

Elektromagnetische effecten, symbiose tussen feit en fictie

Intreerede

prof.dr.ir. A.P.M. Zwamborn

Intreerede

Uitgesproken op 11 juni 1999
aan de Technische Universiteit Eindhoven

prof.dr.ir. A.P.M. Zwamborn

Mijnheer de Rector Magnificus, Dames en heren,

De theorie van het elektromagnetische veld is een onderdeel van de klassieke fysica en een van de grondbeginselen van de moderne elektrotechniek. De wiskundige beschrijving van het elektromagnetische veld is in 1861 door James Clerk Maxwell vastgelegd. In 1873 heeft deze klassieke wetenschapper zijn werk *A Treatise on Electricity and Magnetism* [Max54] gepubliceerd. Deze wiskundige beschrijving van het elektromagnetische veld staat bekend als de wetten van Maxwell. Elke elektrotechnisch ingenieur is min of meer met deze wetten bekend. Vaak spelen zij, bewust of onbewust, een belangrijke rol bij de beroepsuitoefening.

Inleiding

Als ik door familie of vrienden gevraagd word wat ik zo al bij TNO en de Universiteit doe, sta ik voor de uitdaging te vertellen wat elektromagnetisme inhoudt. Vandaag sta ik wederom voor de opgave op eenvoudige wijze dit vakgebied te

omschrijven. Uit de reactie van vrienden en kennissen te beluisteren zijn die pogingen, die ik nu als voorbereiding op mijn intreedende mag beschouwen, niet geheel onzinnig gebleken. Anders wordt het als ik terugdenk aan een discussie die ik een paar dagen na het begin van mijn militaire dienst had. In mijn bak, zo heet dat bij de Marine, zat een theoretisch fysicus die in het verblijf van de Aspirant Reserve Officieren een gesprek opende met de vraag "Wat heb jij gedaan?". Op de mededeling dat ik Elektrotechniek in Delft gestudeerd had met specialisatie Elektromagnetisme reageerde mijn bakmaat zeer verbaasd met een spervuur van vragen zoals "Elektromagnetisme? Dat heeft Maxwell toch allemaal uitgezocht?" en "Waarover moeten jullie daar vandaag de dag nog onderzoek aan doen?" en "Is dat niet zonde van de tijd?". Hij eindigde met de opmerking dat wat hem betreft "alle problemen wel met de eindige elementen methode" konden worden opgelost. Mijn reactie was dat wij geen onderzoek doen om de wetten van Maxwell te verifiëren of het tegendeel te bewijzen, maar dat we bezig zijn op slimme wijze met behulp van de wetten van Maxwell het elektro-

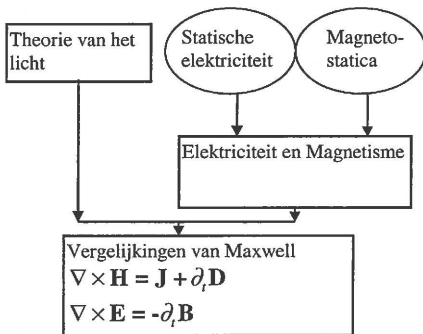
magnetische veld in complexe configuraties te bepalen. Nou, dat vond hij totaal niet spannend en vanaf dat moment hebben wij de discussies beperkt tot militaire vorming, zin en onzin van schietoefeningen en wat eenieder na voltooiing van zijn militaire dienst wilde gaan doen. Soortgelijke ervaringen hebben collega's, zoals waarde Tjihuis in zijn intreedere heeft gememoreerd [Tij96], ook gehad. De aandacht lag tijdens genoemde discussie voornamelijk op redelijk abstracte en voor een niet deskundige in het vakgebied niet relevante onderwerpen. Ik realiseer mij achteraf dat ik beter de discussie anders had kunnen voeren. Belangrijk is te stellen dat er voor de gebruiker verschillende methoden ter beschikking staan om voor een configuratie het elektromagnetische veldprobleem op te lossen. Belangrijke selectiecriteria voor een te gebruiken methode zijn gewenste nauwkeurigheid alsmede de beschikbare computer-faciliteiten. Daarnaast zou ik in de discussie de beschikbaarheid van efficiënte ontwerptools benadrukken, waarbij het noodzakelijk is bestaande rekenschema's te optimaliseren dan wel efficiëntere methoden te ontwikkelen. Vandaag zal ik

aandacht besteden aan het verleden, heden en mijn visie op de toekomst. Om te beginnen wil ik u graag een kleine excursie door het verleden van de theorie van het elektromagnetische veld aanbieden.

Geschiedenis van de ontwikkeling van de elektromagnetisme

Om u een beknopt overzicht van de ontwikkelingen te kunnen presenteren heb ik twee werken intensief geraadpleegd, te weten de intreedere van collega Tjihuis [Tij96] en een historisch overzicht van Robert S. Elliott [Ell93]. In het werk van Elliott is veel meer detail te vinden en voor de geïnteresseerden onder u is er een uitgebreide literatuurlijst.

Ik heb in mijn opening aangegeven dat de theorie van het elektromagnetische veld voor het eerst is geformuleerd door Maxwell. Hij bracht in 1861 de unificatie tot stand tussen de beschrijving van licht en van elektriciteit en magnetisme. In Figuur 1 zijn de historische bouwstenen die hebben geleid tot de vergelijkingen van Maxwell weergegeven.



Figuur 1. De historische bouwstenen die hebben geleid tot de formulering van de vergelijkingen van Maxwell.

Ik zal per blokje een kort overzicht geven van de historische hoogtepunten.

Theorie van het licht

De eerste speculaties over het gedrag van licht zijn terug te voeren op de Siciliaan Empedocles (490-435 voor Christus). Volgens zijn opvatting bestond licht uit kleine deeltjes uitgezonden door een zichtbaar voorwerp. De veronderstelling van Empedocles was dat deze deeltjes het oog binnentraden en vervolgens terugkeerden naar het voorwerp. De retourstroom stelde hij verantwoordelijk voor de gewaarwording van vorm en kleur. Veel latere Griekse

wetenschappers uit de Oudheid, zoals Euclides en Ptolemaeus, waren aanhanger van een simpelere verklaring van licht. Zij waren van mening dat licht door het oog werd uitgezonden, door het object werd weerkaatst en vervolgens weer in het oog terug kwam. In tegenstelling tot de interesse voor het fenomeen licht bij de Griekse wetenschappers, toonden Romeinse wetenschappers geen interesse in dit vakgebied.

Het debat duurde voort totdat Descartes (1596-1650) en Hooke (1635-1703) met nieuwe inzichten kwamen. Descartes leefde in een tijd die rijp was voor nieuwe inzichten en hij beschouwde licht als een beweging van doorzichtige deeltjes, die elkaar met een oneindige snelheid weweduwden. Hooke ging fel tegen deze gedachten in. Zijn mening was dat licht, in analogie met geluid, zich als een golfbeweging door een homogeen medium met eindige snelheid en volgens rechte lijnen voortplant. Zowel Descartes als Hooke gaven met hun theorie een verklaring voor de brekingswet die Willibrord Snellius (1580-1626) in 1621 experimenteel gevonden had. In de discussie of licht een golf- of deeltjeskarakter heeft, heeft Isaac Newton

(1642-1727) een belangrijke bijdrage geleverd. Gedurende zijn leven heeft Newton echter geen wetenschappelijke onderbouwde keuze kunnen maken of licht nu een golf- of deeltjeskarakter had. Een belangrijke bijdrage in deze discussie kwam van Christiaan Huygens (1629-1695) die het fenomeen polarisatie ontdekte. Beroemd is zijn verklaring van de propagatie van licht, die bekend staat als het principe van Huygens. Dit principe heeft Huygens in 1690 beschreven in zijn *Traité de la lumière*. Met behulp van dit principe was Huygens in staat een verklaring te geven voor propagatie en reflectie. De verklaring van breking, welke door de wet van Snellius al was beschreven, kon Huygens geven door aan te nemen dat de snelheid van licht in een dichtere medium lager was. Het is Huygens echter niet gelukt om interferentiepatronen te verklaren. Dat kwam doordat men in die tijd niet beseftte dat de golflengte van zichtbaar licht klein was. Alhoewel de meeste wetenschappers uit de achttiende eeuw het deeltjeskarakter van licht accepteerden, waren er ook aanhangers van de golftheorie, bijvoorbeeld Franklin (1706-1790) en Euler (1707-1783).

Een echte doorbraak werd pas bereikt nadat Thomas Young (1773-1829) begrippen als interferentie en golflengte introduceerde.

Elektriciteit en Magnetisme

Verschijselen als elektriciteit en magnetisme werden oorspronkelijk als onafhankelijk beschouwd. Benjamin Franklin (1706-1790) gaf de eerste aanzet tot het begrip statische elektriciteit. Hij beschreef een experiment waarbij hij een bal in een elektrisch geladen zilveren kroes liet zakken. Tot zijn verbazing gebeurde er niets, terwijl diezelfde bal aan de buitenkant van de kroes wel werd aangetrokken. Deze experimenten werden op verzoek van Franklin herhaald door zijn vriend Joseph Priestley (1733-1804), de ontdekker van zuurstof. Priestley concludeerde dat elektrische krachten aan dezelfde wetten moeten voldoen als de zwaartekracht, dus de kracht tussen twee geladen deeltjes is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand. Helaas was de wetenschappelijke gemeenschap er toen niet klaar voor om deze verklaring als belangrijk te beschouwen. Zes jaar later had Henry

Cavendish (1731-1810) kwantitatieve resultaten, inclusief foutschatting, verkregen. Zijn experimenten zijn met een techniek uitgevoerd waar zelfs de moderne onderzoeker respect voor zal hebben. Cavendish heeft tevens het concept van elektrische potentiaal ("degree of electrification") geïntroduceerd. Gelijktijdig was ook iemand anders aan het werk om de relatie te bepalen tussen kracht en lading, namelijk Charles Augustin de Coulomb (1736-1806). Alhoewel de experimenten van Cavendish nauwkeuriger waren dan die van Coulomb kreeg de laatste de meeste eer. Siméon Denis Poisson (1781-1840) heeft in twee "mémoires" (1812 en 1813) de theorie van het elektrostatische veld tot volwassenheid gebracht. Hij beschreef de componenten van de elektrische kracht als ruimtelijke afgeleiden van een potentiaal-functie en leidde voor deze potentiaal-functie een differentiaalvergelijking af. Een belangrijke bijdrage werd gegeven door Michael Faraday (1791-1867). Zijn belangstelling voor visualisatie van fysische effecten leidde ertoe dat hij alle kracht-functies, elektrische en magnetische, voorstelde in termen van fluxlijnen. Faraday heeft hiermee actie op afstand vervangen

door lokale wisselwerking van lading en krachtvelden. Deze visie heeft veel waardering gekregen van Maxwell, die aangetoond heeft dat dit beeld in overeenstemming was met de wiskundige formuleringen.

Magnetische effecten, veroorzaakt door permanente magneten, waren al sinds de oudheid bekend. Magnetische velden veroorzaakt door elektrische stromen zijn het eerst waargenomen in de winter van 1819-1820 door Hans Christiaan Oersted (1777-1851). Hij experimenteerde met een kompasnaald naast een gesloten elektrisch circuit. In eerste instantie nam hij geen effect waar toen hij de naald loodrecht op de draden richtte. Aan het eind van zijn college kwam Oersted (toevallig?) op het idee de naald evenwijdig aan de draden te plaatsen. Dat had wel effect. De experimenten van Oersted werden herhaald door Jean-Baptiste Biot (1774-1862) en Félix Savart (1791-1841), die de krachtwet voor dit verschijnsel hebben opgesteld. Die krachtwet staat bekend als de wet van Biot-Savart. In dezelfde periode ontdekte André-Marie Ampère (1775-1836) dat twee draden met een elektrische stroom een onderlinge

kracht op elkaar uitoefenen. Voortbordurend op deze ontdekking formuleerde hij in 1825 in een vrij omvangrijke "mémoire" zijn krachtwet voor een wisselwerking tussen twee stroomelementen. Dit werk wordt gezien als een van de meest vooraanstaande werken in de geschiedenis van de wetenschap. In tegenstelling tot Biot, die magnetische dipolen als fundamenteel zag, stelde Ampère dat magnetisme een elektrisch fenomeen was.

Twee belangrijke ontdekkingen waarop de theorie van tijdafhankelijke velden is gebaseerd zijn van Michael Faraday (1791-1867) en James Clerk Maxwell (1831-1879). Faraday ontdekte experimenteel dat een veranderend magnetisch veld een elektrisch veld induceerde. Op basis van analogie stelde Maxwell theoretisch dat het omgekeerde ook waar moest zijn, dat wil zeggen dat een veranderend elektrisch veld een magnetisch veld moest induceren. Het is aardig op te merken dat Faraday zes jaar lang heeft geëxperimenteerd totdat hij op 29 augustus 1831 het gewenste resultaat had. In feite had Faraday hiermee de eerste transformator ontworpen. Dat Faraday er zo lang over heeft gedaan alvorens hij het

gewenste resultaat had, werd veroorzaakt doordat hij, net als zijn tijdgenoten, probeerde om een gelijkstroom op te wekken. In 1834 had Faraday het fenomeen zelfinductie ontdekt, maar het is een feit dat Joseph Henry (1797-1878) dit twee jaar eerder al had gedaan. Een andere belangrijke bijdrage van Faraday was het concept dat diëlektrische media, net als magnetische media, gepolariseerd kunnen zijn. Dit resultaat is gepubliceerd in 1839. Het besef dat er twee klassen van materialen bestaan, te weten geleiders en isolatoren, werd in 1729 gegeven door Stephen Gray (1666-1736). Gray ontdekte het principe van elektrische geleiding. Hiermee was de basis gelegd voor de vergelijkingen van Maxwell.

De wetten van Maxwell

Maxwell was slechts vierentwintig jaar oud toen hij de ideeën van Faraday een wiskundige basis gaf in zijn eerste publicatie. Vier jaar nadien beschreef Maxwell in 1865 de relatie tussen verplaatsings- en geleidingsstroom, de continuïteitsvergelijking en wat nu bekend

staat als de wetten van Maxwell. Een belangrijke consequentie van zijn theorie is dat elke elektromagnetische verstoring zich voortplant met de snelheid van het licht. Dat de ideeën van Maxwell revolutionair waren blijkt uit het feit dat pas acht jaar na Maxwells' dood Hertz experimenteel de hypothesen van Maxwell bevestigde. Tenslotte wordt opgemerkt dat Maxwell in zijn *Treatise* uitdrukkingen geeft voor het veld van een ééndimensionale golf. Inderdaad, die uitdrukking-en die velen zo moeilijk lijken te vinden. De differentiaalvorm van de wetten van Maxwell zoals wij die nu kennen is geformuleerd door Oliver Heaviside (1850-1925). Hiermee besluit ik de beknopte beschrijving van het verleden. Ik beseft dat ik, als niet historicus, slechts een beperkt beeld heb kunnen schetsen van de historische feiten. Zoals uit het gegeven overzicht blijkt, worden de ontwikkelingen gedreven door een wisselwerking tussen de feiten en het hebben van dromen. Om de titel van mijn introerede te memoreren gaan doorzettingsvermogen en "geloof in zaken" samen als een tweetal noodzakelijke voorwaarden voor het doen van wetenschappelijk onderzoek. Dat was toen waar,

is vandaag de dag waar en zal tevens waar zijn in de toekomst.

Dit brengt mij op het punt om vanuit het verleden mijn aandacht te gaan richten op het heden en mijn visie over de toekomst te schetsen.

Elektromagnetische effecten

Ik wil beginnen u vertrouwd te maken met de aanwezigheid van elektromagnetische velden om ons heen. We kunnen de bronnen die elektromagnetische velden opwekken indelen in twee groepen: bronnen van natuurlijke oorsprong en bronnen die samenhangen met menselijke activiteiten. Bij de natuurlijke bronnen kunnen we denken aan bijvoorbeeld onweer of vonkjes die optreden ten gevolge van de ontlading van statische elektriciteit of het aardmagnetisch veld. Daarnaast is er de aanwezigheid van elektromagnetische velden in samenhang met menselijke activiteiten zoals de toepassing van communicatiezenders. We spreken in dit geval van een opzettelijke bron ("intentional radiator") want zo'n communicatiezender is

neergezet met het doel elektromagnetische velden op te wekken. Andere voorbeelden van opzettelijke bronnen zijn radar- en navigatieapparatuur. Er zijn ook onbedoelde bronnen ("unintentional radiators"). Een magnetronoven is niet ontworpen met de bedoeling buiten de oven elektromagnetische velden op te wekken. Er komt echter wel een strooiveld vanaf, want het is onmogelijk een eenvoudige functionele constructie te produceren tegen lage kosten die tevens in staat is alle elektromagnetische energie binnen de oven te houden. Ook het netwerk voor de elektriciteitsvoorziening met zijn bovengrondse hoogspanningsleidingen is niet neergezet om elektromagnetische velden te genereren. Andere voorbeelden waarbij onbedoeld mensen aan velden worden blootgesteld vinden we bij medische toepassingen zoals hyperthermie en diathermie of bij industriële apparatuur zoals inductieve verwarming. Daarnaast vinden we toepassingen van elektromagnetische velden in glasvezels, antennestructuren, ontwerpsoftware voor snelle elektronische circuits, kabeltelevisienetwerken maar ook bij elektrische machines en elektromotoren. Deze lijst is

natuurlijk niet uitputtend, maar ik wil dit hier slechts als voorbeeld noemen. Met de groei in mogelijkheden die de technologische vooruitgang ons biedt, zal de hoeveelheid bedoelde en onbedoelde bronnen van elektromagnetische velden toenemen. Ter illustratie wil ik u graag tonen hoe de groei van de mobiele telefonie de afgelopen 20 jaar is geweest.

- 1980 ATF-1, 29 cellen, 2.000 auto-telefoons;
- 1985 ATF-2, 126 basisstations, ca. 30.000 gebruikers;
- 1989 ATF-3, 363 basisstations, > 250.000 gebruikers;
- 1994 GSM 900, > 1.000 basisstations, >1.000.000 gebruikers;
- 1998 GSM 1800, >>1.000 basisstations, >>1.000.000 gebruikers.

Daarnaast herkennen we allemaal dat, in ons luxe dagelijkse leven, de hoeveelheid elektronische apparatuur is toegenomen. Personal Computers worden uitgevoerd met steeds hogere kloksnelheden, alarminstallaties werken draadloos en we kunnen apparatuur aanschaffen waarmee we zelfs van onze videorecorder in de huiskamer draadloos de beelden en geluid in onze

slaapkamer kunnen laten brengen. U begrijpt: overal waar we te maken hebben met elektronische en elektrische apparatuur spelen elektromagnetische velden een rol. Naast de bedoelde effecten van elektromagnetische velden kunnen er onbedoelde effecten optreden. Een onbedoeld effect is bijvoorbeeld het gekraak uit de autoradio voordat de mobiele telefoon een inkomend gesprek aankondigt. Een ander onbedoeld effect is de opwarming van levend weefsel ten gevolge van blootstelling aan elektromagnetische velden opgewekt door communicatiemiddelen. Ik wil op beide ingaan.

Elektromagnetische Compatibiliteit

Elektromagnetische compatibiliteit is in het “International Electrotechnical Vocabulary” van de “International Electrotechnical Commission” [IEC89] beschreven als

Het vermogen (de eigenschap) van een elektr(on)isch apparaat om bevredigend te functioneren in zijn elektromagnetisch milieu zonder zelf ontoelaatbare stoorsignalen toe te voegen.

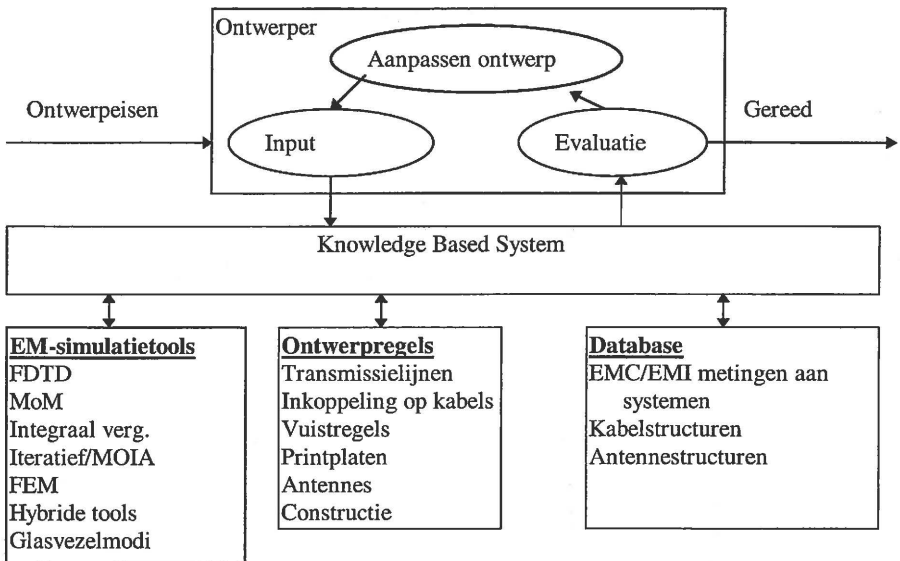
Ofwel: apparaten mogen niet storen en dienen zelf voldoende immuun te zijn. Om enige zekerheid te hebben dat apparatuur in voldoende mate bestand is tegen ongewenste beïnvloeding door elektromagnetische velden is in 1992 de EMC richtlijn 89/336/EEG van de Europese gemeenschap van kracht geworden [EC89]. Na een overgangperiode van vier jaar is sinds 1 januari 1996 dwingend opgelegd dat apparatuur welke beïnvloed kan worden door elektromagnetische velden of zelf een bijdrage heeft aan het elektromagnetische milieu moet voldoen aan redelijk te stellen eisen voordat deze op de Europese markt gebracht mag worden. Het niet voldoen aan de richtlijn is een economisch delict. Opmerkelijk is dat het al of niet uitvoeren van metingen geheel voor verantwoording van de fabrikant of installateur van de apparatuur of installatie is. Er is dus geen wettelijke verplichting tot het uitvoeren van gecertificeerde metingen, de wetgever ziet hen namelijk als eindverantwoordelijk voor hun producten. Het is dus van zeer groot belang dat ontwerpers, de elektrotechnisch ingenieurs die wij als Technische Universiteit opleiden, voldoende kennis hebben over het vakgebied EMC. En dat er

op dit gebied nogal wat te winnen is, laten de vele praktijkvoorbeelden in de leerstoel van collega Van der Laan en dr. Van Deursen van de faculteit Elektrotechniek en in de EMC-groep van TNO-FEL helaas maar al te vaak zien. Hiermee worden we natuurlijk wel voor een mogelijk dilemma gesteld: hoe beter onze ingenieurs worden in het bereiken van EMC, des te minder frequent zullen bovengenoemde groepen worden ingehuurd om EMC-problemen op te lossen. Een feit is dat kennis genereren en goed onderwijs aan de studenten bieden primaire doelstellingen van een universiteit zijn. Voor TNO geldt dat dit onderzoeksinstituut ook aan kennisontwikkeling doet en er tevens is om het MKB te ondersteunen. Ik ben ervan overtuigd dat er voldoende uitdagingen overblijven als door goed onderwijs een deel van bovengenoemde consultancy aspecten wegvallen. Ik realiseer mij dat ik nu snel wat geruststellende woorden moet wijden aan de in mijn visie toekomstige werkzaamheden van de specialisten in het EMC-vakgebied. Ik zie de toekomst voor EMC-onderzoek zeer rooskleurig in. Gedreven door het maatschappelijk en het industriële belang van dit onderzoek zullen we in

toenemende mate met interessante uitdagingen geconfronteerd worden. Hiermee is nu al het vakgebied EMC aantrekkelijk voor onderzoekers. Wat is één van die uitdagingen?

Het is al vermeld dat de functionaliteit van elektronische apparatuur steeds meer toeneemt en dat systemen steeds complexer worden en dat de noodzaak van het draadloos verzenden van informatie zal toenemen. Hierbij zal vaker hetzelfde stukje elektromagnetisch spectrum moeten worden gebruikt door verschillende systemen waardoor de ontwerpen van systemen en de systeemintegratie in complexiteit zullen toenemen. Dit veroorzaakt een behoefte om op korte termijn te kunnen beschikken over geschikte ontwerpssoftware, zoals is weergegeven in Figuur 2.

Van deze te ontwikkelen ontwerpssoftware is elektromagnetische simulatiesoftware een belangrijk onderdeel. Het is dus van groot belang om in de basis, dat wil zeggen vanuit de theorie en de numerieke implementatie, te komen tot de ontwikkeling van snelle en efficiënte simulatiesoftware. Een discussiepunt



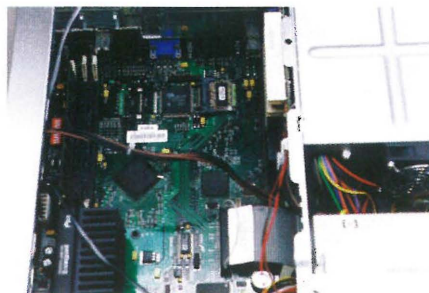
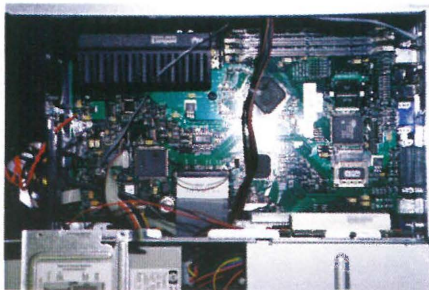
Figuur 2. Opbouw van een in de nabije toekomst te ontwikkelen ontwerpsoftware om te komen tot een ontwerp met een zo goed mogelijke EMC.

hierbij is de nauwkeurigheid. Vanuit EMC-standpunt kunnen we mijns inziens volstaan met een nauwkeurigheid van 3 tot 6 dB in de ontwerpfase. De uitdaging waarmee collega Tijhuis en ondergetekende worden gesteld is te komen tot de ontwikkeling van snelle, voldoende nauwkeurige en efficiënte programma's om elektromagnetische velden en interacties te berekenen. Een goede kandidaat is de ontwikkeling van Marching-on-in-anything schema's [Tij97]. De filosofie achter deze methode is dat een veldoplossing voor

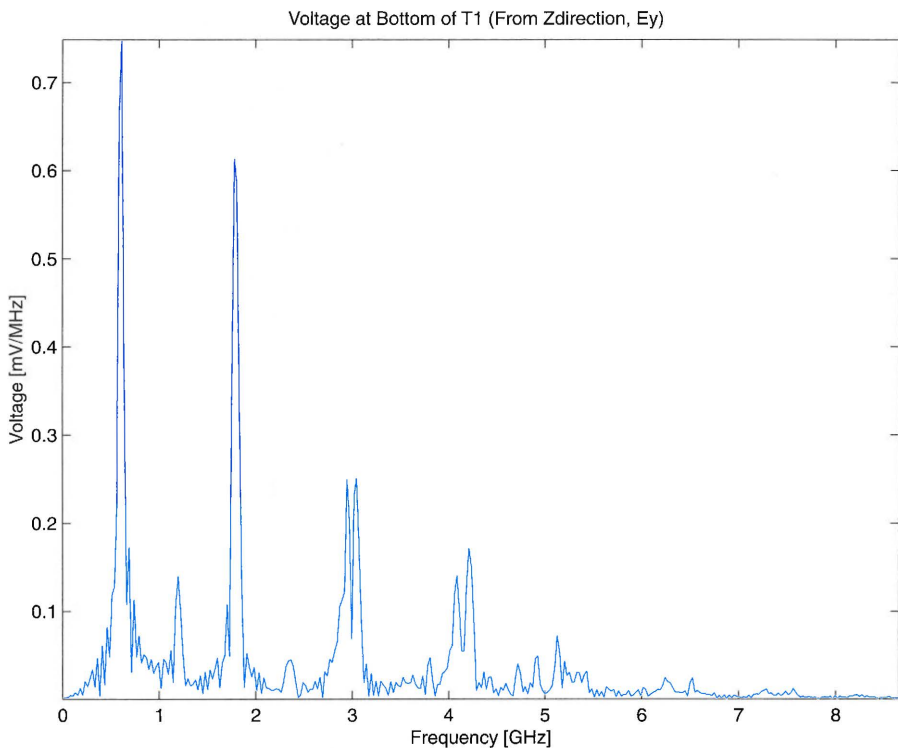
verschillende configuraties kan worden verkregen door steeds een van de parameters in die configuratie een klein beetje te veranderen om vervolgens het elektromagnetisch interactieprobleem snel en efficiënt op te lossen. Een voorbeeld is om Marching-on-in-frequency [Tij91] te plegen en daarna met behulp van een inverse Fourier transformatie tijddomeinresultaten te verkrijgen. Dit concept is ook te gebruiken voor bijvoorbeeld Marching-on-in-shape en Marching-on-in-position. Daarnaast is er winst te behalen door

middel van het uitvoeren van bepaalde onderdelen van de algoritmen in hardware. Zoals in mijn proefschrift [Zwa91] reeds gemeld onder "future research" zijn FFT bewerkingen uit te voeren met hardware. Daarnaast zijn verschillende groepen bezig met massief parallel rekenen. Mijn TNO collegae in de radargroep doen bijvoorbeeld onderzoek aan parallele implementatie van hun FDTD programma. Aan de Technische Universiteit Delft wordt soortgelijk onderzoek gedaan. Verdere ontwikkeling van dit hardware concept moet dan leiden tot de tussen mijn TNO collega ir. Pasmaan en mij veelvuldig besproken *EM-processor*. Ik dreig mezelf nu te verliezen in het neerzetten van dromen en idealen. Het is uiteraard toegestaan om doelen waarnaar gestreefd moet worden neer te zetten. Deze bepalen immers de keuzes voor het te

verrichten onderzoek, maar het is nu weer tijd terug te keren op de hedendaagse feiten. De realisatie van bovenbedoelde ontwerpssoftware is nog geen feit en vergt nog jaren van onderzoek. Het onderzoek zal multidisciplinair moeten worden opgezet en de inbreng van specialisten op, bijvoorbeeld, de vakgebieden materialen (sterkten en EM-eigenschappen), signaalverwerking en man-machine interfaces is van groot belang voor deze ontwikkeling. Zoals uit het historisch overzicht blijkt, hebben theorie en experiment gezamenlijk een belangrijke factor in de ontwikkeling van de wetenschap. Daarnaast is het experiment belangrijk om eigenschappen en gedrag van systemen vast te stellen die te complex zijn om gemodelleerd te worden. Hierbij refereer ik aan een samenwerkingsverband met de University of Western



Figuur 3a. Een A-merk Personal Computer zonder kast zoals die gebruikt is tijdens de experimenten om negatieve beïnvloeding van de goede werking te bepalen.



Figuur 3b. Resultaat van een FDTD berekening van de elektromagnetische inkoppeling in een simpel numeriek model van een Personal Computer.

Ontario. Gezamenlijk proberen wij de mechanismen van inkoppeling op complexe systemen te begrijpen. Onlangs hebben we op het EMC symposium te Zürich [LoV99] een paper gepresenteerd waar onze Canadese partner door middel van een simpel model van een computersysteem op numerieke wijze resonanties en inkoppeling op sporen heeft bepaald op een simpele

Printed Circuit Board configuratie. In Figuur 3a is een foto van de PC zoals deze is gebruikt tijdens de experimenten gegeven. Figuur 3b geeft één van de met FDTD berekende resultaten. Onafhankelijk hiervan hebben wij bij TNO door middel van experimenten aan A-merk computers veldsterkte niveaus en frequenties bepaald waar de goede werking van het computersysteem

negatief werd beïnvloed. Opvallend was dat er een goed verband was tussen numerieke voorspelling en experimentele resultaten. Leuk detail om te vermelden is dat we kort voor de conferentie een e-mail vanuit Canada ontvingen met de mededeling dat er onder de 1 GHz een inkoppeling berekend was. Bij de experimenten hadden wij ons geconcentreerd op frequenties boven 1 GHz zodat dit aan onze aandacht ontsnapt was. We konden natuurlijk de verleiding niet weerstaan, en hebben dit voorspelde verschijnsel onlangs inderdaad experimenteel bevestigd.

Ook is in de leerstoel van collega Van der Laan aan de faculteit Elektrotechniek onderzoek gedaan naar het EMC-gedrag van printplaten. Onlangs is hierop dr. F.B.M. van Horck onder begeleiding van dr. A. van Deursen gepromoveerd [Hor98]. Nu zult u zich afvragen, wat is het belang van dit onderzoek? Welnu, zoals ik in de inleiding aangegeven heb zal in de nabije toekomst de dichtheid van bedoelde en onbedoelde bronnen van elektromagnetische velden toenemen. Met betrekking tot de ontwikkelingen in de halfgeleidertechnologie is te onderkennen dat elektronica steeds sneller wordt (hogere

kloksnelheden) en op steeds lagere voedingsspanningen zal functioneren. De verwachting is dat het onder deze omstandigheden het een grotere uitdaging zal zijn voldoende elektromagnetische compatibiliteit te verkrijgen. Het is dus van groot belang onze kennis omtrent de inkoppeling van elektromagnetische velden op complexe structuren en het gedrag van niet-lineaire elementen te vergroten. Momenteel zijn wij als leerstoel Elektromagnetisme in gesprek met de leerstoel van collega Van der Laan (Et) om op dit onderwerp een gedegen onderzoeksvoorstel te formuleren. Inmiddels heeft de onderzoeksschool COBRA 50% van de benodigde financiële middelen toegezegd en de AIO mag geworven worden.

Blootstelling aan niet-ioniserende elektromagnetische velden

Het effect van elektromagnetische velden op biologische systemen, in het bijzonder de mens, staat al geruime tijd in de belangstelling. Veel onderzoek is al uitgevoerd naar vermeende gezondheidsgevaars van

blootstelling aan elektromagnetische velden. Een uitgebreid overzicht is gegeven in een publicatie van de "World Health Organisation" [WHO93]. De goede verstaanders onder u moet het inmiddels zijn opgevallen dat ik spreek over velden en niet over straling. Met name het begrip straling geeft onbedoeld een associatie met ioniserende straling. In mijn intreedende beperk ik mezelf tot het frequentiegebied tot 300 GHz, daar waar het overgrote deel van de toepassingen van elektromagnetisme in de elektrotechniek plaatsvindt. In 1997 heeft de Gezondheidsraad een advies uitgegeven met betrekking tot limieten aan blootstelling aan elektromagnetische velden in het frequentiegebied van 300 Hz - 300 GHz [GR97]. Tijdens het formuleren van dit advies is de commissie, waar ik deel van heb uitgemaakt, uitgegaan van wetenschappelijk vastgestelde feiten. De basis vormt het optreden van thermische effecten voor frequenties boven 10 MHz en geïnduceerde stromen voor lagere frequenties van 300 Hz tot circa 10 MHz. De uitkomst met betrekking tot niet-thermische effecten is wetenschappelijk gezien controversieel. Ten eerste is het belangrijk te onderkennen dat de fotonenergie onvoldoende is om

schade aan celstructuren aan te richten. Daarnaast zijn gevonden effecten aan de hand van epidemiologisch onderzoek veelal niet statistisch significant. Daar waar wel een licht statistische significantie gevonden was, is er geen oorzakelijk verband gevonden. Bij de eenduidigheid van de onderzoeksresultaten zijn helaas ook de nodige vraagtekens te plaatsen. [GR97, blz 48, 49]. Met deze laatste constatering bagatelliseer ik niet het belang van epidemiologisch onderzoek en dierproef-experimenten. Ik meen dat dit soort onderzoek wel degelijk wetenschappelijke waarde heeft. Maar het is natuurlijk, zoals gebruikelijk in de wetenschap, van groot belang om de gevonden resultaten goed te analyseren en te toetsen alvorens er conclusies aan te verbinden. Tot op heden ben ik niet overtuigd van een aangetoond causaal verband tussen de aanwezigheid van elektromagnetische velden en niet-thermische effecten. De huidige blootstellingsnormen zijn gebaseerd op thermische effecten. Ondanks de vele tegenstrijdige berichtgevingen zijn thermische effecten nu naar mijn mening de enige met een wetenschappelijk verantwoorde basis.

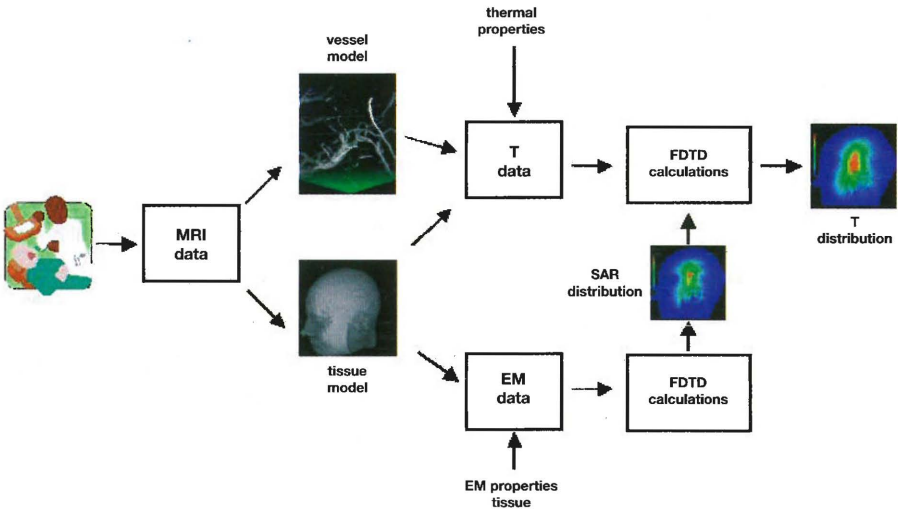
Ik moet helaas constateren dat in de media berichten verschijnen die niet met de binnen onze wetenschappelijke kringen gebruikelijke zorgvuldigheid zijn opgesteld. Zeer recentelijk hebben we een mooi voorbeeld hiervan meegemaakt. Op 24 mei 1999 is tijdens het BBC programma *Panorama* melding gedaan van resultaten van de Zweedse kanker expert dr. Lennart Hardell *et.al.* [Har99] en een groot onderzoek dat onder leiding van dr. George Carlo is uitgevoerd. Volgens dit BBC programma zou er door Carlo en Hardell een indicatie gevonden zijn dat mobiele telefoons gevaarlijk zijn voor de hersenen. Er zou ook een verhoogd risico zijn bij het krijgen van hersentumoren aan dezelfde kant van het hoofd waartegen de mobiele telefoon gehouden was. Het BBC programma rapporteerde een verhoogd risico met een factor 3. Nieuwsgierig geworden door dit bericht zijn mijn collegae en ik op 25 mei direct gaan zoeken. Over het onderzoek van dr. Carlo was geen spoor te vinden, maar over het onderzoek van dr. Hardell hebben we op internet een reactie van het Britse National Radiation Protection Board (NRPB) [NRPB99] gevonden. Zij hadden de beschikking over het manuscript van

Hardell *et.al.* (en daar heb ik ook de referentie vandaan). Het NRPB citeert de auteurs dat “In this study we did not find an overall increased risk for brain tumors associated with exposure to cellular phones”. Met betrekking tot de vermeende correlatie tussen de locatie van de hersentumoren en de locatie van de mobiele telefoon bij het hoofd tijdens het gebruik, geven de auteurs aan dat hun resultaten niet statistisch significant zijn. Dit in contrast tot de berichtgeving in het BBC programma *Panorama* en datgene wat in de Nederlandse media hierover is bericht. Het is zo jammer te moeten constateren dat de desbetreffende journalisten heel wat onrust hadden kunnen voorkomen door zorgvuldiger en kritischer met de wetenschappelijke feiten om te gaan.

De eerlijkheid gebied mij te bekennen dat er voor ons onderzoekers ook een positieve kant aan dit soort berichten zit, het geeft namelijk aan dat er een maatschappelijke interesse voor ons vakgebied alsmede een behoefte aan onze kennis is. Zo kan ik mij nog heel goed een bericht herinneren dat er in de media melding werd gemaakt van het feit dat van mobiel bellen de hersenen gaan koken. Het enige dat roodgloeiend ging

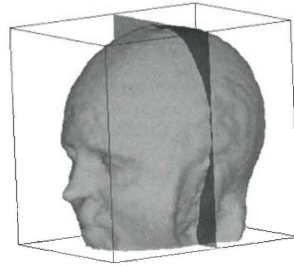
staan was mijn telefoon, er hebben in die tijd vele verontruste Nederlanders mijn collegae en mij gebeld met de vraag of genoemde bewering juist was. Naar aanleiding van dit bericht zijn wij twee jaar geleden, in samenwerking met de afdeling Radiotherapie van het Universitair Medisch Centrum in Utrecht en de Universiteit van Bergen (Noorwegen), een onderzoek gestart naar de temperatuursverandering in het menselijk hoofd bij het gebruik van een GSM-telefoon. In dit onderzoek is aangetoond dat het mogelijk is om elektromagnetische simulatietools te koppelen aan

een zeer geavanceerd thermisch simulatiemodel. Deze combinatie was een nieuwe benadering en de inbreng van de expertise van onze partners in Utrecht was van zeer groot belang. Er is een MR-scan van een menselijk hoofd gemaakt, en deze scan is gedigitaliseerd. Hieruit is een model gemaakt waarmee met een "Finite Difference Time Domain" programma de elektromagnetische veldverdeling en de verdeling van het geabsorbeerd vermogen zijn bepaald. De opzet is weergegeven in Figuur 4. Berekening van de verdeling van het elektromagnetische veld is al door vele

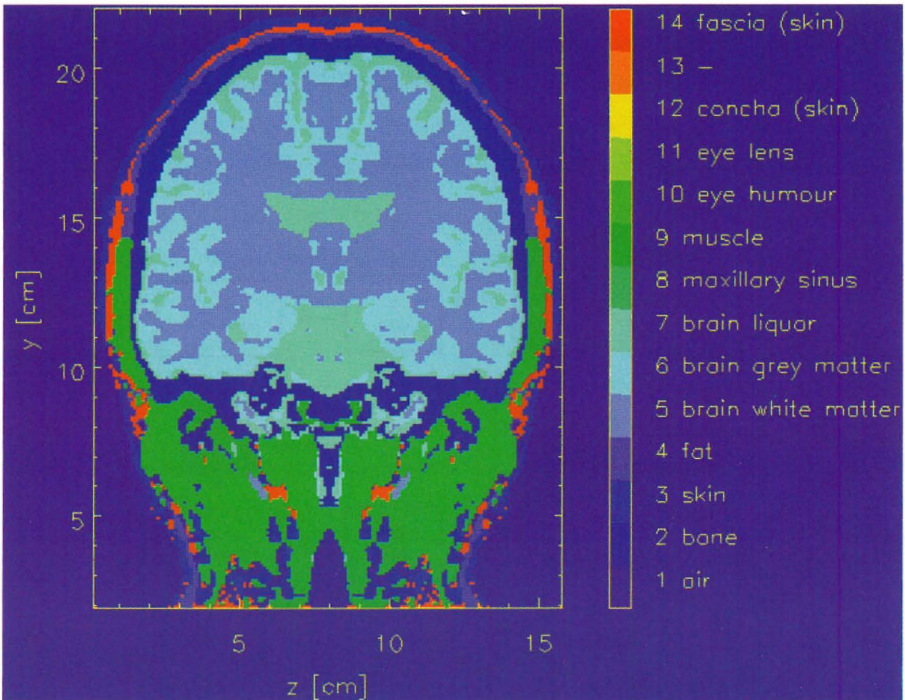


Figuur 4. De programmastructuur gebruikt om temperatuursveranderingen in een menselijk hoofd te berekenen ten gevolge van het gebruik van draagbare communicatiemiddelen.

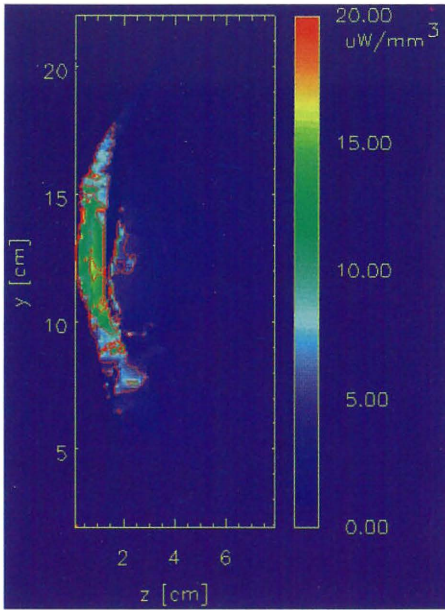
auteurs gepresenteerd, waaronder Borup en Ghandi [Bor84]. Nieuw aan dit onderzoek is dat in het thermische model de warmteafvoer tengevolge van de bloedstroom is verdisconteerd. Figuur 5 presenteert het model van het menselijk hoofd en het vlak waarin de resultaten in de volgende figuren zijn weergegeven. Figuur 6 geeft de berekende dichtheid van het elektromagnetisch geabsorbeerd vermogen uitgedrukt in Wm^{-3} .



Figuur 5a. Observatievlak door de drie-dimensionale segmentatie.



Figuur 5b. De weefselverdeling in het vlak zoals weergegeven in Figuur 5a.



Figuur 6. Verdeling van de berekende dichtheid van het elektromagnetisch geabsorbeerd vermogen. De gepresenteerde waarden zijn gemaximaliseerd op een totaal geabsorbeerd vermogen in het hoofd van 1 W. In feite is dit voor echte GSM-telefoon ongeveer 8 maal te hoog.

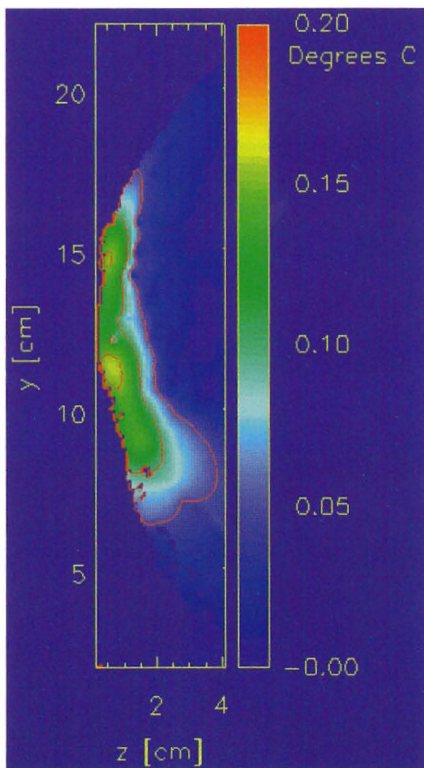


Figuur 7. De vatenstructuur gebruikt als input voor het thermisch model.

In Figuur 7 is de gebruikte vatenstructuur gegeven. Uit dit onderzoek blijkt dat de maximaal berekende temperatuurstijging 0,11 graden Celsius bedroeg, een temperatuurstijging die door deskundigen als verwaarloosbaar wordt beschouwd. Figuur 8 geeft de verdeling van de temperatuurverhoging ten gevolge van de GSM-telefoon. Om u een referentie te geven, als ik een uurtje ga hardlopen kan mijn lichaamstemperatuur oplopen tot 39 graden Celsius. Op grond van deze resultaten is dus uit te sluiten dat bellen met een GSM-telefoon zal leiden tot “oververhitte hersenen”. Indien er aantoonbaar sprake is van oververhitting in de hersenen dan moet dit veroorzaakt worden door de inhoud van het telefoongesprek.

Ten slotte wil ik een andere toepassing van dit onderzoek met u delen. Met behulp van bovengenoemde aanpak is het mogelijk een meer wetenschappelijk verantwoorde basis te geven voor de formulering van toekomstige blootstellingslimieten voor draagbare communicatieapparatuur in het algemeen.

Het is ook belangrijk dat er goede voorlichting aan zowel de Nederlandse



Figuur 8. Verdeling van temperatuurverhoging in een menselijk hoofd ten gevolge van het gebruik van een 900 MHz GSM telefoon.

bevolking als studenten wordt gegeven. Uit de vele reacties van verontruste mensen moet ik constateren dat er onvoldoende informatie ter beschikking is en dat men tevens een wantrouwende houding heeft jegens de wetenschap en jegens de partijen die een commercieel belang in het gebruik

van draagbare communicatiemiddelen hebben. Er zijn inmiddels vanuit de overheid en telecommunicatiebedrijven initiatieven gestart om deze voorlichting wel te geven. Ik ben geen deskundige op het gebied van de psychologie en massamedia maar ik ben van mening dat onafhankelijkheid en wetenschappelijke integriteit de beste ingrediënten zijn om het vertrouwen van de maatschappij op dit gebied te winnen. Uiteraard is het hierbij belangrijk met een duidelijk en eenvoudig beeld naar buiten te komen. Naast de informatievoorziening aan het publiek is het mijns inziens noodzakelijk om in ons onderwijscurriculum aandacht te besteden aan dit onderwerp. De toekomstig elektrotechnisch ingenieur zal tijdens zijn beroepsuitoefening steeds vaker met dit onderwerp worden geconfronteerd. Als deskundige moet hij of zij wel de juiste antwoorden paraat hebben op vragen over blootstelling aan niet-ioniserende elektromagnetische velden.

Daarnaast zie ik een behoefte aan de ontwikkeling van draagbare indicatiemiddelen om tijdig maatregelen tegen

ongewenst hoge blootstelling aan elektromagnetische velden te kunnen nemen. Er zijn reeds apparaatjes te koop, maar deze zouden algemener toepasbaar moeten zijn. De monitoren moeten klein en handzaam zijn, gemakkelijk te dragen en moeten de gebruiker waarschuwen wanneer veldsterkten te hoog worden. Met name voor mensen die beroepsmatig worden blootgesteld is dit van belang. Bij de ontwikkeling van deze monitor zijn verschillende disciplines van de elektro-techniek betrokken. Onderdeel is signaalverwerking waarbij informatie over de aanwezige frequenties en pulsform van de elektromagnetische velden als input variabele van belang is, er moet breedbandige hoogfrequente elektronica worden ontworpen en er moet een compacte antenne worden ontwikkeld. Kortom, een leuke en uitdagende klus.

Tenslotte wil ik erop wijzen dat het beslist noodzakelijk is dat universiteiten en TNO voor dit soort onderzoek en de daaruit voortvloeiende ethische plichten voldoende onafhankelijke financieringsbronnen ter beschikking moeten hebben.

Wetenschappelijk onderwijs Elektromagnetisme

Ik heb een poging ondernomen u een indruk te geven van de toepassingen en belang van elektromagnetisme in de elektrotechniek. Ons vakgebied is overal aanwezig, zoals op de ontwerptafel van elektronische circuits en systemen, het ontwerpen van glasvezels, elektrische machines en elektromotoren, medische systemen, het ontwerpen van antennes en het voorkomen van ongewenste negatieve beïnvloeding van elektronische apparatuur alsmede het voorkomen van negatieve gevolgen op de gezondheid. Dat maakt het vak elektromagnetisme een zeer belangrijk onderdeel van het huidige onderwijs-curriculum aan de Technische Universiteiten. Een goed uitgebalanceerd set dictaten vormen onmiskenbaar een noodzakelijke voorwaarde voor een hoogwaardig onderwijsniveau in ons vakgebied. Het is een vak dat het meest gemakkelijk te leren is met een student/docent interactie. Uitzonderlijk is te constateren dat de vele Engelstalige boeken die zijn geschreven niet geheel (en soms geheel niet) bruikbaar zijn voor inpassing in ons curriculum. De

eerlijkheid gebiedt mij te bekennen dat ik aanvankelijk van mening was de benodigde stof voor ons curriculum te betrekken uit bestaande boeken. Na evaluatie van het bestaande materiaal en de discussies met collega Tjihuis is mij duidelijk geworden dat er niet één boek is dat voldoet aan onze eisen. De verklaring hiervoor is dat de Engelstalige boeken voor het leeuwendeel zijn geschreven voor de Angelsaksische markt. Ten eerste komt de gemiddelde High-School student met een ander kennispakket op de Universiteit binnen dan onze VWO studenten. Daarnaast is het curriculum anders georganiseerd, voor een vak elektromagnetisme hebben onze Amerikaanse collegae 130-140 contacturen beschikbaar, terwijl wij het met 70 contacturen moeten doen, inclusief instructie. Elektromagnetisme is een vakgebied dat zeer uitdagend is, met vele leuke en maatschappelijk relevante onderwerpen. Helaas wordt dit vak door vele studenten als een struikelvak ervaren. Om dit probleem te minimaliseren, en dus ook de uitval, zijn we genoodzaakt studiemateriaal als maatwerk aan te bieden op onze Technische Universiteit, en dat brengt mij tot de dringende oproep om dit maatwerk

te respecteren. Het ontwikkelen van een goed doordacht en uitgebalanceerd college-dictaat op dit maatwerkprincipe vergt veel van de docent. Het kan niet de bedoeling zijn een docent slachtoffer te maken van zijn eigen inzet die van hem gevraagd wordt als het curriculum binnen korte tijd weer wordt herzien. Ik zou ervoor willen pleiten de benodigde onderwijs-inspanningen te steken in het verder ontwikkelen van bovenstaand bedoeld maatwerk. In het huidige curriculum is een basis vak elektromagnetisme in het tweede studiejaar opgenomen (EM2). Daarnaast moet er een goed vervolg op EM2 komen, logischerwijs EM3 genoemd. Dit vak zal moeten leiden tot meer specialisatie alsmede een praktische invalshoek. In de discussie met collega Tjihuis noemen we dit onderdeel voorlopig *engineering electromagnetics*. Het doel van dit onderdeel is te komen tot een vak waarmee de studenten op eenvoudige wijze leren wat elektromagnetisme inhoudt voor hun ontwerptaken. In de praktijk is gebleken dat ICT hierbij een belangrijke rol kan spelen. Daarnaast is het belangrijk 3 à 4 keuzevakken te hebben op onderwerpen zoals numerieke veldberekeningen (huidige *capita selecta*), golfgeleiders, antennes en

antennestructuren en elektromagnetische detectietechnieken. Tenslotte is het noodzakelijk om in de nabije toekomst twee extra keuzevakken te introduceren, te weten *aspecten van elektromagnetische compatibiliteit* en *Bio-elektromagnetisme*, specialisaties van de Technische Universiteit Eindhoven. Genoemde keuzevakken zijn vakken op vaktechnisch niveau. Studenten die in de leerstoel afstuderen dienen er tenminste twee van te kiezen.

Het is van belang in het eerste deel van het curriculum voldoende wiskundige scholing aan de studenten te bieden, omdat in het vakgebied elektromagnetisme een goede kennis van complexe functietheorie, bijzondere functies, numerieke wiskunde en partiële differentiaalvergelijkingen essentieel is. Dit wil ik benadrukken omdat ik in mijn functie als TNO-begeleider van een VKO-afstudeerder helaas heb moeten constateren dat de bagage van de VKO-studenten voor wat betreft mijn vakgebied onvoldoende is. Dat is jammer, kostbare afstudeertijd is hierdoor verloren gegaan, buiten de schuld van de student om. Juist bij deze categorie studenten vinden we traditioneel de beste afstudeerders uit ons vakgebied. Daarom pleit ik ervoor dat de

verplichte stage weer in het curriculum wordt opgenomen. Hiermee hebben we de gelegenheid om binnen de leerstoel een korte toetsing en eventueel bijscholing uit kunnen voeren, al dan niet als voorbereiding op het afstuderen. Met name voor externe plaatsingen is het bijzonder belangrijk voor zowel het desbetreffende bedrijf als de Technische Universiteit dat de afstudeerder zijn werk zo efficiënt mogelijk en goed voorbereid verricht.

Samenwerking Technische Universiteit Eindhoven en TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium

Ik wil mijn intreedende eindigen met enkele woorden over de relatie TNO en TUE. Naast mijn wetenschappelijke taken en verantwoordelijkheden op het gebied van mijn leerstoel, te weten elektromagnetische effecten, voel ik zeer duidelijk een verantwoordelijkheid om als een ambassadeur op te treden tussen beide onderzoeksinstituten. Het is voor een instituut als TNO, waar de primaire taak ligt bij toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek, van

groot belang nauw betrokken te zijn en zelfs te participeren in fundamenteel en exploratief onderzoek dat plaats vindt aan de (technische) universiteiten. Aan de andere kant worden de (technische) universiteiten geconfronteerd met een tijdgeest waarin “onderzoek voor het onderzoek” niet meer zo gemakkelijk wordt geaccepteerd. Onderzoek ligt nu eenmaal beter in de markt als er een relevantie dan wel directe applicatie aan gekoppeld is. Vanuit mijn TNO-ervaring is het verwerven van fondsen voor applicatiegericht onderzoek een natuurlijke rol geworden. Ook wil ik mijn bijdrage leveren aan de utilisatie van onderzoek dat de Technische Universiteit Eindhoven samen met andere partners heeft uitgevoerd. Ik heb de ambitie om met mijn kennis en ervaring beide onderzoeksinstituten binnen mijn vakgebied te versterken en een prominente rol te laten spelen op de wereldkaart. Ik sluit zelfs niet uit dat er op termijn een dependance van TNO-FEL binnen de faculteit elektrotechniek zal worden gevormd. De ingrediënten zijn aanwezig, de jonge AIOs en gekwalificeerde post-docs en de meer ervaren wetenschappers. Het team is gevormd en we zijn er klaar voor, de toekomst ligt voor ons.

Dankwoord

Zeer geachte toehoorders. Het college van Bestuur van de Technische Universiteit Eindhoven, het Bestuur van de Faculteit Elektrotechniek, de Raad van Bestuur van TNO en de directie van TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium wil ik bedanken voor het in mij gestelde vertrouwen. Ik wil tevens van de gelegenheid gebruik maken om dr. Jan Maas te bedanken voor de manier waarop hij mij, destijds in zijn functie als directeur TNO-FEL, heeft gestimuleerd een strategische samenwerking met de Technische Universiteit Eindhoven op te bouwen. Ook de collegae hoogleraren van de faculteit en in het bijzonder de hoogleraren van TTE wil ik bedanken voor het enthousiasme en de gastvrijheid die ik al de afgelopen periode heb mogen genieten.

Aan mijn persoonlijke en wetenschappelijke ontwikkeling hebben vele personen bijgedragen. Het is helaas niet mogelijk eenieder persoonlijk te noemen en te bedanken. Ik moet mij daarom beperken tot een geselecteerd aantal personen.

Hooggeleerde Van den Berg, beste Peter. Jij hebt de basis gelegd voor mijn wetenschappelijke vorming. Zowel gedurende mijn studietijd als promotietijd heb jij mij weten te stimuleren en te enthousiasmeren. Het feit dat ik van jou de gelegenheid kreeg via mijn eigen wijze tot oplossingen te komen voor complexe problemen heeft mij geholpen bij mijn latere wetenschappelijke werk. Het kwam meer dan eens voor dat ik, na een discussie met je gehad te hebben, wegging met een gevoel van “kan dat niet anders?”. Dat zegt overigens niets over de kwaliteit van de discussie, maar meer over mijn eigenwijze instelling. Ik weet dat je het gewaardeerd hebt dat ik vaak op een discussie terug kwam met “Professor Van den Berg, ik heb nog eens het probleem bekeken en volgens mij moet het zo”. Deze waardering is wederzijds. Vandaag de dag staat jouw onderzoek voor een groot deel in het kader van grondradar. In de nabije toekomst zullen jij en ik elkaar vaker tegenkomen. Ik zie onze nog te voeren discussies met belangstelling tegemoet, ik zal proberen even eigenwijs te zijn als toen.

Hooggeleerde De Hoop, beste Aad.
Alhoewel professor Van den Berg mijn

promotor was, is jouw inbreng in mijn wetenschappelijke vorming zeer groot geweest. Ik kan mij nog heel goed herinneren dat jij op college enthousiast de theorie van het elektromagnetische veld wist te presenteren. Zo enthousiast zelfs dat de echte problemen niet opvielen en deze pas boven water kwamen toen ik zelf de stof ging bestuderen. Daarna heb ik bijzonder veel waardering gekregen voor de manier waarop jij door jouw visie en sturing het vak elektromagnetisme tot een specialisme van wereldnaam hebt weten te maken. Met de aanvaarding van dit ambt zal ik er alles aan doen mijn bescheiden deel aan datgene dat jij op de wereldkaart hebt gebracht bij te dragen.

Hooggeleerde Blok, beste Hans. Gedurende mijn onderzoek aan de Technische Universiteit Delft hebben we meerdere malen over het onderzoek gediscussieerd. Deze discussies heb ik bijzonder op prijs gesteld en ik hoop dat we deze wetenschappelijke discussies in de toekomst kunnen blijven voeren. Daarnaast zijn jouw persoonlijke eigenschappen als integer wetenschapper en teambuilder voor mij altijd een goed voorbeeld geweest. En dan

heb ik het nog maar niet over je enthousiasme over alles dat je boeit.

Hooggeleerde Tijhuis, beste Anton. Last but not least, zoals we in gebruikelijk Nederlands zeggen, gaat ook een woord van dank uit naar jou. Snel na mijn aanstelling bij TNO-FEL heb ik structurele samenwerking met de Technische Universiteiten gezocht. Jij hebt daar destijds positief en enthousiast op ingespeeld met het gevolg dat we al snel afstudeerders en later een promovendus aan het werk hadden bij TNO-FEL. Gedurende dezelfde periode hadden we veelvuldig wetenschappelijke discussies over onderwerpen zoals koppeling tussen objecten en draad-antennestructuren, het optimaliseren van iteratieve schema's alsmede meer applicatiegerichte discussies. Al snel groeide het wederzijdse besef dat er een vruchtbare samenwerking aan het ontstaan was, welke werd geïntensiveerd met de kans die jij mij bood om invulling te geven aan een deel van het college "capita selecta". Onze samenwerking is de afgelopen jaren geïntensiveerd. Het feit dat we vandaag met z'n allen bijeen zijn is er het bewijs van. Naast de wetenschappelijke

discussies hebben we natuurlijk ook veelvuldig over de omstandigheden hier op de universiteit en je gezondheid gesproken. Zonder daar vandaag al te diep op in te gaan wil ik wel kwijt dat het mij deugd doet dat je op een voorspoedige manier herstelt van de operatie. Voor de toekomst weet ik zeker dat wij binnen de faculteit een belangrijke rol gaan vervullen en de ambities voor onze beide leerstoelen zijn dan ook hoog. Ik spreek hierbij het vertrouwen uit dat elektromagnetisme aan de Technische Universiteit Eindhoven in de toekomst vele interessante uitdagingen op zich af zal zien komen. Wij zijn daar klaar voor.

Waarde Pasman, beste Huib. Gedurende het gehele proces heb jij mijn activiteiten en initiatieven richting de Technische Universiteit altijd ondersteund. Jouw enthousiasme en positieve analyse van geconstateerde uitdagingen is een bijzonder plezierige stimulans. Ik hoop dat ik in de toekomst vaak door jou op deze manier gestimuleerd mag worden.

Waarde collegae van de leerstoel elektromagnetisme: het nadeel van een deeltijd-

betrekking is dat we elkaar nogal eens mislopen. Ik kan niet overal meteen op reageren; koffie met gebak loop ik ook vaak mis. Ik dank jullie voor het enthousiasme waarmee ik in jullie groep ben opgenomen, en ik ga de toekomst met veel vertrouwen tegemoet.

Waarde collegae van TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium, in het bijzonder de leden van de groep EOVS en EM-Effecten. Nu ik een deeltijdbetrekking heb in Eindhoven merken jullie steeds vaker dat ik afwezig ben. Dat geeft nogal eens noodzaak tot flexibiliteit en improvisatie. Zonder jullie bereidheid hiertoe stonden we hier vandaag niet, en dat is zeker een dankwoord waard.

Lieve ouders, paps en mams, tot en met de afronding van mijn studie tot elektrotechnisch ingenieur heb ik bij jullie thuis gewoond. Jullie hebben mij in die periode, maar zeker ook daarna, altijd ondersteund en gestimuleerd maar ook afgeremd indien dat nodig was. Ik ben gevormd door jullie opvoeding en kijk op het leven, en daar ben ik jullie heel dankbaar voor. Nu ik naar jullie kijk bespeur ik trots in jullie blikken.

Geachte toehoorders. Werken is goed voor de mens wordt gezegd, maar zodra ik dit zeg moet ik denken aan die TV-reclame waar de kinderen aan tafel argwanend kijken naar die man die hun vlees snijdt. De eerlijkheid gebiedt mij te bekennen dat ik dan geplaagd wordt door een schuldgevoel. Iemand met twee functies houdt soms wel eens te weinig tijd over voor zijn gezin. Daarom is mijn laatste dankwoord gericht aan mijn echtgenote Anneke en

mijn dochter Ramona en zoon Daniël. Meerdere malen heb ik een beroep op jullie moeten doen om af te reageren of om tijdens moeilijke omstandigheden te kunnen relativeren. Jullie steun en begrip is van doorslaggevend belang geweest om deze mijlpaal in mijn wetenschappelijke carrière te kunnen bereiken.

Ik heb gezegd.

Referenties

- [**Bor84**] D.T. Borup and O.P. Gandhi, *Fast Fourier Transform method for Calculation of SAR distributions in finitely discretized inhomogeneous models of biological bodies*, pp. 355-360, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-32, No. 4, 1984.
- [**EC89**] Official Journal of the European Communities, *Richtlijn van de Raad betreffende de onderlinge aanpassing van de wetgeving der Lid-Staten inzake elektromagnetische compatibiliteit*, Council Directive 89/336/EEC, L39, 1989.
- [**Ell93**] Robert S. Elliott, *Electromagnetics, History, Theory and Applications*, IEEE Press, New York, 1993.
- [**GR97**] Gezondheidsraad Commissie Radiofrequente straling, *Radiofrequente elektromagnetische velden (300Hz - 300GHz)*, Rijswijk: Gezondheidsraad, 1997, Publikatienummer 1997/01.
- [**Har99**] L. Hardell, A. Näsman, A. Pahlson, A. Hallquist and K.H. Mild, *Use of cellular telephones and the risk for brain tumors: A case-control study*, International Journal of Oncology 15: 113-116, 1999.
- [**Hor98**] F. B.M. van Horck, *Electromagnetic Compatibility and Printed Circuit Boards*, Proefschrift, Technische Universiteit Eindhoven, 4 juni 1998, promotoren P.C.T. van der Laan en P.J. Degauque, copromotor A.P.J. van Deursen.
- [**IEC89**] International Electrotechnical Vocabulary, *Electromagnetic Compatibility*, Chapter 161, IEC publicatie 50(161), Genève, 1989.
- [**LoV99**] J.LoVetri, A.T.M. Wilbers and A.P.M. Zwamborn, *Microwave Interaction with a Personal Computer: Experiment and Modeling*, pp. 203-206, 13th International Zürich symposium on EMC , Zürich, 16-18 February 1999.
- [**Max54**] J.C. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, Third Edition, Dover Publications, New York, 1954.
- [**NRPB99**] National Radiological Protection Board (NRPB), *NRPB Response Statement - Swedish Study on Mobile Phones and Brain Cancer Risks*, Internet: <http://www.nrpb.org.uk/R6-99.htm>.
- [**Tij91**] A.G. Tjihuis and Z.Q.Peng, *Marching-on-in-frequency method for solving integral equations in transient electromagnetic scattering*, pp. 347-355, IEE Proc. H, Vol. 138, No. 4, Augustus 1991.
- [**Tij96**] A.G. Tjihuis, *Elektromagnetisme: van storing tot impuls*, Intreerede Technische Universiteit Eindhoven, 1996.
- [**Tij97**] A. Tjihuis, K. Belkebir, P. Zwamborn and A. Rubio Bretones, *Marching on in Anything: Solving Electromagnetic Field Equations with a Varying Physical Parameter*, Proceedings of the International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA 97), Torino, Italy, September 15-18, 1997, pp. 175-178.
- [**WHO93**] World Health Organisation (WHO), *Electromagnetic fields (300 Hz - 300 GHz)*, Geneve, 1993, (Environmental Health Criteria 137).
- [**Zwa91**] A.P.M. Zwamborn, *Scattering by Object with Electric Contrast*, Proefschrift Delft University Press, Delft, 1991, promotor: prof.dr.ir. P.M. van den Berg.



Peter Zwamborn werd op 13 oktober 1963 geboren in Schiedam. Na het behalen van zijn diploma Atheneum b aan de Scholengemeenschap Spieringshoek in Schiedam studeerde hij elektrotechniek aan de Technische Universiteit Delft. Na het behalen van het getuigschrift van elektrotechnisch ingenieur in 1987 is hij als assistent in opleiding begonnen aan zijn promotieonderzoek aldaar. Onder leiding van prof.dr.ir. P.M. van den Berg verrichtte hij onderzoek aan de modellering van elektromagnetische verstrooiing aan drie-dimensionale sterk inhomogene dielektrische objecten. In juni 1991 promoveerde hij cum laude op dit onderwerp. Na zijn promotie heeft hij zijn militaire dienstplicht bij de Koninklijke Marine vervuld als reserve officier.

Gedetacheerd bij TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium (TNO-FEL) was hij betrokken bij de ontwikkeling van de Phased Array Radar APAR. In 1993 trad hij in dienst van TNO-FEL als wetenschappelijk medewerker in de groep Elektromagnetische Effecten. In september 1993 heeft hij, tijdens de URSI General Assembly in Kyoto Japan, de Young Scientist Award ontvangen. In 1994 is hij voor een periode van drie maanden Visiting Scholar geweest bij de University of Delaware, Newark, DE, USA. In 1995 werd hij programmaleider Elektromagnetische Effecten en sinds maart 1997 is hij groepsleider EOVS en EM-Effecten bij TNO-FEL. Sinds 1995 is hij bestuurslid van het Nederlands Elektronica en Radiogenootschap en sinds 1999 heeft hij binnen het NERG de functie van programmamanager. Hij is in 1996 lid geweest van de Commissie Radiofrequente straling (300Hz-300GHz) van de Gezondheidsraad. In 1999 is hij lid geworden van de Commissie Extreem laagfrequent elektromagnetische velden.