

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: 85 (1994)

Heft: 9

Artikel: Respektieren Mobilfunkgeräte die Sicherheitsgrenzwerte? : Dosimetrisches Messsystem für den Mobilfunk

Autor: Meier, Klaus / Kuster, Niels

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-902556>

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: 16.04.2026

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

Die drahtlose Kommunikation befindet sich in einer Boomphase; das Mobiltelefon wird in naher Zukunft zum alltäglichen Konsumartikel werden. Da es sich um eine qualitativ und quantitativ neuartige elektromagnetische Exposition handelt, beschäftigt sich das Bundesamt für Gesundheit mit eventuellen Risiken dieser Technologie. Dieser Beitrag beschreibt ein Messsystem, das eine einfache und verlässliche Überprüfung der Geräte im Hinblick auf die heute geltenden Sicherheitsgrenzwerte ermöglicht. Erste Testmessungen an sieben Mobiltelefonen werden präsentiert.

Respektieren Mobilfunkgeräte die Sicherheitsgrenzwerte?

Dosimetrisches Messsystem für den Mobilfunk

■ Klaus Meier und Niels Kuster

Seit der moderne Mensch zum Aufbereiten seiner Nahrung den Mikrowellenofen verwendet, ist allen klar, dass hochfrequente elektromagnetische Strahlung unterschiedlich tief in biologisches Gewebe eindringt und dieses dabei erhitzen kann. Um gesundheitliche Schäden durch ungewollte elektromagnetische Exposition zu verhindern, wurden Sicherheitsgrenzwerte eingeführt, unterhalb denen eine Gefährdung durch thermische Effekte äusserst unwahrscheinlich wird. Organisationen und Kommissionen, die solche Grenzwertempfehlungen ausarbeiten, sind zum Beispiel IRPA, ANSI/IEEE, NCRP, DIN/VDE, Cenelec und das Buwal [1–6]. Im Frequenzbereich des Mobilfunks verwenden alle als Basisgrösse die pro Masse absorbierte elektromagnetische Leistung (W/kg), die auch spezifische Absorptionsrate (SAR) genannt wird.

Als Grundlage für die Grenzwerte dient der aus Tierexperimenten ermittelte Schwellenwert, ab dem signifikante Verhaltensänderungen bei Nagetieren und Affen beobachtet werden konnten. Dieser liegt bei 4 W/kg. Für beruflich exponierte Gruppen wird der um einen Sicherheitsfaktor 10 strengere Grenzwert von 0,4 W/kg gefordert. Für die übrige Bevölkerung wurde der Wert auf 0,08 W/kg verschärft, um

auch die gesundheitlich schwächsten Personengruppen schützen zu können. Neben diesen Grenzwerten für die durchschnittliche Exposition des ganzen Körpers mussten zusätzlich Grenzwerte für eine rein lokale Belastung definiert werden. Diesen Schwellenwert legten die Kommissionen Cenelec und DIN/VDE bei 20 mW/10 g fest, während die IEEE/ANSI-Kommission nur 1,6 mW/g zulässt. Beide Werte dürfen gemittelt über sechs Minuten nie überschritten werden.

Von diesen Basiswerten leitete man Schwellenwerte für die einfacher messbaren elektrischen und magnetischen Feldstärken ab. Diese «abgeleiteten Grenzwerte» wurden so festgelegt, dass bei ihrer Einhaltung die Basisgrenzwerte nicht verletzt werden können. Im Nahfeld von Sendern führt dieser Ansatz jedoch zu einer starken Überschätzung der Belastung, weil dort stark überhöhte Felder auftreten können, die schon bei geringen Sendeleistungen weit höher als die abgeleiteten Grenzwerte sein können, auch wenn die damit verbundenen SAR-Werte sehr klein sind.

Damit die bereits im Einsatz befindlichen Handfunkgeräte mit den Grenzwerten konform waren, wurde den Normen in den frühen 80er Jahren die sogenannte 7-W-Ausnahmeregelung angeheftet. Diese Regelung kam in den letzten Jahren unter Beschuss, weil sie, wie in neueren Arbeiten [7; 8] dargelegt, bei höheren Frequenzen in direktem Widerspruch zu den Basisgrenzwerten stand. Dieselben Studien lassen zu-

Adresse der Autoren:

Klaus Meier und Prof. Dr. Niels Kuster,
Institut für Feldtheorie und Höchstfrequenztechnik,
ETH Zentrum, 8092 Zürich.

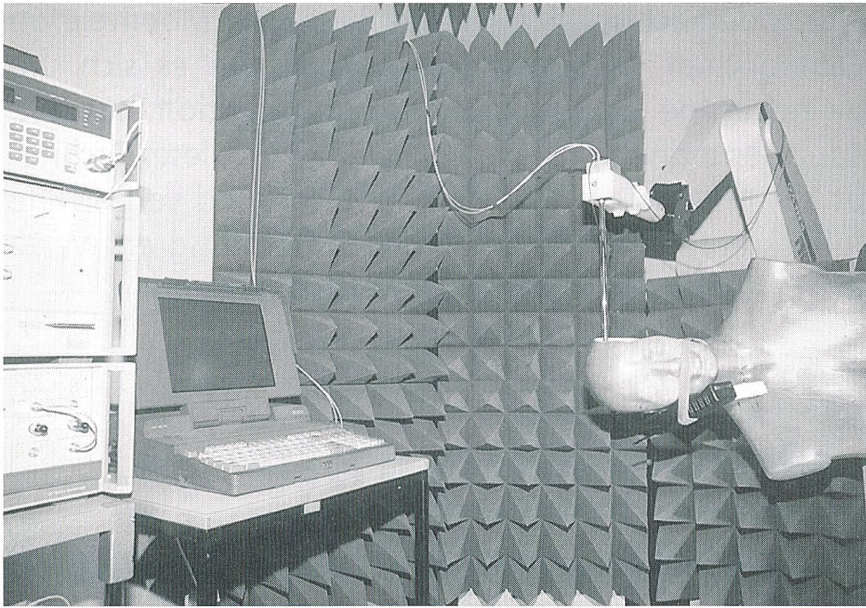


Bild 1 Photo des Messlabors: Rechts das Schalenphantom aus Glasfiber und gefüllt mit einer gewebesimulierenden Flüssigkeit. Dahinter der Roboter mit der im Phantom eingetauchten Nahfeldsonde. Ein PC (links) steuert den gesamten Messvorgang

dem eine starke Abhängigkeit der Absorption von der Gerätekonstruktion erwarten. Nach anfänglichem Zögern reagierten die normengebenden Gremien, setzten die Gültigkeit der Ausnahmeregelung aus und ersetzten diese durch die Forderung nach einer messtechnischen Zulassungsprüfung der einzelnen Typen.

Da bis zu diesem Zeitpunkt kein Messverfahren zur Verfügung stand, mit dem eine verlässliche Typenprüfung durchgeführt werden konnte, das heisst, mit dem die Geräte bei lokaler Absorption auf ihre Konformität mit den Basisgrenzwerten getestet werden konnten, wurde das Institut vom deutschen Ministerium für Post und Telekommunikation, der deutschen Telekom, der PTT und dritten Auftraggebern beauftragt, ein solches zu entwickeln und aufzubauen.

Messverfahren

Die örtliche spezifische Absorptionsrate (SAR) kann messtechnisch auf zwei Arten bestimmt werden. Sie ist entweder proportional zur induzierten elektrischen Feldstärke oder proportional zum Temperaturanstieg

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} E^2 = c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

wobei E die elektrische Feldstärke, σ die Leitfähigkeit, ρ die Dichte und c die spezifische Wärmekonstante des Gewebes am Ort der Messung ist.

Thermische Verfahren haben den Nachteil, dass eine Temperaturänderung nicht

direkt gemessen werden kann, sondern nur indirekt über Temperaturmessungen zu verschiedenen Zeitpunkten. Die thermodynamischen Effekte (Wärmekonvektion und -diffusion) setzen der maximalen Empfindlichkeit klare Grenzen. Elektrische Feldsonden haben den grossen Vorteil, dass die elektrische Feldstärke direkt gemessen werden kann, was ein rasches Abtasten erlaubt. Hohe Genauigkeit ist aber nur zu erreichen, wenn es gelingt, die Kopplungen der Leitungen mit dem Feld möglichst stark zu dämpfen.

Bei der Überprüfung, ob die Grenzwerte eingehalten werden, ist eine der Hauptschwierigkeiten, dass der Ort der maximalen Absorption, welche für ein konkretes Gerät gilt, nur schlecht a priori voraussehbar ist. Zudem sind die Maxima um so lokaler, je höher die Frequenz ist. Um diese Maxima trotzdem zuverlässig bestimmen zu können, muss in einem relativ grossen Körpervolumen auf einem feinen räumlichen Gitter gemessen werden. Diese Anforderung zwingt dazu, mit Schalenmodellen zu arbeiten, die mit gewebesimulierenden Flüssigkeiten gefüllt sind. Damit können jedoch die Inhomogenitäten des Körpers nicht simuliert werden. Trotzdem sind solche homogenen Schalenmodelle für ein Typenprüfverfahren geeignet, weil bei wasserhaltigen Geweben die Unterschiede durch Inhomogenitäten viel weniger ins Gewicht fallen als zum Beispiel die Position der sendenden Struktur oder die Form des Schädels [7].

Messsystem

Der Aufbau des Labors ist aus Bild 1 ersichtlich. Es enthält folgende Komponenten:

- Das Messverfahren basiert auf einer neu entwickelten, isotropen Nahfeldsonde, deren Empfindlichkeit, Bandbreite und Störfestigkeit gegenüber den bisher bekannten Lösungen deutlich verbessert wurde. Die Bandbreite erstreckt sich von 10 MHz bis mindestens 2 GHz, und die erzielte Empfindlichkeit liegt unterhalb 1 $\mu\text{W/g}$ bei einem Gesamtdurchmesser der Sonde inkludiert

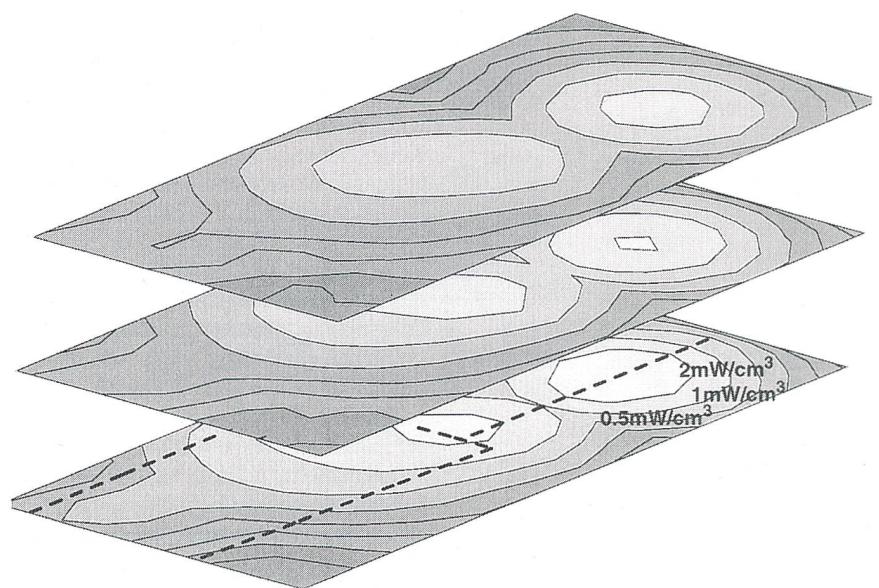


Bild 2 SAR-Verteilung des Gerätes Nr. 4 in drei Ebenen im Gewebe

Gemessen an einem mit muskelgewebesimulierender Flüssigkeit gefüllten Flach-Phantom. Der Abstand zwischen den Messebenen beträgt 5 mm (hier vergrössert dargestellt)

sive Schutzhülle von nur 8 mm (Dipollänge ist 3 mm).

– Die verbesserten Sondereigenschaften wurden mit höheren Anforderungen an die Signalverstärkungselektronik verkauft (der totale Innenwiderstand der Sonde beträgt 8 MΩ). Es mussten äusserst rausch- und driftarme Differenzverstärker eingesetzt werden. Pro Sekunde werden mindestens 1000 Messungen über eine optische Verbindung an einen PC übertragen. Durch Kurzschliessen der Antenneneingänge mittels eines Impulsrelais und Messung der Offset-Werte können Drifterscheinungen kompensiert werden. Mittels digitaler Filterung im PC werden Brumm- und Rauschkomponenten entfernt. Die gesamte Elektronik ist in einer kleinen Box (68x57x46 mm³) inklusive Batterien untergebracht.

– In die Sonde wurde ein metallfreier, optischer Oberflächensensor integriert, damit die Position der Sonde bezüglich der Oberfläche automatisch erfasst werden kann, was zu einer Vereinfachung der Messung und zu einer Verkürzung der Vorbereitungs- und Messzeit führte.

– Zum automatischen Abfahren des räumlichen Messgitters im Schalenmodell wird ein 6-Achsen-Roboter (Puma 563) eingesetzt.

– Der gesamte Messvorgang wird vom PC aus gesteuert. Die dazu notwendige Software kann in fünf Aufgabenbereiche aufgeteilt werden: Steuerung des Roboters, Auswertung des Oberflächensensors, Filterung der Messwerte, Fehlererkennung sowie Auswertung und Darstellung der Daten.

– Für den Mobiltelefon-Test wurde folgende Teststrategie implementiert: Zuerst wird in einem grobmaschigen Gitter, welches den belasteten Körperteil (Kopf) und das gesamte Funkgerät (Gehäuse inkl. Antenne) abdeckt, ausgemessen (Bild 2). Danach wird um den Ort des Maximums in einem feineren Würfelgitter gemessen, aus dem die gemittelten SAR-Werte durch dreidimensionale Polynom-Integration für spezifische Gewebemassen (z.B. 10 g und 1 g) berechnet werden (Bilder 3 und 4).

Das Messverfahren wurde mit grossem Aufwand auf seine Richtigkeit überprüft. Dabei wurden die E-Feld-Messungen mit Computersimulationen und jenen SAR-Werten verglichen, die durch Messung des punktuellen Temperaturanstiegs bei hoher Leistung in der Flüssigkeit bestimmt worden waren.

Erste Testmessungen an Mobiltelefongeräten

In einer ersten Testserie wurden sieben NMT-C-Mobiltelefongeräte (NMT-Gerä-

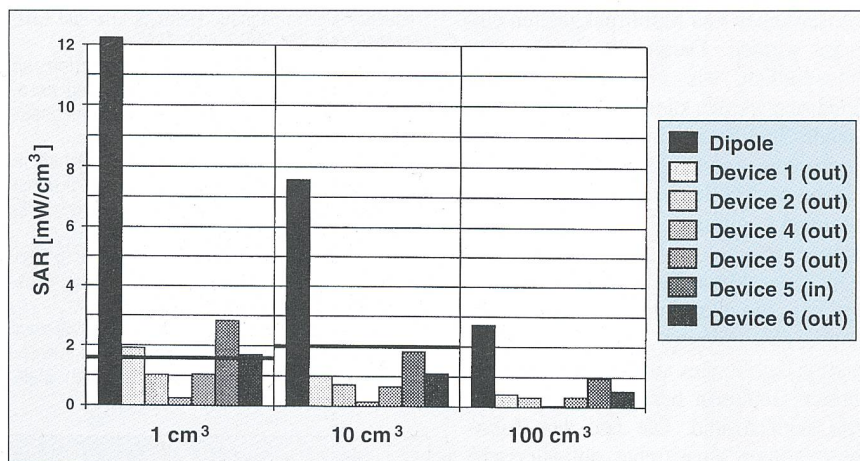


Bild 3 Standard-Handhabung des Mobiltelefons

Gemessen an einem anatomisch korrekten, mit hirngewebesimulierender Flüssigkeit ($\epsilon_r = 46, \sigma = 1,1 \text{ S/m}$) gefüllten Modell. Die schwarzen Querbalken zeigen die momentanen Grenzwerte von ANSI/IEEE (1,6 mW/g) und DIN/VDE (20 mW/10 g). Ausgangsleistung des Gerätes: 1 W

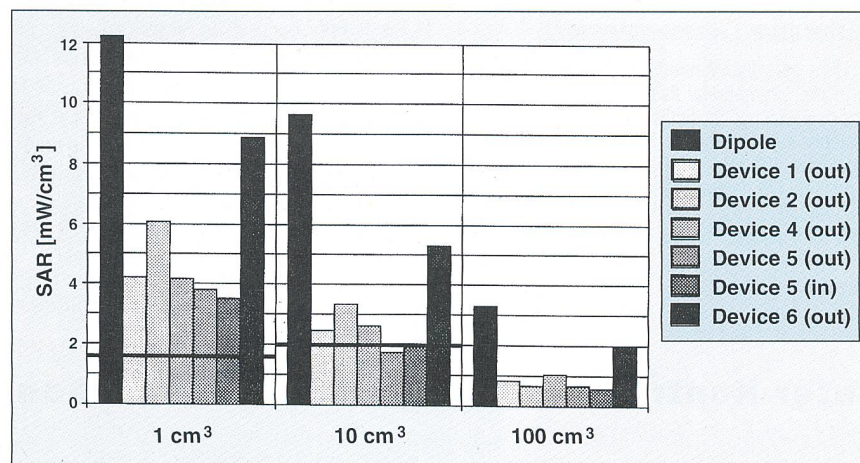


Bild 4 Worst Case-Handhabung des Mobiltelefons

Gemessen im anatomisch korrekten, mit hirngewebesimulierender Flüssigkeit ($\epsilon_r = 46, \sigma = 1,1 \text{ S/m}$) gefüllten Modell. Die schwarzen Querbalken zeigen die momentanen Grenzwerte von ANSI/IEEE (1,6 mW/g) und DIN/VDE (20 mW/10 g). Ausgangsleistung des Gerätes: 1 W

te) ausgemessen ($f_{m2b} = 890-915 \text{ MHz}$; spezifizierte Maximalleistung $P_{max} = 1 \text{ W}$). Im Labor wurde mit Hilfe eines Funkmessplatzes (Schlumberger Stabiloc 4015) eine Zelle mit Basisstation und Mobilgerät simuliert. Alle Mobilfunkgeräte sendeten mit maximaler Leistung.

Die Telefone wurden bezogen auf den Kopf so orientiert, dass die Antennenachse um etwa 45 Grad von der Schädelachse verdreht nach hinten zu liegen kam. Drehpunkt war das Ohr. Dies entspricht etwa der Standardausrichtung eines Mobiltelefons. In dieser Position ist die Antenne konstruktionsabhängig weiter hinten im Nacken und aufgrund der dort stärkeren Krümmung des Kopfes weiter weg vom Körper. Die Messresultate sind in Bild 3 zusammengefasst.

Im täglichen Gebrauch kann ein Telefon auf verschiedene Arten gehalten werden. In einem zweiten Schritt wurde deshalb ver-

sucht, den Worst Case unter funktional möglicher Handhabung zu bestimmen. Dieser tritt dann auf, wenn die sendende Struktur, am Ort der höchsten HF-Ströme, den Kopf berührt (Bild 4). Es ist klar, dass die Werte von Bild 4 die tatsächliche Worst Case-Belastung überschätzen, weil zum Beispiel das Gerät normalerweise nicht minutenlang auf diese Art und Weise benützt wird und der Schädelknochen nicht berücksichtigt ist. Weitere diesbezügliche Untersuchungen werden in nächster Zeit durchgeführt.

Schlussfolgerungen

Mit dem geschilderten Messverfahren lässt sich die Absorption im extremen Nahfeld von Sendern genau, automatisiert und zeiteffizient untersuchen. Das Labor kann, so wie es jetzt zur Verfügung steht, für

Mobilfunk

Testmessungen von Mobilfunkgeräten eingesetzt werden. Damit das Messsystem schlussendlich als Typenprüfverfahren akkreditiert werden kann, müssen noch eingehende Studien zu einem bestmöglichen Testphantom durchgeführt werden. Diese Aufgabe wird in den nächsten Monaten im Mittelpunkt unserer Forschungstätigkeit stehen.

Die ersten Messungen haben bereits gezeigt, dass die maximale, lokal absorbierte Leistung (wie erwartet) stark von der Konstruktion des Gerätes abhängt, und dass die heutigen Geräte in bezug auf die Grenzwerte kritisch sind. Die von den Zulassungsbehörden angestrebte obligatorische Typenprüfung scheint damit sachlich begründet zu sein.

Literatur

[1] *International Non-Ionizing Radiation Committee of the International Radiation Protection Association: Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz-300 GHz.* Health Physics, vol. 54, pp. 115-123, January 1988.

[2] *ANSI/IEEE C95.1-1991: IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio*

Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz-300 GHz. Inc., New York, NY 10017. IEEE, 1992.

[3] *National Council on Radiation Protection and Measurement (NCRP): Biological effects and exposure criteria for radiofrequency electromagnetic fields,* Tech. Rep. NCRP Report No. 86, 1986.

[4] *Entwurf DIN/VDE 0848 Teil 2: Sicherheit in elektromagnetischen Feldern - Schutz von Personen im Frequenzbereich von 30 kHz-300 GHz.* VDE-Verlag GmbH, Berlin 12. DIN, Oktober 1991.

[5] *Cenelec CLC/SC111B: Human Exposure to Electromagnetic Fields: 10 kHz-300 GHz.* Cenelec, Brussels, Second Draft, August 12, 1993.

[6] *Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Buwal): Biologische Auswirkungen nichtionisierender elektromagnetischer Strahlung auf den Men-*

schon und seine Umwelt, Teil 1: Frequenzbereich 100 kHz-300 GHz. Bundesamt, Bern, 1990.

[7] *N. Kuster, Q. Balzano: Energy absorption mechanism by biological bodies in the near field of dipole antennas above 300 MHz.* IEEE Transactions Vehicular Technology, 41(1992), February, pp. 17-23.

[8] *N. Kuster: Multiple multipole method applied to an exposure safety study.* In ACES Special Issue on Bioelectromagnetic Computations (A. Fleming, K. H. Joyner, eds.), Applied Computational Electromagnetics Society, 7(1992), pp. 43-60.

[9] *N. Kuster: Multiple multipole method for simulating EM problems involving biological bodies.* IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 40(1993), July.

Systeme de mesure dosimétrique pour la communication sans fil

Les moyens de communication sans fil connaissent une extraordinaire expansion. Le téléphone mobile deviendra dans un avenir proche un bien de consommation courant. Ceci représente de nouvelles possibilités d'exposition au rayonnement électromagnétique, c'est pourquoi l'Office fédéral de la santé publique étudie les éventuels risques liés à cette technologie. Ce rapport décrit un nouveau système de mesure permettant facilement de vérifier de manière sûre qu'un tel appareil satisfait les normes de sécurité en vigueur. Des mesures préliminaires concernant sept téléphones mobiles sont aussi présentées.

Alles unter Kontrolle?



Wir haben die Lösung.

Denn VXL ist die Prozessleitsystem- und Prozessvisualisierungs-Software für ein effizientes Steuern, Überwachen und Visualisieren sämtlicher Prozesse - und damit die Voraussetzung für den optimalen Einsatz Ihrer wertvollen Infrastruktur.

Eurodis Data AG
Bahnstrasse 58/60
CH-8105 Regensdorf
Tel. 01 843 32 32
Fax 01 843 34 24

eurodis 
Eurodis Data

Des solutions et une technologie de pointe
Lösungen und eine Spitzentechnologie
State-of-the-art solutions and technology
Soluzioni e tecnologia di punta

BSALIGNE: Etudes et réalisations de lignes électriques jusqu'à 380 kV. Etudes de lignes de contact.
BSADYN: Mesures dynamiques sur tous types de pieux jusqu'à 10'000 kN: intégrité, capacité portante, courbes de tassement et mesures de vibrations.
BSAVISION: Restitution photogrammétrique en 3 dimensions.
Développements Prototypes et systèmes de production. Informatique Applications, Consulting.

BSALIGNE: Studien und Bauten von Freileitungen bis zu 380 kV. Studien von Fahrleitungen.
BSADYN: Qualitätskontrolle aller Pfahltypen mit dynamischen Messungen bis zu 10'000 kN: Integrität, Tragfähigkeit, Setzungskurven, Schwingungsmessungen.
BSAVISION: Dreidimensionale Photogrammetrie.

Entwicklungen: Prototypen und Produktionssysteme.
Informatik: Anwendungen, Beratungen.

BSALIGNE: Research and construction of electric transmission lines up to 380 kV. Research into overhead contact lines.
BSADYN: Dynamic measurements of all piles types up to 10'000 kN: integrity, loadbearing capacity, settlement curves and vibration measurements.
BSAVISION: Photo interpretations in 3 dimensions.
Developments: Prototypes and production systems.
Data processing: Applications, Consulting.

BSALIGNE: Studi e realizzazione di linee elettriche fino a 380 kV. Studi di linee di contatto.
BSADYN: Misure dinamiche su tutti i pali per fondazioni fino a 10'000 kN: integrità, capacità portante, curve di assestamento e misura delle vibrazioni.
BSAVISION: Ricostruzioni fotogrammetriche tridimensionali.
Sviluppi: Prototipi e sistemi di produzione.
Informatica: Applicazioni, Consulting.

BSA INGENIEURS CONSEILS
Pully
Adresse postale: CH-1527 Villeneuve
Tél. 037/64 15 21 – Fax 037/64 24 43

ENELTEC

Eneltec AG
Energie Elektrotechnik
5504 Othmarsingen
Switzerland
Telefon 064 56 01 22
Telefax 064 56 10 89

- Netzanalysen
- Resonanzabklärungen
- Beratung über Netzrückwirkungen (SEV / VSE-Richtlinien)
- Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV-Anlagen)
- Blindleistungs-Kompensationsanlagen
- Leistungsfilter (Saugkreise zur Reduktion der OS-Spannungsbeiträge)

Sicherheit dank unseren USV

Der Leser ist's

der Ihre Werbung honoriert!

86% der Bulletin-SEV/VSE-Leser sind Elektroingenieure.

91% der Leser haben Einkaufsentscheide zu treffen.

Bulletin SEV/VSE – Werbung auf fruchtbarem Boden.
Tel. 01/207 86 34

