

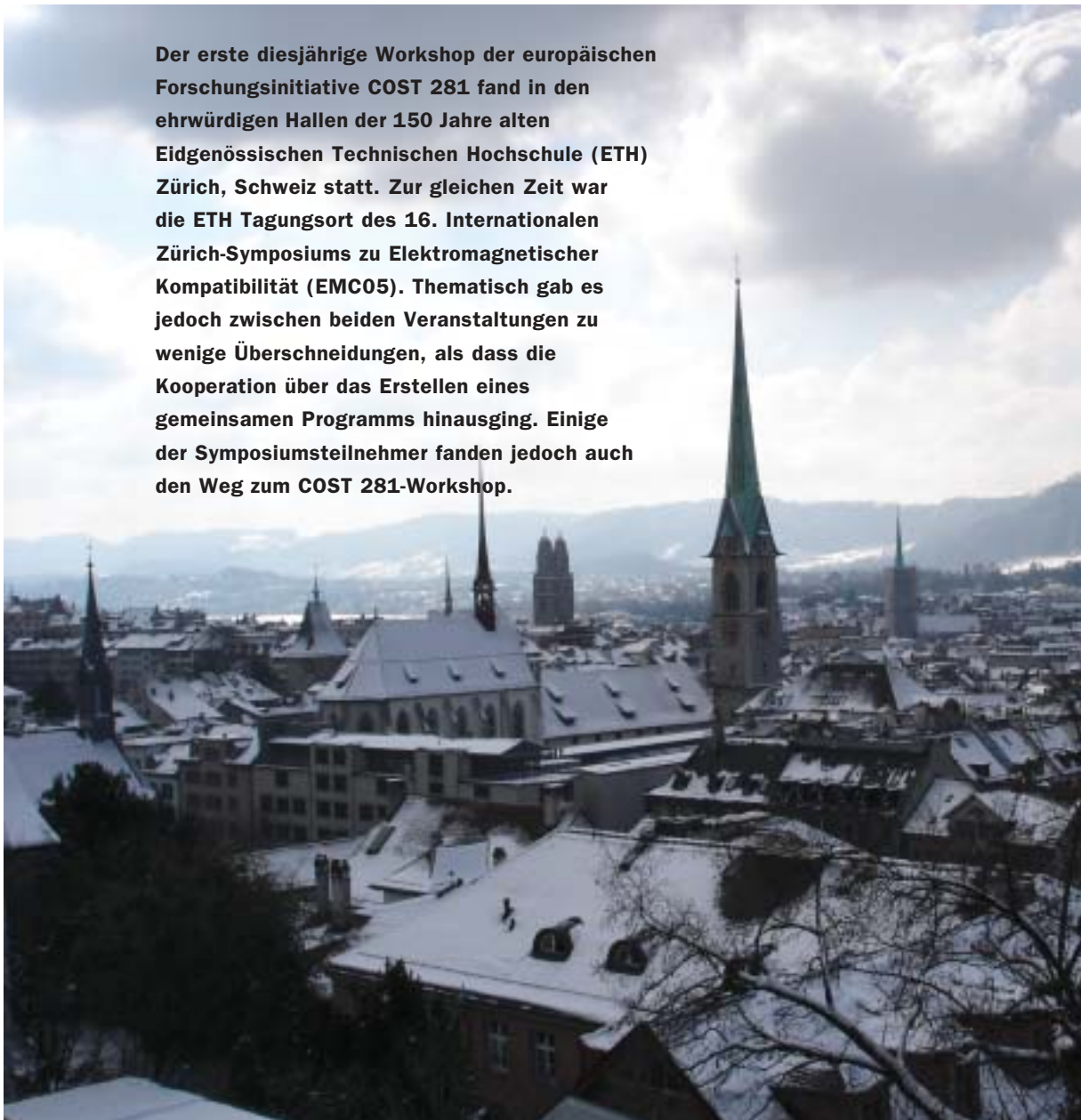
17. bis 18. Februar 2005 in Zürich/Schweiz

COST 281-Workshop Com

„Do sinusoidal versus non-sinusoidal waveforms make a difference?“

Lutz Haberland

Der erste diesjährige Workshop der europäischen Forschungsinitiative COST 281 fand in den ehrwürdigen Hallen der 150 Jahre alten Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich, Schweiz statt. Zur gleichen Zeit war die ETH Tagungsort des 16. Internationalen Zürich-Symposiums zu Elektromagnetischer Kompatibilität (EMC05). Thematisch gab es jedoch zwischen beiden Veranstaltungen zu wenige Überschneidungen, als dass die Kooperation über das Erstellen eines gemeinsamen Programms hinausging. Einige der Symposiumsteilnehmer fanden jedoch auch den Weg zum COST 281-Workshop.





und 8. Management mittee Meeting

Der Geschäftsführer der Schweizer Forschungsstiftung Mobilkommunikation, Gregor Dürrenberger, begrüßte als Gastgeber die Teilnehmer. Ihm und seiner Mitarbeiterin Nicole Heuberger ist es zu verdanken, dass die lokale Organisation des Workshops inklusive des gemeinsamen Abendessens auf dem Uetliberg zu einem vollen Erfolg wurde. Die erste Session des Workshops beschäftigte sich mit den technischen und physikalischen Eigenschaften der derzeit genutzten modulierten Hochfrequenzfelder. Die Session leitete der Vorsitzende von COST 281, **Norbert Leitgeb**.

Erster Redner war **Werner Bächtold** von der ETH Zürich. Er beschrieb die unterschiedlichen Modulationsformen und ging dabei insbesondere auf die Mobilfunktechnologien und lokalen Kommunikationsnetze wie WLAN, DECT und Bluetooth ein. Er betonte dabei, dass Pulsung kein Phänomen der Mobilfunkära ist, sondern schon seit mehr als 50 Jahren für Rundfunk- und Fernsehsignale mit ähnlichen Signalcharakteristika genutzt wird.

Jørgen Bach Andersen von der Aalborg-Universität in Dänemark behandelte detailliert die Unterschiede in den verschiedenen heute verwendeten Signaltypen, speziell den seit kurzem eingeführten Mobilfunkstandard UMTS und in naher Zukunft erwartete Anwendungen wie die Ultrawideband-Signale (UWB).

Maila Hietanen vom Finnischen Institut für Arbeitsmedizin führte durch die zweite Session, die sich den biologischen Effekten widmete.

Einen Überblick zu den bisherigen Untersuchungen und Vorstellungen, wie Modulationen hochfrequenter Felder biologisch wirken könnten, gab **Kenneth R. Foster**, Universität von Pennsylvania, USA. Sein Resümee: Im Bereich der gültigen Grenzwerte gibt es

keinen nachgewiesenen Modulations-Effekt, außer dem Mikrowellenhören. (Durch hochfrequente Pulse starker Intensität werden im Innenohr thermoelastische Wellen erzeugt, die als Klickton wahrgenommen werden.) Es existieren zwar eine Reihe von Hypothesen, wie modulierte Signale im Körper demoduliert werden könnten, und es gibt auch einige Experimente, die biologische Reaktionen nur bei modulierten Feldern beobachteten, jedoch wurde noch keine dieser Hypothesen im Experiment bewiesen und auch keines der Experimente, die Effekte fanden, wurde bislang in einem anderen Labor repliziert. Kenneth Foster empfiehlt deshalb zum einen Grundlagenforschung, um möglichen biophysikalischen Mechanismen auf die Spur zu kommen, aber auch die Untersuchung von spezifischen neuen Modulationsarten, falls durch die Einführung der damit verbundenen Technologie die Bevölkerung exponiert wird.

Vijayalaxmi von der Universität von Texas, USA, bewertete die veröffentlichte Literatur zu gentoxischen Effekten hochfrequenter Felder mit Fokus auf möglichen Modulationseinflüssen. Von den bisher mehr als 50 Arbeiten zu diesem Thema (allerdings wurden verschiedene Modulationen untersucht und auch z. T. unterschiedliche biologische Endpunkte) konnte die Hälfte der Untersuchungen keine Effekte bis zu einem SAR-Wert von 5 W/kg finden, knapp 20 % der Experimente waren positiv, ein Drittel wurde als nicht beweiskräftig eingestuft. Vijayalaxmi merkte dazu an, dass bisher keines der Experimente mit Effekten in anderen Labors repliziert werden konnte, wohl aber eine Reihe der negativen Experimente. Sie kam deshalb zu dem Schluss, dass kein signifikanter gentoxischer Effekt durch hochfrequente Felder bis 5 W/kg

zu erwarten ist. In der Diskussion wurde kritisiert, dass die prozentuale Auswertung der Veröffentlichungen keine endgültige Aussage zulässt und der gewählte SAR-Wert von 5 W/kg als Schwellenwert zu niedrig angesetzt ist, da berufliche Teilkörperexpositionen bis 10 W/kg erlaubt sind.

Die Frage, was epidemiologische Studien beitragen können, um modulationsspezifische Effekte herauszufinden, versuchte **Martin Röösl**i von der Universität Bern, Schweiz, zu klären. Es gibt inzwischen eine Reihe von epidemiologischen Studien, die den Einfluss von verschiedenen Funksendern (wie Fernsehsender, Mobilfunkbasisstationen, Radaranlagen und Handgeräte) untersuchten. Obwohl sich diese Studien inhaltlich oft sehr unterscheiden, kommt Röösl zu dem Schluss, dass es nur geringe Hinweise für einen modulationsspezifischen Effekt gibt. Dies bezieht sich insbesondere auf analoge Handys bei langjähriger Nutzungsdauer. Da bislang alle Studien einen Mangel in der Expositionsabschätzung aufweisen (Wieviel Feldstärke kommt wirklich im Körper an?) und die Bevölkerung inzwischen einer Vielzahl unterschiedlicher Hochfrequenzsignale ausgesetzt ist, wird die Anwendung epidemiologischer Studien zur Suche nach modulationsspezifischen Effekten nicht empfohlen. Die Erregung menschlicher Nerven und Muskeln bei Exposition mit unterschiedlich modulierten Hochfrequenzfeldern hatten **Jiri Silny** und Mitarbeiter vom Aachener Universitätskrankenhaus, Deutschland, un-

tersucht. Dass Nerven und Muskeln von niederfrequenten Feldern erregt werden können, ist schon seit über 200 Jahren bekannt. Auf diesem Phänomen beruhen auch hauptsächlich die Grenzwerte bis ca. 100 kHz. Ob es auch Effekte im Frequenzbereich 900 MHz bis 2 GHz auf die Nervenerregung gibt, und ob diese durch Modulationen (GSM, UMTS, 8 Hz-Pulsung) beeinflusst werden, hatten die Aachener Forscher untersucht. Im Leistungsbereich 0,1 bis 100 Watt konnte keinerlei Effekt auf das Elektromyogramm (EMG) oder gar eine Stimulierung von Nerven und Muskeln gefunden werden. Lediglich bei 100 Watt Exposition berichteten einige Probanden von Wahrnehmungsempfindungen, deren Ursache allerdings ungeklärt ist.

Igor Y. Belyaev von der Stockholmer Universität, Schweden, stellte die Ergebnisse seiner Forschungen zu gentoxischen Effekten hochfrequenter Felder unterschiedlicher Modulation und Frequenz (GSM: ca. 900 MHz, UMTS: ca. 2 GHz, Unmoduliert: ca. 50 GHz) vor. Dabei nutzte er zwei verschiedene Methoden: die Bestimmung der Struktur des Genoms über Viskositätsmessungen (insbesondere bei den 50 GHz-Experimenten), und eine Immunfluoreszenz-Methode, die Proteine anzeigt, welche nur bei DNS-Doppelstrangbrüchen auftreten (bei den GSM- und UMTS-Experimenten). Während bei 50 GHz und nur bei schmaler Frequenzbandbreite schädigende Einflüsse auf das Genom festgestellt wurden, fanden Belyaev und Mitarbeiter bei den Mobilfunkfrequenzen einen eher schützenden Ein-



Teilnehmer des Züricher Workshops





fluss (weniger Proteine, die Doppelstrangbrüche anzeigen). Eine überzeugende Erklärung für diesen Unterschied konnte nicht präsentiert werden. In der anschließenden Diskussion wurde vor allem die Methodik der Viskositätsmessung kritisiert, da sie von keiner anderen Arbeitsgruppe auf diesem Gebiet genutzt wird. Zudem wurden die Schlussfolgerungen Belyaevs bezüglich der Notwendigkeit einer Neubestimmung der Grenzwerte und einer Reduktion der Funkimmissionen von der Mehrzahl der Diskussionsteilnehmer abgelehnt.

Die Ergebnisse seiner Arbeitsgruppe zu Versuchen an menschlichen Probanden präsentierte **Peter Achermann** von der Universität Zürich, Schweiz. Sie nutzten dafür drei verschiedene Modulationsarten eines 900 MHz-Signals: unmoduliert, GSM-Basisstation-ähnlich und GSM-Handgerät-ähnlich (SAR-Wert bei allen Signalen 1 W/kg, wobei letzteres Signal mehr Puls-Komponenten enthielt). Bei allen bisherigen Untersuchungen (die Überprüfung des Schlaf-EEGs [Elektroenzephalogramm], ein kognitiver Aufmerksamkeitstest und die Aufzeichnung des regionalen Blutflusses im Gehirn) wurden nur mit dem Handgerät-ähnlichem Signal signifikante Effekte gefunden, die auch noch eine gewisse Zeit nach Abschluss der Exposition bestehen blieben. Da die Effekte bei der Aufzeichnung des regionalen Blutflusses in Gebieten des Gehirns am höchsten waren, die nicht mit der SAR-Verteilung im Gehirn korrelieren und alle drei Signale denselben Energieeintrag (SAR-Wert) hervorrufen, wird von nicht-thermischen Effekten ausgegangen. Achermann konnte allerdings noch keine Erklärung für die Ursache dieser Phänomene geben.

Die dritte Session des Workshops befasste sich mit biologischen Effekten unterschiedlicher Arten von hochspitzen Pulsen (high-peak pulses) und wurde von **Kenneth R. Foster** geleitet.

Erster Redner dieser Session war **Vladimir Sukhorikov** von der Universität Würzburg, Deutschland. Er beschrieb die biophysikalischen Hintergründe der biotechnologischen Anwendung von Einzelpulsen im Mikro- (μ s) und Nanosekundenbereich (ns). Bei Wahl entsprechend hoher Feldstärken (kV/m- bis MV/m-Bereich) können damit Zellmembranen permeabilisiert und damit das Innere der Zellen für vielfältige Manipu-

lationen zugänglich gemacht werden. Durch die erst seit kurzem mögliche Anwendung der Nanosekunden-Pulse werden zwar höhere Feldstärken benötigt, um die Membran durchlässig zu machen, es ist dadurch aber möglich intrazelluläre Organellen zu manipulieren. Pulse mit höherer Frequenz, nämlich im Bereich von 9 GHz, sogenannte Extremely High Power Microwave Pulses (EHPP), untersuchten **Andrei G. Pakhomov** und Mitarbeiter von der US Airforce Brooks City-Base in San Antonio, USA. Die benutzten Pulse ergaben einen SAR-Wert im MW/kg- bis GW/kg-Bereich; da sie aber nur ca. 0,5 μ s lang und nur mit einer Wiederholrate von 0,5 bis 10 Hz wiederholt wurden, erreichte der über die Zeit gemittelte SAR-Wert „nur“ Werte im kW/kg-Bereich. Damit sind auch mit unmodulierten Feldern klare thermische biologische Effekte zu beobachten. Bei ihren Untersuchungen verglichen Pakhomov und Mitarbeiter die Effekte unmodulierter mit denen EHPP-modulierter Felder. Bei der Exposition spontan agierender Nervenzellen (Gewebsstücke) vom Herzen und vom Gehirn (Hippokampus) wurden keine Unterschiede zwischen den Effekten der unterschiedlich modulierten Felder festgestellt. Jüngere Experimente mit künstlich erregten Nervenzellen zeigen jedoch einen spezifischen Einfluß der EHPP-Felder. Diese Untersuchungen laufen noch, Erklärungsversuche reichen von Artefakten durch die genutzten Elektroden bis zu spezifischen nichtthermischen Effekten. Noch etwas höher, in den THz-Bereich, ging der folgende Redner, **Gian Piero Gallerano** von der Italienischen Agentur für Neue Technologien, Energie und die Umwelt (ENEA), Frascati, Italien. Mit der Nutzung der Freien-Elektronen-Laser (FEL) stehen seit einigen Jahren leistungsstarke Geräte für diesen Frequenzbereich (hier: 100 GHz - 10 THz) zur Verfügung. Bisher wurde eine Reihe von Untersuchungen zur biologischen Wirksamkeit dieser Felder unmoduliert, aber auch gepulst durchgeführt. Bei gentoxischen Experimenten mit Lymphozyten konnte kein Einfluss von THz-Feldern festgestellt werden. Bei Versuchen an Liposomen (Hohlkugeln aus Zellmembran) wurden bei einer bestimmten Modulation (7 Hz-Pulswiederholungsrate) der 130 GHz-Felder signifikante Effekte gefunden, alle anderen untersuchten Modulationen wie auch un-

modulierte Felder in diesem Frequenzbereich zeigten keinen Effekt. Auch hier gibt es bislang keine mechanistische Erklärung für dieses „Frequenzfenster“.

Die letzte Session des Workshops zum Thema Mechanismen und Anwendbarkeit des SAR-Wertes bei gepulsten Modulationen leitete **Roland Glaser** von der Humboldt-Universität Berlin, Deutschland.

Einen rein theoretischen Ansatz zur Erklärung eventueller Gleichrichterfunktionen biologischer Membranen (d. h., dass die Zellmembran z.B. den 217 Hz-Anteil der GSM-Modulation eines 900 MHz-Mobilfunksignals herausfiltern könnte) stellte **Iftekhar Ahmed** von der Bradford-Universität, Großbritannien, vor. Ausgehend von den physikalischen Gleichungen der Dioden-Funktion wurden diese Gleichungen so umgestellt, dass sie mehr den angenommenen biologischen Gegebenheiten entsprechen. Bei Annahme, dass an der Membran eine Gleichspannung anliegt, könnten mit der neu entworfenen Gleichung Demodulationen der modulierten Hochfrequenzstrahlung an der Membran stattfinden. Ob die in der Gleichung beschriebenen physikalischen Eigenschaften an biologischen Membranen auch wirklich vorliegen, dazu gab es unterschiedliche Auffassungen in der Diskussion.

Zum Abschluss des Workshops referierte **Philip Chadwick** von MCL Newbury Berkshire, Großbritannien, zu Standards für pulsmodierte Felder. Er stellte die bestehenden Grenzwerte u.a. der Internationalen Kommission für Nichtionisierende Strahlung (ICNIRP) und die Ansätze für ihre Weiterentwicklung vor. Alle Standards basieren derzeit auf gesicherten thermischen Effekten unmodulierter Felder, spezifische Pulswirkungen werden nur dann berücksichtigt, wenn etablierte Effekte wie vor allem das Mikrowellen-Hören hinzugezogen werden. Bei Frequenzen über 10 GHz gibt es bislang keine pulsspezifischen Beschränkungen in den Grenzwerten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Workshop einen guten Überblick zu den wissenschaftli-

chen Diskussionen über pulsspezifische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder gegeben hat. Obwohl es abgesehen vom Mikrowellen-Hören keinen gesicherten Effekt speziell modulierter Felder gibt, existieren doch eine Reihe von Beobachtungen, die biologische pulsspezifische Effekte aufzeigen und deshalb genauer untersucht werden müssen.

Die Kurzfassungen und Präsentationen können aus dem Internet (http://www.cost281.org/documents.php?node=93&dir_session=) geladen werden.

In Verbindung mit dem Workshop fand auch das **8. Treffen des Lenkungsausschusses** (Management Committee) von COST 281 statt. Dabei wurde über die neue Zusammensetzung des Präsidiums (Steering Committee) berichtet. Es besteht jetzt aus: Norbert Leitgeb, Maila Hietanen, Gunnhild Oftedal, Guglielmo d'Inzeo, Yngve Hamnerius, Gyorgy Thuroczy, Paolo Vecchia, Luc Verschaeve, Joe Wiart, Gerd Friedrich und Theodoros Samaras.

Statusberichte gab es zur Nutzung der Internetseite www.cost281.org, der Kooperation mit anderen Organisationen wie FGF, EMF-Net und WHO sowie zu den Arbeitsgruppen (Aufkommende Technologien, Kinder, Dosimetrie, Statistik). Außerdem wurde beschlossen, mehrere in diesem Jahr geplante Workshops anderer Organisationen zu unterstützen.

Mit überwältigender Mehrheit der anwesenden Mitglieder wurden der Leiter, Norbert Leitgeb, und seine Stellvertreterin, Maila Hietanen, in ihren Funktionen wiedergewählt.

Da Mitte 2006 die Forschungsinitiative COST 281 ausläuft, wurde schon auf dem vorangegangenen Treffen die Notwendigkeit der Weiterführung – evtl. unter dann anderem Namen – beschlossen. Dafür sollen bis zum nächsten Treffen im Herbst in Trondheim, Norwegen, Konzepte ausgearbeitet werden.

Lutz Haberland ist Biophysiker an der Universität Rostock und arbeitet als wissenschaftlicher Berater für die Forschungsgemeinschaft Funk.