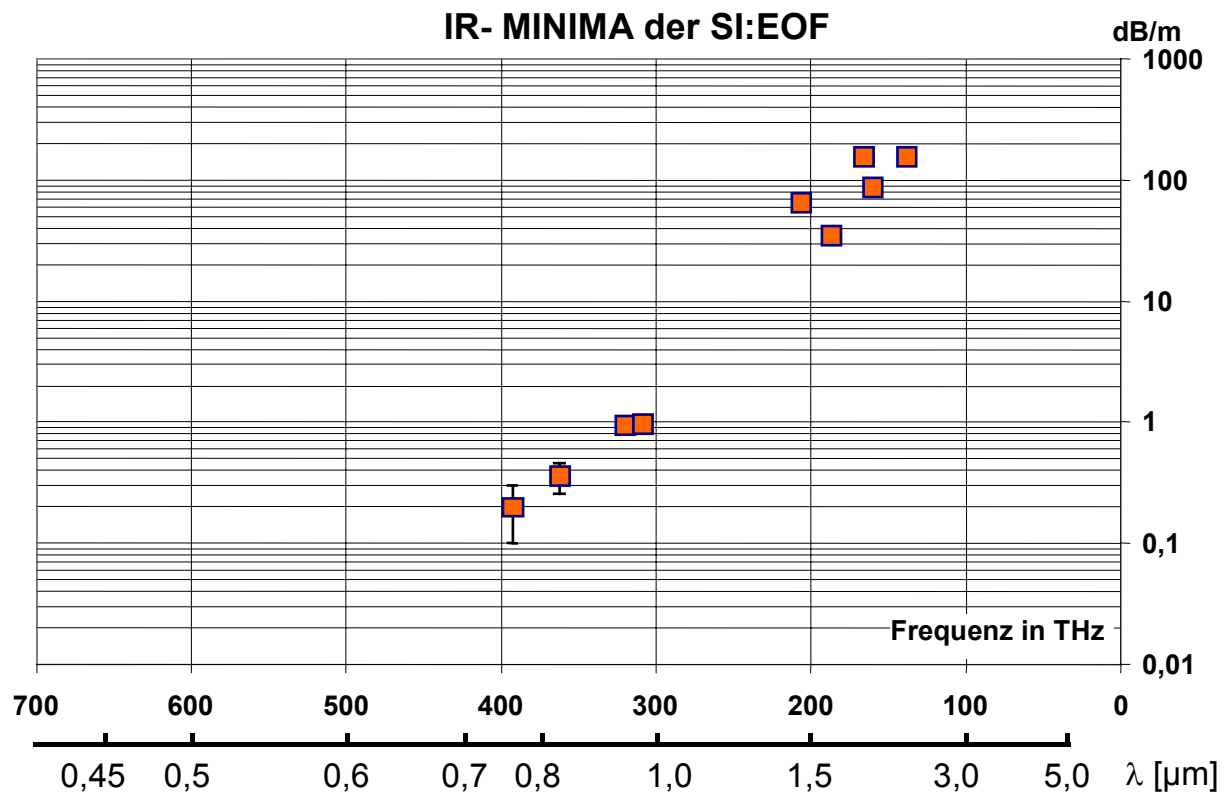


Bild 5:

