

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 51 (1973)

Heft: 6

Artikel: Antennenabdeckungen aus Polyurethan-Hartschaum = Panneaux de protection d'antennes en mousse rigide de polyuréthane

Autor: Hügli, Peter

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875295>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Zusammenfassung. Die Richtstrahlantennen sind in hohem Masse für die Zuverlässigkeit der Mikrowellenverbindungen verantwortlich. Einwirkungen von Wind, Schnee und Eis auf sie können eine empfindliche Qualitätseinbusse bei der Nachrichtenübertragung verursachen. Zur Herstellung von Wetterschutzvorrichtungen eignet sich besonders Polyurethan-Hartschaum. Untersuchungen bezüglich Durchlässigkeit und Reflexionsverhalten im Frequenzbereich ≤ 12 GHz haben gezeigt, dass dieses Material gut als Fenster für elektromagnetische Wellen verwendet werden kann.

Résumé. Les antennes à faisceaux dirigés sont responsables dans une large mesure de la fiabilité des liaisons à micro-ondes. Les influences du vent, de la neige et de la glace sur les antennes peuvent causer une perte sensible de la qualité pour la transmission des informations. Pour la protection contre les intempéries la mousse rigide de polyuréthane convient parfaitement. Les recherches concernant les effets de transmission et de réflexion de ce matériau ont montré qu'il permet de réaliser de bonnes fenêtres pour les ondes électromagnétiques pour les fréquences allant au moins jusqu'à 12 GHz.

Protezione delle antenne con poliuretano espanso

Riassunto. Le antenne a fasci direttivi rivestono una grande importanza nella sicurezza dei collegamenti su onde metriche. Il carico prodotto dal vento come pure i depositi di neve e di ghiaccio sulle antenne possono ridurre sensibilmente la qualità di trasmissione. È quindi necessario proteggere le antenne contro le intemperie mediante dispositivi adeguati. Il poliuretano espanso si presta in modo particolare alla costruzione di tali dispositivi. Esperimenti concernenti la permeabilità e il comportamento di riflessione nella banda di frequenza ≤ 12 GHz hanno dimostrato che l'effetto attenuante di questo materiale è minimo.

1. Einleitung

Das dichte Netz von Mikrowellen-Richtfunkverbindungen der schweizerischen PTT-Betriebe wird ständig erneuert und erweitert. Über eine Verbindung können heute bis 1800, in nächster Zukunft bereits 2700 Telefongespräche gleichzeitig geführt werden. Es ist naheliegend, dass bei derartigen Übertragungsanlagen die Zuverlässigkeit eine wichtige Rolle spielt.

Die parabelförmigen Reflektorantennen mit Durchmessern bis zu 4,3 m sind in hohem Masse für die Zuverlässigkeit der Verbindungen verantwortlich. An Aufstellungsorten mit guten Abstrahlbedingungen sind die Antennen den oft extremen Witterungseinflüssen ausgesetzt.

Die mechanische Beanspruchung durch Wind-, Schnee- und Eislasten stellt hohe Anforderungen an die Formbeständigkeit der Reflektoren und auch an die Verankerungen. Bereits geringfügige Veränderungen verschlechtern die Übertragungsverhältnisse zusehends, da die Breite der Hauptstrahlungskeulen nur $3,5...0,6^\circ$ beträgt.

Die Richtfunktechnik bedient sich heute der Wellenlängen von 15 cm bis 2,5 cm. Schnee- und Eisschichten mit Dimensionen dieser Grössenordnung können die Antenneneigenschaften wie Impedanz, Gewinn und Seitenlappendämpfung stark verschlechtern. Sie können im schlimmsten Fall zum Zusammenbruch der Verbindung führen.

2. Wetterschutzvorrichtungen

Ein bis anhin mit gutem Erfolg angewandter Schutz bietet das Flattertuchradom. Es handelt sich dabei um ein spezielles Tuch, das vor die Abstrahlungsöffnung einer Richtantenne gespannt wird. Der Wind versetzt es in Flatterbewegungen, so dass allfällig haftender Schnee abge-

1. Introduction

Le réseau dense des liaisons par faisceaux hertziens à micro-ondes de l'Entreprise des PTT suisses est constamment renouvelé et agrandi. 1800 conversations téléphoniques simultanées peuvent être échangées actuellement sur une liaison, total qui sera porté à 2700 dans un proche avenir. On peut concevoir que dans des installations de transmission de ce genre, la fiabilité joue un rôle important.

Les antennes à réflecteur parabolique d'un diamètre allant jusqu'à 4,3 m sont, dans une large mesure, le garant de la sécurité des liaisons. Sur les emplacements présentant de bonnes conditions de rayonnement, les antennes sont souvent exposées aux influences atmosphériques extrêmes.

L'effort mécanique de résistance au vent, à la neige et à la glace impose des exigences élevées quant à la persistance de la forme des réflecteurs ainsi qu'à leur ancrage. Des modifications même minimes altèrent visiblement les conditions de transmission car la largeur des lobes de rayonnement principaux n'est que de $3,5...0,6^\circ$.

La technique des faisceaux hertziens utilise aujourd'hui des longueurs d'ondes comprises entre 15 et 2,5 cm. Des couches de neige et de glace d'une épaisseur de cet ordre de grandeur peuvent fortement altérer les caractéristiques d'une antenne, telles que l'impédance, le gain et l'affaiblissement des lobes de rayonnement latéraux. Elles peuvent, dans les cas les plus graves, entraîner l'interruption de la liaison.

2. Dispositifs de protection contre les intempéries

Une solution satisfaisante utilisée jusqu'ici consiste à créer une protection d'étoffe flottante. Il s'agit d'une étoffe spéciale tendue devant le pavillon de rayonnement de l'an-

schüttelt wird. Dadurch sind keine Verfälschungen der Antennen-Strahlungseigenschaften durch Schnee und Eis möglich.

Man hat auch schon erwogen, die Antennen elektrisch zu heizen. Ein wirksamer Schutz ergibt sich, wenn eine Heizleistung von einigen kW/m^2 Antennenoberfläche verfügbar ist. Bei den meisten Richtfunkstationen ist die Methode aus wirtschaftlichen Gründen nicht anwendbar.

Beide Arten haben den Nachteil, dass die Antennen gegen mechanische und korrosive Einwirkungen durch Wind und Niederschlag nicht geschützt sind. Man hat deshalb nach Lösungen gesucht, bei denen die Antenne in einem allseitig geschlossenen Raum und geschützter Umgebung aufgestellt werden kann. Es existieren zur Zeit in der Schweiz zwei Mehrzweckanlagen, bei denen solche Antennenräume in das Betriebsgebäude integriert sind. (Fig. 1). Die Aussenwände bestehen dabei aus vorgefertigten Polyurethan-Hartschaumplatten. Die Eigenschaften dieses Materials in bezug auf die Verwendung als Fenster für elektromagnetische Wellen sind nachfolgend beschrieben.

3. Polyurethan-Hartschaum als Baustoff

Polyurethan-Hartschaum wird in beliebigen Formen und Grössen im Spritzverfahren hergestellt. Das Verhältnis der Stoffanteile des Reaktionsgemisches bestimmt die Zellengrösse und die Dichte des Schaumstoffes und somit auch die davon abhängigen Festigkeitswerte. Tabelle 1 enthält die Materialeigenschaften für das spezifische Gewicht von 2450 N/m^3 .

Bei einer Wandstärke von 12 cm lassen sich aus Polyurethan-Hartschaum bis zu $6 \times 6 \text{ m}$ grosse Platten herstellen, die genügend Eigenfestigkeit aufweisen, um in einer Wandausparung als «Fenster» eingesetzt zu werden. Die Aussenseiten der Platten sind mit einer dünnen Schicht aus Epoxydharz-Farbe gegen Verwitterung gestrichen. Architekt und Bauherr können hier den gewünschten Farbton wählen. Es empfiehlt sich jedoch, die vorgesehene Farbe auf ihr dielektrisches Verhalten hin zu untersuchen.

Tabelle 1. Materialeigenschaften von Polyurethan-Hartschaum

Spezifisches Gewicht	2 450 N/m^3
Zug- und Druckfestigkeit	300 N/cm^2
Biegefestigkeit	460 N/cm^2
Elastizitätsmodul	10 000 N/cm^2
Querkontraktionszahl	0,17
Wärmeleitfähigkeit	100 J/m h Grad
relative Dielektrizitätskonstante ϵ'_r	1,3 ¹
Verlustfaktor $\text{tg} \delta$	0,004...0,007 ¹

¹ Für Frequenzen $\leq 13 \text{ GHz}$.

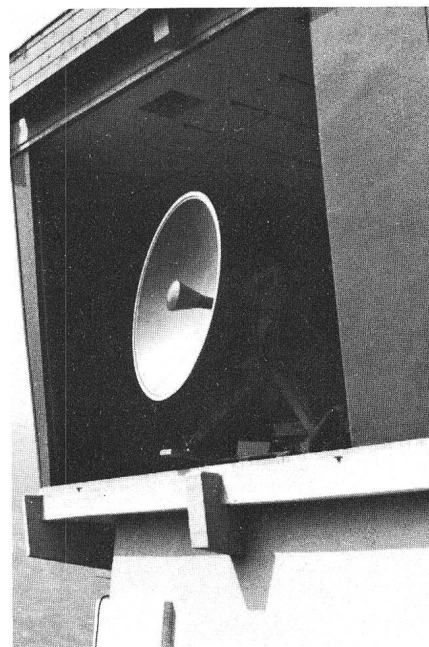


Fig. 1

Antennenterrasse der Mehrzweckanlage in Savièse mit teilweise demontierten Polyurethan-Hartschaumplatten

Terrasse d'antennes de l'installation à usages multiples de Savièse, dont une partie des panneaux en mousse rigide de polyuréthane a été enlevée

tenne directive. Le vent lui imprime des mouvements d'ondulation qui font tomber la neige adhérent au tissu. Une altération des caractéristiques de rayonnement de l'antenne par la neige ou la glace est donc impossible.

On a aussi songé à la possibilité de chauffer électriquement les antennes. La protection est efficace lorsqu'on dispose d'une puissance calorifique de quelques kW/m^2 de surface d'antenne. Dans la plupart des stations de faisceaux hertziens, cette méthode n'est pas applicable pour des raisons économiques.

Ces deux sortes de protection ont l'inconvénient de ne pas préserver les antennes contre les effets mécaniques du vent et l'action corrosive des précipitations. C'est pourquoi on a cherché des solutions permettant d'installer l'antenne dans un local fermé de tous côtés, donc en un milieu protégé. Il existe actuellement en Suisse deux installations à usages multiples, dans les bâtiments d'exploitation desquelles sont intégrés des locaux pour antennes de ce genre (fig. 1). Les parois extérieures sont faites de panneaux préfabriqués en mousse rigide de polyuréthane. Les propriétés de cette matière quant à son emploi comme fenêtre pour les ondes électromagnétiques sont décrites ci-après.

4. Polyurethan-Hartschaum als Fenster für elektromagnetische Wellen

Je grösser das spezifische Gewicht des Hartschaumes ist, desto besser fallen die mechanischen und desto schlechter die elektrischen Eigenschaften aus. Die von uns untersuchten Stücke weisen alle ein spezifisches Gewicht von 2450 N/m³ auf. Die entsprechenden dielektrischen Spezifikationen lauten:

$$\epsilon'_r = 1,3; \text{tg}\delta = 0,004\dots 0,007 \text{ für Frequenzen } \leq 13 \text{ GHz}$$

In den folgenden zwei Abschnitten werden die theoretischen und experimentellen Untersuchungen dieses Materials diskutiert.

4.1 Berechnung der Durchlassdämpfung

Die Durchlassdämpfung eines Dielektrikums setzt sich zusammen aus den Energieverlusten infolge Reflexion und Absorption. Die nachfolgenden Berechnungsformeln gelten für Materialien mit der relativen Permeabilität $\mu_r = 1$.

4.1.1 Reflexion

Das Dielektrikum in *Figur 2* wird als verlustfrei angenommen. Die Spannungs-Reflexionskoeffizienten an den Grenzschichten Luft/Dielektrikum berechnen sich bei angenähert senkrechtem Welleneinfall ($\alpha \simeq 90^\circ$) wie folgt:

$$|r| = \frac{|R_1|}{|E_1|} = \frac{|R_2|}{|E_2|} = \frac{\sqrt{\epsilon'_{r2}} - 1}{\sqrt{\epsilon'_{r2}} + 1} \quad (1)$$

Die Grösse des Gesamreflexionskoeffizienten hängt von den Beträgen und der gegenseitigen Phasenlage der Teilreflexionen R_1 und R_2 ab; er kann demzufolge zwei Extremwerte annehmen.

$$\text{Für } d = \frac{n \cdot \lambda_0}{2 \cdot \sqrt{\epsilon'_{r2}}} \text{ wird } |r_{\text{ges}}| = \text{Min} \simeq 0 \quad (2)$$

$$\text{Für } d = \frac{(2n + 1) \cdot \lambda_0}{4 \cdot \sqrt{\epsilon'_{r2}}} \text{ wird } |r_{\text{ges}}| = \text{Max} = \frac{\epsilon'_{r2} - 1}{\epsilon'_{r2} + 1} \quad (3)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots \quad \lambda_0 = \text{Wellenlänge in Luft}$$

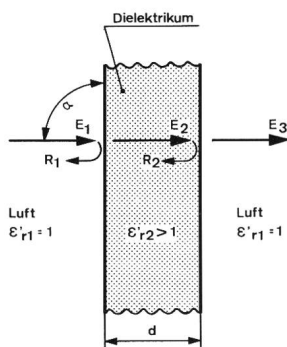


Fig. 2
Reflexion und Transmission an dielektrischem Körper
Réflexion et transmission d'un corps diélectrique

3. La mousse rigide de polyuréthane en tant que matériau de construction

La mousse rigide de polyuréthane peut être moulée par injection dans toutes les formes et dimensions souhaitables. Les proportions des composants du mélange réactif déterminent la grosseur des cellules, la densité de la mousse et, partant, sa rigidité.

Le *tableau 1* indique les propriétés du matériau pour un poids spécifique de 2450 N/m³.

Pour une épaisseur de paroi de 12 cm, il est possible de fabriquer des panneaux de 6x6 m suffisamment rigides pour être placés, en guise de «fenêtres», sur une ouverture de la façade. Les faces extérieures de ces panneaux sont recouvertes d'une couche mince de peinture à la résine époxyde, en tant que protection contre les intempéries. La couleur est laissée au choix des architectes et maîtres d'ouvrage mais il est recommandé d'examiner le comportement diélectrique de la peinture utilisée.

Tableau 1. Propriétés de la mousse rigide de polyuréthane

Poids spécifique	2450 N/m ³
Résistance à la traction et à la compression	300 N/cm ²
Résistance à la flexion	460 N/cm ²
Module d'élasticité	10 000 N/cm ²
Nombre de contractions transversales	0,17
Conductibilité thermique	100 J/m h degré
Constante diélectrique relative ϵ'_r	1,3 ¹
Angle de perte $\text{tg}\delta$	0,004...0,007 ¹

¹ Pour des fréquences ≤ 13 GHz

4. La mousse rigide de polyuréthane, fenêtre pour ondes électromagnétiques

Plus le poids spécifique de la mousse rigide est grand, meilleures sont ses propriétés mécaniques et plus mauvaises ses caractéristiques électriques. Les pièces que nous avons examinées ont toutes un poids spécifique de 2450 N/m³. Les spécifications diélectriques correspondantes sont:

$\epsilon'_r = 1,3; \text{tg}\delta = 0,004\dots 0,007$ pour des fréquences ≤ 13 GHz.

Les deux chapitres qui suivent traitent des études théoriques et expérimentales de ce matériau.

4.1 Calcul de l'affaiblissement de passage

L'affaiblissement de passage d'un diélectrique se compose des pertes d'énergie dues à la réflexion et à l'absorption. Les formules de calcul ci-après sont valables pour les matériaux dont la perméabilité relative μ_r est = 1.

Die Durchlassdämpfung infolge Reflexion beträgt somit

$$a_R = -10 \log 1 - |r_{ges}|^2 \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

4.1.2 Absorption

Die Dielektrizitätskonstante ist eine komplexe Grösse, deren Imaginärteil die dielektrischen Verluste des Materials beschreibt. Anstelle von $\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$ findet man häufig die Ausdrücke ϵ_r' und $\text{tg}\delta$. Letzterer wird als Verlustfaktor bezeichnet und ist definiert als $\text{tg}\delta = \epsilon_r''/\epsilon_r'$.

Mit diesen Begriffen lässt sich die Dämpfung infolge Energieabsorption wie folgt berechnen: [1]

$$a_A = 8,686 \cdot \pi \cdot \frac{d}{\lambda_o} \left[2 \cdot \epsilon'_{r2} (\sqrt{1 + \text{tg}^2 \delta} - 1) \right]^{1/2} \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

Für $\text{tg}\delta < 0,5$ gilt die Vereinfachung:

$$a_A = 8,686 \cdot \pi \cdot \frac{d}{\lambda_o} \sqrt{\epsilon'_{r2}} \cdot \text{tg}\delta \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

4.2 Messergebnisse

Zur Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften des Polyurethan-Hartschaumes wurden Materialproben in verschiedenen Wellenleitertypen sowie eine $1 \text{ m}^2 \times 12 \text{ cm}$ grosse Platte in einem reflexionsarmen Messraum untersucht.

In *Figur 3* ist der experimentell ermittelte Reflexionskoeffizient in Funktion der Frequenz dieser Platte dargestellt. Mit Hilfe der Formeln (1)...(3) lässt sich daraus die relative Dielektrizitätskonstante bestimmen. Sie beträgt im Frequenzbereich von 2...12 GHz $\epsilon_r' = 1,3 \pm 0,1$.

Der typische Verlauf der Durchlassdämpfung der 12 cm dicken Platte ist aus *Figur 4* ersichtlich. Die eingetragenen

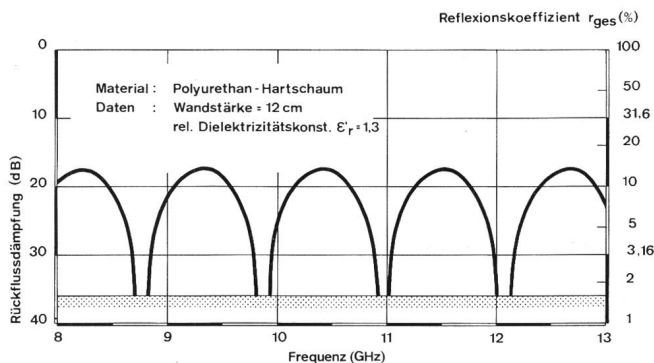


Fig. 3
Verlauf des Reflexionssignales einer ebenen Platte
Courbe du signal de réflexion d'un panneau à surface plane

4.1.1 Réflexion

Le diélectrique de la *figure 2* est considéré comme exempt de pertes. Les coefficients de réflexion de tension aux couches limites air/diélectrique se calculent de la manière suivante, pour une incidence des ondes presque perpendiculaire ($\alpha \approx 90^\circ$):

$$|r| = \frac{|R_1|}{|E_1|} = \frac{|R_2|}{|E_2|} = \frac{\sqrt{\epsilon'_{r2}} - 1}{\sqrt{\epsilon'_{r2}} + 1} \quad (1)$$

La valeur du coefficient de réflexion totale dépend de la valeur absolue et de la phase réciproque des réflexions partielles R_1 et R_2 ; elle peut prendre par conséquent deux valeurs extrêmes.

$$\text{pour } d = \frac{n \cdot \lambda_o}{2 \cdot \sqrt{\epsilon'_{r2}}} \quad \text{on aura } |r_{ges}| = \min \approx 0 \quad (2)$$

$$\text{pour } d = \frac{(2n+1) \cdot \lambda_o}{4 \cdot \sqrt{\epsilon'_{r2}}} \quad \text{on aura } |r_{ges}| = \max = \frac{\epsilon'_{r2} - 1}{\epsilon'_{r2} + 1} \quad (3)$$

$n = 0, 1, 2, \dots$ $\lambda_o =$ longueur d'onde dans l'air

L'affaiblissement de passage dû à la réflexion est donc

$$a_R = -10 \log 1 - |r_{ges}|^2 \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

4.1.2 Absorption

La constante diélectrique est une grandeur complexe dont la composante imaginaire décrit les pertes diélectriques du matériau. A la place de $\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$, on trouve fréquemment les expressions ϵ_r' et $\text{tg}\delta$. Cette dernière est désignée par angle de pertes diélectriques; elle est définie par $\text{tg}\delta = \epsilon_r''/\epsilon_r'$.

Ces notions permettent de calculer l'affaiblissement par suite d'absorption d'énergie, de la manière suivante: [1]

$$a_A = 8,686 \cdot \pi \cdot \frac{d}{\lambda_o} \left[2 \cdot \epsilon'_{r2} (\sqrt{1 + \text{tg}^2 \delta} - 1) \right]^{1/2} \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

pour $\text{tg}\delta < 0,5$ la simplification suivante est valable:

$$a_A = 8,686 \cdot \pi \cdot \frac{d}{\lambda_o} \sqrt{\epsilon'_{r2}} \cdot \text{tg}\delta \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

4.2 Résultats des mesures

Pour déterminer les propriétés diélectriques de la mousse rigide de polyuréthane, nous avons examiné des échantillons dans divers types de guides d'ondes, ainsi qu'un panneau de $1 \text{ m}^2 \times 12 \text{ cm}$, dans un local de mesure exempt de réflexion.

Le coefficient de réflexion de ce panneau, déterminé expérimentalement en fonction de la fréquence est représenté à la *figure 3*. Les formules (1)...(3) nous permettent d'en tirer la constante diélectrique relative. Nous avons $\epsilon_r' = 1,3 \pm 0,1$ dans la gamme des fréquences 2...12 GHz.

La courbe typique de l'affaiblissement de passage du panneau épais de 12 cm est visible sur la *figure 4*. Les valeurs indiquées sont entachées d'erreurs fortuites de l'ordre de

Messwerte sind mit zufälligen Fehlern von etwa $\pm 0,5$ dB behaftet. Damit ergibt sich für den Frequenzbereich von 2...12 GHz ein Verlustfaktor von $\text{tg}\delta = 0,007 \pm 0,002$.

Verläuft eine ebene Abdeckplatte gemäß *Figur 5a* senkrecht zur Antennen-Hauptstrahlungsrichtung, dann gelangt die gesamte reflektierte Energie phasengleich an den Speisepunkt der Antenne zurück, wo eine erhöhte Fehlanpassung festzustellen ist. Dadurch nehmen die Gruppenlaufzeitverzerrungen zu, so dass unter Umständen eine merkliche Qualitätseinbuße im Übertragungspfad auftritt. Durch Schrägstellen der Platten oder durch Verwenden kalottenförmiger Abdeckungen gemäß *Figuren 5b und 5c* kann dieser Störeinfluss stark herabgesetzt werden. Die Messungen der *Figuren 6 und 7* zeigen dies sehr deutlich. Man kann aus diesen Bildern ferner feststellen, dass die Abdeckungen sowohl verschlechternd wie verbessernd wirken. Eine statistische Auswertung verschiedener Messreihen führte zur Erkenntnis, dass die Veränderungen im Mittel kleiner sind als die zufälligen Messfehler, die umgerechnet etwa $\pm 0,6\%$ Reflexionskoeffizient betragen.

5. Schlussbetrachtung

Die Modelluntersuchungen im Labor und die Messungen an den Originalabdeckungen der Mehrzweckanlagen Savièse und Sântis ergeben eine klare Übersicht über die dielektrischen Eigenschaften des Polyurethan-Hartschaumes. Bei einer Plattendicke von ca. 12 cm im Frequenzbereich von 2 bis 12 GHz stellt man fest:

- Die Durchlassdämpfung beträgt maximal 0,5 bis 1,5 dB. Der äussere Schutzanstrich hat dabei keinen messbaren Einfluss.
- Unter der Voraussetzung, dass die Platten gegenüber der Antennenöffnungsebene um ca. 10...20° geneigt sind,

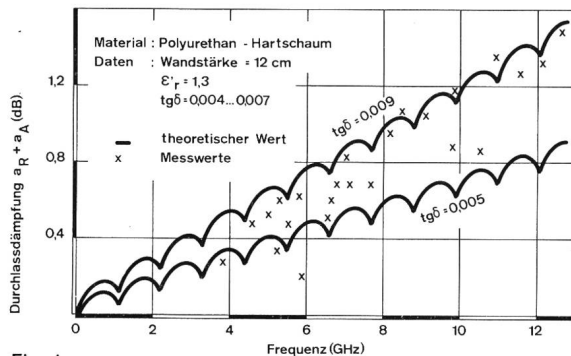


Fig. 4
Berechnete und gemessene Durchlassdämpfung einer ebenen Platte
Affaiblissement de passage d'un panneau plat calculé et mesuré

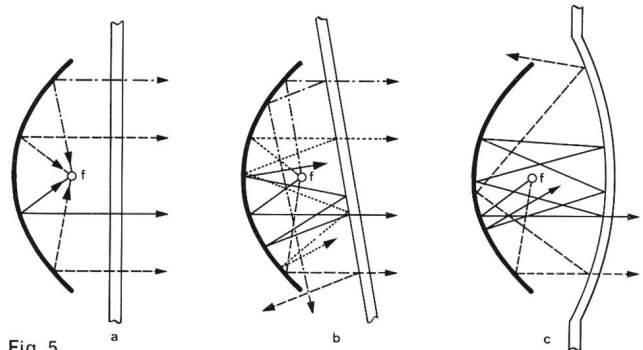


Fig. 5
Montageanordnungen von Antennenabdeckungen
Positions de montage des panneaux de protection d'antennes

- a) ebene Platte, rechtwinkliger Welleneinfall
Panneau plat, incidence des ondes à angle droit
- b) ebene Platte, schiefwinkliger Welleneinfall
Panneau plat, incidence des ondes à angle oblique
- c) kalottenförmige Abdeckung
Panneau de protection en forme de calotte

$\pm 0,5$ dB. Pour la bande des fréquences de 2...12 GHz, il en résulte un angle de pertes $\text{tg}\delta = 0,007 \pm 0,002$.

Si un panneau de protection à surface plane est placé perpendiculairement à la direction principale du rayonnement, comme l'indique la *figure 5a*, la totalité de l'énergie réfléchiée revient en phase au point d'alimentation de l'antenne et l'on constate une désadaptation accrue. Par conséquent, les distorsions du temps de propagation de groupe augmentent de sorte qu'une baisse sensible de la qualité dans la voie de transmission peut se produire. En plaçant les plaques obliquement ou en utilisant des panneaux en forme de calotte, selon les *figures 5b et 5c*, on parvient à réduire fortement cette influence perturbatrice. Les mesures des *figures 6 et 7* le montrent clairement. Au vu de ces courbes, on constate en outre que les panneaux de protection ont un effet d'altération aussi bien que d'amélioration. Un dépouillement statistique de différentes séries de mesures permet de conclure que les variations sont en moyenne, inférieures aux erreurs de mesure fortuites qui, transposées, représentent environ $\pm 0,6\%$ du coefficient de réflexion.

5. Conclusion

Les examens d'échantillons en laboratoire et les mesures effectuées sur les panneaux de protection des installations à usages multiples de Savièse et du Sântis donnent une idée claire des propriétés diélectriques de la mousse rigide de polyuréthane. Pour une épaisseur de panneau de 12 cm, on a fait, dans la gamme des fréquences de 2...12 GHz, les constatations suivantes:

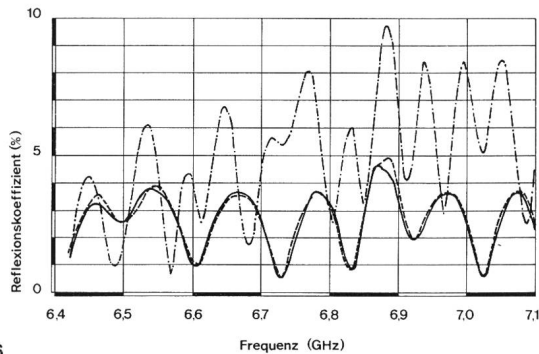


Fig. 6
 Reflexionsverhalten einer Parabolantenne von 1,75 m \varnothing mit ebener Abdeckung
 Comportement à la réflexion d'une antenne parabolique de 1,75 m \varnothing avec panneau de protection plat

- Antenne ohne Abdeckung – Antenne sans protection
- Antenne mit Abdeckung, schiefwinkliger Welleneinfall – Antenne avec protection, incidence oblique des ondes
- · - Antenne mit Abdeckung, rechtwinkliger Welleneinfall – Antenne avec protection, incidence perpendiculaire des ondes

wird das Reflexionsverhalten einer Richtstrahlantenne im Mittel nur wenig beeinflusst. Die maximalen Abweichungen des Koeffizienten betragen $\pm 1...2\%$.

- Die Kopplungsdämpfung zwischen den beiden Einspeisepunkten einer doppelt linear polarisierten Antenne, die etwa 40 dB beträgt, wird durch die Abdeckung höchstens um 1...2 dB verringert.
- Die Richtcharakteristik der Richtstrahlantennen erfährt im Bereich der Hauptstrahlungsachse keine merkbare Veränderung durch Abdeckungen aus Polyurethan-Hartschaum.

Bibliographie

[1] Arthur R. von Hippel. Dielectrics and Waves. John Wiley and Sons, Inc. New York 1954.

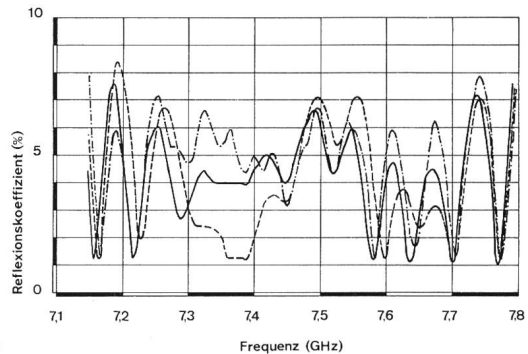


Fig. 7
 Reflexionsverhalten einer Parabolantenne von 3 m \varnothing mit kalottenförmiger Abdeckung
 Comportement à la réflexion d'une antenne parabolique de 3 m \varnothing avec panneau de protection en forme de calotte

- Antenne ohne Abdeckung – Antenne sans protection
- Antenne mit kalottenförmiger Abdeckung – Antenne avec protection en forme de calotte
- · - wie —, Antenne 11,5° geneigt – Comme —, mais avec antenne inclinée de 11,5°

- L'affaiblissement de passage est compris entre 0,5 et 1,5 dB au maximum. La peinture protectrice extérieure n'a aucune influence mesurable.
- A condition que les panneaux soient inclinés de 10...20° environ par rapport au plan de l'ouverture d'antenne, le comportement à la réflexion d'une antenne directive est peu influencé en moyenne. Les variations maximales du coefficient atteignent $\pm 1...2\%$.
- L'affaiblissement de couplage entre les deux points d'alimentation d'une antenne à polarisation linéaire double, qui se chiffre à environ 40 dB, est réduit tout au plus de 1...2 dB.
- Le diagramme de rayonnement des antennes directives ne subit aucune modification sensible dans la zone de l'axe du rayonnement principal par suite du montage des panneaux de protection en mousserigide de polyuréthane.