

# Stråling fra Mobilmaster - et teknisk responsum



J. Bach Andersen, Gert Frølund Pedersen  
Aalborg Universitet

Februar 2004

## Sammenfatning

- Sundhedsmæssige aspekter afgøres bedst af internationale, bredt sammensatte videnskabelige grupper. Der er i disse grupper enighed om, at mobilstråling under de grænseværdier, der er fastsat, ikke giver anledning til reproducerbare biologiske effekter. Det er derfor de af EU og WHO anbefalede grænseværdier, der ligger til grund for nærværende arbejde.
- En bruger af en mobiltelefon udsættes for den stråling, mobiltelefonen udsender helt tæt på. Denne stråling måles ved at bruge et udtryk for de såkaldte indre felter, SAR, med målingsenheden W/kg. For en strålingskilde, der er mere end en meter væk, som for eksempel en mobilmast eller en anden persons mobiltelefon, måles intensiteten i  $W/m^2$ . Der findes grænseværdier for begge måletyper, og for en given frekvens kan man bruge begge mål og dermed sammenligne den biologiske virkning af stråling fra en mobiltelefon og fra en antennemast (Figur 1b).
- Påvirkningen fra en mobiltelefon på brugeren selv er i værste fald lige under grænseværdien på 2 W/kg, og afhænger af telefonen. Påvirkningen fra andres telefoner ('passiv stråling') aftager kraftigt med afstanden, således at påvirkningen fra en andens telefon to meter væk, typisk er 10.000 gange lavere end påvirkningen fra ens egen mobiltelefon.
- Påvirkning fra en mobilmast afhænger af den afstand, man har til masten, af den højde, antennen har, af sendestyrken og af antallet af operatører på den samme mast. Intensiteten fra 3G master er ikke væsentlig forskellig fra 2G (GSM) master.
- Den lokale påvirkning (SAR-værdi) fra en mobilmast i samme højde som mobiltelefonantennen og med direkte sigt er i en afstand af 10-15 meter typisk 100 gange lavere end fra en mobiltelefon i nærheden af hovedet, og er flere tusinde gange lavere i realistiske højder og afstande. Påvirkningen fra masten er dog i modsætning til telefonen over hele kroppen og hele tiden.
- Den største målte intensitet på  $0.1 W/m^2$  var på taget af parkeringshus 25 meter fra antennen, 100 gange under grænseværdien. Typiske måleværdier i nærliggende byggeri var 10 gange lavere.
- Intensiteten af den samlede påvirkning af elektromagnetiske felter i et bymiljø er i middel i lige grad bestemt af radio- sendere, 2G og 3G master.
- Selv om 2G og 3G stråling minder meget om hinanden, så varierer intensiteten af 3G signaler hurtigt med tiden på en anden måde end 2G signaler gør. Denne variation indgår ikke i de internationale grænseværdier.

## **Forord**

Siden opstillingen af sendemaster til det nye 3. generationsnet til mobiltelefoner (UMTS) blev påbegyndt, har der været en omfattende debat omkring den mulige strålingsrisiko for personer, der bor eller bevæger sig i nærheden af masterne.

Denne debat har primært været båret af forskellige interessegrupper som udbydere, producenter, forbrugere og NGO'er. Da Aalborg Universitet er blandt de førende i verden indenfor mobilkommunikationsområdet, herunder udbredelsen af stråling fra antennemaster, har fakultetet følt en særlig forpligtigelse til at yde vores bidrag til en afklaring af den tekniske side af spørgsmålet på baggrund af den uafhængige position, som et universitet indtager.

Jeg har derfor bedt to af vores forskere, professor, dr.techn. Jørgen Bach Andersen og lektor, ph.d. Gert Frølund Pedersen om at udarbejde et teknisk resposum om emnet.

Det er mit håb, at rapporten og de gennemførte målinger kan medvirke til at afklare det tekniske og fysiske grundlag for debatten og præcisere, hvor der er behov for yderligere undersøgelser.

Aalborg Universitet  
Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet  
12. februar 2004

## 1. Indledning

Debatten om den mulige sundhedsrisiko ved mobilantennemaster blev aktualiseret af påbegyndelsen af opsætningen af master til det såkaldte 3. generations (3G) mobilsystem, karakteriseret ved højere datahastigheder, og af den samtidige fremkomst af en hollandsk rapport, der antydede en akut genevirkning på forsøgspersoner udsat for 3G stråling. Spørgsmål som ”er mobil-strålerne farlige?” var og er hyppige. Som det fremgår senere af denne rapport, er afgørelsen om mulige kortvarige eller langvarige sundhedsmæssige påvirkninger en kompliceret sag, der kun kan afgøres af internationale tværvideenskabelige grupper med mange forskellige ekspertiser. Vi vil dog kort omtale de seneste videnskabelige rapporter, der har givet anledning til debat.

Indeværende rapport omhandler udelukkende de tekniske og fysiske aspekter af problematikken, dvs. svar på spørgsmål som: ”Hvor kraftige felter bliver vi udsatte for, hvis vi bor i nærheden af en mobilmast?”, ”Er de nye 3G felter kraftigere?” eller ”Hvordan adskiller signalerne sig fra de normale mobilsignaler?”. Der er foretaget en række målinger i Aalborg by for at illustrere situationen, og resultaterne af disse målinger sammenlignes med de for tiden gældende grænseværdier. Der er også spørgsmål om disse grænseværdiers gyldighed, men at besvare dem ligger udenfor vores kompetenceområde, så de eksisterende grænseværdier, der er godkendt af WHO og anbefalet af EU vil derfor blive anvendt til sammenligning.

Selvom der fortsat i fremtiden vil være debat om de sundhedsmæssige aspekter, håber forfatterne, at det tekniske og fysiske grundlag for en saglig debat er blevet en smule bedre med dette bidrag.

Udredningen er finansieret af det teknisk-naturvidenskabelige Fakultet, Aalborg Universitet.

Jørgen Bach Andersen og Gert Frølund Pedersen  
Aalborg Universitet  
Februar 2004

## 2. Udstråling fra antenner, elektromagnetiske felter

Der er nogle få begreber, det er nyttigt at kende for at kunne vurdere de følgende oplysninger og måleresultater.

**Basisstationsantenne.** En antenne udstråler elektromagnetiske felter i forskellige retninger i et bestemt frekvensområde med en vis sendeeffekt. **Sendeeffekten** måles i Watt, og den er typisk i størrelsesorden 10-20 Watt. Felterne breder sig ud som bølger fra antennen, og da de breder sig over en større og større flade, jo længere væk man er fra antennen, vil feltstyrken aftage med afstanden. Felterne består af både elektriske og magnetiske felter, men da de er tæt sammenkoblede, taler man om elektromagnetiske felter, og af praktiske grunde benytter man ofte det elektriske felt som målestok. Den **elektriske feltstyrke** angives i Volt per meter, forkortet V/m. Man kan også angive styrken af bølgen i **intensitet**, angivet i Watt per kvadratmeter, forkortet  $W/m^2$ . Hvis antennen sendte ligeligt i alle retninger ville sendeeffekten blive fordelt ligeligt over en kugleflade. Det er uhensigtsmæssigt at sende effekten ligeligt i alle retninger, tværtimod fokuseres der i vandret retning, så intensiteten forøges med en faktor, der kaldes **antenneforstærkningen**. Intensiteten vil stadigvæk aftage med afstanden. Intensiteten skal forstås på den måde, at såfremt man har en intensitet på  $0.1 W/m^2$ , og den rammer en absorberende flade på  $1 m^2$ , så vil der hele tiden blive afsat en effekt på 0.1 Watt i fladen. Nogle eksempler i Tabel 1 illustrerer forholdene. Enheden mW angiver en tusindedel Watt, en milliWatt.

Afstand	Elektrisk feltstyrke, V/m	Intensitet, $W/m^2$	Intensitet, $mW/m^2$
10 m	11	0.32	320
100 m	1.1	0.0032	3.2

*Tabel 1. Feltstyrke og intensitet i to forskellige afstande fra en basisstationsantenne i et eksempel med en sendeeffekt på 20 W og en antenneforstærkning på 20 gange. Grænseværdien er  $10 W/m^2$ .*

Bemærk at feltstyrken kun er faldet en faktor 10 når afstanden øges en faktor 10, hvorimod intensiteten er faldet en faktor 100. Man skal derfor være opmærksom, at når man hævder at 'strålingen' er faldet et vist antal gange, eller er 1000 gange under grænseværdien, har det ingen mening, hvis ikke man oplyser, om det er feltstyrke eller intensitet.

Såfremt sendeeffekten øges, vokser intensiteten proportionalt, altså for en effekt på 40 W vil intensiteten i 100 m afstand være  $6.4 mW/m^2$  i eksemplet i tabellen.

Den samlede udstrålede effekt kan også forøges på anden måde, nemlig hvis der sendes på flere frekvenser, eller hvis der er flere operatører på den samme mast. I begge tilfælde skal man addere effekterne fra de enkelte frekvenser eller operatører. De forskellige systemer omtales nærmere senere.

I virkelighedens verden er forholdene selvfølgelig mere indviklede, og radiobølgerne spredes fra terræn og bygninger, dæmpes igennem mure etc., men ovenstående kan være tilstrækkeligt i denne sammenhæng.

### Mobiltelefonen som sender

For at opretholde en samtale eller datakommunikation skal både basisstationen og mobiltelefonen virke som sendere og modtagere. De samme principper som ovenfor kan anvendes for mobiltelefonen, idet dog sendeeffekten er meget lavere, størrelsesorden 0.2 W eller 200 mW, og der er ingen antenneforstærkning; tværtimod er der ekstra tab som nedsætter den udstrålede effekt. Da det har været omtalt, at selv udstråling fra mobiltelefoner skulle kunne have en biologisk virkning på personer i nærheden, analogt med passiv rygning, vises typiske tal for mobiltelefonen som sender i Tabel 2. Bemærk, at afstandene er ti gange mindre.

Afstand	Elektrisk feltstyrke, V/m	Intensitet, W/m <sup>2</sup>	Intensitet, mW/m <sup>2</sup>
1 m	2.7	0.02	20
10 m	0.27	0.0002	0.2

*Tabel 2. Feltstyrke og intensitet i to forskellige afstande fra en mobiltelefon i et eksempel med en sendeeffekt på 250 mW. Der er ikke taget hensyn til absorption ved mobiltelefonen.*

### Felter inde i kroppen, SAR

Ovenstående drejede sig udelukkende om forholdene, før der kommer en person ind i billedet, men det afgørende er naturligvis hvilken feltstyrke, der er inde i personen. Som det vil vise sig, er der meget stor forskel på situationen med påvirkning fra en basisstation og fra en mobiltelefon, der bliver holdt tæt på hovedet. I de sidste situationer er det derfor ikke tilstrækkeligt at tale om det indfaldende felt, der er behov for et mål for de indre felter. I international sammenhæng er man blevet enige om at anvende et mål for den indre lokale påvirkning, der er direkte proportional med den indfaldende intensitet eller sendestyrke i tilfældet med en mobiltelefon. Det er den såkaldte SAR-værdi, hvor SAR står for **Specific Absorption Rate** og måles i Watt/kg (eller mW/g). Rent fysisk er hastigheden, hvormed temperaturen stiger lokalt, proportional med SAR-værdien, hvorimod den endelige temperatur er afhængig af mange andre faktorer (afkøling, blodgennemstrømning mm). SAR-værdien for en given mobiltelefon eller fra en basisstation er ikke direkte tilgængelig (man kan ikke gå ind i hovedet og måle, hvor SAR værdien er størst), så man må nøjes med beregninger baseret på fysiske modeller af kroppen, eller målinger på modeller af kroppen, såkaldte fantomer. Den lokale SAR værdi afhænger af frekvensen af feltet, anatomen i hovedet (f.eks. tykkelse af hjerneskal), mobiltelefonens konstruktion, afstand til hovedet mm. Det er den lokale maksimale SAR-værdi, der er vigtig i grænseværdi-sammenhæng.

Det må understreges, at disse målinger ikke er et udtryk for de virkelige biologiske effekter på celler, nerver o.s.v., men udelukkende er et mål for størrelsen af det elektriske

felt det pågældende sted i kroppen, idet der er bred enighed om, at det er det indre elektriske felt, der er afgørende for den lokale påvirkning, selvom man teoretisk set ikke kan udelukke, at det magnetiske felt kan spille en rolle.

For **mobiltelefonens** vedkommende skal producenterne opgive SAR-værdien, og værdierne ligger for tiden mellem 0.26 og 1.5 W/kg for fuld maksimal sendeeffekt. Mobiltelefonen vil ofte sende med en meget lavere effekt, da systemet skruer ned for effekten, når der ikke er behov for så meget. Sendeeffekten er størst, når der er langt til en basisstation.

I tilfældet med **basisstationen** er situationen lidt enklere, idet de indre felter nu kun afhænger af den indfaldende intensitet, frekvens og anatomi. Et eksempel for 3G frekvenser viser, at man kan beregne SAR værdien for en voksen ved at gange intensiteten med en faktor på 0.03 m<sup>2</sup>/kg [5], altså en intensitet på 1 mW/m<sup>2</sup> giver anledning til en SAR-værdi på 0.03 mW/kg. Det må bemærkes, at for basisstationen er påvirkningen over hele kroppen, i modsætning til tilfældet med mobiltelefonen, hvor påvirkningen er meget lokal. En anden forskel er, at sendemasten sender hele tiden, hvorimod man selv har kontrol over mobiltelefonen.

### 3. Grænseværdier

Det er et vanskeligt og omfattende arbejde at udarbejde retningslinier for en sikker udsættelse af elektromagnetiske felter, og det er derfor bredt sammensatte komiteer, der udfører dette arbejde. Baggrunden for fastsættelse af grænseværdier er videnskabeligt anerkendte resultater publicerede i anerkendte tidsskrifter, og ikke blot et enkelt arbejde, men adskillige uafhængige gentagelser af det samme projekt. Ifølge sagens natur er grænseværdi-fastsættelse bagudskuende, da det er først, når man er sikker på en effekt, at den kan påvirke normsættelsen eller grænseværdierne. Det dominerende udsagn er stadigvæk, at det er termiske forhold, altså **temperaturstigninger**, der er grundlag for grænseværdierne. Grundlaget er især utallige dyreforsøg, hvor det ikke er direkte temperaturstigninger, men ændringer i opførsel, der er udslaggivende. Der vil dog altid være en pågående diskussion af nye erfaringer, hvad enten de er biologiske celleforsøg eller undersøgelser af mennesker. Den mest markante diskussion, forløbet over de seneste årtier, går på, at det ikke blot er intensiteten, der kan have en biologisk virkning, men også dens variation med tiden, der kan have betydning. Der har i mange år været publiceret forskellige forsøg, der antyder en **ikke-termisk effekt**, idet navnet går på, at forsøget pågår ved intensiteter så lave, at man må udelade temperaturstigninger. Disse forsøg har ikke altid vist sig nemme at gentage, og der er derfor ingen, der har fundet nåde for de komiteer, der fastsætter grænseværdierne. Den seneste oversigt over området er fra 2003, litteratur reference [1]. Det er klart, at der kan komme nye resultater, der ændrer grænseværdierne, men der vil formentlig gå år, inden dette vil ske. Vi skal senere komme ind på nogle af de nyeste lav-intensitetsforsøg. Det er dog også klart fra litteraturen, at dyreforsøg ikke er tilstrækkelige, og at det er nødvendigt med yderligere forsøg for især at finde eventuelle **genevirkninger**, der måske ikke i sig selv er alvorlige sundhedsmæssigt, men alligevel er med til at påvirke personer negativt.

**De i Danmark gældende grænseværdier, der især har relation til mobiltelefoner, er at SAR lokalt skal være mindre end 2 W/kg midlet over 10 gram og midlet over seks minutter.**

Det betyder, at den maksimale værdi målt lokalt og øjeblikkeligt godt må være højere, men i middel skal det være opfyldt.

SAR-værdierne er vanskelige at håndtere i praksis, hvorfor der er nogle reference værdier, der i stedet henfører til feltstyrker og intensiteter, der nemt kan måles. I det frekvensområde, der er aktuel for mobiltelefoni, gælder følgende grænseværdier.

Frekvens f, MegaHertz	Elektrisk felt, V/m	Intensitet, W/m <sup>2</sup>
400-2000	$1.375 \sqrt{f}$	$f/200$
2000-300,000	61	10

*Tabel 3 De i Danmark gældende grænseværdier for indfaldende feltstyrke og intensitet. Frekvens i MegaHertz.*

Det bemærkes, at grænseværdierne for GSM (900 og 1800 MHz) er en anelse lavere end for 3G systemet UMTS på 2100 MHz. De angivne grænseværdier er ikke universelle, f. eks. har man i Italien en grænseværdi på 0.1 W/m<sup>2</sup> i stedet for 10 W/m<sup>2</sup> i områder, hvor personer opholder sig i længere tid.

#### **4. Systemgenerationer**

Da diskussionen i høj grad drejer sig om de nye tredje generations systemer (3G) er det vigtigt at forstå forskelle og ligheder mellem de forskellige systemer. I det følgende fremhæves de væsentligste træk, hvad angår udstråling fra antennemasterne.

##### **Første generation, 1G, NMT**

Det første mobiltelefonsystem i Danmark var det internordiske NMT (Nordisk Mobil Telefoni), der opererede ved 450 MHz og senere også ved 900 MHz. Det var et såkaldt analogt system, svarende til almindelig FM radio, hvor de forskellige brugere brugte forskellige frekvenser, og brugen var tale. NMT systemet er nu nedlagt i Danmark.

##### **Anden generation, 2G, GSM**

2G er det i dag dominerende internationale mobilkommunikationssystem (Global System for Mobile Communications) . Det adskiller sig fra 1G ved at være et digitalt system, hvilket betyder, at al kommunikation er omsat til 0'er og 1'er. Det gør det enklere at bruge systemet til transmission af data, men den overvejende brug af GSM er fortsat tale, bl. a. på grund af den lave datahastighed, max. 10 kilobit/sekund. Set ud fra et biologisk synspunkt, er hovedforskellen den, at transmission kommer i 'klumper', idet en enkelt bruger udnytter 1/8 del af tiden, de resterende 7 bruges af andre, hvorefter der vendes tilbage til den første bruger. Alt dette sker hurtigt, 217 gange i sekundet, hvilket betyder, at den modtagne intensitet varierer med samme frekvens. Hvorvidt dette har en sundhedsmæssig betydning vides ikke. Der er også andre, lavere frekvenser i intensiteten, som for eksempel 8 Hz. I den korte tid brugeren er på, er intensiteten konstant. Over længere tid kan intensiteten variere på grund af effektkontrol.

Effekten fra en enkelt GSM sendemast varierer således med antallet af brugere. For fuld belastning kan udgangseffekten variere indenfor forskellige klasser, den laveste er 2.5 W,



den højeste 320 W, en typisk værdi er 40 Watt. GSM systemet opererer både i 900 MHz og 1800 MHz båndet.

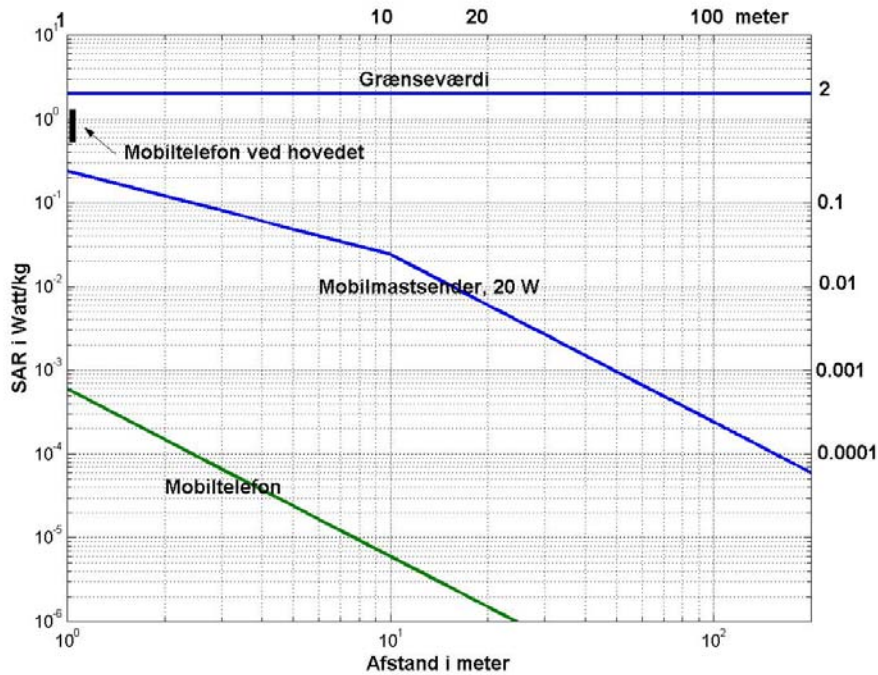
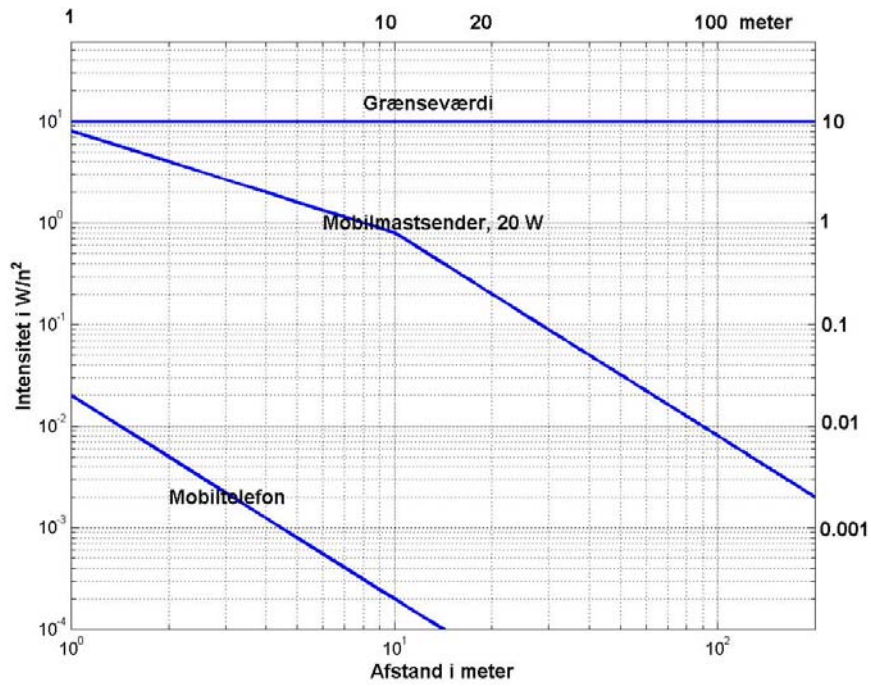
### **Tredie generation, 3G, UMTS**

3G er beregnet på at forsyne brugeren med betydeligt højere datahastighed end GSM, og samtidigt være mobil. Der er tale om maksimalt 380 kilobit/sek for udendørs anvendelser. Systemmæssigt afviger det betydeligt fra GSM, hvilket normalt vil være uinteressant for lægmand, men da det har nogle konsekvenser for de mulige biologiske effekter, har det interesse. 3G anvender frekvenser en smule højere end de højeste GSM frekvenser, nemlig området fra 2110 til 2170 MHz. De 60 MHz er opdelt i bånd af 5 MHz, der er fordelt mellem operatørerne. 3G har ikke den tidsopdelte 'klumpede' transmission, men sender hele tiden til alle brugere på de samme frekvenser, og brugerne bliver så adskilt fra hinanden ved anvendelsen af forskellige koder, der er lagt ovenpå. Til gengæld er intensiteten ikke længere konstant, den varierer både med langsomme frekvenser på få Hz på grund af effektkontrol og med frekvenser så høje som 3.8 MHz (se senere målinger). Kodningen er effektiv, og den sammen med en større båndbredde bevirker, at sendeeffekten ikke behøver at være så høj som ved GSM. Maksimalt vil en sender sende med en effekt på 20 W per frekvensbånd (formentlig 1-2 per operatør), typisk 10-15 W for fuld belastning, og ofte ned til nogle få Watt. Teknisk interesserede vil kunne læse mere i ref. [2].

### **Oversigt**

De foregående oplysninger er samlet i Figur 1a og b. Figur 1a viser intensitet i Watt per kvadratmeter som funktion af afstanden fra en typisk 3G sendestation i luftlinie ud for antennen, på gadeniveau vil det være lavere. Kurven er ikke eksakt, men tilnærmet, idet forholdene bliver mere komplicerede, når man er meget tæt på antennen, et eksempel på en måling vises senere. Grænseværdien på  $10 \text{ W/m}^2$  er også angivet, og det ses at i en afstand af ca. 12 meter er man 100 gange under grænseværdien. Bemærk at dette er værste tilfælde med maksimal sendeeffekt og ophold i antennehøjde. Såfremt der er to frekvensbånd eller to operatører stiger effekten til 40 W, og afstanden, hvor intensiteten er faldet 100 gange under grænseværdien, er steget til 17 meter. Strålingen fra en mobiltelefon til andre end brugeren er meget lavere end fra basisstationen, 2.5 meter fra en mobiltelefon svarer ca. til 200 meter fra en basisstation.

Som omtalt er det SAR-værdien, der er den biologisk relevante størrelse, og intensiteterne i Figur 1a er derfor omsat til SAR-værdier i Figur 1b. Dette gør det også muligt direkte at sammenligne værdierne for en mobiltelefon med dem fra en basisstation i forskellige afstande. Værdierne for telefonerne er angivet i øverste venstre hjørne tæt på grænseværdierne. Det ses tydeligt, at påvirkningen fra en mobiltelefon tæt ved hovedet er over 1000 gange større end påvirkning fra mobilmasten ved afstande større end ca. 35 meter. Det bør igen understreges, at for mobiltelefonen er det en lokal effekt i hovedet, men for mobilmasten er det en påvirkning over hele kroppen, og hele tiden. Den nederste kurve viser påvirkning på andre personer end brugeren som funktion af afstanden. Man kan formentlig konkludere, at der ved SAR-værdier under  $0.1 \text{ W/kg}$  ikke kan være tale om nogen opvarmning, så eventuelle biologiske effekter må forklares ad anden vej.

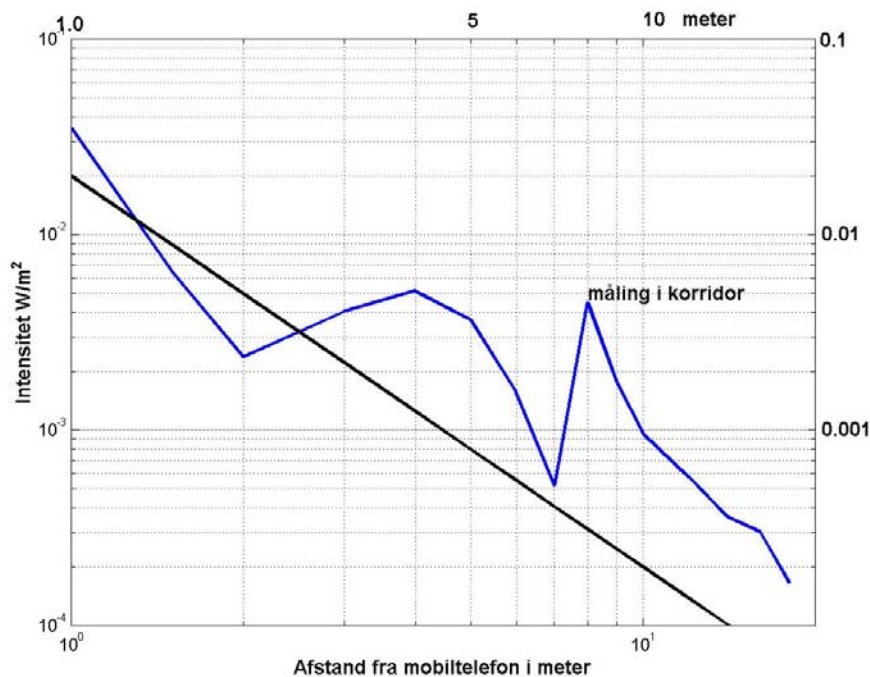


**Figur 1a og b: Intensitet og SAR som funktion af afstand. Bemærk skalaerne øverst og til højre**

## 5. Målinger i Aalborg by

### 5.1 Intensitet og signal fra en enkelt 3G telefon

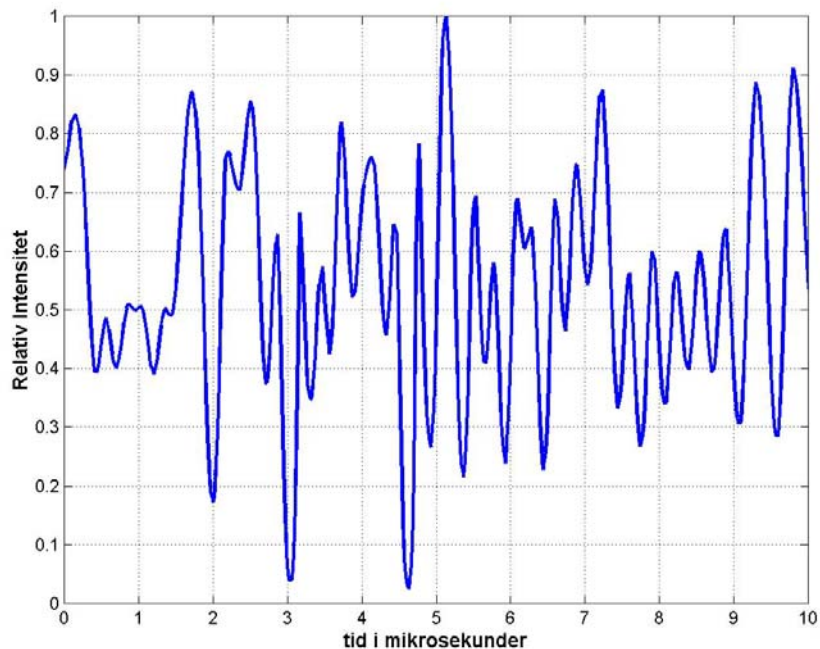
Intensiteten fra en enkelt mobiltelefon afhænger af, hvor kraftigt basisstationen modtager signalet. Jo tættere på en mobilmast des lavere intensitet. I Figur 2 vises intensiteten fra en 3G telefon på højeste niveau målt i en laboratoriegang på universitetet som funktion af afstanden. Frekvensen er 1922 MHz.



**Figur 2 Intensitet fra enkelt 3G telefon målt i en laboratoriegang**

Det ses, at intensiteten i 1 meters afstand er ca. 30 mW/m<sup>2</sup> i god overensstemmelse med teorien. I 10 meters afstand er intensiteten ikke faldet til 0.2 mW/m<sup>2</sup> som den ville, hvis det havde været fri luft. Refleksioner fra væggene gør, at intensiteten falder langsommere, nemlig til 1 mW/m<sup>2</sup>.

Det er muligt også at måle de hurtige tidsmæssige variationer af intensiteten, hvilket fremgår af Figur 3. Det tidsmæssige signal er generelt meget kompliceret, idet mange kontrolfunktioner indgår for at sikre konstant modtaget effekt, men i Figur 3 er kun medtaget den formentlig væsentligste forskel i forhold til 2G, nemlig mikrosekund variationerne, der skyldes den overlejlrede kodningssekvens. Disse variationer er fælles for mobiltelefonen og senderen på masten.

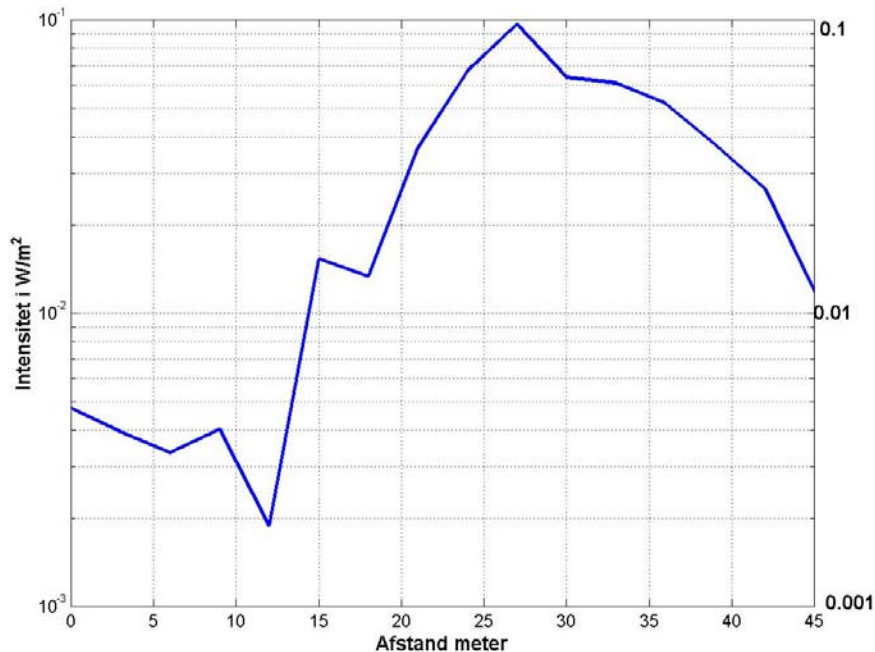


**Figur 3 Hurtige tidsmæssige variationer af intensiteten på grund af kodningssignal**

## 5.2 På taget af et parkeringshus

Et sæt målinger blev foretaget på toppen af et parkeringshus i Aalborg, hvor der var mulighed for at måle i forskellige afstande. Antennens højde var 5 meter over taget og målepunktet (se forsidebillede) 2 meter over taget. Måleinstrumentet måler samtlige indfaldende felter og summerer effekterne, så det er et mål for den indfaldende intensitet. Det er muligt med en såkaldt spektrumanalysator at skelne mellem forskellige kilder, såsom radio-sendere, GSM-sendere og den ønskede 3G mast. Figur 4 viser intensiteten fra 3G masten som funktion af afstanden.

Det er tydeligt, at man i afstande under 25 meter er under antennestrålen, og derfor modtager mindre intensitet. Den maksimale værdi på  $0.1 \text{ W/m}^2$  ( $100 \text{ mW/m}^2$ ) er som nævnt under tærskelværdien på  $10 \text{ W/m}^2$ . Forfatterne har intet kendskab til senderens effekt i Watt, men maksimalværdien af intensiteten passer rimelig godt med værdierne i Figur 1a.



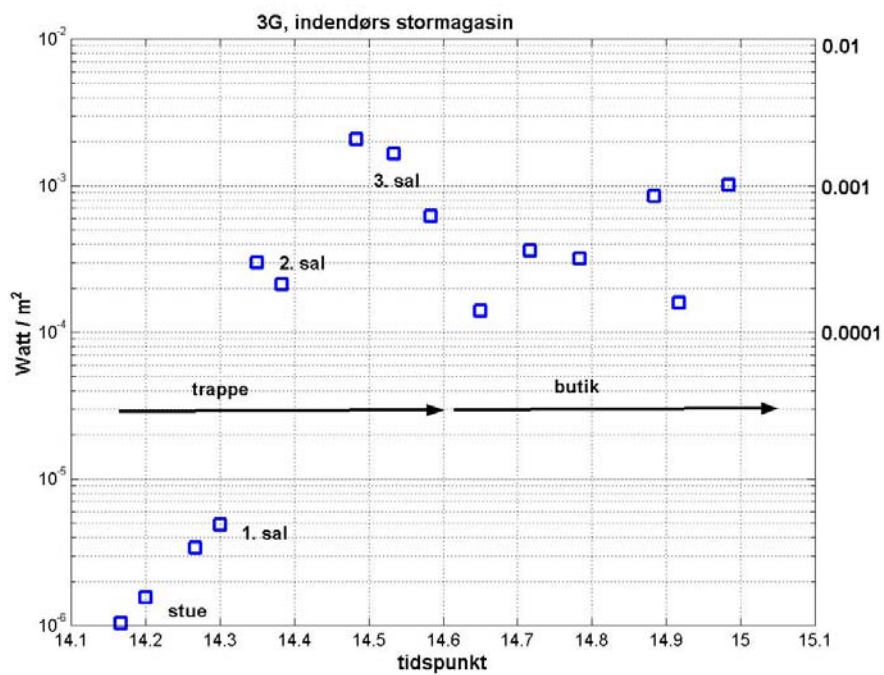
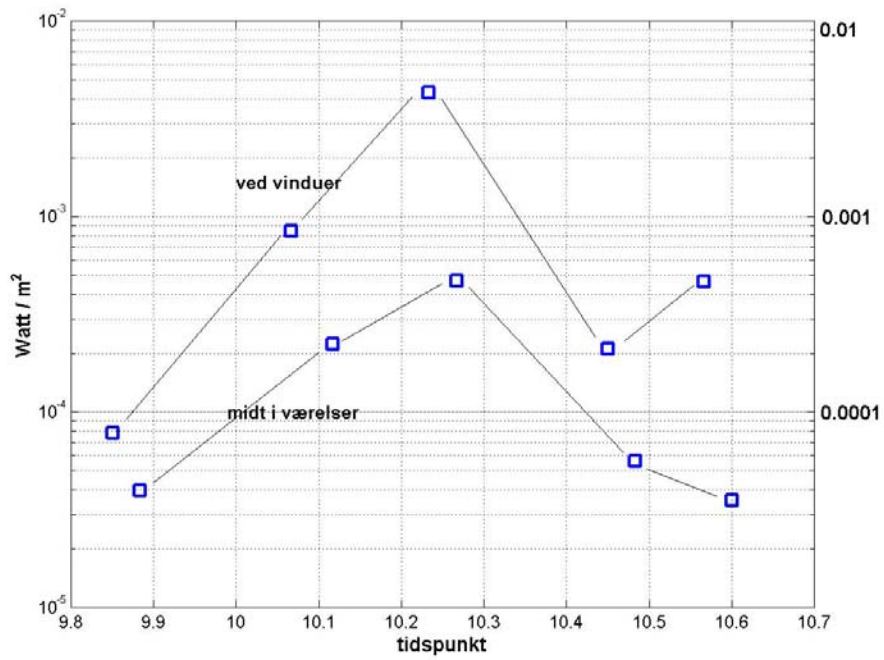
**Figur 4 Intensitet på tag af parkeringshus i 2 meters højde over taget som funktion af afstanden. Antennehøjden er 5 meter, se forsidebillede.**

### 5.3 3G intensitet i beboelse og stormagasin

Figur 5a og b viser intensiteten i henholdsvis en beboelse og i et stormagasin. Tidsaksen angiver blot forskellige måletidspunkter og er uden betydning.

Beboelsen lå på 5'te sal med udsigt til mobilmast i en afstand af ca. 10 meter. I beboelsen målttes der i forskellige rum i nærheden af vinduet og midt i rummet. De største værdier var i nærheden af vinduet, og maksimalværdien var  $4 \text{ mW/m}^2$ . Antennemasten set fra beboelsen kan ses på Figur 7, side 17. Intensiteten er noget lavere end forventet på grund af den korte afstand, det skyldes formentlig, at senderen ikke sender med de fulde 20 Watt.

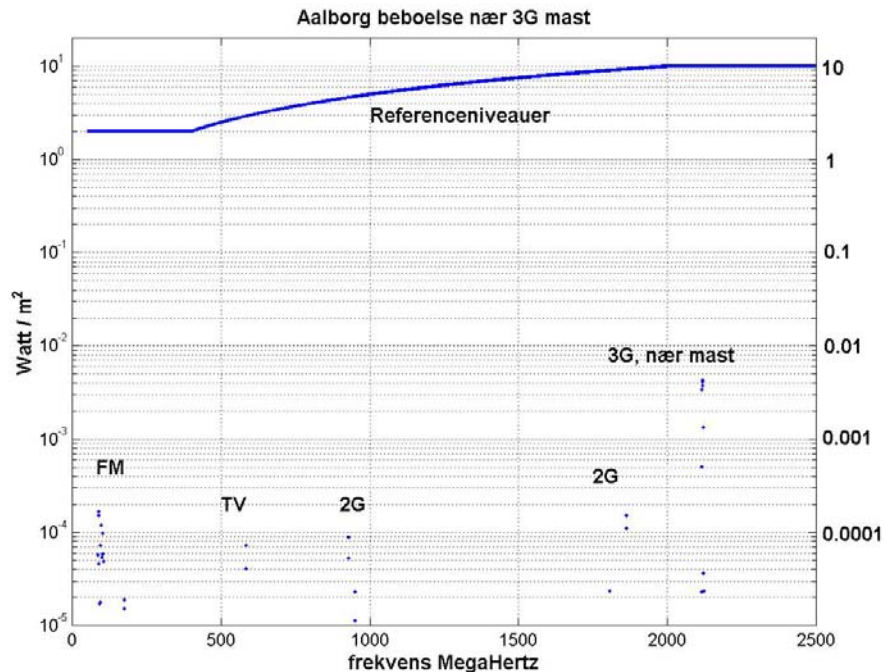
I stormagasinet blev der målt både på en trappe og i selve butikken. På trappen var der stor forskel i intensiteten afhængig af højden, en faktor 1000 mellem stuen og 3 sal. De maksimale niveauer var på niveau med dem i beboelsen, idet der i butikken var maksimalt  $1 \text{ mW/m}^2$ .



Figur 5: Intensitet forskellige steder i a) en beboelse b) i et stormagasin

## 5.4 Sammenligning med andre strålingskilder

I forhold til gældende grænseværdier er det udelukkende intensiteten, der har betydning, og det er derfor interessant at vurdere, hvilke andre elektromagnetiske kilder, der bidrager til den samlede påvirkning. Med en spektrumanalysator er det muligt at sortere de indkommende signaler i frekvens og således vurdere, hvilken kilde det er. Det er lokale maksimalværdier, der er angivet i Figur 6..



**Figur 6. Intensitet fra forskellige kilder målt i beboelse nær 3G mast.**

De målte kilder er FM-radio omkring 100 MHz, TV omkring 600 MHz, 2G (GSM) omkring 900 og 1800 MHz, og 3G omkring 2100 MHz. På grund af den korte afstand til 3G antennemasten er det 3G, der dominerer.

Der er målt meget lignende forhold i stormagasinet.

## **6. Biologiske og humane forsøg.**

Som nævnt i indledningen kræver afgørelse af sundhedsmæssige aspekter enten biologiske forsøg på celler, dyr, frivillige forsøgspersoner, eller såkaldte epidemiologiske undersøgelser, hvor brugen af mobiltelefon eller nærhed af antennemaster sammenlignes med sundhedstilstand. Det ligger uden for denne rapports sigte at give en oversigt over den eksisterende viden på det biologiske og sundhedsmæssige område ( se for eksempel ref. 1 ), men det er alligevel naturligt at omtale de seneste undersøgelser, der har vakt så betydelig interesse i den danske presse og i medierne generelt. Det drejer sig især om undersøgelser om blod barrieren i hjernen, upublicerede rapporter fra EU-projektet REFLEX, samt den hollandske undersøgelse af genevirkninger hos selverklærede særligt el-følsomme personer og en kontrolgruppe, og sætte disse resultater i relation til de ovenfor omtalte intensiteter og SAR-værdier.

### **6.1 Lund-forsøgene.**

I mange år har man ved Lunds Universitetshospital [3] udsat rotter for elektromagnetiske felter af forskellig slags, inklusive GSM-lignende signaler ved relativt lave SAR-værdier, og fundet at visse molekyler kunne gennemtrænge barrieren fra blod til hjerne og således trænge ind i hjernen. Forsøgene fra Lund blev sammen med lignende forsøg fra andre laboratorier diskuteret ved en workshop [4] i Tyskland, november 2003. Der var enighed om, at konklusionerne var meget usikre, og at der ikke var grundlag for en offentlig advarsel baseret på de foreliggende resultater.

### **6.2 REFLEX-projektet**

REFLEX er et omfattende internationalt forskningsprojekt med 12 forskningsinstitutioner fra 7 lande. Det er endnu ikke publiceret i den videnskabelige litteratur, men resultaterne har været vist ved konferencer. Det drejer sig om cellulære og molekylære undersøgelser, og man har fundet biologiske påvirkninger ved SAR-værdier omkring 1.5 W/kg. Under 0.5 W/kg er der ingen effekter. Ved sammenligning med figur 1b ses det, at disse resultater er af relevans for mulige biologiske effekter fra anvendelse af mobiltelefoner (samme SAR-område), men at resultaterne ikke har relevans for strålingerne fra mobilmasterne, når blot man er nogle få meter borte.

### **6.3 Hollandske gene-forsøg**

Den første og hidtil eneste undersøgelse af 3G signalers biologiske virkning kom i september 2003 [5]. Det er ikke en egentlig tidsskriftpublikation, men en intern rapport fra det hollandske forskningscenter TNO. Den drejer sig om forsøgspersoners subjektive fornemmelse af genevirkning, som hovedpine mm. Personerne, der i een gruppe selv havde meldt sig som særligt generede af elektromagnetiske felter, og i en anden gruppe var tilfældige kontrolpersoner, blev i dobbelt-blinde forsøg påvirket af felter af størrelse 1 V/m (svarer til 2.6 mW/m<sup>2</sup> og 0.00008 W/kg). Felterne var dels 'ingen felter', dels 2 G, GSM 900 og 1800, samt 3G. Besvarelse af et spørgeskema viste, at der var en vis overfølsomhed for 3G i begge grupper, mest blandt de følsomme personer, men ingen reaktion på 2G. Der er ikke foretaget forsøg ved andre intensiteter, så det vides ikke, hvor stor en eventuel tærskelværdi er.



Efter rapportens fremkomst har forfatterne udsendt en pressemeddelelse, hvori de siger, at 'det er afgørende, at forsøget gentages af andre, før det kan accepteres videnskabeligt, og at man ikke kan konkludere, at basisstationerne udgør en risiko for helbredet'.

## 7. Konklusion

Der er foretaget en vurdering af de intensiteter fra 3G telefoner og mobilmaster, der forekommer generelt, eksemplificeret ved målinger i Aalborg i en beboelse og i et stormagasin, begge nær en 3G mast. Der foretages ikke en egentlig sundhedsmæssig vurdering, men intensiteterne sammenholdes med de grænseværdier (basisrestriktioner og referenceværdier), der er officielt gældende [6]. Det drejer sig således om intensiteten i  $\text{Watt/m}^2$ , der bør ligge under  $10 \text{ W/m}^2$  for 3G frekvenser, og om SAR-værdierne, der bør ligge under  $2 \text{ Watt/kg}$ . Intensiteterne er relevante for mobilmaster, hvorimod SAR-værdierne kan bruges både for master og telefoner.

For mobilmasterne findes det i samtlige tilfælde, at de teoretiske og målte intensiteter ligger langt under grænseværdierne. Den største målte værdi på  $0.1 \text{ W/m}^2$  findes på taget af et parkeringshus 25 meter fra antennen, altså 100 gange under grænseværdien. Det er ikke sandsynligt, at personer udsættes for kraftigere intensiteter end dette i realistiske situationer. I givet fald skulle man opholde sig umiddelbart ud for antennen. I beboelsen og i stormagasinet er det under  $0.01 \text{ W/m}^2$ , altså mere end 1000 gange under grænseværdien. Man bør dog være opmærksom på, at intensiteten fra en mobilmast vil stige med antallet af operatører, og med antallet af frekvensbånd.

Intensiteten fra en aktiv mobiltelefon er i 2 meters afstand af samme størrelsesorden som intensiteterne målt i beboelse og stormagasin.

For den aktive bruger af en mobiltelefon er det SAR-værdien, der gælder, og her er der for typiske telefoner en SAR-værdi, der kun ligger lige under grænseværdien. Det er altså en ganske anden situation end for mobilmaster. Bemærk at mobilmasten sender hele tiden, hvorimod brugeren har kontrol over sin egen telefon.

Sammenlignes med andre elektromagnetiske felter fra andre kilder, viser det sig at FM-radio og 2G (GSM) master har sammenlignelige intensiteter som fra 3G master, og sendestyrken fra 3G er ca. det samme som fra 2G master.

En sammenligning mellem 2G og 3G bør også indbefatte en nøjere analyse af korttidsvariationen af intensiteten. Den største forskel, er at 3G signalet har nogle meget hurtige variationer i mikrosekund området, hvor 2G variationerne er i millisekund området. Et eksempel er vist (Figur 3). Den biologiske betydning er ukendt, men bør undersøges nærmere.

## 8. Referencer

1. C-K Chou, and J.A.Andrea (eds.), Reviews of Effects of RF Fields on Various Aspects of Human Health, *Bioelectromagnetics Supplement 6*, September 2003, Wiley-Interscience

2. J. Bach Andersen, P.E. Mogensen, G. Frølund Pedersen, *Exposure Aspects of WCDMA*, Rapport til GSM Association, 2001, kan hentes på <http://cpk.auc.dk/antennas/pub/ExposureWCDMA.pdf>
3. L.G.Salford et al, Nerve Cell Damage in Mammalian Brain after Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones, *Environmental Health Perspectives*, vol 111, no 7, Juni 2003, pp 881-883
4. COST281 Workshop om 'Blood-Brain-Barrier', Reims, 3-6 November 2003. Referat tilgængeligt på [www.cost281.org](http://www.cost281.org).
5. A.P.M. Zwamborn m fl, 'The Effects of Global Communication System Radio-Frequency Fields on the Well-Being and Cognitive Functions of Human Subjects with and without Subjective Complaints.' TNO rapport, September 2003
6. EU-kommissionen, Forslag til Rådets Henstilling om Begrænsning af befolkningens eksponering for elektromagnetiske felter, 0 Hz-300 GHz, Juni 1998



**Figur 7. 3G antennemast set fra beboelse.**

## Appendix: Måleudstyr

Antenne: Isotropisk bredbåndsantenne, TS-EMF, Rohde & Schwarz.

Spektrum analysator: FSH3, Rohde & Schwarz.

Laptop med RFEX fra , Rohde & Schwarz.

Udstyr til måling på telefoner:

CMU200 med Wideband CDMA option, Rohde & Schwarz

Motorola telefoner A920 og A835.



**Laptop, spektrumanalysator og måleantenne**