Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 70 (1979)

Heft: 19

Artikel: Sicherheit in Kurzwellen- und Mittelwellen-Strahlungsfeldern

Autor: Leuthold, P. E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905436

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: 08.07.2025

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

Sicherheit in Kurzwellen- und Mittelwellen-Strahlungsfeldern

Von P.E. Leuthold

613.168

Elektromagnetische Strahlungsfelder im Mittel- und Kurzwellenbereich können eine Schädigung von Lebewesen verursachen, wenn sie eine gewisse Intensität überschreiten und dabei während genügend langer Zeit einwirken. Im betrachteten Frequenzbereich steht vor allem die unerwünschte Erwärmung des Körpergewebes im Vordergrund. Es wird gezeigt, welche Grenzwerte heute im Ausland bekannt sind und wie weit diese dem gegenwärtigen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse Rechnung tragen.

Des champs de rayonnement électromagnétiques dans la gamme des ondes courtes ou moyennes peuvent nuire aux êtres vivants s'ils dépassent une certaine intensité pendant assez de temps. La gamme de fréquences considérée provoque principalement un échauffement du tissu. L'article montre les limites connues à l'étranger et comment elles tiennent compte des connaissances scientifiques actuelles.

1. Einleitung

Unsere heutige Zeit ist dadurch gekennzeichnet, dass bei fast allen technischen Errungenschaften die Frage nach schädlichen Nebenwirkungen gestellt wird. Obwohl diesbezügliche Anklagen oft von inkompetenten Leuten oder mindestens auf zweifelhafter Basis erhoben werden, ist der Wissenschaftler und Ingenieur gezwungen, der Sache nachzugehen. Leider handelt es sich dabei oft um schwierige Aufgaben, da einerseits in den meisten Fällen über Jahre andauernde Versuche notwendig wären, andererseits der Begriff «schädlich» quantitativ nur sehr vage erfasst werden kann.

Nachdem die Atomkraftwerke unter starken Beschuss gekommen sind, mehren sich die Anzeichen, dass auch die mit der elektrischen Energieübertragung verbundenen elektromagnetischen Felder als schädlich angeprangert werden sollen [1]. Ebenso wurde in der letzten Zeit verschiedentlich die Frage laut, ob wohl in der Umgebung leistungsstarker Rundfunksender – in der Schweiz vor allem im Mittel- und Kurzwellenbereich – eine Gefährdung von Menschen und Tieren zu erwarten sei.

Die vorliegende Arbeit versucht, auf die letztere Frage eine dem heutigen Stand der Erkenntnisse entsprechende Antwort zu geben. Bevor die zentrale Frage der zulässigen Grenzwerte für die Stärke elektromagnetischer Hochfrequenzfelder diskutiert wird, ist es notwendig, die wichtigsten Grundbegriffe des Strahlungsfeldes einzuführen. Ebenso müssen das Verhalten organischer Strukturen unter dem Einfluss hochfrequenter Felder sowie pathophysiologische Effekte betrachtet werden.

2. Das elektromagnetische Strahlungsfeld

Jede beliebige Sendeantenne bzw. jedes Sendeantennensystem erzeugt in seiner näheren und ferneren Umgebung ein elektromagnetisches Feld, in dem sich Energie ausbreitet. Solche Felder werden als elektromagnetische Wellen oder Strahlungsfelder bezeichnet. In ausreichend grosser Entfernung r vom Zentrum des Systems lassen sie sich immer durch einen elektrischen Feldstärkevektor $\vec{E}$ und durch einen magnetischen Feldstärkevektor $\vec{H}$ beschreiben, die beide aufeinander senkrecht stehen und in einer Ebene senkrecht zur radialen Energieausbreitungsrichtung $\vec{r}$ liegen. Diese Verhältnisse sind charakteristisch für das sog. *Fernfeld* einer Antenne. Unter der Annahme, dass eine rein harmonische Zeitabhängigkeit vorliegt, haben die elektrische und die magnetische Feldstärke zudem eine identische zeitliche Phasenlage, d.h. wenn an einem bestimmten Punkt des Raumes die elektrische Feldstärke ein Maximum erreicht, so weist dort auch die magnetische Feldstärke das Maximum auf. Zwischen den Beträgen E und H gilt der einfache Zusammenhang

$$E = Z_0 \cdot H \tag{1}$$

Die Grösse Z_0 ist der sog. Feldwellenwiderstand des freien Raumes und weist den Wert 377 Ω auf.

Der Energiefluss im Fernfeld wird durch die Leistungsdichte S charakterisiert, die sich bei bekannter Feldstärke leicht berechnen lässt:

$$S = E \cdot H \tag{2}$$

Diese Beziehung geht mit Hilfe von (1) auch in die Form

$$S = Z_0 \cdot H^2 = E^2/Z_0 \tag{3}$$

über. Werden für E und H Effektivwerte eingesetzt, so ergibt sich die Leistungsdichte als Mittelwert.

Im *Nahfeld* der Antenne stehen der elektrische und der magnetische Feldvektor $\vec{E}$ bzw. $\vec{H}$ im allgemeinen nicht mehr senkrecht aufeinander, und auch ihre Lage bezüglich Ausbreitungsrichtung ist örtlich vollständig verschieden. Hinzu kommt eine zeitliche Phasenverschiebung zwischen den Feldgrössen $\vec{E}$ und $\vec{H}$. Es ist daher ohne weiteres einzusehen, dass die Zusammenhänge (1) bis (3) im Nahfeld nicht mehr gelten bzw. keine physikalisch signifikante Bedeutung haben.

Es stellt sich nun noch die Frage, wo die Grenze zwischen Nahfeld und Fernfeld liegt. Hierzu steht folgende Formel für die Abschätzung des Grenzabstandes r_g zur Verfügung [2]:

$$r_g \geqq k \frac{2 L^2}{\lambda} \tag{4}$$

Der Buchstabe L symbolisiert dabei die grösste physikalische Dimension des Antennensystems, und λ ist die Wellenlänge. Die dimensionslose Konstante k ist von der Richtwirkung der Antenne abhängig, sie weist immer einen Wert grösser als eins auf und wächst mit zunehmender Richtwirkung merklich an.

Bisher wurde nur das direkt von der Antenne einfallende Strahlungsfeld betrachtet. Durch Gebäude, Masten, Leitungen, Felswände usw. ergeben sich aber Reflexionen, die durch Superposition lokal zu völlig veränderten Feldverhältnissen führen können.

Häufig weist eine Sendeanlage mehrere Antennensysteme auf, die gleichzeitig auf verschiedenen Frequenzen senden. Dabei kann es vorkommen, dass durch Überlagerung momentane Feldstärken auftreten, die der Summe der Spitzenwerte der einzelnen Teilfelder entsprechen. Im Mittel addieren sich jedoch im Fernfeld nur die Leistungsdichten:

$$S_{tot} = \sum_i S_i. \tag{5}$$

Die Effektivwerte der äquivalenten Feldgrössen $E_{äq}$ und $H_{äq}$ folgen damit nach (3) zu

$$E_{äq} = \sqrt{\sum_i E_i^2}\,, \quad H_{äq} = \sqrt{\sum_i H_i^2}\,. \tag{6}$$

Während eine näherungsweise Berechnung des Fernfeldes bei bekannter Sendeleistung und Strahlungscharakteristik der Antenne relativ leicht möglich ist, bietet die theoretische Vorhersage der Grössen E und H *im Nahfeld* grosse Schwierigkeiten. Hierzu muss das Maxwellsche Gleichungssystem gelöst werden. Natürlich sind aufwendige numerische Lösungen mit Hilfe des Computers möglich; da aber die Randbedingungen jeweils nur unter mehr oder weniger idealisierenden Annahmen eingegeben werden können, sind die Resultate mit entsprechenden Ungenauigkeiten behaftet. Für eine Abschätzung rechnet man daher oft auch innerhalb des durch (4) festgelegten Grenzbereiches mit den Formeln für das Fernfeld; die Resultate sind dann aber mit entsprechender Vorsicht zu interpretieren.

3. Wirkung auf biologische Substanzen und lebende Organismen

3.1 Physikalisches Verhalten biologischer Strukturen

Mittelwellen und Kurzwellen sind elektromagnetische Schwingungen in den Frequenzbereichen 525 bis 1605 kHz bzw. 3 MHz bis 30 MHz. Die zugehörigen Wellenlängen λ liegen in den Bereichen 187 bis 571 m bzw. 10 bis 100 m.

Im Gegensatz zu radioaktiver Strahlung, Röntgen- oder Ultraviolett-Strahlung gehören die Mittel- und Kurzwellen in die Klasse der nichtionisierenden elektromagnetischen Strahlungen, d.h. Auswirkungen auf die Elektronenhüllen von Atomen in anorganischer oder organischer Materie, und damit sind direkte chemische Veränderungen nicht zu erwarten. Hingegen ist allgemein bekannt, dass solche Strahlungsfelder bei ausreichender Intensität Gegenstände von geeigneter Beschaffenheit erwärmen. Dies gilt vor allem auch für die Gewebeschichten von Menschen und Tieren.

Die Erwärmung biologischer Materie hat zwei Ursachen. Gewisse Moleküle besitzen die Eigenschaft eines Dipols, d.h., an den entgegengesetzten Enden existiert ein Überschuss an positiver bzw. negativer Ladung. Solche Gebilde werden durch die von aussen angelegte elektrische Feldstärke zu Drehschwingungen angeregt, die in ihrer Umgebung Reibungsverluste und damit Wärme erzeugen. Da das biologische Material zudem eine relativ gute elektrische Leitfähigkeit besitzt, geraten auch die freien Ladungsträger in Bewegung. Diese Ströme geben ebenfalls Anlass zur Entstehung von Wärme.

In groben Zügen kann menschliches und tierisches Gewebe als verlustbehaftetes Dielektrikum betrachtet werden. Bei stark wasserhaltigem Gewebe wird nach [3] eine sehr hohe relative Dielektrizitätskonstante ε_r in der Grössenordnung von 2000 im Mittelwellenbereich erreicht, die mit wachsender Frequenz abnimmt und am oberen Ende des Kurzwellenbereichs noch etwa 100 beträgt. Die zugehörige spezifische Leitfähigkeit σ liegt bei 0,5 S/m und weist eine geringe Frequenzabhängigkeit auf. Die Eindringtiefe δ der Strahlungsfelder variiert zwischen 1 m am unteren Ende des Mittelwellenbereiches und 0,15 m am oberen Ende des Kurzwellenbereiches. Bei wasserarmem Gewebe liegen die Werte für die relative Dielektrizitätskonstante und für die Leitfähigkeit wesentlich tiefer: $\varepsilon_r \approx 20$, $\sigma = 0{,}003$ S/m. Entsprechend steigt die Eindringtiefe δ an und erreicht selbst an der oberen Grenze des Kurzwellenbereiches noch Werte von 1,6 m.

Es stellt sich nun die wichtige Frage, in welchem Masse die einfallende Strahlung absorbiert wird und damit zu einer Gewebeerwärmung Anlass gibt. Aus den erwähnten elektrischen Parametern geht hervor, dass auch unter Berücksichtigung der durch die hohe relative Dielektrizitätskonstante verursachten Verkürzung der Wellenlänge die Abmessungen der absorbierenden Gewebeschichten und Organe menschlicher und tierischer Körper im Vergleich zu den Wellenlängen im Mittel- und Kurzwellenbereich klein bleiben. Damit sind unterschiedliche Erwärmungen, bedingt durch Stehwellenbildung, ausgeschlossen, wohl aber stellen sich erstere zufolge der unterschiedlichen Beschaffenheit der Gewebeschichten ein.

Der Einfachheit halber seien die folgenden Betrachtungen auf die globale Absorption der Strahlungsleistung durch den menschlichen oder tierischen Körper beschränkt. Kennt man die Leistungsdichte S des Strahlungsfeldes, wäre man geneigt, diese mit der bestrahlten Körperfläche unter Berücksichtigung des Einfallswinkels zu multiplizieren und das Ergebnis bei Vernachlässigung von Reflexion und Transmission als gesamte aufgenommene Leistung zu interpretieren. Ein solches Vorgehen ist aber nur dann zulässig, wenn die Wellenlänge wesentlich kleiner ist als die Körperausdehnungen. Im Mittelwellen- und Kurzwellenbereich trifft dies bei weitem nicht zu. Brauchbare Resultate ergeben sich hier durch die näherungsweise Darstellung des Körpers oder von Körperteilen mittels einfacher geometrischer Körper wie Kugeln oder Ellipsoiden mit den erwähnten elektrischen Parametern ε_r und σ als Mittelwerte, für welche die Wellengleichung gelöst wird. Neue Untersuchungen [4] nach dieser Methode liefern z.B. pro Kilogramm Masse des Kopfes eines Erwachsenen die absorbierte Leistung

$$P \approx 10^{-19} f^2 S \tag{7}$$

mit P in W/kg, f in Hz und S in W/m². Dabei beschränkt sich der Gültigkeitsbereich auf das Intervall 1 MHz $< f <$ 1 GHz. Man beachte das quadratische Wachstum in Abhängigkeit der Frequenz. Vom unteren Rand des Mittelwellenbereiches bis zum oberen Rand des Kurzwellenbereiches resultiert offenbar eine Änderung der Absorption um etwa das Dreitausendfache. Aus einleuchtenden Gründen liegt für die Beziehung (7) keine direkte experimentelle Bestätigung vor, wohl aber lässt sich messtechnisch nachweisen, dass ganz allgemein unterhalb 30 MHz die Gewebestromdichte bei konstanter Feldintensität annähernd proportional zur Frequenz anwächst [7].

3.2 Pathophysiologische Effekte

Die Diathermie ist ein bekanntes Verfahren in der Medizin, das von der Erwärmung biologischer Gewebe durch elektromagnetische Strahlungsfelder Gebrauch macht. Bei der Kurzwellen-Diathermie erzeugen Hochfrequenzgeneratoren bei 13 oder 27 MHz zwischen zwei Elektroden kräftige Felder, in die dann Körperteile der Patienten eingeführt werden. Übersteigt die lokal erzeugte Wärme die durch das Blut und durch Konvektion abgeführte Wärmemenge, so stellt sich eine Temperaturerhöhung ein. Man erreicht damit eine gezielte Aufheizung bestimmter Gewebeschichten. Ebenso lassen sich künstliche Fieberzustände erzeugen, die eine heilende Wirkung bei gewissen organichen Nervenleiden zeitigen. Bekannt ist auch die diathermische Erwärmung von Muskelpaketen vor

sportlichen Hochleistungen. Im letzteren Falle werden die Geräte auch von nicht medizinisch geschultem Personal bedient, was darauf hindeutet, dass solche Behandlungen als ungefährlich betrachtet werden. In der Tat sind nur Unfälle in bezug auf eine Überdosierung bekannt, die dann zu äusseren und/oder inneren Verbrennungen führen.

Es stellt sich nun die Frage, ob im Mittelwellen- und Kurzwellenbereich neben der Erwärmung und den damit verbundenen Folgen auch nichtthermische Effekte in biologischen Medien und lebenden Organismen auftreten. Unbestritten ist die Tatsache, dass gewisse Mikroorganismen auf Strahlungsfelder im erwähnten Frequenzbereich reagieren, deren Intensität noch weit unter der Grenze für eine messbare Erwärmung liegt [5]. Man kennt z.B. die Ausrichtung gewisser Bakterien nach den elektrischen Feldlinien oder den sog. «pearl-chain»-Effekt, d.h. die Aneinanderreihung von Mikropartikeln zu Ketten, die ebenfalls parallel zu den elektrischen Feldlinien verlaufen. Interessant ist dabei die ausgeprägte Sensibilität auf das elektrische Feld; in einer kürzlich erschienenen Studie [6] wird gezeigt, dass ein hochfrequentes Magnetfeld, das nur mit einem elektrischen Wirbelfeld verknüpft ist, auch bei grösster Intensität keine Wirkungen der erwähnten Art zeitigt.

In [5] werden einige Arbeiten zitiert, die über Veränderungen der Eigenschaften von γ-Globulin und gewissen Enzymen sowie über die Beeinflussung von Chromosomen in Strahlungsfeldern mit relativ geringer Intensität berichten. Von Fachleuten wird aber angezweifelt, ob es sich dabei nicht doch nur um thermische Effekte handelt. Leider ist es beim Stand der heutigen Messtechnik kaum möglich, Mikrozentren schwacher Erwärmung festzustellen; eine definitive Antwort kann daher nicht gegeben werden.

Bis heute sind aber keine Fälle bekannt geworden, wonach im Mittelwellen- und Kurzwellen-Strahlungsfeld unterhalb der Intensitätsschwelle für das Auftreten thermischer Effekte Einwirkungen irgendwelcher Art auf höhere Organismen oder gar auf Menschen und Tiere vorkommen. Berichte, wonach als nichtthermischer Effekt eine Störung des zentralen Nervensystems von Lebewesen in Erscheinung treten soll [3], beziehen sich alle auf Mikrowellenstrahlung.

3.3 Zulässige Grenzwerte

Der Schutz von Menschen und Tieren im Mittelwellen- und Kurzwellen-Strahlungsfeld besteht auf Grund der vorangehenden Ausführungen darin, eine umfassende oder lokale Erwärmung des Körpers, die sicher von einer bestimmten Grenze an gesundheitsschädliche Auswirkungen hat, zu vermeiden. Diese Grenze wird nicht nur von der Intensität des Feldes, sondern auch von der Zeitdauer, während der das Lebewesen dem Feld ausgesetzt ist, abhängen. Bei kurzen Bestrahlungszeiten ist es relativ einfach, auf experimenteller Basis verantwortbare Grenzen festzulegen. Handelt es sich jedoch um Dauerbestrahlungen über Zeiträume von Jahren oder gar Jahrzehnten hinweg, so ist bei der Festlegung von Grenzwerten besondere Vorsicht walten zu lassen: Erstens stehen heute zuwenig gesicherte Erfahrungen für eine statistische Auswertung zur Verfügung, zweitens ist bei Langzeitbeobachtungen die Gefahr der Verfälschung durch nicht oder unzureichend erkennbare Störeinflüsse sehr gross und drittens bietet die zuverlässige Erkennung von Gesundheitsschädigungen erhebliche Schwierigkeiten, da es sich mindestens teilweise um Ermessensfragen handelt.

Zurzeit beschäftigt man sich in den technisch hochentwickelten Ländern mit dem Entwurf von verbindlichen Sicherheitsvorschriften für die Bestrahlung von Menschen und Tieren durch elektromagnetische Wellen im gesamten Frequenzbereich, und es wird versucht, durch Experimente die erforderlichen Grundlagen zu schaffen.

Zur Beschreibung der Intensität des *Fernfeldes* eignet sich die Leistungsdichte S, da sie – vor allem bei Frequenzen über 1 GHz – durch eine Integration über die Körperoberfläche direkt mit der thermischen Belastung des Lebewesens in Verbindung gebracht werden kann. Nach (3) sind dann aber auch gleichzeitig die Grössen der elektrischen und magnetischen Feldstärke E bzw. H bekannt.

Im *Nahfeld* ist es gemäss den Ausführungen im Abschnitt 2 wenig sinnvoll, eine örtliche Leistungsdichte S zur Charakterisierung der Intensität beizuziehen. Hier drängt sich als Mass die elektrische Feldstärke E auf, weil das bestrahlte Lebewesen als verlustbehaftetes Dielektrikum betrachtet werden kann.

Sowohl bei Grenzwerten der Leistungsdichte S im Fernfeld als auch bei Grenzwerten der elektrischen Feldstärke E im Fern- oder Nahfeld müssen stets die Bestrahlungszeiten angegeben werden. Je kürzer ein Lebewesen einem Feld ausgesetzt ist, desto höhere Intensitäten sind zulässig. Dies gilt vor allem innerhalb des Zeitbereiches, der durch die thermische Zeitkonstante des lebenden Körpers gegeben ist, wo der Temperaturanstieg proportional zum Produkt aus Leistungsdichte und Bestrahlungszeit anwächst. Die erwähnte Zeitkonstante liegt in der Grössenordnung von 6 min, bei längerer Bestrahlungsdauer darf die Leistungsdichte nur noch so gross sein, dass ohne merkliche Körpertemperaturerhöhung ein Abfluss der absorbierten Leistung gesichert ist.

Auf dieser Basis lassen sich nun theoretische Überlegungen anstellen, welche Leistungsdichten einer elektromagnetischen Strahlung für ein Lebewesen über beliebig lange Zeit sicher tolerierbar sein könnte. Eine einleuchtende Betrachtung [2] geht davon aus, dass Leistungsdichten, die den Wert der Leistungsdichte der Wärmeabstrahlung des Körpers nicht übersteigen, ungefährlich sein müssen. Berechnet man die Körperabstrahlung nach dem bekannten Gesetz

$$S = e\,\kappa\,(T_2^4 - T_1^4), \tag{8}$$

κ (Stefan Boltzmannkonstante) $= 5.7 \times 10^{-8}\ \dfrac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2 K^4}}$
e (Emissionsfaktor) ≈ 1,

wobei die Körpertemperatur T_2 zu 310 K (37 °C) und die Umgebungstemperatur T_1 zu 293 K (20 °C) eingesetzt wird, so erhält man sehr genau die Leistungsdichte $S = 10\ \mathrm{mW/cm^2}$, die einer elektrischen Feldstärke von ungefähr 200 V/m entspricht.

Interessant ist auch ein Vergleich mit der Sonneneinstrahlung, deren Leistungsdichte als Solarkonstante bezeichnet wird und in Erdnähe ausserhalb der Atmosphäre den Wert 132,6 $\mathrm{mW/cm^2}$ aufweist. Auf der Erdoberfläche hat man je nach Höhenlage bei schöner Witterung mit einer maximalen Leistungsdichte von 80...100 $\mathrm{mW/cm^2}$ zu rechnen. Dies entspricht dem acht- bis zehnfachen Wert der nach (8) berechneten Leistungsdichte; letztere dürfte also rein gefühlsmässig ohne weiteres zu ertragen sein.

Eine andere Betrachtungsweise zur Bestimmung von Grenzwerten geht von Toleranzwerten für die Gewebestromdichte aus [7]. Der Toleranzwert liegt im Mittel- und Kurzwellen-

bereich für wasserhaltige Gewebe bei etwa 1 mA/cm² und ist um einen Faktor 3 bis 10 kleiner als jene Werte, bei denen Schädigungen beobachtet werden konnten. Mit der spezifischen Leitfähigkeit $\sigma = 0{,}5$ S/m findet man für die Stromdichte $J = 1$ mA/cm² aus der Beziehung

$$E = J/\sigma \tag{9}$$

eine elektrische Feldstärke von 20 V/m. Berücksichtigt man den Umstand, dass die elektrische Feldstärke im Innern eines Dielektrikums um den Faktor ε_r reduziert wird, so erhält man mit den im Abschnitt 3.1 angegebenen Dielektrizitätskonstanten eine Strahlungsfeldstärke von etwa 40 kV/m im Mittelwellenbereich und 2 kV/m am oberen Rand des Kurzwellenbereichs.

Die Leistungsaufnahme des Kopfes für die nach (8) bestimmte Leistungsdichte von 10 mW/cm² folgt aus (7) zu 10 W/kg bei 1 GHz. Mit derselben Formel findet man mit den Feldstärkewerten 2 kV/m bei 30 MHz und 40 kV/m bei 1 MHz die Bezugsleistungen 1 W/kg bzw. 0,5 W/kg. Die Abschätzung mit Hilfe des Toleranzwertes für die Stromdichte liefert also eher noch vorsichtigere Grenzwerte.

Eines der aufschlussreichsten Experimente über Grenzwerte des Kurzwellen-Strahlungsfeldes wird in [8] beschrieben. Es handelt sich um einen Versuch mit Affen, die während einer Stunde einem Feld mit der Leistungsdichte $S = 100$–200 mW/cm² ausgesetzt wurden, was nach (3) einem elektrischen Feldstärkebereich von 600...900 V/m entspricht. Als Frequenz wählte man die Werte 10,5, 19,3 und 26,6 MHz. Während des Experiments wurden das EKG und der Temperaturverlauf im Körperinnern verfolgt. Dabei zeigten sich keinerlei Abweichungen vom Normalzustand. Auch die anschliessend durchgeführten Blutuntersuchungen ergaben keinerlei Hinweise auf irgendwelche Auswirkungen. Erst eine Erhöhung der Leistungsdichte S auf Werte über 400 mW/cm² (elektrische Feldstärke $E > 1200$ V/m) liess bei der höchsten verwendeten Frequenz von 26,6 MHz Anzeichen einer thermischen Belastung (Körpertemperaturerhöhung) erkennen.

Bei der Empfehlung oder Festlegung von Grenzwerten ging man in westlichen Ländern von der Annahme aus, dass unter dem Einfluss elektromagnetischer Strahlungsfelder bei Menschen und Tieren nur thermische Effekte in Betracht zu ziehen sind. Im Bereich höherer Frequenzen, insbesondere im Mikrowellenbereich, wo die Strahlung bereits lichtähnlichen Charakter hat, lag es nahe, den Grenzwert gemäss dem nach (8) ermittelten Resultat auf eine Leistungsdichte von 10 mW/cm² festzusetzen. In östlichen Ländern neigte man eher zur Ansicht, dass schon bei schwachen Feldern nichtthermische Effekte zu befürchten seien. Dies führte auf einen Grenzwert, der ungefähr um einen Faktor 1000 kleiner ist, d.h. also bei 10 µW/cm² liegt.

In der Tabelle I sind einige Grenzwerte der zulässigen Intensität von Strahlungsfeldern im Mittel- und Kurzwellenbereich festgehalten, die zurzeit als verbindliche Vorschriften, Empfehlungen oder Entwürfe im Ausland zu finden sind [2], [7], [9].

Trotz der bekannten Tatsache, dass die Strahlungsabsorption mit abnehmender Frequenz rasch vermindert wird [vgl. (7)], hat man vor allem im angelsächsischen Bereich – vermutlich aus Gründen der Einfachheit – den Grenzwert von 10 mW/cm² für beinahe den gesamten Radiowellenbereich (10 MHz bis 100 GHz) als verbindlich erklärt. Der neue Entwurf einer entsprechenden VDE-Bestimmung [7] versucht, mittels einer besseren Differenzierung der verschiedenen Frequenzbereiche einen grösseren Toleranzbereich zu schaffen. Auch er beschränkt den zulässigen Dauergrenzwert auf 10 mW/cm², aber nur im Intervall 30 MHz bis 30 GHz. Im Kurzwellen- und Mittelwellenbereich ergeben sich dann erheblich höhere tragbare Intensitäten. Die entsprechenden Angaben fehlen bei vielen Ländern gänzlich. Offenbar ist man dort der Ansicht, dass in Zonen, wo Feldstärken in der Grössenordnung von Kilovolt pro Meter herrschen, ein Zutritt von Personen während des Betriebes ohnehin kaum in Frage kommt.

Man beachte, dass für kurze Bestrahlungszeiten T höhere Intensitäten zulässig sind. Oft wird eine spezifische Energie W'_{max} (Energie pro Flächeneinheit) zusammen mit einem geltenden Zeitbereich vorgegeben. Dieselbe Bedeutung kommt der Festlegung eines Grenzwertes k_{MW} bzw. k_{KW} für das Produkt $\hat{E}^2 T$ zu [7].

Grenzwerte der Intensität von Strahlungsfeldern im Mittel- und Kurzwellenbereich — Tabelle I

Land	Mittelwellen (MW) 0,525–1,605 MHz		Kurzwellen (KW) 3 (10)–30 MHz		Zulässige Bestrahlungsdauer	Bemerkungen
	$E\left[\frac{V}{m}\right]$	$S\left[\frac{mW}{cm^2}\right]$	$E\left[\frac{V}{m}\right]$	$S\left[\frac{mW}{cm^2}\right]$	T [min]	
USA (ANSI) *)	–	–	200	10	> 6	
			> 200	> 10	< 6	$W'_{max} = 1$ mW · h/cm²
US Army	–	–	200	10	dauernd	
			200–600	10–100	< 60	$W'_{max} = 6000$ mW · Min/cm²
Canada	–	–	60	1	dauernd	
			300	25	1	Maximalwert
Schweden	–	–	140	5	dauernd	
BRD	3000 [1])	1200	1500 [1])	300	> 6	
	> 3000	> 1200	> 1500	> 300	< 6	$\hat{E}^2 T = k_{MW}, k_{KW}$ [2])
UdSSR	50	0,25	20	0,1	dauernd	8 h täglich
CSSR	–	–	50	0,7	dauernd	8 h täglich

*) American National Standards Institute
[1]) Spitzenwerte
[2]) siehe [7]

Abschliessend sei noch erwähnt, dass in manchen Richtlinien auch Grenzwerte für die maximal zulässige magnetische Feldstärke angegeben werden. Im Nahfeld, wo kein direkter Zusammenhang zwischen E und H besteht, ist dann zu überprüfen, dass beide Feldgrössen innerhalb der Toleranz liegen.

Die Schweiz hat bis heute noch keine eigenen verbindlichen Vorschriften erlassen. Man verfolgt die gegenwärtige Entwicklung mit Interesse und wird sich dann wahrscheinlich den in einigen Jahren zu erwartenden internationalen Empfehlungen anschliessen.

4. Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, dass die Festlegung von Grenzwerten der Intensität elektromagnetischer Strahlungsfelder im Mittel- und Kurzwellenbereich, die den Schutz von Menschen und Tieren gewährleisten, ein sehr komplexes Problem darstellt. Da insbesondere statistisches Material über realistische Langzeitversuche, die sich über Jahre erstrecken müssten, nur spärlich vorliegt, ergibt sich die Notwendigkeit, Analogiebetrachtungen und Extrapolationen durchzuführen. Hinsichtlich thermischer Effekte ist dies noch einigermassen möglich und lässt durchaus vertrauenswürdige Resultate erwarten.

Wesentlich problematischer ist die Festsetzung von Grenzwerten bezüglich sog. nichtthermischer Effekte. Da letztere bei höheren Lebewesen weder in ihrer Erscheinung noch in ihrer Ursache ausreichend bekannt sind, ist man hier weitgehend auf Schätzungen angewiesen. Man wird sich also damit abzufinden haben, dass heute Grenzwerte festgelegt werden, die später einmal auf Grund zusätzlicher Erfahrungen geändert werden müssen. Was aber den Mittel- und Kurzwellenbereich anbetrifft, kann man mit grosser Sicherheit sagen, dass nichtthermische Effekte ohne gleichzeitige unzulässig hohe Erwärmung in der öffentlich zugänglichen Umgebung einer Sendeanlage ausgeschlossen sind. Die für diese Frequenzbereiche geltenden Grenzwerte können daher als zuverlässig betrachtet werden.

Literatur

[1] *H. L. König:* Unsichtbare Umwelt; der Mensch im Spielfeld elektromagnetischer Kräfte; Wetterfühligkeit – Feldkräfte – Wünschelruteneffekt. München, König-Verlag, 1975.

[2] *J. Bigu del Blanco* and *C. Romero-Sierra:* Microwave pollution of the environment and the ecological problem. Proceedings of the 2nd EMC-Symposium, Montreux 1975, 26 P 1, p. 127...133.

[3] *C. C. Johnson* and *A. W. Guy:* Nonionizing electromagnetic wave effects in biological materials and systems. Proc. IEEE 60(1972)6, p. 692...718.

[4] *K. Quboa, H. T. Hafid* and *S. C. Gupta:* Estimation of induced fields and power absorption for human heads using a ellipsoidal model when exposed to electromagnetic energy. Proceedings of the 3rd EMC Symposium, Rotterdam 1979, 4 B 1, p. 19...22.

[5] *S. M. Michaelson:* Human exposure to nonionizing radiant energy – potential hazards and safety standards. Proc. IEEE 60(1972)4, p. 389...421.

[6] *B. Raufmann:* Influences of electromagnetic fields in the low-, medium- and high frequency range on biological components. Proceedings of the 3rd EMC Symposium, Rotterdam 1979, 5 B 2, p. 23...28.

[7] Gefährdung durch elektromagnetische Felder. Gefährdung von Personen durch elektromagnetische Felder. (Entwurf) DIN 57848 Teil 2/VDE 0848 Teil 2/...79.

[8] *J. N. Bollinger:* Detection and evaluation of radiofrequency electromagnetic radiation-induced biological damage in Macaca Mulatta. Final report under contract F 41609-70-C-0025 SwRI 05-2808-01. San Antonio/Texas, Southwest Research Institute, 1971.

[9] Rapport provisoire sur les dangers de rayonnements non ionisant. Projet de la CEI 12C(Bureau Central)152, 1978.

Adresse des Autors

Prof. Dr. *Peter E. Leuthold,* Institut für Hochfrequenztechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

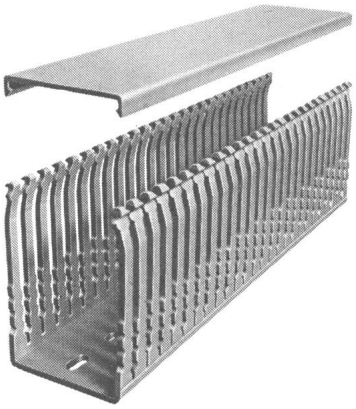
Für viele unserer Kunden sind wir die wichtigsten Drahtzieher

z.B. mit den TEHALIT-Verdrahtungssystemen BA 6 und LKG

Zur Rationalisierung von Arbeitsabläufen in der Verdrahtungstechnik haben wir die Verdrahtungssysteme BA 6 und LKG entwickelt.

Diese Kanäle schaffen Übersicht und Ordnung bei Verdrahtungsaufgaben und ermöglichen schnelles Beseitigen von Störungen in der Nachrichten- und Starkstromtechnik.

Zusätzlich bieten wir Ihnen den Service der Sonderbearbeitung. Das heißt, wir bearbeiten unsere Standardkanäle so, daß sie sich nahtlos und schnell in Ihre Steuerungen und Verteilungen einbauen lassen. Das spart Ihnen Stück- und Einrichtungskosten. Dieser Service ist besonders für Hersteller mit Serienfertigung interessant.



böni

Das TEHALIT-Programm

So komplex wie die Aufgabenstellung an die Elektrotechnik – so flexibel ist das Programm der TEHALIT-Verdrahtungssysteme. Hier findet jedes Problem seine optimale Lösung. Und das so wirtschaftlich, preiswert und arbeitszeitsparend wie nur irgend möglich. Die längste Erfahrung des größten Anbieters auf diesem Gebiet zahlt sich in jedem Falle aus. Auch für Sie. Bitte, fordern Sie weitere Informationen an!

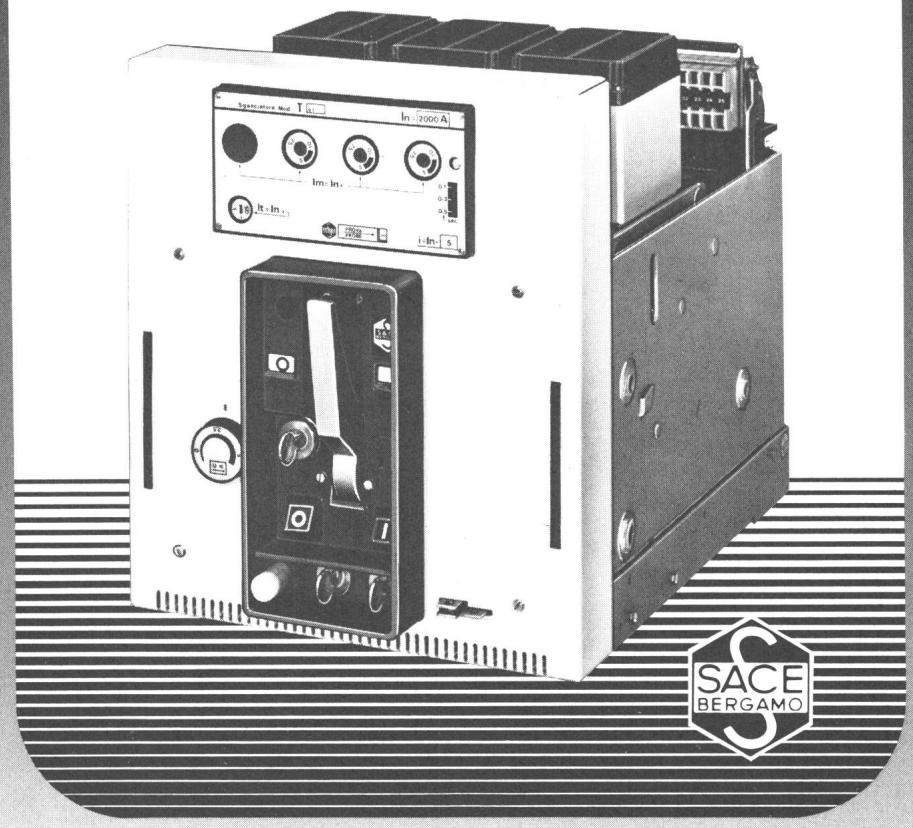
Böni & Co. AG
8500 Frauenfeld
Tel. 054 71453

NOVOMAX G2

Der universelle Leistungsschalter

ineltec
Halle 3, Stand 237

Nennströme:	1250/1600/2000A
Nennspannung:	660V~/250V=
Abschaltvermögen:	50 kAeff bei 500V~ cosphi 0,2



● 2-, 3- und 4-polige Ausführung ● Feste oder ausfahrbare Montage ● Federkraftspeicher mit Hand- oder Motoraufzug ● Test- und Trennstellung ● Automatische Schieber (Shutters) zum Abdecken der spannungsführenden Teile ● Kleine Abmessungen ● Leicht einbaubare Zubehöre, wie z.B. Motorantrieb, Arbeitsstrom- und Unterspannungs-Auslöser, Hilfskontakte, Relais-Signalkontakte, mechanische und elektrische Verriegelungen ● Überstrom- und Kurzschluss-Auslöser, thermomagnetisch oder elektronisch, mit Kurzzeitverzögerung für Selektivschutz

Generalvertretung:

TRACO ZURICH

TRACO HANDELS-AKTIENGESELLSCHAFT
JENATSCHSTRASSE 1 8002 ZÜRICH TEL. 01 201 07 11

Das Angebot ist vielfältig...

PPb-PE-XLPE-EPR

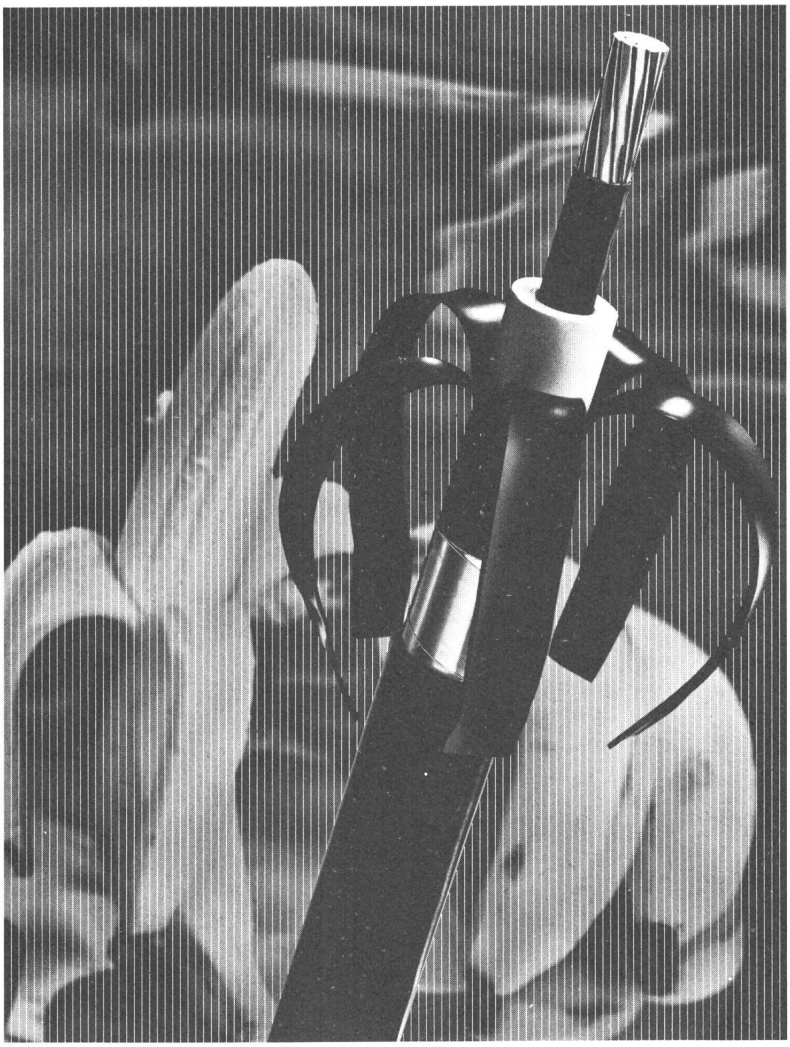
jedes dieser Isoliermedien hat seine Vorzüge,

ber **wenn EPR...** dann

das Mittelspannungskabel

EPR "BANANE"

ETHYLENE-PROPYLENE-RUBBER



mit
leicht abziehbarer
äusserer Leitschicht,
ein Kabel der dritten
Generation!

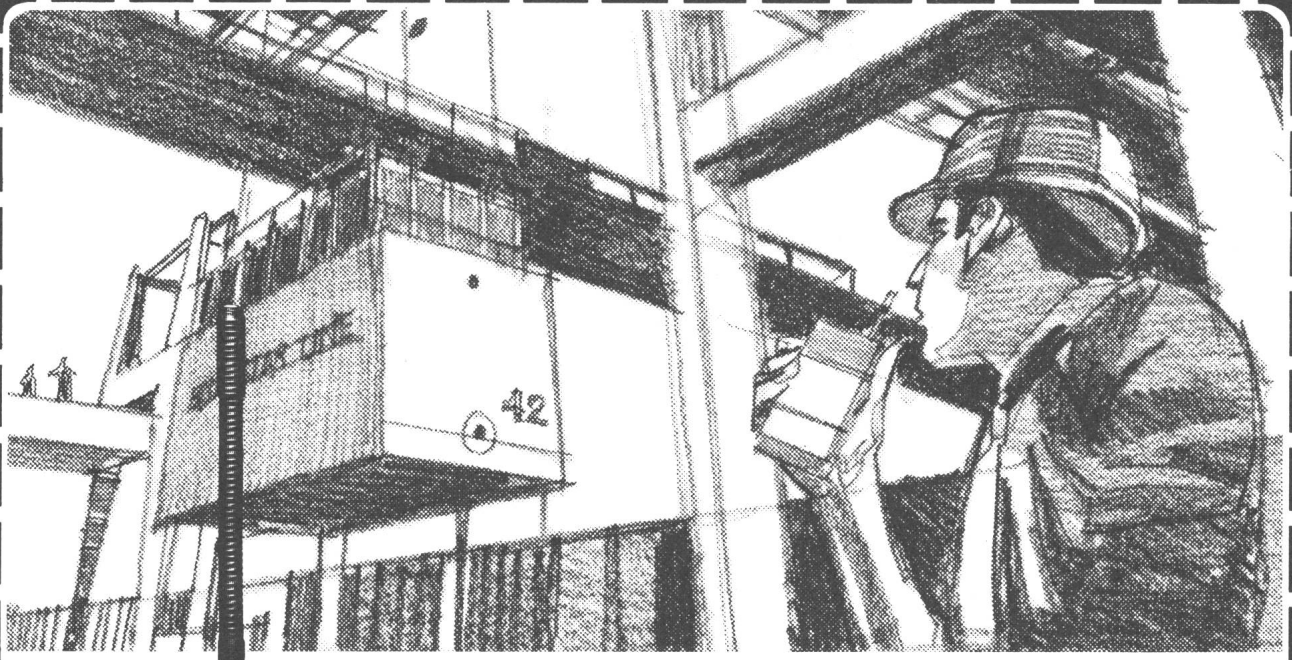
denn es ist

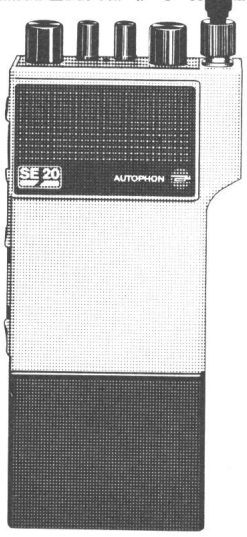
- widerstandsfähiger
- sicherer
- wirtschaftlicher
- angenehmer zu montieren.

EINE NEUHEIT VON CORTAILLOD

Verlangen Sie unsere unverbindliche Beratung!

CABLES CORTAILLOD — 100 JAHRE IM DIENSTE DES FORTSCHRITTS
CABLES CORTAILLOD SA 2016 Cortaillod Tel. 038 44 11 22





Wenn Sie ein Handsprechfunkgerät mit handfesten Vorteilen suchen: Das neueste SE 20 von Autophon hat sie: hohe Sendeleistung, hohe Empfangsempfindlichkeit, geringer Stromverbrauch und extrem hohe Schaltbreite.

Besuchen Sie uns an der
Ineltec 79 in Basel
Halle 1,
Stand-Nr. 371

Mehr über dieses Hochleistungsfunkgerät in Hybridschaltungstechnik, Modulbauweise und Ganzmetallgehäuse erfahren Sie mit diesem Coupon.

Das kleinste Handsprechfunkgerät? Und erst noch supersolid? Das interessiert uns. In allen Einzelheiten. Senden Sie uns bitte genaue Informationen.

Name: _____ in Firma: _____

Strasse: _____ Telefon: _____

PLZ: _____ Ort: _____

Einsenden an: Autophon AG, Vertriebsleitung Schweiz, Stauffacherstrasse 145, 3000 Bern 22

ADVICO

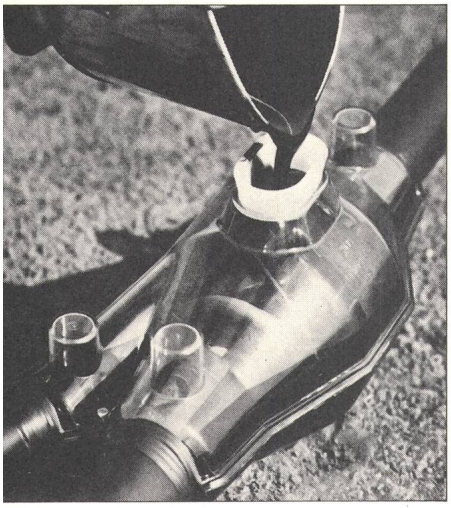
Autophon-Niederlassungen
in Zürich 01 201 44 33, St. Gallen 071 25 85 11, Basel 061 22 55 33, Bern 031 42 66 66, Luzern 041 44 04 04
Téléphonie SA in Lausanne 021 26 93 93, Sion 027 22 57 57, Genève 022 42 43 50

AUTOPHON

Sprechen Sie mit Autophon,
wenn Sie informieren müssen oder Informationen brauchen, wenn Sie gesehen oder gehört werden wollen, wenn Sie die richtige Verbindung mit oder ohne Draht brauchen, wenn Sie warnen, überwachen oder einsatzbereit sein müssen.

Wir haben etwas gegen Kabel-Spleissprobleme.

Nämlich für jedes die richtige Lösung.



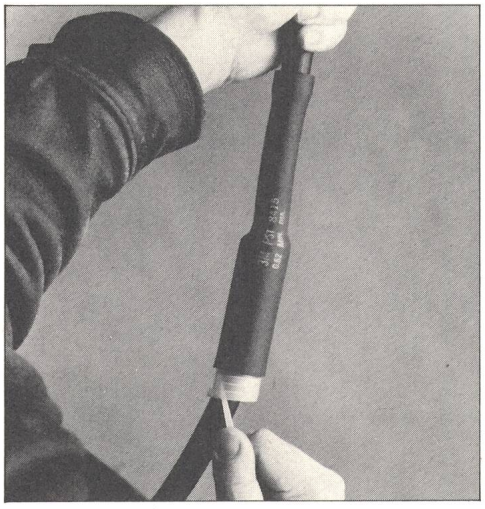
as Giessverfahren

OTCHCAST-Kabelgarnituren beste-
n aus transparenten Kunststoff-
ffenschalen mit Nut-Federverschluss,
nplett mit mischfertigem Kabelharz,
alle gebräuchlichen Kabelquer-
nitte.
sondere Vorteile: umfangreiches Pro-
mm an Formen und Harzen, schnelle,
fache Montage. Kein Nachgiessen,
schluss mit Dom und Deckel (keine
gen Trichter). Sofort betriebsbereit,
tzsparend.

oupon

nsenden an: 3M (Schweiz) AG,
t. Elektro, Postfach, 8021 Zürich)
te informieren Sie uns über
Giessverfahren ☐ Spritzverfahren
PST-Kaltschrumpfverfahren

ma _____
me _____
resse _____

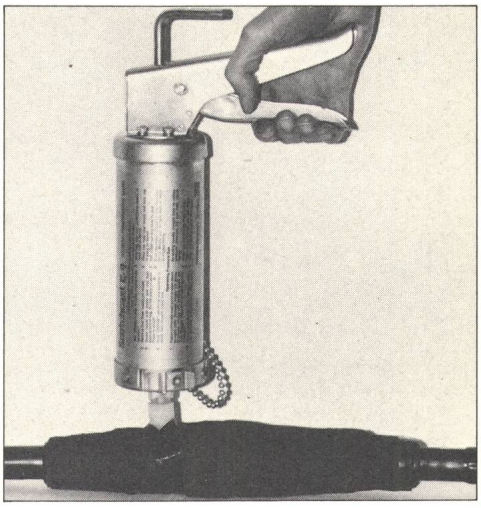


Das PST-Kaltschrumpf-verfahren

macht Schluss mit offenen Flammen und Heissluftgebläsen. Ohne zusätzliche Hilfsmittel erstellen Sie diese zeitgemässen Schrumpfverbindungen.
Vorteile zu Ihren Gunsten:
- schnellste und einfache Verarbeitung
- kein Werkzeug und keine Spezialausbildung nötig
- senkt die Unfallgefahr und die Kosten.

Mit PST-Kaltschrumpfschläuchen erhalten Sie sichere Kabelverbindungen mit guten elektrischen Werten, die
- dauernd flexibel und elastisch bleiben,
- höchsten mechanischen Schutz bieten, aber nur wenig auftragen,
- alterungsbeständig und beständig gegen Säuren, Laugen, UV-Strahlen und Ozon sind,
- absolute Längswasserdichtigkeit garantieren.

Darum: umsteigen auf Kaltschrumpfen mit PST von 3M.



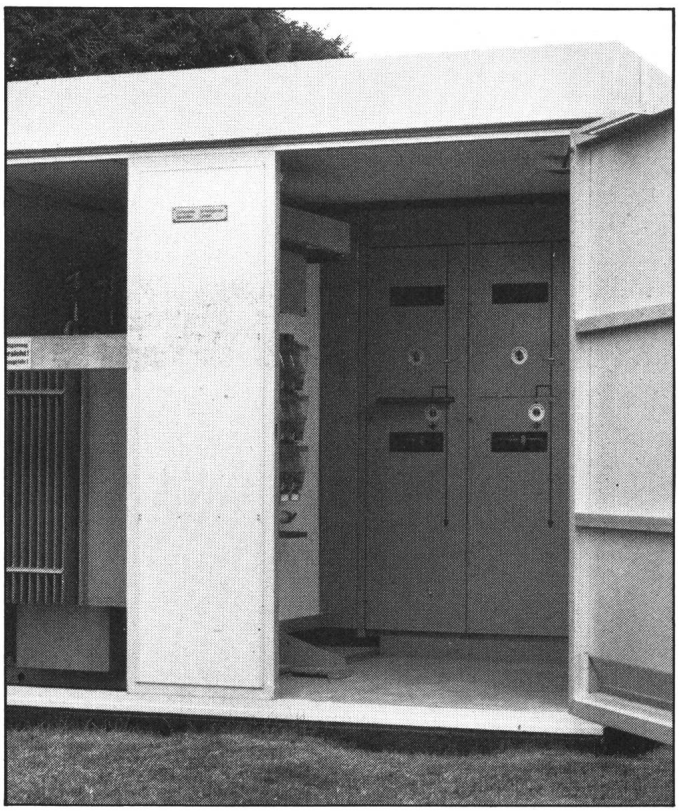
Das Spritzverfahren

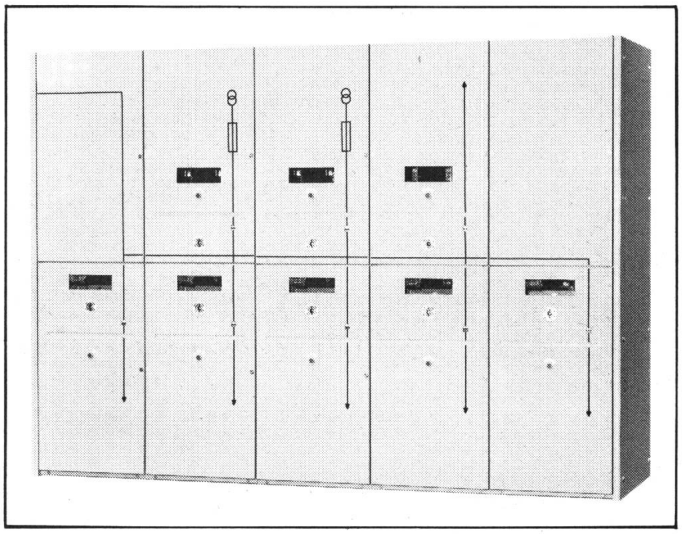
Mit dem 3M Spritzverfahren können Muffen nach Mass gebaut werden. Statt um die Spleissung eine Form zu legen, konstruiert der Monteur die Muffe selbst. Damit sind Sie unabhängig vom Typ, Querschnitt und der Lage des Kabels. Das Spritzverfahren ist die Problemlösung z.B. bei Kabeln mit hohem Öldruck, bei senkrechter Kabelführung, Winkel- oder Überkopfmontage oder wenn die Muffe genau in den Kabelkanal passen muss.
Mit diesen 3 praxiserprobten Spleissverfahren – kombiniert mit der Erfahrung unserer Spezialisten – lassen sich auch Ihre Spleissprobleme im Niederspannungsbereich optimal lösen.
Wir informieren Sie gerne. Verlangen Sie noch heute die ausführlichen Unterlagen.

3M (Schweiz) AG, Abt. Elektro
Räffelstrasse 25, 8021 Zürich
Telefon 01 35 50 50

3M

Die **kompakten Netzbausteine** von Sprecher + Schuh **betriebssicher - wirtschaftlich - zuverlässig**





Hohe mechanische und elektrische Lebensdauer

Härteste Dauererprobungen mit weit über die Vorschrift hinausgehenden Schaltzahlen und strenge Fertigungskontrollen garantieren ein extrem hohes Langzeitverhalten. Elektrische Dauerprüfungen im Feuchtraumklima und bei extremer Verstaubung sichern den Einsatz auch unter erschwerten Umweltbedingungen.

Wirtschaftliche Kleinbauweise

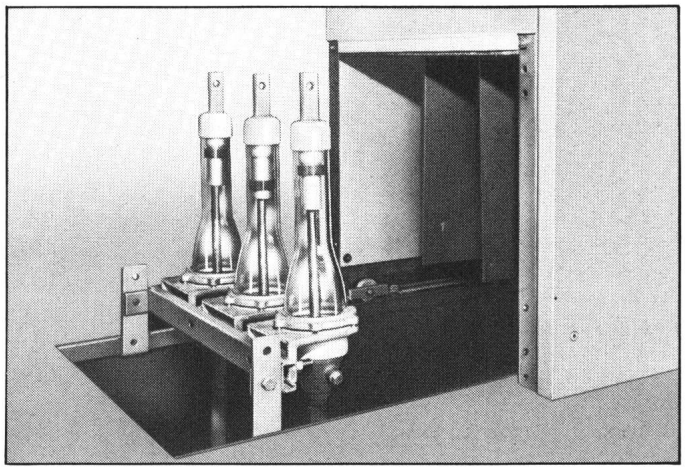
Die wirtschaftliche Kleinbauweise der Netzbausteine PN 306 gestattet raumsparende Innenraum-Schaltanlagen mit Nennspannung bis 24 kV betriebssicher zu bauen. Durch das Knickprinzip der Schaltmesser des neuen Lasttrenners TKL und der raumsparenden Anordnung beanspruchen 4 Leitungsabgänge im Netzbaustein PN 306 etwas mehr als 1 m² Grundfläche. Bei dieser Ausführung sind pro Feld 2 Lasttrenner übereinander angeordnet. Das Lieferprogramm enthält aber auch Netzbausteine mit einem Gerät pro Feld, so dass Sie für Ihren Anwendungsfall jederzeit den richtigen Baustein wählen können.

Ausgereifte, zuverlässige Technik

Der Lasttrenner TKL verfügt über ein hervorragendes Schaltvermögen. Die nach dem Hartgasprinzip arbeitenden Ringspaltlöschkammern beherrschen alle Betriebsströme zuverlässig. Durch den Einsatz von modernsten Löschwerkstoffen und hochbrandfesten Kontakten werden auch elektrisch höchste Schaltzahlen erreicht.

Optimale Betriebssicherheit

Der Betriebszustand ist durch Stellungsmelder im Blindschema sofort erkennbar. Ein Schnellerder und die eingeschobene Isoliertrennplatte ermöglichen den gefahrlosen Zugang zum Kabelanschlussraum. Zudem sind die Netzbausteine störlichtbogenfest ausgeführt.



Problemlose Montage

Netzbausteine mit Fahrrollen erleichtern die Montage am Aufstellungsort und erlauben die Kabelendverschlüsse fertig zu montieren, bevor die Zellen darübergeschoben werden.

Verlangen Sie unverbindlich ausführliche Informationen.

sprecher + schuh

Sprecher + Schuh AG
CH-5001 Aarau/Schweiz
Tel. 064 25 21 21

773 M

Besuchen Sie uns an der INELTEC 79, Halle 3, Stand 421