

Schutzanzug gegen elektromagnetische Felder bei Sendeanlagen = Vêtement de protection contre les champs électromagnétiques dans les installations émettrices

Autor(en): **Bolinger, Walter**

Objektyp: **Article**

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**

Band (Jahr): **60 (1982)**

Heft 7

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-876165>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Zusammenfassung. Bei Arbeiten, die in der Nähe von Rundfunk- und Richtstrahl-Sendeantennenanlagen auszuführen sind, können Intensitäten des elektromagnetischen Feldes auftreten, die beim Menschen schädliche Wirkungen hervorrufen können. Die von verschiedenen Staaten zugelassenen Maximalfeldstärken zum Schutz gegen thermische Wirkungen beim Menschen sind uneinheitlich festgelegt. Über allfällige biologische Wirkungen ist noch zu wenig bekannt. Um einen genügenden Sicherheitsabstand gegen thermische und andere Wirkungen zu gewährleisten, ist ein Schutzanzug mit Gesichtshaube aus metallisiertem Textilgewebe entwickelt und getestet worden. Dieser schirmt die elektromagnetischen Felder so gut ab, dass gefahrlos vor einer in Betrieb stehenden Antenne gearbeitet werden kann. Der Schutzanzug stellt einen Einmann-Faradaykäfig dar.

Résumé. Lorsqu'un être humain travaille à proximité d'installations émettrices de radiodiffusion ou à faisceaux hertziens, il peut arriver que des champs électromagnétiques intenses produisent des effets nuisibles. Les champs maximaux admissibles, en vue d'une protection de l'homme contre les effets thermiques, sont fixés différemment par les divers Etats. Afin d'assurer une marge de sécurité suffisante à l'égard d'effets thermiques ou autres, on a développé et testé un vêtement de protection et un capuchon en tissu métallisé. Cet ensemble protège si bien contre les champs électromagnétiques qu'un spécialiste peut travailler sans danger devant une antenne en service. Le vêtement de protection fait office de cage de Faraday individuelle.

Vestito di protezione contro i campi elettromagnetici presso gli impianti trasmittenti

Riassunto. Durante i lavori che vengono eseguiti nelle vicinanze di antenne per impianti di radiodiffusione e per impianti ponti radio, possono manifestarsi campi elettromagnetici di intensità tale da provocare effetti nocivi sull'uomo. Le intensità di campo massime ammesse dai diversi Stati per la protezione contro effetti termici sull'uomo non sono fissate in modo uniforme. Le eventuali conseguenze biologiche sono ancora poco conosciute. Per poter garantire un margine di sicurezza sufficiente contro gli effetti termici e altri effetti è stato sviluppato e sottoposto a prove un vestito protettivo di tessuto metallizzato compreso un casco per la faccia. Questo vestito schermo così bene i campi elettromagnetici che si può lavorare senza pericolo davanti ad un'antenna in esercizio; esso riproduce una gabbia di Faraday ad una sola persona.

1 Problemstellung

11 Wirkungen von elektromagnetischen Hochfrequenzfeldern auf den Menschen

Die Wirkung nichtionisierender elektromagnetischer Hochfrequenzfelder auf den Menschen kann grundsätzlich in zwei Gruppen aufgeteilt werden

- thermische Wirkungen
- biologische, das heisst nichtthermische Wirkungen

Beide Arten sind intensitäts- und frequenzabhängig. Die in dieser Arbeit untersuchten Schutzmassnahmen beschränken sich auf den Frequenzbereich von 30 MHz bis etwa 30 GHz.

● Thermische Wirkungen

Thermische Wirkungen elektromagnetischer Hochfrequenzfelder sind hinreichend bekannt und untersucht. Aus der Literatur geht hervor, dass für Frequenzen von 1 GHz bis etwa 300 GHz eine zeitlich zum Beispiel auf acht Stunden begrenzte Strahlungsintensität von bis zu 10 mW/cm² unschädlich ist.

Im Resonanzbereich des Körpers, das heisst im Frequenzband 50...300 MHz, kann mehr Leistung absorbiert werden, so dass thermische Schädigungen schon bei kleineren Strahlungsintensitäten auftreten können.

● Nichtthermische Wirkungen

Nichtthermische Wirkungen hochfrequenter schwacher (< 10 mW/cm²) elektromagnetischer Felder wurden

1 Enoncé du problème

11 Effets des champs électromagnétiques à haute fréquence sur l'homme

Les effets des champs électromagnétiques à haute fréquence sur l'homme peuvent être en principe répartis en deux groupes

- effets thermiques
- effets biologiques, c'est-à-dire non thermiques

Les deux catégories dépendent de l'intensité et de la fréquence. Pour ce travail, on s'est borné à examiner les mesures de protection dans la gamme de fréquences 30 MHz à environ 30 GHz.

● Effets thermiques

Les effets thermiques de champs électromagnétiques à haute fréquence sont suffisamment connus et étudiés. Les ouvrages spécialisés indiquent qu'une intensité de rayonnement ne dépassant pas 10 mW/cm² pour une durée de huit heures au plus est inoffensive dans la gamme de 1 GHz...300 GHz environ.

En revanche, le corps humain peut absorber plus de puissance dans la plage où se situe sa résonance propre, c'est-à-dire dans la gamme de 50...300 MHz, de sorte que des lésions d'origine thermique peuvent déjà apparaître à des intensités de rayonnement plus faibles.

● Effets non thermiques

Les effets non thermiques de champs électromagnétiques à haute fréquence faibles (< 10 mW/cm²) ont fait

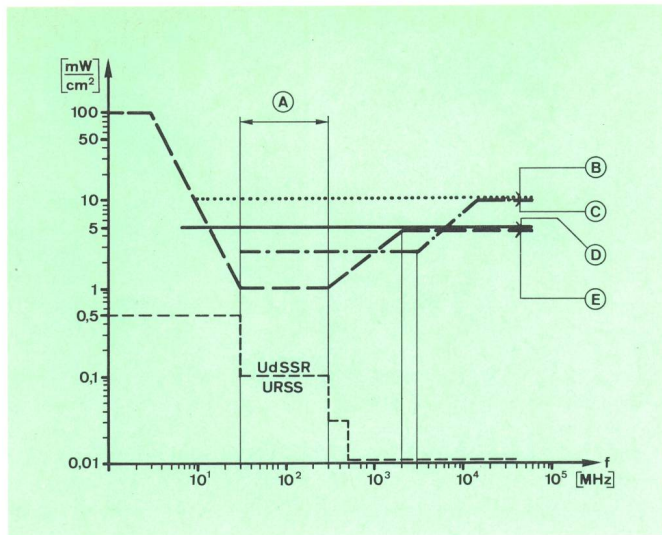


Fig. 1
Maximal zulässige Strahlungsintensität von elektromagnetischen Feldern im Umfeld von Personen — Intensité de rayonnement maximale admissible de champs électromagnétiques à proximité de personnes

(A) —> Resonanzbereich des menschlichen Körpers — Plage de résonance du corps humain

(B) USA bisher, BRD — USA jusqu'ici, RFA

(C) - - - - BRD-Vorschlag VDE 0848, Mai 1981 — Proposition RFA VDE 0848, mai 1981

(D) ——— Schweiz — Suisse

(E) - - - - USA-Vorschlag (entspricht einer Absorption von 0,4 W/kg) — Proposition USA (correspond à une absorption de 0,4 W/kg)

in den letzten 5...10 Jahren intensiv untersucht. Dabei deuten gewisse statistische Reihenuntersuchungen auf leicht gestörte Körperfunktionen (Blutdruck, EKG [Elektrokardiogramm], EEG [Elektroenzephalogramm], erhöhte Erregbarkeit). Solche Wirkungen scheinen aber im Gegensatz zu thermischen Wirkungen individuell ungleich aufzutreten.

Bei den «nichtthermischen Wirkungen» ist zu beachten, dass deren Ursprung zum Teil ebenfalls auf Erwärmung zurückgeführt werden könnte, besonders dann, wenn eine ungleichmäßige Absorption in den verschiedenen Geweben auftritt. Im Anhang finden sich Literaturhinweise zu diesem Problemkreis.

12 Vorschriften über maximal zulässige Mikrowellen-Strahlungsintensitäten im Umfeld von Personen

Figur 1 zeigt die in verschiedenen Staaten maximal zugelassene Mikrowellen-Strahlungsintensität im Umfeld von Personen. Die Uneinheitlichkeit (Unterschiede bis über 20 dB) zeigt die Unsicherheit der Beurteilungen bei solchen Untersuchungen.

13 Aufenthalt von Personen in starken elektromagnetischen Feldern bei PTT-Anlagen

Gelegentlich müssen Arbeiten an Sendeantennen von UKW- und Fernsehsendern im VHF- und UHF-Bereich oder vor Mikrowellen-Richtfunkantennen ausgeführt werden. Dabei können die Personen Strahlungsintensitäten von einigen mW/cm² bei Richtfunk- oder bis zu ei-

l'objet d'études poussées au cours des 5...10 ans écoulés. En se fondant sur divers examens de séries statistiques, on s'est aperçu que certaines fonctions physiques étaient légèrement perturbées (tension artérielle, activité du cœur et du cerveau, excitabilité accrue). Il semble cependant que de tels effets apparaissent de manière non uniforme et propre à chaque individu, à l'opposé des effets thermiques.

Pour ce qui est des «effets non thermiques», il convient d'observer que leur origine est en partie également imputable à l'échauffement, en particulier lorsqu'une absorption irrégulière se produit dans divers tissus. La bibliographie qui figure en annexe renvoie à ces problèmes.

12 Prescriptions relatives à l'intensité de rayonnement maximale admissible en micro-ondes à proximité de personnes

La figure 1 montre l'intensité de rayonnement maximale admissible en micro-ondes à proximité de personnes, dans les divers Etats. L'hétérogénéité des résultats (différence jusqu'à 20 dB) illustre l'insécurité d'évaluation qui règne lors de telles recherches.

13 Personnes exposées à des champs électromagnétiques puissants dans les installations des PTT

Il arrive que des travaux doivent être effectués à des antennes émettrices OUC et TV opérant dans la gamme des VHF et des UHF ou devant des antennes à faisceaux hertziens. Dans ces conditions, le personnel peut être exposé à des intensités de rayonnement allant de quelques mW/cm² dans le cas de faisceaux hertziens à quelques 10 mW/cm² dans celui des antennes OUC et TV.

Pour des raisons d'exploitation, il est de toute façon interdit au grand public de se tenir à proximité de telles antennes.

2 Méthodes de mesure

21 Appareils servant à mesurer l'intensité de rayonnement (densité de puissance)

On dispose d'instruments étalonnés directement en mW/cm² pour mesurer l'intensité du rayonnement. Le modèle utilisé (fig. 2) possède deux sondes de mesure à large bande. La sonde étalonnée dans la gamme de fréquences 10...300 MHz détecte les composantes magnétiques du champ. En revanche, la sonde étalonnée pour la plage de fréquences 300 MHz...26 GHz répond aux composantes électriques du champ. Le diagramme d'antenne des sondes de mesure est pratiquement isotrope ($\pm 0,5$ dB). En raison d'erreurs dues à l'instrument et aux conditions d'étalonnage difficiles, les mesures présentent une marge d'incertitude de ± 1 dB.

22 Mesures à l'aide d'une antenne de mesure

A des fins de contrôle et de comparaison ainsi que pour la mesure de faibles intensités de rayonnement dans le champ éloigné ($< 0,05$ mW/cm²), on a utilisé di-

nigen 10 mW/cm^2 bei UKW- und Fernsehantennen ausgesetzt werden.

Ein Aufenthalt im Nahbereich solcher Antennen ist einem breiteren Publikum bereits aus betrieblichen Gründen verwehrt.

2 Messmethoden

21 Geräte zur Messung von Strahlungsintensität (Leistungsdichte)

Zur Messung von Strahlungsintensitäten sind direkt in mW/cm^2 geeichte Instrumente verfügbar. Das eingesetzte Modell (Fig. 2) besitzt zwei breitbandige Messsonden. Die im Frequenzbereich $10\text{...}300 \text{ MHz}$ geeichte Sonde detektiert die magnetische Feldkomponente. Die Sonde, die im Frequenzbereich $300 \text{ MHz...}26 \text{ GHz}$ geeicht ist, detektiert die elektrische Feldkomponente. Das Antennendiagramm der Messsonden ist nahezu isotrop ($\pm 0,5 \text{ dB}$). Die Instrumentenfehler und schwierigen Eichbedingungen gestatten Messungen, die mit einer Unsicherheit von $\pm 1 \text{ dB}$ behaftet sind.

22 Messungen mit Messantenne

Zu Kontroll- und Vergleichszwecken sowie für Messungen kleiner Strahlungsintensitäten im Fernfeld ($< 0,05 \text{ mW/cm}^2$) wurden verschiedene Messantennen und -empfänger verwendet. Diese Messungen weisen eine Unsicherheit von maximal $\pm 2 \text{ dB}$ auf.

3 Feldintensitäten bei Frequenzen über 50 MHz

Bei PTT-Anlagen muss grundsätzlich zwischen eigentlichen Rundfunk- und Fernsehsendeanlagen im VHF- und UHF-Bereich ($\sim 50\text{...}900 \text{ MHz}$) und Sichtverbindungs-Richtstrahlanlagen im Mikrowellenbereich unterschieden werden.

31 Feldintensitäten bei UKW- und Fernsehsendeanlagen

Zur Beurteilung der Feldintensität bei Sendeantennen kann das Strahlungsfeld grob in einen Nah- und Fernfeldbereich unterteilt werden.

Bei den üblichen Dipolantennenfeldern verbreitert sich das abgestrahlte Wellenbündel im Nahbereich nur unwesentlich und breitet sich in erster Näherung als ebene Wellenfront in einem Raum mit der Antennenfläche als Grundfläche aus. Mit zunehmender Entfernung von der Antennenöffnung verändert sich die Verteilung der Wellenintensität über dem Querschnitt. Im Fernfeld sind die Wellenfronten sphärisch, so als würden sie vom Mittelpunkt der Antenne ausgehen.

Die Ausdehnung des Nahfeldes nimmt proportional mit der Grösse der wirksamen Antennenfläche (Öffnungsebene) und der Frequenz zu. Für Dipolantennenfelder (mit $\lambda/2$ -Abstand zwischen den einzelnen Dipolen) im VHF- und UHF-Bereich kann als grober Richtwert für den Nahfeldbereich die Diagonale des Antennenfeldes eingesetzt werden. Dipolfelder mit nur einseitiger Bündelung haben in Antennennähe zylindersegmentförmige Wellenfronten.

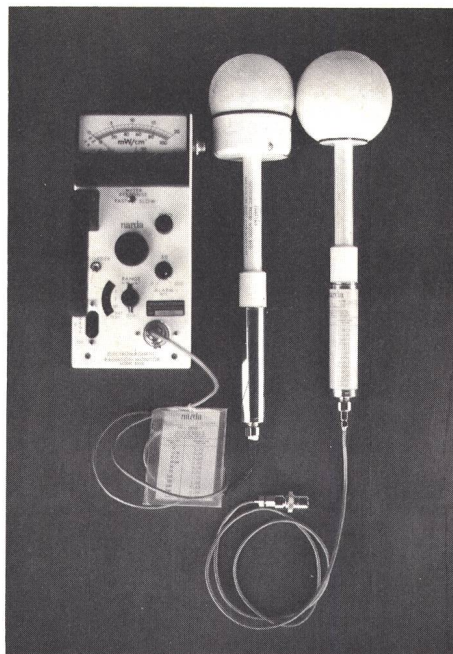


Fig. 2
Gerät zur Messung der Strahlungsintensität in mW/cm^2 mit zwei Messsonden für die Frequenzbereiche $10\text{...}300 \text{ MHz}$ und $300 \text{ MHz...}26 \text{ GHz}$ — Instrument de mesure servant à déterminer l'intensité de rayonnement en mW/cm^2 avec deux sondes de mesure pour les gammes de fréquences $10\text{...}300 \text{ MHz}$ et $300 \text{ MHz...}26 \text{ GHz}$

verses antennes de mesure et divers récepteurs. L'imprécision de ces mesures n'excède pas $\pm 2 \text{ dB}$ au maximum.

3 Intensité de champ dans les installations PTT aux fréquences supérieures à 50 MHz

Dans les installations PTT, il y a lieu de faire une distinction fondamentale entre les installations de radiodiffusion et de télévision opérant dans la gamme des VHF et des UHF ($\sim 50\text{...}900 \text{ MHz}$) et les liaisons en visibilité directe à faisceaux hertziens dans la plage des micro-ondes.

31 Intensité de champ dans les installations émettrices OUC et TV

Pour évaluer l'intensité de champ provenant d'antennes émettrices, on peut subdiviser sommairement le champ en une zone proche et en une zone éloignée.

Dans le cas des panneaux de dipôles usuels, le faisceau d'onde rayonné ne se disperse qu'insensiblement dans la zone proche et se propage en première approximation sous forme d'un front d'ondes plan dans un espace dont la surface d'antenne constitue la base. Plus on s'éloigne de l'ouverture d'antenne, plus la répartition de l'intensité d'ondes se modifie par rapport à la section de l'antenne. Dans le champ éloigné, les fronts d'ondes sont sphériques, comme s'ils partaient du point central de l'antenne.

L'étendue du champ proche augmente proportionnellement à la grandeur de la surface effective d'antenne (plan d'ouverture) et à la fréquence. Pour les panneaux de dipôles (espacement $\lambda/2$ entre les dipôles discrets) dans la gamme des VHF et des UHF, on peut considérer la diagonale du panneau d'antennes en tant que valeur

311 Bestimmung der Feldintensität im Nahbereich von Sendeantennen

Eine vereinfachte theoretische Bestimmung der Strahlungsintensität vor der Dipolwand kann mit folgenden Annahmen gemacht werden:

- Die Strahlung tritt in Form eines ebenen, das heisst linear polarisierten Feldes aus der wirksamen Antennenfläche der Dipolwand. Sie hat im zu betrachtenden Abstandsbereich die begrenzte Ausdehnung der Antennenfläche und ist darin homogen.
- Die Feldkomponenten, die in Form von Blindleistung ausgestrahlt werden, pendeln zwischen dem Dipolelement und dem umgebenden Raum (bis etwa $\lambda/2$) hin und her und tragen nicht zur Strahlung bei.

Somit beträgt die Strahlungsdichte S_N im Nahbereich bei gleichförmiger Anspeisung der Dipolwand

$$S_N = \frac{P_s}{A_w} \quad [\text{W/m}^2]$$

Die Strahlungsdichte wird jedoch meistens in $[\text{mW/cm}^2]$ angegeben.

- P_s = Gesamtspeiseleistung der Dipolwand [W]
- A_w = wirksame Antennenfläche der Dipolwand $[\text{m}^2]$

312 Bestimmung der Strahlungsintensität im Fernfeld

Da die Wirkfläche in direktem Zusammenhang mit dem Antennengewinn steht, kann auch für das Fernfeld die Strahlungsintensität über diese Grösse bestimmt werden.

Die Wirkfläche A_w ist

- $A_w = A_i \cdot G_i$
- A_i = Wirkfläche der isotropen Antenne ($A_i = \lambda^2/4\pi$)
- G_i = Gewinn in bezug auf die isotrope Antenne

Die Strahlungsintensität im Fernfeld ist

$$S_{F_{\max}} = \frac{P_s \cdot A_w}{r^2 \cdot \lambda^2} \quad [\text{W/m}^2]$$

- P_s = Gesamtspeiseleistung der Dipolwand [W]
- r = Abstand zur Sendeantenne (Dipolwand) [m]
- λ = Wellenlänge des Sendesignals [m]
- A_w = Wirkfläche der Antenne $[\text{m}^2]$

Bei den praktischen Berechnungen muss wegen der Bodenreflexion der doppelte Wert der Strahlungsintensität angenommen werden.

Die Maxima treten als Hyperbelkurven in Erscheinung, die in der näheren Umgebung einer Sendeantenne gut nachweisbar sind (Fig. 4).

313 Berechnete und gemessene Werte von Strahlungsintensitäten bei UKW- und Fernsehseudeanlagen

Figur 3 zeigt die gemessenen und berechneten Werte von Strahlungsintensitäten bei den VHF- und UHF-Sendeantennen auf dem Säntis.

Die gemessenen Maximalwerte sind mit einem Kreis bezeichnet und gelten innerhalb des Polyurethan-Wet-

indicative sommaire pour le champ proche. Les panneaux de dipôles avec focalisation unilatérale ont, à proximité de l'antenne, des fronts d'ondes ressemblant à des segments de cylindres.

311 Détermination de l'intensité de champ dans la zone proche d'antennes émettrices

On peut partir de l'hypothèse suivante pour déterminer théoriquement de manière simplifiée l'intensité de rayonnement d'un panneau de dipôles:

- Le rayonnement quitte la surface effective d'antenne du panneau de dipôles sous forme d'un champ plan polarisé linéairement. Ce rayonnement a, à la distance considérée, l'étendue limitée de la surface d'antenne et il y est homogène.
- Les composantes de champ rayonnées sous forme de puissance réactive oscillent entre l'élément dipôle et l'espace avoisinant (jusqu'à environ $\lambda/2$) et ne contribuent pas au rayonnement.

C'est pourquoi, dans le cas d'une alimentation homogène du panneau de dipôles, la densité de rayonnement S_N dans la zone proche est:

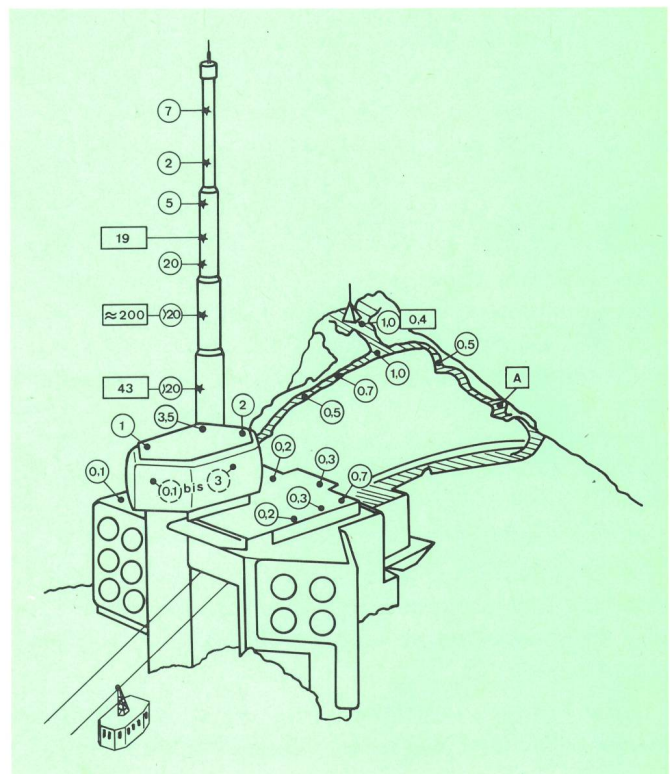


Fig. 3 Mehrzweckanlage Säntis: Berechnete und gemessene Werte von Strahlungsintensitäten im VHF- und UHF-Bereich — Installation à usages multiples du Säntis: Valeurs calculées et mesurées d'intensités de rayonnement dans la gamme des VHF et des UHF

- Strahlungsintensität — Intensité de rayonnement:
- * — Berechnete Werte $\frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$ — Valeurs calculées $\frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$
- — Messwerte: Maximal mögliche Ablesung $20 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$ — Valeurs mesurées: Lecture maximale possible: $20 \frac{\text{mW}}{\text{cm}^2}$
- * — Innerhalb Polyurethan-Verkleidung — A l'intérieur du carénage en polyuréthane
- — Auf Augenhöhe — A la hauteur des yeux
- — Innerhalb des Polyurethanaufbaus auf Augenhöhe — A l'intérieur du carénage en polyuréthane, à la hauteur des yeux
- A — Öffentlich begehbarer Weg — Chemin accessible au public
- Bis — Jusqu'à

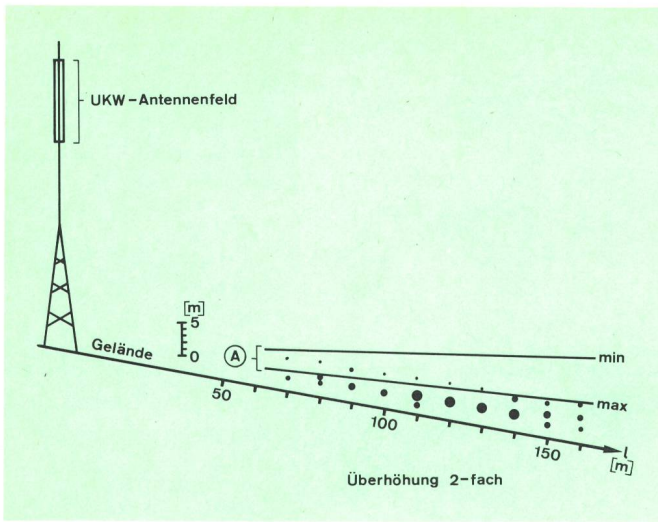


Fig. 4
Sendeanlage Les Orjons: Relative Feldstärke in der Umgebung der Sendeanlage, beeinflusst durch die Bodenreflexion — Installation émettrice des Orjons: Champ relatif à proximité de l'installation émettrice, compte tenu des réflexions au sol

Gemessene Werte — Valeurs mesurées:

- $P_E \text{ max}$
- -2 dB
- -4 dB
- -6 dB
- -8 dB und mehr/et plus

Ⓐ Theoretische Hyperbelkurven der Maximal- und Minimalwerte von direktem Signal und von der Bodenreflexion — Courbes hyperboliques théoriques des valeurs maximales et minimales du signal direct et de la réflexion au sol

UKW-Antennenfeld — Panneau d'antennes OUC

Gelände — Terrain

Überhöhung 2fach — Surhaussement 2 fois

terschützes, das heisst bei einem Abstand von etwa 1...2 m vom Antennenfeld.

In unmittelbarer Nähe von Metallstrukturen können örtlich begrenzte Strahlungsmaxima auftreten, die etwa einer Verdoppelung der Freiraum-Feldstärke und damit einer Vervielfachung der entsprechenden Strahlungsdichte entsprechen. Solche Erhöhungen wurden insbesondere bei Metallkonstruktionen im Innern des Polyurethanaufbaus gemessen. Die Strahlungsdichte in den Betriebs-, Aufenthalts- und Büroräumen liegt überall unter $0,05 \text{ mW/cm}^2$.

Bei den berechneten Werten im Nahbereich wurde eine über die wirksame Antennenfläche homogen abgestrahlte, ebene Welle vorausgesetzt.

Figur 4 zeigt Fernfeldmessungen bei der Sendeanlage Les Orjons. Die von der Bodenreflexion herrührenden Maxima- und Minima-Feldstärken in Form von Hyperbelkurven sind bei den gemessenen Werten deutlich erkennbar. Die gemessenen Maximalwerte sind ungefähr 2 dB grösser als die berechneten Werte. Diese wurden aus dem theoretischen Vertikaldiagramm und dem geometrischen Bodenverlauf bestimmt.

32 Feldintensitäten bei Mikrowellenverbindungen

321 Bestimmung der Strahlungsintensität vor Mikrowellenantennen

Antennen für Richtfunkverbindungen im Mikrowellenbereich haben Ausdehnungen von mehreren zehn bis über hundert Wellenlängen. Sie sind für eine möglichst

$$S_N = \frac{P_s}{A_w} \quad [\text{W/m}^2]$$

La densité de rayonnement est toutefois généralement indiquée en mW/cm^2

P_s = Puissance d'alimentation totale du panneau de dipôles [W]

A_w = Surface effective d'antenne du panneau de dipôles [m^2]

312 Détermination de l'intensité de rayonnement dans le champ éloigné

Etant donné que la surface active est en rapport direct avec le gain de l'antenne, on peut également déterminer le rapport entre l'intensité de rayonnement et cette grandeur pour le champ éloigné.

La surface effective A_w est:

$$A_w = A_i \cdot G_i$$

A_i = surface effective de l'antenne isotrope ($A_i = \lambda^2/4\pi$)

G_i = gain par rapport à une antenne isotrope

L'intensité de rayonnement dans le champ distant est

$$S_{F\text{max}} = \frac{P_s \cdot A_w}{r^2 \cdot \lambda^2} \quad [\text{W/m}^2]$$

P_s = puissance d'alimentation totale du panneau de dipôles [W]

r = distance jusqu'à à l'antenne émettrice (panneau de dipôles) [m]

λ = longueur d'onde du signal d'émission [m]

A_w = surface effective de l'antenne [m^2]

Lors des calculs pratiques, il y a lieu d'admettre une valeur double pour l'intensité de rayonnement en raison des réflexions au sol.

Les maximums apparaissent sous forme de courbes hyperboliques, qui peuvent nettement être mises en évidence à proximité immédiate d'une antenne émettrice (fig. 4).

313 Valeurs d'intensité de rayonnement calculées et mesurées dans des installations émettrices OUC et de TV

La figure 3 montre les valeurs mesurées d'intensité de rayonnement dans des installations émettrices VHF et UHF du Säntis.

Les valeurs maximales mesurées sont désignées par un cercle et sont valables à l'intérieur du carénage en polyuréthane, c'est-à-dire à une distance d'environ 1...2 m de l'élément d'antennes.

Des maximums de rayonnements limités peuvent apparaître localement à proximité immédiate de structures métalliques, valeurs qui sont environ deux fois plus puissantes que le champ mesuré dans l'espace libre, ce qui correspond à une multiplication par 4 de la densité de rayonnement correspondante. De tels accroissements ont surtout été mesurés dans des constructions métalliques à l'intérieur de la superstructure en polyuréthane. La densité de rayonnement dans les locaux d'exploitation et de séjour ainsi que dans les bureaux se situe partout au-dessous de $0,05 \text{ mW/cm}^2$.

gleichförmige Ausleuchtung des Parabolreflektors ausgelegt, dessen Projektionsfläche die wirksame Antennenfläche darstellt.

Das Nahfeld hat wegen des grossen Antennendimension-zu-Wellenlängen-Verhältnisses eine Ausdehnung von mehreren zehn bis über hundert Meter.

Bei homogener Ausleuchtung kann die Strahlungsintensität in diesem Bereich folgendermassen bestimmt werden

$$S = \frac{P_s}{A_w} \quad [\text{W/m}^2]$$

Die Strahlungsintensität im Fernfeld von Antennen von Mikrowellenverbindungen der PTT ist bei den verwendeten Anlagen so gering, dass hier keine Untersuchungen nötig sind.

322 Berechnete und gemessene Werte von Strahlungsintensitäten bei Mikrowellenverbindungen

Sendeleistungen von Sichtverbindungs-Richtstrahlanlagen zu Fernmeldezwecken in der Schweiz betragen normalerweise höchstens 20 W. Damit sind Feldintensitäten, die von elektrisch undichten Leitungssystemen stammen oder hinter einer Richtantenne auftreten, in jedem Fall kleiner als 1 mW/cm².

Vor einer Antenne können die Leistungsdichten höher sein, besonders dann, wenn mehrere Sender auf eine einzelne Antenne geschaltet sind. Als theoretisch maximale Abstrahlungsleistungen sind beispielsweise 360 W bei einer CSF-Antenne und 180 W bei einer Parabolantenne mit PTT-Strahler möglich.

Figur 5 zeigt die berechnete und die mit dem Strahlungsintensitätsmesser ermittelte Leistungsdichte vor einer Parabolantenne von 1,75 m Durchmesser und 10 W Speiseleistung. Die integrierte gemessene Empfangsleistung ist um 12 % höher, was einer Ungenauigkeit von +0,5 dB entspricht.

Auf den Richtstrahlstationen Albis und Säntis wurden an ausgesuchten Antennen die Strahlungsintensitäten

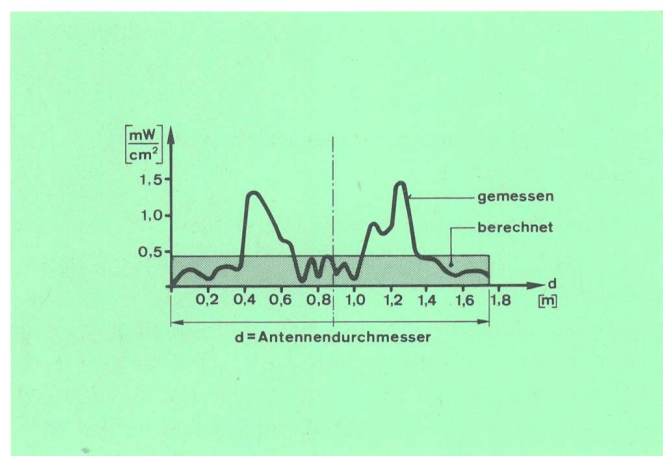


Fig. 5
Gemessene und berechnete Leistungsdichte vor einer Parabolantenne — Densité de puissance mesurée et calculée devant une antenne parabolique
Antennendurchmesser — Diamètre de l'antenne
Gemessen — Mesurée
Berechnet — Calculée

Pour les valeurs calculées dans la zone proche, on a admis une surface effective d'antenne homogène rayonnant un front d'ondes plan.

La figure 4 montre les mesures de champ éloigné pour l'installation émettrice des Ordon. On reconnaît clairement les champs maximaux et minimaux provenant des réflexions au sol, qui se présentent sous forme de courbes hyperboliques. Les valeurs maximales mesurées dépassent de 2 dB environ les valeurs calculées. Ces dernières ont été déterminées à partir du diagramme vertical théorique et du profil topographique géométrique.

32 Intensités de champ des liaisons à micro-ondes des PTT

321 Détermination de l'intensité de rayonnement d'antennes à micro-ondes

Les antennes pour faisceaux hertziens dans la plage des micro-ondes ont une dimension physique qui, comparée aux longueurs d'ondes, est de dix à plus de cent fois supérieure. Elles sont prévues pour un rayonnement aussi régulier que possible du réflecteur parabolique, dont la surface, en projection, représente la surface d'antenne effective.

En raison du rapport important entre la dimension de l'antenne et les longueurs d'ondes, le champ proche a une étendue de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres.

Dans le cas d'un rayonnement homogène, l'intensité de rayonnement dans cette gamme peut être déterminée comme il suit

$$S = \frac{P_s}{A_w} \quad [\text{W/m}^2]$$

L'intensité de rayonnement dans le champ éloigné d'antennes assurant des liaisons à micro-ondes des PTT est si faible, dans les installations utilisées, qu'aucune recherche n'est ici nécessaire.

322 Valeurs calculées et mesurées d'intensité de rayonnement des liaisons à micro-ondes

En Suisse, les puissances d'émission d'installations à faisceaux hertziens pour liaisons en visibilité directe à des fins de télécommunication s'élèvent habituellement à 20 W au plus. De ce fait, les intensités de champ provenant d'un système d'alimentation électriquement non étanche ou décelables derrière une antenne dirigée sont dans tous les cas inférieures à 1 mW/cm² au maximum.

En revanche, les densités de puissance peuvent être plus élevées devant une antenne, tout particulièrement lorsque plusieurs émetteurs y sont connectés. La puissance de rayonnement théorique maximale est par exemple de 360 W au maximum pour une antenne CSF et de 180 W pour une antenne parabolique pourvue d'un rayonneur PTT.

La figure 5 montre la densité de puissance calculée et déterminée à l'aide d'un mesureur d'intensité de rayonnement devant une antenne parabolique d'un diamètre de 1,75 m, alimentée avec une puissance de 10 W. Après intégration des valeurs mesurées, la puissance d'ali-

Tabelle I. Gemessene und berechnete Leistungsdichten vor verschiedenen Mikrowellenantennen
 Tableau I. Densités de puissance mesurées et calculées devant diverses antennes à micro-ondes

		Strahlungsintensität gemessen (maximal) — Intensité de rayonnement mesurée (maximal) mW/cm ²	
Antennentyp — Type d'antenne	Beschaltung — Alimentation	Intensitätsmessgerät — Instrument de mesure d'intensité	Berechnet (homogene Ausleuchtung) — Calculée (illumination homogène)
CSF	4 GHz: 2 × 20 W 6 GHz: 2 × 5 W	0,5	0,3
CSF	4 GHz: 2 × 20 W 11 GHz: 1 × 20 W	1	0,4
CSF	4 GHz: 4 × 10 W 4 × 10 W 6 GHz: 2 × 15 W	3	0,8
Muschel — Coquille 4 m	2 GHz: 2 × 5 W	0,1	0,5
Parabol — Parabole Ø 4,3 m	2,5 GHz: 2 × 5 W 3 × 5 W	0,7	0,2
Parabol — Parabole Ø 1,75 m	4 GHz: 3 × 16 W	4	2
Muschel — Coquille 3 m	4 GHz: 2 × 16 W 1 × 5 W	2,5	0,5
Parabol — Parabole Ø 4,3 m	6 GHz: 1 × 15 W 1 × 7,6 W	0,2	0,1

gemessen. Man wählte Antennen verschiedener Formen und Grössen, die möglichst hohe Sendeleistungen abstrahlen. *Tabelle I* zeigt die gemessenen Leistungsdichten und die Beschaltung der verschiedenen Antennen. Die Strahlungsintensität zwischen Hornstrahler und Subreflektor in der CSF-Antenne ist 10...20mal grösser als der maximale Wert in der Öffnungsebene. Die gemessenen Werte liegen teilweise bis zum Fünffachen (7 dB) über dem theoretisch mit homogener Abstrahlung über der Antennenfläche berechneten Wert. Wegen der schwierigen Feldbedingungen konnten die verschiedenen Messungen nicht immer bei den gleichen Messebenen gemacht werden. Es wurde angestrebt, möglichst den maximalen Wert in der Öffnungs- oder Kragenebene der Antenne zu erfassen.

4 Mögliche Massnahmen zum Personenschutz

41 Bauliche Massnahmen

Betriebliche Bedingungen bedürfen baulicher Massnahmen, die in allen Stationen einen Aufenthalt im Nahfeldbereich der Antennen für Drittpersonen verunmöglichen. Daher sind bei PTT-Sendeanlagen keine öffentlichen Schutzvorrichtungen gegen elektromagnetische Hochfrequenzfelder nötig.

Öffentlich zugängliche Orte im Umfeld von PTT-Sendeanlagen weisen Strahlungsintensitäten von höchstens 1 mW/cm² auf und sind daher für gelegentlichen Aufenthalt ungefährlich. (Dies gilt nicht für ständig bewohnte Gebäude.)

42 Betriebliche Bedingungen

Unterbrüche von Mikrowellenverbindungen sind nur mit vorgängig geplantem organisatorischem Aufwand möglich, so dass kurzfristige Arbeiten (wie Schneesäu-

mentation est de 12 % supérieure, ce qui correspond à une imprécision de +0,5 dB.

Aux stations à faisceaux hertziens de l'Albis et du Säntis, on a effectué des mesures d'intensité de rayonnement à des antennes déterminées. Celles qui ont été choisies avaient différentes formes et grandeurs, de sorte que les puissances émises étaient aussi différentes que possible. La *tableau I* montre les densités de puissance mesurées et l'alimentation des différentes antennes. Les valeurs mesurées se situent parfois à un niveau cinq fois supérieur (7 dB) au rayonnement homogène théorique calculé. L'intensité de rayonnement entre le cornet rayonnant et le réflecteur secondaire dans l'antenne CSF est de 10...20 fois supérieure à la valeur maximale dans le plan d'ouverture. En raison des conditions difficiles, en campagne, les diverses mesures n'ont pas toujours été faites pour le même plan de mesure, cependant, on s'est efforcé de déterminer au mieux la valeur maximale.

4 Mesures réalisables en vue de protéger les personnes

41 Mesures au niveau de la construction

Dans toutes les stations d'émission, les conditions d'exploitation sont telles que les mesures prises au niveau de la construction empêchent dans tous les cas que de tierces personnes n'accèdent au champ proche des antennes. C'est pourquoi, dans les installations émettrices des PTT, aucun dispositif de protection officiel contre les champs électromagnétiques à haute fréquence n'est nécessaire.

Les secteurs qui sont accessibles au public à proximité des antennes émettrices des PTT présentent des intensités de rayonnement ne dépassant pas 1 mW/cm², raison pour laquelle il est parfaitement inoffensif de s'y

mung) im Betriebszustand ausgeführt werden müssen. Der Aufenthalt vor Antennen im Betriebszustand sollte auf möglichst kurze Zeit beschränkt werden. Bei UKW- und Fernsehsendeanlagen kann in einzelnen Fällen die Leistung für kürzere Zeit abgesenkt werden, wodurch für Arbeiten an Antennenfeldern eine Reduktion der Strahlungsintensität ermöglicht wird.

43 Schutzvorrichtungen (Schutzanzug)

Da die Strahlungsintensitäten in der Grössenordnung von 1...100 mW/cm² liegen, genügen für den Kopf und die übrigen Körperteile Schutzvorrichtungen mit einer etwa 100fachen Verminderung der Feldintensität.

Dabei eignet sich am besten ein Schutzanzug mit Kopfschutz, der aus absorbierendem oder reflektierendem Material gefertigt ist. Strahlungsabsorbierendes Material kommt wegen zu grosser Materialdicke und damit zu grossem Gewicht sowie aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Frage.

Dünne strahlungsreflektierende Schichten (Metallschichten) lassen sich auf synthetische Gewebe aufbringen. Derart metallisierte Textilien eignen sich gut zur Herstellung eines Schutzanzuges in Form eines ganzteiligen Überkleides. Als Kopfschutz kann ein metallisiertes Netz mit einer Maschenweite von rund 1 mm verwendet werden, das eine noch genügende Durchsicht gewährleistet.

5 Verwirklichung eines Schutzanzuges mit Gesichtshaube

51 Konzept

Der in *Figur 6* abgebildete Schutzanzug ist als einteiliger Schutzanzug aus einem metallisierten Gewebe gefertigt. An den Innenseiten der Arm- und Beinöffnungen sind absorbierende Schaumstoffstreifen aufgenäht, die die Fortpflanzung von Oberflächenwellen auf der Innenseite des Anzuges verhindern. Auf abgeschirmte Hand-



Fig. 6
Schutzanzug — Vêtement de protection

tenir occasionnellement. (Cette remarque ne s'applique pas aux bâtiments continuellement habités.)

42 Conditions au niveau de l'exploitation

Des interruptions de liaisons à micro-ondes ne sont possibles que si elles ont été prévues en conséquence et au prix de mesures d'organisation importantes, de sorte que de brefs travaux occasionnels (par exemple l'évacuation de la neige) doivent être effectués en cours d'exploitation. Le séjour devant des antennes en fonctionnement devrait être limité à une durée aussi courte que possible. Dans les installations émettrices OUC et de TV, la puissance d'émission peut parfois être réduite pendant un certain temps, ce qui permet les travaux à des panneaux d'antennes avec une intensité de rayonnement restreinte.

43 Dispositifs de protection (vêtement de protection)

Etant donné que les intensités de rayonnement se situent dans un ordre de grandeur de 1...100 mW/cm², les dispositifs qui protègent la tête et les autres parties du corps en abaissant l'intensité de champ d'un facteur 100 sont suffisants.

Le meilleur moyen d'y parvenir est de recourir à un vêtement de protection avec un capuchon (casque avec voile facial protégeant la tête entière), fabriqué en un matériel absorbant ou réfléchissant. Les matériaux absorbant le rayonnement ne peuvent entrer en ligne de compte pour des raisons économiques, en raison de leur trop haute densité et de leur poids excessif.

En revanche, les couches réfléchissant le rayonnement (couches métalliques) peuvent être intégrées à un tissu synthétique. De telles matières textiles métallisées conviennent particulièrement bien à la fabrication d'un vêtement de protection sous forme d'une combinaison (overall) en une pièce. En tant que protection de la tête, on peut utiliser un filet métallisé avec une ouverture de maille d'environ 1 mm, de sorte qu'une visibilité suffisante est assurée.

5 Réalisation d'un vêtement de protection avec capuchon

51 Conception

Le vêtement de protection représenté à la *figure 6* est confectionné en tant que combinaison en une pièce en tissu métallisé. A la partie intérieure des ouvertures pour les bras et les jambes, on a cousu des bandelettes absorbantes en mousse synthétique, qui empêchent que des ondes de surface ne pénètrent à l'intérieur du vêtement. On a sciemment renoncé à des gants et à des guêtres blindés, étant donné que les intensités de champ dans les installations PTT n'excèdent pas l'ordre de grandeur du mW/cm².

Le voile facial de protection (*fig. 7*), confectionné en treillis de métal noir d'une largeur de maille de 1 mm, est fixé à l'aide d'un ruban élastique dans la rainure d'un casque en PCV, comme on en porte habituellement sur les chantiers. La partie supérieure du casque est revêtue

schuhe und Schuhüberzüge wurde bewusst verzichtet, da die Feldintensitäten bei PTT-Anlagen in der Größenordnung vom mW/cm^2 sind.

Die Schutzhaube (Fig. 7), aus einem geschwärzten Metallgitter mit einer Maschenweite von 1 mm gefertigt, wird mit einem elastischen Zug in der Rinne eines PVC-Helmes, wie er auf Baustellen üblich ist, befestigt. Die Helmoberseite ist mit dem metallisierten Gewebe, wie es für den Schutzanzug verwendet wird, überzogen. Der untere Rand der Schutzhaube ist an der Innenseite ebenfalls mit einem absorbierenden Schaumstoffstreifen versehen. Die Schwärzung des Metallgitters dient zur Unterdrückung von blendenden Lichtreflexen. Die Sicht wird durch das Tragen der Schutzhaube kaum beeinträchtigt und entspricht etwa dem Arbeiten mit einer Sonnenbrille.

52 Abschirmwirkung

521 Messungen am verwendeten Material

Die Abschirmwirkung des metallisierten Gewebes und des Metallgitters ist in den interessierenden Frequenzbereichen als Einfügungsdämpfung zwischen Koaxialsteckern, Hohlleiterflanschen sowie Hornantennen gemessen worden. *Tabelle II* zeigt die gemessenen Werte.

Tabelle II. Abschirmwirkung des metallisierten Gewebes und des Metallgitters

Tableau II. Effet de blindage du tissu métallisé et du filet métallique

Frequenzbereich — Gamme de fréquences	Messung zwischen Antennen — Mesure entre antennes		Messungen zwischen Hohlleiterflanschen — Mesures entre flasques de guides d'ondes	
	Gewebe — Tissu	Gitter — Treillis	Gewebe — Tissu	Gitter — Treillis
1...4 GHz	50 dB	50 dB	43 dB	48 dB
3...5 GHz	50 dB	50 dB	44 dB	40 dB
5...8 GHz			44 dB	40 dB
8...12 GHz	45 dB	40 dB	40 dB	36 dB
12...18 GHz	45 dB	38 dB		
	Messung zwischen Koaxialstecker 13/30 mm — Mesure entre des fiches coaxiales 13/30 mm		Messung zwischen 7-mm-Präzisionskoaxialstecker — Mesure entre des fiches de précision 7 mm	
10 MHz...1 GHz	40 dB		35 dB	

522 Messungen am kompletten Schutzanzug im VHF- und UHF-Bereich

Die Messungen im VHF- und UHF-Bereich wurden in den Frequenzbändern 27, 75, 160 und 450 MHz mit Hilfe des Empfangsteils professioneller Hand-Funkgeräte durchgeführt. Dabei diente die Ansprechschwelle der Empfänger als Referenzpegel. Die kleinstmögliche Differenz der Sendepiegel in dB bei der Messung der Empfängeransprechschwellen innerhalb und ausserhalb des Schutzanzuges entspricht dem ungünstigsten Wert der Abschirmwirkung und ist in der *Tabelle III* angegeben.

Die leistungsmässige Schirmwirkung ist im UKW-Band und den VHF-Fernsehbändern mindestens 100fach und somit genügend.

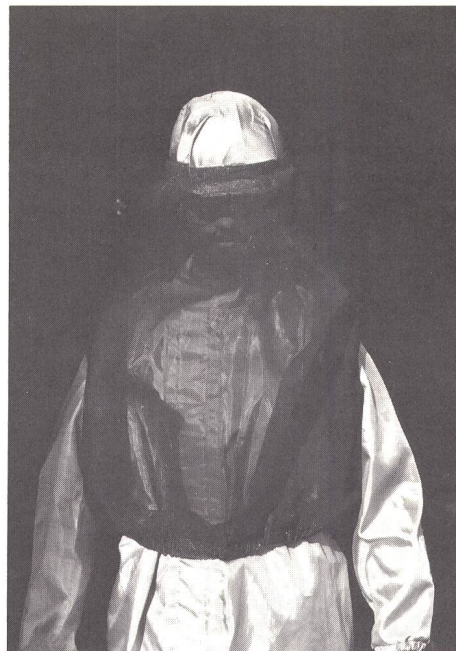


Fig. 7
Schutzhaube — Capuchon de protection

du même tissu métallique utilisé pour le vêtement de protection. La partie inférieure du capuchon est également pourvue à la face intérieure de bandes absorbantes en mousse synthétique. Le noircissement du treillis métallique sert à supprimer les reflets lumineux éblouissants. Le port de ce dispositif de protection n'entrave pratiquement pas la vue et son effet correspond environ à celui de lunettes de soleil.

52 Effet de blindage (écran)

521 Mesure du matériel utilisé

L'effet de blindage du tissu métallisé et du filet métallique a été mesuré dans les gammes de fréquences considérées en tant qu'affaiblissement d'insertion entre les fiches coaxiales, les joints de guides d'ondes ainsi qu'entre des antennes-cornets. Le *tableau II* montre les valeurs mesurées.

522 Mesures faites à des vêtements de protection complets dans la gamme des VHF et des UHF

Les mesures dans la gamme des VHF et des UHF ont été effectuées dans les bandes de fréquences de 27, 75, 160 et 450 MHz à l'aide de la partie réceptrice d'appa-

Tabelle III. Abschirmwirkung des vollständigen Schutzanzuges im MHz-Bereich

Tableau III. Effet de blindage du vêtement de protection complet dans la gamme du MHz

Messfrequenz — Fréquence de mesure (MHz)	Minimale Abschirmwirkung (dB) — Effet de blindage minimal (dB)	
	Anzug — Vêtement	Schutzhaube — Capuchon
27	20	30
75	31	35
160	30	23
450	25	22

523 Messungen am vollständigen Schutzanzug im Mikrowellenbereich

Die Messung am ganzen Schutzanzug wurde mit einer Schaufensterpuppe als Phantom ausgeführt.

Bei den Frequenzen 4 und 11 GHz wurden Abschirmwirkungen von über 30 dB gemessen. Da das Absorptionsverhalten des Körpers mit dem vorhandenen Phantom sehr schlecht simuliert ist, sind die Messungen bei den Bein- und Armöffnungen mit einer Versuchsperson gemacht worden. Bei den Messfrequenzen 4 und 11 GHz wurde bei einer Entfernung von etwa 10...15 cm in den Arm- beziehungsweise Beinöffnungen eine Dämpfung von 30 dB festgestellt.

Der verwirklichte Schutzanzug mit Gesichtshaube genügt mit 30 dB Dämpfung den Erwartungen. Die Mikrowellenstrahlungsintensität wird damit auf einen Tausendstel der Umgebungsintensität reduziert.

6 Schlussfolgerungen

Der beschriebene Schutzanzug mit Gesichtshaube erfüllt die Anforderungen bei PTT-Anlagen zum Schutz gegen elektromagnetische Felder im Mikrowellenbereich sehr gut. Im interessierenden MHz-Bereich ist die Schirmwirkung genügend.

Für höhere Feldintensitäten im Mikrowellenbereich (Größenordnung $> 10 \text{ mW/cm}^2$), wie sie bei Radaranlagen vorkommen, müssten unter Umständen zusätzlich Handschuhe und Schuhüberzüge aus metallisiertem Gewebe verwendet werden.

Die Metallschicht auf dem Gewebe besteht hauptsächlich aus Nickel. Da dieses Metall vereinzelt Hautallergien hervorruft, sollte der Schutzanzug nicht direkt auf der Haut getragen werden.

Bibliographie

- IEE Proceedings A, Special Issue on RF and Microwave Radiation, 128 (1981) 9.
- Adey W. R. Frequency and Power Windowing in Tissue Interactions with Weak Electromagnetic Fields. New York, Proceedings of the IEEE 68 (1980) 1.
- Nilsson B. O. und Pettersson L. E. A Mechanism for High-Frequency Electromagnetic Field-Induced Biological Damage? New York, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques MTT 27 (1979) 6.
- Heilmann A. Antennen I, II, III. Mannheim, Hochschultaschenbücher, 1970.

reils de radiocommunication professionnels portatifs. On a utilisé le seuil de réaction du récepteur en tant que niveau de référence. La plus petite différence possible du niveau d'émission en dB, lors de la mesure du seuil de réaction du récepteur, à l'intérieur et à l'extérieur du vêtement de protection, correspond à la valeur la plus défavorable de l'effet de blindage et est indiquée au *tableau III*.

Au point de vue de la puissance, l'effet de blindage dans la bande des OUC et dans les bandes de télévision VHF atteint au moins le facteur 100 et peut être considéré comme suffisant.

523 Mesures pour le vêtement de protection complet dans la gamme des micro-ondes

Les mesures portant sur le vêtement de protection complet ont été réalisées avec un mannequin de vitrine, en tant qu'opérateur fictif.

Pour les fréquences de 4 et 11 GHz, on a mesuré un effet de blindage dépassant 30 dB. Etant donné que l'absorption simulée par le corps du mannequin était très mauvaise, les mesures au niveau des ouvertures de jambes et de bras ont été faites avec une personne d'essai. Pour les fréquences de mesure de 4 et de 11 GHz, on a constaté à une distance de 10...15 cm un effet d'affaiblissement de 30 dB au niveau des ouvertures de bras et de jambes.

Le vêtement de protection examiné avec son capuchon produit une atténuation de 30 dB et répond donc au résultat escompté. L'intensité de rayonnement en micro-ondes, à l'intérieur du vêtement, n'est plus qu'un millième de l'intensité ambiante.

6 Conclusions

Le vêtement de protection et le capuchon décrits satisfont très bien aux exigences dans les installations PTT au sens d'une protection contre les champs électromagnétiques dans la gamme des micro-ondes. Dans la plage des MHz qui nous intéresse, l'effet d'écran est suffisant.

Pour des champs plus puissants dans la gamme des micro-ondes (ordre de grandeur $> 10 \text{ mW/cm}^2$), tels qu'on les rencontre dans les installations radars, il faudrait éventuellement utiliser des gants et des guêtres supplémentaires en tissu métallisé.

La couche métallique du tissu consiste essentiellement en nickel. Etant donné que ce métal provoque parfois des allergies cutanées, le vêtement de protection ne devrait pas être porté directement sur la peau.