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: 91 (2000)

Heft: 3

Artikel: Sender- und Funknetzplanung mit 3D-Computersimulation

Autor: Matter, Peter H. / Roth, D. / Hollmann, D.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855519

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: 15.07.2025

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

Sender- und Funknetzplanung mit 3D-Computersimulation

Neues volldeterministisches System zur Funknetzplanung und Funkausbreitungssimulation

Überall im Land entstehen neue Funkanlagen, sei es für GSM, Polizeifunk, Bündelfunk, TV- oder UKW-Rundfunk. Netze für das weltweite Mobiltelefonsystem UMTS und den drahtlosen Hausanschluss (Wireless Local Loop) kommen demnächst dazu. Nur eine optimale Planung garantiert einen kosteneffizienten, raschen Aufbau eines Versorgungsnetzes und eine gute Qualität der Empfangsergebnisse.

Besonders im Gebirge und im Voralpengebiet hält die Topologie oft unliebsame Überraschungen bereit. Nicht selten kommt es vor, dass ein Sender zwar eine genügende Feldstärke erzeugt, doch Reflexionen der Wellen an Felswänden, Seeoberflächen oder an verschneiten Hängen die Qualität des Empfangs deutlich mindern. Bei analogen Übertragungen wie UKW-Rundfunk werden solche Störungen durch hörbares Säuseln (vor allem bei Stereoempfang) und durch starkes Schwanken der Empfangspegel deutlich. Bei digitalen Systemen (z.B. GSM-Mobiltelefon, DAB oder DVB) weist der Empfang durch Intersymbolinterferenzen hohe Bitfehlerraten (BER) auf, welche die Verbindung verstümmeln oder gar abbrechen lassen. Diese Effekte sind auf die Mehrwegeausbreitung der Funkwellen im Gelände zurückzuführen.

Um die geländebedingte Beeinflussung elektromagnetischer Wellen und deren Auswirkung auf die Funkübertragung vorhersagen zu können, werden Ausbreitungsmodelle verwendet. Vielfach beschränken sich diese auf die Beschreibung von Effekten und auf Verfahren, die entlang der direkten Verbindungslinie vom Sender zum Empfänger auftreten. Im realen Gelände lassen sich die Ausbreitungsmechanismen aber nicht auf die Betrachtung eines zweidimensionalen Geländeschnittes reduzieren. In vielen Situationen spielt auch der ausserhalb des zweidimensionalen Geländeprofils liegende Teil der dreidimensionalen Landschaft eine wichtige Rolle. Deshalb muss die gesamte Umgebung als Grundlage für die dreidimensionale Charakterisierung der auftretenden Ausbreitungsvorgänge erfasst werden. Dies führt zu einem dreidimensionalen Modell, das die Ausbreitung der Funkwellen über verschiedene Pfade im natürlichen Gelände realitätsnah beschreibt und mit dem die oben erwähnten Effekte erklärbar sind.

Das Funksimulationssystem Kess

Kess* ist ein Softwaresystem zur Darstellung, Analyse, Auswertung, Bewertung und Simulation der geographischen und funktechnischen Situation in einem vom Anwender beliebig auswählbaren Gebiet. Es beruht auf den Ergebnissen verschiedener in den vergangenen Jahren durchgeführter Vorhaben, bei denen die bei der terrestrischen Funkübertragung auftretenden Phänomene der Beugung, Streuung und Reflexion untersucht wurden. Neben zweidimensionalen Verfahren zur Modellierung der Funkwellenausbreitung ist auch ein dreidimensionales Ausbreitungsmodell entwickelt worden, mit dem wesentlich genauere Ergebnisse erzielt werden können. Der Umgebung entsprechend werden die Funkwellenausbreitung dreidimensional berechnet und die Mehrwegeausbreitung im natürlichen Gelände auf physikalischer Ebene sehr realitätsnah nachgebildet. Dieses deterministische Berechnungsverfahren ist naturgemäss deutlich komplexer und aufwendiger als Methoden, die nur für eine bestimmte Geländeart und einen kleinen Frequenzbereich gelten sowie mit Skalierungstabellen arbeiten, die auf Erfahrungswerten beruhen. Das Gelände der Schweiz und dessen Reflexionseigenheiten bei Schnee kann aber stark von Erfahrungswerten aus dem Ausland abweichen. Dies kann bei Planungssystemen ohne volldeterministische 3D-Berechnungsalgorithmen zu Fehlprognosen führen.

Im Frequenzbereich oberhalb 20 MHz wird mit dem Kess-System die Wellenausbreitung im erdnahen Bereich betrachtet. Um Beugungen und Reflexionen an Hindernissen in die Berechnung der Empfangsleistung einbeziehen zu können, wird auf die in geographischen Informationssystemen (GIS) gespeicherten Daten zugegriffen. Typische Entfernungen betragen je nach Anwendung und Einsatzart 1 km bis 150 km.

Die eingesetzten zwei- und dreidimensionalen Ausbreitungsmodelle eignen

Adresse der Autoren
Peter H. Matter, Dipl. El.-Ing. HTL
Comsite Engineering AG, 6315 Morgarten
E-Mail info@comsite.ch
Dr.-Ing. *D. Roth* und Dr.-Ing. *D. Hollmann*
SEL Verteidigungssysteme GmbH
D-75175 Pforzheim

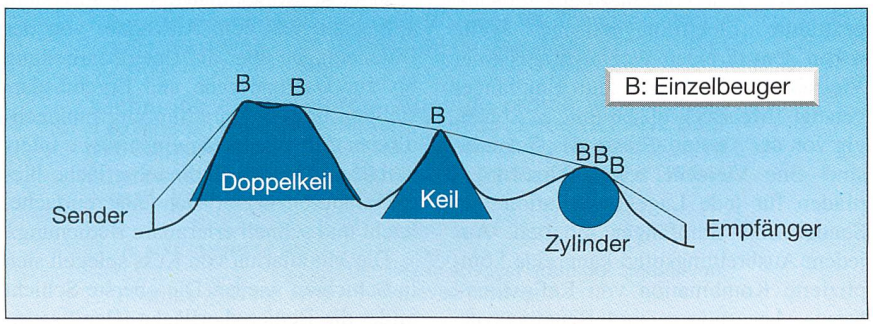


Bild 1 Klassifizierung der Ersatzhindernisse im Geländeschnitt

* Kommunikations-, Erfassungs- und Störsimulation

sich für den Frequenzbereich von 20 MHz bis 60 GHz. Messtechnisch abgesichert ist bisher der Bereich von 20 MHz bis 1 GHz durch Feldmessungen mit ca. 1400 km Streckenlänge in verschiedenem Gelände und unterschiedlichen Frequenzbereichen.

Deterministische Ausbreitungsmodelle

Zweidimensionales Modell (2D)

Grundlage für die Berechnung der Wellenausbreitung zwischen zwei Geländepunkten ist das durch Interpolation aus den diskret vorliegenden Daten berechnete Geländeprofil. Falls Landnutzungsdaten in die Berechnung eingehen sollen, extrahiert das Programm die auf dem Geländeprofil liegenden Morphographiedaten und Zusatzhöhen aus der entsprechenden Datenbank. Die Morphographiedaten werden klassifiziert und mit elektrischen Materialkoeffizienten verknüpft.

Zur Berechnung wird die verallgemeinerte Beugungstheorie «Uniform Geometrical Theory of Diffraction» (UTD) angewendet, die gegenüber einfachen «Knife Edge»-Modellen (Messerklingenmodellen) eine beträchtliche Verbesserung der Feldstärkevorhersage bewirkt. Vor der Anwendung der Berechnungsverfahren müssen geeignete Ersatzmodelle für die Strukturen im Gelände ermittelt werden, die Beugung, Streuung und Reflexion verursachen. Die erforderlichen geometrischen und elektrischen Parameter werden aus den in der Datenbank vorliegenden topo- und morphographischen Daten bestimmt. Als Ersatzhindernisse dienen relativ einfache geometrische Formen wie Keile, Doppelkeile und Zylinder mit unterschiedlichem Krümmungsradius. Für die Anwendung der UTD werden entsprechend dem Geländeverlauf die ermittelten Ersatzhindernisse in das Geländeprofil so eingepasst, dass eine möglichst gute Nachbildung der natürlichen Geländeform stattfindet (Bild 1). Für diese Ersatzhindernisse wird mit Hilfe der UTD die Beugungsdämpfung entlang der Strecke zwischen Sender und Empfänger ermittelt. Bei der Keilbeugung werden modifizierte Beugungskoeffizienten verwendet, die die Oberflächenbeschaffenheit des Keils (dielektrische Eigenschaften) und somit die Morphographie des Geländes berücksichtigen. Ausserdem werden Reflexionen zwischen den Beugern als zusätzliche Strahlwege berücksichtigt. Die Feldanteile aller Teilstrahlen werden am Empfänger phasenrichtig zu einer Gesamtfeldstärke aufsummiert. Das Ergebnis lässt sich neben der Empfangsfeldstärke als Empfangsleistung oder Funkstreckendämpfung anzeigen.

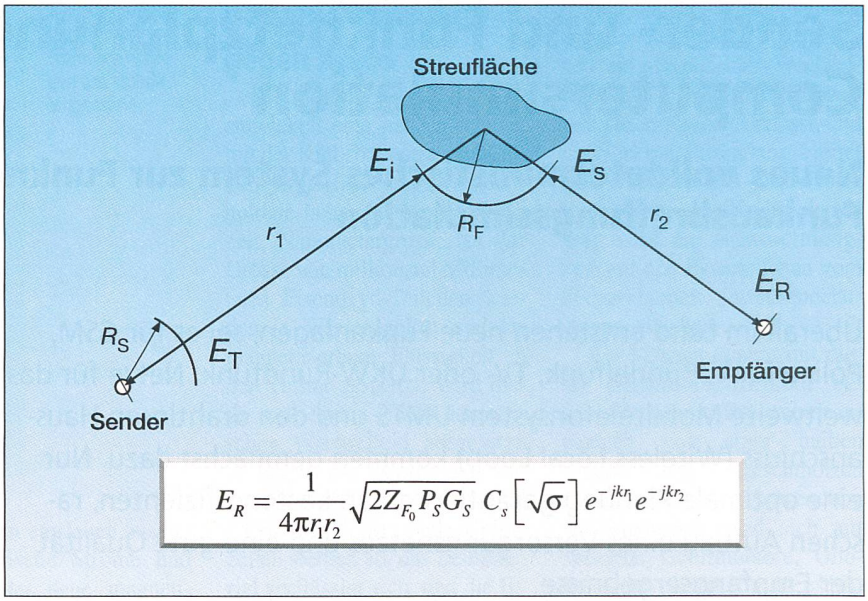


Bild 2 Bistatische Streuung zur Berechnung der Pfade bei Mehrwegeempfang

Dreidimensionales Modell (3D)

In gebirgigem Gelände muss die Umlenkung der Funkwellen an Geländehindernissen, die ausserhalb des zweidimensionalen Geländeprofils liegen, für eine verbesserte Charakterisierung der Ausbreitungseigenschaften des Funkkanals berücksichtigt werden.

Von Bedeutung für die Umlenkung der Funkwellen sind unter anderem:

- Reflexion oder Streuung an topographischen oder morphographischen Besonderheiten (herausragende Berge, Steilhänge, einzeln stehende Hochhäuser)
- Reflexion an einem ansteigenden Gegenhang hinter einer abgeschatteten Funkstelle (Mobilstation)
- Führung elektromagnetischer Wellen entlang eingeschnittener Täler und Strassenschluchten

Ihre Berücksichtigung erfordert den Übergang zur dreidimensionalen Struktur des Geländes zwischen den Funkstellen. Hierbei wird der Tatsache Rechnung getragen, dass eine von einer Funkstelle abgestrahlte elektromagnetische Welle neben dem direkten Weg auch auf einer Vielzahl von Umwegen zum Empfänger gelangt (Mehrwegeausbreitung). Abhängig von der Art und Grösse des Geländes sind eine Vielzahl von Ausbreitungspfaden für jede Lagekonstellation von Sender und Empfänger möglich. Auf jedem Ausbreitungspfad kann eine komplizierte Kombination von Reflexions-, Streu-, Absorptions- und Beugungsvorgängen wirksam sein. Am Empfänger überlagern sich die Feldstärkekomponenten der einzelnen Ausbreitungspfade zu einer Gesamtfeldstärke. Sie stellt das Ergebnis der dreidimensionalen Ausbreitungsberechnung dar.

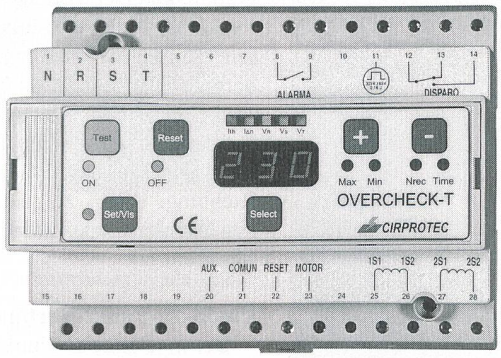
Die Berechnung der Empfangsfeldstärke für die Mehrwegesignale beruht auf dem Prinzip der bistatischen Streuung (Bild 2). Die Streufläche stellt eine dielektrische, statistisch rauhe Oberfläche dar, deren Lage im Raum aus den digitalen Geländedaten ermittelt wird. Hierdurch ist es möglich, den Streuquerschnitt in Abhängigkeit der vorliegenden Morphographieklasse (Stadt, Dorf, Feld, Wald, Busch, Wasser etc.) realitätsnah zu modellieren. Bedingt durch den statistischen Prozess der Streuung lassen sich die Umwegstrahlen nur leistungsmässig addieren und liefern somit ein Bild der am Empfänger maximal auftretenden Feldstärke. Der Anwender kann sich jedoch ein detailliertes Bild der zu erwartenden Empfangssituation machen, da Kess sämtliche Teilstrahlen speichert und auf Anforderung anzeigen kann.

Funktionsbeschreibung

Kess ist als modulares Softwaresystem aufgebaut, das dem Anwender von der Dateneingabe über die Datenbearbeitung bis zur Datenausgabe und Ergebnisdarstellung bei der Durchführung funktechnischer Aufgaben eine einheitliche interaktive graphische Bedienoberfläche bietet. Dadurch ergibt sich eine einfache, leicht und schnell erlernbare Bedienung.

Die Modularität von Kess spiegelt sich in Schichten wieder. Die oberste Schicht bildet die Bedienoberfläche (Benützerinterface). Die nächste Schicht enthält die

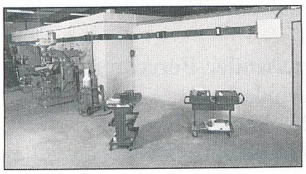
«Das Optimale»
OVERCHECK Schutzsystem

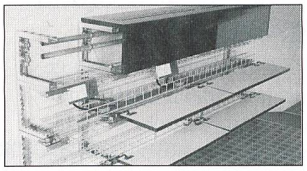


Fehlerstrom-, Kurzschluss-
Über/Unterspannungs- und Überlastschutzsystem
mit kontrollierter, zeitverzögerter automatischer
Wiedereinschaltung.

ELKO
SYSTEME AG

Messgeräte • Systeme • Anlagen
zur Kontrolle und Optimierung des Verbrauches elektrischer Energie
Postfach 151 CH-4310 Rheinfelden Telefon 061-831 59 81 Telefax 061-831 59 83





LANZ pour les bâtiments industriels, et pour l'équipement ultérieur de bâtiments:

- **canalisations électriques LANZ**
  25 – 8'000 A IP 54 et IP 68/1 – 245 kV norme EN/CEI
- **multi-chemins LANZ**, **un** chemin pour tous les **câbles**. Egalement en couleur et en acier Inox. Conformes aux normes SN SEV 1000/3 et CE
- **canaux G** et **tuyaux de protection de câbles en alu.** Pour petites installations de câbles sous plafonds et contre parois
- **canalisations électriques d'allège** 230 V/63 A et 400 V/63 A. Pour ateliers, laboratoires et bureaux
- **blocs de prises de sol LANZ. Passages de câbles LANZ à 8 et 16 sorties**
- **système de montage de rails MULTIFIX et colliers. Pour le montage coordonné** de toutes les conduites électriques, sanitaires et de l'installation de chauffage, ventilation et conditionnement d'air. **NOUVEAU**

Technique d'avant-garde. Montage rapide. Possibilités d'extension et de complément. Adressez-vous à LANZ pour des conseils, des offres et des livraisons à prix avantageux.

lanz oensingen sa Tél. 062/388 21 21 Fax 062/388 24 24
e-mail: info@lanz-oens.com

☐ Je suis intéressé par . . . . . .
. . . . . Veuillez m'envoyer votre documentation.
☐ Pourriez-vous me rendre visite, avec préavis, s.v.p.?

Nom/adresse/tél._____

of 2

lanz oensingen sa
CH-4702 Oensingen • Téléphone ++41/62 388 21 21

Combien d'années un condensateur est-il garanti?

Wieviele Jahre Garantie hat ein Kondensator?

☐ 1 an / Jahr
☐ 2 ans / Jahre
☐ 5 ans / Jahre
☐ 10 ans / Jahre

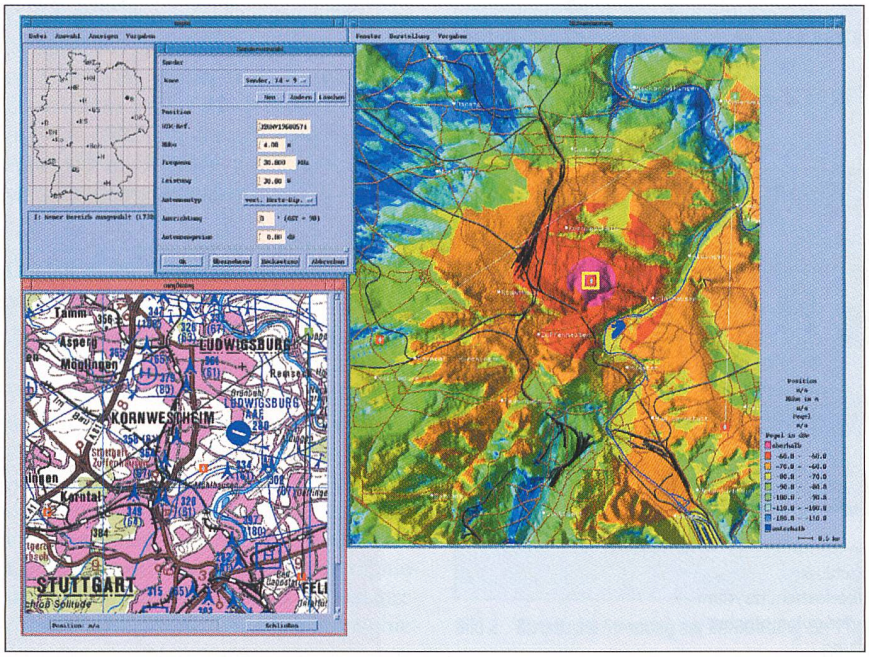


Bild 3 Arbeitsoberfläche von Kess bei Planung einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung

anwendungsspezifischen Module. Sie unterstützen den Anwender in der Durchführung der Bearbeitung seiner funktechnischen Probleme. In einer weiteren Schicht befinden sich die Algorithmen und Berechnungsverfahren zur Lösung der anwenderspezifischen Aufgaben. Die letzte Schicht wird durch eine objektorientierte Datenbank gebildet. Die dort in Modulen abgelegten Informationen umfassen z.B. die Höhendaten, die Daten über Vegetation und Bebauung, Kartenmaterial, Gerätedaten von Funkstellen, Systemdaten, eine Antennenbibliothek usw.

Das Softwaresystem Kess enthält eine ganze Reihe von Funktionen, mit denen der Anwender für eine Vielzahl von Aufgaben im Zusammenhang mit der Analyse bestehender sowie dem Entwurf, der Planung und dem Aufbau neuer Funksysteme und -netze quantifizierbare Ergebnisse erhält. Damit lassen sich Aussagen über die Übertragungsqualität, die funktechnische Erreichbarkeit, die Frequenzbandausnützung, die Minimierung auftretender Störungen usw. gewinnen, die dazu benützt werden können, die Auswirkungen verschiedener Planungsentscheide oder Projektalternativen zu prüfen und daraus die günstigste Wahl zu treffen.

Beim Start von Kess öffnet sich ein Hauptfenster, von dem aus alle wichtigen Aktionen vorbereitet und ausgelöst werden (Bild 3). Die in der Menüleiste vorhandenen Menüpunkte enthalten die Dialoge zu Gebietsauswahl, Festlegung der Sender- und Empfängerdaten sowie den Berechnungsparametern für die Wahl zwischen den möglichen Ausbreitungsmodellen. Die sender- und empfängerbezogenen Daten beschreiben Standorte, Antennenhöhe, Antennentyp (Polarisation, Ausrichtung der Antenne, Richtcharakteristik, Gewinn) sowie Sendeleistung und Betriebsfrequenz.

Berechnungsoptionen

Mit den in den Dialogfenstern eingegebenen technischen Daten einer Funkanlage können die erforderlichen Feldberechnungen durchgeführt werden. Dazu werden die von der Datenbankroutine aufbereiteten Höhenwerte, Landnutzungsdaten, Zusatzhöhen und die sendeseitigen sowie empfangsseitigen Daten benützt. Durch die Ablaufparameter ist es möglich, unter den verfügbaren Ausbreitungsmodellen das für die Anwendung am besten geeignete auszuwählen.

Den Berechnungsbeispielen liegt das Gebiet von Stuttgart und Umgebung zugrunde, weil es auf Grund seiner Topographie unterschiedliche Geländestrukturen aufweist: die Kessellage von Stuttgart mit Öffnung in Richtung Nordosten, die bergige Umgebung in westlicher und südlicher Richtung, das flach hügelige Gelände in nördlicher und das eingeschnittene Flusstal (Neckar) in westlicher Richtung. Bild 4 zeigt die angenommenen Standorte von fünf Funkstellen (rote Markierung).

Punkt-zu-Punkt-Verbindungen

Bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen wird anhand der Geländedaten ein Profil zwischen Sender und Empfänger erzeugt und mit der angegebenen Frequenz die elektrische Feldstärke am Empfängerstandort nach Betrag und Phase berechnet. In der Darstellung für das Geländeprofil kann das Berechnungsergebnis wahlweise als Funkstreckendämpfung, als Empfangsfeldstärke oder als Empfangsleistung angezeigt werden. Da die Berechnung sehr schnell erfolgt, ist eine interaktive Pegelanzeige möglich, so dass der Anwender Sender- oder Empfängerstandort per Maus verschieben und sofort die Änderung des Empfangspegels im Geländeprofilfenster mitverfolgen kann.

Einzelsender-Berechnungen mit dem 2D-Modell

Bei der Berechnung der örtlichen Feldstärkeverteilung wird, ausgehend vom Senderstandort, für alle Punkte im ausgewählten Gebiet die lokale Empfangsfeldstärke nach dem 2D-Modell berechnet. Sie wird in farblicher Abstufung flächendeckend dargestellt, mit dem Gelände als Reliefbild im Hintergrund (Bild 5).

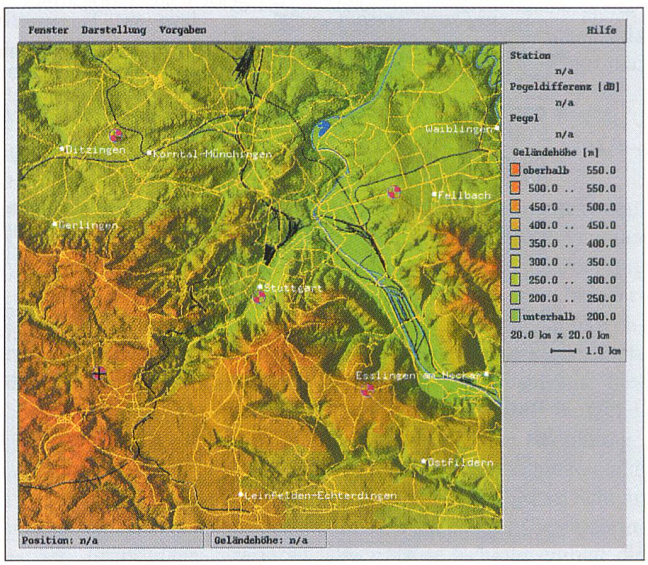
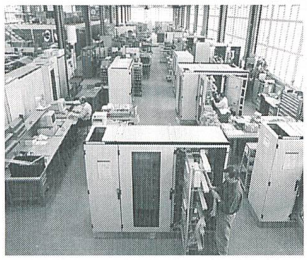


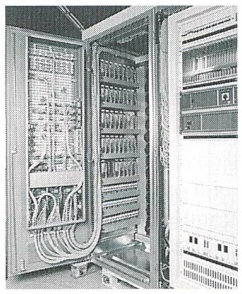
Bild 4 Reliefbild von Stuttgart und Umgebung mit angenommenen Standorten von fünf Funkstellen

Das Engineering von Ihnen – die Realisierung bei uns.



Profitieren Sie von unseren langjährigen Erfahrungen als Schaltanlagenbauer. Wir fertigen Steuerschränke jeglicher Art, bestehend aus ABB- oder Fremdprodukten. Vom Einbau einfacher Baugruppen bis zur Integration von High-Tech-Mikroprozessor-Einheiten inkl. EMV-gerechter Montage und Verdrahtung sind wir Ihr Partner.

Eigene Schaltschrankfamilie!
Modularer Schaltschrank, speziell geeignet für Anwendungen, die nach CE EMV-Konformität hergestellt werden müssen.
Fragen Sie nach unserem RESP97 I.



Wir fertigen für Sie Steuerschränke jeglicher Art.
Sie liefern uns:
- **das Layout**
- **die Materiallisten**
- **die Schematas**

Alles andere machen wir für Sie!

Bestellen Sie unsere Broschüre «Anlagenbau» oder verlangen Sie eine Offerte!

ABB Power Automation AG
Abteilung NAA
5400 Baden
Tel. 056 205 62 46
E-Mail:
patrick.keller@ch.abb.com

MORE
We secure power
ABB

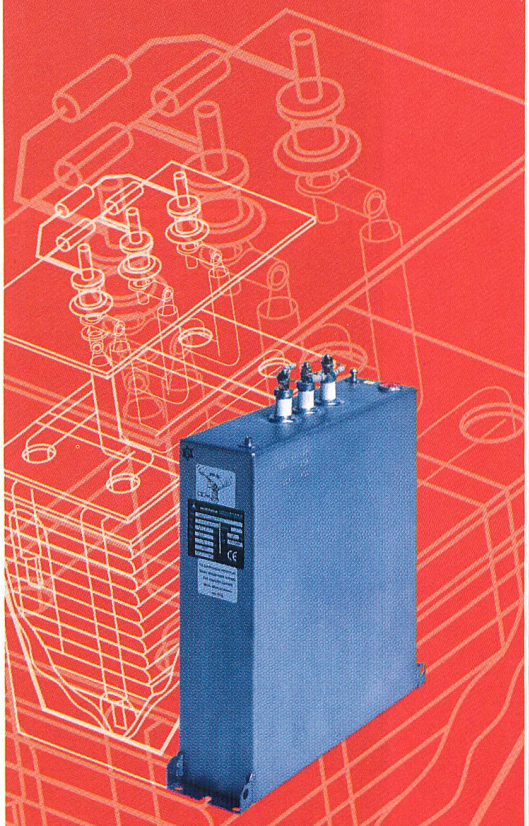
Blindenergiekosten sind unnötig detron setzt Kosten auf Null

Wir beraten, analysieren, beurteilen Elektroenergieverbräuche und schlagen wirkungsvolle Lösungen zur Reduktion des Blindenergieverbrauches vor, so beseitigen wir Blindenergiekosten. Mehr als 30 Jahre Erfahrung, die richtige Gerätepalette und unsere Fachkompetenz sind Garant für langlebige, wirtschaftliche Lösungen.

ISO 9001 SQS

detron ag
Industrieautomation - Zürcherstrasse 25 - CH4332 Stein
Telefon 062-873 16 73 Telefax 062-873 22 10

montena components sa,
fournisseur d'installations d'énergie réactive clé en mains,
offre 10 ans de garantie
sur ses condensateurs Condar-H (KPP),
sans perte de capacité.



montena components ag,
Lieferant von schlüsselfertigen Blindleistungskompensationsanlagen,
gibt 10 Jahre Kapazitätsverlust-Garantie
auf seine Condar-H (KPP)-Kondensatoren.

montena
montena components sa

CH-1728 Rossens
Tel. ++41 (0)26/411 22 22
Fax ++41 (0)26/411 25 25
www.montena.com

essencedesign

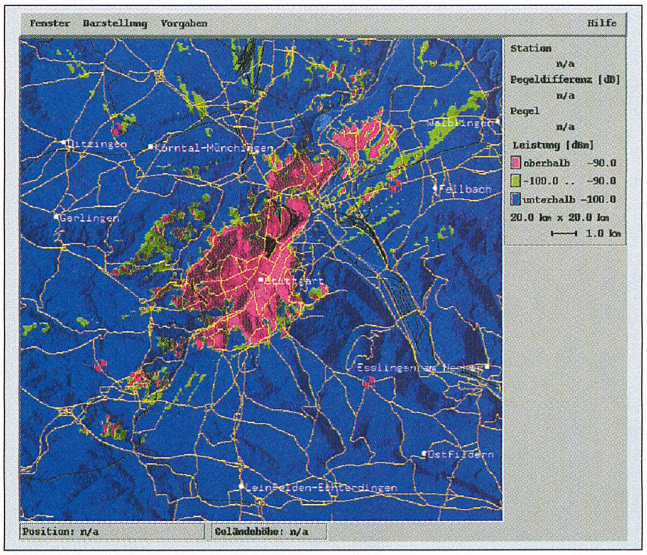


Bild 5 Geographische Verteilung der Empfangsleistung mit 2D-Ausbreitungsmodell

Beim 3D-Modell wird dieselbe Darstellungsart verwendet.

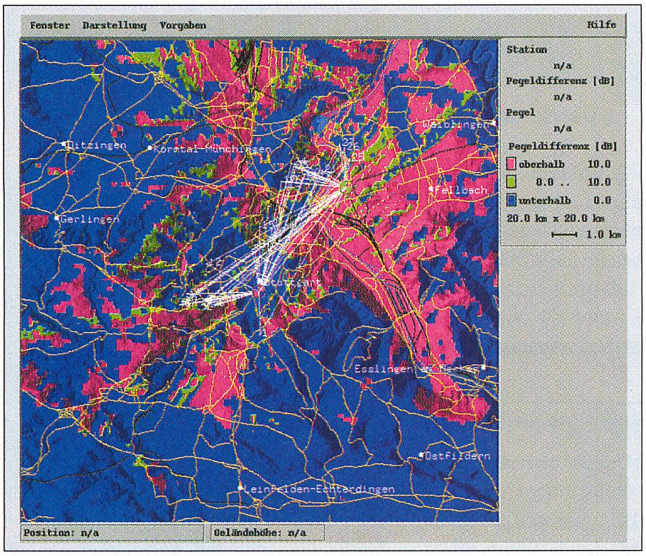


Bild 6 Gebiete mit vorherrschender Mehrwegeausbreitung

Durch Umrechnung lässt sich statt der Feldstärkeverteilung auch die Verteilung der entsprechenden Empfangsleistungspegel darstellen. Mit dem Mauszeiger können Position, Geländehöhe und zusätzlich der Empfangspegel für jeden Punkt des ausgewählten Gebietes angezeigt werden.

Einzelsender-Berechnungen mit dem 3D-Modell

Bei einem Gelände, dessen Topographie die Mehrwegeausbreitung begünstigt, muss mit einem 3D-Wellenausbreitungsmodell gerechnet werden, wenn die Beiträge von Signalen auf Umwegpfaden nicht vernachlässigt werden können. Dies führt besonders in Tallagen zu einer verbesserten Prognose des Medianwertes der örtlichen Feldstärke. Lässt man zunächst mögliche Störungen durch Gleich- und Nachbarkanalsender ausser Betracht, so wird die Empfangssituation im ausgewählten Gebiet durch die örtliche Verteilung der Empfangsfeldstärke bestimmt. Die Gesamtfeldstärke setzt sich aus dem Ergebnis des 2D-Modells und dem aus der Mehrwegeausbreitung resultierenden Feldstärkeanteil zusammen. Sie wird in derselben Art wie beim 2D-Modell dargestellt.

Als wichtige Darstellungsvariante können die Gebiete, in denen Mehrwegeausbreitung auftritt, durch farbliche Abstufung sichtbar gemacht werden. Daraus lassen sich Bereiche ohne und mit Mehrwegeausbreitung unterscheiden (Bild 6). Diese Kenntnis kann dazu benützt werden, die Auswirkung auf die Empfangsqualität zu bestimmen, die nicht nur von der Empfangsleistung, sondern auch von der Mehrwegeausbreitung abhängt. Digitale Funkübertragungssysteme, die Daten mit hoher Geschwindigkeit übertragen oder Entzerrer ohne ausreichenden Laufzeitausgleich verwenden, reagieren besonders empfindlich auf Störungen durch Mehrwegeausbreitung. Diese Störungen sind dadurch gekennzeichnet, dass trotz eingehaltener Mindestempfangsleistung und akzeptablen Störabständen zu Gleich- und Nachbarkanalsignalen sich beim Teilnehmer ein drastischer Anstieg der Bitfehlerrate durch Intersymbolinterferenz bemerkbar macht. Kritisch sind bergige Gebiete, in denen mit der Dauer eines Übertragungssymbols vergleichbare Umweglaufzeiten auftreten.

Mit verschiedenen Darstellungsarten lässt sich feststellen, in welchen Teilen eines Sendegebietes oder Empfangsbereiches kritische Situationen mit störender Mehrwegeausbreitung auftreten:

Das Ergebnis einer Mehrwegeausbreitungsberechnung lässt sich mit dem Simulationsprogramm in Form von Strahlwegen veranschaulichen (Bild 6). Für jede neue Empfängerposition werden im ausgewählten Gebiet die Umwegpfade, die ausserhalb der Vertikalebene zwischen Sender und Empfänger liegen, bestimmt und ihre Beiträge zur Empfangsleistung berechnet. In der Mehrwegeausbreitungscharakteristik sind diese Daten zusammen mit Informationen über Einfallsrichtung, Laufzeit und Empfangsleistungsanteil gespeichert. Sie bieten die Möglichkeit, verschiedene interessante Darstellungen zur Charakterisierung der Übertragungsverhältnisse abzuleiten. Ein wichtiges Diagramm ist das Empfangsleistungs-Verzögerungsspektrum, bei dem die einzelnen Ausbreitungspfade mit ihrer Empfangsleistung am Empfangsort als Funktion der Laufzeit dargestellt werden (Bild 7). Daraus lassen sich die zur Beurteilung der Intersymbolinterferenz massgebenden Verzögerungszeiten als Zeitdifferenz zwischen dem Signal mit dem kürzesten Ausbreitungspfad und den danach eintreffenden Signalen ermitteln.

Die Daten des Empfangsleistungs-Verzögerungsspektrums bilden die Ausgangsbasis für die Berechnung des Delay-Spread (Laufzeitverbreiterung). Dies ist ein Mass für die bei einer Funkkanalimpulsantwort auftretende Impulsaufweitung. Das Simulationssystem berechnet den Delay-Spread flächendeckend und stellt die örtliche Verteilung im Reliefbild farblich dar (Bild 8). Daraus lässt sich erkennen, wo der zulässige Wert für ein digitales Mobilfunksystem überschritten wird und folglich mit Intersymbolinterferenz zu rechnen ist. Für die Planung eines digitalen Mobilfunknetzes ist die Kenntnis der örtlichen Verteilung des Delay-Spread ein wichtiger Parameter zur Charakterisierung des Funkkanals, der sich ohne 3D-Ausbreitungsmodell nur messtechnisch ermitteln lässt. Dies ist jedoch mit einem sehr hohen Aufwand verbunden, weshalb man sich in der Praxis auf stichprobenartige Messungen des

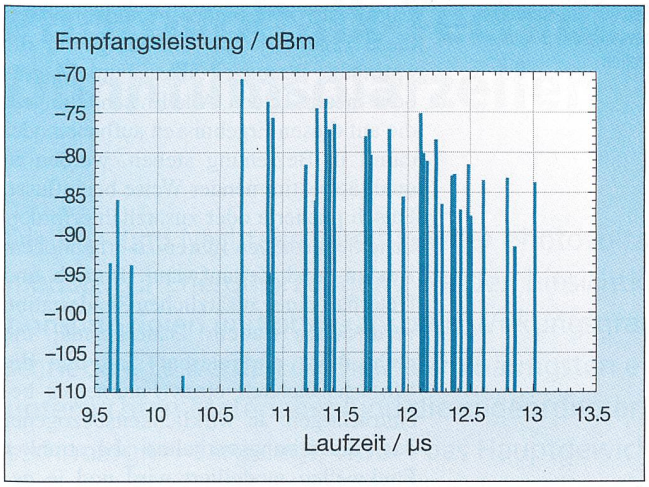


Bild 7 Empfangsleistungs-Verzögerungsspektrum

Delay-Spread in typischen Geländestrukturen beschränkt.

Mehrfachsender-Berechnungen

Im Dialogfenster für die Festlegung der Senderstandorte kann im ausgewählten Gebiet eine beliebige Zahl von Sendern mit deren Positionen und technischen Daten eingegeben werden, die nur durch die Kapazität des Speichermediums begrenzt ist.

Für jeden einzelnen Sender ist das Programmsystem in der Lage, eine flächendeckende Berechnung der örtlichen Feldstärkeverteilung für das ausgewählte Gebiet durchzuführen und deren Feldstärkepegel farbcodiert mit dem Reliefbild des Geländes als Hintergrund darzustellen. Auch hier ist es möglich, für die Funkfeldberechnungen unter den verfügbaren Ausbreitungsmodellen das für die Anwendung am besten geeignete auszuwählen. Das Ergebnis der flächendeckenden Berechnung der Feldstärkeverteilung der einzelnen Sender lässt sich so kombinieren, dass über das gesamte Gebiet die örtliche Verteilung des jeweils lokal stärksten Feldstärkepegels im Reliefbild dargestellt wird, ohne zu kennzeichnen, von welchem Sender bzw. welcher Funkstelle er stammt. Auf diese Weise lässt sich auf einen Blick die funktechnische Abdeckung des Gebietes durch mehrere Funkstellen erkennen (Bild 9).

Eine weitere Darstellung mit dem Reliefbild als Hintergrund ergibt sich durch die flächendeckende Zuordnung des lokal stärksten Feldstärkepegels zu der Funkstelle, die diesen tatsächlich erzeugt. Dadurch lassen sich auf sehr übersichtliche Art die Zonen kennzeichnen, die den Versorgungsbereich einer Funkstelle festlegen (Bild 10). Das Empfangskriterium für die Mobilfunkgeräte ist ebenfalls berücksichtigt. Andererseits werden auch Bereiche erkennbar, die dadurch entstehen, dass eine Funkstelle in den Empfangsbereich benachbarter Funkstellen hineinstrahlt. Diese bilden Interferenzzonen, in denen der Empfang des Nutzsenders gestört sein kann. Über das Ausmass der möglichen Störung entscheidet das Verhältnis von Empfangsleistung des Nutzsignals zur Summe der Störleistungen der interferierenden Sender. Um Aufschluss über die Störsituation durch andere Sender im jeweils eigenen Versorgungsgebiet zu erhalten, wird die örtliche Verteilung des lokalen Nutzleistungs-zu-Interferenzleistungs-Verhältnisses berechnet und flächendeckend dem Reliefbild überlagert (Bild 11). So lässt sich erkennen, ob es im betrachteten Gebiet zu Konfliktsituationen bei der Gestaltung der Zellen eines Funknetzes oder der Versorgungsbereiche eines Sendernetzes kommt. Treten solche Konfliktsituationen auf, so bietet Kess die Möglichkeit, die gegenseitige Beeinflussung so gering wie möglich zu halten, indem durch die Ermittlung günstiger Standorte für die Funkstellen eine räumliche Entkopplung oder durch optimale Frequenzzuweisung eine frequenzmässige Entkopplung durchgeführt wird.

Darüber hinaus bietet das Kess-System weitere Funktionen wie Richtstrahlpla-

Bild 8 Geographische Verteilung des Delay-Spread

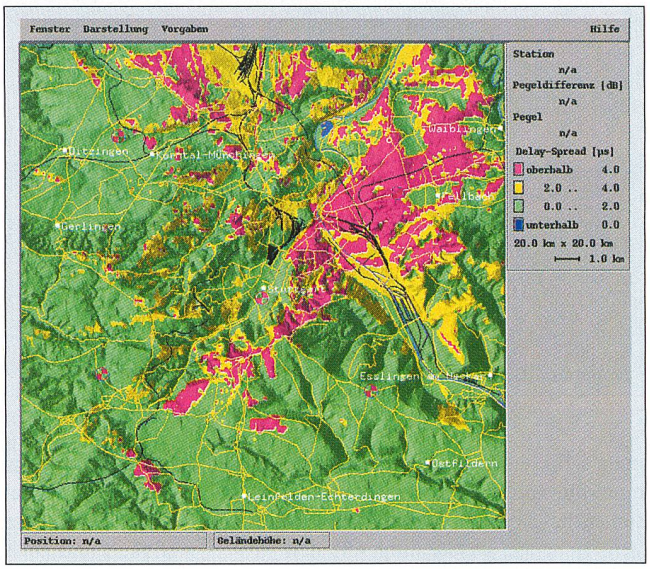
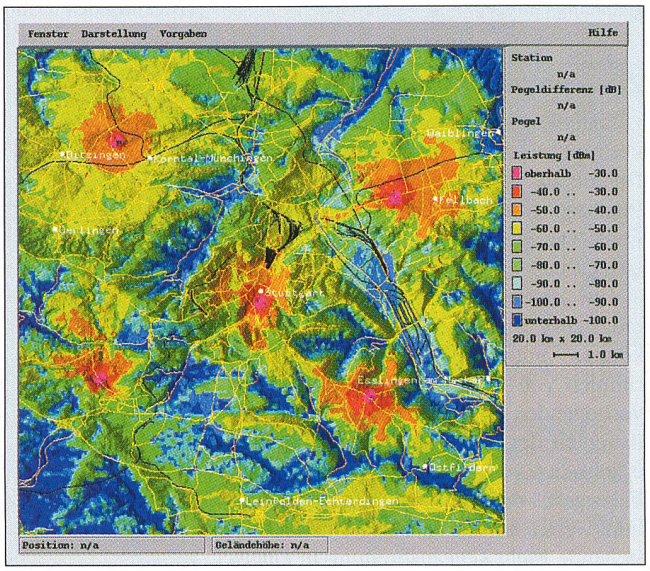


Bild 9 Flächenversorgung durch 5 Funkstellen



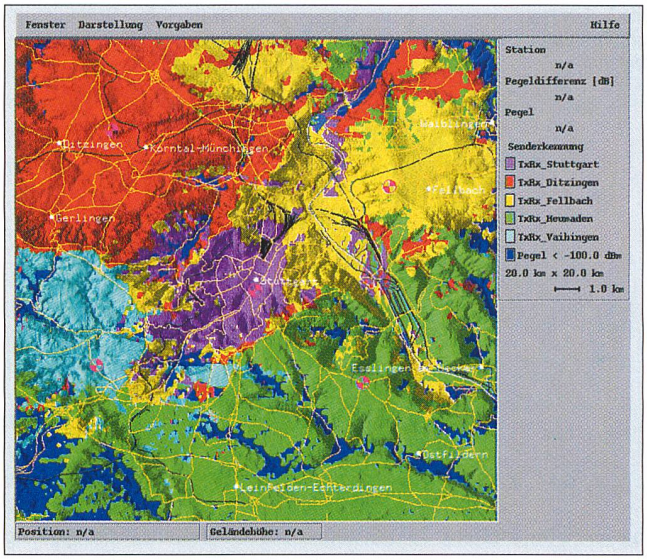


Bild 10 Versorgungsbereiche der 5 Funkstellen

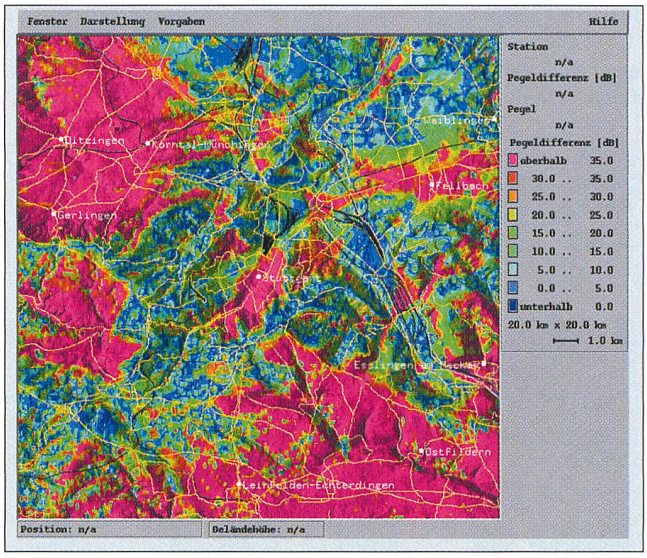


Bild 11 Geographische Verteilung des Nutzleistungs-zu-Interferenzleistungs-Verhältnisses bei 5 Funkstellen

nung, Frequenzmanagement, GPS-Anbindung, Integration von Messergebnissen entlang von Messfahrten sowie deren vergleichende Darstellung mit den Prognoseergebnissen.

Zusammenfassung

Dank seinem modularen Softwarekonzept und einer objektorientierten Datenbank ist das Kess-System in der Planung von digitalen Funksystemen, Funk- und Richtfunknetzen universell einsetzbar.

Um das Verhalten der Funkwellen möglichst realitätsnah vorhersagen zu können, nutzen die Ausbreitungsalgorithmen von Kess die in digitaler Form vorliegenden Geländedaten, was die Genauigkeit der Ausbreitungsberechnungen erheblich verbessert. Besonders die Fähigkeit, die durch Umlenkung der Funkwellen an Geländehindernissen entstehende Mehrwegeausbreitung in einem dreidimensionalen Ausbreitungsmodell zu ermitteln, leistet einen entscheidenden Beitrag zur Steigerung der Vorhersagegenauigkeit und zur verbesserten Charakterisierung des mobilen Funkkanals. Dieser Faktor ist von besonderer Tragweite, weil diese Ergebnisse die Grundlage für die optimale Planung eines Funksystems oder -netzes bilden. Alle Entscheidungen, die auf diesen Ergebnissen aufbauen oder damit in Beziehung stehen, werden in qualitätsbestimmender Weise beeinflusst. Falsch plazierte oder zusätzlich erforderliche Sendestellen führen zu erheblichem Kosten- und Zeitaufwand. Betrieb und Unterhalt einer zusätzlichen Sendestation verursachen zudem Dauerkosten, die nicht mehr eliminierbar sind und die Wirtschaftlichkeit eines Funknetzes beeinträchtigen. Je wirklichkeitsbezogener das Ausbreitungsverhalten abgestrahlter Funkwellen modelliert wird und je genauer die Funkfeldberechnung damit gelingt, desto frequenzökonomischer, leistungseffizienter und wirtschaftlicher können Funknetze flächendeckend geplant und aufgebaut werden.

Durch die rasche Verfügbarkeit der Ergebnisse mit genauen Details wird der Planer oder Anwender in die Lage versetzt, für seine Aufgaben geeignete Planungsvorgaben innerhalb kurzer Reaktionszeiten zu entwickeln. Die mit Kess erzielbare Beschleunigung der Planungsbearbeitung und die Qualitätssteigerung des Ergebnisses bilden eine wesentliche Voraussetzung zur Verbesserung der technischen Planung von Funksystemen und Funknetzen.

Mit dem Softwaresystem Kess ist die Bearbeitung aller bei der Funkeinsatzplanung anfallenden Aufgaben möglich. Das System ist in der Lage, für die Problematik der Planung von mobilen Kommunikationsnetzen, komplexen Weitverkehrsnetzen oder Punkt-zu-Multipunkt-Systemen fundierte Lösungen zu bieten. Die Auswirkungen verschiedener Planungsalternativen lassen sich prüfen, und daraus kann die günstigste Wahl getroffen werden.

Planification de réseaux de communication avec simulation 3D

Kess est un logiciel modulaire permettant de prédire avec le plus de réalisme possible le comportement des ondes radio sur le terrain. Il utilise les données topographiques digitalisées pour déterminer la diffusion des ondes sur plusieurs voies au moyen d'un modèle de propagation tridimensionnel. Ce logiciel est en mesure de proposer des solutions fondées pour la planification de réseaux de communication mobiles, de réseaux grande distance complexes ou de systèmes de transmission point–multipoint. On peut examiner l'impact des différentes alternatives et en choisir la meilleure solution.