

Bericht

U.S. Air Force Workshop on Terahertz Bioeffects and Theory

10. Juni 2007, Kanazawa/Japan

Am Sonntag vor dem offiziellen Beginn der 29. Jahrestagung der Bioelectromagnetics Society (BEMS) fand traditionell der Workshop der U.S. Air Force Research Laboratory (AFRL) statt. Erwartungsgemäß sind diese Veranstaltungen geprägt von neuen Technologien und ihren Wechselwirkungen mit Mensch und Umwelt. Trotz einiger Anwendungsaspekte im militärischen Bereich waren die Themen in den Workshops der vergangenen Jahre allgemein gehalten und eine aktuell orientierte Vermittlung fundierter wissenschaftlicher Informationen. Obwohl außerhalb der Tagung veranstaltet, wurden die Workshops von einer Reihe von Tagungsteilnehmern, nicht zuletzt auch wegen der Kompetenz und Mitwirkung einiger Mitglieder bei IEEE International Committee on Electromagnetic Safety (ICES) und American National Standard Institute (ANSI), gerne angenommen.

Prof. Dr. Dr. Otto Petrowicz,
TU München

Das Globalthema des diesjährigen Workshops waren Bioeffekte und theoretische Grundlagen im höheren Gigahertzbereich bis zu den Wellenlängen des unteren Infrarotbereiches (THz). Besondere Beachtung fanden Wirkungsmechanismen gepulster Strahlung mit sehr hohen Impulsintensitäten im Nanosekunden-Bereich.

Die einzelnen angebotenen Präsentationen hatten folgende Themen:

- Erforschung von Bioeffekten hochenergetischer THz-Strahlung
- Thermische Modelle der Absorption von Laserenergie
- Elektromagnetische Eigenschaften von biologischem Gewebe im optischen Bereich
- Entwicklung von Modellen und Simulationen im THz-Bereich
- Entwicklung von Sicherheitsstandards für elektromagnetische Felder.

Entgegen dem ursprünglichen Programm des Workshops folgte eine Podiumsdiskussion über THz-Sicherheitsstandards. Der angekündigte Einblick in das U.S. Air Force THz-Programm und Entwicklungen bzw. Trends der militärischen Anwendung wurde nicht behandelt.

Zusammenfassung der Workshopbeiträge

Im Eingangsreferat wurde eine Übersicht über die vielfältigen gegenwärtigen und zukünftigen Anwendungsgebiete der THz-Technologie gegeben. Dabei wurde nach folgenden Applikationen unterschieden:

- Bildgebende Verfahren mit dem Vorteil hoher räumlicher Auflösung bei der Durchdringung von Kleidung (Personenkontrollen an Flughäfen) oder sogar Wänden und Erkennung von nicht-metallischen Gegenständen.

- Kommunikation im Weltraum, von Flugzeug zu Flugzeug und Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung
- Wetterunabhängige Navigation
- Im Sicherheitsbereich bei Abstandsermittlungen und der Detektion von Landminen
- Ebenfalls unter Sicherheitsaspekten die Erkennung von Stoffen aufgrund ihrer eigenen frequenzabhängigen Absorptionsmuster, zur Identifikation chemischer und biologischer Stoffe und anderer Materialien, speziell Sprengstoffe wie Semtex oder TNT.

Ein weites Spektrum der Anwendungen, wobei hier die militärischen Anwendungen wie „Non Lethal Weapons“ und sonstige Technologien nicht behandelt wurden.

In einer Abbildung wurde das elektromagnetische Spektrum mit der Angabe der Wellenlängen und Frequenzen präsentiert und die Abmessungen täglicher Dinge gegenübergestellt, ebenso eine Auswahl von Quellen der Strahlung in den entsprechenden Frequenzbereichen. Das THz-Band war deutlich gekennzeichnet und wurde den Wellenlängen 3 mm bis 100 mm, das entspricht etwa 100 GHz bis 3 THz, zugeordnet und schließt die Anwendung von Mikrowellen bis hin zum unteren IR-Bereich ein. Den Wellenlängen wurden z.B. Abmessungen biologischer Bausteine gegenübergestellt. Im IR-Bereich entspricht dies bereits der Größe von Zellen, was vermuten lässt, dass in diesem hohen Frequenzbereich eine vermehrte Absorption von Energie in den Zellen, aufgrund der l bzw. $l/2$ Bedingungen, stattfindet.

Als Überblick wurde auf einige aktuelle Berichte von TERABRIDGE, einem Konsortium Europäischer Wissenschaftler, mit den drei nachfolgenden Schwerpunkten hingewiesen:

- Spektroskopische Untersuchungen als Grundlage einer Datenbasis,
- Untersuchung von *in vitro* Effekten bei Lymphozyten, Leukozyten, in Membranmodellen und Epithelzellen, wo von einigen signifikanten Wirkungen berichtet wurde,
- Öffentliche Wahrnehmung und Sicherheitsaspekte, wobei bei der Mehrheit der Bevölkerung noch keine Bedenken über mögliche gesundheitliche Einwirkungen vorhanden sind oder gar über Vorsichtsmaßnahmen spekuliert wird.

Zusammenfassend werden – aufgrund der bisherigen Datenlage – keine Gesundheitsrisiken durch hochenergetische gepulste THz-Exposition gesehen. Die aktuellen Standards für eine Humanexposition werden für ausreichend erachtet. Trotzdem wird eine empirische wissenschaftliche Weiterverfolgung von Untersuchungen über Bioeffekte empfohlen. Der Zeitraum für eine hinreichend sichere und validierte Aussage über Bioeffekte oder sogar gesundheitsrelevante Wirkungen könnte aber noch Jahre oder Jahrzehnte in Anspruch nehmen.

Vom theoretischen Standpunkt wurden thermische Aspekte der Laserabsorption in den Vordergrund gestellt, insbesondere der Transfer von Strahlungsenergie in Wärme. Im Fokus stand die Energiedichte in Gewebe in der Umgebung auftreffender Strahlungsenergie, vorwiegend an der Körperoberfläche, die Eindringtiefe und das Saleh und Teichsche Gauss-Modell, welches die absorbierte Energie eines senkrecht auf die Haut treffenden Laserstrahls abhängig vom Radius r um die Expositionsstelle und z für die Eindringtiefe, unter Annahme einer vernachlässigten Divergenz des Strahls, beschreibt.

Abschließend wurde auf zukünftige Forschungsaktivitäten des USAF Laboratory eingegangen, mit den Schwerpunkten des Wärmetransfers gepulster Exposition und daraus resultierenden biologische Wirkungsmechanismen.

Ebenfalls theoretischer Natur waren präsentierte Betrachtungen zu den elektromagnetischen Eigenschaften von Gewebe im optischen Spektralbereich. Als Grundlage diente die so genannte „Double-Debye-Gleichung“, angewandt für die Grenzschicht zu

Wasser, Haut und Epidermis. Als Variable erscheinen hier die komplexe Permittivität, die Frequenz und die Relaxationszeit der unterschiedlichen Schichtungen.

Letztlich haben die numerischen Berechnungen gezeigt, dass die Ansätze über die dielektrische Permittivität nicht als geeignet erscheinen. Im niedrigeren Frequenzbereich, d.h. unter 35 GHz, ist das Debye-Modell über die komplexe dielektrische Permittivität mit einer guten Näherung anwendbar. Bei zunehmenden Frequenzen bis etwa 20 THz treten jedoch Fehler auf. Hier wurde die Notwendigkeit einer Entwicklung neuer Wirkungsmodelle gesehen.

Ähnliche Aspekte wurden in einem weiteren Beitrag behandelt, der Modellentwicklungen und numerische Simulationen zum Inhalt hatte. Dem vorangestellt wurden Hinweise über die seit 20 Jahren bestehende Expertise des USAFRL in Sachen Standards für den RF- und Laser-Bereich.

Vorgestellt wurden Anwendungen von FDTD-Verfahren zur Beurteilung der Energieabsorption in homogenen und vielschichtigen Modellen, wobei die ermittelten SAR-Werte als Basis für ein thermisches Modell herangezogen wurden. Hintergrund war die Ermittlung von Energieschwellen, die abhängig von der Zeit Wärmeempfindungen und Schädigungen bis hin zu Verbrennungen verursachen.

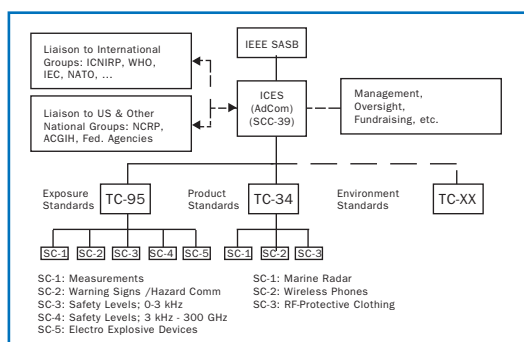
Als zukünftige Aufgaben wurden der Vergleich verschiedener Modelle und Simulationen in empirischen Studien gesehen; weiterhin die Weiterentwicklung eines realistischen Hautmodells und Grundlagen thermischer und elektromagnetischer Eigenschaften der Haut.

Der letzte Beitrag befasste sich mit der Entstehung von Sicherheitsstandards für elektromagnetische Felder unter dem Zeichen von IEEE international Committee on Electromagnetic Safety (ICES). Eingangs wurde die Frage gestellt, wofür EMF-Standards gut seien. Das Hauptargument für EMF-Standards ist sicherlich, dass Standards vor gefährlicher EMF-Exposition schützen sollen. Die nächste Aufgabe liegt darin, eine stabile Basis für die Nutzung von EMF-Technologien anzubieten. EMF-Standards sind aber veränderbare Dokumente, entsprechend dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Eines sollten sie jedoch nicht sein, nämlich ein restriktiver Verhinderungsmechanismus für innovative Technologien.

Vorgebracht wurden weitgehend bekannte Informationen über IEEE und ICES, ihre Zusammensetzung und Aufteilung in Humanexpositions-, Produkt- und den zukünftigen Umweltstandards (TC-95, TC-34, TC-XX). Präsentiert wurde auch die ICES Organisationsstruktur und auf welcher Basis Standards entstehen.

Von Interesse waren auch die Modalitäten für die Diskussion und Annahme von Standards. Für Entscheidungen in den Gremien ist eine Mehrheit von 75 Prozent der Stimmen erforderlich, wobei alle negativen Stimmen und deren Begründungen veröffentlicht und diskutiert werden.

Abschließend wurde ein Überblick über die ANSI Z136.1 für den sicheren Umgang mit Laser gegeben.



Podiumsdiskussion

Insgesamt hat die diesjährige AFRL-Veranstaltung enttäuscht. Teilweise waren die Beiträge wenig aktuell und dienten nur der Übersicht, ohne detaillierte Informationen. Das ursprüngliche Workshop-Programm, das bereits seit geraumer Zeit im Internet abrufbar war, hat mehr Informationen erwarten lassen. Was präsentiert wurde, wurde mit spürbarer Zurückhaltung dargeboten. Trotzdem kann davon ausgegangen werden, dass der Wissensstand über Wechselwirkungen der THz-Technologien mit Mensch und Umwelt noch sehr unvollständig ist. Thermische Wirkungen scheinen im Vordergrund zu stehen, andere Effekte sind zwar angesprochen worden, es fehlen aber evidenzbasierte Ergebnisse. So stellt sich das Wissenschaftsgebiet als noch sehr lückenhaft dar und im Angesicht der in Kürze auf den Markt kommender Produkte eine erhebliche Herausforderung für die Wissenschaft. Dies war auch der Tenor der nachfolgenden Podiumsdiskussion, in der sich die Vortragenden den Fragen der Zuhörer gestellt haben:

- Sind im THz-Bereich außer thermischen Wirkungen noch andere, nichtthermische Wirkungen bekannt?
- Was ist mit thermoelastischen Effekten?
- Sind auch mechanische Wechselwirkungen denkbar?
- Was ist mit Resonanzeffekten im zellulären, subzellulären oder molekularen Bereich?
- Wie verhalten sich Neuronen gegenüber gepulster RF?
- Kann THz-Strahlung zur Entstehung von Hautkrebs beitragen?

Bei gestellten Fragen an das Podium und bei den Antworten wurde klar, dass vieles Spekulationen bzw. Annahmen aus den Erkenntnissen des RF-Bereiches oder des höheren IR-, sichtbaren Licht- und UV-Bereiches sind. Dem aufmerksamen Zuhörer wurde deutlich bewusst, dass die Erkenntnislage noch sehr oberflächlich ist.

Wie bereits erwähnt, hat dieses Anwendungsgebiet der THz-Strahlung bisher in der Bevölkerung wenig Beachtung gefunden. Das Wissen darüber und die Wirkungen sind noch sehr lückenhaft. In den vergangenen 10 – 15 Jahren haben die Schwerpunkte über die mobile Kommunikation und ähnliche Technologien in der Forschungslandschaft dominiert und auf den Druck der Öffentlichkeit die Politik zu intensiven Forschungsförderungen auf dem Gebiet veranlasst. In Deutschland war dies das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), das mit 17 Millionen Euro von Bund und Netzbetreibern finanziert wurde. Auch in anderen Ländern gab es Forschungsprogramme zu diesem Thema, bis hin zur WHO und deren IARC. Obwohl das Thema der Felder der mobilen Kommunikation und insbesondere die Sendeanlagen in der Bevölkerung nach wie vor heftig diskutiert werden, lässt in der Wissenschaft das Interesse nach. Bisherige Forschungsanstrengungen konnten brennende Fragen zur Gesundheitsgefährdung entkräften und auf die Gültigkeit bestehender Sicherheitsschwellen verweisen. Trotzdem bleiben Wissenslücken, die aber das Gesamtbild nur unwesentlich verändern würden.

Mit der Einführung der THz-Technologien wird jedoch relativ neues Terrain betreten, und es ist eine Frage der Zeit, wann diese Technologien der Öffentlichkeit bewusst und mit Sicherheit Fragen der gesundheitlichen Verträglichkeit gestellt werden. Für die Politik und Wissenschaft ist das ein „Deja Vu Erlebnis“. und es wäre doch eine logische Konsequenz aus den vergangenen bzw. noch andauernden Turbulenzen, bereits im Vorfeld der Einführung neuer Technologien ein hinreichendes Wissen zu erarbeiten. In der Diskussion wurde dies als Herausforderung für junge Wissenschaftler gesehen, sich diesem Thema anzunehmen, doch entscheidend sind die Kosten und die Bereitstellung von Forschungsförderung der privaten Institutionen und der öffentlichen Hand.