

Software ermöglicht effiziente Feldstärkeprognosen

Bereits vor dem Bau einer Sendeantenne muss der Betreiber die Einhaltung der Grenzwerte belegen

Die seit Februar 2000 geltende Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) verlangt von den Mobilfunkbetreibern den Nachweis, dass neue Mobilfunkanlagen die strengen Schweizer Grenzwerte einhalten. Die NIS-Prognose¹⁾ ist Bestandteil des Baubewilligungsverfahrens für Mobilfunkanlagen. Falls eine Überschreitung der Grenzwerte prognostiziert wird, erhält der Mobilfunkbetreiber keine Baubewilligung. Dieser Beitrag erläutert die praktische Umsetzung des Verfahrens bei der Swisscom.

Am 28. Juni 2002 wurde zusätzlich zur «Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung» (NISV) [1] die Vollzugsempfehlung für Mobilfunk- und WLL-Basisstationen [2] in der definitiven Fassung publiziert.

Mit zwei Nachweisverfahren wird in der Umgebung von Mobilfunk-Basisstationen sichergestellt, dass die vorge-

Urs Knafl

schriebenen Grenzwerte gemäss NISV eingehalten werden: Zum einen wird die elektrische Feldstärke durch Messungen überprüft [3, 4], und zum andern wird schon bei der Baeingabe eine auf die Nutzung der Umgebung abgestimmte Berechnung (NIS-Prognose) gemäss Vollzugsempfehlung durchgeführt.

Bei einer prognostizierten Erreichung von 80% des Anlagegrenzwerts (AGW) verlangt die Behörde zusätzlich eine Messung, die innerhalb einer bestimmten Frist nach Inbetriebnahme der Anlage durchgeführt werden muss, wobei dann das Resultat der Messung und nicht der NIS-Prognose für die Bewilligung eines Baugesuchs massgebend ist. Zeigt die Messung eine Überschreitung der Grenzwerte, müssen Sanierungsmassnahmen

getroffen werden, die von einer Leistungsreduktion bis zu einem Abbruch der Anlage reichen können.

Mit der kantonalen NIS-Fachstelle wird abgesprochen, welche Orte zu messen sind. Als Diskussionsgrundlage dient dabei die NIS-Prognose. Anschliessend werden die Bewohner der entsprechenden Messorte (Wohnungen, Büros) ausfindig gemacht und mit ihnen Termine für die Messungen vereinbart. Selbstverständlich wird auch die Behörde über den Messtermin informiert, damit Kontrollen durchgeführt werden können. Die Messausrüstung besteht im Normalfall aus einer breitbandigen Antenne, die von Hand geführt wird, und einem Spektrumanalysator.

Für Messungen von GSM-Mobilfunkanlagen²⁾ gibt es eine separate, über 50-seitige Empfehlung [3]. Eine weitere Messempfehlung (76 Seiten) für den neuen Mobilfunkstandard UMTS³⁾ hat das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Buwal) am 17.9.2003 als Entwurf publiziert.

Für den sicheren Vollzug der diversen Empfehlungen investiert Swisscom jährlich Beträge in Millionenhöhe. Gleichzeitig werden dadurch massive Verzögerungen beim Weiterausbau des schweizerischen Mobilfunknetzes verhindert.

Im Folgenden wird ausschliesslich auf die (rechnerische) NIS-Prognose und nicht auf den erheblich komplexeren messtechnischen Immissionsnachweis eingegangen.

Strenge Grenzwerte

Die Immissionsgrenzwerte (IGW) gelten an Orten für kurzfristigen Aufenthalt (OKA), wie beispielsweise Straßen, Plätze, Treppenhäuser usw. In der Schweiz gibt es auf Grund des Vorsorgeartikels im Umweltschutzgesetz zusätzlich zu den IGW rund zehnmal strengere Grenzwerte, die als Anlagegrenzwerte (AGW) bezeichnet werden. Die AGW gelten an Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN). Dazu zählen unter anderem Wohnräume, Büros, Kindergärten und Schulzimmer.

In der NISV werden vom Icnirp⁴⁾-Basisgrenzwert [5] abgeleitete Grenzwerte angegeben, beispielsweise die elektrische Feldstärke in Volt pro Meter (V/m). Die abgeleiteten Grenzwerte haben den Vorteil, mit Messantennen ausserhalb des menschlichen Körpers auf ihre Einhaltung überprüft werden zu können.

Bei Mobilfunkfrequenzen wird als Basisgrenzwert die spezifische Energieabsorptionsrate (SAR) in Watt pro Kilogramm (W/kg) verwendet [5]. Gesicherte biologische und gesundheitliche Wirkungen im Frequenzbereich des Mobilfunkes konnten bisher nur durch thermische Wirkungen der Strahlung nachgewiesen werden, und zwar dann, wenn die im Mikrowellenbereich liegende Strahlung zu einem Anstieg der Körpertemperatur um mehr als 1°C führte. Ein solcher Temperaturanstieg entspricht einer Ganzkörper-SAR von ungefähr 4 W/kg (bei einer Einwirkungszeit des Hochfrequenzfeldes auf eine Person von 30 Minuten⁵⁾).

Gelänge es, die gesamte Sendeleistung einer Mobilfunkantenne von 20 Watt (heute gängiger Wert, der nicht mit Watt ERP⁶⁾ der NIS-Prognose verwechselt werden darf, siehe weiter unten) ins Innere des Körpers zu transportieren, so ergebe das für eine 80 kg schwere Person lediglich 0,25 W/kg. Der Grenzwert kann

**Bild 1** Sicherheitsfaktoren bei den Grenzwerten

Der Schweizer Anlagegrenzwert sorgt dafür, dass die Leistungsdichte 5000-mal unter dem Wert liegt, welcher gesicherte biologische und gesundheitliche Wirkungen zur Folge haben kann.

daher mit 20 W nicht überschritten werden.

Die Icnirp hat gegenüber dem oben aufgeführten thermischen Grenzwert einen zehnmal strengeren durchschnittlichen Ganzkörper-SAR von 0,4 W/kg festgelegt, der einen angemessenen Schutz vor beruflich bedingter Exposition gewährleistet (Bild 1). Einen zusätzlichen Sicherheitsfaktor von 5 hat die Icnirp für die Exposition der Normalbevölkerung eingeführt. Der Grenzwert beträgt somit 0,08 W/kg. Dieser Wert bildet die Basis für den in der NISV angegebenen Immissionsgrenzwert (IGW) von 42 V/m im Mobilfunkbereich (GSM 900). Das Buwal bezeichnet diesen Grenzwert auch als «Gefährdungsgrenzwert» [6], was bedeutet, dass unter Einhaltung des Grenzwertes kein Risiko zu erwarten ist.

Zusätzlich zum schon von der Icnirp mit Sicherheitsfaktoren behafteten Basisgrenzwert wird nun in der NISV noch einmal ein strengerer Grenzwert (AGW) gefordert. Spezielle Rahmenbedingungen in der Vollzugsempfehlung zur NISV, wie zum Beispiel die Annahme von Worst-case-Szenarien bei Gebäudedämpfungen und Antennenrichtungsabschwächungen, bilden zudem faktisch eine nochmalige, zusätzliche Verschärfung. Damit hält die Schweiz bezüglich elektromagnetischer Felder den «Sicherheitsweltrekord».

Aufwändige Arbeitsprozesse

Bereits bei der Inkraftsetzung der NIS-Verordnung im Jahr 2000 hat Swisscom begonnen, eigene NIS-Nachweisverfah-

ren in die Arbeitsprozesse zu implementieren, was sich als äussert komplexe Angelegenheit erwies. Nach der Veröffentlichung der Vollzugsempfehlung [2] waren dann nur noch Anpassungen notwendig.

Wichtig ist die Erkenntnis, dass die NIS-Prozesse viele Schnittstellen zu anderen internen Arbeitsprozessen aufweisen. An der Optimierung der Prozess-Schnittstellen wird laufend gearbeitet. Dies sind unter anderem auch externe Schnittstellen, zum Beispiel für Orange- und Sunrise-Mitbenutzungsanträge. Am Ende des Prozesses gelangt die NIS-Prognose, ein – je nach Komplexität des Standortes – nicht selten bis zu 100-seitiges Dokument, zusammen mit dem Bau- gesuch an die Behörden. Während der Einsprachefrist können dort die Unterlagen eingesehen werden.

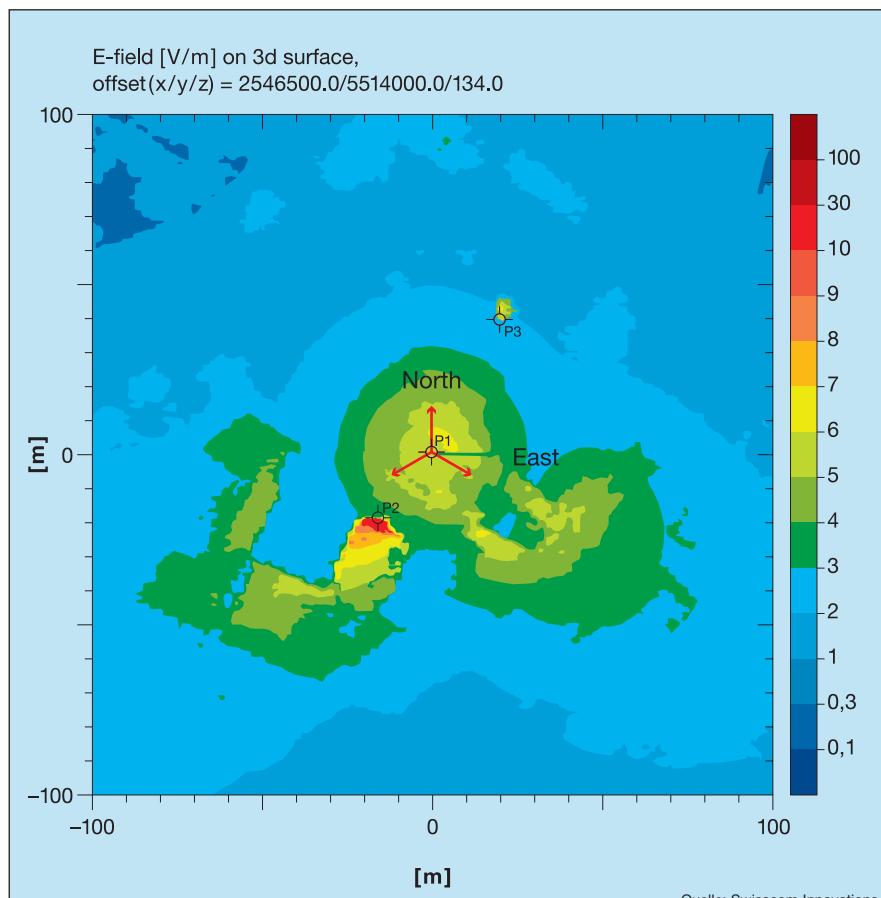
Für jede neue Sendeanlage, sei es eine komplett neue Basisstation oder auch nur eine neue Antenne am bestehenden Mast, muss eine eigene NIS-Prognose erstellt werden. In der Regel liefert sie höhere Werte des elektrischen Feldes als die Messung.

Der Inhalt der NIS-Prognose ist in Art. 11 Abs. 2 der NISV [1] festgehalten. Das Buwal hat am 20.10.1998, also noch vor

Inkrafttreten der NISV am 1.2.2000, einen Vorschlag publiziert, wie eine NIS-Prognose aussehen sollte [2]. Nach einer Entwicklungs- und Diskussionsphase wurde diese Vollzugsempfehlung für Mobilfunk- und WLL-Basisstationen⁷⁾ bezüglich nichtionisierender Strahlung am 28.6.2002 vom Buwal in der definitiven Fassung herausgegeben. Die Empfehlung beschreibt auf fast 100 Seiten, wie eine NIS-Prognose erstellt werden muss und wie das zu verwendende Formular aussehen hat. Die heutigen, von den Mobilfunkbetreibern erstellten NIS-Prognosen haben deshalb ein einheitliches Erscheinungsbild. Zwecks besserem Überblick werden die berechneten Immissionswerte zusätzlich zusammengefasst dargestellt (Abschnitt 4 und 5 der NIS-Prognose). Aus dieser Zusammenfassung ist auch ersichtlich, ob die Grenzwerte eingehalten sind.

NIS-Prognose wird in 2 Schritten produziert

In einem ersten Schritt – und bevor eine NIS-Prognose überhaupt erstellt werden kann – müssen die Daten des Standorts aufgenommen werden. Bei Swisscom wird dazu ein externes NIS-

**Bild 2** Feldstärkeplot mit Einbezug geografischer Daten ermöglicht ein schnelleres Auffinden der Immissionsmaxima

Mobilfunk

Aufnahmeteam beauftragt. Dieses erfassst vor Ort alle für die NIS-Berechnung wichtigen Informationen wie Gebäudehöhen, Nutzungen und Gebäudematerialien. Zudem werden Fotos aufgenommen und Projekt- und Katasterplan mit den NIS-relevanten Informationen ergänzt. Dann wird das NIS-Aufnahmedossier mit den technischen Daten der Sendeanlage komplettiert und vom zuständigen Swisscom-Projektleiter überprüft.

Erst im zweiten Schritt wird die NIS-Prognose im Berechnungsbüro erstellt. Swisscom lässt die NIS-Prognosen in spezialisierten Ingenieurbüros durchführen. Dabei sichert ein Pflichtenheft mit detaillierten Anweisungen die hohen Qualitätstandards.

Berechnungssoftware «Pattern»

Die von Swisscom entwickelte Berechnungssoftware «Pattern», die auch bei anderen Firmen im Einsatz ist, ist mit der Datenbank Triton verknüpft (siehe unten). Damit in Zukunft Falscheingaben verhindert werden können, wird die Software derzeit um Plausibilitätschecks ergänzt.

Die Software wird entsprechend den Wünschen aller Beteiligten (z.B. Cercl'Air⁸), kantonale Immissionsfachstelle⁹, Anwohner, Berechner, Funknetzplaner, Projektleiter) laufend weiterentwickelt. Als nächstes soll der Einbezug von geografischen Daten in Angriff genommen werden. Der Feldstärkeplot in Bild 2 (läuft bereits im Entwicklungssystem) entstand durch Verknüpfung von Mobilfunkdaten einer schweizerischen Basisstation mit einem geografischen Musterdatensatz einer Grossstadt [7]¹⁰. Die Berücksichtigung von geografischen Daten im bereits seit längerem verwendeten Feldstärkeplot-Utility (Version ohne GIS-Daten) wären dem NIS-Berechner eine wichtige Hilfe, um die Orte mit empfindlicher Nutzung mit den höchsten Immissionen rascher zu finden.

Der Auftraggeber einer NIS-Prognose kann sich jederzeit mittels Web-Browser über den Stand der NIS-Arbeiten informieren, da die wichtigsten Informationen laufend in Triton erfasst werden. Bei vielen Sendestandorten gibt es bereits mehrere NIS-Prognosen, wobei die jeweils aktuelle den Behörden abgegeben wird. Jede neue NIS-Prognose hat eine neue Revisionsnummer, damit es bei allfälligen Rückfragen zu keinen Missverständnissen kommt.

Der Zeitaufwand für die Erfassung vor Ort, das Erstellen des NIS-Aufnahmedossiers sowie der NIS-Prognose beträgt im

günstigsten Fall rund 10 Stunden. Swisscom Mobile hat sich zum Ziel gesetzt, eine mittlere Laufzeit für die Erstellung einer NIS-Prognose von unter 5 Tagen zu erreichen¹¹.

Derzeit gibt es keine staatliche Ausbildung zum NIS-Berechner. Swisscom bildet daher interessierte Personen in einem speziellen, zwei- bis dreimonatigen Ausbildungsprogramm aus. Arbeitsprozesse stellen eine konstante Qualität sicher¹². Sowohl die NIS-Aufnahmeteams als auch die NIS-Berechner werden periodisch geschult.

Welche Sendeleistung wird verwendet?

Generell werden Leistungswerte von einigen 100 bis 1000 Watt als sehr hoch empfunden. Nur – und das wissen die wenigsten – handelt es sich bei den in der NIS-Prognose angegebenen Werten nicht um Sendeleistung in Watt, sondern um die rechnerische, nicht direkt messbare Grösse Watt ERP⁶, die benötigt wird, um an den massgebenden Orten die Immission in Volt pro Meter zu berechnen. Die ERP berechnet sich aus der der Antenne zugeführten Leistung, multipliziert mit dem Antennengewinn. Anwendungsbeispiele finden sich weiter unten im Text.

Leider werden die beiden Leistungen häufig immer wieder verwechselt. Dies

kann zu folgenreichen Fehleinschätzungen der Immissionssituation bei Mobilfunkanlagen führen, denn der ERP-Wert ist normalerweise einige 10-mal grösser als der Wert der Sendeleistung, welcher der Antenne zugeführt wird.

In modernen Mobilfunknetzen werden vielfach Antennen mit hohen Gewinnen verwendet. Eine Antenne beispielsweise mit einer starken Bündelung – bzw. mit einem hohen Gewinn – von 40, hat bei einer Sendeleistung von 20 Watt eine ERP von 800 Watt. Der ERP-Wert gilt dabei nur in Hauptstrahlrichtung. Unterhalb oder seitlich der Antenne sinkt der Wert schnell auf bis zu 300-mal geringere Werte (Bild 3). Weil nie alle Antennen in dieselbe Richtung zeigen, dürfen die ERP einzelner Antennen nicht einfach zusammengezählt werden. Für eine Anlage mit einer Senderichtung nach Norden und einer nach Süden werden in den Zusatzblättern der NIS-Prognose beispielsweise je 900 Watt ERP eingetragen. Die Gesamt-ERP beträgt nun in keine Richtung 1800 Watt, sondern die Maxima liegen in Nord- und Südrichtung und betragen je lediglich 928 Watt. Die zusätzlichen 28 Watt stammen von der jeweils entgegengesetzten Antenne. Dieser Wert ergibt sich auf Grund einer Worstcase-Regel in der Vollzugsempfehlung. Auch hier gilt: Die eigentliche Sendeleistung, also das, was bei der Antennenzuleitung

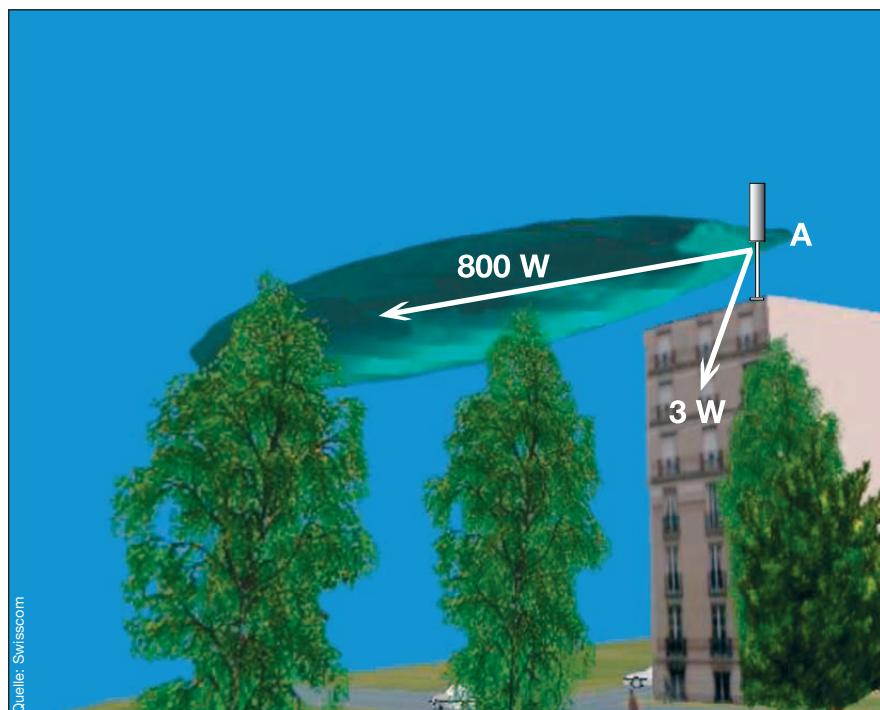


Bild 3 Abhängigkeit der ERP von der Hauptstrahlrichtung

Ein in der NIS-Prognose angegebener ERP-Wert von zum Beispiel 800 Watt gilt nur in Hauptstrahlrichtung. Unterhalb oder seitlich der Antenne ist dieser Wert viel kleiner.

gemessen werden kann, beträgt nur 20 Watt und darf nicht mit den in der NIS-Prognose deklarierten 900 Watt ERP verwechselt werden.

Resultate der Arbeiten bezüglich der NIS

Zwischen Juli 2002 und Juli 2003 hat Swisscom 1366 NIS-Prognosen produziert. Im gleichen Zeitraum des Vorjahres waren es 1991 Prognosen. Kurz nach Einführung der NISV im Jahr 2000 war diese Zahl sogar noch grösser, weil neben allen neuen Projekten auch für alle bereits bestehenden Mobilfunksendeanlagen NIS-Prognosen erstellt werden mussten.

Mit den in den letzten Jahren eingeführten und weiter entwickelten Arbeitsprozessen ist es heute möglich, die von den Behörden verlangten, äusserst umfangreichen NIS-Dokumente fristgerecht zu liefern, so dass zum einen der sichere Vollzug der Empfehlung gewährleistet werden und zum anderen der Weiterausbau und die Modernisierung des Mobilfunknetzes in der Schweiz zügig voranschreiten kann.

Effizienzsteigerung

Um die äusserst zeitaufwändige Berechnung der Immissionen möglichst effizient durchführen zu können, ist geplant, das NIS-Berechnungsprogramm «Pattern» so zu erweitern, dass es auch geografische Daten importieren und verarbeiten kann. Allein diese Massnahme genügt aber noch nicht, um NIS-Prognosen effizienter zu erstellen. Es müssen auch die bestehenden Arbeitsprozesse weiter optimiert, das heisst, besser aufeinander abgestimmt werden.

Als weitere Massnahme soll die Datenqualität gesteigert werden. So werden die Aufnahmeteams in Zukunft eng mit den NIS-Berechnern zusammenarbeiten und Erfahrungen austauschen. Fehler, die irgendwo im Arbeitsprozess entstehen können, sollen möglichst frühzeitig erkannt und eliminiert werden, etwa mit Hilfe automatischer Plausibilitätskontrollen bei der Dateneingabe ins Berechnungsprogramm.

Referenzen

- [1] Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) vom 1. 2. 2000, SR 814.710, AS 2000 213, www.admin.ch/ch/d/sr/c814_710.html
- [2] Mobilfunk- und WLL-Basisstationen, Vollzugsempfehlung zur NISV. Buwal, 28. Juni 2002, www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_nis/vorschriften/vollzugshilfen/mobilfunk/index.html (Bezug über diesen Link möglich)

- [3] Mobilfunk-Basisstationen (GSM), Messempfehlung. Buwal und Metas, 28. Juni 2002. [www-link wie unter \[2\].](http://www-link wie unter [2].)
- [4] P. Fritsch und H. Lehmann: Messung der nichtionisierender Strahlung bei UMTS-Mobilfunk-Basisstationen. Comtec 6/2003, 13-19.
- [5] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Icnirp). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74 (4), 1998, 494-522 (www.icnirp.org).
- [6] Erläuternder Bericht zur NISV. Buwal, 23.12.1999.
- [7] Ernst Basler + Partner: Musterdatensatz der Stadt Trier. Zollikon.

Angaben zum Autor

Urs Knafl, El.-Ing. HTL, ist seit 1992 bei Swisscom Innovations (vormals Forschungsabteilung der PTT) auf dem Gebiet der Elektromagnetischen Umweltverträglichkeit tätig.
Swisscom Innovations, 3050 Bern,
urs.knafl@swisscom.com

¹ NIS: nichtionisierende Strahlung

² GSM: Global System for Mobile Communication

³ UMTS: Universal Mobile Telecommunications System. Mobilfunk der dritten Generation (daher auch oft als 3G bezeichnet). Wird in der Schweiz GSM ergänzen.

⁴ Icnirp: International Commission on Non-Ionising Radiation Protection. Die Kommission besteht seit 1992 (die Vorgängerorganisation wurde im Jahr 1974 gegründet). Ihre Mitglieder sind industrieunabhängige anerkannte Experten aus verschiedenen wissenschaftlichen Fachgebieten für Fragestellungen aus dem Bereich der nichtionisierenden Strahlung. www.icnirp.org.

⁵ Icnirp-Guidelines [5]: «Gesicherte biologische und gesundheitliche Wirkungen im Frequenzbereich von 10

MHz bis zu einigen GHz stimmen mit den Reaktionen auf einen Anstieg der Körpertemperatur um mehr als 1°C überein. Dieser Temperaturanstieg ergibt sich aus der Exposition von Personen unter gemässigten Umgebungsbedingungen durch eine Ganzkörper-SAR von ungefähr 4 W/kg während einer Zeit von 30 Minuten.»

⁶ ERP: Equivalent Radiation Power (äquivalente Strahlungsleistung). Die äquivalente Strahlungsleistung ist die einer Antenne zugeführte Sendeleistung, multipliziert mit dem Antennengewinn in Hauptstrahlrichtung, bezogen auf den Halbwelldipol. Wird auch als Effective Radiated Power bezeichnet.

⁷ WLL: Wireless Local Loop (drahtloser Teilnehmeranschluss bzw. funktechnische Realisierung der Last Mile). Die Funkübertragung erfolgt im Punkt-zu-Multipunkt-Verfahren (PMP) und muss von der Regulierungsbehörde lizenziert werden.

⁸ Cerc'Air: Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute. Der 1973 aus einer losen Gruppierung von Lufthygiene-Fachleuten entstandene Cerc'Air ist die Vereinigung der schweizerischen Behörden- und Hochschulvertreter im Bereich der Luftreinhaltung. 1978 bildete sich daraus die «Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute Cerc'Air», die heute rund 200 Mitglieder umfasst.

⁹ Eine Liste der kantonalen NIS-Fachstellen ist unter der Adresse www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/nis/kontakte/nis_fachstellen.pdf einsehbar.

¹⁰ Läuft derzeit nur im Entwicklungssystem, d.h. ist noch nicht im Produktionssystem integriert.

¹¹ Im Arbeitsprozess gibt es Wartezeiten, die nicht als Zeitaufwand gelten.

¹² Auch ohne Arbeitsprozesse liessen sich NIS-Prognosen erstellen. Nur kann dann Monate später bei Rückfragen der Behörden vielleicht keine Auskunft mehr erteilt werden, weil die Prognose nicht systematisch archiviert wurde und der entsprechende Mitarbeiter, der sie erstellt hat, vielleicht schon nicht mehr in der Firma arbeitet. Arbeitsprozesse halten deshalb auch fest, wo und wie eine NIS-Prognose archiviert wird, und sorgen deshalb für eine «konstante Qualität» beim Erstellen der NIS-Prognosen.

Un logiciel permet des pronostics fiables d'intensité du champ électromagnétique

Avant même la construction d'une antenne d'émission, l'opérateur doit prouver qu'elle respecte les valeurs limites

L'Ordonnance en vigueur depuis février 2000 sur la protection contre le rayonnement non-ionisant (ORNI) exige de la part des opérateurs de téléphonie mobile la preuve que les nouvelles installations respecteront les sévères valeurs limites suisses. Le pronostic sur le rayonnement non-ionisant (RNI) fait partie de la procédure d'autorisation de construire pour les installations de téléphonie mobile. S'il est à prévoir que les valeurs limites seront dépassées, l'opérateur n'obtiendra pas le permis de construire. L'article expose la mise en œuvre pratique chez Swisscom.